ROBERTO ARES

Inteligencia y cultura de los animales

UN MODELO DE CAPAS QUE ORDENA LA EVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA Y SE COLOCA EN LA BASE DE LAS CULTURAS DE TODOS LOS SERES VIVOS

VAZQUEZ MAZZINI EDITORES

AZARA
FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL

Inteligencia y cultura de los animales

ROBERTO ARES
ares.roberto@gmail.com

Inteligencia y cultura de los animales

Un Modelo de Capas que ordena la evolución de la inteligencia y se coloca en la base de las culturas de todos los seres vivos

Ilustraciones de tapa:
Miguel Ortega Martínez y Roberto Ares

Revisión de textos:
Mónica Ávila

Edición:
Fernando Vázquez Mazzini

VAZQUEZ MAZZINI EDITORES

AZARA
FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL

Fundación de Historia Natural Félix de Azara
Departamento de Ciencias Naturales y Antropológicas
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones
Universidad Maimónides
Hidalgo 775 - 7° piso (1405BDB) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - República Argentina
Teléfonos: 011-4905-1100 (int. 1228)
E-mail: secretaria@fundacionazara.org.ar
Página web: www.fundacionazara.org.ar

Las opiniones vertidas en el presente libro son exclusiva responsabilidad de su autor y no reflejan opiniones institucionales de los editores o auspiciantes.

Reservados los derechos para todos los países. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia, CD Rom, Internet o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la editorial.

Primera Edición: 2021

Impreso en la Argentina.
Se terminó de imprimir en el mes de Junio de 2021, en la Ciudad de Buenos Aires.

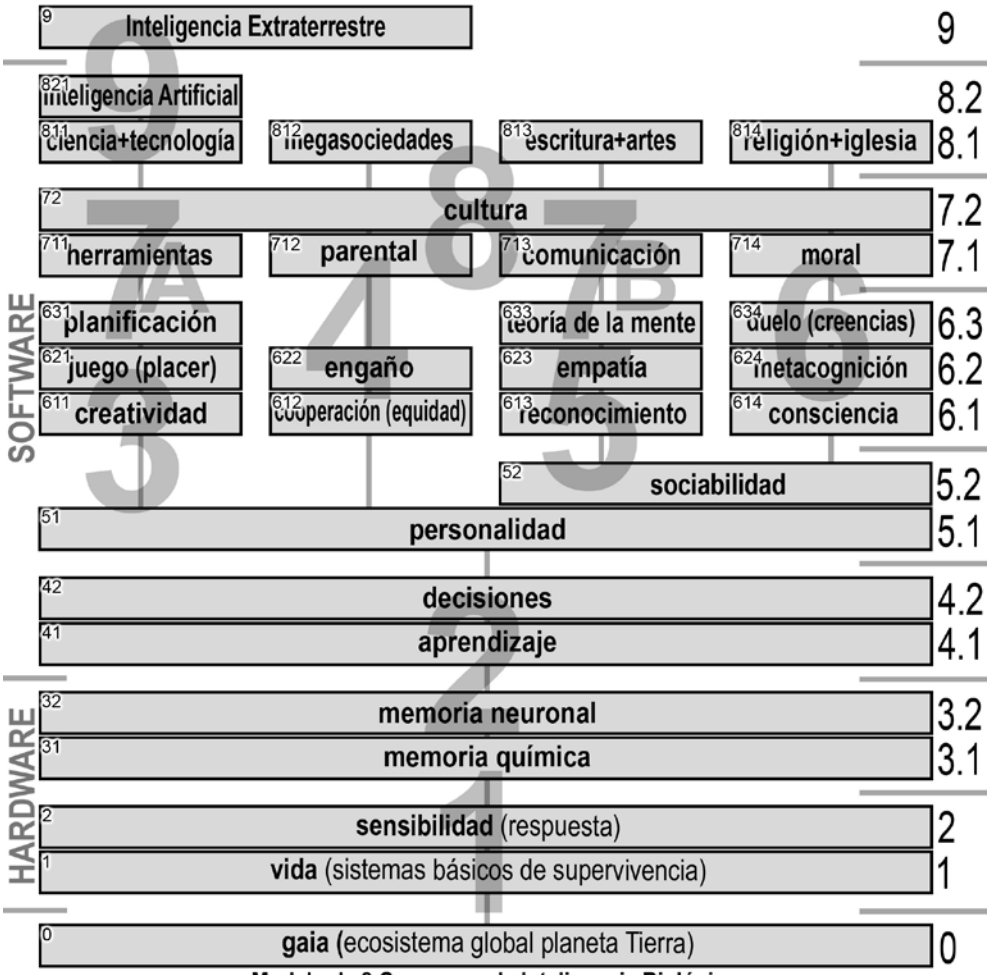
VAZQUEZ MAZZINI EDITORES
info@vmeditores.com.ar
www.vmeditores.com.ar

Ares, Roberto
Inteligencia y cultura de los animales / Roberto Ares. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 2021.
544 p. ; 24 x 17 cm.

ISBN 978-987-3781-73-5

1. Animales. 2. Inteligencia Emocional. I. Título.
CDD 591.513

HOJA DE RUTA



Modelo de 8 Capas para la Inteligencia Biológica

Todo el modelo (8 capas) se soporta sobre la capa 0 que es el ecosistema global del planeta Tierra.
Cada rama de la vida y cada especie tiene su propio diagrama de capas.
Cada individuo logra un desarrollo diferente en las habilidades de uso de cada capa (personalidad).
Las capas inferiores (1-2-3) son el hardware de la vida (elementos físicos, p.ej. células).
Las capas superiores (4 a 8) son el software de la conducta (una parte genética y otra aprendida).
Cada capa puede dividirse en subcapas (4.1 y 4.2) y tener múltiples “pilas” (p.ej., 6.11...6.14).
Cada capa N usa servicios de las inferiores N-1 y ofrece servicios a las superiores N+1.
Las subcapa 8.1x (cultural) es exclusivamente humana y es una extensión de la animal (7.2).
La inteligencia artificial (8.21) es un spinoff de la capa de ciencia y tecnología (8.11).
La inteligencia extraterrestre es desconocida en existencia y capacidad (fuera del modelo).

LA ESTRUCTURA DEL LIBRO

El origen. Este libro trata la "cultura de los seres vivos" que tiene su origen en la "cultura de las aves", un proyecto iniciado en el 2005 y que resultó en el libro "Aves, vida y conducta" (Fundación Azara, 2007 y 2013). La forma definitiva del presente libro decanta en el 2019 cuando se fusiona al Modelo de Capas (un concepto tomado de la informática como una herencia de la antigua ingeniería electrónica del autor). El proceso de adaptación entre la inteligencia biológica y cultura animal y el modelo de capas llevó a una estructura de unas 30 subcapas con innumerables módulos internos (que son el software de la conducta). Aunque es solo una de las posibles adaptaciones, es la mejor opción encontrada.

La estructura en secciones. El estudio sigue un orden desde la base del modelo a la cúspide. La división en secciones (1 a 9) segmenta las capas en grupos afines. Las secciones 1 y 9 son periféricas, las secciones 2 a 5 son de acumulación de argumentos y el "núcleo duro" del libro son las secciones 6, 7 y 8. Es donde se concentran los temas bajo intenso debate: ¿hasta dónde llega cada especie en el modelo de inteligencia por capas?, ¿tienen los animales creencias y moral?, ¿tienen conocimientos básicos sobre las ciencias?, ¿tienen culturas y cómo se manifiestan? El libro entrega un state of the art de los conocimientos al año 2021 en busca de una o varias respuestas.

Señalizaciones frecuentes. Este libro plantea el modelo de capas desde el inicio y acumula pruebas mediante trabajos de investigación de los últimos 10 años.

(///) Esta señalización frecuente indica que el contenido que sigue es un resumen adaptado de un artículo científico. En cada uno se indican los objetivos, la forma de trabajo y las conclusiones. Esto permite acercarse a las imaginativas formas con que progresa el método científico. Para simplificar la presentación (hay más de 1.300 artículos señalizados) se evitaron las referencias de cada uno y solo se presenta una bibliografía de lo más interesante. Como es de esperar hay un "sesgo de confirmación" en la documentación. Por ejemplo, luego de ensayos fallidos un experimento confirmó que los elefantes se reconocen en el espejo. Entonces, se reporta solo el último. Cuando quedan dudas se dejan expresadas, pero nunca se cierra la puerta a confirmaciones futuras. La ciencia no deja de refutar a los experimentos negativos.

(F301) Este tipo de señalización remite a una figura ilustrativa cercana que puede ayudar en la interpretación. Las ilustraciones han sido adaptadas para obtener uniformidad didáctica y de tamaño. Muchas fotos son capturas de videos disponibles en YouTube, entonces la calidad gráfica puede ser deficiente. Hay 3 fuentes de fotos y videos: los obtenidos en laboratorios científicos en condiciones controladas, los rescatados en campo con cámara automáticas y las de "científicos ciudadanos". Estos últimos hacen un aporte invaluable al conocimiento.

¿de qué se trata? Al inicio de cada sección se adiciona un mapa de las capas que se estudian. En cada subcapa o tema de estudio se coloca una introducción bajo el título: "¿de qué se trata?" Funciona de amalgama para unir los conceptos que deben esperarse.

USO DEL MODELO DE CAPAS

El modelo de capas original. Hace 40 años cada fabricante de computadoras creaba sus propias estructuras de hardware y software. Se necesitaba una forma de interconectarlas para que funcionaran en red. Para 1980 la Organización Internacional de Estándar ISO definió un modelo de 7 capas que formaban una "pila" o "*stack*" de protocolos comunes a diferentes proveedores. Una capa 0 (por debajo del modelo) representaba el medio de interconexión física entre computadoras (cable de cobre, fibra óptica, microondas). Si la conexión era mediante internet la capa 4 usaba el protocolo TCP y la capa 3 el famoso protocolo IP. La capa 2 del modelo era la red LAN para interconectar equipos dentro de una oficina o el hogar (p.ej., mediante wifi). Más arriba, las capas 5, 6 y 7 son capas disponibles para los software de aplicaciones ("app"). Por ejemplo, para una conexión web es el protocolo HTTP. El modelo de capas usado en este libro para la inteligencia biológica es una adaptación libre (no hay una correspondencia directa con el modelo para la informática). La inteligencia biológica es varios órdenes de magnitud más compleja que la inteligencia artificial.

Funcionamiento del modelo. Cada organismo vivo de cualquier especie puede ser representado mediante una pila de capas, cada capa está dividida en subcapas y cada subcapa contiene módulos internos que son los protocolos de conducta (el software). Cada ser vivo de cada especie tiene asociado una pila de capas. Cuáles subcapas y módulos, y el desarrollo logrado en cada una, depende de la especie y de cada individuo.

(a) Las capas cooperan. Cada capa (en general N) ofrece servicios a las capas superiores (N+1) y utiliza los servicios de las capas inferiores (N-1). Sirva como ejemplo la sección 2 del libro, donde la subcapa que se dedica al aprendizaje (4.1) necesita los servicios de la subcapa inferior que permite memorizar los datos (3.1 y 3.2). A su vez, el aprendizaje ofrece un servicio a la subcapa superior que es la toma de decisiones (4.2). De esta manera, los resultados del aprendizaje se memorizan y se usan para la próxima toma de decisiones. Es una conexión vertical entre memoria-aprendizaje-decisiones. Para construir un modelo se debe responder la pregunta ¿quién necesita de quién?

(b) Existen subcapas apiladas que trabajan en paralelo. En una capa pueden coexistir varias pilas de subcapas. Por ejemplo, en la capa 6 se identifican 4 "pilas" paralelas. Una de ellas es: creatividad (6.11), juegos (6.21) y planificación (6.31). Cada subcapa utiliza los servicios de la inferior, pero también de las vecinas que trabajan en paralelo. Por ejemplo, la subcapa de Juegos (6.21) se ocupa de los juegos en solitario o acompañado. Para un juego en grupo se requiere el concurso de los servicios de la subcapa de Cooperación (6.12) que está en una pila vecina. Una vez que se dispone de una subcapa todas las restantes pueden hacer uso de ella.

(c) Una subcapa tiene muchos módulos. Por ejemplo, en los chimpancés la subcapa de Herramientas (7.11) puede tener varios módulos de conductas para usar las piedras (son distintas "aplicaciones"), otros módulos para manipular hojas, ramas o palos, otros para los conocimientos de automedicación, etc. Cada módulo tiene un desarrollo diferente dependiendo de las habilidades de la especie (herencia) y de la práctica del individuo (personalidad). Cuando el uso de la piedra se convierte en cultural (7.2) es porque se usó la enseñanza y aprendizaje social.

(d) La capa 0 es el soporte para conectar los individuos. Todos los organismos están interconectados en un ecosistema global (Gaia). Comprende los sistemas físicos (ciclo geológico y tectónica de placas, erosión, etc.), los bioquímicos (biósfera) y ambientales (hidrósfera, atmósfera). Gaia no tiene vida, pero todos los seres vivos la necesitan.

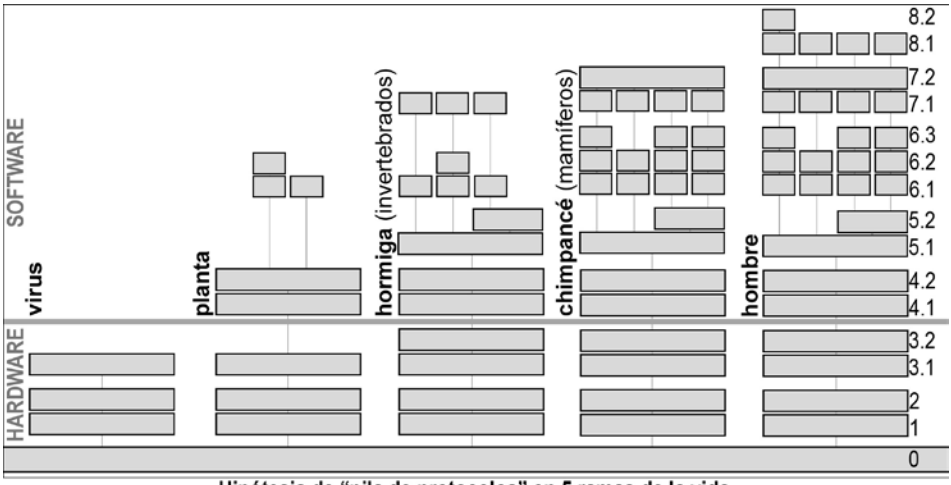
Sobre el "hardware" (capas 1, 2 y 3). Los físicos y químicos usan el lenguaje de los objetos materiales y conceptos como energía y entropía, estructura y plegado molecular y fuerzas de unión. Esto permite explicar cómo funcionan las células o cómo se pliegan las proteínas. Se trata del hardware de la vida. Los biólogos usan un lenguaje ligado al software como instrucciones codificadas, señalización y control. En el modelo de capas, las inferiores (1-2-3) corresponden al Hardware, es decir son elementos físicos. Incluye a los sistemas que soportan la vida (capa 1), los sensores y efectores (2), y la memoria química (3.1) y neuronal (3.2).

(a) La capa 1 se ocupa de los soportes de la vida: la capacidad de generar y consumir energía (la termodinámica), la alimentación, la reproducción, el movimiento, la adaptación al ambiente, etc. Los virus son los organismos vivos más simples y poseen algunos (no todos) los soportes de la capa 1. Por ejemplo, no pueden reproducirse por sí solos o producir energía haciendo metabolismo.

(b) La capa 2 se ocupa de la detección y reacción frente a las motivaciones externas. Por ejemplo, frente a la luz y calor (radiación), el sonido y presión, los compuestos químicos (solubles o volátiles), la gravedad y campo magnético, etc.

(c) La capa 3 permite mantener una memoria histórica (corto, mediano y largo plazo). La memoria universal es la química (genética, epigenética y concentración de compuestos). La memoria neuronal ocurre en la mayoría de los animales que forman algún tipo de cerebro. Los virus tienen un modelo de capas limitado hasta el nivel de memoria química, sin embargo es mucho lo que se puede lograr en biología solo usando la química.

Sobre el "software" (capas 4 a 8). Estas capas se ocupan de "programas de servicios" o "aplicaciones" que se conocen como conductas. El libro dedica la amplia mayoría del espacio (75%) a estas capas y en especial (40%) a las capas 7.1 y 7.2, que forman el "núcleo duro" del temario. La capa 8 es una exclusividad humana. Por ejemplo, el uso de herramientas (capa 7.11) es una habilidad muy extendida entre los animales. Cuando esta habilidad se enseña (madre-cría) se convierte en cultural y se incluye en la capa 7.2. En los humanos estas habilidades dan origen a la Ciencia y Tecnología (capa 8.1). En la actualidad ocurre un "*spinoff*" con la Inteligencia Artificial (capa 8.2). Todas las subcapas de la capa 8 son recientes (menos de 100.000 años).



Hipótesis de "pila de protocolos" en 5 ramas de la vida.
Todos los seres vivos se interconectan mediante el ecosistema global (capa 0, gaia). Todos tienen los sistemas básicos de la vida (capa 1) y el sistema de respuesta innato (capa 2). Todos tienen algún tipo de soporte físico de memoria (química 3.1 o neuronal 3.2). Todos (¿menos los virus?) tienen formas de aprendizaje (4.1) y para tomar decisiones (4.2). Las plantas pueden reconocer para cooperar o engañar (capa 6). Los insectos (hormigas) pueden usar herramientas, tienen cuidado parental y comunicación (capa 7.1). Los mamíferos (chimpancé) llegan a tener moral y una forma de cultura simple (capa 7.2). El hombre extiende la cultura animal a un nivel superior (capa 8.1). La ciencia y tecnología (capa 8.11) tiene un spinoff en la inteligencia artificial (capa 8.2).

Las conductas (módulos de software) se construyen por selección natural. No podría ser de otra manera. Por ejemplo, la especie *Homo sapiens* se escinde hace 300.000 años del tronco evolutivo de *Homo erectus*. El *H. erectus* disponía de un hardware similar a los simios (con mejoras en el cerebro y las manos) y con varios módulos de conductas adicionales (mejores herramientas, dominio del fuego, comunicación con lenguaje). En el *H. sapiens* se agregaron múltiples subcapas que se originan de las subcapas de animales (ciencia y tecnología, arte y escritura, manejo social en ciudades y religión). El modelo de capas es un proceso en construcción, donde cada una no está completamente formada. Si se dispusiera de un *time-lapse* a velocidad de millones de años se podrían ver a cada subcapa emerger en forma gradual, en distinto estado de desarrollo, y quizás sucumbir. Nunca es un paquete de capas terminado. Este proceso de construcción ocurrió innumerables veces. Es un diagrama complejo con capas más avanzadas que otras. Algunos humanos son buenos en artes (capa 8.13) y otros en ciencias (capa 8.11), es parte de la personalidad.

INTELIGENCIA Y CULTURA

Sin límites claros, son mejores los procesos que las definiciones. La biología es una ciencia donde su objeto de estudio (la vida) no tiene una definición unívoca (parece ser algo inadmisible). Un estudio de 123 definiciones encontró que solo la palabra autoreproducción era común a todas. Uno de los problemas es que no hay límites entre seres vivos, ni en la inteligencia, ni en la cultura. Las especies e individuos se mezclan, los virus con las células que los hospedan, las bacterias cuando intercambian genes, las células del moho de limo cuando se ensamblan, los líquenes que son una simbiosis, las especies cuando se hibridan, los humanos que tienen tantas o más células bacterianas que "propias". Hace 200 años Cuvier definía la vida como una organización fluyendo en el tiempo. Según esta visión un individuo no debería ser considerado en términos espaciales sino temporales. El individuo persiste estable pero es dinámico en el tiempo. Es una "biología de los procesos" haciendo énfasis en la cuantificación de las características. En cambio, la teoría genética aporta una visión de "biología de las cosas", haciendo énfasis en la categorización. La ventaja de pensar en procesos es que evita los problemas de las definiciones. Por ejemplo, a la pregunta ¿tiene vida un virus?, la respuesta dependería de la definición de vida. Pero se puede reemplazar la pregunta por ¿qué tan vivo es un virus? Que a su vez puede extenderse a ¿cuánta individualidad tiene un virus? Es decir, para ser vivo hay que tener individualidad. La individualidad se nota en las diferencias durante el flujo del tiempo. Distinto a la individualidad es la personalidad, que se evidencia en la toma de decisiones.

El modelo de capas es un modelo de procesos: la inteligencia es la ruta y la cultura el destino. En este libro la palabra inteligencia se evitó en forma deliberada. En tanto la palabra cultura es recurrente aunque solo está en la cúspide del modelo. Por cultura se entiende la herencia de habilidades y conocimientos atribuibles al aprendizaje social (p.ej., parental). Para identificar a una herencia cultural deben descartarse las razones genéticas (herencia de genes específicos) y ambientales (solo ocurre en condiciones particulares). Una particularidad en un ambiente determinado puede ser una herencia epigenética y no cultural. La cultura ocupa algunas subcapas muy bien definidas en el modelo (7.2 y 8.1x) y parece estar contenida en ese espacio. La inteligencia en cambio es un concepto difuso y repartido en todas las capas (desde 4.1 en adelante). Para algunos es la capacidad que tiene cada individuo para interactuar con su entorno. Sería la habilidad para solucionar problemas y adaptarse a los cambios. No existe un umbral desde donde una especie se considera que tiene inteligencia. La inteligencia es una variable continua, borrosa. Si así fuera, una piedra tendría una inteligencia "cero", pero cualquier organismo vivo tendría un valor aunque sea insignificante.

Nota: 2.500 años de inteligencia. Para algunos el inicio de la ciencia (la filosofía natural) ocurrió hace 2.500 años, con aniversario en el año 2021 (año de publicación de este libro). Se conmemora la llegada de Anaxágoras a Atenas cuando empezó a hacer filosofía. Anaxágoras creía que el principio fundamental de la filosofía natural era *nous* (mente, intelecto, inteligencia), en lugar de las explicaciones basadas en dioses. Era

la renuncia a las explicaciones sobrenaturales. Argumentaba que la inteligencia era infinita y estaba presente en muchas cosas incluido las personas, a las que llamó el más sabio de los animales. Así que la idea de una inteligencia muy distribuida tiene, en apariencia, un origen muy antiguo. (ScienceNews, Siegfried T., "Hace 2500 años, el filósofo Anaxágoras llevó el espíritu de la ciencia a Atenas", https://www.sciencenews.org/article/anaxagoras-science-athens-history-philosophy).

La imposible medición de la inteligencia. Si se trata de un ser humano se puede cuantificar un "cociente intelectual" IQ. Es el resultado de comparar las habilidades de ese individuo con el promedio del resto de la misma edad. Si tiene más habilidades que el promedio el cociente es mayor a 100. Pero, más interesante que la controvertida medición del IQ sería analizar la evolución de la "inteligencia de la sociedad humana". Se trata del proceso acumulativo gracias a la cultura, donde cada ser humano solo tiene acceso a una parte infinitesimal de todo el conocimiento de la especie. En el modelo de capas este conocimiento se comprimió en cuatro subcapas (8.1x). Pero, si medir el cociente IQ en humanos es controversial, medir la "inteligencia animal" es mucho más complejo ya que no hay forma de hacer preguntas en el contexto de cada especie. Una solución con *glamour* se aplicó para estimar el IQ en las bacterias (véase F105). Se analizaron los genomas de varias especies de bacterias, se contabilizó la disponibilidad de genes con consecuencias sociales y se formó un ranking de "potencialidades". De esta forma se compararon especies de bacterias entre sí. Si es casi imposible medir la inteligencia de los seres vivos, más lo es cuando la inteligencia puede superar a la humana. La "inteligencia artificial" (capa 8.21) por el momento es solo "aprendizaje automático", pero tiene la potencialidad de superar la inteligencia humana. En cambio, nada se puede decir de la "inteligencia extraterrestre" (capa 9, fuera de todo modelo), que podría no ser biológica y ser incomprensible para el conocimiento humano.

Un intento de generalizar la comparación. Generalizar una definición de inteligencia como para usarla con las máquinas o en la vida extraterrestre está muy lejos de poder hacerse. Suficientes conflictos ha tenido la NASA hace 50 años para adoptar una definición de vida extraterrestre como para llegar a una definición que contenga la inteligencia extraterrestre. /// Un proyecto (COmplexity Markers Profiling Life EXobiology, Acta Astronáutica, https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.08.007) tenía como objetivo comparar varias inteligencias no humanas (animales, microbios y máquinas), en varias categorías de conducta y capacidades mentales. El objetivo era preparar una herramienta para evaluar la vida extraterrestre. El resultado indicó que todavía no se había juzgado la inteligencia animal en sus propios términos. Se encontraron 5 dimensiones: cociente de encefalización (complejidad neuronal), señales de comunicación (codificación), complejidad individual (personalidad), complejidad social (hacia adentro de la especie) e interacción entre especies (relaciones externas). Cada categorías se desglosó en otros atributos más definidos (especialización neuronal, repertorio natural, flexibilidad de roles, alianzas y cooperación, altruismo entre especies, etc.). Se encontró que las abejas y máquinas lograban puntajes altos en comunicación y complejidad social. Los delfines y máquina en encefalización (complejidad neuronal). Los microbios y plantas se destacaban en la categoría de interacción entre especies.

Nota personal

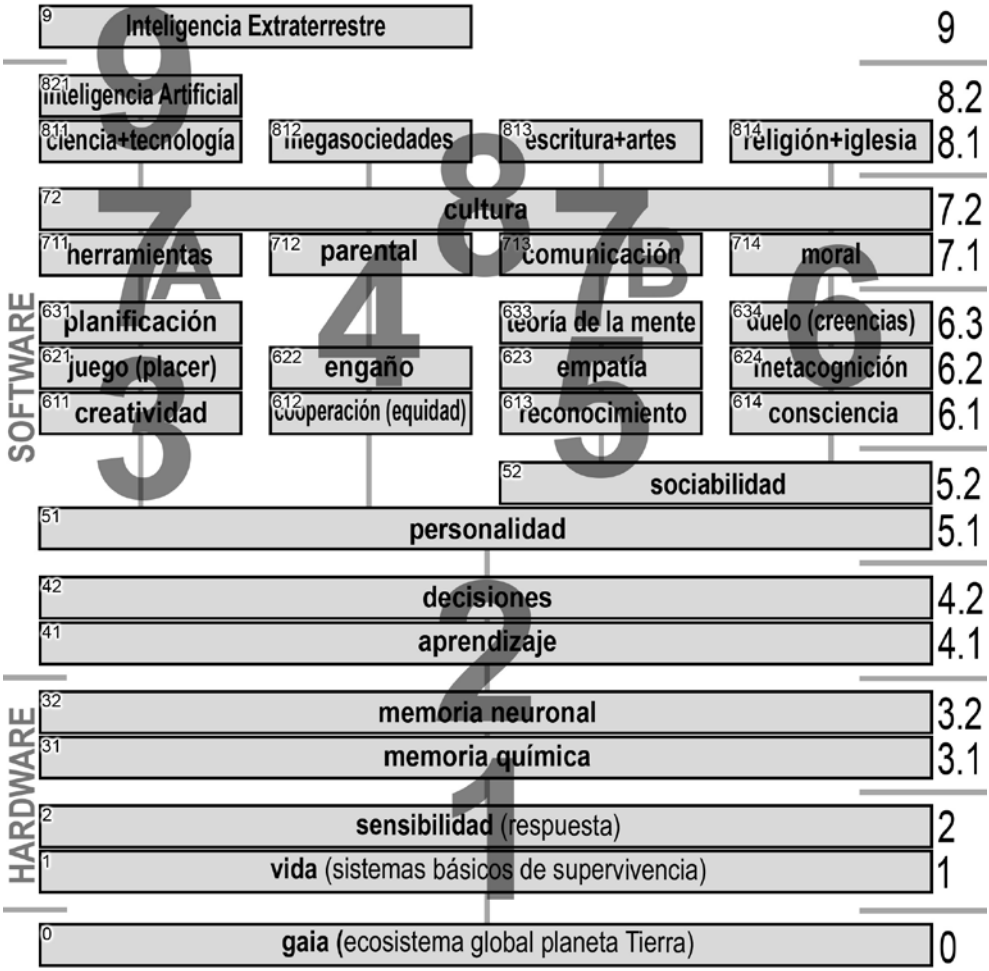
Hace más de 40 años que trabajo de esta forma. En la primera mitad los temas versaban sobre ingeniería (electrónica y telecomunicaciones). En la segunda sobre biología. La forma de estudio se mantuvo en el tiempo: buscar siempre, leer todo, extraer lo mejor y conectar los resultados para llegar más lejos. Un trabajo multidisciplinario en una sola persona.

La cantidad y la forma de acceso a la información fue cambiando. En los años de 1980 tenía subscripciones personales a 4 o 5 revistas interesantes, y una permanente solicitud de documentos recibidos por correo postal. Montañas de papel que desarmé hacia el año 2000. En los años de 1990 (trabajando en Europa y Sudamérica) se agregó la invaluable "comunicación personal" y la comunicación por e-mail. Y más revistas y libros obtenidos gracias a Amazon. Durante la década del 2000 cambié de disciplina de la ingeniería a la biología. El trabajo se transformó en investigación de campo. Así se generó la información para el proyecto de cultura de las aves. En la década del 2010 el acceso a los trabajos de investigación sufrió un cambio disruptivo. Todas las publicaciones comenzaron a presentarse en formato web (desde el 2008 en adelante) y todos los idiomas se traducen de inmediato (desde el 2015). Hacia el 2000 apareció el indexador de Google de alcance global y hacia el 2010 los agregadores de noticias científicas. Para la década del 2020 creo que se puede entrenar a una inteligencia artificial que realice la búsqueda y procesamiento en forma automática e instantánea.

Conclusión: necesito cambiar la lista de agradecimientos tradicionales (familiares, amigos e instituciones) y reconocer el aporte invaluable de la revolución de internet. Los tres libros escritos en la última década solo fueron posibles gracias a la facilidad de acceso a la información.

Roberto Ares

ÍNDICE


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

1

Modelo de Capas: 1 vida (gaia) **23**
el ancestro LUCA 24
los virus 26
Modelo de Capas: 2 sensibilidad (microbios) **29**
las bacterias 29
habilidades sorprendentes 32
Paenibacillus vortex: la bacteria más inteligente 34
división del trabajo 34
el coeficiente intelectual 36
Estudio de Casos: moho de limo: un mínimo *hardware* social 37
aprendizaje y memoria 38
toma de decisiones 40
Modelo de Capas: 31 memoria química (plantas) 43
sensibilidad química 43
memoria química 45
tienen aprendizaje 46
sufren estrés 47
comunicación química 49
se reconocen 51
Estudio de Casos: dos microecosistemas: rizósfera y líquenes 55
la rizósfera 55
los líquenes 58

2

Modelo de Capas: 32 memoria neuronal 63
la memoria epigenética 64
la memoria neuronal 66
tamaño de la memoria 68
dopamina y memoria 70
más allá de memorizar 71
Estudio de Casos: caracoles: la memoria minimalista 75
caracol *Aplysia californica* 75
caracol *Lymnaea stagnalis* 77
Estudio de Casos: nematodo: un cerebro de 302 neuronas 81
Modelo de Capas: 41 aprendizaje 85
aprendizaje prueba-error 85
aprendizaje por asociación 89
aprendizaje igual-diferente 90
aprendizaje por miedo 91
memoria prenatal 93
impronta postnatal 94
aprendizaje social 95
Estudio de Casos: pulpos: *software* similar, *hardware* diferente 99
sobre el sistema nervioso 99
son exploradores 100

creatividad y juego 101
habilidades sociales 102
Modelo de Capas: 42 decisiones 105
las decisiones en las plantas 105
las decisiones mediante neuronas 109
la dopamina toma la decisión 109
decisiones en invertebrados 110
decisiones en vertebrados 112
quorum o consenso: decisión de multitudes 114
quorum en microorganismos 114
quórum en insectos 116
quórum en vertebrados 116

3

Modelo de Capas: 51 personalidad 121
bacterias 121
insectos 123
peces y reptiles 124
aves 126
mamíferos 127
Modelo de Capas: 611 creatividad 131
aves 131
mamíferos 132
Modelo de Capas: 621 juegos 135
la recompensa interna 135
la risa 136
los juegos 137
juegos: aves 139
juegos: cetáceos 141
juegos: simios 142
el baile y la música 144
las drogas 146
las apuestas 147
Temas de Estudio: la inducción de un sesgo emocional 149
abejorros: lo básico del sesgo 149
estudio de casos 150
Estudio de Casos: abejorros: mucho más que obreras 157
personalidad y aprendizaje 157
orientación y matemática 160
Modelo de Capas: 631 planificación 163
el autocontrol 163
la planificación 166

4

Modelo de Capas: 612 cooperación 173
bacterias 173

hormigas y acacias 174
los peces 176
las aves 178
mamíferos 179
chimpancés 180
bonobos 182
Modelo de Capas: 622 engaño 185
plantas e insectos 185
multiplicidad de actores 187
avispas 189
hormigas 191
engaños y robos 191
Temas de Estudio: equidad y aversión a la inequidad 195
tareas para dos 195
aversión a la inequidad 196
la aversión en los primates 199
la venganza 200
Temas de Estudio: los dilemas sociales y la mejor conducta 203
los dilemas sociales 203
el ultimátum 204
teoría de juegos 205
aplicaciones 206
Modelo de Capas: 712 parental 209
monogamia 209
aves: apareamiento 211
aves: extrapareja 212
cuidado parental 214
Casos de Estudio: hormigas: individualidad y sociabilidad 221
la personalidad 221
la navegación 223
decisiones sobre el nido 224
la automedicación 226
la necesidad 226
los compuestos 228
la agricultura y ganadería 230
cultivo de semillas y plantas 230
cría de hongos 231
ganadería de áfidos 232

5

Modelo de Capas: 52 sociabilidad 235
en las aves 237
en los mamíferos 238
en los primates 238
Estudio de Casos: arañas: solitarias y sociables 241
género *Stegodyphus* 241

género *Anelosimus* 242
Modelo de Capas: 613 reconocimiento 245
en las plantas 245
en los insectos 247
en los peces 251
en las aves 252
en los primates 253
Modelo de capas: 623 empatía 255
imitación y emulación 255
empatía y contagio emocional 257
el bostezo 258
la empatía social 259
la empatía con otras especies 260
empatía en los cetáceos 260
empatía en los primates 262
Modelo de Capas: 633 teoría de la mente 265
la mente de los cuervos 266
la mente de los chimpancés 268
neuronas espejo: hacer, ver y pensar en hacer 269
Estudio de Casos: macacos: una sociedad maquiavélica 273
la toma de decisiones 274
juego y toma de riesgo 275

6

Modelo de Capas: 614 consciencia 279
¿de qué se trata? 279
consciencia y emociones 281
prueba del espejo (autoconsciencia) 284
la prueba del espejo 284
alternativas al espejo 286
Modelo de Capas: 624 metacognición 289
incertidumbre… 289
… en los insectos 290
… en palomas y ratas 291
apuestas en primates 292
libre albedrio: elegir el futuro 294
estudio de casos 295
Estudio de Casos: loros: los sabios de las aves 299
loro gris africano 299
loro kea 302
herramientas de la cacatúa 303
Estudio de Casos: elefantes: una sociedad empática 307
son perceptivos 307
son empáticos 309
innovación y creatividad 312
Modelo de Capas: 634 duelo (creencias) 317

¿de qué se trata? 317
duelo en los cuervos 318
duelo en los cetáceos 320
duelo en los elefantes 321
duelo en los primates 322
las creencias 325
Modelo de Capas: 714 moral (religión) 329
¿de qué se trata? 329
la vida lenta 330
aversión al daño 331
mitigar la inequidad 332
aversión al cambio de opinión 333
la reputación 334
la moralidad 335
los dioses moralizantes 336
las religiones 338

7A

Modelo de Capas: 711 herramientas 343
hormigas 343
nido de hojas 346
piedras 346
ramas 348
las aves 349
los primates 351
Estudio de Casos: cuervos: la caja de herramientas 353
fabricantes de ganchos 353
ingenio y placer 356
planificar el futuro 358
Temas de Estudio: herramientas, ciencias 359
la hipótesis 359
matemática (i): lo exacto y aproximado 361
matemática (ii): los expertos 366
matemática de abejas 366
matemática de aves 367
matemática de primates 370
conocimientos de física y química 373
física 373
química y biología 376
Tema de Estudio: herramientas, automedicación 379
… en los insectos 379
… en los nidos de aves 381
… en mamíferos 382
… en los primates 385

7B

Modelo de Capas: 713 comunicación **391**
la observación del sonido 391
teoría de la información 393
estudio de casos 395
comunicación de elefantes 400
las 5 formas 400
los retumbos 403
comunicación de murciélagos 404
Estudio de Casos: comunicación: primates (monos) 409
los prosimios (lémures) 409
monos del nuevo mundo 411
los monos tití 412
monos del viejo mundo 415
género *Cercopithecus* 415
estudio de casos 417
Estudio de Casos: comunicación: primates (simios) 421
el gibón 421
el orangután 423
el gorila 425
los chimpancés y bonobos 426
chimpancé: oral 426
chimpancé: gestual 429
bonobo 430

8

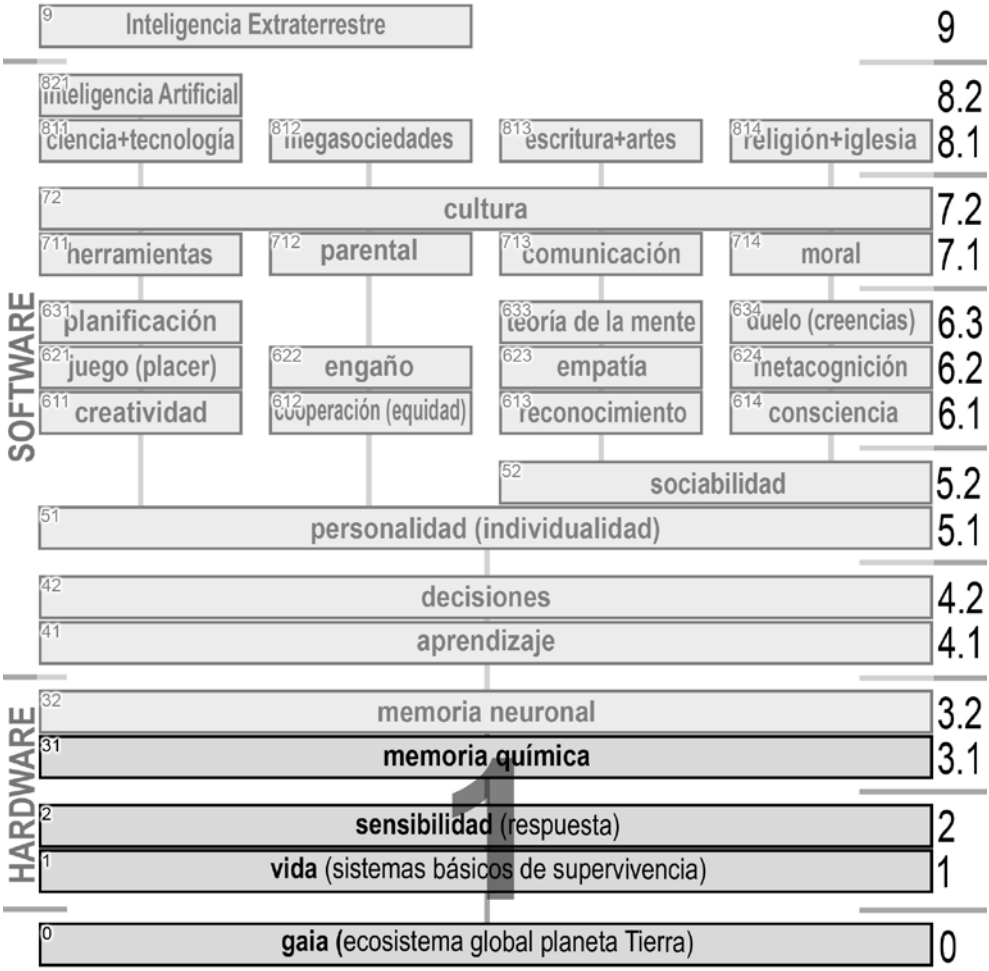
Modelo de Capas: 72 cultura **437**
¿de qué se trata? 437
aprendizaje y enseñanza 439
aprendizaje social 439
enseñanza parental 441
cultura de una ruta 444
la enseñanza de una ruta 444
cultura en los primates 447
primates del nuevo mundo 447
primates del viejo mundo 450
cultura de orangutanes 451
Estudio de casos: cultura: aves (el canto) 455
la evolución del canto 455
la estructura del canto 457
etapas de aprendizaje 459
dialectos culturales 460
las alarmas 463
Estudio de Casos: cultura: cetáceos (canto y caza) 467
cetáceos con barbas 468
jorobada (1): el canto 468

jorobada (2): costumbres 472
cetáceos con dientes 473
cachalote: dialectos 473
orca (1): dialectos 475
orca (2): la caza 477
otras especies 479
delfines: cultura y creatividad 479
delfín (1): comunicación 479
delfín (2): la caza 482
delfín (3): la creatividad 485
Estudio de Casos: cultura: chimpancés (alimentación) 487
aislamiento cultural 487
pequeños hechos culturales 490
la cultura en la alimentación 492
alimento vegetal 492
la carne 494
hormigas y termitas 496
el triángulo de Goualougo 498
Estudio de casos: cultura: primates (edad de piedra) 501
capuchinos en Brasil 501
macacos en Tailandia 503
chimpancés en Costa de Marfil 504

9

Modelo de Capas: 81x *Homo sapiens* 509
las revoluciones humanas 510
Modelo de Capas: 821 inteligencia artificial 515
evolución de la IA 516
los éxitos 518
las limitaciones 521
los riesgos 522
Estudio de Casos: palomas: se enfrentan a la inteligencia artificial 525
round 1: reconocen las caras 525
round 2: reconocen palabras 525
round 3: detectan enfermedades 526
round 4: son expertos en arte 527
Modelo de Capas: 9 inteligencia *alien* 529
la vida y la inteligencia 529
"¿dónde están todos?" 530
la rareza de la Tierra 533
solo especulaciones 535

BIBLIOGRAFÍA 537


9 Inteligencia Extraterrestre
9
821 inteligencia Artificial
8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia
8.1
72 cultura
7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral
7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias)
6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición
6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia
6.1
52 sociabilidad
5.2
51 personalidad (individualidad)
5.1
42 decisiones
4.2
41 aprendizaje
4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal
3.2
31 memoria química
3.1
2 sensibilidad (respuesta)
2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia)
1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra)
0

MODELO DE CAPAS

1 vida
(Gaia)

¿de qué se trata? Se puede decir mucho sobre la vida, siempre que no se pida una definición. Los organismos que tienen vida se reproducen y evolucionan, consumen energía (se alimentan), responden a estímulos y reaccionan. La vida viola la segunda ley de la termodinámica que describe una tendencia universal a la descomposición y el desorden. Para describir la vida, los físicos y químicos usan conceptos como energía, entropía, formas moleculares y fuerzas de unión. Esto permite explicar cómo funcionan las células y cómo se pliegan las proteínas. Es decir, cómo funciona el *hardware* de la vida. Los biólogos, en cambio, usan conceptos como instrucciones codificadas, señalización, control, respuestas. Es decir, es el lenguaje del *software*. El modelo de capas que ocupa todo este libro tiene al *hardware* ocupando las capas inferiores y el *software* se posiciona en las superiores.

Es imposible una definición de "vida" que contemple a todo el universo. Alguien imaginó a un científico en el siglo 17 (antes de la teoría molecular) tratando de definir el agua. Podía decir que es un líquido, transparente, que calma la sed y es un buen solvente. Hoy sabemos que es H_2O. Lo mismo ocurre ahora con la definición de vida, se define describiendo sus características. Una definición de vida que tenga validez universal (para todo el universo) es desconocida. Es muy probable que lo que vemos hoy en la Tierra sea una muestra única, un "estudio de caso" dentro de una definición más amplia. ¿Por qué? Basta pensar que todos los seres vivos en la Tierra descienden de un ancestro común llamado LUCA. No hay ninguna garantía para suponer que el camino anterior hasta LUCA y posterior desde LUCA sea único. La vida como la conocemos puede no ser una muestra representativa de la vida con carácter universal. Las proteínas se forman con secuencias de 22 aminoácidos, pero hay unos 250 aminoácidos. Otras vidas podrían usar otros aminoácidos. El material genético ADN está formado por cuatro bases de ácidos nucleicos, pero podrían haber ocurrido otras alternativas diferentes. La vida y la inteligencia extraterrestre se analizan en la última capa del presente modelo.

El concepto de GAIA se refiere al ecosistema global que soporta toda la vida. La hipótesis de Gaia surge en 1979

del proyecto de la NASA para descubrir vida en Marte. Lo que llamaba la atención en ese momento eran las diferencias de la Tierra con los planetas más próximos. Se postuló que la vida era la responsable de la atmósfera y de mantener las condiciones adecuadas. La vida autorregularía las condiciones esenciales (temperatura, composición química, salinidad en los océanos) por lo que tiende al equilibrio (homeostasis). Sin la vida, la Tierra debería estar en equilibrio químico y con un 99 % de CO_2 en la atmósfera (como Marte y Venus). No habría vestigios de oxígeno y nitrógeno, los que habrían reaccionado en su totalidad. Pero la Tierra es un hábitat muy favorable para la vida y se mantuvo bastante estable a lo largo del tiempo geológico. La temperatura global terrestre permaneció dentro de parámetros aceptables para la vida a pesar del incremento en la energía solar. También la composición atmosférica y la salinidad de los océanos permanecieron casi constantes. Se trata de un equilibrio que fluctúa entre márgenes extremos pero compatibles con la vida. Podría ser que el planeta tuviera desde un inicio las condiciones apropiadas para la vida. Pero la teoría de Gaia propone lo opuesto: dadas las condiciones iniciales, la propia vida las modificó llegando a lo que es actualmente.

El ancestro LUCA

(F101) LUCA es el ancestro común de todos los seres vivos. Existió hace 3.800 Ma. El "último ancestro común universal" LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) es el primer ser vivo del cual descienden todos los actuales. Este ancestro emergió como el ganador final en la evolución inicial. Es casi seguro que la vida surgió de un único ancestro común en lugar de varias fuentes en paralelo. Todos los demás organismos fueron metabolizados y consumidos. Una forma de precisar quién fue Luca, es responder quién no es. No fue el primer organismo vivo que existió (antes la evolución hizo muchas otras pruebas), no fue el único organismo que existía en su momento (había muchos contemporáneos cuya descendencia desapareció), no es el organismo actual más parecido al antepasado común. El concepto de LUCA se puede aplicar a otros niveles, por lo que hay un LUCA para los mamíferos, que tendría unos 320 Ma.

Sin fósiles, LUCA se define por las características más probables. LUCA es desconocido, pero algunas características tienen alta probabilidad.

-LUCA era un procariota, es decir un organismo unicelular que no tenía núcleo (los eucariotas tienen células con núcleo). Era similar a una arquea que no dependía de la luz ni de sustancias orgánicas para sobrevivir.

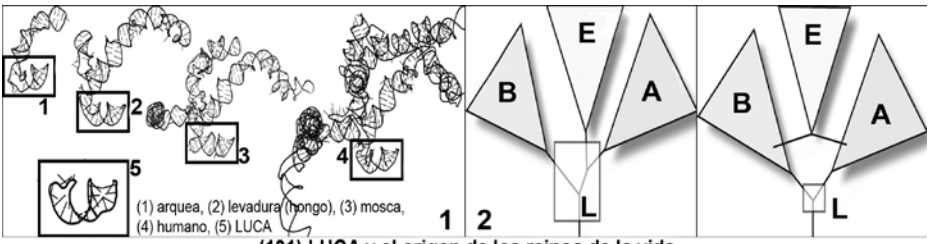
-Estaba empaquetado dentro de una membrana que entregaba un microambiente para la construcción de proteínas complejas.

-Utilizaba el ADN como memoria de genes y las proteínas estaban construidas por 21 aminoácidos.

-Tenía respiración anaeróbica (no había oxígeno libre, ni ozono) y dependía de químicos inorgánicos y CO_2. Su metabolismo estaba repleto de enzimas sensibles al O_2, incluyendo proteínas del tipo hierro-azufre (FeS).

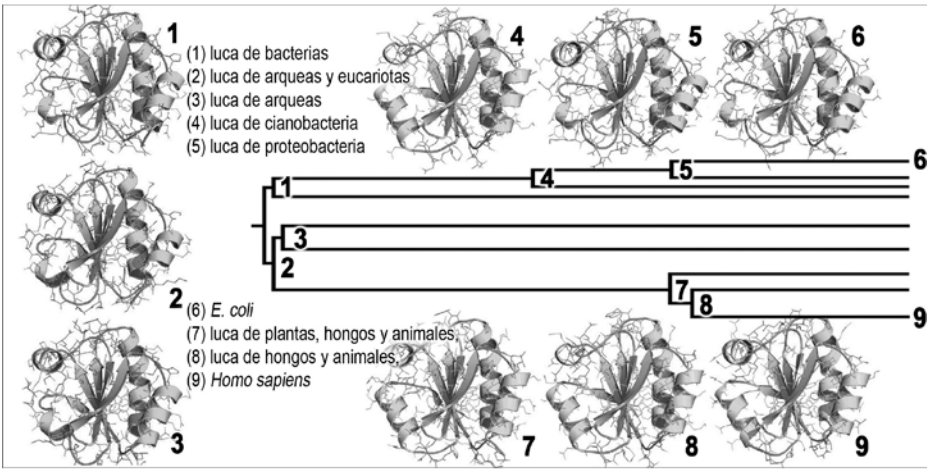
-LUCA fue un organismo autótrofo que pudo vivir en los respiraderos hidrotermales. El mejor ambiente sería de agua líquida, pH neutro, alta salinidad, alta temperatura (era termófilo) y alta presión.

-Utilizaba ATP (adenosín trifosfato) para transporte de energía. El balance indicaba menor concentración de sodio y mayor de potasio en el interior de la célula.



(101) LUCA y el origen de los reinos de la vida

(1) La hipótesis dice que "si un gen está en todas las ramas de la vida también estaba en LUCA". El problema es la transferencia horizontal de genes que comparte genes entre las diferentes ramas de la vida. **(2)** Dos hipótesis de la división de la vida partiendo de LUCA (L). Son la hipótesis de 3 dominios (B: bacterias, A: arqueas y E: eukariotas) y de simbiosis con mitocondrias y con plástidos.



(102) Evolución de la vida seguida mediante la proteina Tiorredoxina. Cuando se conoce a LUCA se dice que el árbol filogenético está "enraizado", es decir, se conoce la raíz del árbol.

-Participaba del intercambio horizontal de genes en mayor medida que las actuales bacterias. Debió ser un organismo bastante avanzado, con un éxito excepcional. En suma, ese organismo y sus descendientes se quedaron con toda la vida en la Tierra.

(F101) El genoma de LUCA se reconstruye sobre la base de los elementos comunes de toda la vida. El genoma no solo es una receta para fabricar seres vivientes, también sirve de registro histórico.

(1) Un estudio analizó el genoma de 1.800 bacterias y 130 arqueas con unos 6 millones de genes. El objetivo era saber qué genes están en todas las ramas de la vida. Si un gen está en todas las ramas, entonces estaba en LUCA. Se deberían eliminar aquellos genes que estaban en una rama y luego fueron transferidos a otra. El estudio encontró 11.093 grupos de genes que son comunes en bacterias y arqueas. Pero solo 355 (el 3 %) no habían tenido una transferencia lateral entre reinos. En otras palabras, el 97 % de estos genes se pasaron entre bacterias y arqueas. Este equipaje mínimo de LUCA indica lo que podía hacer. Lo que falta es lo que no podía hacer.

(2) Por ejemplo, casi todas las células vivas bombean iones a través de la membrana

para generar un gradiente electroquímico. Este gradiente se usa para formar la molécula de energía ATP. Pero esta funcionalidad no estaba presente en LUCA. Así que debía aprovechar un gradiente preexistente en forma natural entre el agua de los respiraderos y el agua salada. Cuando evolucionó la capacidad de generar un gradiente propio, la vida pudo separarse de los respiraderos. El estudio genético no encontró genes involucrados en la fabricación de aminoácidos; por lo que dependía de los producidos en forma espontánea en las charcas.

Los virus

Lo que les falta a los virus para ser considerados vivos. Los virus forman una rama aislada de la vida, pero se cuestiona el hecho de que tengan vida. Se componen de 2 o 3 partes: en el interior está el material genético (ARN o ADN), luego hay una cubierta proteica (cápside) y en algunos virus hay una bicapa de lípidos de protección adicional (envoltura vírica). Esta capa permite al virus subsistir fuera de una célula e infectar a otros seres vivos. Los virus comparten características comunes entre sí: son pequeños (menos de 200 nanómetros), se pueden replicar solo dentro de una célula huésped, y ningún virus conocido contiene ribosomas. Este punto es clave: la falta de ribosomas le impide producir proteínas desde el ARN o ADN, por esto necesita una célula que lo hospede y que permita la reproducción. Los virus, para "tener vida", deberían poder reproducirse, mantener constante el medio interno (homeostasis), responder a estímulos, tener procesos metabólicos y evolucionar. Los virus cumplen, en parte, algunas de estas propiedades, pero nunca todas a la vez. Se reproducen, pero de manera indirecta gracias a la maquinaria de una célula externa. No llevan a cabo procesos metabólicos y no pueden generar ATP. No poseen ribosomas y no pueden producir proteínas. De acuerdo con una definición estricta de la vida, los virus son inertes, es decir, son parásitos intracelulares obligados.

Los virus como organismos vivos. Poco después de que surgió la vida celular, la mayoría de los virus lograron encapsular su genoma dentro de capas de proteínas protectoras. Los pliegues de estas proteínas (cápside) evolucionaron hasta superar la resistencia de las bacterias. Un sello distintivo del parasitismo es que se volvieron infecciosos. La evolución de los virus es darwiniana: se reproducen en células que evolucionan e impulsan la evolución de los virus y lo hacen en una forma muy rápida (p.ej., virus de la gripe). Los virus gigantes son tan grandes como bacterias y tienen genomas de ADN más complejos que algunos organismos microbianos simples. Muchos de los genes solo existen en los virus y codifican proteínas únicas. Los virus son creadores de novedades genéticas. Se definieron cuatro familias de virus gigantes y se cree que las diferencias entre estas hacen que no tengan un origen en común. Estos aspectos apuntan a que los virus son seres vivientes.

Los virus habrían sido más complejos y redujeron su genoma para ser parásitos. /// Un estudio analizó las estructuras tridimensionales de las proteínas como si fueran fósiles moleculares. Se supuso que las estructuras más frecuentes y en más grupos son las más antiguas. Se analizaron proteínas de más de 1.000 organismos (arqueas, bacterias, virus y eucariotas). El árbol de la vida resultante tenía cuatro ramas, una de ellas eran los virus. Los virus gigantes (con ADN) aparecieron temprano en la evolución,

cerca de LUCA. También hay evidencias de que fueron mucho más complejos y tuvieron una dramática reducción en sus genomas, lo que explicaría su eventual adopción de un estilo de vida parasitario.

Los virus son manipuladores de las otras ramas de la vida. Los virus tienen una interacción muy activa, de forma que beneficia a unos y complica a otros. Son parte activa en las interacciones entre especies.

(1) Un estudio trabajó con una avispa (*Dinocampus coccinellae*) que parasita al escarabajo mariquita rosa (*Coleomegilla maculata*). La avispa usa su aguijón (ovipositor) para depositar sus huevos en la mariquita. Las larvas se desarrollan dentro del escarabajo y, después de 20 días, emerge lista para pupar. Hace girar su capullo entre las patas del escarabajo y comienza la transformación. El escarabajo, en lugar de atacar al parásito, lo protege hasta que la avispa eclosiona. Luego, el escarabajo se recupera y puede llegar a vivir una vida normal de escarabajo. La clave de esta manipulación parece ser un virus de ARN (género *Iflavirus*) que afecta al cerebro del escarabajo. El virus está presente en los ovarios de la avispa, se transfiere en los huevos y se aloja en el tejido de neuronas. El cambio de conducta del escarabajo es un trastorno neurológico. Podría ser que se deba a la replicación del virus en los ganglios cerebrales en lugar de una manipulación directa de la avispa parásita.

(2) Las plantas leguminosas tienen al pulgón verde (*Acyrthosiphon pisum*) como un enemigo herbívoro. El pulgón no solo se alimenta de las plantas, sino que lleva un virus (APV) que disminuye las defensas de la planta. El virus se encuentra en las glándulas salivales e intestinos del pulgón donde se reproduce. Cuando el pulgón se alimenta de la planta, el virus se transfiere a través de la saliva. La supervivencia del pulgón aumenta porque el virus suprime las hormonas de defensa en la planta.

MODELO DE CAPAS

2 sensibilidad (microbios)

¿de qué se trata? De las diversas características de los seres vivos, el modelo de capas necesita la respuesta a los estímulos. El resto son necesarias para sostener la vida a largo plazo. Todos los organismos son sensibles a diferentes variables físicas (luz, temperatura, gravedad, magnetismo, etc.) y químicas (humedad, nutrientes, tóxicos, sal, etc.). Con esta información, toman decisiones, se agrupan en colonias, se reproducen cuando es conveniente y atacan a las víctimas. En este apartado solo se analiza la sensibilidad de los microorganismos, como introducción al resto de los organismos pluricelulares.

las bacterias

El *biofilm*: mantienen la variedad y dividen el trabajo. Las bacterias que forman un *biofilm* (biopelícula) actúan como un ecosistema protegido por una capa externa viscosa. Las bacterias producen esta capa en forma comunal. Tiene funciones de protección porque contiene antibióticos.

(1) La comunidad mantiene la diversidad. /// Un estudio encontró que cuando las bacterias son saludables, producen más *biofilm* y se vuelven más fuertes y resistentes. En estas condiciones otorgan espacio también a las bacterias débiles permitiendo su crecimiento. Se observó que dividen las tareas laboriosas y se organizan de manera estructurada. Las comunas mantienen bacterias que no son viables cuando están solas, pero aportan una diversidad que se necesita para prosperar en situaciones extremas. Son un indicador de la variedad dentro de la comunidad.

(2) Bacteria *Bacillus subtilis*: dividen el trabajo. Esta bacteria reside en el suelo y forma un biofilm con una comunidad donde hay división del trabajo. **///** Los estudios indican que algunas bacterias secretan una matriz extracelular que las ancla al lugar, mientras otras permanecen móviles. En los bordes se dividen para el crecimiento, mientras en el interior liberan esporas para colonizar otros lugares. Las bacterias en el borde están más expuestas y se reproducen rápido para expandir el biofilm. También tienen acceso a nutrientes y oxígeno que no fueron alcanzados en el momento. En cambio, en el interior, son dependientes de los pocos nutrientes remanentes, pero pueden

sobrevivir más tiempo. Las células móviles en la periferia desarrollan flagelos extras y pueden nadar con más energía. Algunas células de borde secretan un material resbaladizo que ayuda a deslizarse. El enjambre permite al *biofilm* explotar lugares mejores antes de que lleguen otras comunidades. Las comunidades vecinas se tocan, pero no se unen. Un compuesto en la superficie mantiene la tensión superficial (material surfactante) que se acumula y actúa de barrera contra las otras comunidades.

(F103) El *biofilm* es como un organismo multicelular. Los fósiles más antiguos aparecen como *biofilm* bacteriano. Quizás así fue LUCA. **///** Un estudio usó muestras de *biofilm* de *Bacillus subtilis*. Se secuenció el genoma, se estudió la expresión genética y se cuantificaron las proteínas codificadas durante el proceso de crecimiento del *biofilm*. Se encontró que los genes más antiguos se expresan en los primeros momentos y los genes recientes más tarde. Es decir, "la ontogenia recapitula la filogenia". El *biofilm* tiene una arquitectura organizada por etapas y se usan bastante los genes que corresponden a organismos multicelulares. Estos hallazgos llevan a pensar que un *biofilm* es como un individuo multicelular y no como un agrupado de células individuales.

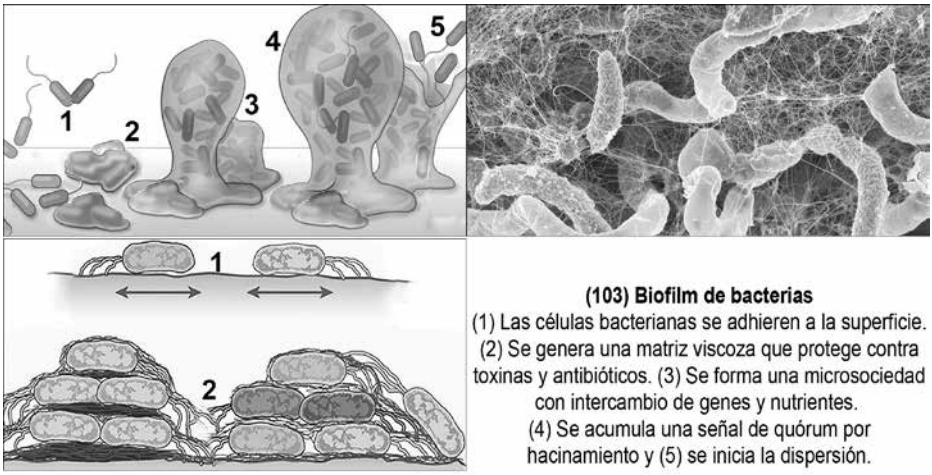
El reconocimiento es necesario para rechazarse o unirse.

(1) Identifican y rechazan a otras cepas. /// En los *biofilm* de *B. subtilis* se realiza una discriminación por parentesco. Para reconocerse, secretan compuestos antibióticos que son tóxicos para otras especies, pero no para los propios. En el *biofilm* de la bacteria *Proteus mirabilis* se reconocen dentro de la propia cepa y se identifican las células invasoras. Con estas se usan estructuras punzantes como puñales que se encuentran en la superficie celular para atacar. También se inyectan venenos que matan a casi todos los que están estrechamente relacionados.

(2) Identifican y se unen o atacan. Las bacterias *Streptococcus mutan* son un patógeno responsable de causar caries cuando forman un *biofilm* en la placa dental. Las caries se forman porque liberan ácidos que deterioran el esmalte dental. **///** Un estudio distribuyó bacterias en un material similar al esmalte dental. Se siguió a cientos de microbios durante horas mientras se dividían y formaban núcleos que se ampliaban. Solo creció un subconjunto de las bacterias (menos del 40 %), el resto murió o fue absorbido por el crecimiento de las microcolonias. Durante el crecimiento, si se encontraban dos microcolonias, no competían, se fusionaban y crecían como una unidad. El responsable es un polímero extracelular que actúa como una secreción pegajosa. Cuando se introdujo una enzima que digiere a los polímeros, las comunidades se disolvieron y volvieron a ser bacterias individuales. Luego se agregó una bacteria enemiga (*Streptococcus oralis*) que puede inhibir el crecimiento de *S. mutans*. Esta presencia afectó la capacidad para formar colonias. También se agregó un hongo (*Candida albicans*) que en el *biofilm* contribuye a las caries dental. Se observó que no afectaba a la tasa de crecimiento del *biofilm*, pero ayudaba a unir las microcolonias adyacentes.

El crecimiento y movimiento.

(1) Bacteria *Pseudomonas fluorescente*: **el estrés reduce la capacidad de crecimiento**. **///** En un estudio se las sometió a dos factores de estrés. Se les administró un antibiótico y en paralelo debían lidiar con un depredador unicelular (*Tetrahymena thermophila*). Después de poco tiempo, la población de bacterias estaba cambiando. Eran mucho más lentas y menos efectivas



(103) Biofilm de bacterias
(1) Las células bacterianas se adhieren a la superficie. (2) Se genera una matriz viscoza que protege contra toxinas y antibióticos. (3) Se forma una microsociedad con intercambio de genes y nutrientes. (4) Se acumula una señal de quórum por hacinamiento y (5) se inicia la dispersión.

en desarrollar resistencia y protegerse. El tamaño de la población se redujo. La reproducción se vio afectada por el estrés.

(2) Bacteria *Bacillus mycoides*: **en una placa de laboratorio las bacterias tienen un movimiento ordenado. ///** El movimiento de las bacterias en conjunto se estudió en placas de agar de laboratorio. Se determinó que forman filamentos de células. El movimiento resultante es una espiral. El sentido de la migración (según las agujas del reloj o el contrario) parece ser un rasgo hereditario. Fuera del laboratorio, la limitación de nutrientes o la competencia rompe la estructura de movimiento en espiral. Esto indica que el movimiento sigue una estrategia básica en espiral y que la sensibilidad lo adapta al ambiente. No es al azar.

Bacteria *E. coli*: **el estrés pone en evidencia las estrategias optimistas o pesimistas. ///** En un estudio se privó a las bacterias de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo) y se observó qué estrategia seguían en el uso de los pocos materiales. La primera decisión bascula entre crecer o invernar. Si se elige crecer, la segunda decisión es producir ribosomas (la maquinaria necesaria para construir las proteínas) o producir proteínas (los ladrillos para construir células y reproducirse). Se encontró que la estrategia dependía del elemento escaso. Con poco carbono y nitrógeno, produjeron más ribosomas. Con poco fósforo, produjeron más proteínas. La justificación son los nutrientes necesarios para cada caso. El fósforo es una limitante para producir el ARN que construye los ribosomas mientras que el carbono y nitrógeno son limitantes para fabricar proteínas. La producción de ribosomas o proteínas son estrategias consideradas "optimistas", ya que adelantan trabajo para cuando vuelva la abundancia de los otros nutrientes. Una estrategia "conservadora" sería producir solo lo necesario y una "pesimista" es invernar. Se podrían imaginar comunidades de bacterias optimistas y otras pesimistas que conviven. **En la vida todas las estrategias de decisión son necesarias para asegurar la supervivencia a corto y largo plazo.**

Los microbios y las plantas pueden medir el tiempo. Un reloj químico es un juego de concentración entre varias proteínas. La caída por debajo de un umbral activa la producción, hasta que la acumulación por enci-

ma de otro umbral la interrumpe. Mientras la producción está cortada las proteínas se desintegran a una tasa conocida hasta que llegan al umbral inferior.

(1) El reloj circadiano más simple. /// Las cianobacterias hacen fotosíntesis por lo que absorben la energía solar. Se estima que tienen 3.000 Ma de historia. En aquel entonces, los organismos que tenían defensas (peroxirredoína) tendrían una ventaja ante el aumento del oxígeno en la atmósfera. Los antioxidantes trabajan como un reloj solar porque indican la cantidad de oxígeno liberado por la fotosíntesis. La cianobacteria (*Synechococcus elongatus*) tiene un reloj de solo cinco proteínas, es el reloj más simple conocido. Otra cianobacteria (género *Arthrospira*) tiene proteínas circadianas que se pueden reproducir en un tubo de ensayo y en ausencia de las células vivas. Basta con una solución de proteínas y energía (ATP), para generar un reloj que funciona durante semanas.

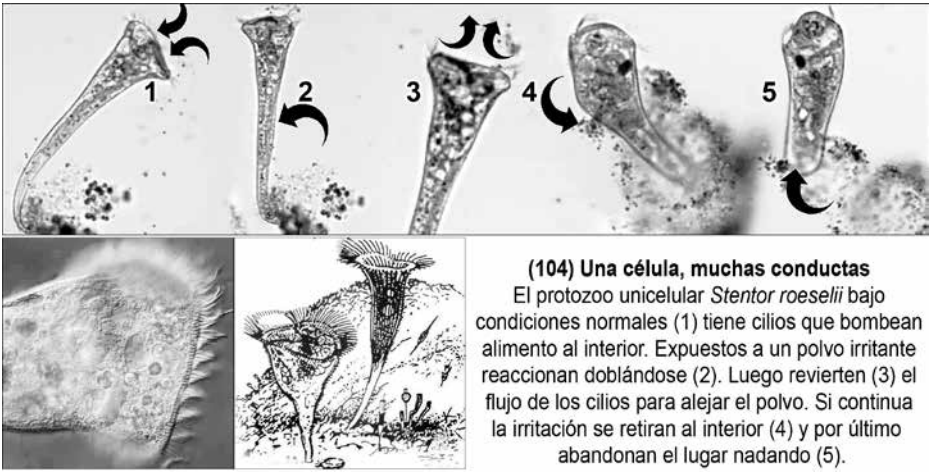
(2) El reloj de las plantas. /// En las plantas hay un grupo de 10-20 genes que forman bucles de retroalimentación en cada célula. Se sincronizan con los cambios en la luz y temperatura. Así que la muerte (senescencia) o renacimiento de una planta es un mecanismo de relojería biológico. Este mecanismo determina cuándo es el momento de reciclar moléculas conservando los nutrientes para la próxima temporada. Es la hora del color amarillo de las hojas. El sincronismo del reloj interno con el ambiente se hace mediante la duración del día y la intensidad de luz.

habilidades sorprendentes

Ameba *Physarum*: aprende, memoriza y olvida. /// Las amebas se vuelven más lentas en condiciones frías. En un estudio se aplicaron ciclos de frío-calor de forma que la ameba se sincronizó con estos ciclos, anticipando lo que debía hacer (una especie de aprendizaje para predecir). Cuando los picos de frío desaparecieron dejó de seguir el ciclo (perdió la memoria). Esta ameba tiene una memoria química que es un sólido suspendido en líquido, dentro de un gel espeso y viscoso. El sólido fluye en el gel como el agua en una esponja, creando una red de canales de baja viscosidad. Esos canales se fortalecen mientras la ameba continúe respondiendo a un entorno estático. Pero si ese entorno cambia, los canales se descomponen y aparece una nueva red a medida que la ameba se adapta. Sin embargo, durante un corto tiempo, la ameba retiene un recuerdo de esas condiciones anteriores. Es una forma de memoria para la ameba.

Alga roja marina *Antithamnion*: se regenera, pero solo en la placa de Petri. /// Esta alga forma filamentos de células. En laboratorio se cortó una célula en dos, el citoplasma se escapó y quedaron los dos fragmentos de la pared celular vacíos. Sin embargo, en 24 horas, se reparó el daño: el espacio celular vacío se restauró y las paredes celulares se realinearon. En la naturaleza, las partes rotas se esparcen, y esto impide la reparación. Lo que sorprende es que exista un mecanismo que solo es posible en laboratorio pero imposible en la naturaleza. ¿Se debería pensar que lo observado es la solución a un problema?

Ameba *Difflugia*: arma un caparazón con granos del suelo. Este género de amebas incluye unas 300 especies de agua dulce. En la naturaleza construye caparazones juntando granos de arena del lodo donde vive. El caparazón tiene forma de jarrón y una simetría notable. La ameba carece de ojos, glándulas de cemento, músculos y cerebro. Sin embargo, este organismo unicelular cons-



(104) Una célula, muchas conductas
El protozoo unicelular *Stentor roeselii* bajo condiciones normales (1) tiene cilios que bombean alimento al interior. Expuestos a un polvo irritante reaccionan doblándose (2). Luego revierten (3) el flujo de los cilios para alejar el polvo. Si continua la irritación se retiran al interior (4) y por último abandonan el lugar nadando (5).

truye un caparazón de protección. Cuando produce la división celular, el caparazón se hereda a cada una de las hijas. Sorprende, pero no debería. Las células son autónomas y hacen todo con poca mediación externa. Toman decisiones para enfrentar dificultades imprevistas.

Levadura *Kluyveromyces lactis***: el intercambio de genes y la domesticación**. El intercambio de genes es anterior a LUCA. Gracias a este mecanismo, ciertos organismos comparten o adoptan funcionalidades (genes) de otros. Por ejemplo, la capacidad de fermentar el azúcar de la lactosa se encuentra solo en unas pocas especies de levadura (*K. lactis*). La levadura es un hongo unicelular que permite producir quesos y yogur y se originó en un encuentro entre una mosca de la fruta y un cubo de leche hace unos 5.500 años. **///** El caso de *K. lactis* se inicia en un ancestro asociado a la mosca de la fruta. Parece que las moscas *Drosophila* usaban la leche fermentada pero llevaban hongos *K. lactis*, que no podían procesar la lactosa. Entonces se produjo un intercambio de genes entre hongos con uno relacionado (*K. marxianus*) que puede procesar la lactosa. Tiene dos proteínas que descomponen la lactosa en azúcares simples, que luego se usan para obtener energía y crecer. Cuando *K. lactis* adquirió los dos genes (Lac12 y Lac4) siguió su vida ligada a la lactosa. El producto fermentado por *K. lactis* parece que fue delicioso ya que se utiliza hasta nuestros días. Este fue uno de los tantos procesos de autodomesticación que permitió formar el ecosistema doméstico de los seres humanos.

(F104) Protozoo *(Stentor roeselii)***: toma decisiones con una estrategia de defensa escalonada.** Este organismo es una sola célula con forma de trompeta. Es un depredador superior en su medio. La superficie está forrada con pelos (cilios) que usan para nadar y generar un vórtice en el fluido circundante que arrastra la comida hacia la boca. En el otro extremo del cuerpo, secretan un material que los une a los detritos y los mantienen estacionarios mientras se alimentan.

(1) /// Los primeros estudios tienen más de un siglo (1906), pero, en el 2019, se confirmó que tienen una estrategia de defensa adaptativa. En 1906 se los expuso a un polvo

irritante y se encontró una respuesta escalonada. Se identificaron cuatro medidas. (a) La primera reacción era doblar el cuerpo (lo alejan) para evitar el polvo. (b) Luego revierten el movimiento de los cilios para generar una corriente opuesta y expulsar las partículas de su boca. (c) Si no es suficiente, se contraen como si se retiraran dentro de un caparazón. (d) Por último, se liberan del sustrato y abandonan el lugar nadando.

(2) /// En los estudios del 2019 se encontró que estas cuatro conductas estaban representadas pero con variaciones individuales (cada individuo tiene una personalidad). Algunos parecían doblarse y alterar sus cilios antes de contraerse. Otros se contraían en forma regular, mientras que otros alternaban la flexión y contracción. Un análisis detallado reveló dos jerarquías sucesivas: comienzan doblándose y alterando sus cilios y luego se contraen y desprenden para alejarse. Aunque no tienen cerebro parece que tienen un mecanismo que les permite tomar la decisión para cambiar de estrategia.

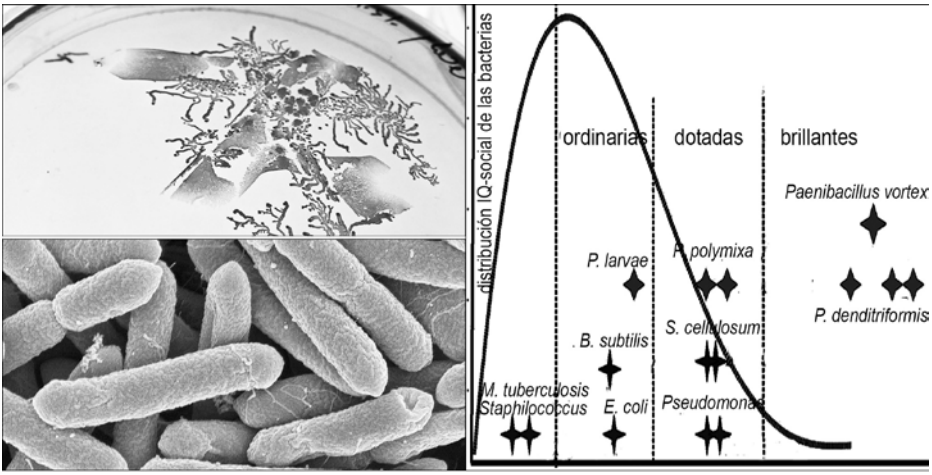
Algo falta por saber sobre las habilidades de una neurona aislada. Las neuronas están muy especializadas, casi abandonaron la división y reproducción. Sin embargo se les da muy poco crédito, delegando el poder del cerebro en el conjunto de neuronas y relegando el poder individual. Pero, si un alga roja marina (*Antithamnion*) puede regenerarse en laboratorio o una ameba (*S. roeselii*) construir una coraza de sílice, ¿por qué una neurona aislada no debería generar sorpresas? Una hipótesis dice que las neuronas tienen un poder interno que aún no está evaluado. Apuesta a que hay procesamiento interno mediante los potenciales eléctricos en la membrana. Por ejemplo, un estudio de los potenciales en neuronas cultivadas en el laboratorio mostró que emiten señales eléctricas de 40 Hz.

paenibacillus vortex: la bacteria más inteligente

¿de quién se trata? La bacteria social *P. vortex* se encuentra en ambientes complejos, como la rizosfera (en el entorno de las raíces de las plantas). Producen compuestos que son antibióticos que afectan a hongos, bacterias patógenas del suelo y a las raíces. Para el movimiento social de la colonia emplean señales repulsivas que son producidas desde atrás de la línea de avance y que empujan a la línea de avanzada. En superficies blandas, como una placa de Petri con agar, el movimiento colectivo forma un enjambre con apariencia de brazos. Cuando detectan parches de nutrientes dispersos se dividen y después vuelven a juntarse. El estudio del genoma concluyó que, considerando la capacidad de habilidades codificadas en genes, es la bacteria con mayor coeficiente intelectual. A continuación los detalles.

división del trabajo

La personalidad. Cada bacteria es flexible para comunicarse y reaccionar a las señales químicas de los demás. Cada una tiene su propia interpretación de lo que ocurre, lo que determina una personalidad. El gran número de miembros le otorga también una



(105) Inteligencia de la bacteria *Paenibacillus vortex*
(izquierda) Fotografías de una colonia de bacterias. **(derecha)** Diagrama del coeficiente de inteligencia social. Se calcula en base a la disponibilidad de genes. *P. vortex* tiene el coeficiente más alto. Las bacterias hospitalarias son las de menor coeficiente.

personalidad promedio a la colonia. Cada célula puede responder a un mensaje de una manera diferente, de acuerdo con su propia memoria química, pero para cooperar deben coordinarse y responder en conjunto.

Se comunican y dividen el trabajo: parecen un organismo multicelular. /// Los estudios determinaron que *P. vortex* tiene diferenciación celular y distribución de tareas en una colonia. Para lograrlo necesitan informar de su propio estado y conocer el estado de los demás. Se intercambian señales químicas que informan sobre el tamaño de la población, medidas ambientales (salinidad, humedad), estados internos (estrés), etc. Estas informaciones sirven para remodelar la colonia (p.ej., formar el cuerpo fructífero), para autoasignarse una tarea, para la toma de decisiones colectivas (*quorum*), para el reconocimiento (propios o extraños). Por ejemplo, cuando se expone a un estrés alimentario, cada bacteria genera un mensaje químico. Una célula compara su propio estrés químico con el colonial, de forma que, cuando encara una acción (toma de decisiones), aparece como coordinada (decisión de la colonia). Una inteligencia social, si existiera, requeriría algo más. Debería incluir una memoria colonial heredable, por ejemplo usando la epigenética.

Se especializan en la producción de enzimas. /// En el caso de los enjambres de *P. vortex* son agregados de células que parecen balsas de bacterias dispuestas una al lado de la otra. El movimiento puede o no ser regular y la velocidad es cercana a los 10 mm/hora. Los enjambres no tienen preferencia en el movimiento y se mueven aún si no hay alimento. Si encuentran alimento, las células se especializan para producir las enzimas digestivas. La diferenciación implica bacterias que tienen objetivos diferentes. Mantener una diversidad de habilidades, permite estar siempre listos para un futuro incierto. La fracción de células que se mantienen en reserva sin especialización depende de la historia en la colonia.

Cooperan con los hongos para moverse en toda la rizósfera. Para moverse, algunas bacterias (*Bacillus mycoides*) extienden sus filamentos, otras usan flagelos o se deslizan mediante contracciones. En el entorno del suelo y el laboratorio (superficies de agar duras), las bacterias *P. vortex* forman colonias desde donde se expanden. **///** Un estudio reveló que el movimiento arrastra hifas de un hongo (*Aspergillus fumigatus*) lo que facilita la dispersión de ambos. Por un lado, las bacterias pueden moverse y transportan esporas del hongo asexual. El hongo no puede moverse y se dispersa por corrientes de aire o agua. El movimiento de las bacterias arrastra partículas tanto en el frente de ataque como dentro de la masa. Por otro lado, las hifas del hongo pueden extenderse y cruzar brechas de aire que son un impedimento para el movimiento bacteriano. Se observó que las bacterias se mueven sobre puentes de filamentos (hifas o micelios fúngicos). Se midió el cruce de 30 cm a 10 mm/h. Así, las bacterias pueden cruzar barreras impenetrables en el suelo y el hongo se propaga en todas direcciones incluso cruzando en territorios con antimicóticos.

el coeficiente intelectual

(F105) El coeficiente intelectual social para las bacterias. El coeficiente BS-IQ (Bacteria Social-IQ Score) proporciona una medida de la capacidad del genoma para entregar inteligencia social. **///** Un estudio que incluyó la secuenciación del genoma de la bacteria *P. vortex*, comparó el genoma de 500 bacterias. Dado que no se puede medir la conducta de todas las bacterias, lo que se comparó es la disponibilidad de genes para hacer cosas. Esto permitió formar un *ranking* CON CURSIVAde cantidad de genes que están disponibles en forma potencial para actividades sociales. Se analizaron las facultades para comunicarse, procesar información ambiental (factores de transcripción), para tomar decisiones, sintetizar agentes ofensivos (tóxicos) y defensivos (neutralizantes), etc. Se encontró que las bacterias, lejos de ser organismos simples y solitarios, son criaturas sociales y complejas.

Algunas conclusiones.

-Las bacterias patógenas hospitalarias mostraron un BS-IQ en el nivel promedio. Tienden a ser poco avanzadas porque viven en un entorno inmutable (poco complejo) y tienen bajos puntajes de BS-IQ. Por ejemplo, *M. tuberculosis* está por debajo de la media y *E. coli* está en la media. Eso puede ser una buena noticia, porque de otra forma la lucha contra los patógenos sería mucho más difícil. La relativa falta de éxito en combatir las bacterias patógenas no sería porque son sofisticadas, sino porque se usan mal las herramientas de control antibiótico.

-El nivel BS-IQ para la bacteria *P. vortex* es el más alto dentro de la muestra y podría ser equivalente a 160 para el IQ de los humanos. Pocas bacterias tenían puntajes BS-IQ altos y estas compartían algunas características especiales, como múltiples cromosomas. Todas las bacterias de alto puntaje viven en un entorno complejo, de forma que, cuanto más complejo es el ambiente, más complejas son las bacterias.

ESTUDIO DE CASOS

moho de limo: un mínimo *hardware* social

¿de quién se trata? El moho de limo es una denominación genérica de ciertos microbios unicelulares (p.ej., *Physarum polycephalum*). El estudio del genoma lo clasificó dentro del reino animal (amebozoo), aunque otros lo colocan en protista (eucariotas que no se pueden clasificar como animales, hongos o plantas). Puede crecer como una capa hasta ocupar varios metros cuadrados de tamaño. Es una sola célula de color amarillo brillante con miles de núcleos. Prefiere áreas sombreadas, frescas y húmedas de los bosques templados. Se extiende produciendo tallos húmedos a lo largo del suelo en busca de hongos, bacterias y material vegetal en descomposición que pueda servir de alimento.

Tienen habilidades que sorprenden para un organismo unicelular. Desafía las nociones preconcebidas del *hardware* biológico mínimo requerido para una conducta compleja.
-Es sensible: responde a estímulos como la luz, productos químicos y vibraciones,
-se habitúa a compuestos tóxicos y propaga este aprendizaje cuando se divide o se une,
-coopera (o se niega) con otros miembros para reproducirse mediante la expulsión de esporas,
-si se lo divide en mil pedazos se tienen mil mohos,
-se mueve y puede cubrir unos centímetros en la hora,
-guarda una memoria química del camino recorrido, lo que ayuda a resolver problemas y laberintos,
-se anticipa y sincroniza su conducta con eventos periódicos.

La historia evolutiva del moho está poco documentada. Los cuerpos fructíferos (reproducción sexual) tienen una vida muy corta y la fosilización es muy improbable. **///** Se conocen tres casos de fósiles, dos tienen 35 Ma y el más antiguo tiene 100 Ma. Están conservados en ámbar de Myanmar. En el más antiguo, el cuerpo fructífero parece que fue arrancado de la corteza del árbol por un lagarto, que también fue atrapado por la resina pegajosa del árbol. La fosilización ocurrió en una etapa temprana cuando las esporas no habían sido liberadas. La similitud con los actuales mohos es llamativa. Como la etapa de reposo puede durar años, la reproducción se demora y, quizás por esto, la evolución es lenta.

(F106) Para la dispersión sexual necesitan de la cooperación del grupo. Tienen dos tipos de multiplicación. En la reproducción asexual, las células no se dividen, solo el núcleo se divide dando lugar a una célula gigante con múltiples núcleos. Para la reproducción sexual las células se unen solo si son de distinto sexo, lo cual es muy factible porque tienen 720 sexos. Las células se congregan y forman un cuerpo con forma de tallo que se eleva. Las células del extremo forman una masa gelatinosa que se convierte en las esporas y se adhieren a insectos propagadores. Este proceso (esporulación)

es irreversible. Para lograrlo se requiere la cooperación de las células individuales, de forma que algunas resignan la reproducción (las que quedan debajo) para que otras sean las esporas (en el extremo superior).

(1) Una inversión colectiva. /// Un estudio encontró que el grado de cooperación para formar el cuerpo fructífero depende del interés que tengan en el éxito. Cuando tienen un mismo genotipo invierten más recursos en hacer el tallo. Pero, cuando hay un genotipo que es minoritario tratará de lograr el máximo provecho. Buscará formar esporas en el extremo y, si no lo logra, dejará de cooperar. Cuando se mezclaron, en forma igualitaria, dos genotipos diferentes, el cuerpo fructífero no logró formarse. Ninguno de los grupos invirtió lo suficiente, no cooperaron porque la mayoría trató de llegar a la cima del cuerpo fructífero y colapsó bajo su propio peso.

(2) Los que no desean cooperar. El proceso de reproducción es irreversible y los individuos que forman el tallo y esporas mueren. Pero hay individuos que son solitarios y que desoyen el llamado bioquímico a formar la estructura. Son el reaseguro de toda la población en caso de falla en la reproducción. **///** El estudio de estos individuos permitió saber que no son defectuosos, que pueden generar descendencia y que se reproducen de la misma forma que el resto. Se encontró que hasta el 30 % de la población elige la vida solitaria en lugar de la acción colectiva. No son errores aleatorios, sino un rasgo heredable. El número depende de la densidad de la población. En poblaciones pequeñas, todas las células son solitarias. Por encima de un umbral una fracción constante es solitaria. Es el resultado de interacciones entre la sociedad y el ambiente.

aprendizaje y memoria

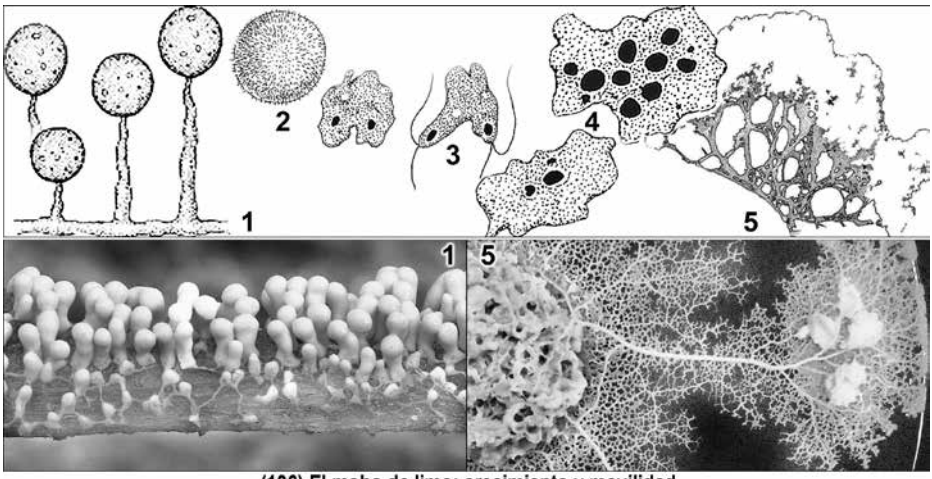
Se habitúan y dejan de temer a una sustancia repulsiva pero inofensiva.

(1) /// Para un experimento se colocaron dos placas de Petri unidas por un puente de gelatina. En una placa se colocó el moho y en la otra, el alimento (harina de avena). En el puente podía haber cafeína o quinina (productos amargos y repelentes). En el primer intento, el moho tardó 10 horas en cruzar el puente y trató de evitar a los repelentes. A los 2 días empezaron a ignorar la sustancia amarga y luego de 6 días no respondían al elemento disuasivo. El moho que se habituó a la cafeína aún mantenía el temor a la quinina y viceversa. Era una reacción selectiva. Pero, luego de 2 días de descanso, perdieron la habituación (memoria química) y volvieron a evitar las sustancias.

(2) La habituación se propaga. /// En los estudios se comprobó que un moho "no habituado" (ingenuo) puede adquirir la habituación si se permite que se fusione con otro ya entrenado. En las pruebas, un conjunto de moho se separó en miles de pedazos y se entrenó a la mitad de ellos con sal. La sal genera una respuesta más débil que la quinina o cafeína. Luego se fusionaron en distintas combinaciones. Se encontró que, cuando existía un trozo ya habituado, toda la entidad mostraba habituación.

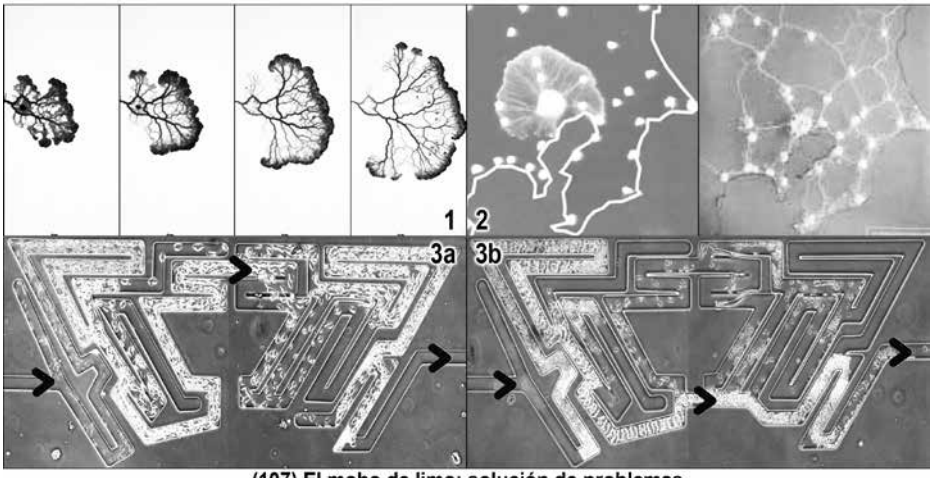
La habituación se memoriza y comparte esa información cuando sus redes se fusionan.

(1) La memoria es química. /// Los experimentos mostraron que la concentración de sal dentro del moho aumenta cuando se expone a un ambiente salino. Puede acumular en su interior hasta diez veces más sal que



(106) El moho de limo: crecimiento y movilidad

(1) Cuerpo fructífero reproductivo que libera esporas. (2) Las esporas se dispersan, caen y (3-4) multiplican los núcleos dentro de la misma célula. (5) Las células se agregan y se forma un plasmodio móvil.



(107) El moho de limo: solución de problemas

(1) El movimiento para la cobertura de una superficie plana. **(2)** La mejor red para cubrir un grupo de nodos. Cuando se coloca un plano del área de Tokio une los puntos con alimento concentrado (avena) y se genera una red de caminos. **(3) La solución a un laberinto.** El moho *D. discoideum* se mueve en un microlaberinto con entrada por la izquierda. En (3b) se generó un atajo respecto de (3a) y el camino se reconfiguró para tomar el más corto. El dibujo coincide con el laberinto de setos del Palacio de Hampton Court (Londres).

un moho sin memoria de salinidad. Cuando se los pasa del ambiente salino al neutral, excretan la sal absorbida, y pierden la memoria. Este es el vínculo entre la concentración de sal interior y la "memoria" de habituación. En el estudio se tomó parte del compuesto interior de un moho entrenado y se lo inyectó en un moho ingenuo. Dos horas más tarde, el ingenuo se comportó como un moho entrenado y el efecto se fue degradando durante seis días. Se concluyó que la misma sustancia aversiva es el soporte de la memoria del moho, que se propaga a otros mohos por fusión y que se pierde con el tiempo.

(2) La memoria perdura. /// En otra fase de los trabajos, algunos moldes se pusieron en estado de letargo durante un año, secándolos de manera controlada. Cuando se "despertaron", los moldes habituados se expandieron en terreno salado. Esto muestra que el moho puede habituarse (aprender), puede compartir este estado (enseñanza social) y mantenerlo durante la latencia estando congelados (memoria). La memoria química, mientras no se descomponga, se mantiene.

Puede sincronizar sus reacciones con eventos repetitivos. Estos organismos tienen fluctuaciones periódicas en su bioquímica lo que ayuda a sincronizarse con los estímulos externos. Por ejemplo, con descargas eléctricas o ciclos de humedad y sequía. Es un sentido rítmico que tiene que ser versátil, por lo que se requiere que las oscilaciones operen en un rango continuo de frecuencias. Las oscilaciones bioquímicas son la base de los relojes circadianos internos de todos los organismos.

(1) Sincronismo con pulsos eléctricos. /// Un estudio aplicó al moho una serie de choques eléctricos a intervalos regulares. Se observó que logró detectar el patrón y anticipar su reacción al próximo evento. Esta memoria permaneció durante horas, incluso cuando los choques se detuvieron. Una sola nueva descarga después del reposo volvió a dejar al moho esperando el ritmo aprendido antes.

(2) Sincronismo con aire seco. El moho parece notar el cambio de humedad y anticiparse ralentizando el movimiento. La velocidad normal es de un centímetro por hora, pero la reduce cuando la humedad disminuye en su entorno. **///** Esta sensibilidad al aire seco se usó en un estudio para estimular el aprendizaje. Se generaron tres episodios de aire seco con un período de 60 minutos. Se observó que el moho disminuyó la velocidad cuando se avecinaba el cuarto pulso de aire seco. Lo mismo ocurrió con pulsos en intervalos de 30 y 90 minutos. Este sentido de expectativa cíclica se desvaneció lentamente cuando se interrumpió el ciclo de aire seco. Pero volvió a aparecer si luego de seis horas, se volvía a aplicar. Este tipo de conducta no debe sorprender, porque es común en los seres vivos el proceso de aprendizaje y memoria, la pérdida lenta de la memoria y el reaprendizaje más rápido. Lo que sorprende es que ocurra en organismos tan simples.

toma de decisiones

(F107) El movimiento del moho. /// La fuerza de movimiento se produce por el flujo rítmico de ida y vuelta del protoplasma a intervalos cercanos a dos minutos. La fuerza tiene dos componentes. Una proviene de la contracción y relajación de una capa membranosa de actina. La actina es una proteína que forma microfilamentos (p.ej., el citoesqueleto de los insectos). Se forma un gradiente de presión sobre el cual el protoplasma fluye dentro de los límites de la periferia celular. La otra fuerza se genera por cambios

en el volumen en la periferia de la célula y en las invaginaciones de la membrana celular. La velocidad de desplazamiento es de algunos centímetros por hora.

(F107) Problema: la red de caminos entre núcleos urbanos.

(1) /// En varios trabajos se colocó al moho dentro de laberintos con harina de avena (recompensa) o en planos con alimentos distribuidos en montículos. Se observó que el moho se distribuyó por toda la superficie y formó una red optimizada de caminos. Por ejemplo, en un estudio se representó el mapa de 36 ciudades cercanas a Tokio y el moho creó una red similar al sistema de trenes existente. Con una eficiencia, tolerancia a fallas y costo, comparables. Las soluciones de la ingeniería ferroviaria no difieren de la biológica.

(2) La forma de memorizar. /// Cuando *P. polycephalum* detecta sustancias químicas del alimento, los tubos más cercanos comienzan a dilatarse. En tanto, los tubos más alejados se encogen y pueden ser reabsorbidos y desaparecer. El diámetro de los tubos ramificados son una memoria de la comida detectada. Después de engullir toda la comida, el moho se adhiere a los tubos gruesos y deja su "huella". Los compuestos químicos hacen que los tubos cercanos a la comida se ablanden y estiren.

(F107) Problema: el camino de salida en un laberinto. Un moho común del suelo (*Dictyostelium discoideum*) se mueve por quimiotaxis. Se trata de una migración celular orientada por gradientes de sustancias químicas. Las células crean gradientes dinámicos y locales al descomponer ciertos compuestos (quimioquinas y netrinas) **///** En un experimento se formó un entorno complejo que simulaba al suelo cerca de una raíz. Se encontró que la quimiotaxis permitió decidir el camino óptimo y la orientación de las células que vienen detrás. Estas células pueden detectar los cruces antes de alcanzarlos y decidir el camino a tomar. El diseño usado fue una copia del laberinto de setos en Hampton Court (Londres) pero con un ancho de camino de 0,85 mm. Las sustancias químicas depositadas permitían distinguir entre callejones sin salida y el camino correcto. Luego se probó con células modificadas para que no dejaran rastros químicos para otras células. De esta forma, luego de que se descompusieron los químicos, las células que llegaban quedaron sin saber a dónde ir.

Problema: el dilema del "bandido multibrazo". En este dilema hay que elegir entre dos alternativas. Cada una ofrece una recompensa al azar, pero una puede entregar una recompensa más alta. El desafío radica en decidir cuándo dejar de explorar y optar por una de ellas en forma definitiva. Este dilema se aplica en problemas de tragamonedas, inversores de *startup* o la elección de la fila en una cola de espera. **///** En un experimento, al moho se le permitió explorar dos direcciones opuestas con parches de alimentos al azar, pero una dirección era privilegiada. Se midió cuán lejos llegaba en cada dirección antes de elegir una de las dos. Se encontró que puede comparar las direcciones y elegir la de mayor concentración de alimento. Parece que el algoritmo de decisión que usa tiene la tendencia a explotar teniendo en cuenta la recompensa del muestreo pasado.

Problema: tomar la primera opción o esperar por algo mejor. El moho se adapta a distintos niveles de diferentes nutrientes, lo cual puede llevar a una diferenciación entre poblaciones. **///** Un ensayo colocó al moho en el centro de una placa de Petri y se distribuyeron fuentes de alimento con diferentes proporciones de proteínas y car-

bohidratos. Después de 60 horas, se estabilizó el área del moho sobre cada muestra de forma que equilibró la ingesta de nutrientes de manera uniforme. Se encontró que una cepa de moho de Japón engulló siempre el primer alimento que encontraba en su camino. Una cepa de Australia eligió el mejor de los alimentos presentados. Otra cepa de América se ubicó en el medio. El moho de Japón es probable que aventaje a otros en lugares donde los recursos son escasos (cualquier alimento es mejor que nada). La cepa australiana estaría mejor adaptada a los entornos ricos en recursos. La demora en la toma de la recompensa es aceptable si se está solo, pero en competencia, puede ser mejor tomar lo primero que se encuentra. Se trata de la capacidad de los organismos más simples para decidir, una de las capas intermedias del modelo bajo estudio.

MODELO DE CAPAS

31 memoria química (plantas)

¿de qué se trata? Las plantas son un modelo de memoria química, pero esta memoria la utilizan para muchas funcionalidades que son más importantes aún. Esta es la clave de este apartado: todo lo que es posible hacer sin disponer del sistema nervioso y cerebro. Se trata de tener sensibilidad, memoria, poder aprender y tomar decisiones, poder reconocer y comunicarse. Los compuestos detectables se encuentran diluidos (son solubles en líquidos) o volátiles (en el aire), son de propios y extraños (de congéneres o de otras especies), sirven para comunicarse o reconocerse. Las plantas son sensibles a la radiación luminosa (fototropismo), a la gravedad (para el crecimiento vertical), a la humedad y la sal (para responder al estrés ambiental). Tienen tacto y sienten los sonidos. Pueden guardar una memoria química de corto y largo plazo. Muestran un aprendizaje adaptativo, reconocen el parentesco y tienen una conducta sexual compleja y variada.

sensibilidad química

La sensibilidad al tacto (toques, mordidas o presión acústica). Esta sensibilidad debe considerarse en un contexto ecológico, pueden ser sonidos de insectos, del agua, viento y el contacto de animales.

(1) El contacto afecta al crecimiento. /// Un análisis encontró que muchos de los genes que se activan en respuesta a las heridas lo hacen también al contacto. Se trabajó con una variante genética de la hierba Arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*) que no producían el compuesto jasmonato o que lo producían en exceso. Se experimentó doblando suavemente las ramas varias veces al día. Las plantas que no producían jasmonato no podían modificar la tasa de crecimiento. Las plantas normales (usadas de control), en la misma situación, retrasaron la floración, tenían tallos florales más cortos y hojas más pequeñas, las heridas tenían menos infecciones de hongos y las larvas de polillas crecían menos en sus hojas. Todos estos son indicadores de la protección producida por el jasmonato. En las plantas que producían jasmonato en forma permanente se encontró que la prueba de doblado no modificó el crecimiento. Crecían mejor y se observó que no se tocaban con las plantas vecinas. Fueron más resistentes a las plagas.

(2) La respuesta de los genes al tacto. /// En otro ensayo con Arabidopsis se concluyó que, al menor contacto, se activó

una respuesta defensiva genética. A los 30 minutos de ser tocada, estaba activo cerca del 10 % del genoma y, si se repetía el contacto, el crecimiento de la planta se reducía hasta el 30 %. Se concluyó que las plantas reaccionan al tacto.

La sensibilidad al sonido del agua

(1) /// Un experimento colocó plantas de guisantes en macetas con forma de Y invertida. En un brazo se colocó un tubo donde fluía el agua y en el otro se tenía tierra seca. Las raíces crecieron hacia el brazo con agua, aunque no fuera accesible. Las plantas lograron detectar la presencia de agua, aunque el único indicador fuera el sonido. Cuando se les ofreció el tubo de agua y del otro lado un suelo humedecido, las raíces eligieron el suelo con humedad garantizada.

(2) /// En otro estudio se concluyó que las raíces de las plantas de maíz que crecen en el agua producen sonidos (*clics*). Los sonidos son el resultado de la circulación del agua en el interior del tallo. Cuando se reprodujeron sonidos similares, las raíces de las plantas se inclinaron hacia la fuente. El sonido tiene ventajas sobre la señalización química: se propaga más rápido, recorre distancias más grandes, y se puede generar con menos costos de energía. El problema es determinar los mecanismos sensoriales para reconocerlos. Si las plantas pueden interpretar sonidos de la presencia de agua, quizás también puedan interpretar la ausencia de sonidos que se asocian a la sequía.

La sensibilidad a las vibraciones de los insectos. Si a la hierba Arabidopsis se la expone a vibraciones, produce más defensas químicas (glucosinolato y antocianina). **///** Los estudios encontraron que pueden distinguir entre vibraciones de insectos (sonidos de masticación) y las ambientales (viento y canto de insectos). Un experimento colocó orugas sobre Arabidopsis y se midió el movimiento de las hojas mediante laser. Luego, se reprodujeron grabaciones de vibraciones en otras plantas. Las plantas que habían sido expuestas a las vibraciones producían más sustancias químicas repulsivas para las orugas (aceite de mostaza). Lo que sorprendió fue que las plantas expuestas a otras vibraciones (viento suave o sonidos de insectos) no aumentaron sus defensas químicas. Esta selectividad a la hora de distinguir entre diferentes fuentes permite una respuesta más eficiente.

La sensibilidad a la gravedad

(1) /// Los estudios en las raíces determinaron que el área donde se detecta la gravedad es distinta del área de crecimiento. Desde las células detectoras de la gravedad se activa la hormona auxina, la cual se mueve hacia las células que deben crecer para responder a la gravedad. El cultivo de Arabidopsis en la Estación Espacial Internacional en condiciones de ingravidez confirmó que las raíces crecen alejándose de la luz. La gravedad puede ser necesaria para que la raíz crezca lejos de la semilla, mejorando sus posibilidades de encontrar suficiente agua y nutrientes.

(2) /// También los hongos tienen capacidades sensoriales ligadas a la gravedad. Un hongo (*Phycomyces blakesleeanus*) responde al viento, tiene tacto y fototropismo y detecta la gravedad mediante cristales dentro de células individuales. Estos cristales son cuerpos densos que caen en el citoplasma de las células esporas. El movimiento muestra el sentido de crecimiento para una mejor dispersión. Es probable que un ancestro del hongo adquiriera la genética desde una bacteria mediante la transferencia horizontal de genes. El intercambio de genes es el gran democratizador de las funcionalidades en la vida.

memoria química

Sobre cómo funciona la memoria en el suelo. La memoria química se codifica como una concentración de moléculas. El tiempo de la memoria lo define la tasa de desintegración de esas moléculas. Por ejemplo, cuando una planta es mordida por herbívoros, libera compuestos químicos (metabolitos secundarios) que son los residuos de las reacciones químicas. Son compuestos volátiles (gases en las hojas y heridas) y solubles (líquidos en las raíces). Los volátiles son efímeros, se pierden, pero sirven de comunicación rápida con otras plantas (advertencia) o resultan atractivos para insectos aliados o repulsivos para los enemigos. Los metabolitos solubles permanecen en el suelo y se convierten en una memoria de corto o largo plazo. Los compuestos son específicos producidos por la saliva del herbívoro, como orugas devoradoras de hojas o insectos que comen raíces. Las futuras plantas que crecen en el mismo lugar pueden recoger aquellas señales del suelo y responder en forma selectiva.

El estrés se memoriza en los exudados de las raíces. Los exudados son los compuestos solubles de las raíces. Son específicos pudiendo identificar al individuo o a la población (indican un parentesco). Generan respuestas dinámicas, que pueden ser asimétricas (donante-sumidero) o alternativas (ahora donante, luego sumidero).

(1) /// En un estudio se cepillaron las hojas del maíz (*Sea mays*) simulando la presencia de una planta cercana. La respuesta fue la producción de más hojas y menos raíces, preparándose para la competencia aérea. Esto muestra la sensibilidad. Luego se recuperaron los productos químicos secretados en las raíces y se germinaron semillas de maíz en una solución con las secreciones recuperadas. Las semillas detectaron la diferencia entre los suelos y la raíz primaria de las plántulas creció hacia zonas con soluciones de plantas intactas. Esto sugiere que podían diferenciar entre los dos tipos de exudados. En el suelo quedó una memoria química disponible para ser interpretada.

(2) /// Otro trabajo expuso hierbabuena (*Mentha spicata*) de invernadero a orugas en las hojas y raíces. Se encontró que la composición de los hongos en el suelo cambió dependiendo del tipo de oruga. Luego se cultivaron nuevas plantas en el mismo suelo y se las expuso a los mismos insectos. Los cambios afectaron el crecimiento y la química del nuevo lote de plantas. Por ejemplo, afectó la palatabilidad (cualidad de ser grato al paladar) de las nuevas plantas que reflejaron las condiciones de las plantas anteriores.

Las semillas guardan una memoria que se presenta como latencia. La latencia (letargo) es un período en el cual la floración o germinación se demoran. Esto impide germinar con demasiado calor o frío, pero además no germinar cuando las condiciones son favorables por poco tiempo (días cálidos en invierno). Es un mecanismo de memoria y de toma de decisiones.

(1) /// Un metaestudio analizó los datos de latencia en más de 14.000 especies y encontró que la más antigua de las semillas (360 Ma) ya tenía latencia. También se determinó que las plantas sin letargo tienden a ser menos capaces de producir nuevas especies. Esta propiedad es genética y se puede perder en forma rápida, como ocurrió en las plantas domesticadas para agricultura. Por esta razón, la fecha de siembra es un parámetro importante en la agricultura, la semilla no puede controlar el letargo. Simplemente se hidratan y germinan.

(2) /// Los mismos genes que en las hojas y raíces sirven para tolerar el estrés ambiental (frío) son los que en las semillas trabajan en detener la germinación. Esto sugiere que las semillas reusaron genes disponibles para soportar el estrés ambiental. Las semillas mantienen una memoria de la temperatura pasada, lo que modifica la germinación. Un ambiente más frío puede indicar un invierno inminente, por lo que la planta produce semillas inactivas que no crecerán hasta la primavera siguiente. De esta forma la planta madre integra información en la semilla que funciona como memoria y determina la germinación junto con el ambiente.

La memoria y el olvido: en ambientes cambiantes es mejor no recordar. Según J.L. Borges "el olvido es la única venganza y el único perdón". Sin la necesidad de vengarse o perdonar, las plantas usan el recuerdo y el olvido para aumentar la supervivencia. Si se estudia una semilla, se puede "predecir el pasado" y esa información es buena para conocer qué va a hacer la planta. Pero en entornos cambiantes, puede ser mejor olvidar.

(1) /// Una hierba perenne (*Arrhenatherum elatius*) parece recordar las sequías y mejorar la producción si se repiten las mismas condiciones. Un estudio de dos sequías consecutivas encontró que la biomasa viva después de una segunda sequía aumentó con respecto a las plantas de control. Incluso después de la cosecha y el rebrote posterior. El contenido relativo de agua en la hoja no cambió, la fotosíntesis neta no se redujo, pero se encontró un incremento en la protección contra rayos UV.

(2) Un recuerdo sirve como predictor, pero un mal predictor puede ser costoso. En condiciones inestables todo predictor puede ser malo. **///** En un estudio con la pimienta acuática (*Polygonum hydropiper*) se encontró que, en caso de sequía, transmitía su estrés a las plántulas. Estas se volvieron más pequeñas y con raíces más cortas, aun si la temporada era buena. Después de un estrés hay una "fase de recuperación" donde la planta puede consolidar la respuesta o restablecerse a su estado anterior. Si las temporadas buenas y malas se alternan, sería preferible olvidar a guardar recuerdos inservibles.

tienen aprendizaje

Mimosa *(Mimosa pudica)***: aprenden a reconocer el contacto.** Esta planta es originaria de la América tropical y famosa por cerrar sus hojas cuando se la toca. Su sensibilidad es una conducta defensiva, costosa en energía y con mecanismos de ahorro por acostumbramiento (habituación). La contracción de las hojas se produce por un cambio brusco en la presión hídrica interna en la base de la hoja. El fenómeno se propaga por vía eléctrica y química en la planta, de forma que, basta con perturbar una sola hoja, para que reaccione toda la planta. El pliegue de las hojas reduce el área superficial y aparenta estar marchita.

(1) /// Un estudio analizó la memoria de habituación. Se le arrojaron gotas de agua y la planta dejó de cerrar sus hojas cuando se acostumbró a que no producía daños. El aprendizaje fue más rápido en un entorno menos favorable, con poca luz. La planta pudo recordar lo aprendido durante varias semanas, incluso después de que las condiciones ambientales habían cambiado. Los botánicos ortodoxos sugieren que los términos correctos a usar son habituación y desensibilización, en lugar de aprendizaje y memoria.

(2) /// En otro ensayo se arrojaron macetas desde 15 cm de altura. Luego de sobrevivir unas cinco veces a la caída, dejaron

de reaccionar recogiendo las hojas. Habían aprendido a ignorar una caída segura. Incluso un mes más tarde, la repetición del experimento no logró obtener respuesta. La memoria estaba latente.

(3) /// Las raíces de la mimosa también reaccionan al tacto liberando un cóctel de compuestos de azufre de muy mal olor. La emisión se produce mediante sacos similares a pelos, situados a lo largo de las raíces. Los sacos colapsan después de liberar el compuesto. El trabajo con plantas de semillero cultivadas en condiciones estériles encontró que también produjeron el olor sulfúrico. Esto indica que es un producto de la planta y no de bacterias asociadas a las raíces. Se observó que las raíces distinguieron entre diferentes tipos de contacto. Un solo toque con un dedo siempre desencadenó el hedor, pero no respondieron a objetos de vidrio o metal. Se desconoce cómo las raíces reconocen esta diferencia. Como este olor no podría estar dirigido a depredadores, se cree que debería actuar para defenderse de las raíces de otras plantas vecinas.

Arveja *(Pisum sativum)***: aprenden a asociar la luz con el viento.**

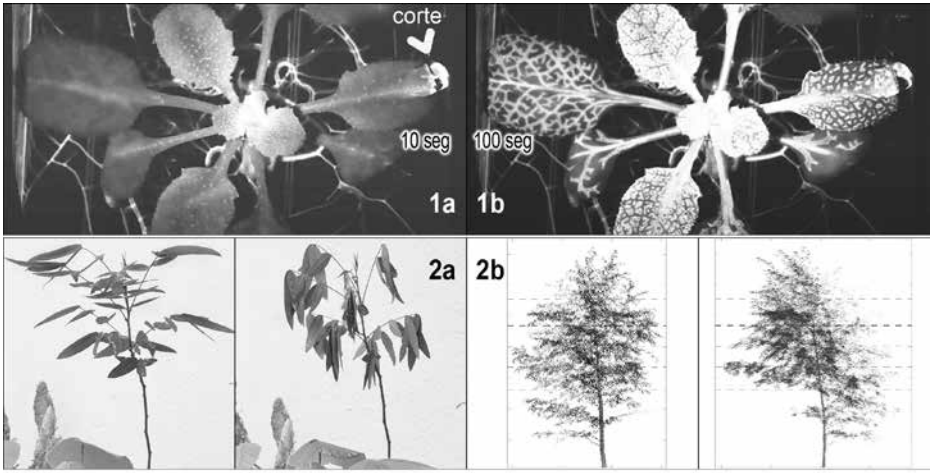
(1) /// Un trabajo colocó 26 plántulas de arvejas en la oscuridad en un tubo en forma de "Y". Luego se las iluminó (la recompensa) desde una dirección. Más tarde se sopló un suave ventilador desde la misma dirección de la luz, para un grupo de plantas y desde la otra dirección, para otro grupo. Se aplicaron cambios aleatorios de posición para evitar el acostumbramiento. Una vez terminado este entrenamiento, se quitó la luz y se usó solamente el ventilador. Un 65 %, 17 de las 26 plántulas, crecieron siguiendo la posición del ventilador como guía, esperando recibir la luz. Aprendieron a asociar la luz con el viento del ventilador.

(2) /// También se encontró que el aprendizaje ocurre solo en el ciclo diurno (ritmo circadiano de 07-19 horas). Es decir, el aprendizaje está condicionado al metabolismo, como en los animales. No solo hay una respuesta a los estímulos lumínicos para sobrevivir, sino que pueden elegir y predecir la aparición de la luz. Este aprendizaje prevalece sobre el fototropismo.

sufren estrés

La lluvia pone en alerta a una planta. /// Un experimento duchó plantas desde 15 cm de distancia y se registraron los cambios moleculares a nivel celular. Se encontró que son muy sensibles y no necesitaron fuertes lluvias para ser afectadas y alertadas a nivel bioquímico. Fueron miles de genes, cientos de proteínas y muchas hormonas de crecimiento que cambiaron tan solo 10 minutos más tarde. Este puede ser un mecanismo de defensa, ya que las lluvias arrastran bacterias, hongos y virus. Las hojas enfermas podrían esparcir patógenos a otras plantas a varios metros de distancia. Se encontró una reacción en cadena cuyo origen fue una proteína (Myc2) que activó miles de genes que preparan las defensas de la planta. También se encontró que, cuando llueve, las mismas señales que se extienden a través de las hojas se transmiten a las plantas cercanas mediante compuestos volátiles por el aire (ácido jasmónico).

El estrés que sufren los saltamontes es una memoria que impacta en el crecimiento de las plantas. La química del estrés se pone en evidencia como un desbalance entre compuestos. Bajo estrés, los animales acumulan hormonas que aumentan las tasas metabólicas. Como gastan energía, tienden a comer más alimentos



(108) (1) Comunicación química. Cuando la hoja de Arabidopsis se daña, se genera una ola de calcio que cubre la planta en decenas de segundos. El calcio se hace visible bajo luz luminiscente que se refleja en el glutamato. **(2) Descanso de las plantas.** Las plantas "duermen" como en el caso de las hojas del sen de campo (2a) y las ramas del abedul (2b) que se relajan entre el día y la noche.

ricos en carbohidratos (carbono) y menos alimentos ricos en proteínas (nitrógeno). Esto afecta al crecimiento y la reproducción. **///** Un estudio midió en los saltamontes la proporción entre carbono y nitrógeno (C/N) en grupos con y sin estrés. Se encontró que, con estrés, la proporción era un 4 % mayor a sin estrés. Luego se los enterró y se esperó por 40 días. Se agregaron plantas muertas al suelo y se midió la "tasa de mineralización" que refleja la rapidez con que las plantas se descomponen. Cuatro meses más tarde, se midió que las plantas se descompusieron tres veces más rápido en los suelos sembrados con saltamontes sin estrés. El aumento de nitrógeno cambió la tasa de descomposición producida por los microbios. Una prueba adicional fue crear "saltamontes artificiales" como paquetes de quitina, azúcar y proteínas y variar la composición de carbono y nitrógeno. Los resultados fueron idénticos. Se concluyó que la mera presencia de estrés en los insectos puede tener efectos colaterales en el suelo y en las plantas.

(F108) La mordedura de un herbívoro se propaga por toda una planta. Cuando un herbívoro muerde la planta, por la herida se liberan químicos. Pueden servir a otras plantas para prepararse, pueden atraer a depredadores que comen herbívoros o puede acumularse en el suelo y servir de memoria. Pero también se propagan por la planta.

(1) El calcio se propaga en la planta. /// Cuando una oruga de la col (*Pieris brassicae*) muerde el borde de una hoja de la planta Arabidopsis, en segundos, un resplandor de luz fluorescente se propaga por todas las hojas. La señal se mueve a una velocidad de un milímetro por segundo. Es una fracción de la velocidad de los impulsos nerviosos de los animales, pero muy rápido en el mundo vegetal. Toma unos minutos para inundar toda la planta y que se disparen los eventos de defensa y ataque. La mencionada luz fluorescente es solo un recurso de laboratorio para rastrear el calcio que viaja por los tejidos de la planta. Es una señal eléctrica y química. El glutamato liberado en la morde-

dura activa esta ola de calcio. Como el calcio tiene una duración corta, se requirió la ingeniería genética para hacer una planta Arabidopsis que muestre el calcio bajo luz fluorescente. Se trata de una proteína especial que solo se enciende alrededor del calcio y da una imagen en tiempo real. El glutamato también está presente en el cerebro de los animales. En animales y plantas se usan mecanismos similares para señalizar un evento. Esto indica un origen común o una convergencia evolutiva. O quizás es solo una falta de alternativas de la evolución.

(2) El calcio produce ácido jasmónico. /// Al parecer, toda la planta percibe la severidad del daño que propaga la ola de calcio. Se observa que en todas las áreas donde llega el calcio, la planta produce ácido jasmónico. Esto activa genes que producen una reacción defensiva. El metil-jasmonato (derivado del ácido jasmónico) flota en el aire como un perfume con aroma a jazmín. A los insectos les resulta repulsivo y les afecta la digestión. Además se activan defensas físicas que pueden endurecer la pared celular de la planta y la hace menos apetecible.

(3) El estrés produce menos calor. La luz fluorescente puede ser un recurso de laboratorio, pero la emisión térmica es natural. Por falta de agua o baja temperatura, las plantas producen un cambio en la emisión en el infrarrojo térmico (3.000-12.000 nanómetros). En condiciones de estrés, las plantas ajustan su actividad energética produciendo menos metabolismo y liberando menos calor (radiación en el infrarrojo).

comunicación química

(F109) Los metabolitos secundarios. Los microbios y las plantas se comunican en forma química, mediante compuestos solubles en agua o volátiles en el ambiente. Son miles de posibles compuestos, algunos fabricados desde la información genética y otros, residuos de la descomposición por el metabolismo. La comunicación involucra al tipo de compuesto y la concentración (es como gritar más fuerte). **///** Un estudio calculó que una planta promedio tiene un vocabulario de 3.000 compuestos químicos usados para comunicación, defensa, reproducción, aprendizaje y memoria. Por ejemplo, las petunias liberan mezclas simples de 7 a 10 compuestos y algunas orquídeas llegan a 100 ingredientes. A principios de los años de 1990, se habían contabilizado unos 700 compuestos volátiles procedentes de 441 tipos de plantas. Hoy se estiman en 25.000 los compuestos que son metabolitos secundarios en cada especie y unos 200.000 en todo el reino vegetal. Estos compuestos no tienen un rol directo, pero están involucrados en los procesos y pueden tener efectos que se desconocen por el momento. Cada especie tiene su cóctel propio de metabolitos (es un identificador de especie); además, cada individuo tiene su propia variante dentro del cóctel de la especie (es un identificador personal) y en cada momento, dependiendo de las condiciones ambientales, se tiene sus propias variaciones. **Los metabolitos secundarios pueden ser "observados" mediante la técnica de espectrometría de masas que identifica cada componente con su densidad.**

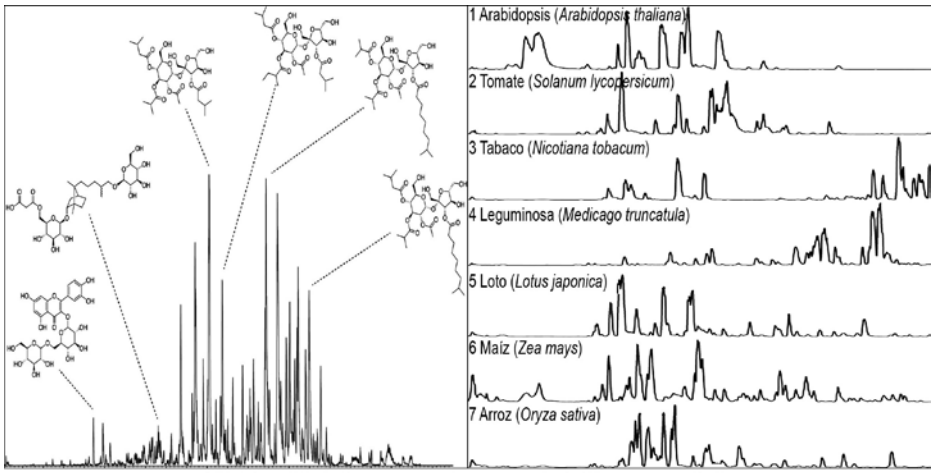
Las estrategias de producción de metabolitos secundarios. /// Hay dos teorías sobre cómo se regula la producción. "La defensa óptima" dice que las plantas adaptan el metabolismo de acuerdo con la mayor probabilidad de ataque futuro. "La teoría del objetivo móvil" dice que el metabolismo cambia al azar por lo que resulta impredecible para los herbívoros. En experimentos con el tabaco

silvestre (*Nicotiana attenuata*) se usaron dos herbívoros: las orugas de la polilla (*Manduca sexta*) especializada en el tabaco y una oruga africana generalista. Se usó la espectrometría para analizar los metabolitos y se encontró que los cambios metabólicos de la planta con ambos herbívoros son altamente direccionales. Esto respalda la teoría de la defensa óptima. También se utilizaron plantas con transgénesis y otras especies relacionadas. Los cambios metabólicos se produjeron por transformaciones marginales en la señalización del ácido jasmónico.

Comunicación por las hojas. La emisión de compuestos volátiles es una extensión de los químicos internos. Fluyen al exterior cuando una mordedura rompe la planta. Estos gases son identificados por los insectos siendo repulsivos o atractivos. La señalización entre plantas vecinas ocurre cuando cooptan esos gases y los identifican como propios. Esto mejora la aptitud del grupo y favorece a los parientes cercanos (selección de parentesco). La comunicación mediante gases es más efectiva entre parientes, con alta relación genética. La ayuda entre parientes divulga menos información a otras plantas competidoras. Un caso especial ocurre en los álamos, donde los conductos vasculares de las hojas no se interconectan con otras hojas. Por esta razón en caso de ataque a una hoja, las hojas vecinas son alertadas por los gases que ingresan por los estomas (parte inferior de las hojas) y preparan las defensas.

Arvejas (*Pisum sativum*)**: comunicación por las raíces. ///** Un estudio trabajó con seis plantas de arvejas de forma que cada maceta contenía las raíces de dos plantas. Una maceta se mantuvo en condiciones de sequía y se midió el estado de los estomas como indicador del estrés. Tardó quince minutos en cerrar sus estomas para no perder humedad. Una hora después, todas las plantas conectadas por las raíces habían cerrado sus estomas. En el ensayo de control se bloqueó el contacto entre raíces y los estomas siguieron abiertos. Esto sugiere que el mensaje se propagó por las raíces. Los vecinos se comportaron como si estuvieran expuestos a la sequía y propagaron la señal hacia adelante. Cuando se extrajeron los exudados de las raíces de las plantas estresadas y se aplicaron a las plantas sin estrés, se observó la misma respuesta. El candidato para propagar la comunicación en este caso es la fitohormona ácido abscísico ABA.

Comunicación por sonidos. Las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) emiten sonidos cuando están estresadas por la falta de agua o cuando se corta el tallo. **///** Un estudio con micrófonos colocados a 10 cm de la planta captó sonidos a frecuencias de ultrasónico (20-150 kHz). Se pudieron registrar las vibraciones causadas por la formación y explosión de burbujas de aire (cavitación de los tubos de xilema). Las plantas de tomate estresadas por la sequía producían 35 sonidos por hora y 11, las plantas de tabaco. Valores similares ocurren cuando se corta el tallos (25 y 15). Las plantas del grupo de control sin estrés produjeron menos de un sonido por hora. Un *software* de aprendizaje automático permitió discriminar entre sonidos de plantas, el viento y lluvia. Se pudo identificar también si el ruido era provocado por sequedad o por un corte. No se estudiaron otras tensiones, como la sal o la temperatura, ni la velocidad de propagación del estrés. Estos sonidos podrían ser escuchados por insectos hasta una distancia de 5 m. Una polilla podría decidir no poner huevos en una planta estresada por la falta de agua. Otras plantas podrían escuchar que las vecinas tienen poca agua y reaccionarían en consecuencia.



(109) Densidad de compuestos de metabolitos secundarios
(izquierda) Análisis de compuestos de la hoja del tomate (*Solanum habrochaites*). La complejidad queda en evidencia con 3.280 picos obtenidos por la técnica de cromatografía de masas. **(derecha)** Cada planta tiene su propia firma de compuestos químicos. En este caso son los polifenoles (ligninas, taninos, flavonoides). Las diferencias dan la identidad de cada especie.

se reconocen

(F109) Las plantas pueden reconocer miles de moléculas químicas y saber si son propias, de la misma especie o ajenas. Son capaces de detectar el parentesco, lo que les permite decidir si colaborar con propios o litigar con ajenos.

(1) Oruga de mar *(Cakile maritima).* ***///*** Cuando se trabajó con esta hierba se encontró que las plantas hermanas en la misma maceta crecieron con moderación y las raíces compartían los recursos. Ocurrió lo opuesto con plantas no relacionadas. El resultado fue el mismo en laboratorio o en las costas de los lagos naturales. Se concluyó que la señalización química es subterránea y, como no forman redes de micorrizas con hongos que pudieran oficiar de transporte, las señales están en los exudados. Es algo que está dentro del cóctel de compuestos solubles (fenoles, flavonoides, azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas).

(2) Nometoques (*Impatiens pallida*)**.** ***///*** En un estudio se midió la respuesta a dos señales relacionadas con la competencia: la calidad de la luz (presencia de vecinos aéreos) y de raíces vecinas. Cuando las plantas se colocaron junto a parientes cercanos, no modificaron la asignación de recursos a las raíces y hojas, y aumentaron la longitud y ramificación del tallo. Esto se interpretó como una cooperación al intentar adquirir los recursos sin producir más sombra. Pero con vecinos extraños, crecieron más las hojas en relación con los tallos y raíces. Lo que se interpretó como una respuesta competitiva y egoísta. Esta conducta solo se observó cuando los vecinos tienen contacto mediante las raíces.

(3) /// En otros casos (género *Ambrosia*) se encontró que las plantas cultivadas entre parientes desarrollan redes de hongos más

grandes. Esto facilita el intercambio de nutrientes y la comunicación mediante el intercambio de hormonas.

Arabidopsis: reconoce a sus congéneres por las raíces.

(1) /// Un estudio trabajó con hierbas recogidas en campos naturales para evitar las plantas emparentadas del laboratorio. Se expusieron a medios líquidos que contenían las secreciones de las propias raíces, de hermanas y extrañas. Se midió la longitud de la raíz lateral más larga y de la primera estructura foliar. Las plantas expuestas a exudados extraños tuvieron una mayor formación de raíz lateral. Cuando las plantas hermanas crecieron juntas, sus hojas se tocaban y entrelazaban. Cuando crecieron con extrañas, se ponían rígidas y evitaban tocarse.

(2) /// En otro estudio se cultivaron semillas de Arabidopsis en placas de Petri y tubos de ensayo con agar (un medio de cultivo gelatinoso). Se colocaron dos plantas cercanas en la misma placa de Petri y se hicieron cortes en una hoja para simular el ataque de insectos. Al día siguiente, las raíces en la planta vecina se habían vuelto más largas y robustas, con más raíces laterales que sobresalían de la raíz primaria. Es probable que sea una reacción a los compuestos volátiles y que extienda las raíces para obtener más nutrientes y fortalecer sus defensas. Se midió un aumento de la fitohormona auxina en las plantas ilesas vecinas y de un transportador de malato que atrae microbios beneficiosos para el suelo (*Bacillus subtilis*).

(3) /// En Arabidopsis se evaluó la biomasa acumulada en función de la diversidad de sus orígenes. Se encontró que la productividad aumenta en las macetas con mezclas de diferentes plantas cruzadas. La ganancia de rendimiento en comunidades mixtas se justificó por la composición genética de los cruces. Se observó que las pequeñas diferencias genéticas eran suficientes para aumentar su rendimiento combinado. Es decir, las plantas reconocen y aprecian las diferencias genéticas.

Las plantas pueden detectar el parentesco por los gases liberados desde las hojas

(1) /// Se sabe que las plantas Arabidopsis cambian la disposición de sus hojas en presencia de vecinos emparentados. Un estudio encontró que la luz reflejada en los vecinos permite cambiar la orientación de las hojas, de forma que reduce la sombra. En plantas familiares tienden a brotar hojas a la misma altura, rebotando más luz en las hojas de los demás.

(2) /// Un estudio trabajó en invernadero con una hierba invasora (*Centaurea maculosa*) emparejada con una especie nativa (*Festuca idahoensis*). Se les aplicó una fitohormona (jasmonato de metilo) que es un gas que se difunde por los estomas y luego se convierte en otra hormona (ácido jasmónico) que es soluble en agua. Este ácido se une a un receptor en las células de las plantas vecinas y desencadena una respuesta de defensa en las hojas. Se observó que, cuando se juntaban plantas de la misma especie, se producían más compuestos defensivos (fenólicos). En cambio, cuando se juntaban plantas de las diferentes especies, se asignaron más recursos al crecimiento.

El parentesco tiene influencia en la producción general de flores. Existe una relación entre los entornos sociales (densidad y relación genética) y la asignación de recursos (compartir polinizadores, patrones de apareamiento y aptitud de la planta). La

aptitud de la planta se refleja en la capacidad para reproducirse (floración, polinización y producción de semillas). Las plantas progresan mejor cuando están rodeadas de hermanos por lo que invierten más en flores. **///** Un estudio trabajó con 700 plantas (género *Brassica*) y midió la inversión en flores. Se comprobó que cambian la estrategia si están entre parientes o extraños. Con parientes producen muchas más flores. Otro estudio obtuvo un resultado similar con 770 plántulas de la hierba *Moricandia moricandioides*. Parece que el contexto social tiene consecuencias para los fenotipos reproductivos de las plantas.

Artemisas: el reconocimiento permite buenas sociedades. Como las plantas tienen la posibilidad de reconocerse, la agricultura podría beneficiarse de la vecindad. Así se puede disuadir a las plagas de competir, atraer polinizadores y mejorar la absorción de nutrientes en conjunto.

(1) /// En un estudio se encontró que cuando se juntan dos plantas de artemisa (*Artemisa vulgaris*), se desarrolla una defensa más fuerte si es un clon que si es un vecino no relacionado. Es probable que el mismo cóctel de químicos aumente la eficacia. Además, durante los meses siguientes, los clones vecinos sufrieron menos daño de orugas, saltamontes y ciervos, comparados con los vecinos no relacionados.

(2) /// En otro estudio se cultivaron esquejes de artemisas (*A. tridentata*) en macetas individuales que se colocaron a 5 cm de otra planta de artemisa que crecía en el prado. Algunas eran las plantas progenitoras y otras no relacionadas. Luego se hicieron daños menores simulando herbívoros (saltamontes). Se encontró que, al final de la temporada, las plantas progenitoras enraizadas con un clon dañado cercano sufrieron un 42 % menos de daño. Se concluyó que las plantas pueden responder con mayor fuerza a las señales volátiles liberadas por ellas mismas o de clones. El análisis de los compuestos volátiles reveló una gran variación. Por ejemplo, los compuestos alcanfor y tujona incentivan a las vecinas a producir sustancias tóxicas. Estos productos son hereditarios y pueden ser señales de reconocimiento de parentesco.

La detección de parentesco puede ser la clave de la diversidad en los bosques. Las especies de árboles similares compiten por los recursos con las mismas estrategias. Además, comparten las mismas plagas y enfermedades. Los estudios indican que en los bosques tropicales los vecinos no están emparentados y que este rechazo impide que alguna de las planta se convierta en dominante. Se facilita así la diversidad y las especies raras. **///** Se analizaron datos de 3 millones de árboles de 2.500 especies en 140.000 sitios de todos los biomas. Se encontró que, en los bosques jóvenes, los árboles están más dispersos y con baja competencia, dando lugar a especies de crecimiento rápido. En los bosques maduros aumenta la densidad con mayor cantidad de árboles de crecimiento lento porque aprovechan mejor los recursos (minerales, agua y luz). Además, los árboles evitan la competencia con los vecinos al usar recursos y estrategias distintas. Parecería que cualquier estrategia podría ser posible siempre que sea diferente a los árboles vecinos. Sin embargo, ciertos rasgos son más importantes en diferentes etapas de la sucesión forestal sean o no diferentes a los vecinos.

ESTUDIO DE CASOS

Dos microecosistemas: rizósfera y líquenes

La rizósfera

¿de qué se trata? La rizósfera es el área en el suelo vecino a las raíces y está administrado por los hongos. El cuerpo de los hongos se difunde en una amplia zona formando mutualismos difusos con otros hongos, bacterias, raíces y animales. Los hongos forman conductos (hifas) largos y enmarañados que transportan todo tipo de compuestos. También se unen a las raíces donde intercambian materiales. Es un hervidero de actividad química. Las plantas aportan azúcares y los hongos, elementos químicos. Las bacterias metabolizan el material biológico. La oportunidad de formar parte de la red de micorrizas (NM) tiene sus privilegios: sirve para el transporte de compuestos, para el almacenamiento de reservas, para la comunicación química y el sostenimiento de la vida de miembros debilitados. Un análisis filogenético de la simbiosis entre raíces y hongos indica que la micorriza se ganó una sola vez y se perdió unas 25 veces.

La red de micorrizas (hongos-raíces) permite la comunicación química en el suelo. Un tipo de proceso es el siguiente. Un planta es atacada de alguna manera (p.ej., herbívoros de hojas o ramas), en la mordida se producen químicos (metabolitos secundarios) que son volátiles o solubles. Los solubles se transportan por el floema y llegan a las raíces y se distribuyen en el suelo y pasan a los hongos. La red de hongos los transportan hasta otra interfaz de micorriza. Las plantas vecinas absorben los compuestos y son llevados por el xilema hasta las hojas que reconocen los compuestos y activan las defensas.

(1) /// Un estudio expuso un grupo de plantas de tomate a un hongo patógeno (*Alternaria solani*) y se midió la respuesta en otro grupo conectado por hongos (*Glomus mossea*). Luego, las plantas enfermas fueron selladas dentro de bolsas de plástico para evitar una comunicación aérea. Se encontró que las plantas sanas comenzaron a producir enzimas de defensa (peroxidasa, quitinasa, gluconasa, lipoxigenasa). La velocidad de respuesta supone una conexión química y eléctrica a una velocidad de un centímetro por segundo.

(2) /// En otro trabajo se encontró que cuando se produjo la defoliación de un abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) se incentivaron las defensas del pino ponderosa (*Pinus ponderosa*). Ambos estaban conectados por la red de hongos y el resultado fue una mayor producción de enzimas de defensa. Es probable que la dispersión de las señales beneficie al hongo porque es una autoprotección contra la pérdida de huéspedes sanos. **El hongo se beneficia manteniendo a su red de huéspedes en buen estado físico.**

(3) A mayor cantidad de conexiones, mayor velocidad de crecimiento. /// En un trabajo se analizó el núcleo de crecimiento de

350 abetos Douglas en Canadá. Se correlacionó el crecimiento anual con la extensión de las conexiones fúngicas con otros árboles. Se encontró que, a mayor cantidad de conexiones, mayor era la velocidad de crecimiento. Esto significa que la red influye en las interacciones a gran escala en el bosque.

La red de hongos permite compartir recursos como nutrientes básicos y moléculas. El transporte se hace por el floema (desde las hojas a la raíz) y xilema (desde la raíz a las hojas). Algunos átomos esenciales (carbono y nitrógeno) pueden viajar contenidos en aminoácidos simples.

(1) Es una economía cooperativa sumergida que asegura una mejor salud, una fotosíntesis más eficiente y una mayor capacidad de recuperación. **///** Se cree que los intercambios de recursos entre plantas ocurren en el formato fuente-a-sumidero. Las plantas en buen estado son la fuente (donante) de compuestos y las plantas empobrecidas son el receptor (sumidero). Lo mismo vale para los otros compuestos que viajan desde la zona de alta concentración a la de baja concentración. El transporte parece estar impulsado por el gradiente de presión entre la fuente y el sumidero. Una consecuencia de esto es que en las plantaciones forestales de monocultivos debería cuidarse de no alejar los árboles tanto como para desconectar las redes comunales, disminuyendo los mecanismos de resiliencia.

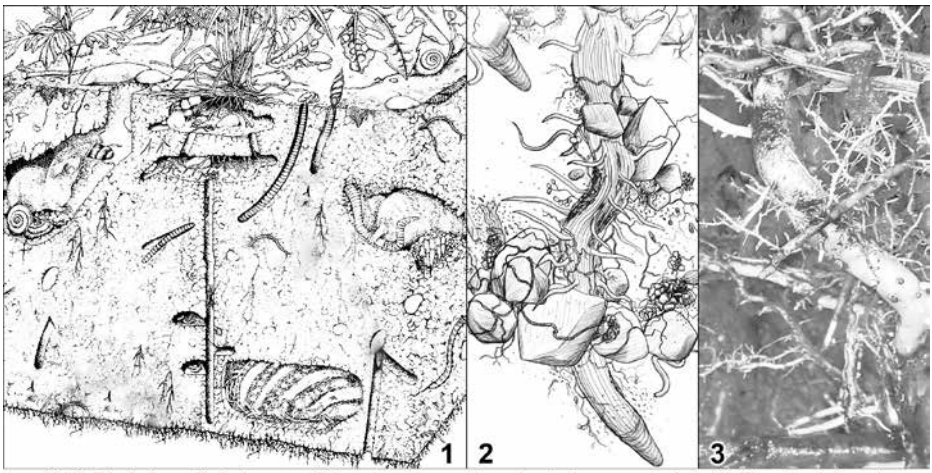
(2) /// En un estudio de campo se encerraron las copas de abetos de 120 años y 40 m de alto en Basilea (Suiza). La única forma de conexión fue mediante la red de filamentos de hongos. Se alimentó a las hojas con CO_2 marcado con menor cantidad de carbono C-13 que el normal de la atmósfera. Luego, se rastreó el recorrido mediante un espectrómetro de masa atómica. Se detectó el carbono marcado en los árboles vecinos, aunque no recibieron el CO_2 marcado. Esto incluyó árboles de otras especies. Se encontró que la conexión tenía un radio de 30 m. Los árboles más viejos estaban en el centro de la red (actuaban como un *hub*), con hasta 47 conexiones a otros árboles. En algunos trabajos se midieron tiempos de tres días para el recorrido total desde la hoja de un árbol hasta la hoja del otro.

(F110) Cada organismo coopera y compite como en un mercado capitalista. La competencia entre árboles hace que se exporte más carbono a los hongos que más nutrientes proporcionan. Donde hay más intercambio, el canje aumenta; pero lo interesante es que el área de intercambio es muy pequeña y selectiva con el organismo bajo escrutinio. Tener múltiples socios genera competencia entre los mutualistas, donde cada individuo intercambia carbono por nutrientes para maximizar los beneficios. Desde la perspectiva del ecosistema, el comercio entre hongos y raíces se lleva todos los nutrientes del bosque.

(1) /// Un estudio trabajó con diversos hongos y una leguminosa (*Medicago truncatula*). A la planta se le proveyó CO_2 con carbono pesado (C-13) y se realizó el seguimiento en el ARN de los hongos. Se encontró que la planta entregó más carbono a las especies de hongos que más fósforo entregaron.

(2) /// En otro trabajo se tomaron plantas de ajo silvestre y se colocaron con las raíces divididas en dos macetas aisladas. La entrega de carbono por parte de la planta fue proporcional al fósforo recibido del hongo en cada lado. No debe interpretarse como premios y castigos de la planta hacia el hongo, ya que el hongo no parece necesitar del carbono de la planta y puede sobrevivir por sí mismo.

(3) Lo mejor son las necesidades complementarias. /// En un estudio se en-



(110) Rizósfera. Bajo la superficie, el suelo continua hasta la roca madre. **(1)** El corte del suelo con todos los organismos vivos (bacterias, archeas, virus, raíces, insectos y vertebrados). **(2-3)** Detalle de la raíz y el medio circundante (rizósfera).

contró que la micorriza funciona mejor cuando los socios en la red tienen tiempos de escasez que no se superponen (cada uno tiene abundancia y escasez en forma alternada). Se comporta mejor cuando hay especies que prosperan con la fluctuación de recursos y otras con la estabilidad. De esta forma, el uso de recursos por parte de una especie contribuye a la fluctuación o estabilidad que beneficia a otra.

Ajustes a la estrategia. Las plantas pueden cambiar de especies de hongos o bacterias siempre que hagan el mismo trabajo. En tanto, otras abandonaron la relación simbiótica para conquistar terrenos inhóspitos (plantas carnívoras en terrenos anegados).

(1) La cooperación tiene un lado oscuro: aunque estén cooperando todavía están cuidando sus propios intereses. Los hongos pueden alterar la fisiología de las plantas y su capacidad para obtener recursos, de forma que las plantas están obligadas a comerciar. Es decir, si el hongo monopoliza un recurso, obtendrá un mejor intercambio. Con el aumento del CO_2 por el cambio climático, aumentará la fotosíntesis y será más evidente la limitación de nutrientes.

(2) /// Un estudio en los bosques boreales (Suecia), donde el suelo tiene escasos nutrientes, mostró que la causa de la falta de nutrientes son los hongos. Los hongos de la raíz transfieren menos nitrógeno a los árboles cuando los nutrientes son escasos que cuando abundan en el suelo. Esto mantiene a los árboles dependientes de los hongos.

(3) /// Un estudio de redes de hongos encontró que las plantas de lino donaron poco carbono mientras recibían el 94 % del nitrógeno y fósforo desde la red del suelo. Pero, la planta de sorgo invirtió mucho carbono y obtenía pocos nutrientes. Cuando ambas fueron cultivadas juntas, la productividad aumentó por encima de los valores de cuando estaban aisladas. Esto sugiere que hay beneficios que no son bien interpretados por el momento.

Plantas que son parásitas de los hongos (micotróficas). Estas plantas no producen

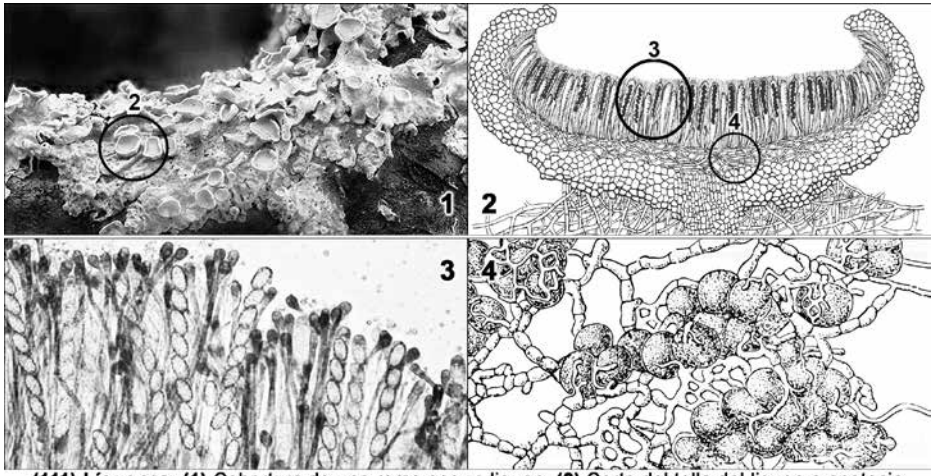
su propio alimento y sobreviven de material vegetal muerto y en descomposición. No hacen fotosíntesis y obtienen los nutrientes de los hongos (género *Armillaria*). El hongo digiere las plantas muertas y la planta absorbe los nutrientes desde el hongo. La gran diversidad de estas plantas hace suponer que son evoluciones convergentes desde plantas fotosintéticas con conexiones a hongos de micorrizas. **///** Cuando el pasaje del mutualismo al parasitismo implica la pérdida de fotosíntesis se convierte en un camino sin retorno. Una dependencia tan fuerte vuelve a las plantas muy sensibles al cambio en el ambiente. Se han evaluado unas 40 líneas evolutivas en este sentido. Un tipo de orquídea (*Lecanorchis tabugawaensis)* obtiene los nutrientes parasitando a los hongos en las ramas. Otra planta (*Thismia neptunis*) evita la luz, vive bajo tierra y se alimenta de los hongos del suelo. Hay unas 500 especies de "plantas subterráneas". Esta simbiosis las llevó a perder las hojas y clorofila y a obtener el alimento de otras plantas mediante la red de hongos. A este tipo de plantas solo se las ve cuando florecen, unas pocas semanas al año. Se las supone raras y quizás en peligro de extinción.

los líquenes

¿de quién se trata? El liquen no es un organismo, es una simbiosis entre uno o varios hongos y uno o varios organismos fotosintetizadores (alga o cianobacteria). Es casi un pequeño ecosistema. La estructura del liquen es una red de filamentos del hongo con las células de algas o bacterias unidas a la red. Se reproducen en forma asexual por fragmentación y dispersión. El liquen obtiene alimento gracias a la fotosíntesis de las algas o cianobacterias, quienes consiguen protección para evitar la desecación. Los líquenes pueden colonizar climas extremos (desiertos, tundra ártica). Tanto es así, que dos especies de líquenes antárticos fueron capaces de sobrevivir en el espacio sin ningún tipo de protección. Como el liquen son dos (o más) organismos, cuando se habla del hongo se debería decir que el hongo *liquenizó* (como verbo *liquenizar* en lugar del sustantivo).

Los líquenes tienen una división genética del trabajo. Un liquen (*Lobaria scrobiculata*) mantiene una simbiosis con una cianobacteria, por lo que requiere agua para activar la fotosíntesis. En cambio, la mayoría de los líquenes con microalgas verdes utilizan la humedad ambiental para activar su fotosíntesis. Si el fotosimbionte es un alga, entrega ribitol (un polialcohol) que es transferido al hongo por difusión. En el hongo se transforma en manitol y se devuelve al alga. Si el fotosimbionte es una cianobacteria, en lugar de ribitol se tiene glucosa y luego el proceso es idéntico. **///** Un estudio del ADN de 22 especies de líquenes encontró que los hongos perdieron un gen crucial como productor de energía, mientras que las algas conservaron una copia completa de este gen. Esto sugiere una división genética del trabajo, lo que hace del liquen un organismo más eficiente. Por ejemplo, hay algas (género *Trebouxia*) que no crecen por sí mismas, y deben esperar a encontrar un hongo para formar la simbiosis.

Riesgo inflacionario en la taxonomía por la denominación de los líquenes. El liquen se denomina con el nombre del hongo, lo cual genera cada vez más confusión. Algunos propusieron usar un nombre



(111) Líquenes. (1) Cobertura de una rama por un liquen. **(2)** Corte del tallo del liquen o apotecio reproductivo. **(3)** Detalle de las astas del tallo para la dispersión. **(4)** Interior del conjunto liquenizado con las hifas del hongo conectando a las células de algas esféricas.

diferente del hongo, lo cual generaría una explosión de nombres nuevos. La teoría "hologenética" postula que la verdadera unidad de selección natural no es un solo organismo, sino el colectivo de todos los simbiontes. Esto obligaría a que, incluso en la rizosfera, la simbiosis de las raíces con hongos debería recibir una denominación diferente. Todo un problema para la taxonomía. **///** Los hongos que pueden ser líquenes son difíciles de reconocer, así que se recurre al ADN. Los resultados indican que están en diferentes ramas del árbol filogenético de los hongos. Un estudio encontró cinco orígenes diferentes para los líquenes, pero otro estudio argumenta por un solo origen. Hay filos con hongos que pueden ser líquenes y otros que no. Entonces, o se trata de evoluciones separadas o de un ancestro cuya descendencia perdió la facultad.

(F111) El individuo liquen es diferente a los organismos que lo componen. Los líquenes siguen su propio camino evolutivo y exhiben características distintas de las de sus antepasados. Por ejemplo, el ADN del liquen lobo (*Letharia vulpina*) permitió encontrar que tiene hasta tres tipos de hongos. Esto significa que dos líquenes con la misma denominación pueden tener diferentes mezclas de socios.

(1) Los líquenes son conocidos por su capacidad de albergar múltiples algas simbióticas, a veces al mismo tiempo. En muchos casos, cambian de simbionte dependiendo del lugar geográfico. **///** Por ejemplo, el liquen *Cetraria aculeata* tiene poblaciones con diferentes simbiontes genéticamente aisladas entre la zona mediterránea y polar. El estudio genético informó que se originó en el Mediterráneo y que cambió de simbionte para llegar al Ártico.

(2) El potencial de especies está oculto detrás de un pobre conocimiento. /// A principios del siglo 21 un liquen de Sudamérica (*Dictyonema glabratum*) estaba bien establecido. Los trabajos de detalle separaron el género *Dictyonema* en dos géneros (*Cora y Corella*) con 16 especies. Los nodos madre de ambos géneros estaban en

15 y 13 Ma, lo que sugiere que evolucionaron durante el levantamiento de los Andes. Un estudio más cercano analizó la genética de 356 muestras rescatadas de museos, catalogadas como *D. glabratum.* Se encontró que el ADN tenía una variedad de 126 especies de hongos. Es decir, de una especie bien reconocida se pasó a un potencial de 126 especies. Pero, la estimación es aún mayor para toda la zona de distribución, lo que llevó el número a 452 especies potenciales de hongos en esta especie de liquen.

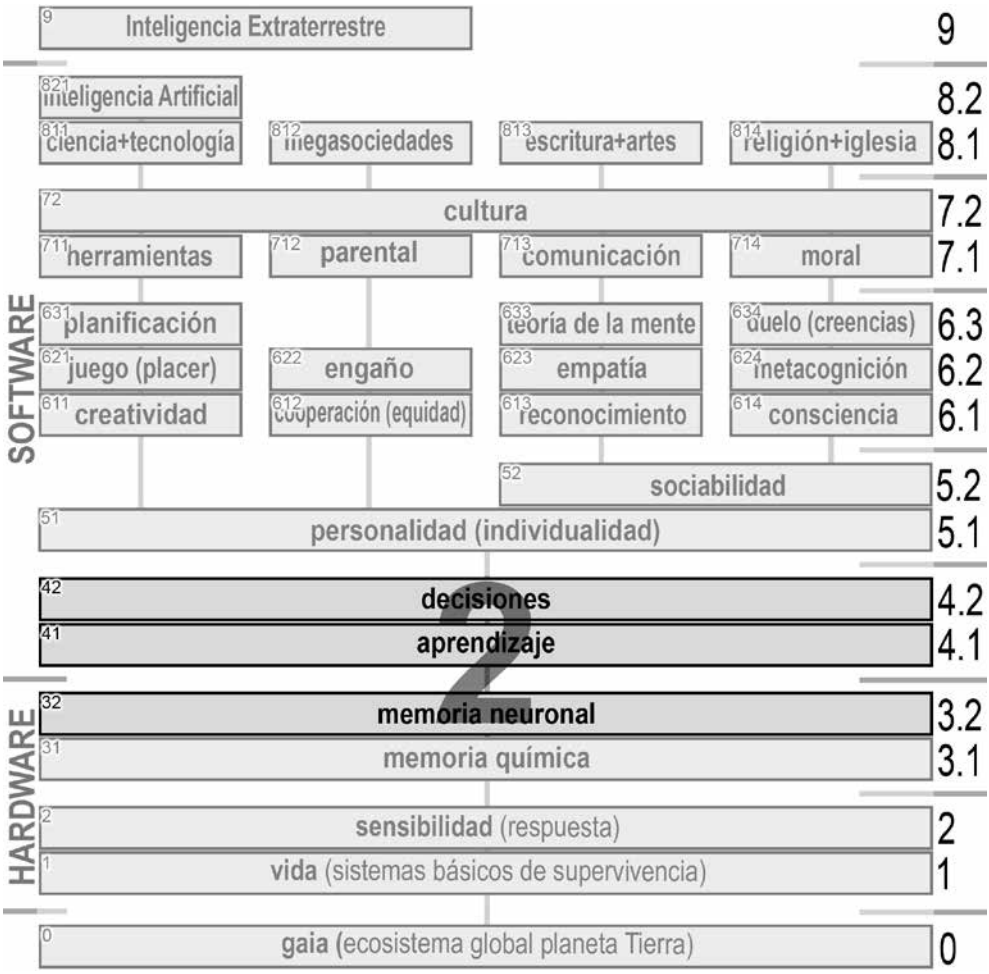
El tercer pasajero: la levadura (un hongo unicelular). Se cree que la levadura genera un ácido que es necesario para el desarrollo del conjunto. **///** Un estudio encontró 52 géneros de líquenes a nivel global que incluyen levaduras (del género *Cyphobasidiales*). Por ejemplo, el género de liquen *Bryoria* combina las mismas especies de hongos y algas, pero tienen diferentes apariencias y firmas químicas. Así, *Bryoria tortuosa* tiene más levadura que *B. fremontii*, además se ven distintos y el primero es tóxico. Pero, tienen los mismos componentes, así que técnicamente son la misma especie. Se buscó en el ADN la posible diferencia y solo se intuye que la diferencia está en la levadura que sintetiza el ácido vulpínico que es tóxico. Las altas cantidades de levadura en *B. tortuosa* permiten que el liquen produzca el ácido que ayuda a defenderlo contra la invasión de otros microbios. La presencia de levadura podría explicar por qué se fracasó en la recreación de asociaciones de líquenes en el laboratorio.

Los líquenes son candidatos para sobrevivir fuera del ambiente terrestre (exobiología).

(1) /// El liquen *Xanthoria elegans* estuvo adherido al exterior de la Estación Espacial Internacional (ISS). El experimento duró 1,5 años y soportó la radiación ultravioleta y cósmica, y las condiciones de vacío de una órbita baja. Cuando regresó a la Tierra, el 71 % del liquen se mantuvo viable.

(2) /// En otro experimento, líquenes, bacterias, semillas, algas y tardígrados, secados al vacío, se expusieron a la radiación extraterrestre durante meses. Los cambios de temperatura en órbita abarcan de -27 a +46 °C y cruzaron el punto de congelación 569 veces mientras orbitaban la Tierra.

(3) /// En un trabajo se colocaron líquenes dentro de una cámara que simulaba las condiciones de Marte. La simulación era en la química atmosférica, la presión, temperaturas, humedad y radiación solar. Unas muestras de líquenes se expusieron a diversas condiciones de radiación. Los líquenes sobrevivieron a las condiciones del ensayo. Una dosis muy alta de una lámpara de xenón sobre el liquen sin protección lo llevó a un estrés de supervivencia (sin fotosíntesis).


9 Inteligencia Extraterrestre
9
821 inteligencia Artificial
8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia
8.1
72 cultura
7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral
7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias)
6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición
6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia
6.1
52 sociabilidad
5.2
51 personalidad (individualidad)
5.1
42 decisiones
4.2
41 aprendizaje
4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal
3.2
31 memoria química
3.1
2 sensibilidad (respuesta)
2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia)
1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra)
0

MODELO DE CAPAS

32 memoria neuronal

¿de qué se trata? La memoria es el *hardware* donde se guardan los datos (los recuerdos). El *software* con el que se obtienen es el aprendizaje que incluye la enseñanza y la cultura. La memoria puede ser química (concentración de moléculas), genética (datos codificados en una cadena de aminoácidos ADN), epigenética (inhibición de genes) y neuronal (circuitos de neuronas que trabajan en forma electroquímica). El aprendizaje se realiza mediante módulos de *software* cuya versión más simple es la sensibilidad (detección-reacción) que tienen las bacterias y plantas y llega hasta la cultura acumulativa global en los humanos. En esta capa del modelo se analiza la memoria epigenética y la memoria neuronal.

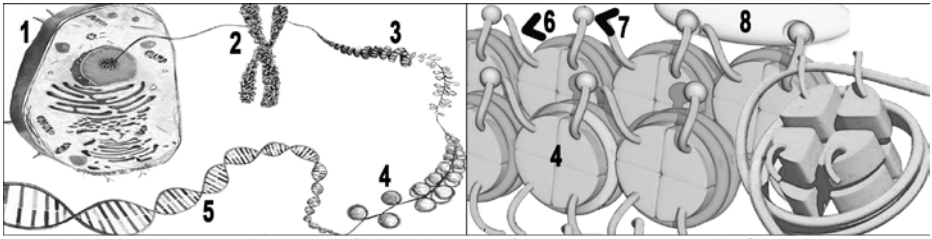
Las cuatro formas de memoria.

(1) La memoria en densidad de compuestos químicos. La memoria más simple y universal es la densidad de compuestos químicos. Si un compuesto es producido bajo ciertas condiciones, la densidad acumulada indica la persistencia de esas condiciones. Funciona como una memoria para el futuro y su duración depende de la velocidad de degradación del compuesto. En la rizosfera hay compuestos que pueden durar años.

(2) La memoria de masa en ADN. Es una memoria que permanece enrollada e inactiva. Solo se usa para hacer copias de genes (el ARN-mensajero) que alimentan a la maquinaria de producción de proteínas (los ribosomas). El ADN es de alta capacidad de información, muy redundante, llena de espacios basura y muy estable en el tiempo.

(3) La memoria epigenética regula la productividad de los genes. Es más efímera y se basa en impedir que un gen del ADN pueda ser leído. Se implementa mediante pequeñas moléculas (grupo metilo CH_3) que se adhieren al ADN impidiendo que sea leído y copiado. Tiene la potencialidad de ser una memoria de largo plazo (plurianual durante la vida del individuo) o una herencia (entre generaciones).

(4) La memoria neuronal. Las anteriores formas de memoria están presentes en todas las formas de vida. Solo los animales tienen acceso a la forma más sofisticada de memoria mediante neuronas. Las neuronas son células que forman una red interconectada y que permite decisiones más complejas. Una memoria neuronal consiste en un



(201) La memoria epigenética. Una célula (1) tiene un núcleo con cromosomas (2). Se desenrosca y se obtiene una cadena de nucleosomas (3). Consiste en histonas (4) donde se enrolla la secuencia de genes en una doble hélice (5). La cola de las histonas (6) puede ser neutralizada mediante un grupo metilo (7) o un regulador de cromatina (8). Esto impide que se abra y puedan leerse los genes. Entonces, un gen que está en un histona metilado no puede desenroscarse y queda ilegible.

puñado de neuronas interconectadas mediante sinapsis. La durabilidad aumenta en la medida que se usa y se refrescan las sinapsis.

la memoria epigenética

(F201) La genética determina el *qué* se produce y la epigenética determina el *cuánto*. La memoria y la herencia epigenética se refieren al grado de actividad de los genes, es decir, cuándo y cuánto produce cada gen. Se habla de "expresión genética". Ciertas moléculas que se unen al ADN pueden neutralizar la expresión de los genes. Además, como estas características se transfieren a la próxima generación en el ADN, se transforma en una herencia. Un gen neutralizado es como si no existiera. Muchos genes trabajan en parejas con intereses opuestos, un gen produce un activador y el otro un supresor. De esta forma, si se inhibe uno es como activar el otro.

Genética y epigenética se asimila con la diferencia entre escribir y leer un libro. El ADN se puede interpretar como un libro en cuyas páginas se escriben los genes (instrucciones para hacer proteínas). Una vez escrito el texto (los genes) será el mismo en todas las copias (células del cuerpo). La epigenética consiste en bloquear la lectura de una página. De esta forma cada lector podría interpretar lo escrito de una forma ligeramente distinta. Siguiendo sus emociones, la interpretación puede ir cambiando con el tiempo. Así como la suma de genes es el genoma, la suma de epigenes es el epigenoma.

La diferencia entre células e individuos está en la "expresión" de los genes. Todas las células de un ser vivo tienen el mismo ADN. La diferencia no está en los genes, sino en la actividad (expresión) de los genes. Un gen se puede expresar o estar apagado en una célula y lo opuesto en otra. Por ejemplo, hay glándulas en el cuerpo que se especializan en producir algunos tipos de hormonas, tienen el mismo ADN pero se especializan en algunos genes solamente. Además, un gen se puede expresar en un momento y no en otro (p.ej., por temporada de reproducción). Un carácter epigenético se puede ganar o perder en una generación o heredarse para la próxima.

(1) /// Un estudio con plantas Arabidopsis pudo medir la expresión de todos los genes cada 2 horas durante 24 horas. De un total de 15.646 genes se encontró que el 9

% (1.358 genes) tenían una expresión muy variable. Se los clasificó en dos grupos influenciados por el ciclo diario (de noche o de día). Esta variación es útil para protegerse de cambios en el ambiente. De esta forma, como en un proceso de cobertura de apuestas, las plantas pueden tener individuos que se adaptan a diferentes ambientes.

(2) /// En otro estudio con Arabidopsis se seleccionaron las semillas que llegaban más lejos de la planta durante varias generaciones. Luego se estudió el genoma y el epigenoma. Se encontró que estas plantas florecieron más tarde y tenían un mayor número de ramas. Los cambios fueron identificados en el epigenoma que mostró unas 50.000 bases del ADN que estaban intervenidas.

El reloj epigenético. El genoma es la suma de los genes y el epigenoma es la suma de las modificaciones epigenéticas del genoma. Las mutaciones en los genes producen cambios en el genoma y determinan un reloj molecular. Los cambios en el epigenoma determinan un reloj más rápido y variable. **///** Un estudio analizó el genoma y epigenoma de un álamo (*Populus trichocarpa*) de 330 años. Se midieron los diámetros del tronco en la base y las puntas de 8 ramas. Se determinó la edad de cada anillo de crecimiento y se comparó el genoma y epigenoma del ADN de las muestras. Se concluyó que la tasa de cambio en el epigenoma es entre 10.000 y 100.000 veces más rápida que la tasa de mutación del genoma del árbol. Un reloj basado en el epigenoma proporciona una escala de resolución más fina porque avanza mucho más rápido.

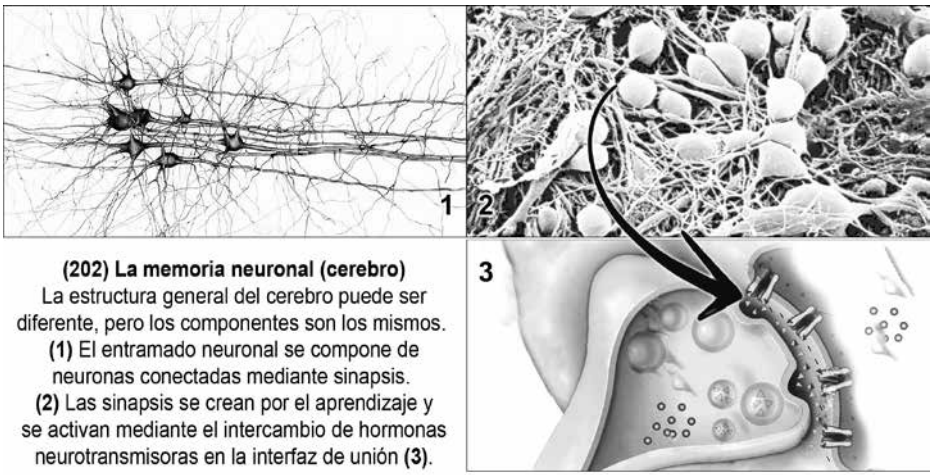
Arqueas: la resistencia a la acidez. /// Un estudio buscó evidencias de herencia epigenética en las arqueas. Se expuso a las arqueas a niveles crecientes de acidez y se desarrollaron cepas con resistencia hasta 178 veces mayor que sus ancestros. Una de las cepas desarrolló la resistencia a la acidez sin mutaciones en su ADN. Luego se eliminaron las proteínas que impedían la expresión de los genes involucrados y la resistencia desapareció. Se concluyó que era una herencia epigenética. Esto parece indicar que es un mecanismo muy antiguo y puede estar en todas las ramas de la vida. Quizás la epigenética pueda explicar por qué ninguna arquea causa enfermedad a los humanos, como hacen las bacterias.

Plantas: algunos ejemplos de epigenética. Una mala temporada puede generar cambios epigenéticos que son una memoria para la próxima temporada de la planta o una herencia para la próxima generación en las semillas.

(1) Epigenética en las flores. /// Un tipo de planta (género *Lunaria*) tiene una flor muy especial (pelórica) que se transmite entre generaciones. Esta flor tiene variaciones únicas en los pétalos que es irrepetible. El caso se conoce desde hace 200 años, pero ahora se probó que no son cambios en el genoma. Ocurre por silenciamiento de un gen, por metilación en el ADN. Son cambios en el epigenoma.

(2) Epigenética en los injertos. /// Otro caso son los injertos de plantas agrícolas que se realizan desde hace 3.000 años. Se encontró que las plantas injertadas pueden compartir rasgos epigenéticos que se intercambian entre ellas. No hay cambios de ADN, ya que cada planta conserva su genoma original. Es la información epigenética la que se intercambia y determina cómo una planta reacciona a diferentes suelos, climas y enfermedades. La información epigenética es una memoria química, pero se puede intercambiar y compartir como información entre organismos.

(3) Epigenética de la sequía. /// Un estudio recolectó semillas de variedades de



(202) La memoria neuronal (cerebro)
La estructura general del cerebro puede ser diferente, pero los componentes son los mismos. **(1)** El entramado neuronal se compone de neuronas conectadas mediante sinapsis. **(2)** Las sinapsis se crean por el aprendizaje y se activan mediante el intercambio de hormonas neurotransmisoras en la interfaz de unión **(3)**.

colza (*Brassica rapa*) en los años 1997 y 2004. Las semillas del 2004 habían pasado por años de sequía. Cuando las semillas se germinaron en igualdad de condiciones, las del 2004 florecieron nueve días antes, quizás para prepararse para una sequía. La diferencia entre las semillas estaba en el epigenoma.

Ratones: heredan el rechazo a las flores de azahar. /// Un trabajo experimental con ratones les enseñó a asociar el aroma de las flores blancas de azahar (naranjos) con un castigo. Se encontró que sus hijos y nietos se sobresaltaban en respuesta al olor de la flor, aunque nunca la habían olido. Se constató que tenían más neuronas para detectar el aroma de azahar que los ratones de control no expuestos al olor. Es decir, las células del esperma transmitieron en forma epigenética esta información. El gen encargado de detectar el olor a naranjo tenía un sello químico que debía ser de utilidad para la supervivencia de las crías.

Humanos: ensayo natural en la Segunda Guerra Mundial. /// Un experimento epigenético natural en humanos ocurrió en el invierno de 1944 en los Países Bajos. El bloqueo alemán obligó a los holandeses a sobrevivir con menos de un tercio de su ingesta calórica regular. El seguimiento de los niños expuestos a la hambruna en el útero mostró que crecieron más pequeños y sus hijos también fueron más pequeños. Eran más susceptibles a enfermedades ligadas al metabolismo (diabetes, obesidad y cardiovasculares). Esto se atribuye a cambios epigenéticos en las madres transferidos a los hijos.

la memoria neuronal

(F202) La memoria son sinapsis entre neuronas. Las redes de neuronas se forman cuando dos neuronas se disparan en sincronía y forman una sinapsis (teoría de Hebb). Las sinapsis son conexiones entre neuronas cuya persistencia depende del uso que se le da. En los extremos están los recuerdos pasajeros y duraderos. Las sinapsis firmes forman la memoria del conocimiento y la experiencia. Son conexiones robustas como resultado de años de uso. En cambio, las sinapsis flexibles

incluyen vías más débiles y transitorias usadas para abordar problemas únicos o inusuales, que se olvidan con facilidad.

Abejas: el aprendizaje forma sinapsis y el sueño mantiene la memoria.

(1) El uso frecuente vuelve duradera la memoria. /// En un estudio con abejorros se les enseñó a discriminar entre dos tipos de flores falsas. Una entregaba agua azucarada (recompensa) y la otra quinina (no hace daño pero es repulsiva). Se midió cuánto tiempo se requería para el aprendizaje mediante degustación. Ni la quinina ni el azúcar pueden ser olidas por el abejorro. Dos días más tarde, se volvió a realizar el ensayo para medir la memoria y luego, se observó el cerebro mediante microscopía. Se realizó un mapeo de las neuronas y sus sinapsis. Se encontró que los abejorros que aprendieron más rápido tuvieron mejor memoria y tenían conexiones sinápticas más densas. Así se concluyó que el aprendizaje se correlaciona con una mayor densidad de conexiones neurales.

(2) El sueño consolida la memoria. Las abejas, cuando duermen, relajan y colapsan las antenas, lo que es un indicador de sueño. **///** Para un experimento, las abejas aprendieron una ruta entre la colmena y una fuente de alimento. Una vez aprendida la ruta y cuando estaban en la fuente de alimento, fueron capturadas y cambiadas de lugar. Las abejas debieron rehacer la ruta. En el experimento se procedió a perturbar el sueño de un grupo de abejas cada cinco minutos. Cuando se las privó de sueño antes del cambio de lugar de la fuente, no existió ninguna consecuencia (la memoria era firme). Sin embargo, cuando se realizó después del cambio, la falta de sueño hizo estragos en la memoria de la nueva ruta. Menos de la mitad de las recolectoras que fueron privadas de sueño llegaron a casa con éxito. Las que llegaron tardaron más del doble que las abejas que habían dormido.

Mosca de la fruta: la oscuridad afecta la memoria. /// Un estudio analizó la relación entre la oscuridad constante y la memoria a largo plazo. Se puso a machos con hembras no receptivas que los rechazaron. El grupo de machos de control, días después, mostraba poco interés en el cortejo, lo que indica que recordaban el rechazo inicial. El grupo que se probó en la oscuridad permanente continuó con los intentos de copular. No habían fijado el recuerdo a largo plazo. Luego se estudió en las neuronas la vía molecular de esta conducta. Se encontró que la luz activa una proteína (CREB) que trabaja en ciertas neuronas en el cerebro de las moscas (cuerpo de hongo). Sin luz la proteína no se activa y el recuerdo a largo plazo no se forma.

Hormigas: la memoria está en hemisferios opuestos del cerebro. /// Un estudio buscó relacionar la memoria con la lateralización del cerebro en las hormigas. Las hormigas usan sus antenas para explorar la comida. Se les mostró un objeto azul y se les ofreció para tocar una gota de azúcar usando las antenas (una, las dos o ninguna). Una vez entrenadas en asociar el objeto con el gusto, se probó el tiempo de la memoria al ver el objeto azul. Se verificó en diez minutos, una hora y un día después. Cuando se entrenó con la antena derecha, recordaron por diez minutos. Con la antena izquierda, recordaron por un día. Esto es una evidencia de que la memoria a corto y largo plazo está en hemisferios opuestos.

Caracol *Aplysia*: algo más que sinapsis. /// En uno de los muchos estudios con este caracol marino, se trabajó con neuronas sensoriales y motoras aisladas del cuerpo. Se

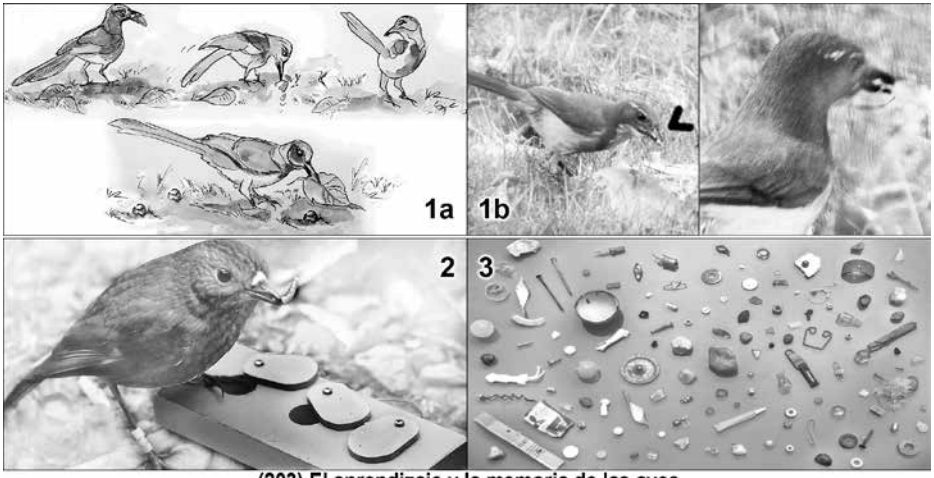
cultivaron juntas en placas de Petri donde se formaron las sinapsis. Fueron tratadas con una hormona (serotonina) que promueve la memoria a largo plazo, aumentando las sinapsis. Luego se revirtió el proceso con otra hormona opuesta, con lo que se disolvieron las sinapsis y se interrumpió la memoria a largo plazo. Se observó que no solo se retrajeron las sinapsis recientes, sino que se perdieron sinapsis anteriores. Fue una pérdida aleatoria de sinapsis, lo que sugiere que la memoria no se almacena en puntos específicos. Luego se les dio una sacudida eléctrica a las neuronas y las sinapsis se reconstruyeron y los recuerdos volvieron. Es posible que, aunque se eliminen las sinapsis, algo quede guardado como cambios epigenéticos. Estos cambios serían una forma de memoria poderosa sin necesidad de recurrir al sistema de neuronas.

tamaño de la memoria

Ardilla gris (*Sciurus carolinensis*)**: una memoria de 2 años.** Esta ardilla acapara alimento en caché, por lo que muestra muy buena memoria de largo plazo. Recolectan y esconden miles de nueces cada otoño para el invierno. **///** Un estudio verificó la capacidad de aprendizaje y memoria. Se tomaron cinco ardillas y se les dio una tarea que habían realizado 22 meses antes. Consistía en presionar unas palancas para obtener avellanas. En la experiencia original, las ardillas mejoraron con la práctica, bajando de 8 a 2 segundos el tiempo de trabajo. Cuando se las enfrentó de nuevo, después de 22 meses, tomaron 3 segundos para obtener una avellana. No solo recordaron dónde dejaron las avellanas, sino que memorizaron la técnica aprendida. Cuando se les presentó una versión en apariencia diferente, que requería una variante de la técnica, las ardillas dudaron más de 20 segundos antes de comenzar la tarea. Pero una vez iniciada, les tomó solo 2 segundos obtener la avellana. Esto demuestra que pudieron adaptar una vieja técnica.

Pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*)**: memorizan y reconocen decenas de canciones.** Este pinzón forma colonias de 50 a 100 miembros que se mueven en conjunto. Tienen llamadas de apareamiento y de contacto para localizarse. Es una sociedad de "fisión-fusión", donde se separan y vuelven a unirse. **///** Un experimento entrenó a 20 pinzones cautivos para distinguir entre diferentes aves por sus vocalizaciones. Se probó a cada pinzón con vocalizaciones de 6 segundos de otros pinzones cebra. Algunas entregaban alpiste como recompensa por reconocerlas. Cuando aprendieron la tarea, se presentaron 16 grabaciones nuevas y debían elegir si entregaba o no alpiste. Se encontró que podían superar la prueba sin problemas. A cuatro pinzones se les asignó la tarea de distinguir entre 56 canciones y lograron reconocer 42. Mantuvieron el recuerdo al menos por un mes.

Carboneros capucha negra (*Poecile atricapillus*)**: la memoria y la supervivencia. ///** Para un estudio se identificó a carboneros mediante radiofrecuencia y se siguió a largo plazo la longevidad. Se construyeron ocho estaciones de alimentación suspendidas en árboles que registraban la visita de cada carbonero. Se estudió el área del cerebro (hipocampo) asociada a la memoria espacial y se cuantificó el tamaño y el número de neuronas. Se comparó a los carboneros de Alaska (inviernos duros) y Colorado, en lo que hace a la memoria de los caché de alimentos. La población de Alaska tenía mejor memoria, un hipocampo más grande y más neuronas. Se encontró que en Alaska hay



(203) El aprendizaje y la memoria de las aves

(1) La chara de matorral (*Aphelocoma coerulescens*) esconde piezas de comida en cache. En caso de ser observada realoja la comida cuando no es vigilada. **(2)** La petroica (*Petroica longipes*) silvestre recuerda luego de 2 años como se abría una caja de 3 puertas giratorias que contenía gusanos. **(3)** Una niña de Seattle (Estados Unidos) alimentó desde los 4 años con granos de comida para perros a los cuervos silvestre del vecindario. Cada tanto le traían una recompensa que coleccionó por años.

mayor mortalidad infantil, pero mayor supervivencia en los adultos. Parece que las aves con mejor memoria tienen más probabilidades de sobrevivir al invierno.

(F203) Petroica (*Petroica longipes*)**: la memoria de la técnica para abrir una caja. ///** Un grupo de aves silvestres fue atrapado, se les enseñó a abrir una caja con recompensa, se las anilló y fueron liberadas. La caja era rectangular con tres compartimentos que contenían gusanos de harina. La tapa se abría girando. Unas 64 aves iniciales aprendieron la forma de abrir la tapa picoteando a un costado. En pruebas posteriores, con hasta dos años de tiempo y viviendo en libertad, las aves recordaban la forma de abrir la caja. Como grupo de control se usaron 17 aves que no fueron entrenadas y que no pudieron completar la tarea. Se observó un proceso de aprendizaje, de memoria y de pérdida paulatina.

Cascanueces (*Nucifraga columbiana*)**: la memoria del almacenamiento en caché**. Este cuervo del noroeste de América se alimenta de piñones (semillas de pinos). Se lo considera un dispersor de semillas de varias especies de pinos y un mutualista que coevolucionó con el pino corteza blanca (*Pinus albicaulis*). Las semillas se juntan en la época de abundancia, las esconden y recuperan en el invierno y primavera.

(1) El almacenamiento en caché. /// Los estudios indican que toman las semillas sujetando el cono con los pies. Tienen una bolsa debajo de la lengua donde puede llevar entre 50 y 150 semillas, dependiendo del tamaño. Esto mejora la capacidad de transporte. Las almacenan en caché con 3-4 semillas cada uno. Se calculó que pueden administrar entre 3.000 y 6.000 cachés. Almacenan mucho más de lo que necesitan, previendo las pérdidas por robos (ardillas) y escasez de alternativas. Hay semillas que

escapan a la recuperación y germinan. Así perpetúan el hábitat del cuervo. Se observó que la mayoría de los escondites los hacen cerca de objetos visibles que les sirven como guía. La tasa de recuperación fue entre el 52 y 78 % y se determinó que no hacen búsqueda aleatoria ni olfativa.

(2) Las semillas que germinan /// Un estudio en campo uso telemetría de radio para investigar la selección de sitios de caché. Se determinó que almacenan semillas en el centro de su territorio, aunque se llegaron a transportar semillas por 30 km. Preferían bosques de baja elevación, quizás porque acumulan menos nieve. Colocaron la mayoría de las semillas en micrositios sobre el suelo. Solo una parte de las semillas se colocaron debajo del suelo, lugar donde podían germinar más fácilmente. En el caso del pino corteza blanca (*P. albicaulis*) pudo germinar el 15 % de las semillas y en el pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) llegaron al 42 %.

(3) La capacidad de memoria /// En otro estudio se evaluó en laboratorio a 25 cuervos, midiendo la capacidad de memoria entre 2 y 40 semanas. Se permitieron hacer entre 18 y 25 cachés en una habitación, con 69 sitios posibles. Luego del almacenamiento, se los volvió a traer a intervalos regulares. Los errores y el tiempo de recuperación aumentaron hacia el final del período de 26 a 40 semanas.

(F203) Chara (*Aphelocoma coerulescens*)**: los alimentos perecederos son primero**. Esta ave de la familia de los cuervos almacena alimentos perecederos y no-perecederos. De los perecederos necesitan saber la tasa de descomposición para poder priorizar su recuperación. **///** El estudio encontró que volvía a los lugares de caché para buscar primero los productos perecederos (p.ej., las larvas de polillas que son un alimento preferido). Dejaron para más adelante los maníes que son duraderos. También aprendieron a no buscar gusanos luego de un tiempo de estar escondidos, debido a que se pudren. Esto indica que son sensibles a la pérdida de alimentos y que recuerdan qué cosa guardaron, dónde y cuándo.

Paloma (*Columba livia*) **y babuino** (*Papio papio*)**: la capacidad de la memoria. ///** Un estudio de varios años pretendió llegar al límite de la capacidad de memoria. Se realizaron ensayos donde los animales tenían que retener un número cada vez mayor de asociaciones. Se presentaba una imagen en color y dos elementos. Debían elegir uno de los elementos y la respuesta correcta era al azar. Así que debían memorizar la imagen y la elección correcta para la próxima vez que se les pidiera. Los animales se probaron durante 3 a 5 años, aumentando el número de imágenes para desafiar su capacidad de memoria. Las palomas pudieron memorizar un máximo de entre 800 y 1.200 asociaciones, antes de alcanzar el límite de su rendimiento. Los babuinos memorizaron entre 3.500 y 5.000 y no habían alcanzado su límite.

dopamina y memoria

Hormigas de fuego (género *Solenopsis*)**: la dopamina incentiva la memoria.** Los neurotransmisores, como la dopamina, sirven para "modular" la sinapsis entre las neuronas**.** Es decir, determinan si hay mayor o menor actividad. Sin los neurotransmisores las neuronas serían simples cables conductores e inútiles para las funciones del sistema nervioso. **///** Un estudio capturó hormigas obreras de 15 colonias. Un grupo de hormigas se trató con dopamina, otro

con un inhibidor y otro con una solución de control. Luego se liberaron y volvieron a la colonia donde se siguieron las actividades. Más tarde, se diseccionó el cerebro y se midió la expresión de los genes. Se encontró que las hormigas tratadas con dopamina realizaron más viajes de alimentación, eran más sensibles a la humedad y se alimentaban más en los días húmedos que los secos. En otras hormigas se usó un químico (3-yodo-tirosina) que inhibe la dopamina. Se observó el efecto contrario. Las personalidades estarían relacionadas con la dopamina en el cerebro.

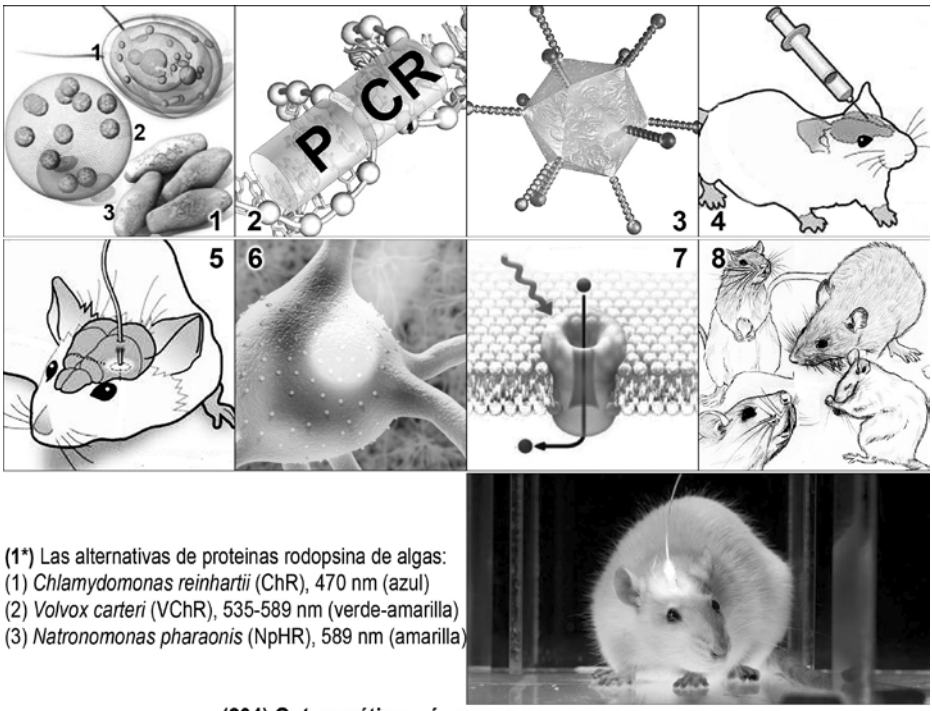
Ratones: la dopamina participa del aprendizaje y memoria.

(1) Mejora el aprendizaje. /// En un trabajo se usó la optogenética (ver próximo ítem) mediante láser azul, para estimular las neuronas que producen dopamina. El nivel de dopamina se puede controlar aun cuando las ratas se mueven en su entorno. En el estudio se les aplicaron descargas eléctricas en los pies, pero los ratones podían interrumpirlas si presionaban una palanca. Se encontró que los ratones con altos niveles de dopamina aprendieron más rápido. Esto indica que la dopamina mejora el aprendizaje y participa también en evitar los procesos desagradables (minimizar el daño).

(2) /// Un estudio entrenó a ratones para presionar dos palancas y obtener recompensas. Las palancas se activaban luego de dos (palanca de la izquierda) y ocho segundos (de la derecha). Los ratones aprendieron a ir hacia la palanca izquierda primero y, si no se activaba iban a la derecha. En paralelo, se midió el nivel de dopamina en tiempo real, a un ritmo de diez veces por segundo. Se usó la técnica de voltamperometría que aplica una diferencia de potencial y mide la corriente eléctrica que es proporcional al compuesto. Se encontró que la dopamina fluctuaba ligada a la decisión tomada. Los ratones usados como control apretaban palancas que no tenían una relación de tiempos conocidos. Se encontró que, en este caso, la dopamina era siempre alta. Más tarde, mediante la técnica de optogenética fue posible manipular el nivel de dopamina y cambiar la elección de los ratones.

más allá de memorizar

(F204) La técnica de optogenética permite manipular la actividad de las neuronas. En particular se pueden crear recuerdos. El proceso es el siguiente. Se parte de un alga unicelular que hace fotosíntesis (p.ej., *Chlamydomonas reinhardti*). Se extrae el gen que produce la proteína (ChR canalradopsina) que se activa con la luz azul de 470 nm. Se forma un paquete con el gen ChR y otro gen (P) que promueve la expresión del gen ChR. Este paquete genético se introduce en un virus que funciona de vector. Se inyecta el virus en el cerebro del animal. La opsina ChR se expresa solo en las neuronas que tienen la maquinaria para activar al promotor P. Las proteínas opsinas se posicionan en la membrana de esas neuronas. Luego se implanta una fibra óptica que mediante luz azul abre o cierra la opsina, lo que permite o no el pasaje del sodio. Si el sodio pasa a través de la membrana, es como si la neurona se activara. Esto ocurre con una luz de una longitud de onda específica. De esta forma, mediante la optogenética, se activa o no una neurona. Se puede hacer corresponder la activación con un recuerdo para fortalecer la memoria. Es como un bisturí que activa neuronas particulares en un circuito dentro de algunos milisegundos.



(1*) Las alternativas de proteinas rodopsina de algas:
(1) *Chlamydomonas reinhartii* (ChR), 470 nm (azul)
(2) *Volvox carteri* (VChR), 535-589 nm (verde-amarilla)
(3) *Natronomonas pharaonis* (NpHR), 589 nm (amarilla)

(204) Optogenética: cómo programar una neurona
(1) Las algas fotosintetizadoras producen proteinas (p.ej., ChR *canalradopsina*) que forman un canal en la membrana de la neurona. Esta proteina se activa mediante luz laser azul a 470 nm. **(2)** El gen ChR se une a un gen promotor P que garantiza que se active. **(3)** El paquete (ChR+P) se inserta en un virus que funciona como vector para alojarlo en las neuronas del animal **(4)**. **(5)** Se implanta una fibra óptica para llevar luz azul a las neuronas. **(6)** La luz activa la proteina ChR que abre un canal donde pasa el sodio. **(7)** El sodio dispara la neurona y el animal reacciona con alguna conducta. **(8)** Se verifica la efectividad como un cambio de conducta predeterminado.

Ratones: cómo programar una memoria

(1) Células de memoria para un lugar. /// En un trabajo se probaron cuatro ratones en un laberinto con forma de T. Había una recompensa visible en el extremo, pero estaba inaccesible. Cuando se durmieron se registró la actividad cerebral en el hipocampo con 50 electrodos. Luego, se volvieron a colocar en el laberinto, pero ahora sin la recompensa. Se observó que recorrieron la parte del laberinto donde estaba la recompensa. Se identificó al grupo de neuronas que se activaban mientras dormían y en el ensayo. Se las llamó "células de lugar" y se concluyó que forman un recuerdo y que puede usarse para planificar el futuro (p.ej., recorrer un sector del laberinto).

(2) Reproducción durante el sueño. /// Cuando un ratón duerme, las neuronas en el hipocampo se disparan y reproducen eventos del día. Se pudo medir que la velocidad de repetición del patrón de un viaje en un laberinto se acelera en un factor de 20 veces durante el sueño. Esta repetición es de utilidad durante el día porque, al atravesar el laberinto, el ratón se detiene en un

cruce, parece reproducir los recuerdos y luego, continúa viaje.

(3) Inventar una memoria. /// Con este conocimiento en mano fue factible intervenir en el sueño. Con el cerebro cableado se permitió al ratón que se paseara por el laberinto, de forma que se relacionaron los grupos de neuronas con la posición física. Cuando los ratones dormían, se monitoreó la actividad cerebral mientras repetían las experiencias del día. Cuando se detectó el disparo de las neuronas que señalaban un lugar determinado, con otro electrodo se estimuló el área del cerebro asociado con la recompensa. Cuando los ratones se despertaron, se dirigieron a la ubicación que vinculaban con una sensación gratificante. Así se formó un vínculo artificial entre un lugar memorizado y una recompensa positiva implantada.

(4) Simular una memoria. /// Un estudio trabajó en la corteza visual donde se interpretan las imágenes de la retina. Los ratones estaban entrenados en reconocer barras horizontales y verticales. Se los premiaba con gotas de agua cuando veían barras verticales. Se pudieron identificar unas 20 neuronas asociadas con esa imagen. Entonces se generaron alucinaciones iluminando las neuronas con el láser. Los ratones reaccionaron lamiendo el tubo de agua como si estuvieran viendo barras verticales, aunque estaban sentados en la oscuridad. Pero no lamieron el tubo cuando se estimularon las neuronas vinculadas a las barras horizontales. Es lo mismo que ocurre durante el sueño, porque las neuronas se activan sin el aporte de las imágenes en la retina.

El vínculo entre el hambre, la memoria y la toma de decisiones. /// Una hipótesis dice que el hambre funciona como memoria básica. Como la condición corporal indica cuán exitoso fue el animal en el pasado, es una guía para saber cómo debería comportarse a futuro. Esta forma simple y fisiológica de memoria puede ser más barata que el cerebro para tomar decisiones. Se plantea la posibilidad de que los recuerdos simples también puedan codificarse en otros estados fisiológicos, como las emociones. Esta podría ser la razón por lo que lleva mucho tiempo calmarse después de sentirse amenazado. Como la amenaza puede volver, la emoción mantiene al cuerpo listo para actuar.

Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*)**: más sociable implica mayor tamaño del cerebro. ///** El estudio de sociedades de macacos encontró que los grupos sociales más grandes generan cerebros más desarrollados. Se estudiaron 23 macacos de varios grupos con diferente cantidad de miembros (de 1 a 7). La permanencia de los macacos en el grupo fue de un año en promedio. Se desarrolló una jerarquía donde el lugar en el rango dependía de la capacidad para formar alianzas. Luego se analizaron las imágenes de resonancia magnética para comparar el desarrollo del cerebro. Se encontró que las áreas asociadas a la sociabilidad aumentaban un 5 % en volumen por cada miembro adicional en el grupo. También se encontró una relación según el grado de dominancia entre machos. En general, el cerebro muestra una plasticidad con cambio de volumen en respuesta a cambios ambientales, habilidades y redes sociales. Hay zonas del cerebro que se asocian a la detección y motorización de cada parte del cuerpo y el tamaño depende del régimen de uso.

Chimpancés: la memoria de corto plazo es equivalente a la humana. /// En un experimento se presentó una serie de cajas de distintas formas y colores para que sean diferenciables por los simios. Se permitió que vieran dónde se colocaba comida para que pudieran elegir. Luego, podían señalar una

caja y se le entregaba el contenido, la caja se cerraba y se volvía a poner en su lugar. Se esperaba un tiempo (15 segundos) y se volvía a jugar. Los chimpancés debían retener en memoria las cajas que ya habían sido abiertas. Luego se aumentó el número de cajas y se cambiaron de lugar. Los chimpancés recordaron al menos cuatro resultados correctos y uno llegó a más de siete cajas. Pero, cuando se les dio una tarea en paralelo, el rendimiento disminuyó. Las diferencias entre los chimpancés fueron estables durante meses (resultados consistentes). La estrategia preferida fue buscar las cajas en línea de un lado a otro. Comparado con los humanos, se les atribuyó una equivalente a niños de 7 años.

La memoria de la naturaleza. /// Hace 100 años, en Harvard, se realizó una larga serie de pruebas con ratas. Las ratas debían aprender a escapar de un laberinto de agua. Las siguientes generaciones aprendieron cada vez más rápido. Llegaron a hacerlo diez veces más rápido. El experimento de Harvard se repitió en Escocia y Australia. Se encontró que las ratas comenzaron más o menos donde las ratas de Harvard habían dejado. En Australia, las ratas descendientes de las entrenadas continuaron mejorando. Esto es posible gracias a la memoria epigenética. Pero, lo que estaba fuera de lugar es que también mejoraban otras ratas no emparentadas. Esto llevó a sugerir que existe una influencia que se denominó *resonancia mórfica*. Es una teoría muy controversial que argumenta a favor de campos de resonancia mórficos donde el pasado se expresa en el presente. Esta teoría dice que hay una memoria que es inherente a la naturaleza, además de la memoria de cada individuo. De esta forma lo aprendido en un lugar, gracias al campo mórfico, se aprovecha en otros individuos. Es un tipo de inteligencia acumulativa.

ESTUDIO DE CASOS

Caracoles: la memoria minimalista

¿de quién se trata? Los caracoles (moluscos) son excelentes si se quiere manipular neuronas. Dos caracoles han sido estudiados por décadas en laboratorios. Uno es *Aplysia californica* un caracol marino gigante que tiene algo menos de 20.000 neuronas. Su cerebro consiste en 9 ganglios distribuidos. Lo bueno es que algunas de sus neuronas son las más grandes conocidas. Por ejemplo, la neurona denominada R2 es la más grande y tiene 1 mm de diámetro. Lleva décadas de estudio y permitió conocer el funcionamiento de la memoria. El otro caracol es *Lymnaea stagnalis* que vive en agua dulce en charcas y ríos. Su estructura física es muy similar a Aplysia. Pero mientras Aplysia no tiene caparazón (como las babosas), Lymnaea tiene un caparazón calcáneo.

El aprendizaje implícito de Iván Pavlov. Hace más de 100 años se observaron tres tipos de aprendizaje implícito (no consciente) en perros. Se aplicaron estímulos inocuos (sin consecuencias), negativos o positivos.
-Habituación: este aprendizaje inconsciente ocurre cuando se reitera un estímulo inocuo de forma que el animal deja de responder porque se acostumbra.
-Sensibilización: en este caso luego de un estímulo nocivo el animal se sensibiliza y responde con mayor vigor a los estímulos inocuos posteriores.
-Condicionamiento: muestra que cuando se acompaña un estímulo inocuo con uno nocivo, el animal aprende a responder en forma negativa también al inocuo (reflejo condicionado).
Lo interesante es que luego de los perros (mamíferos) se encontró que también los invertebrados (caracoles), las plantas y las bacterias responden a estos mecanismos.

caracol *Aplysia californica*

(F205) El aprendizaje implícito en Aplysia

(1) Las neuronas aisladas se habitúan, sensibilizan y condicionan. /// Cuando se aplicaron los tres tipos de aprendizajes implícitos en Aplysia, se encontró que seguían los mismos tipos de aprendizajes implícitos de Pavlov. Pero también se observó que una neurona aislada respondía de la misma forma. Durante el aprendizaje, los individuos ajustan sus conductas, en tanto una neurona regula la cantidad de impulsos que propaga (es la forma de comportamiento que muestra una neurona). La cantidad de impulsos en una neurona da una medida de la intensidad.

(2) Circuito mínimo de neuronas. /// En Aplysia también se encontró el circuito mínimo de neuronas que permite un acto reflejo. En este caso se estudió la retracción de la branquia cuando se toca el sifón. El contacto con la piel del sifón activa seis neuronas sensoriales de un total de 24 (siempre son las mismas seis neuronas). Estas neuronas llegan al ganglio abdominal de los nueve que forman el cerebro distribuido.

En el ganglio se activan seis neuronas motoras que producen la contracción de la branquia. Todos los individuos tienen la misma cantidad de neuronas, "ni una más ni una menos".

El glutamato es un neurotransmisor distribuido en todo el reino animal. Todos los animales tienen neuronas y son iguales en su estructura y funcionamiento. La comunicación entre neuronas se realiza en la interfaz (la sinapsis) desde el axón de una neurona hacia la dendrita de la próxima. En la sinapsis se liberan neurotransmisores y la memoria a corto plazo está gobernada por la cantidad de moléculas puestas en juego. Las neuronas tienen receptores en las dendritas y en toda la membrana, lo que permite detectar las hormonas (mensajes codificados). En Aplysia, como en los mamíferos, el principal neurotransmisor entre neuronas es el glutamato. El glutamato es un aminoácido que se usa en el 80 % de las sinapsis. Se trata de una coherencia evolutiva de muy largo plazo y que coloca al glutamato en la base evolutiva del sistema nervioso. Pero además, el glutamato también se usa en las plantas cuando hay que transmitir señales dentro del organismo. Lo que va más atrás en el tiempo.

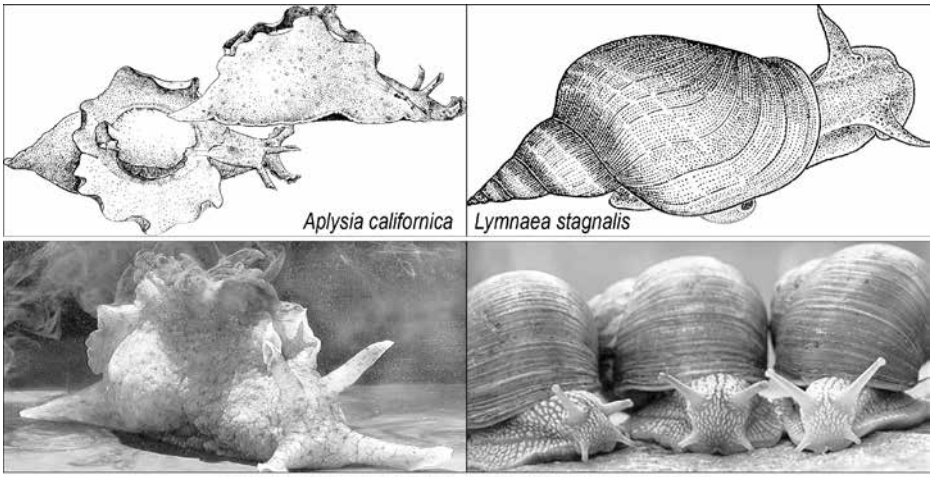
La serotonina regula la cantidad de glutamato. Las neuronas básicas son las detectoras (para la sensibilidad) y las efectoras (para la acción). La cantidad de glutamato liberada en la sinapsis fluctúa. Cuando hay habituación, es menor, debido a que hay menor cantidad de pulsos propagados. Aumenta si hay sensibilización. Hay un tercer tipo de neurona, llamada moduladora y que sirve para la regulación. Permiten ajustar la intensidad de la conducta y lo hacen con otro neurotransmisor, la serotonina, que regula la cantidad de glutamato liberado. Como las moléculas en la sinapsis perduran por un tiempo, la proporción de glutamato y serotonina actúa como memoria química. Pero dura solo unos minutos, por eso es de corto plazo. Para tener una memoria de largo plazo se deben producir cambios estructurales (de *hardware*). No basta con modificar la cantidad de moléculas liberadas, que, en definitiva, se degradan.

Las sinapsis se generan cuando persiste la excitación en las neuronas. Cuando la excitación se sostiene y repite, se generan nuevos terminales en el axón que contactan con las dendritas. Los nuevos terminales son divisiones de los existentes que dan lugar a dos por separado. Para lograrlo se ponen en marcha los genes que producen proteínas para modificar la estructura celular. Las neuronas generan nuevos terminales activos con lo que se incrementa la transmisión en la sinapsis. Entonces, mientras algunos genes están activos toda la vida (como los ligados a la producción de energía), otros se activan ante ciertas necesidades (los ligados a la memoria a largo plazo).

La memoria y las sinapsis.

(1) La cantidad de sinapsis. No debe sorprender que los tipos de aprendizajes de Pavlov se repitan en las sinapsis de Aplysia. Se encontró que el número de terminales sinápticos aumenta con la sensibilización (refuerzo positivo). Pero disminuye en la medida que el recuerdo se olvida (habituación) y decrece hasta casi paralizar la comunicación. Sin embargo, luego de la caída, el número remanente de terminales es superior al estado inicial. Entonces, cuando se aprende por segunda vez es más rápido. Una conducta tiene una componente de memoria química (en la interfaz entre neuronas) y física (en la cantidad de interconexiones).

(2) El aprendizaje en una sinapsis. Si algo se recuerda es porque se crearon en



(205) Dos caracoles para el estudio de las neuronas
Aplysia es un caracol marino gigante que tiene unas 20.000 neuronas. El cerebro está compuesto de 9 ganglios distribuidos. Tiene las neuronas más grandes conocidas. *Lymnaea* vive en agua dulce en charcas y ríos. Es similar a Aplysia, pero mientras Aplysia no tiene caparazón (como las babosas), Lymnaea tiene un caparazón calcáneo.

el cerebro nuevas conexiones entre neuronas. Esto es así tanto en Aplysia como en los humanos. Esta memoria no requiere de la consciencia, es una memoria implícita. En cambio, la memoria explícita permite en forma consciente recurrir a recuerdos guardados hace mucho tiempo. La consciencia es un mecanismo diferente que involucra a muchas partes del cerebro a la vez.

caracol *Lymnaea stagnalis*

(F205) La memoria en Lymnaea. Este molusco es un caracol de los estanques y ríos de agua dulce. **///** Un estudio evaluó la capacidad de memoria en cuanto a alimentos y predadores. Se trabajó con tres ensayos y se analizaron los cambios de conducta. Las pruebas fueron: (1) asociar el sabor de los alimentos (zanahoria) con un mal sabor químico; (2) asociar un olor neutro (gotas de jugo de pera) con un buen sabor; (3) asociar el respirar en la superficie del agua con ser empujado (amenaza de depredador). En las pruebas se usaron caracoles de laboratorio (el linaje lleva 25 años de estudios) y silvestres de poblaciones de ríos o zanjas. En ambos casos se encontró que los que eran buenos para recordar alimentos (1-2), eran muy malos para recordar una amenaza (3). Se probaron ocho poblaciones y todas mostraron el mismo patrón. Se esperaba que los caracoles de laboratorio, con fácil acceso a alimentos y sin depredadores, hubieran perdido la capacidad de formar estos recuerdos. Pero no se encontró ninguna diferencia por hábitats. Ambos respondieron al entrenamiento por igual.

Lymnaea también necesita del descanso. /// El sueño es importante para fijar la memoria. En Lymnaea se encontró que el 10 % del tiempo se encuentran en un estado similar al sueño, aunque no tiene un ciclo diario solar. Se los observa unidos a una superficie con sus tentáculos parcialmente

retirados, su concha colgando del cuerpo y sus pies simétricos y relajados. Se realizaron pruebas para comprobar si dormían o descansaban. Se comprobó la respuesta al ser golpeados en el caparazón, cuando fueron pinchados con una varilla y cuando se los atraía con una solución de sacarosa. Se encontró que en el estado activo respondían dos veces más rápido a la estimulación física y siete veces al apetito. Luego se monitorearon ocho caracoles durante 79 días para seguir los patrones de sueño. Se encontró que seguían un período de 2-3 días, con 7 episodios de sueño durante 13-15 horas, seguido de 30 horas de actividad. No necesitan dormir mucho porque su "vida mental" no es exigente, pero lo hacen.

La memoria se mantiene más tiempo en presencia de drogas. Estos caracoles respiran por la piel cuando los niveles de oxígeno son altos, pero cuando son bajos extienden su abertura del cuerpo (un neumostoma) para respirar. El neumostoma permite excretar, poner los huevos e intercambiar gases por encima de la superficie del agua. Lymnaea toma la decisión de cuándo respirar mediante una red de tres neuronas. ***///*** Un estudio trabajó con una droga adictiva (metanfetamina) que aumenta la autoestima y el placer sexual, induce euforia y mejora la memoria. En el estudio se los entrenó para mantener cerrados sus neumostomas, aun cuando los niveles de oxígeno eran bajos. Se logró empujándolos con un palo cada vez que intentaban abrirlo. Se aplicaron dos sesiones de entrenamiento y la memoria duró hasta 24 horas. Luego se realizó lo mismo en agua con metanfetamina y la memoria estuvo activa por más tiempo. Los recuerdos grabados bajo el efecto de la droga fueron más persistentes. Esto explica en parte por qué, en los humanos, el ambiente se relaciona con la reincidencia en la droga.

La "personalidad" del caracol medida como persistencia de la memoria. /// En los caracoles se puede definir una personalidad en base a la forma de aprendizaje. Una sesión de entrenamiento dura 30 minutos y se le ofrece un estímulo cuando realiza la acción deseada. Luego se pueden clasificar en los que tienen "memoria débil" (corto plazo, 3 horas) y "memoria fuerte" (largo plazo, 24 horas). Con dos sesiones de 30 minutos de entrenamiento, los de memoria débil pasan de 3 a 24 horas de memoria. Los de memoria fuerte pasan de 24 horas a 7 días.

La conducta bajo condiciones de estrés. Estos caracoles son hermafroditas (macho y hembra), pero si se los mantienen aislados (estrés) cambian de conducta y adoptan el papel de macho. Otra condición de estrés ocurre cuando no consiguen calcio en el agua para construir los caparazones. Un factor adicional de estrés es la presencia de predadores (cangrejos).

(1) Conducta en aislamiento. /// Para un estudio se seleccionaron ocho poblaciones de caracoles. Primero fueron catalogados como de memoria débil o fuerte. Luego se los sometió al aislamiento induciendo un sesgo negativo. Los de memoria débil pudieron formar recuerdos en la misma forma, pero los de memoria fuerte no pudieron formar recuerdos de largo plazo. Parecían mucho más sensibles a los efectos de estar solos. El entorno social no afecta a todos los individuos de la misma manera. Se encontró que ciertos productos que mejoran la memoria en los mamíferos (flavonoles vegetales del vino tinto y el chocolate negro) también la mejoran en el caracol.

(2) Conducta por falta de calcio. /// En otro estudio se encontró que los caracoles de memoria fuerte son más robustos ante el estrés por falta de calcio. Cuando se los privó de calcio, los de memoria débil perdieron la

memoria y los de memoria fuerte la mantuvieron. Luego se los sometió a dos factores estresantes en simultáneo. Se ensayó una condición de hacinamiento con otros caracoles de estanque y con bajo contenido de calcio. Se observó que se bloquearon todos los procesos de aprendizaje y memoria.

(3) Conducta por depredadores. /// Otra fuente de problemas se simuló con el olor de los cangrejos depredadores. Esto sensibilizó a los caracoles, promoviendo la memoria de largo plazo. Incluso revirtió el efecto del hacinamiento y el bajo contenido de calcio, lo que permitió a los caracoles recordar su entrenamiento. Esta memoria de largo plazo permite responder a las exigencias de supervivencia.

(4) Memoria de aprendizaje prenatal. /// En otro ensayo se usaron caracoles en la etapa embrionaria en los huevos. Fueron expuestos al olor de camarones y cangrejos de río para llevarlos a una simulación de estrés. Una vez que eclosionaron, se mantuvieron en un ambiente libre de cazadores durante una semana. Luego se evaluó la respuesta al olor de los depredadores. Se encontró que respondieron al olor saliendo del agua para escapar.

Los caracoles *Aplysia* y *Lymnaea* son expertos en hacer mucho con muy pocas neuronas.

(1) Cuando es atacado, Lymnaea puede defenderse dentro de su caparazón, pero Aplysia no lo tiene. Así que depende de producir un aerosol que combina una tinta color púrpura y una sustancia tóxica blanca (opalina). **///** En un estudio se expuso a los cangrejos (los predadores de Aplysia) a los dos componentes. La tinta tiene el compuesto (aplysioviolin) que fue rechazado por los cangrejos. Aplysia obtiene esta molécula mediante una manipulación química de un pigmento fotosintético de las algas marinas (su alimento). Este compuesto se suma entonces a la opalina para rechazar a los enemigos. El aplysioviolin es una tintura conocida desde hace milenios por el hombre que lo usó como tintura textil.

(2) El caracol Lymnaea busca las algas de estanque para alimentarse mediante un muestreo activo de su entorno. La exploración se hace mediante picaduras con las piezas bucales. **///** Un trabajo encontró que tiene dos tipos de neuronas que son suficientes para permitirle cambiar de conducta: pasar de la mordedura de búsqueda a la mordedura de consumo. Una neurona excitadora detecta y codifica la presencia de alimentos. Otra neurona moduladora regula la mordida (control de ganancia) teniendo en cuenta la memoria (motivación) del caracol. El estudio caracterizó las dos vías y sus interacciones en el momento en que se toma la decisión de cambio. También se encontró que el sistema utiliza una estrategia de ahorro de energía, ya que evita una activación innecesaria.

ESTUDIO DE CASOS

nematodo: un cerebro de 302 neuronas

¿de quién se trata? El gusano *Caenorhabditis elegans* es un nematodo que mide 1 mm de largo. En laboratorio vive en placas de agar sembradas con bacterias (*Escherichia coli*) que son su fuente de alimento. En la naturaleza prefiere las zonas de compost por la abundancia de bacterias. Su valor para la ciencia se debe a varias razones.

-Es uno de los organismos animales más simples ya que tiene 959 células.

-Es transparente a lo largo de toda su vida, lo que facilita la observación de su desarrollo en el microscopio.

-Es hermafrodita lo que facilita el mantenimiento de individuos con mutaciones.

-Su corta vida (2-3 semanas) lo convierte en un modelo de alto rendimiento, con muchas generaciones en poco tiempo.

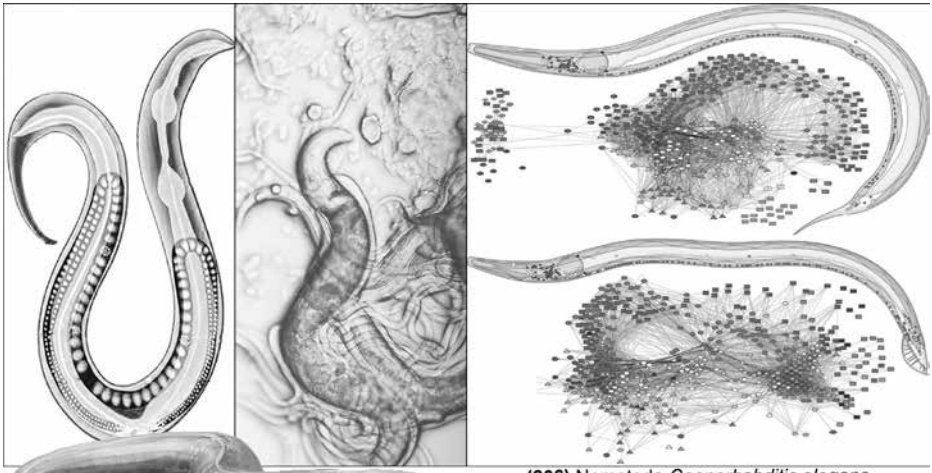
-Pueden congelarse por años y descongelarse para seguir el trabajo.

-Tiene más de 20.400 genes (contra 25.000 en los humanos). El 38 % de los genes coincide con los genes humanos.

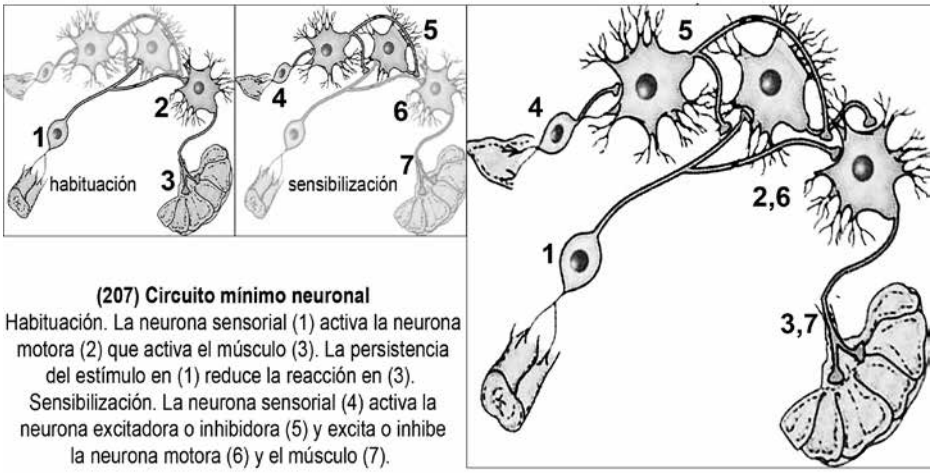
Esto justifica que *C. elegans* sea investigado en un millar de laboratorios en todo el planeta.

(F206) Un cerebro minimalista en neuronas. Su sistema nervioso ocupa 302 neuronas y 6.400 sinapsis. La neurona es la unidad estructural del cerebro, pero una neurona aislada no piensa. Sin embargo, las 302 neuronas de *C. elegans* pueden producir una variedad de conductas. A principios de la década de 1990 se cartografiaron las conexiones de estas 302 neuronas, sin embargo nada se supo de cómo esa red daba lugar a un cerebro que funciona. Más recientemente, se aplicó la optogenética para estimular o inhibir cada neurona, mientras el gusano se movía en libertad. Se usaron nematodos con genes implantados que se activan mediante una luz láser. Si el láser es azul se excita la neurona y si es verde se inhibe. La clave está en los genes que producen proteínas específicas (canalodopsina-2 y halorhodopsina) que responden a la luz. Así el gusano pasa a ser un biorrobot con el cual se pueden implantar memorias.

Sexualmente puede ser hermafrodita o heterosexual. Dentro del género *Caenorhabditis* hay dos especies idénticas *C. briggsae* y *C. nigoni*. La distinción es la reproducción sexual que en *C. nigoni* es tradicional, en tanto que en *C. briggsae,* la mayoría son hembras hermafroditas con autofertilización. **///** Los estudios genéticos muestran que en *C. briggsae* se perdieron 7.000 genes, el 25 % del genoma. Esto ocurrió hace 1 Ma y se piensa que estaban ligados a la reproducción sexual. Esta estrategia sexual de autofertilización es conveniente para generar nuevas colonias en forma rápida. Para el caso de *C. elegans* la mayoría de los nematodos son hermafroditas, con menos del 0,2 % de machos. A medida que los hermafroditas agotan sus espermatozoides, secretan feromonas para atraer a los machos y así tener una reproducción sexual convencional.



(206) Nematodo *Caenorhabditis elegans*
A la derecha el conectoma nervioso (mapa de interconexión de las 302 neuronas) en el hermafrodita y el macho.



(207) Circuito mínimo neuronal
Habituación. La neurona sensorial (1) activa la neurona motora (2) que activa el músculo (3). La persistencia del estímulo en (1) reduce la reacción en (3). Sensibilización. La neurona sensorial (4) activa la neurona excitadora o inhibidora (5) y excita o inhibe la neurona motora (6) y el músculo (7).

(F207) La decisión de perseguir a las hembras o ignorar las feromonas.

(1) *Hardware* sexual mínimo. /// Un estudio analizó el circuito neuronal que interviene en las decisiones de reproducción sexual de *C. elegans*. Se encontró que cuatro neuronas sensoriales en los machos se comunican en bucle mediante sinapsis. Esto determina dónde y cuándo perseguir a una hembra. Se trata de un *hardware* mínimo para evaluar la concentración de feromonas que secreta una hermafrodita para atraer a un macho. En el laboratorio se liberaron feromonas y se monitoreó la respuesta de las cuatro neuronas. Se observó que reaccionaron de manera diferente y durante distinto tiempo. La reacción dependía de la concentración de feromonas y de la actividad

sináptica. En algunos casos, una neurona reaccionó rápido y en otros la misma neurona se apagó. Esto sugiere una estrategia donde las neuronas codifican diferentes concentraciones.

(2) Posible sistema nervioso analógico. Parece que este sistema nervioso compacto no trabaja en forma digital sino que lo hace en estados analógicos con lo que aumentó la capacidad de codificación. **///** En un estudio se determinó el nivel de actividad sináptica que corresponde con la decisión de avanzar hacia un olor. Por ejemplo, los nematodos sanos se movieron hacia una concentración intermedia de feromonas, no hacia la más fuerte. Una alta densidad puede indicar hacinamiento u otro tipo de tensiones. Una baja densidad significa muy pocos hermafroditas como para justificar moverse. Cuando se desactivaron tres de las cuatro neuronas o se disminuyó la actividad sináptica, los nematodos ya no mostraron preferencia y se movieron hacia cualquier concentración de feromonas. La concentración óptima puede diferir entre nematodos y puede considerarse como una preferencia personal (la personalidad del nematodos).

(3) La dopamina en machos y hermafroditas actúa diferente. /// En un estudio se encontró que la dopamina aumenta la actividad locomotora en los machos para encontrar pareja. Pero en los hermafroditas, que se reproducen asexualmente, la reduce. Así que la dopamina sigue diferentes vías moleculares en los dos sexos.

El miedo es una emoción que está presente en *C. elegans*.

(1) /// Dos gusanos nematodos se separaron de su origen común hace 300-200 Ma. Uno de ellos (*C. elegans*) reacciona con miedo frente al otro que es depredador (*Pristionchus pacificus*). Cuando *C. elegans* detecta sustancias químicas secretadas de *P. pacificus*, cambia de dirección y se aleja nadando. Para nadar usan una serie de músculos en los cuatro cuadrantes a lo largo del cuerpo. Son 95 células motoras que se contraen y relajan en forma rítmica.

(2) /// Un estudio expuso a *C. elegans* a situaciones de estrés. Durante 30 minutos no pusieron huevos, lo que indica una condición de estrés agudo. El miedo y la ansiedad están distribuidos en casi todas las ramas de la vida y debieron evolucionar hace mucho tiempo.

(3) /// Una proteína (TRPA1) es una conocida detectora de dolor que está en el exterior de las células. Detecta químicos dañinos, lesiones físicas y temperaturas extremas. En *C. elegans* esta proteína se activa por frío, pero en los mosquitos se activa por calor. En el gusano plano planaria (*Schmidtea mediterranea*) la proteína reacciona a un químico de la mostaza y wasabi. Los experimentos revelaron que el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) activa la proteína y podría significar una señal de peligro universal. El uso de este químico permite detectar una variedad de temperaturas y otras señales de peligro.

Las plantas detectan al nematodo y secretan compuestos que lo confunden. El gusano *C. elegans* utiliza compuestos químicos (ascarósidos) para comunicarse. Son moléculas pequeñas y diversas que intervienen en la atracción sexual masculina y en la repulsión hermafrodita. **///** Un estudio encontró que las plantas detectan la presencia de los nematodos y secretan estos mismos compuestos en el suelo. Para las plantas, estos químicos son metabolitos secundarios (restos del metabolismo de azúcares). Pero una vez en el ambiente, puede funcionar como interferencia para

la comunicación del gusano. El trabajo usó tres especies de plantas (Arabidopsis, trigo y tomate) e identificó los metabolitos responsables (ascr#18 y ascr#9). Se comprobó que una mezcla al 90 % de ascr#9 y 10 % de ascr#18 agregado al suelo alejó a los nematodos de las raíces de la planta. Parece que los nematodos en el suelo perciben los químicos y son atraídos a la raíz, pero una mezcla muy potente identifica a una planta muy infectada. Entonces, el nematodo evita la sobrepoblación en esa planta. De esta forma las plantas manipulan la química del suelo y aparentan estar peor de lo que están. Las plantas suelen interferir en las señales de *quorum* de las bacterias dañinas, usando esta técnica.

El nematodo detecta a las bacterias patógenas y puede evitarlas. El gusano *C. elegans* necesita medios para evitar a la bacteria patógena *Pseudomonas aeruginosa*. Este microbio produce y libera óxido nítrico (N_2O) en forma de gas. ***///*** En un estudio se observó el comportamiento del gusano mediante imágenes que visualizan el calcio gracias a modificaciones genéticas. Se observó que el gusano detecta el gas usando dos neuronas sensoriales de químicos. También se verificó que una proteína (tiorredoxina) regula la respuesta del gusano al gas. Esta proteína es usada en las plantas y animales con diferentes propósitos. De esta forma el nematodo detecta a las bacterias en el terreno y puede cambiar su movimiento y eludirlas.

MODELO DE CAPAS

41 aprendizaje

¿de qué se trata? El aprendizaje está en la base del iceberg de la cultura. Aprender abre las puertas a la enseñanza y de allí a la transferencia de conocimiento entre generaciones. El aprendizaje ocurre por iniciativa personal mediante prueba-y-error, por observación social de lo que hacen los demás, por empatía entendiendo las emociones del otro y por teoría de la mente que permite comprender el conocimiento de los demás. El aprendizaje da soporte a la comunicación oral o por gestos y al uso de herramientas. Por esto la capa de aprendizaje se ubica primera en el modelo de capas sobre el *hardware* y soporta a todas las capas de *software* superiores.

Una misma prueba de aprendizaje en varios animales. /// Un estudio trabajó con 140 animales de 39 especies de mamíferos carnívoros en zoológicos. Se les entregó una caja metálica cerrada con una puerta que abría deslizando un pestillo. En el interior estaba la comida preferida de cada especie. Se les dio 30 minutos para resolver el problema sin entrenamiento. El 35 % resolvió el problema (49 individuos de 23 especies). Los mejores fueron los osos con el 7 0% de éxito y los más torpes los suricatas y mangostas (0 %). El éxito acompañó a las especies con mayor relación de tamaño cerebro/cuerpo. En general los de mayor tamaño corporal tenían menos éxito. La destreza manual no afectó el éxito de resolución de problemas. Las especies que viven en grupo no se comportaron mejor que los solitarios, por lo que no se confirmó la hipótesis del cerebro social.

aprendizaje prueba-error

Se elige una alternativa (la prueba) y se verifica si funciona (acierto-o-error). Este tipo de aprendizaje obtiene una solución en caso de éxito y se memoriza. En caso de error, se intenta otra alternativa. Si un animal queda atrapado en una sola alternativa, probándola una y otra vez se puede concluir que no hay aprendizaje. Si un animal soluciona un problema complejo en un primer ensayo (suponiendo que no fue por azar) se puede sospechar que no usó el método de prueba-error, sino un razonamiento más complejo derivado de aprendizajes anteriores. El método prueba-error está orientado a obtener

(208) Algunos tipos de aprendizaje

(1) Prueba y error. Este estornino aprendió a abrir una canilla con el pico. **(2)** Este cuervo tardó 30 seg en entender que para llegar a la comida a final del hilo en el pozo debía tirar con el pico y sostener el hilo con las patas. **(3) Impronta.** Al nacer los patos siguen al primer objeto que observan. **(4)** Las ratas aprenden a tirar de las cuerdas. **(5)** En Marruecos los granjeros enseñan a las cabras a subir a los árboles de argán (*Argania spinosa*). Las cabras regurgitan las semillas y los granjeros las usan para producir aceite. **(6)** Los cerdos pueden aprender a resolver rompecabezas.

una solución, cualquiera sea. No intenta descubrir por qué funcionó, tampoco generalizar las soluciones a otros problemas, ni encontrar todas las soluciones o la mejor solución. Es una solución básica cuando el conocimiento previo es exiguo o nulo.

(F208) Aprendizaje por andamios: se progresa paso a paso, una decisión a la vez. **///** Un estudio trabajó con abejas a las cuales se les ofrecían flores artificiales que daban una recompensa azucarada. Para llegar a ellas, el proceso cada vez era más desafiante, lo que incluía mover objetos hacia un lado o hacia arriba. Cuando se probaron abejas de control, sin haber realizado las etapas previas, dejaron de intentarlo. Las que progresaban por pasos cada vez más complejos podían lidiar con las pruebas más difíciles.

Arañas saltarinas (i): sobre el aprendizaje.

(1) Aprendizaje para el engaño. Las arañas saltarinas cazan arañas tejedoras. Aprenden a interpretar las señales vibratorias en la tela causada por las arañas tejedoras y de esta forma engañarlas. **///** Un estudio con la araña *Portia africana* encontró que las señales vibratorias de engaño se aprenden por prueba y error. Las arañas tejedoras más pequeñas son fáciles de atrapar porque son es-

timuladas por las arañas saltarinas al mover la red simulando una presa. Pero las tejedoras más grandes deben ser atraídas a la periferia de la tela. Por lo tanto, aprenden a simular las vibraciones para cada tipo de tejedora.

(2) Aprendizaje y olvido. /// En otro estudio con la araña saltarina *Marpissa muscosa* se le asignaron dos tareas de discriminación. Consistía en asociar un color o una ubicación para obtener un premio. Se encontró que recordaban mejor el color que la ubicación y que además de aprender, podían revertir el aprendizaje cuando era necesario. Esto le da flexibilidad al comportamiento.

Arañas saltarinas (ii): la decisión de la ruta.

(1) El problema de la isla. /// Un estudio trabajó con nueve especies de arañas saltarinas. Se les presentó un problema en el que debían abandonar una isla construida en una bandeja con agua. Había dos soluciones posibles para abandonar la isla: saltar o nadar. Antes del inicio de cada prueba, se decidía por azar cuál de las dos alternativas debía fracasar. Se concluyó que, en siete de las nueve especies, la solución era por prueba (elegían una alternativa cualquiera) y cambiaban si fracasaban (error).

(2) La ruta oculta por el paisaje. La araña saltarina *Portia fimbriata* detecta la presa a la distancia y se mueve siguiendo un camino tortuoso que implica perder de vista a la presa. Luego aparece en la parte superior, se despliega y cae sobre la víctima. Es una habilidad de la toma de decisiones para planificar una ruta. La conducta se divide en dos fases: la exploración para examinar el entorno y la locomoción hasta la presa. **///** Un experimento utilizó doce configuraciones para examinar la capacidad para elegir entre dos caminos posibles. Uno llevaba a un señuelo (una araña seca y muerta) y el otro a la araña viva. La araña podía verlos cuando estaba en la plataforma inicial, pero lo perdía de vista cuando se movía. Se midió que elegía la ruta correcta con más frecuencia que la ruta incorrecta. Luego se las observó en una arena abierta. Las arañas exploraron al inicio y a lo largo de la ruta del desvío. La toma de decisiones se produjo gradualmente, tanto durante el escaneo como en las fases locomotoras. Se concluyó que usan una forma de ensayo y error indirecto. La araña inspecciona posibles rutas y selecciona objetivos intermedios para llegar a la meta.

Picaflor ermitaño (*Phaethornis longirostris*)**: aprendizaje y memoria espacial de los comederos.** Este picaflor vive en el sotobosque y canta todos los días durante ocho meses en sitios de exhibición (*leks*). Los dominantes defienden su percha con cantos y picotazos. Los más sumisos van y vienen. Durante las salidas para alimentarse abandonan el lugar y vuelan lejos. **///** En un experimento con comederos se encontró que algunos llegaron a acertar todas las veces con el comedero que tenía alimento y otros viajaban al azar. Se encontró que los dominantes tenían mejor memoria espacial de los comederos. Esto coincidía con las canciones más consistentes. Este patrón fue independiente de la edad, tamaño o fuerza del vuelo. La memoria espacial hace que los viajes de forrajeo sean más cortos.

Palomas: aprenden a asociar fotos y símbolos. /// Un estudio entrenó a palomas para asociar fotografías (en blanco y negro) de 16 categorías (perro, bebe, pastel, etc.) con un ícono. Por ejemplo, se mostraban ocho fotos de perros y dos íconos, uno el usado para perro y otro al azar. A cada elección correcta se le daba una recompensa. El desafío para la paloma era que la categoría perro incluía todo tipo de razas, tamaños y posiciones. Las palomas lograron aprender la tarea y transfirieron el aprendizaje a cuatro

(209a) Estudio del caso garza blanca: aprendizaje del apareamiento
En la garza blanca (*Ardea alba*) el apareamiento requiere perfeccionarse. En la secuencia **(1)** el macho se posiciona sobre la hembra pero cruzado (1a). De esta forma las dos cloacas no pueden enfrentarse. Luego abandona la posición (1b-1c). En la secuencia **(2)** la mismo pareja en la misma rama tampoco logra encontrar la combinación correcta. El macho se desanima y se resigna (2b). La hembra se lo quita de encima volteándose de costado (2c).

(209b) Estudio del caso garza blanca: aprendizaje del vuelo
Cuando la cría está en condiciones de iniciar el vuelo ensaya los movimientos en el nido antes de abandonarlo por primera vez. La necesidad de aprendizaje se evidencia porque en los primeros vuelos les resulta más fácil volar en línea recta. Lo difícil es dominar los giros hacia los lados y el aterrizaje.

nuevas fotos en cada categoría. Parece que esta forma de aprendizaje es equivalente a la que usan los niños humanos para aprender palabras. La diferencia es que en los humanos se usan palabras y en las palomas símbolos.

(F209) Aves: la construcción del nido y la posición para el apareamiento.

(1) El nido del tejedor (*Ploceus cucullatus*). **///** Un estudio observó una temporada de reproducción de los tejedores en Botswa-

na. Este pájaro construye nidos colgantes en el extremo de las ramas de los árboles con la entrada en la parte inferior. Usa hierbas de 30-60 cm que entreteje y que recoge en los pastizales. Anidan en colonias con cientos de nidos del mismo árbol y cada macho hace una decena de nidos en una temporada. El macho construye un nido, se aparea con una hembra que queda a cargo del nido e inicia la construcción de otro nido. Si el nido en oferta es rechazado por la hembra, el macho lo destruye y arma otro. El estudio encontró que los machos variaron la forma de construir el nido de uno a otro. En la medida en que ganaban experiencia se les caían menos hojas de hierba.

(2) El apareamiento de la garza blanca (*Ardea alba*). **///** El autor de este libro siguió tres temporadas de cría de garzas en Buenos Aires. Un garzal ocupa decenas o centenas de nidos lo que facilita la comparación de la personalidad de las parejas. Se observó que el tiempo de construcción del nido era variable. Alguna parejas llegan formadas al garzal, ya estaban entrenadas y construyeron el nido muy rápido (2-3 días). También se apareaban rápido y todo el proceso de reproducción parecía estar aceitado. Otros llevaban días de prueba y error, con frecuentes distracciones y falta de enfoque en la tarea. Parecían parejas inexpertas que requirieran perfeccionar todo el proceso y quizás ayudara la observación de los vecinos. Además de la técnica de construcción del nido, la técnica de apareamiento se perfecciona también con el ensayo y error. Tienen una idea básica sobre la que deben trabajar en la práctica mediante ensayos. Se observaron casos extremos donde llevó días para que el macho adoptara la postura correcta sobre la hembra para el apareamiento.

Tortugas: aprenden rápido porque no tienen cuidado parental. Al no estar los padres al nacer y con una tasa de muerte muy alta, tienen una fuerte selección natural para el aprendizaje desde el primer momento.

(1) La orientación en el laberinto. /// Un estudio creó un laberinto de prueba de estructura radial de ocho brazos, similar al usado con ratas. Se probó con la tortuga de patas rojas (*Chelonoidis carbonaria*). Al igual que con los roedores, se coloca a la tortuga en el centro del laberinto y se le dan ocho oportunidades para recuperar la comida al final de cada brazo. La tortuga aprendió a orientarse y no volver a brazos donde ya había comido. Parecía crear un mapa cognitivo de los objetos que estaban más allá del laberinto. Cuando se complicó el laberinto, eliminado los puntos de referencia, la tortuga cambió de estrategia. Visitó el brazo vecino al que acababa de dejar y cubrió todos los brazos del laberinto. Esta flexibilidad no se vio en las ratas que buscan nuevos puntos de referencia cuando se eliminan los viejos.

(2) El aprendizaje y el recuerdo. /// En otro estudio con tortugas gigantes de Galápagos y Seychelles, alojadas en un ambiente de zoológico, aprendieron más rápido cuando fueron entrenadas en grupo. Se les enseñó a distinguir colores en una tarea de dos opciones. Cuando se volvió a probar tres meses después del entrenamiento inicial, todos los animales recordaban la tarea. Los animales que se probaron nueve años después, aún conservaban el recuerdo de la tarea, pero necesitaron volver a aprender la discriminación específica. Se trata de una evidencia de separación entre la memoria implícita (inconsciente) y explícita (consciente) en las tortugas.

aprendizaje por asociación

Avispa (*Cotesia marginiventris*)**: necesitan asociar el olor con la planta que lo produce. ///** El maíz es atacado por la oruga de la polilla lombriz africana (*Spodoptera littoralis*). La oruga herbívora rompe la hoja y se

liberan gases que atraen a la avispa cotesia parásita de la oruga. Lo que ocurre es que la saliva de la oruga activa un gen (TPS10) en la planta. Este gen produce una enzima (terpeno-sintasa) que genera un aroma de nueve compuestos. En laboratorio, las avispas encerradas en un cilindro olfatómetro reconocieron y volaron en dirección al aroma. Pero, las avispas jóvenes "ingenuas" necesitaron una primera exposición a la esencia de maíz y a las orugas, lo que permitió formar la asociación entre ambos. Sin esta experiencia no pudieron distinguir entre plantas y no se movieron.

Hormiga de las salinas (*Cataglyphis fortis*)**: requiere asociar el olor con la comida.** Esta hormiga de Túnez tiene habilidades en rastrear alimentos y regresar al nido. Los olores de los alimentos los aprenden en el primer contacto y los memorizan de por vida. Pero necesitan varias pruebas para memorizar los olores de los nidos y los olvidan muy rápido. Esto tiene sentido, porque se topan con muchos alimentos y necesitan recordar aquellos que fueron buenos. En cambio, el nido siempre puede oler igual durante la corta vida de una hormiga. **///** Un estudio evaluó la memoria de 30 olores de alimentos. Se sostuvo un palo perfumado con olor a dos metros de una hormiga para que el viento soplara hacia ella. La hormiga ignoró los olores. Luego le dieron una porción del alimento, se sintieron atraídas al olor y fijaron la relación entre el alimento y el olor (aprendizaje por asociación). Esto persistió incluso 25 días después del aprendizaje. Como la vida de estas hormigas es corta (promedio seis días en la naturaleza) ese tiempo es toda la vida. Sin embargo, costó mucho que aprendieran nuevos olores asociados a los nidos. Cuando se realizó la experiencia con un aroma a la entrada del nido, necesitaron entre cinco y diez pruebas para aprender el olor. Cuando se eliminó el olor del nido y después de varios regresos, dejaron de responder perdiendo la memoria.

aprendizaje igual-diferente

Peces: problemas para reconocer el concepto igual-diferente I/D. Una prueba clásica consiste en recompensar al animal cuando elige un par de objetos iguales o diferentes. Cuando una especie comprende esta tarea pueden transferir el conocimiento a otras pruebas nuevas. Esto sugiere que aprendieron el concepto abstracto. **///** El pez arquero (*Toxotes chatareus*) fue capaz de reconocer rostros humanos, pero no superó la prueba de igual-diferente. Un estudio trabajó con seis peces arquero que fueron entrenados para seleccionar una pareja de objetos que eran iguales o distintos. Mientras la pareja de objetos no se modificó, permitía hacer una asociación directa. Pero, cuando se presentaron otros seis objetos para usar el mismo concepto, no podían hacerlo. Tampoco se tuvo éxito con los cíclidos (género *Pseudotropheus*). Con el pez dorado (*Carassius auratus*) las pruebas fueron más prometedoras. Este último caso supone que quizás hay que buscar de otra manera y asegura que las generalizaciones ("los peces…") no sirven.

Cuervos: comprenden el concepto I/D. /// Un estudio trabajó con cuervos y se les enseñó a elegir pares de elementos I/D en una tarjeta. Luego se les complicó la tarea al presentarles tres tarjetas. La del centro informaba qué alternativa debían elegir, si los que eran iguales o diferentes. A los costados, se mostraban las alternativas con pares de objetos. Los cuervos resolvieron el problema de inmediato y en forma espontá-

nea, aun sin haber sido entrenados. El entrenamiento inicial de unir elementos I/D les permitió captar el concepto de lo abstracto.

Babuinos (*Papio papio*)**: pueden hacer asociaciones de asociaciones. ///** En un estudio con 29 babuinos, se les mostraron dos formas geométricas I/D. Luego se les mostraban dos pares de formas, un par era idéntico y el otro distinto. El babuino tenía que tocar el par que coincidiera con el inicial. En otras palabras, el babuino tenía que detectar la analogía. Después de un período de aprendizaje intensivo (miles de pruebas), seis babuinos realizaron correctamente la tarea. Demostraron así la capacidad de resolver estos problemas. El experimento se suspendió durante un año y luego volvieron a aprender la tarea mucho más rápido.

aprendizaje por miedo

Cangrejos ermitaños (subfamilia *Paguroidea*)**: el dolor es un incentivo para el aprendizaje.** Estos cangrejos se instalan en conchas marinas abandonadas, pero se les puede obligar a salir si reciben un golpe dentro de la concha. **///** Cuando se colocaron cangrejos en un estanque con refugios, buscaron el mejor lugar para permanecer seguros. Luego se les aplicaron descargas eléctricas y los cangrejos cambiaron de lugar. Es un aprendizaje rápido, justo lo que se espera de un animal que experimentó dolor. Se encontró que la probabilidad de abandonar su concha depende de la intensidad del choque eléctrico y de la conveniencia del caparazón. Los cangrejos en mejores conchas sufrieron grandes conmociones antes de que estuvieran dispuestos a mudarse. Esto sugiere que pueden sopesar la calidad del refugio y la posibilidad de obtener un reemplazo.

Ratones: el miedo influye en el aprendizaje y la personalidad.

(1) Si bien se confunden, las ratas y ratones son muy diferentes en la capacidad de aprendizaje. **///** Un estudio comparó la capacidad de ratas (género *Rattus*) y ratones (género *Mus*). Se entrenaron animales en una cámara de tres puertas. A cada lado se entregaba un sonidos de baja (2 kHz) y alta (9 kHz) frecuencia y el animal debía discriminar entre ellos. Recibían una recompensa de agua por la elección correcta. Los ratones tardaron más tiempo que las ratas en aprender. Las ratas son más pacientes y pueden esperar varios segundos mientras se les presentan estímulos sensoriales.

(2) El miedo lleva a la parálisis o la agresión. /// Un estudio encontró que, ante un peligro, la mayoría de los ratones corren, permanecen inmóviles y algunos pocos presentan batalla. La información desde los sentidos se envía al tálamo en el cerebro. Desde allí se retransmite a otras áreas del encéfalo donde se procesa el control de la ansiedad y el miedo. Una conexión favorece la parálisis y otra incrementa la agresividad. Cuando se activaron estas áreas en forma artificial, los animales mostraron niveles altos de excitación y alerta. Esto explicaría por qué los actos de valentía generan una sensación de bienestar que motiva la repetición. Hay dos áreas del cerebro involucradas en el procesamiento del miedo. El circuito del miedo racional analiza amenazas lejanas que permiten razonar una estrategia (miedo cognitivo). Trabaja cerca del hipocampo en la corteza cerebral. En cambio, las amenazas inmediatas son de respuesta rápida (lucha, huida o congelación) y son manejadas por el circuito de miedo reactivo en el centro del cerebro.

(3) El miedo modula la personalidad. El estrés y el miedo no afectan a todos los individuos por igual, algunos desarrollan

depresión y otros se adaptan. **///** Un experimento trabajó con ratones hermanos (para igualar los factores genéticos), criados en las mismas condiciones (para igualar los traumas), y expuestos al mismo estrés crónico. Aun así, pudieron identificarse dominantes y subordinados. Los dominantes eran más susceptibles al estrés y el miedo y tenían una fuerte evitación social. Los subordinados mostraron alta resistencia a la pérdida de estatus.

Cuervos americanos (*Corvus brachyrhynchos*)**: reaccionan distinto a diferentes estresores. ///** Un estudio con 23 cuervos salvajes consistió en que un voluntario con máscara le mostrara un cuervo muerto. Luego de un minuto de presión psicológica se lo anestesió. Para el estudio se le inyectó un marcador radiactivo que resalta la actividad sináptica del cerebro en los últimos quince minutos. Mediante un escáner de tomografía por emisión de positrones se encontró que dos eventos estresantes (cuervo muerto o una rapaz) se grabaron en diferentes partes del cerebro. Se activó el hipocampo y cerebelo, regiones involucradas en el aprendizaje y la memoria. Aunque no mostraron reacciones externas al estar enjaulados, el procesamiento mental de las amenazas fue diferente. No solo respondían a un peligro sino que memorizaban la cara en el hipocampo.

Alces (*Alces alces*)**: la experiencia les enseña a lidiar con los cazadores**. **///** Mediante collares con GPS se siguió a 49 alces hembras durante seis años en Canadá. Se encontró que los alces de cuatro años eran más cautelosos que los de dos. Con el tiempo, los alces jóvenes empezaron a adoptar las conductas de los ancianos. Se movían menos durante la temporada de caza y se mantenían en bosques densos o terreno escarpado y rocoso. Cuando llegaban a la edad de nueve años, eran casi inmunes a la caza. Los alces ancianos podían distinguir si los cazadores usaban arcos o escopetas y alteraban su conducta. Durante la temporada de arcos, utilizaban terrenos escarpados, lo que dificultaba el acceso de los cazadores. Durante la temporada de escopeta, se mantenían alejados de las rutas por donde se desplazan los cazadores a baja velocidad. También se observó una presión selectiva de los animales más flexibles que se adaptaron a las nuevas amenazas. Esta capacidad de aprendizaje puede aprovecharse para ejercer una pequeña presión de caza cerca de las tierras agrícolas para enseñarles a mantenerse alejados.

Pumas: el temor a los humanos modifica su conducta

(1) /// Un experimento de campo observó la conducta de alimentación de los pumas. En 29 ensayos con 17 especímenes, los pumas huyeron en el 83 % de las pruebas cuando se les hizo escuchar voces humanas. Solo una vez huyeron en respuesta al sonido de una rana. Los pumas tardaron más tiempo en volver a matar si escuchaban una voz humana y redujeron el tiempo de alimentación a la mitad. Casi todos los individuos mostraron miedo ante el sonido de humanos.

(2) /// El seguimiento mediante GPS de pumas en California, permitió observar que matan venados cerca de residencias. Pero, en tanto en las áreas silvestres los pumas permanecen alimentándose por varios días, en áreas periurbanas se alejan para volver por la noche. Esto provoca un malgasto de energía y un incremento del 36 % en matanza de ciervos porque no pueden consumir toda la presa. La presencia humana produce miedo en los pumas y se traslada a una mayor presión sobre los ciervos. Por otro lado, en una isla de Canadá se encontró que el

sonido de los perros domésticos redujo el tiempo que actividad también de los mapaches. Esto aumentó la abundancia de sus presas (cangrejos, peces y gusanos).

memoria prenatal

Molusco sepia (orden *Sepiida*)**: usan información anterior al nacimiento. ///** Los embriones de moluscos sepia nacen de huevos transparentes. Este sistema está activo porque cuando se mueve la mano delante del huevo cambia su color. En un estudio se dejaron huevos para desarrollarse junto a cangrejos vivos, separados por un cristal transparente. En la naturaleza, las sepias recién nacidas prefieren alimentarse de camarones, pero las del experimento prefirieron los cangrejos. Esto sugiere que la vecindad en el período prenatal y la visión embrionaria lograron un aprendizaje en el embrión.

Ranas y salamandras: el olor del predador genera memoria en el huevo de la presa. /// Un estudio trabajó con embriones de ranas de madera (*Lithobates sylvaticus*) dentro de sus huevos gelatinosos. Durante cinco días se los expuso al olor de renacuajos aplastados y de la salamandra tigre (*Ambystoma tigrinum*), que es un depredador. Ambas informaciones deberían relacionarse, de forma que cuando los renacuajos tenían unas semanas de vida se los expuso al olor de la salamandra. Aunque nunca conocieron una salamandra, los renacuajos se paralizaron. Esta es una respuesta típica ante el terror para no ser notados. Lo interesante es que, si los huevos fueron entrenados por la mañana, los renacuajos respondían al peligro solo por la mañana. Esto podría ocurrir al relacionar los olores con el reloj circadiano.

Codorniz de Japón (*Coturnix japonica*)**: la preferencia del canto prenatal. ///** Un estudio tocó grabaciones de canciones de codornices grabadas en Japón a huevos de codornices de Norteamérica. Cuando los polluelos nacieron se les ofrecieron canciones de la especie adoptiva o de la propia (que nunca habían escuchado). Como resultado de la experiencia de aprendizaje prenatal, la canción ajena superó al instinto con la canción propia. Las codornices se dirigieron a la canción impuesta.

Lo que come la madre influencia a las crías

(1) Gallinas ponedoras (*Gallus gallus*)**: comida con olor a pescado. ///** En un estudio con gallinas se encontró que los aceites añadidos en la dieta confieren un aroma específico a la yema. Los embriones perciben y memorizan estas señales y el aprendizaje perceptivo orienta la conducta del pollo en el futuro. Por ejemplo, un grupo de gallinas ponedoras recibieron alimentos estándar enriquecidos con aceite de pescado (grupo de prueba) y otro grupo con aceite de soja (grupo de control). Cuando los polluelos fueron puestos a elegir entre una comida con olor a pescado y otra sin olor, los del grupo de control eligieron sin olor y el grupo de prueba con olor a pescado. Se comprobó que seguían una enseñanza (memoria) química de la madre.

(2) Ovejas (*Ovis aries*)**: comida con gusto a orégano. ///** Un estudio buscó conocer cómo el alimento de la madre preñada influye en las preferencias de las crías. Un conjunto de 16 ovejas preñadas se separaron en dos grupos. Un grupo de control recibió alimento concentrado y heno de alfalfa. El grupo de prueba tenía la misma dieta, pero el alimento concentrado se suplementó con aceite esencial de orégano. Luego de nacidos, los corderos se sometieron a una prueba

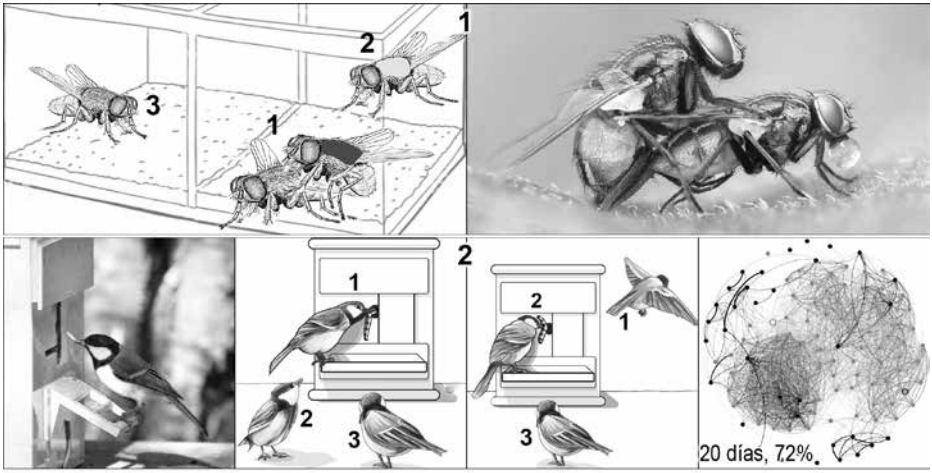
de preferencia de alimentación. Debían elegir entre tres alimentos: uno suplementado con eucaliptus, otro con esencia de naranja y otro con orégano. Para el grupo de control, existió una leve preferencia por el suplemento de naranja. Para el grupo de prueba, una preferencia neta por el suplemento de órgano.

impronta postnatal

Mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)**: el tamaño de la mosca se aprende al nacer.** Cuando abandona la pupa, la mosca aprende a reconocer su propio tamaño. Lo hace capturando con la visión el movimiento. Es un aprendizaje inicial, una forma de impronta, que dura toda la vida. **///** Un experimento consistió en tomar moscas recién nacidas y criarlas en la oscuridad para evitar este aprendizaje. Luego se siguió la conducta desplegada para "superar una brecha". Esta conducta se inicia con el insecto buscando con las patas delanteras levantadas sobre la cabeza. Si la brecha es demasiado amplia la mosca se resigna. En este caso, como no disponían del paralaje en la retina, generado al nacer, las moscas sobreestimaban el tamaño de su cuerpo y trataban de superar brechas demasiado grandes. Luego, se hizo lo opuesto. El paralaje de movimiento fue manipulado y reducido durante el proceso de aprendizaje. Estas moscas subestimaron el tamaño de su cuerpo y realizaron menos intentos de superar brechas. La primera impresión que obtiene una mosca le permite calibrar su tamaño y una vez memorizado lo usará toda su vida. El tiempo que perdura se demostró con moscas que pasaron 21 días en la oscuridad después de tres días en condiciones normales de luz. Las moscas mantuvieron la calibración, medida como número de intentos de superar una brecha.

Mosca de la manzana (*Rhagoletis pomonella*)**: el aprendizaje de la orientación.** La mosca de la manzana solo gusta de los manzanos. Unos 50 años de estudios informan sobre los gustos de árboles, frutas y olores. **///** Un estudio generó un ambiente artificial para el vuelo mediante una pantalla que movía una imagen en función del batido de las alas. Se generaron flujos de aire para imitar el viento y se agregaron bocanadas de olor a la mezcla. Se generó una realidad virtual aumentada en el mundo de los insectos. En un experimento se encontró que usaban el paralaje de movimiento para percibir la profundidad de un objeto contra un fondo complejo. Se presentaron dos árboles que cambiaban de tamaño en la medida en que la mosca volaba. Las señales del flujo de aire ayudaron a las moscas a orientarse en ausencia de señales visuales. Las moscas usaban la perspectiva y el paralaje de movimiento en el vuelo, y combinaban diferentes entradas sensoriales para ubicar objetos.

Patitos: la impronta con objetos geométricos y de a pares. Los patitos aprenden a identificar y seguir a su madre lo que ofrece seguridad. Lo hacen mediante la impronta que ocurre en los 15 minutos posteriores a la eclosión (período sensible), tal cual lo describió K. Lorentz. Deben poder extrapolar la imagen inicial de la impronta con la real que verán luego. **///** En una estudio se les presentaron un par de objetos, iguales o diferentes en forma o color, que se movían en una trayectoria circular. Los patitos tomaron la impronta con estos pares de objetos (cubos, prismas o esferas). Luego se les mostraron conjuntos de objetos con formas o colores diferentes a la impronta. Se encontró que preferían elegir los objetos nuevos que mostraban la misma relación, sea iguales o diferentes. Por ejemplo, si la impronta fue de dos esferas, entonces elegían dos pirámi-



(210) El aprendizaje por observación social

(1) Sesgo sexual por imitación. Una mosca hembra se aparea con un macho de color oscuro (1). Un macho de color claro (2) es rechazado. El resto de hembras (3) que observan adoptan el sesgo de preferencia sexual.

(2) Propagación de una habilidad. Una caja con gusanos se abre con una puerta deslizante. Se entrena a un carbonero (1) para abrirla. La habilidad se propaga por observación (2-3). En un estudio se tardó 20 días para que 72% de la red social aprendiera el truco.

des o dos objetos de igual color. Ocurría en el 70 % de las oportunidades. Es una demostración de que aprenden a discriminar entre conceptos abstractos en forma espontánea.

aprendizaje social

¿de qué se trata? El aprendizaje social involucra las habilidades adquiridas por observación de otros participantes del grupo. La parte densa de este tipo de aprendizaje se relaciona con la capa de cultura, en el modelo. Aquí se ofrecen ejemplos con proyección para las capas superiores del modelo.

Las abejas aprenden por observación. /// Para una prueba se armó una "arena de vuelo" consistente en flores artificiales. Las flores eran de colores y podían tener agua azucarada o quinina amarga. Un grupo de abejas podía observar lo que ocurría y a otro grupo de control no se le permitió observar. Luego se enfrentó a los dos grupos a las flores. Los que vieron la acción elegían las flores de color correctas. Las abejas de control las elegían al azar. Las abejas no copiaban las elecciones de abejas que habían elegido la quinina, lo que prueba que entienden la aceptación y el rechazo de otras abejas.

(F210) Mosca de la fruta: la preferencia sexual se propaga y puede llegar a ser cultural. /// Un estudio trabajó con varios aspectos relacionados: aprendizaje social, herencia cultural, copiado, reparación y refuerzo de una información. La prueba se realizó introduciendo un sesgo de preferencia sexual en las moscas hembra cuando observaban a congéneres copulando.

(1) Sesgo a favor de un fenotipo. En el primer paso una mosca hembra elegía entre dos fenotipos de machos bien diferenciados porque estaban pintados con color verde o rojo. Por ejemplo, el macho verde

copulaba mientras el rojo era rechazado. Detrás de un vidrio otras hembras observaban y adoptaban un sesgo a favor del color verde. Otras hembras, las que formaban el grupo de control, tenía un papel opaco que impedía observar la escena. Las hembras de control no mostraron preferencia. Esto es el aprendizaje social donde se adopta un sesgo a favor de una alternativa influenciado por una opinión externa.

(2) Propagación del sesgo. Luego se permitió que las hembras observadoras se convirtieran en demostradoras para otras hembras. Se comprobó que el sesgo se mantenía por unas 24 horas, lo que es el largo plazo para las moscas. En las moscas, la memoria social a largo plazo se correlaciona con una proteína (novo) que puede ser inhibida por otra (cicloheximida). De esta forma se interrumpe la memoria social y las hembras tratadas con este inhibidor se comportan igual que las hembras de control. Se concluyó que hay una propagación del sesgo y además es persistente.

(3) Modificación del sesgo. El paso final fue comprobar que este sesgo conformista (tendencia a copiar a la mayoría) puede ser modificado. Se utilizó un dispositivo en hexágono donde hay seis estancias con demostraciones. Se manipuló la proporción de hembras que copulaban con uno u otro color de macho. Se encontró que las observadoras preferían a los machos del color preferido por la mayoría. Así se forman las tradiciones culturales.

Grillo de madera (*Nemobius sylvestris*)**: aprende a evitar a la araña lobo (género *Pardosa*).** Los grillos se esconden debajo de las hojas para evitar a las arañas. Esta conducta puede servir de información para otros congéneres. La densidad de grillos y arañas hace más probable el aprendizaje social que el personal (exposición directa). ***///*** Los experimentos se realizaron en laboratorio e incluyeron grillos y arañas capturados en la naturaleza. Se probó un grupo de grillos en aprendizaje directo (frente a arañas) y otro en aprendizaje social (observadores). Los del primer grupo se convirtieron luego en demostradores del segundo. Se formaron 48 grupos de diez grillos que pasaron dos días en cajas con tres arañas lobo. Luego se añadieron cinco observadores, se dejaron seis horas y se retiraron los demostradores. Se midió el tiempo que pasaban sobre las hojas. Se encontró que, después del aprendizaje social, pasaban más tiempo bajo las hojas cuando había arañas. La propensión para esconderse se mantuvo seis horas después que se quitaron las arañas. Esto refleja la dificultad para evaluar la reducción del riesgo (sobrestiman el riesgo).

(F210) Carbonero común (*Parus mayor*)**: el aprendizaje social y la personalidad.** La personalidad se manifiesta de diferentes formas. Por ejemplo, algunos son más activos en las redes sociales. La propagación del aprendizaje social es más rápida en las redes que tienen individuos más activos.

(1) La propagación en la red social. ***///*** Un estudio preparó alimentadores colocados en el bosque. El alimentador contenía gusanos y la apertura se realizaba con una puerta corrediza. Primero se entrenó a un carbonero y la habilidad de apertura se propagó por observación en casi toda la población. Los carboneros estaban equipados con un *microchip* que permitió hacer un diagrama de la red social y luego seguir la propagación de la habilidad de apertura. Se encontró que las aves más reticentes y sedentarias tienden a tener una red social corta y la habilidad se propaga lentamente. Los más arriesgados son activos y se contactan con muchos carboneros aunque por menos tiempo.

(2) /// En otro trabajo con carboneros silvestres, se les colocó una identificación de radiofrecuencia en la pata. Con esto tenían acceso individual a estaciones de alimentación automáticas en el bosque. En algunas parejas se habilitó el acceso de la hembra, pero se prohibió el del macho a la misma estación. Se encontró que priorizaban su vínculo social sobre su propio acceso a los alimentos. Por eso acudían a los comederos a los que no podían acceder pero mantenían la cercanía con la pareja. Estaban obligados a pasar tiempo con individuos no deseados en otras circunstancias debido a la diferencia de personalidad. Los carboneros son aves innovadoras en la resolución de problemas, y aprendieron a ingresar a la estación una vez que era desbloqueada por la pareja. Esto indica que pueden tener estrategias cooperativas.

Chimpancé: primero prueba-error y luego aprendizaje social. /// Los chimpancés aplican prueba-error pero de inmediato copian al que tiene éxito. Por ejemplo, cuando se les dio un envase de jugo y un sorbete probaron varios métodos ineficientes. Por ejemplo, sumergir el sorbete y lamerlo. Pero tan pronto como uno del grupo lo uso para succionar el jugo, todos imitaron y pasaron a la forma más eficiente de uso.

ESTUDIO DE CASOS

pulpos: *software* similar, *hardware* diferente

sobre el sistema nervioso

El cerebro del pulpo: diferente y complejo. El análisis del genoma permitió reconstruir la historia evolutiva del phylum de los moluscos (100.000 especies) con 500 Ma de evolución. **///** La formación de un cerebro complejo en los moluscos se produjo en cuatro oportunidades. Los cefalópodos (pulpos y calamares) representan las dos primeras ramas (sin concha), en tanto las almejas y ostras fueron posteriores. El genoma del pulpo muestra que tuvieron duplicaciones de genes, lo que permite producir más cantidad de la misma proteína. Un grupo muy copiado es el que produce unas proteínas (protocadherina) ligadas al desarrollo e interconexión de neuronas en redes complejas. Mientras que las lapas y ostras tienen unos 20 genes de este tipo, en el pulpo hay 168. Los mamíferos también producen una gran variedad de estas proteínas, pero usan menos genes.

Pulpo común (*Octopus vulgaris*)**: El sistema nervioso tiene nueve grupos de neuronas.** En los mamíferos, la complejidad del cerebro se supone va de la mano con el ambiente social. Pero como los pulpos son solitarios, el desarrollo debió ser impulsado por los problemas ecológicos derivados de los arrecifes de coral. Los pulpos tienen una visión casi monocular que se suma a una lateralización en el cerebro. Es decir, un cerebro con funciones separadas, como en los mamíferos.

(1). **El tamaño del cerebro. ///** Este pulpo tiene unos 500 millones de neuronas agrupadas en nueve lugares. El 10 % de las neuronas están en el cerebro central que rodea al esófago (garganta). Este cerebro es la condensación en un lugar de los ganglios que tienen otros moluscos. Unas 350 millones de neuronas están repartidas entre los ocho tentáculos, lo que les permite actuar con cierta autonomía funcional. Como viven solo un par de años, resulta llamativo que construyan un cerebro grande. Desde una perspectiva evolutiva no ofrece un buen retorno de la inversión.

(2) Control autónomo. /// La autonomía neuronal de los tentáculos se verificó en un estudio que retiró un tentáculo de un pulpo luego de la muerte. El tentáculo siguió respondiendo a un pellizco y la aplicación de ácido acético (vinagre). El agua de mar o la compresión suave no provocaron ninguna respuesta.

(3) Control central. /// El control central de los tentáculos se puso a prueba en un laberinto con comida en el extremo. Para llegar a ella el laberinto obligaba al pulpo a enviar un solo tentáculo y a sacarlo del agua, por lo que no podía usar los sensores químicos. El pulpo se debía guiar por la visión ya que las paredes eran transparentes. La mayoría de los pulpos bajo prueba guiaron su brazo hacia la comida. Esto probó que el cerebro central podía controlar el brazo con la información visual.

(4) Lateralización del cerebro. /// Otro estudio encontró que tienen una late-

ralización en el cerebro. También tienen una preferencia por los brazos. La exploración prefieren hacerla con los brazos anteriores para alcanzar y explorar objetos. Esto apunta a una división de tareas entre los brazos. Se encontró que tienen un brazo específico para meterlo en los laberintos de estudio.

Pulpo dos manchas (*Octopus bimaculoides*)**: el efecto de las drogas.** Los estudios del genoma indicaba la similitud de genes entre pulpos y humanos para la serotonina (neurotransmisor ligado al estado de ánimo) y su detector (en la membrana de las células). Se sabe que este detector es el lugar donde se une la droga MDMA (éxtasis). En los humanos es la serotonina y en el pulpo una proteína similar (SLC6A4). **///** Un estudio ideó una prueba para siete pulpos de acuario. Se sumergieron en agua salada (grupo de control) o en una solución con la droga. Luego se los llevó a un recinto que tenía en un extremo un juguete y en el otro un pulpo enjaulado. Los pulpos no son animales sociales por lo que sin la droga evitaron al otro pulpo. Pero con un baño en la droga pasaron más tiempo cerca del otro animal. Esto es muy similar al efecto en los humanos. A pesar de las diferencias, la forma de trabajo de las drogas es igual en el pulpo y los humanos.

son exploradores

Pulpo común: aprenden un laberinto. /// Un experimento quería averiguar si son capaces de dirigir su brazo en base al tacto, sin poder verlo. Se creó un laberinto opaco en forma de Y. Primero se entrenó a seis pulpos para asociar el camino derecho o izquierdo con una recompensa. Luego se enfrentó a otros seis pulpos a un laberinto en Y donde una rama era áspera y otra lisa y una tenía la recompensa. Se encontró que en la segunda variante el movimiento era más lento debido a que debían primero detectar la textura. Se concluyó que el aprendizaje ocurre en el cerebro central y que luego la información está disponible para cada brazo. En general el proceso de decisiones se realiza primero a nivel de ventosa y sus vecinas en cada brazo, luego entre brazos (sistema nervioso periférico) y al final en el cerebro central. Aunque el cerebro no está seguro de dónde está cada brazo en el espacio, los brazos saben dónde están los demás. Esto permite la coordinación durante la locomoción lenta.

El pulpo tiene capacidad de orientación y recuerda los lugares. También tienen buena capacidad de navegación tridimensional y pueden recordar la ubicación de alimentos e información sobre lugares visitados. Deben comprender que las referencias tienen relevancia dentro del contexto en que están.

(1) /// En un acuario se colocó una serie de referencias (objetos de plástico, piedras o grupos de algas) que llevaban a una salida oculta en el fondo. Tenían que evitar refugios falsos que estaban obturados al final. Pudieron aprender el camino con solo cinco ensayos. También fueron capaces de aprender dos lugares en simultáneo, porque se los movía de un acuario a otro después de cada prueba y aprendieron ambas geografías.

(2) /// Un estudio en el ambiente natural en Bermudas encontró que los pulpos regresaban a sus guaridas por otra ruta después de los viajes de caza. La mayoría de los pulpos conocían el laberinto natural donde se encontraban y usaban el camino óptimo para el regreso.

Los pulpos son exploradores que abandonan sus estanques en los acuarios. -**///** Una mañana, en un acuario se encontró

que un macho de pulpo de arrecife (*Abdopus aculeatus*) no estaba en su tanque. Luego apareció en el de la hembra. Había espermatóforos, las cápsulas que contienen esperma, flotando en el agua. La única forma de comunicación entre tanques era por la tubería de agua.

-**///** En otro caso se pudo filmar a un pulpo que por las noches salía de su estanque en el acuario, abría otro estanque, comía unos peces, cerraba la tapa, y volvía al suyo.

-/// Otro caso involucró a un pulpo hembra (*Inki*) que una noche salió de su estanque, viajó por el piso del acuario y se metió en una tubería de desagüe de 50 m de largo que conducía al mar. Nunca más apareció.

creatividad y juego

Los pulpos reconocen a los humanos y lo hacen saber. Se cuenta que, en un acuario de Nueva Zelanda, a un pulpo cautivo parece que no le gustaba un miembro del personal. Cada vez que la persona pasaba por el tanque, el pulpo le arrojaba un chorro de agua. **///** Un estudio más detallado trabajó con el pulpo gigante (*Enteroctopus defleini*) durante dos semanas. Un cuidador alimentaba a los pulpos y otro los tocaba con un palo de cerdas (genera incomodidad). Al final del experimento, tenían diferente conducta con cada cuidador. Lograban distinguir entre ellos, aunque tenían el mismo uniforme.

Los pulpos muestran una variedad de conductas ligadas a la personalidad.

(1) Pulpos rojos (*Octopus rubescens*). **///** Un estudio se propuso medir la personalidad de 44 pulpos. Cada dos días durante dos semanas, un investigador abrió la tapa del tanque y los tocó con un cepillo (una agresión) y les ofreció cangrejos (recompensa). Se registraron 19 respuestas diferentes, lo que es demostrativo de la variedad de conductas y personalidades.

(2) /// En otro caso se realizaron tres pruebas: una alerta (destapando el tanque), una amenaza (tocando el pulpo con un cepillo de tubo de ensayo) y la alimentación (entrega de un cangrejo). Se probaron 33 pulpos cada uno por dos semanas. Se concluyó en tres indicadores de personalidad: actividad (activo o pasivo), reactividad (emocionalidad) y evitación (timidez). Los pulpos mostraron todo tipo de combinaciones de los tres indicadores. Parece que cuanto más complejo es el sistema nervioso, más espacio hay para la variación individual.

(3) /// En otro trabajo se encontró evidencia de que los pulpos trasmiten de madre a hijo los rasgos de personalidad. Pero, como no hay una crianza maternal, la personalidad heredada debería ser genética o epigenética.

Los juegos son una salida de los pulpos a su capacidad creativa. Los juegos se consideran acciones espontáneas y repetitivas, voluntarias, realizadas por sujetos sanos y sin objetivo de supervivencia.

(1) Un niño sorbiendo jugo y tragándolo no es un juego, pero sorbiendo y salpicándolo en varias ocasiones, puede serlo. **///** En un estudio se pusieron ocho pulpos gigantes en tanques individuales con un objeto flotando. El aburrimiento llevó a dos de los pulpos a apuntar un chorro de agua contra el objeto que lo empujó hasta el otro extremo del estanque. Luego volvió en la corriente de agua que circulaba en el estanque. Una vez no es nada, pero este acto lo repitieron cerca de veinte veces.

(2) /// En una observación con catorce pulpos comunes (*O. vulgaris*) se pasaron bloques de Lego entre sus tentáculos. Los empujaron, tiraron o remolcaron. Es como tener

un exceso de espacio cognitivo y no saber en qué usarlo. Sin embargo, no se observaron juegos entre pulpos, lo cual puede deberse a que son caníbales. También el pulpo azul grande (*Octopus cyanea*) atrapaba y liberaba un corcho que se balanceaba en la superficie de su acuario.

(3) /// En un acuario en Alemania, el sistema eléctrico se interrumpió por varias noches seguidas. Se descubrió entonces que por las noches un pulpo (*Otto*) salía del acuario y disparaba un chorro de agua hacia las luces. Había recibido un entrenamiento para apuntar y arrojar agua, pero a los visitantes. Para darle algo que le llenara el tiempo se le puso un juego de ajedrez que lo mantuvo entretenido por un tiempo.

Los pulpos pueden mimetizarse y hacer actos de engaño sofisticados.

(1) /// El pulpo mímico (*Thaumoctopus mimicus*) puede cambiar el color y la textura de la piel, pero es el único que se hace pasar por otros animales. Puede cambiar su forma, movimiento y comportamiento para simular al menos quince especies. En muchos casos imita a especies venenosas. Se convierte en el pez león, el lenguado anillado y serpientes marinas. Por ejemplo, pone seis tentáculos en un hueco y usa los dos restantes para simular una serpiente marina venenosa (*Laticauda semifasciata*). Mientras otros pulpos se camuflan como una roca (permanecen quietos), el pulpo mímico puede abandonar el área bajo una identidad simulada.

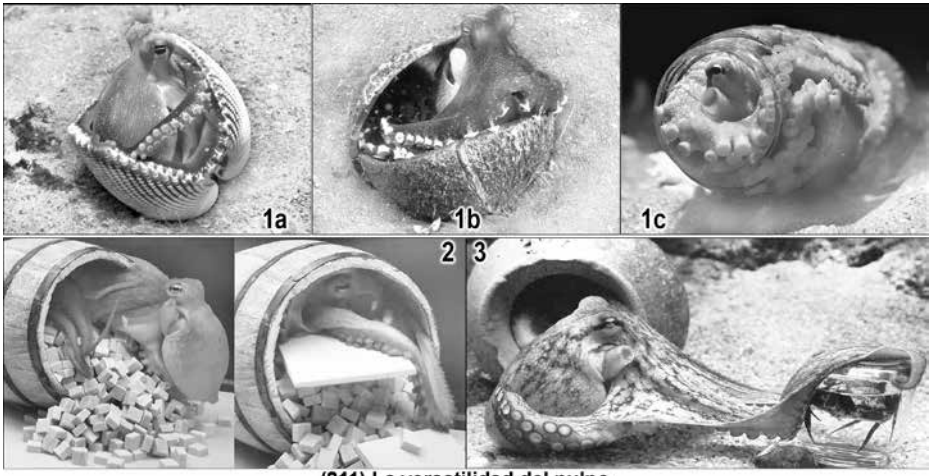
(2) /// El pulpo rayado del Pacífico (género *Pulpo*) tiene una forma de caza ingeniosa para atrapar camarones. Se acerca lentamente, como para golpear al camarón en el lado opuesto del cuerpo. La presa se sobresalta y, al querer huir, se dirige a los tentáculos.

habilidades sociales

Aun siendo solitarios, los pulpos tienen un aprendizaje social. /// En un estudio con el pulpo común se le enseñó a distinguir entre bolas rojas y blancas. Luego, este pulpo se convirtió en el maestro de otros a los cuales se les permitió observarlo. Los observadores fueron puestos a prueba y eligieron la respuesta correcta. Los aciertos continuaron aunque se eliminaron los premios y castigos. Es interesante este tipo de aprendizaje, ya que los pulpos no tienen contacto con sus padres como para aprender de ellos y tienen una vida media corta.

Pulpo gigante (*Enteroctopus dofleini*): **modifica la técnica para abrir bivalvos. ///** El pulpo rompe mejillones, separa almejas y usa partes del cuerpo para perforar la concha. Cuando se les dieron las tres opciones, eligieron los mejillones que requerían el menor esfuerzo. Luego se trató de confundirlos al cerrar las almejas más fuertemente. Los pulpos cambiaron de técnica de apertura. Se concluyó que pueden aprender por la dureza del cierre del bivalvo y cambiar sobre la marcha.

Pueden usar otros seres vivos como una herramienta. /// Al pulpo manta (*Tremoctopus violaceus*) se lo ha visto sostener los tentáculos de un pólipo venenoso (*Physalia physalis)*, a cuyo veneno son inmunes. Lo usan tanto como medio de protección, como para capturar presas. El pólipo es similar a una medusa pero no es un organismo, sino una colonia de organismos de la misma especie que tienen separación por funciones. Son simbiontes y no pueden vivir aislados. No tienen medios de propulsión y flotan me-



(211) La versatilidad del pulpo

(1) Un pulpo puede usar el caparazón de un caracol, transportar una cáscara de coco o usar un envase de vidrio para su protección exterior. **(2)** Este pulpo construyó un refugio con materiales que obtuvo en el acuario. **(3)** En un acuario de Dinamarca el pulpo intenta abrir un frasco que tiene un cangrejo. En un estudio se comprobó el aprendizaje social cuando varios pulpos aprendieron a abrir un frasco observando a otro pulpo entrenado.

diante una vejiga. Los tentáculos tienen un veneno muy poderoso que usan para cazar. Como el pulpo es inmune al veneno lo usa también como un arma.

Pulpo azul grande (*O. cyanea*)**: da puñetazos a los peces vecinos. ///** Las observaciones muestran que estos pulpos hacen salidas cooperativas de caza con otras especies. Como se unen varios socios, las disparidades entre inversión y rédito de la caza puede generar problemas. Los reportes informan de golpes de tentáculos de los pulpos a los peces, que pueden servir para disciplinarlos o espantarlos. Quizás se tratara de imponer un costo al pez compañero de cacería luego de que este rompiera alguna regla implícita.

(F211) Son constructores de refugios con objetos del ambiente.

(1) /// El pulpo tétrico (*Octopus tetricus*) fabrica congregaciones de guaridas. Las forman en afloramientos rocosos y con pilas de conchas de almejas y vieiras que fueron alimento. En una población en particular se contabilizaron quince ocupantes. La vida en la comunidad lleva a frecuentes agresiones, persecuciones e incluso desalojos. No son evidentes las ventajas, aunque quizás solo sea por falta de espacio.

(2) /// Hay pulpos que colocan piedras, conchas y pedazos de botellas rotas para formar paredes que cierran las aberturas de sus guaridas. En un estanque de laboratorio, el pulpo enano del Caribe (*Octopus mercatoris*) bloqueó su guarida utilizando ladrillos de Lego.

(3) /// Se vio a un pulpo común salvaje atrapar cangrejos y llevarlos de regreso a su refugio. Luego se dirigió a una piedra a dos metros de distancia, la colocó debajo de sus tentáculos y la llevó de vuelta a su guarida. Hizo esto tres veces más, creando una pared frente a su hogar. Permaneció allí, bajo la

seguridad de la barrera. Parece que es capaz de programar y secuenciar estas acciones.

Pulpo veteado (*Amphioctopus marginatus*)**: usa como refugio cáscaras de cocos.** Como cada tentáculo tiene su propio control neuronal y un sistema de detección, les permite realizar múltiples tareas por separado. Así, con algunos tentáculos pueden tomar objetos (mitades de cascara de coco) y con otros caminar en dos patas. **///** Un estudio de 500 horas de buceo en Indonesia trabajó con el pulpo veteado. Este pulpo vive en aguas poco profundas con superficie de arena, barro y escombros. Está activo durante la noche y el día lo pasa refugiado bajo la arena o dentro de conchas de bivalvos. El seguimiento encontró el uso de mitades de coco como refugios en unos veinte individuos. Después de desenterrar las conchas, les dieron una limpieza con chorros de agua, y las llevaron a una nueva ubicación. A veces las apilaban y armaban un refugio. Estas conchas las llevaban todo el día para el caso de necesitarlas para refugiarse. El transporte de herramientas sugiere la capacidad de planificar con anticipación y pagar un costo presente para un beneficio futuro. Se supone que usaron bivalvos antes de que los humanos volvieran comunes las cáscaras de coco en el fondo del mar.

MODELO DE CAPAS

42 decisiones

Las decisiones en las plantas

¿De qué se trata? Los dilemas son instancias donde debe elegirse entre alternativas equivalentes con ventajas y desventajas. Para manejar los dilemas se necesita disponer de herramientas potentes: ser sensibles a las variables químicas y físicas, poder reaccionar con respuestas alternativas, reconocer el origen para colaborar o rechazar, tener una memoria de experiencias recientes. Los humanos disponen de la historia para evadir los dilemas en forma científica (salida por arriba del laberinto). Cada especie tiene una estrategia de base (genética) y cada individuo tendrá una respuesta diferente basada en el aprendizaje previo y la memoria acumulada. La ortodoxia en botánica dice que el verbo "decidir" es inapropiado en este contexto, ya que decidir implica el libre albedrío. La opinión opuesta dice que los óptimos biológicos pueden ser logrados por mecanismos psicológicos (neuronas y cerebro) o fisiológicos, como en las plantas. En la capa de memoria neuronal se analizará cómo ocurre el aprendizaje y toma de decisiones en los organismos con neuronas.

Dilema: ¿atraer aliados o enemigos? En la planta de mostaza (género *Biscutella*) el compuesto ocimeno puede atraer aliados (abejas polinizadoras) y enemigos (arañas cazadoras). De forma que mucho de algo bueno, puede ser malo. El ocimeno es un aceite cuyo aroma huele a hierbas (usado en perfumería) y su nombre deriva del género *Ocimum*, que incluye a la albahaca. **///** Las arañas cangrejeras (familia *Thomisidae*) son depredadoras de las abejas que polinizan las flores. Tienen dimorfismo sexual con las hembras más grandes y estacionarias (permanecen en un lugar). Puede ser una adaptación para poner más huevos o porque los machos, al ser más pequeños, pueden dispersarse más lejos. Estas arañas son cazadoras (no construyen telas) y se orientan por el ocimeno para encontrar la flor donde pueden cazar. El ocimeno también atrae a las abejas polinizadoras, la presa de las arañas. Si las arañas se estacionan en las flores habrá menos visitas de abejas. Pero, las arañas también tienen una contribución ya que eliminan otros insectos herbívoros que comen hojas y a sus orugas (larvas). La

cuestión es cuánto ocimeno liberar. Parece que las plantas están inmersas en este dilema ambivalente, porque, cuando los insectos herbívoros muerden las hojas, por las heridas se libera ocimeno, lo que atrae más arañas.

Dilema: ¿producir más hojas o más flores? /// La hierba Arabidopsis puede modificar el balance de aromas entre flores y hojas, de forma que uno sea preponderante sobre el otro. Un estudio determinó que, cuando es atacada por orugas herbívoras que se alimentan de hojas, se reduce el aroma floral lo que vuelve más evidente el aroma foliar. Como resultado llegan menos polinizadores, pero más avispas parásitas que pondrán sus huevos en las orugas herbívoras. Más tarde la estrategia se compensa produciendo más flores y atrayendo más polinizadores. Es el dilema clásico de cómo usar los recursos disponibles, si para la defensa o para fortalecer las plantas.

Dilema: ¿olor para atraer avispas de día o de noche? /// En un experimento se trabajó con maíz y sus insectos parásitos e hiperparásitos (parásitos de los parásitos). La oruga de la polilla diurna gardama (*Spodoptera exigua*) es un herbívoro que se alimenta del maíz. De la planta se liberan compuestos químicos que atraen a una avispa hiperparásita (*Cotesia marginiventris*) que pone huevos en la oruga. Estos compuestos aumentan durante el día. Sin embargo, cuando el herbívoro es una oruga nocturna (*Mythimna separata*) los gases liberados son diferentes y atraen a otra avispa hiperparásita (*C. kariyai*). Los compuestos liberados por la planta de noche y de día son diferentes y específicos para atraer a las avispas que atacan a las orugas de polillas.

Dilema: ¿producir flores que se abren de día o de noche? Las polillas nocturnas polinizan a la planta silvestre del tabaco (*Nicotiana attenuata*), pero ponen huevos y sus orugas comen hojas. La planta utiliza la nicotina como repelente. Pero, tiene otra alternativa, porque puede cambiar el horario de apertura de flores y usar otro polinizador, pasando de la polilla nocturna al picaflor diurno. **///** Un estudio de campo infectó a las plantas con orugas y en ocho días, el 35 % de las flores habían comenzado a cambiar la hora de floración. En las plantas usadas de control que no estaban infectadas, solo el 11 % cambió el horario en forma espontánea. Las flores producen un compuesto (acetona de bencilo) dentro del *bouquet* que liberan al aire, compuesto que es atractivo para las polillas polinizadoras. Las flores nocturnas, que no producen el compuesto, nunca atraen polillas. Las flores diurnas nunca produjeron el compuesto porque sería innecesario. También se encontró que el cambio fue inducido por la saliva de la oruga que libera grasas y aminoácidos en las heridas de la hoja. En tanto, la planta libera ácido jasmónico. La reacción entre ambos compuestos produce acetona de bencilo e incentiva el cambio de horario. Aun sin la presencia de orugas, con solo agregar saliva en las heridas artificiales, se induce la floración diurna. De día las flores dependen de los picaflores que son menos confiables que las polillas nocturnas para la polinización. Los picaflores tienden a beber de múltiples flores de la misma planta produciendo autofertilización. Además, tienen un movimiento de corta distancia cerca de los nidos. Pero, al menos, no son herbívoros.

Dilema: ¿crecer más alto o ancho? Las plantas detectan a sus vecinas competidoras mediante la luz que llega filtrada por otras hojas (luz en el extremo rojo y rojo-lejano).

(1) /// Un estudio simuló vegetación para un experimento con una hierba perenne (*Potentilla reptans*). Al cambiar la altura y densi-

dad de la vegetación se presentaron distintos escenarios de competencia entre plantas. Cuando estaban con vecinos de alta densidad lateral, elegían superarlos en elevación. Con vecinos que no eran superables en altura, trataban de superarlos en forma lateral. Pero si los vecinos no eran superables en elevación y densidad, mostraron mayor tolerancia a la sombra. **Las plantas pudieron evaluar la densidad y capacidad competitiva de sus vecinos y adaptar sus respuestas para ocupar el espacio vacío.**

(2) /// El estudio del arroz encontró un gen (SD1) que con mucha agua hace aumentar la altura de la planta. Cuando la planta de arroz está sumergida acumula etileno, esto activa el gen que produce la enzima SD1. La SD1 cataliza la biosíntesis de giberelina, una fitohormona que promueve el crecimiento vertical. El estudio encontró que esta característica evolucionó en un ancestro silvestre y que fue seleccionado durante la domesticación en ambientes de aguas profundas en Bangladesh. Al gen SD1 se lo conoce como el gen de la Revolución Verde del arroz. La pérdida de la función de SD1 asegura a la planta de arroz una altura corta en aguas someras, asignando más energía a la producción de granos que a la estructura de la planta.

Dilema: ¿ser conservador o arriesgar? Las plantas cambian la estrategia de riesgo: son conservadoras en época de abundancia y toman más riesgos durante la escasez, cuando hay poco que perder. **///** La planta de arvejas (*Pisum sativum*) son sensibles a las condiciones ambientales. En un estudio se cultivaron plantas con sus raíces divididas entre dos macetas. Cuando los nutrientes eran constantes producían más raíces en la maceta con mayores niveles. Luego se cambió la estrategia con igual concentración, pero una maceta con nivel constante y la otra con nivel variable. Con niveles de nutrientes bajos (menos a 0,01 gramos/litro) prefirieron la maceta variable (propensión al riesgo). Pero con niveles altos (0,15 gramos/litro) elegían la maceta constante (aversión al riesgo). Es la mejor estrategia, porque con niveles inferiores al de subsistencia, la opción variable al menos ofrece la oportunidad de "apostar" a una racha de buena suerte. Es una respuesta adaptativa ante el riesgo y para explotar oportunidades de manera eficiente. Esto hace suponer que usan la detección y evaluación de las diferentes condiciones en las macetas, lo que requiere información y memoria.

Dilema: ¿seguir en latencia o germinar? La biología celular recurre a la naturaleza aleatoria de los procesos bioquímicos (estocasticidad). Por ejemplo, a la hora de germinar las semillas lo hacen en diferentes momentos para protegerse contra los desafíos ambientales.

(1) Decisión mediante dos hormonas. /// En Arabidopsis, los estudios encontraron dos grupos de células que toman la decisión entre permanecer en latencia o germinar. La decisión se basa en el antagonismo de dos fitohormonas: la giberelina GA que promueve la germinación, y el ácido abscísico ABA que fuerza la latencia. Algo similar ocurre en el cerebro animal ante alternativas como permanecer o huir.

(2) /// Un estudio creó un atlas digital de las 3.000 a 4.000 células en los embriones (semillas) con Arabidopsis. Luego se mapeó la localización de las fitohormonas y se encontró una acumulación en la punta de la raíz embrionaria (25 a 40 células). Un grupo de células producía GA, el otro ABA, y las condiciones del ambiente externo determinaban cuál hormona era predominante. Las fluctuaciones de temperatura permiten a la semilla percibir qué tan profundas están

en el suelo. A más profundidad menor es la excursión térmica. Los cambios de temperatura permiten determinar el momento de germinación. Además hay otros indicadores ambientales (humedad, nutrientes, luz) que se incorporan en la decisión.

(3) /// Otro estudio comparó dos variedades naturales de Arabidopsis que requieren 4 y 9 semanas de frío para activar los genes. La de 9 semanas está adaptada a los inviernos largos de las zonas frías. Se encontraron diferencias de forma en las proteínas que afecta la actividad de los genes y actúan como una memoria epigenética. Cuando las plantas se expusieron a temperaturas más altas, las semillas brotaron 4 semanas antes. La planta madre también reguló la producción de taninos, lo que ajusta la dureza de la envoltura de las semilla y las hace más fácil o difícil de abrir. La planta madre determina la dificultad de germinación y el momento de la semilla. No debe extrañar porque ocurre lo mismo en los animales y sus huevos.

Dilema: ¿abortar la semilla o no? El arbusto agracejo (*Berberis vulgaris*) tiene que defenderse de la mosca del agracejo (*Rhagoletis meigenii*). Esta mosca pone sus huevos en las bayas que tienen una o dos semillas. Si la larva sobrevive, puede alimentarse de las dos semillas del fruto. Pero, la planta posee la capacidad de abortar la primera semilla, con lo que el parásito morirá, salvando así a la segunda semilla. **///** Un análisis revisó 2.000 bayas en Alemania y el 75 % de las que tenían dos semillas abortaron la semilla infectada. En tanto, solo el 5 % de las bayas con una semilla lo hacían. Al otro lado del Atlántico, el arbusto mahonia (*Mahonia aquifolium*) no tiene este mecanismo y la infección por la mosca tiene una densidad diez veces superior. Para algunos botánicos el agracejo muestra una memoria estructural (la segunda semilla), un razonamiento simple (integración de condiciones internas y externas), una conducta condicional (la acción de abortar o no), y la anticipación de riesgos futuros (la depredación de semillas). Para otros se trata solo de una adaptación y programación evolutiva.

Dilema: ¿en qué dirección crecer? El movimiento de nutación en las plantas se produce por el crecimiento irregular del tallo. lo que genera un movimiento de búsqueda circular. Fue descripto por C. Darwin y estudiado en sus aspectos cinemáticos (forma, período y amplitud). Es un movimiento armonioso y previsible pero complejo (mezcla de aleatorio y previsible). **///** Un estudio trabajó con veinte brotes de frijoles (*Phaseolus vulgaris*). Se colocó cada brote en una maceta dentro de una cámara cilíndrica. Se siguió el crecimiento con cámara de lapso-de-tiempo. Se midió el movimiento con y sin un soporte (caña) cercano a 30 cm de la maceta que era de utilidad para trepar. Se encontró que la presencia del soporte modificó la forma de crecimiento del tallo del frijol, como si pudieran "percibir" su presencia. El soporte se convirtió en un factor ambiental de importancia para el movimiento de la nutación. La señalización eléctrica de las plantas puede estar impulsada por factores externos. Si el movimiento está afectado por objetos de la vecindad, se trata de conductas más complejas que las simples reacciones

Dilema: ¿es un socio o alimento? Las plantas carnívoras necesitan a los insectos como polinizadores y como alimento. Si se atrapan insectos polinizadores para alimentarse será un suicidio evolutivo. Para evitar alimentarse de polinizadores, se conocen tres estrategias: las flores y trampas se abren en diferentes momentos (como en algunas plantas carnívoras de jarra); las flores

y trampas pueden usar diferentes olores o colores atractivos y las flores se ubican lejos de las trampas (como en la atrapamoscas). **///** En este último caso, un estudio comparó los insectos encontrados en las flores y en las trampas. Se identificaron 409 insectos y arañas en las flores y 212 hormigas y arañas en las trampas atrapamoscas. Se concluyó que los insectos que eran polinizadores visitaron varios tipos de plantas, no eran específicos. Sin embargo, ningún insecto de los 10 visitantes de flores más frecuentes se encontró en la trampa; son específicos de las flores. Las especies que se encontraron en las flores y trampas no llevaban polen. Había muy poca superposición. Además, los insectos que visitan las flores son capaces de volar, pero las presas en las trampas llegaron caminando.

Dilema: ¿esperar o atrapar ahora? En las plantas carnívoras sería posible tomar las presas una a una o desconectar el sistema de caza y esperar el momento de mayor concentración. **///** Un estudio con una planta de jarra (*Nepenthes rafflesiana*) observó que la superficie de la jarra es muy resbaladiza cuando está húmeda, pero firme cuando está seca. La superficie está cubierta con cristales de cera que, en condiciones secas, permite caminar a los insectos. En condiciones de humedad, el borde y la pared de la flor se cargan con una película de agua delgada y continua. Los insectos no logran adherirse, se deslizan y caen al interior. Como la humedad es independiente de la lluvia, se concluye que es la planta la que seca la hoja y apaga el sistema de captura. Por la mañana las hormigas exploradoras pasan por la jarra y encuentran el néctar. Vuelven a la colonia y reclutan a otras hormigas. Por la tarde el sistema se humedece y comienza a atrapar hormigas por montones. En lugar de atrapar a las hormigas exploradoras una a una, la planta demora el momento de actividad cuando la mayoría de las hormigas están activas. Es una estrategia eficiente que explota la conducta de reclutamiento de los insectos sociales. Por la misma razón, los animales cazadores trabajan en forma intermitente, para que a su presa le resulte difícil desarrollar contramedidas.

las decisiones mediante neuronas

la dopamina toma la decisión

La dopamina es una droga natural que reafirma el éxito del aprendizaje. Se dijo: "es difícil hacer predicciones, especialmente sobre el futuro". Por eso la toma de decisiones (el futuro) se debe hacer con los mejores datos posibles (la memoria del pasado). El proceso de prueba-error es una forma de ajustar las predicciones cuando hay un resultado inesperado. Esto se hace gracias a las neuronas que producen dopamina en el cerebro. La dopamina ($C_6H_3(OH)_2$-CH_2-CH_2-NH_2) es un neurotransmisor (se intercambia entre neuronas) y se lo asocia con la recompensa (las cosas que agradan). **///** Para un experimento se enseñó a monos seis imágenes que estaban asociadas a seis recompensas distintas. Luego se les mostró una imagen que o bien podían elegir (tomaba la recompensa inmediata) o bien ignorar (esperaba a la próxima oferta). Si la imagen correspondía a una recompensa media, la decisión era equitativa entre tomarla o dejarla pasar. Se estudiaron las neuronas que

intervenían en el proceso de evaluación y decisión. Se encontró que las neuronas que producían dopamina estaban asociadas a la decisión final. Algunas neuronas se asociaban con la imagen (memoria) y otras con la decisión (tomar/ignorar).

La dopamina es controlada por GABA. Las neuronas que producen dopamina trabajan en conjunto con las neuronas que producen GABA (ácido gama-aminobutírico). **///** Un estudio con monos encontró que, cuando la recompensa era mayor a lo esperado, las neuronas liberaban más dopamina. De esta forma, el nivel de dopamina informa del éxito o error en la prueba. Esto sirve para ajustar el próximo ciclo de decisiones: si la prueba fue exitosa, se insistirá en la misma decisión. En cambio la concentración de GABA indica la expectativa de la recompensa. Si una expectativa se vuelve rutinaria (acierto permanente), GABA baja el nivel de la dopamina. Es como un indicador del error de predicción. En decir, las neuronas de dopamina se vuelven muy activas con una recompensa inesperada. Si esta recompensa se vuelve rutinaria, se activan menos por efecto de GABA. Es el aprendizaje de las expectativas. Para llegar a esta conclusión se usó la técnica de optogenética en los monos. Se encontró que, si se estimula o inhibe a las neuronas GABA mediante luz láser, las neuronas de dopamina responden siguiendo sus órdenes. Cuando se interrumpe la excitación lumínica, el comportamiento vuelve a la normalidad.

Ratas: la manipulación de la toma de decisiones. /// En un trabajo se estudió el proceso de decisión en ratas ante una recompensa pequeña inmediata u otra mayor más tardía. Se encontró que las neuronas de dopamina pronosticaban la decisión que se tomaba. La dopamina disminuye cuando baja la recompensa o cuando aumenta el tiempo de espera. Se lo llamó "descuento por demora". Luego, usando la optogenética, se activaron las neuronas de dopamina, con lo que se manipuló la elección de la rata. Así se logró sesgar la toma de decisiones. Cuando elegían una jugada riesgosa y perdían, se activaban externamente las neuronas de dopamina. En la realidad debía disminuir la actividad. Entonces, las ratas jugaban otra vez en forma arriesgada, lo opuesto a lo que debía ocurrir.

Caracoles: en caso de hambre aumentan la toma de riesgo. /// Los caracoles pueden alterar sus preferencias de alimentos en caso de hambruna. Un estudio determinó que la elección depende del nivel de dopamina. En la medida en que la inanición aumenta, disminuye la dopamina y el animal toma decisiones de riesgo. Cuando se bloquearon las neuronas que producen dopamina se logró un fenotipo de animal hambriento. Se encontró que los caracoles que normalmente tenían aversión al riesgo, apostaron por comer una sustancia comestible aunque poco apetitosa.

decisiones en invertebrados

Moscas de la fruta: diferentes estrategias genéticas en la toma de decisiones. La mayoría de las moscas del género *Drosophila* depositan sus huevos en frutas en fermentación. Pero la especie mosca de alas amarillas (*D. suzukii*) pone sus huevos en frutos maduros (uvas, cerezas, fresas). Esta diferencia es suficiente para poner en riesgo a los cultivos frutícolas. La punción de la fruta por el ovipositor de la hembra facilita la entrada de infecciones, mientras que las larvas eclosionadas se alimentan de la

pulpa de la fruta. **///** Un estudio analizó las diferencias en tres especies relacionadas (*D. melanogaster*, *D. biarmipes* y *D. suzukii*). Estas especies responden a la textura de la fruta, a la composición química de la superficie y a los compuestos del olor. En otras palabras, utilizan los sentidos del tacto, gusto y olfato. La especie *D. melanogaster* prefiere los frutos muy maduros y en descomposición para poner los huevos. La *D. suzukii* responde a sustancias químicas volátiles emitidas de frutas recién maduras y prefiere la textura firme. La *D. biarmipes* es menos exigente y más versátil, pero por la anatomía de su ovipositor solo puede depositar huevos en frutas dañadas o suavizadas. El estudio concluyó que, en el curso de la evolución, *D. suzukii* remodeló el sistema ovipositor para hacerlo más grande y resistente, siendo capaz de penetrar la piel más dura de la fruta madura. Estas son adaptaciones genéticas, donde la cognición puede tener muy poca participación. Sin embargo, paso a paso, veremos que hay salidas laterales a las decisiones genéticas.

Avispas: aprenden el camino y deciden una ruta. /// Las avispas que anidan en el suelo deben encontrar el camino de regreso. En una investigación se generaron vistas panorámicas de los caminos recorridos por las avispas y se construyeron modelos 3D del entorno. Con la avispa en este simulador, se registró la orientación de la cabeza (dirección de su mirada). La evidencia sugiere que memorizan las vistas durante el aprendizaje y usan las diferencias para orientarse. Cuando encuentran una vista familiar se mueven en la dirección apropiada.

Arañas látigo (*Phrynus marginemaculatus*)**: la rigidez táctica de una estrategia genética.** Las arañas látigo usan tres pares de patas para caminar de costado, como los cangrejos. El cuarto par de patas delanteras son como antenas (látigos) con varias veces la longitud de las patas. Están cubiertas con pelos sensoriales que barren el ambiente en forma de latigazos. Pueden sentir (palpar), escuchar (sonidos), oler (compuestos volátiles) y saborear (compuestos solubles) con estas patas.

(1) /// En un ensayo se las enfrentó a dos tipos de refugios, uno accesible y otro inaccesible. Luego de diez ensayos, aprendieron a reconocerlo. Cuando ambos se volvieron inaccesible, las arañas siguieron buscando acceder al que habían aprendido antes. Si bien pudieron, aprender les resultó casi imposible cambiar de decisión.

(2) /// En otro estudio se encontró que tienen una lucha territorial, haciendo vibrar sus patas, y gana el que las mantiene vibrando más tiempo. Los oponentes no se tocan con estas patas sino que ponen en contacto los pelos sensoriales. Un estudio electrofisiológico mostró que los pelos detectan partículas de aire en movimiento generadas por un oponente que agita sus patas delanteras. Cuando se eliminaron los pelos sensoriales, la duración del movimiento dejó de ser un predictor de quién ganaba la lucha. Estas arañas deciden el resultado de la lucha sin tocarse.

Hormigas: toman decisiones más allá de lo grabado en los genes. Las decisiones cableadas (genéticas) rara vez son la única alternativa disponible. Para perdurar, los seres vivos deben tener salidas laterales a los comportamientos rígidos.

(1) Graduar la respuesta beligerante. La hormiga del bosque (*Temnothorax longispinosus*) puede distinguir entre amenazas leves y graves y de esa forma graduar la reacción. **///** Un estudio enfrentó a esta especie con congéneres de otros hormigueros, con especies desconocidas, y con una hor-

miga peligrosa (*T. americanus*) que destruye los nidos. Las defensas de las hormigas son picar, morder y arrastrar. Se encontró que el nivel de agresividad se graduó de acuerdo con lo esperado por el nivel de peligro de cada especie. Los costos de defensa son complejos e implican el riesgo de lesiones, la pérdida de energía y tiempo. Hay que evitar la identificación errónea y la reacción equivocada.

(2) Regular la cantidad de forrajeo. Las decisiones comunales en la hormiga cosechadora roja (*Pogonomyrmex barbatus*) permiten graduar las salidas de recolección. Una decisión comunal tiene una componente genética (protocolo básico) y otra que se resuelve en el momento sobre la base de la opinión de cada individuo. **///** Los estudios indican que una hormiga obrera forrajeadora no regresará al nido hasta que encuentre alimento. Si las semillas son abundantes, las recolectoras regresan más rápido, y más hormigas abandonan el nido. Sin embargo, si regresan con las manos vacías, la búsqueda se ralentiza y quizás se suspenda. El primer paso es enviar forrajeadoras y sobre la base del resultado, aumentar o disminuir la tasa de recolectoras. Cuando se impidió que las forrajeadoras regresaran al nido por más de veinte minutos, ya no salieron otras forrajeadoras al campo.

(3) Decidir abandonar la carga. /// En un estudio en Costa Rica con la hormiga cortadora de hoja (*Atta cephalotes*) se colocaron cajas llenas de algodón mojado. Esto simulaba un ambiente de alta humedad, como si estuviera a punto de llover. También se regaron las plantas junto al sendero para simular la lluvia. Se encontró que las hormigas volvían al nido un 30 % más rápido de lo normal. Parece que aceleran la vuelta para mantener su carga seca, ya que un fragmento de hoja húmedo pesa más del doble que uno seco. Cuando las hormigas u hojas se mojaban, los insectos soltaban su cosecha y regresaban.

Sepia gigante (*Sepia apama*)**: luchar o rendirse**. **///** Un estudio trabajó con sepias macho (un molusco marino similar a los pulpos) para analizar cómo evalúa y modifica su conducta de lucha. Se encontró que realizan una evaluación mutua y usan la información para decidir si luchan o se rinden. En época de reproducción los machos se reúnen y compiten por las hembras mediante exhibiciones coloridas. Si la sepia macho se evalúa más poderosa entonces exhibe agresividad y conatos de lucha. Pero si el mismo macho es desafiado por otro más grande, exhibe una conducta sumisa, huye o genera patrones de encubrimiento (camuflaje).

decisiones en vertebrados

Peces: el balance confort-dolor hace cambiar de opinión.

(1) Pez cebra (*Danio rerio*). **///** En un estudio se ofreció a los peces cebra una cámara estéril (vacía) y otra enriquecida con objetos y bien iluminada. Prefirieron el área enriquecida. Luego se les inyectó en los labios ácido acético (el vinagre es repulsivo) o una solución salina (que es inocua y sirve de control). Se mantuvieron en la cámara enriquecida en ambas condiciones. Más tarde se disolvió un analgésico en la cámara estéril y el pez inyectado con ácido acético cambió de preferencia y pasó a la cámara esterilizada. Esta decisión de cambio indica que están dispuestos a pagar un costo para obtener un alivio del dolor.

(2) Pez dorado. /// En un estudio con peces dorados se los entrenó para alimentarse en un lugar del acuario donde después recibirían una descarga eléctrica. El número

de intentos y el tiempo que pasaron en ese espacio disminuyeron con la intensidad de la descarga. La privación de alimento los obligaba a aumentar la velocidad de escape de la zona. Debían balacear las necesidades y los disgustos. En otro estudio con el pez sapo (familia *Batrachoididae*) se encontró que gruñen cuando reciben descargas eléctricas. Después de repetidas descargas, gruñen solo con ver el electrodo.

Pez mosquito (*Gambusia holbrooki*)**: velocidad y precisión de las decisiones en grupo. ///** En un experimento se expuso a grupos de peces a un laberinto de dos brazos en Y. En un brazo, en forma aleatoria, había un depredador simulado que debían evitar. Se medía la velocidad con que el grupo elegía el camino correcto. Se probaron grupos de 1, 2, 4, 8 y 16 peces. Se encontró que los grupos más grandes tomaron las mejores decisiones y más rápidas. Los grupos de 8 y 16 peces tuvieron éxito en el 90 % de las pruebas, contra el 56 % de un solo pez (levemente por encima del azar). Los grupos grandes tomaron la decisión en menos de la mitad del tiempo que los peces solos. La decisión se transmitió rápido en el grupo y es posible que la comunicación ocurra por el cambio de conducta. Puede ser que un pez solo no detecte la amenaza, pero los grupos grandes son muy buenos en compartir la información social y evitar al depredador.

Decidir sobre el camuflaje requiere información del ambiente y de la propia apariencia.

(1) Aves de Zambia. /// Un estudio trabajó con nueve especies de aves que anidan en el suelo y que muestran un plumaje mimético con el ambiente. Se utilizó la habilidad de campo de los nativos para encontrar los nidos camuflados. Como cada individuo se ve un poco diferente, se pudo determinar que elegían el lugar sobre la base de esas diferencias. No es una elección a nivel de especie, sino de individuo. Cada uno anida en lugares que mejoran sus propias marcas únicas, tanto dentro de un hábitat, como a una escala más fina respecto a sitios específicos de fondo. Parece que de alguna manera "saben" como aparecen y actúan en consecuencia. Pueden mirarse a sí mismos, sus huevos y el fondo y juzgar si es un buen lugar para anidar.

(2) Los saltamontes pueden cambiar de lugar para camuflarse mejor en calles pavimentadas de colores muy diferentes. **///** Los estudios indican que, de alguna manera, son conscientes de su propio color, porque eligen el tipo de sustrato más similar a ellos. En el estudio se cambió el color de los saltamontes con pintura de acuarela, lo que solo afecta al color. Se observó que modificaron el sustrato sobre el que se posaban: oscuros, con fondo oscuro y claros, en fondos claros. Pueden comparar el color de su cuerpo con el del sustrato.

Mono capuchino: toman decisiones racionales en cuanto a precio y valor del producto. /// Un estudio trabajó con cuatro experimentos. El objetivo era verificar cómo se comportan con artículos más caros pero equivalentes en calidad. Se les enseñó a tomar decisiones comprando alimentos a diferentes precios. Con los monos de control se verificó que entendían las diferencias de precio entre los alimentos. Luego se probó a capuchinos con productos de mayor precio pero igual sabor. Una posibilidad era que evaluaran como mejores los de mayor precio, un sesgo muy humano. Los capuchinos no mostraron este sesgo. Esta diferencia puede ocurrir por las diferencias que existen entre el "mercado" de los humanos y el de los capuchinos. Para los humanos, los precios más altos indican que otras personas

prefieren ese producto. Es una consecuencia de tener experiencias sociales ricas, lo que lleva a cometer errores de juicio.

Chimpancé y monos colobos (*Piliocolobus kirkii*)**: la evaluación de higos**. Los monos usan la destreza manipuladora con las manos para seleccionar higos (*Ficus sansibarica*). Aprovechan los dedos oponibles, el control manual cuidadoso y el manejo de la precisión. **///** Un estudio observó a chimpancés y colobos en Uganda. Los higos maduros adquieren una gama de colores que varía en la medida en que maduran, lo que dificulta discernir por color. Para determinar si los higos son comestibles, los chimpancés suben a los árboles y hacen evaluaciones sensoriales. Observan el color, lo huelen, evalúan la elasticidad con la palma de la mano o lo muerden para determinar la rigidez. En cambio, los colobos usan sus dientes frontales. En laboratorio se examinaron las propiedades espectrales (color), químicas (nutricional) y mecánicas (elasticidad) de los higos que se recolectaron en campo. Los higos habían sido palpados, rechazados, mordidos o ingeridos en parte. El estudio también capturó el olor que huelen los chimpancés. Se concluyó que palpar los higos fue cuatro veces más rápido que separarlos y morder la fruta. Esto parece una ventaja para los chimpancés frente a las aves y los colobos, que dependen de ver y gustar.

quorum o consenso: decisión de multitudes

¿de qué se trata? Hay decisiones individuales y de grupo. En un grupo se puede adoptar un criterio de *quorum* (un umbral mínimo de la comunidad) o de consenso y unanimidad (todos deben estar de acuerdo). El *quorum* es más rápido aunque puede generar una decisión que no es la óptima. La decisión por *quorum* tiene mucho que ver con la organización social del grupo.

quorum en microorganismos

Virus: detectan a las bacterias y se comunican entre sí. Parece que cuanto más se sabe de los virus se encuentran reacciones cada vez más complejas. Unos estudios del 2019 indicaron que pueden "escuchar" a las bacterias que deciden atacar y que pueden "dialogar" con otros virus de la misma especie. Es un lenguaje molecular que les permite conocer la densidad y decidir cuándo dejar de esperar y pasar a la fase de replicación y dispersión.

(1) Decisión por *quorum*. /// En un estudio se encontró que ciertos virus (fago cepa phi3T) liberan una pequeña proteína de seis aminoácidos (el péptido *arbitrium*) que sirve como mensaje. En la medida en que los virus infectan a las bacterias (*Bacillus subtilis*) la concentración de esta proteína aumenta. Cuando llega a un umbral, se supera el *quorum* para el ataque. Si la concentración es muy alta significa que quedan pocas células sanas e interrumpen el ataque (quedan latentes dentro de la bacteria para activarse más adelante). Esta forma de comunicación y decisión por umbral indica que los virus controlan su propio destino y surgen como posibles agentes sociales. La cooperación mejora las expectativas de éxito de los virus frente a las bacterias.

(2) /// Otros trabajos encontraron al menos quince tipos de virus que hacen este juego en el suelo. Cada virus usa un péptido diferente y permite solo la comunicación con su especie. Pero también pueden escuchar el lenguaje químico de las bacterias. Un caso de estudio fue con la bacteria del cólera (*Vibrio cholerae*).

(3) Virus altruistas. /// En otro estudio se encontró que la cooperación viral está al borde del altruismo. Se trabajó con la bacteria *Pseudomonas* y se observó que los virus emitían proteínas especializadas para descomponer las defensas inmunes de esta bacteria. La primera ola de virus se autodestruía atacando a las células y debilitándolas. Este ataque suicida inicial allanaba el camino para los virus que venían detrás.

Bacterias: los "bienes públicos" y las decisiones. Las bacterias detectan y responden a los estímulos externos. Por ejemplo, algunas responden a sustancias químicas, otras a la luz o al campo magnético terrestre. Esto les permite orientarse durante el movimiento. Se comunican mediante sustancias químicas y forman grupos que pueden llegar a ser muy organizados y con división de tareas. Los compuestos que generan las bacterias se llaman "bienes públicos" y la acumulación depende del tamaño de la población. Es una medida de *quorum* ya que, cuanto más bienes se acumulan, significa que más bacterias participan. Una anomalía a la regla son las bacterias mutantes que no logran fabricar bienes públicos. Se suele interpretar como bacterias tramposas (parásitas), pero en realidad son organismos disfuncionales que pueden sobrevivir gracias a los demás. **///** Un estudio encontró que el número absoluto de bacterias para formar el *quorum* es irrelevante, solo importa la densidad. La detección de *quorum* ayuda a evitar la superpoblación, incluso en el caso de una sola célula en un espacio cerrado. Por ejemplo, el *Bacillus subtilis*, cuando crece en un área pobre en alimentos, libera sustancias que obligan a otras bacterias a establecerse más lejos. Esto cambia la forma de la colonia. La detección de *quorum* permite que, cuando los compuestos llegan a niveles críticos, se produzcan cambios en la conducta.

Bacterias patógenas: usan el *quorum* para decidir el ataque a una planta. Se pudo detectar que las bacterias patógenas (causantes de enfermedades) usan la detección de *quorum* para decidir cuándo lanzar un ataque contra su anfitrión. Lo hacen una vez que se acumuló un número suficiente como para abrumar el sistema inmunológico. **///** En un estudio se analizó una bacteria patógena (*Pseudomonas aeruginosa*) que utiliza la medida de *quorum* para determinar el momento de atacar a las plantas. Lo hace cuando la población es suficiente para asegurar ganar la batalla. Pero las plantas se defienden, porque generan un compuesto (ácido rosmarínico) que engaña a las bacterias. Esto simula que el *quorum* está logrado y producen químicos (homoserina lactona) que inician la invasión. La planta logra ser atacada por una población pequeña de bacterias y puede defenderse con éxito.

Bacterias: el movimiento en bandadas. En otro tipo de *quorum*, las bacterias pueden formar bandadas de muy baja concentración (*flocking*). El agrupamiento surge en forma espontánea, sin un líder. Cuando un individuo nada, crea ondas que otros pueden sentir y responder uniéndose. Ciertas bacterias, como *E. coli* y *Salmonella*, forman bandadas en altas concentraciones, pero solo cuando es una baja concentración pueden considerarse como individuos. Los rebaños pueden moverse de forma sincronizada durante más

tiempo y varias veces más rápido que una sola bacteria. **///** Los estudios muestran que el movimiento de *flocking* se basa en: separación (repulsión de corto alcance para evitar aglomeraciones), alineación (dirigirse hacia el destino promedio de los vecinos) y cohesión (una atracción de largo alcance). A este modelo básico se suman otros efectos como el miedo que se propaga por el olfato o el cambio de liderazgo (cuando un miembro se convierte en líder y trata de escapar).

quorum en insectos

Hormigas: diferencias en las decisiones de individuos y de la colonia. /// En un estudio se formaron seis colonias de 56 hormigas marcadas. Luego de tres días de ayuno se les dio a elegir entre soluciones con dos concentraciones de sacarosa al 3,5 y 4 %. Se encontró que las hormigas individuales tenían distintas preferencias, incluso algunas no tenían preferencia. Cada una tenía umbrales diferentes de detección de sacarosa. Pero cuando se alimentaron las colonias en conjunto, la mayoría de las hormigas eligieron la solución de sacarosa al 4 %. La decisión "colectiva" de la colonia era por la solución más nutritiva. Las hormigas de umbral bajo no se preocuparon por la concentración y las de umbral alto se negaban a ambas concentraciones. Por lo tanto, la decisión la tomó el grupo del medio que prefiere la concentración más alta.

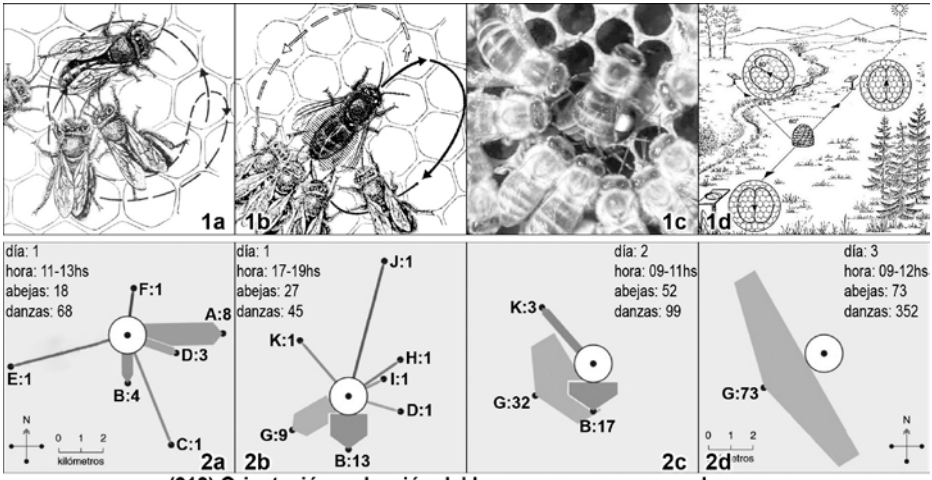
(F212) Abejas: la decisión por consenso o por *quorum*. Las abejas deben elegir un lugar para la nueva colmena y pueden hacerlo por consenso (todos) o por *quorum* (lograr un umbral mínimo).

(1) /// Un estudio trabajó en una isla con poca vegetación de forma que las abejas estaban obligadas a utilizar los emplazamientos artificiales que se instalaron. Se observó que las exploradoras recorren los lugares e indican sus preferencias mediante el baile. La intensidad de la danza es proporcional a la calidad del lugar. También se observó que el enjambre se echaba a volar antes de que las danzantes hubieran llegado al "consenso" por unanimidad. Parece que, cuando llegaban a un umbral de quince exploradoras que apoyaban un sitio, el enjambre volaba en esa dirección. Es una decisión por *quorum*.

(2) /// Luego se dificultó la decisión al poner cinco cajas cercanas y de igual calidad. Como resultado se produjo un retardo en la partida del enjambre de siete horas, comparado con las tres horas normales. Se pudo concluir que esta forma de decisión promueve la diversidad de opiniones porque intervienen centenares de individuos, cada uno con información propia. Esto permite que en pocas horas se tenga un panorama de todo el área. Las exploradoras no eran conformistas, defendían su elección y trataban de sumar el respaldo de otras exploradoras. Cada nuevo respaldo surgía de una exploradora que reconocía el sitio. El umbral de *quorum* permite tomar una decisión acertada, reduciendo el tiempo de espera y filtrando las opiniones extremistas. Ningún individuo recorre todos los lugares, todos recorren una parte y cada uno defiende su elección.

quorum en vertebrados

Grajilla occidental (*Coloeus monedula*)**: llamadas para el acoso**. Estas aves de la familia de los cuervos usan el acoso para ahuyentar a los enemigos. Es un comportamiento bastante común en muchas aves.



(212) Orientación y elección del lugar para una nueva colmena

(1) El baile de las abejas permite transferir información desde una abeja al resto. La danza circular (1a, *round*) se usa para distancias cortas (<100 m) y la danza de meneo (1b-c, *waggle*) para mayores. La dirección se indica según la posición del sol (1d). **(2) La decisión de quórum.** Un grupo de 150 abejas por unanimidad eligieron entre 11 lugares posibles para el nido. Llevó 48 hs para que todas coincidieron en el puesto G a 2 km de distancia.

(1) /// Un estudio trabajó para determinar la forma en que se inicia. Se utilizaron grabaciones de llamadas y se reprodujeron en diferente cantidad. Las simulaciones de más llamadas tendieron a juntar más reclutas. En el experimento siempre se escucharon la misma cantidad de llamadas de alarma, pero se varió la cantidad de individuos que hacían la reproducción. Esto muestra que las grajillas pueden distinguir las voces y determinar cuántas aves están involucradas en la mafia del acoso. También se encontraron limitaciones para determinar el número de reclutas cuando las llamadas aumentaban. El resultado se estancó en tres (un número típico como límite de conteo exacto en los animales). Puede ser que no exista una ventaja en responder cuando el *quorum* está logrado o que haya un límite cognitivo en el conteo que impide identificar números mayores.

(2) La comunicación mediante llamadas tiene su máxima variedad en las aves, cetáceos y primates. **///** Por ejemplo, para las grajillas se conocen varias llamadas. La llamada de *quorum* y para agredir a un predador es *arrrrr* o *kaaaarr*. La llamada de contacto en vuelo es *chyak-chyak*. Cuando el macho ofrece comida hace *kiaw*, pero cuando la hembra pide comida hace *kyaay*.

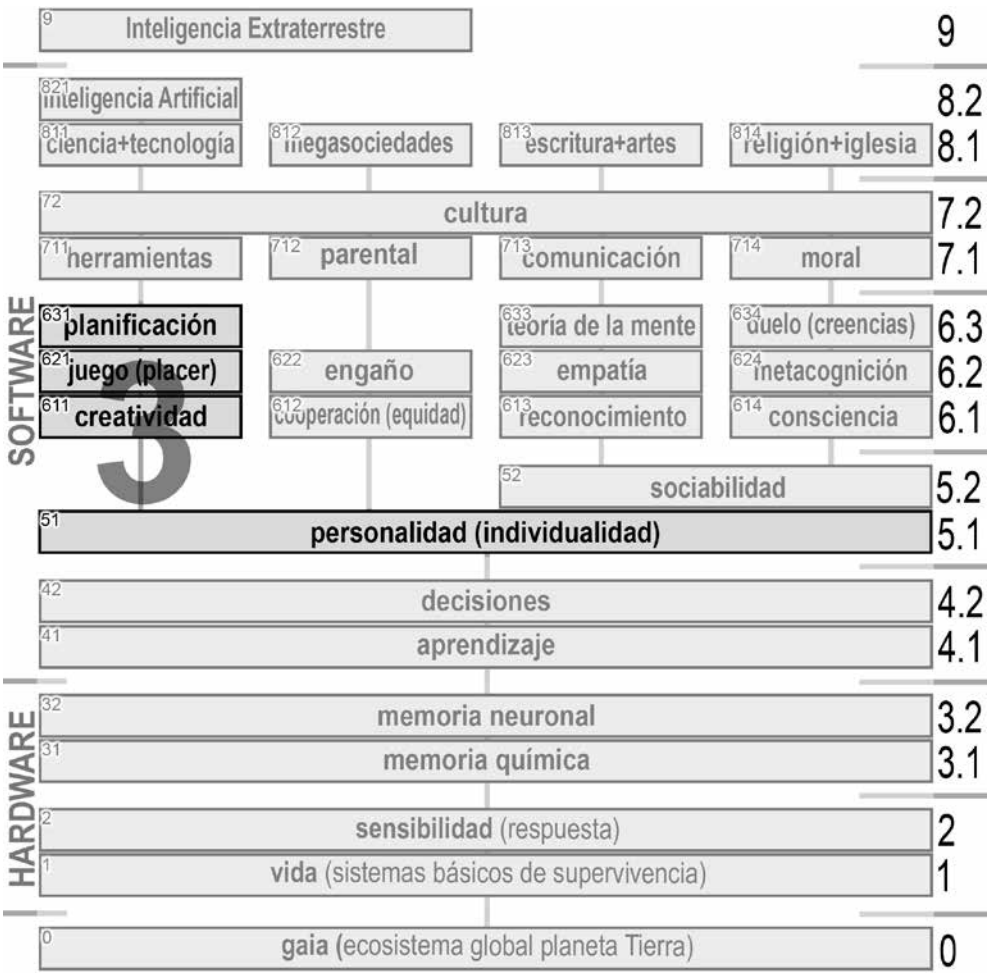
Perro salvaje (*Lycaon pictus*)**: llamadas al *quorum* mediante estornudos.** En Botsuana estos perros tienen una vida grupal dirigida por los dominantes. **///** Un estudio encontró que estornudan (exhalaciones nasales) para decidir cuándo dejan de descansar y comienzan a cazar (*rally*). Si los individuos dominantes comienzan los estornudos, es mucho más probable que resulte en una cacería (solo requieren dos o tres estornudos). Pero si un individuo subordinado desea comenzar una cacería, tiene que estornudar unas diez veces, para que la manada salga. Es un esfuerzo mayor para obtener el *quorum* (voluntad del grupo). Si

algún dominante quiere iniciar el *rally* puede ser desmentido por el consenso del resto de los subordinados.

Suricatas (*Suricata suricatta*)**: las llamadas al *quorum*.** En el desierto de Kalahari, la cohesión social del grupo de suricatas es vital frente a las amenazas. **///** Los estudios de campo muestran que el movimiento del grupo desde un parche a otro debe hacerse en conjunto. Para aumentar la seguridad, el grupo se maneja con decisiones de *quorum*. Por ejemplo, es necesario un *quorum* de tres o más individuos haciendo llamadas cercanas durante el movimiento para aumentar la velocidad. Menos llamadas individuales no afectan la velocidad. En cuanto a la dirección, no hay cambios que se realicen mediante llamadas cuando están en movimiento.

Babuino oliva (*Papio anubis*)**: la decisión de grupo es democrática. ///** Un estudio en Mpala (Kenia) colocó collares GPS a 25 miembros de una tropa. Se registraron los movimientos una vez cada segundo durante dos semanas. Se encontró que algunos babuinos son iniciadores. Comienzan a alejarse con lo que jalan a los seguidores o funcionan de ancla para permanecer en el lugar hasta que el iniciador regresa. Hay más probabilidad de moverse cuando son varios los iniciadores y se mueven en el mismo sentido. Si se mueven en distinto sentido, las decisiones de grupo se retrasan. Estos babuinos no intentan negociar, sino que eligen una de las direcciones si la divergencia excede los 90°. Para un ángulo menor a 90° toman una dirección de compromiso entre ambas. Se trata de "un babuino, un voto", es un proceso compartido y democrático.

Macaco cola de cerdo (*M. nemestrina*)**. ///** Estos macacos luchan dentro del grupo social para formar la jerarquía. Cuando ya está establecida, comienzan a mostrar los dientes en señal de subordinación. Cuando esta información se propaga en la comunidad, los monos con alto grado por consenso ocupan la posición de líderes del grupo. En estos macacos los gestos son fuertes elementos de comunicación.


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
3
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad (individualidad) 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

MODELO DE CAPAS

51 personalidad

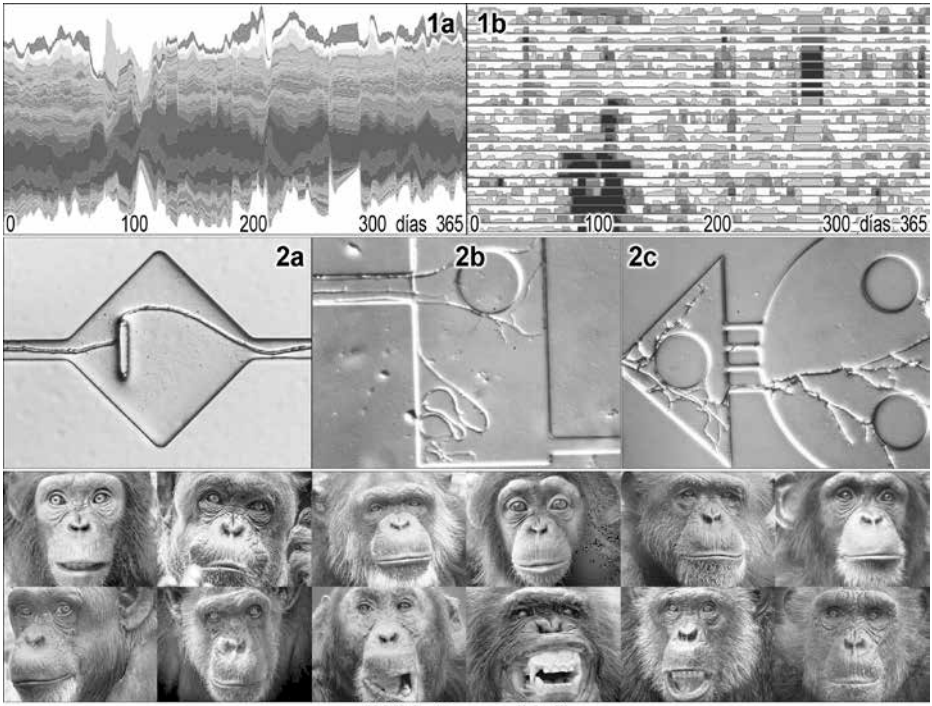
¿de qué se trata? Para los humanos la personalidad se puede definir mediante cinco grandes dominios. Extraversión es la propensión para buscar y disfrutar la compañía. Amabilidad es la confianza y cooperación en las interacciones sociales. Consciencia es la atención para enfocarse en los detalles. Neuroticismo es la tendencia a la inestabilidad y sentir emociones negativas. Apertura es la tendencia a mostrar creatividad, curiosidad intelectual y disposición para buscar nuevas experiencias. Para los animales se pueden aplicar estos y otros dominios adicionales. Dominancia, como una variable entre dominantes y subordinados. Agresividad, desde agresivos a dóciles. Sociabilidad, desde prosociales hasta asociales. Propensión al riesgo, de aventureros a conservadores. Incluso en las plantas se podrían definir grados de personalidad basados en el riesgo que asumen en la germinación y floración, como se relacionan con los vecinos, etc. En las bacterias se encuentran también tendencias individualistas. La personalidad es una vía a la creatividad, a la solución de problemas complejos y a la planificación del futuro.

bacterias

(F301) La comunidad microbiana determina un carácter diferente para cada una. En la "personalidad" de la colonia interviene la composición biológica y los compuestos químicos. Frente al mismo estímulo la respuesta será diferente porque cada comunidad es distinta. Por ejemplo, los olores corporales son el resultado de los compuestos propios del organismo y la composición microbiana.

(1) Comunidad microbiana en abejas. La formación de grupos sociales en los animales permite consolidar las comunidades compartidas de microbios. **///** Un estudio con abejorros (género *Bombus*) de la misma colmena encontró que comparten bacterias a través de los *pellets* fecales. Por ejemplo, el parásito tripanosoma (*Crithidia bombi*) se propaga por las heces. Este protista es común en las abejas melíferas y se cree que de ellas se propagó a los abejorros silvestres.

(2) La comunidad en los mandriles. /// Un estudio analizó los genomas



(301) La "personalidad"

(1) En las bacterias. La población de bacterias en la materia fecal humana en un año (365 días). Son 25 grupos bacterianos donde el espesor de la capa (1a) indica la abundancia. La velocidad de variación diaria (1b) se muestra en tonos claros para indicar aumento y oscuros para disminución. **(2) En los hongos.** Los hongos del suelo fueron probados en laberintos microscópicos. Se observan diferentes estrategias de cobertura del terreno desde los poco ramificados (2a) a los más ramificados (2c). **(3) En los chimpancés.** El rostro muestra las emociones y personalidades.

bacterianos en las heces de 48 mandriles (*Mandrillus sphinx*) de dos grupos sociales en Kenia. Se encontró que los microbiomas diferían, aunque vivían en áreas superpuestas y comían alimentos similares. La dieta y la cercanía influye en la composición microbiana del intestino. Los mandriles que se acicalaban juntos tenían microbiomas que se asemejaban.

(3) Microbios en la piel de humanos. /// En un trabajo se analizó la nube microbiana personal que rodea a los humanos. Se secuenciaron microbios del aire que rodeaba a once personas en una cámara desinfectada. Se descubrió que los individuos podían ser identificados por las combinaciones de bacterias. Se encontraron grupos de bacterias generalistas en la boca (*Streptococcus*) y piel (*Propionibacterium* y *Corynebacterium*). Aunque estaban en todas las personas, cada uno tenía una combinación única.

(4) Volatilidad en la población. /// En un estudio de la flora bacteriana intestinal quedaron en evidencia los cambios diarios de la composición. Un investigador tomó muestras diarias durante un año de su materia fecal. Clasificó la abundancia relativa de 25 tipos de bacterias y lo relacionó con su actividad diaria.

Incluso un viaje al exterior se vio reflejado en un dramático cambio en la composición.

(F301) Las estrategias (personalidad) en los hongos. /// Un estudio armó laberintos de silicona microscópicos y transparentes del tamaño de los hongos del suelo. El objetivo era observar las estrategias de movimiento y crecimiento de las hifas para formar el micelio. Se encontró una notable variedad de estrategias asociadas a 7 especies de hongos analizados. Una estrategia extrema (*L. gentianeus*) consistió en generar muchas derivaciones de una rama principal. El movimiento resultó lento, muy espaciado, continuo con curvas y contracurvas, llenando todos los espacios libres. Lograron forzar las partes sólidas de los chips con una estrategia de "fuerza bruta". En el otro extremo de las estrategias (*C. angulatus*) se produjeron pocas derivaciones con una estructura densa, con movimientos rápidos de largo alcance. Es una estrategia de "máxima velocidad" con hifas que se adelantan al resto para explorar. Es decir se volvían densas, largas y rectas, sin explorar los alrededores. El punto débil fueron los obstáculos que no pudieron eludir. Una estrategia adicional fue rodear los obstáculos. En los ensayos algunas especies fueron sometidas a esquinas sucesivas y quedaron atrapadas en las esquinas. Otros perdieron el sentido de la orientación después de sortear un obstáculo circular. Los obstáculos más difíciles fueron los patrones en zigzag, los ángulos agudos y las esquinas redondeadas. Algunas especies se detenían cuando llegaban a una esquina.

insectos

Avispas: personalidad individual y de la colonia. Dos características de la personalidad de las avispas son la terquedad y agresividad. **///** Para un estudio se analizaron nidos de avispas en la naturaleza. Se usaron pequeños pinceles para alcanzar el interior de un nido y golpear a la reina varias veces. Algunas reinas lo soportaban (incluso después de 50 golpes) y otras volaron después de un par de golpes. Las más agresivas picaron el pincel. Luego se tomó una mirada colectiva de la colmena, sacudiéndola e introduciendo un posible predador simulado. Las avispas respondieron de una manera que recordaba a su reina. Con una reina obstinada, era más difícil que la colmena fuera abandonada. Los nacidos de una reina agresiva estaban dispuestos a atacar. Los rasgos de personalidad de la madre conferían rasgos similares a la colmena.

Abejas hiperactivas. /// Para un estudio se usaron etiquetas de identificación por radiofrecuencia que permitieron seguir por semanas a las abejas melíferas. Se descubrió que algunas abejas están mucho más ocupadas que otras. Si se quita una de estas abejas, otra ocupará su lugar en 24 horas. Se calculó que el 20 % de las abejas que buscan alimento traen más del 50 % del néctar y polen. Esto equivale a que estas abejas de *elite* trabajan cinco veces más que las de baja actividad.

Mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)**: la personalidad como caminantes y el desarrollo del cerebro. ///** Un estudio trabajó con moscas para entender el origen de la personalidad. Se les dio un incentivo para caminar sobre una superficie hacia un objeto. Algunas moscas caminaron en forma recta de manera consistente, mientras que otras tomaron un camino sinuoso. Se les asignó la personalidad de caminantes rectas y sinuosas. Luego se diseccionó el cerebro para anali-

zar las neuronas de la zona (racimo dorsal) que se asocia con la forma de moverse. Se observó que las moscas caminantes rectas tenían un patrón de cableado más asimétrico que las sinuosas. Estas diferencias en la estructura neural no son genéticas, sino que es parte de procesos aleatorios durante el desarrollo del cerebro.

peces y reptiles

Pez guppy (*Poecilia reticulata*)**.**

(1) La reacción ante el riesgo. /// Una investigación analizó un grupo de 105 guppy de Sudamérica. Se causó un estrés leve colocándolos en un estanque desconocido y aislados. Luego se aplicó un estrés más alto al agregar modelos de aves o peces depredadores. Se midió la propensión al riesgo en ambos casos. En un entorno desconocido, pueden intentar esconderse, escapar, o explorar con cautela. Se encontraron diferencias consistentes a lo largo del tiempo y en distintas situaciones. Se concluyó que forman parte de su personalidad. Si bien la conducta del grupo cambió según la situación (p.ej., todos se volvieron más cautelosos), las diferencias entre los individuos permanecieron intactas.

(2) Personalidad y salud. /// En otro estudio con guppy primero se los clasificó por el tamaño del cerebro. Un grupo incluía a los que tenía el cerebro un 5 % más grande que el promedio y otro el 5 % más pequeño. Luego se les injertaron escamas de otro guppy para medir el grado de rechazo (un indicador de la respuesta inmune). Se encontró que los peces con cerebros más grandes tenían un rechazo más fuerte. Se concluyó que un cerebro más grande tiene un costo que pagan en la debilidad del sistema inmune.

Pez espinoso *(Gasterosteus aculeatus)*.

(1) Personalidad del grupo. /// En un trabajo se formaron grupos al azar con peces capturados en la naturaleza. Se les ofreció una variedad de entornos como espacios abiertos, cobertura vegetal y parches de alimentos. Se encontró que los cardúmenes tenían diferencias en su comportamiento y que no variaba en diferentes contextos ecológicos. Algunos fueron más rápidos, mejor coordinados, más coherentes y mostraron una estructura de liderazgo más clara que otros. Es llamativo que existan diferencias porque los individuos se agruparon al azar, por lo que se generaron grupos heterogéneos. Esto sugiere que, **entre animales poco relacionados y con membresía cambiante, puede surgir un desempeño colectivo estable que no es predecible basado en sus miembros.**

(2) Aventureros o conservadores. /// En otro estudio se entrenó a los espinosos para comer un color específico de presa. Se buscaba conocer más sobre el conservadurismo en la dieta. Se tiñó a su presa favorita, el crustáceo del plancton del género *Daphnia*, con colorante verde o marrón y se los entrenó a un color en particular. Luego se les dieron presas de diferentes colores. Se encontraron dos tipos de peces, los que comían cualquier color en forma aventurera y los que evitaban otro color. Lo interesante es que dentro de la misma población había comedores aventureros y comedores conservadores.

(3) Prosociales o asociales. /// Un estudio con espinosos recolectó más de 400 alevines recién nacidos. Se identificó si estaban solos o en grupo. Se midió la personalidad evaluando la audacia en una piscina frente a depredadores simulados. Más tarde se los pintó de forma que fueran reconocibles y se los liberó. Luego de dos semanas, los peces audaces estaban en unos grupos

y los tímidos estaban solos. Los tímidos no habían soportado la vida en grupo, quizás por la falta de agresividad para competir por comida. En soledad lograron sobrevivir en zonas protegidas de los depredadores.

(4) /// En otro trabajo se filmaron los movimientos de quince espinosos nadando en un tanque que contenía hasta cinco plantas artificiales en posiciones fijas. Se midieron los movimientos y se encontró que eran muy diferentes entre ellos. Incluso se podía identificar de quien se trataba sobre la base de los movimientos. Se trata de rasgos de personalidad consistentes en la conducta.

Pez cebra *(Danio rerio)*: tienen personalidad y aprendizaje social. /// Un estudio comenzó caracterizando grupos de peces salvajes y domesticados en la personalidad: audaces o tímidos. Se los enfrentó a un objeto en movimiento y se midió la reacción de acercamiento. Luego se permitió a peces salvajes interactuar con domesticados audaces. Se encontró que adoptaban una conducta más audaz que la normal. Pero si un pez domesticado audaz interactuaba con salvajes conservadores, no cambiaba de personalidad, volviéndose más cauteloso. Se concluyó que el pez cebra usa el aprendizaje social para evaluar el riesgo y adaptar la conducta. Luego se buscó evidencia de conformidad social (adaptar la conducta individual a la del grupo) pero no se encontró.

Tiburones: la personalidad social-asocial y atrevido-tímido.

(1) Tiburón gato *(Scyliorhinus canicula)*: personalidad basada en la sociabilidad. La personalidad es una conducta repetible en el tiempo y los contextos. **///** En un estudio se midió el grado de sociabilidad sobre diez grupos de tiburones. Se trabajó en estanques con tres hábitats de diferente complejidad estructural. Se encontró que, aunque cambiara el tamaño de los grupos, los individuos sociables permanecían más conectados en los tres hábitats. Los individuos bien conectados formaban grupos visibles, mientras que los solitarios tendían a camuflarse solos. Hacían coincidir el color de su piel con el color del sustrato de grava en el fondo del tanque.

(2) Tiburón Port Jackson *(Heterodontus portusjacksoni)*: personalidad basada en la audacia. /// Los estudios se orientaron a determinar la conducta cuando se los lleva a un nuevo hábitat. Se midió el tiempo de espera en el refugio antes de explorar el lugar, las hormonas del estrés y los perfiles fisiológicos asociados. Luego se los manipuló y liberó midiendo el tiempo de recuperación. Se encontró una respuesta sistemática de cada uno. Los tiburones reactivos siempre lo fueron. Cada tiburón es un individuo con sus preferencias y comportamientos únicos.

Reptiles: entre valientes y dóciles.

(1) Salamandra de arroyo *(Ambystoma barbouri)*. /// Un estudio midió la personalidad de estas salamandras en la dimensión temor-valentía. Algunos peces se alimentan de estas salamandras, por lo que responden escondiéndose o manteniendo la calma. El estudio encontró que las salamandras valientes corren más riesgos, pero a la vez son cazadores de invertebrados más efectivos. Esto es una ventaja en charcos pequeños, sin peces depredadores, pero que se secan más rápido. Cada personalidad progresa en un ambiente diferente.

(2) Lagartos *(Tiliqua rugosa)*. /// Otro estudio rastreó mediante GPS a 70 lagartos en la naturaleza. Se los examinó en busca de infecciones por garrapatas. Los animales más dóciles que huyen de las peleas tenían más parásitos que los agresivos, quizás porque se agrupan y las garrapatas se comparten por contacto.

aves

Cuervos: pueden ser residentes o viajeros. /// Para un estudio en Austria e Italia se anillaron 332 cuervos. Unos 30 de ellos fueron equipados con mochilas GPS que transmitían una vez por hora. Los dispositivos se cargaban con energía solar y los datos se transmitían por la red GSM de teléfonos móviles. Durante cuatro años se recolectaron de datos y se midieron movimientos de hasta 160 km/día. Se encontró que salvo algunos cuervos que no se reprodujeron y que parecen quedarse solos en áreas pequeñas, otros pueden moverse miles de kilómetros por año. Muchos cuervos se reúnen en lugares como fuentes ricas de alimentos (vertederos, estaciones de compostaje) y refugios nocturnos comunes adyacentes. Algunas prefirieron pasar toda su vida en un pueblo, mientras otras eligieron viajar y explorar. Cuando los cuervos forman grupos, hacen amigos y pelean por los recursos. Estos lazos sociales y un sistema dinámico de conducta podrían haber impulsado la evolución del cerebro en los cuervos.

Carbonero común *(Parus major)*: la personalidad influye en su organización social. Mientras que las aves atrevidas están dispuestas a explorar activamente su nuevo entorno, las aves tímidas tienden a ser más vacilantes y cautelosas. El carbonero forma bandadas en el invierno y, en primavera, las parejas se dispersan para reproducirse. El seguimiento anual permitió conocer las preferencias de anidación.

(1) Vecinos con ideas afines. /// Un estudio determinó que eligen el lugar del nido tratando de mantenerse cerca de sus compañeros de grupo. En cierta forma, la historia de cada uno determina la organización actual y futura. Aquí interviene el reconocimiento de los pares y la formación de alianzas. También se encontró que son los machos (no las hembras) los que prefieren vecinos con personalidades similares. Son exigentes al optar por vecinos con ideas afines, lo que resulta importante en la temporada de cría cuando la agresión alcanza su punto máximo.

(2) /// El seguimiento durante cuatro años de 541 carboneros permitió encontrar que, en condiciones de escasez, las aves más agresivas tomaban más riesgos. También pagan un costo físico mayor. En particular, los padres más agresivos se esforzaban por alimentar a todas las crías, lo que afectó aún más su salud.

El estrés produce desbalances hormonales que llevan a cambios en la conducta.

(1) Pinzón cebra *(Taeniopygia guttata)*. /// Un estudio clasificó un grupo de pinzones en tres personalidades: relajado, normal y estresado. La clasificación se hizo mediante el nivel de las hormonas de estrés (corticosterona). Las aves definidas como estresadas eran más audaces y tomaban más riesgos en un nuevo entorno. Esto se comprobó colocando a los pinzones en un entorno con objetos desconocidos y un nuevo comedero. Las aves estresadas fueron las primeras en visitar los nuevos comederos. Parece que la corticosterona ayuda a combatir el estrés adoptando conductas de supervivencia.

(2) Verderón europeo *(Carduelis chloris*). /// El análisis de la personalidad encontró que se refleja en los niveles de estrés oxidativo. Esto podría estar ligado a diferencias en el metabolismo, hormonas del estrés y esperanza de vida. Se usaron rasgos de personalidad ligados al tiempo que tardan en acercarse a comidas y objetos nuevos. Las aves tímidas que tardaban más

tiempo también tenían altos niveles de MDA (malondialdehído) en la sangre, lo que indica estrés oxidativo.

El sesgo que hace peligrar a las aves en las carreteras. /// En Dinamarca se hicieron 3.521 autopsias de aves de 251 especies, que fueron atropelladas en las carreteras. El resultado mostró que las víctimas tenían un cerebro más pequeño que el promedio. En tanto los otros órganos (hígado, corazón y pulmones) tenían una masa promedio. Se encontró que los cuervos con cerebros más grandes demostraron mejor habilidad para navegar dentro del tráfico. Los carroñeros aprendieron a ignorar los vehículos que pasan cerca. Esto sugiere que hay una selección dentro de una población impulsada por las colisiones. Es un caso similar al que ocurre en la caza donde hay un sesgo en la eliminación de ejemplares. De esta forma las aves con capacidad de eludir colisiones o a los cazadores se vuelven más comunes. Parece que el tiempo de selección aun es corto, lleva varias décadas, y la mortandad no es tan alta como para determinar un cambio evolutivo mensurable. Pero sí muestra la variabilidad de conductas en la población.

mamíferos

Ratones. La personalidad y la variedad de conductas.

(1) La personalidad. /// En un estudio se trabajó con 1.500 ratones capturados en la naturaleza. En laboratorio se los caracterizó como tímidos, agresivos o activos. Para esto se los colocó en una caja blanca y se midió cómo deambulaban. El ratón debe sentir miedo al estar en un entorno nuevo y, si cruza por el centro de la caja (un lugar peligroso por lo abierto), es un indicador de audacia. A un ratón que daba vueltas y cruzaba el centro de la caja, se lo clasificaba como curioso. Además, debía mantener esta conducta meses después, lo que indica que es su personalidad y no el estado de ánimo del día del estudio. Luego se pasó a analizar la relación entre la personalidad y la conducta frente a las semillas. Se les presentaron semillas artificiales y luego se rastrearon para encontrar el destino. Conocida su personalidad, se observaron sus decisiones. Los individuos más audaces pueden estar más dispuestos a correr riesgos para encontrar semillas o elegir semillas de diferentes contenidos o tamaños. Los tímidos pueden consumir menos semillas que los audaces.

(2) Menú de conductas. /// En un trabajo se analizó la conducta de los ratones en cautividad y se encontraron 60 comportamientos que pueden asimilarse con personalidades. Por ejemplo, acercarse, perseguir o huir, compartir comida o alejarlos, explorar, ocultarse, etc. Luego, se generó un puntaje de personalidad de cinco partes: extroversión, amabilidad, consciencia, neuroticismo y la apertura a la experiencia. Se encontró que cada ratón tenía una personalidad única e individual. Luego se mezclaron los grupos, lo que generó una situación estresante. Algunos de los comportamientos cambiaron, a veces drásticamente, pero la personalidad seguía siendo la misma. Con los datos se trazó un espacio de personalidad donde se compararon dos de los rasgos. Este tipo de análisis entrega un triángulo con arquetipos que habitan en las esquinas. Por ejemplo, altamente dominantes y no comensales (son ratones de campo no amigables), los dominantes y comensales (ratones de ciudad) y los subordinados. Adicionalmente se mapearon los patrones de expresión genética en los cerebros, lo que permitió identificar los grupos de genes asociados a los rasgos de personalidad identificados.

Caribú *(Rangifer tarandus)*: sociabilidad e independencia. /// Un estudio en Canadá realizó el seguimiento de los caribúes. El uso de drones permitió seguirlos durante la migración y conocer las conductas dentro de la manada. Se encontró una enorme variación en la sociabilidad por sexos y edades. Los terneros son muy sociables y los toros adultos más independientes. Siguen reglas de interacción constantes, estando más influenciados por los miembros del rebaño frontales que por los laterales. Esto conduce a un flujo asimétrico de información a través de la manada. Los nativos de regiones árticas (inuit) saben que un subconjunto de caribú líderes guía el camino de la migración.

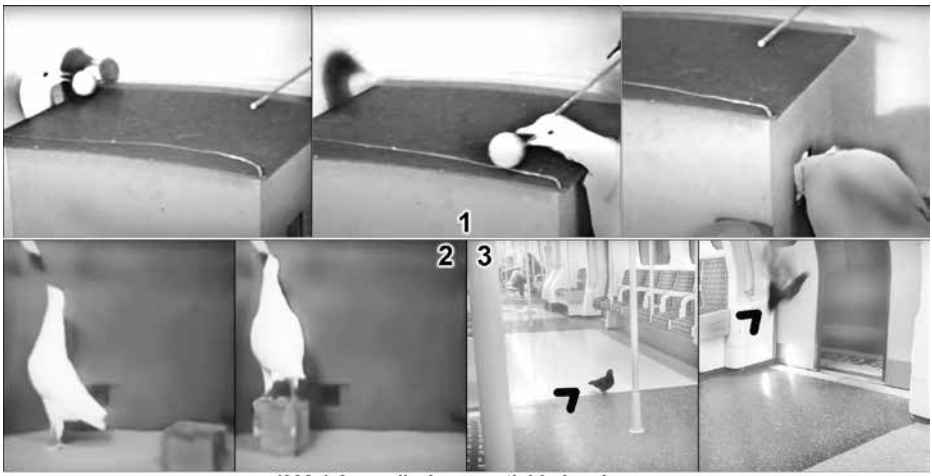
Vacas *(raza Holstein-Friesian)*: **tienen voces que reflejan las emociones. ///** Un estudio trabajó con una manada de 18 vacas durante cinco meses. Las vacas mantuvieron voces individuales en una variedad de situaciones emocionales positivas y negativas. Parece que les ayuda a tener contacto con el rebaño y expresar entusiasmo, excitación, compromiso o angustia. El estudio registró 333 muestras de vocalizaciones de vacas y las analizó mediante programas acústicos. Se encontró que la individualidad es estable en diferentes contextos agrícolas. Los contextos positivos fueron durante el período de celo reproductivo y la anticipación de la alimentación. Los negativos eran durante el aislamiento físico y visual del resto del rebaño.

Monos tamarino *(Saguinus oedipus)*: coeficiente de inteligencia. /// Un estudio trabajó con 22 tamarinos, una especie de mono tití del norte de Sudamérica. Se los probó en 11 tareas cognitivas. Se formaron tres grupos de acuerdo con los resultados promedio. Por ejemplo, en una prueba había una mampara de plástico que los separaba de una recompensa visible. Algunos descubrieron que la solución era saltar la mampara, otros se pegaron con la mampara antes de entender que tenían que saltarla y otros no lo resolvieron. En una prueba donde tenían que elegir entre un plato con tres golosinas y otro con cuatro, la mayoría siempre eligió el de cuatro golosinas. Cuando se calculó un puntaje de IQ, el más inteligente superó al menos inteligente en el 66 % de las pruebas.

(F302) Chimpancés. Los mismos rasgos de personalidad que en los humanos.

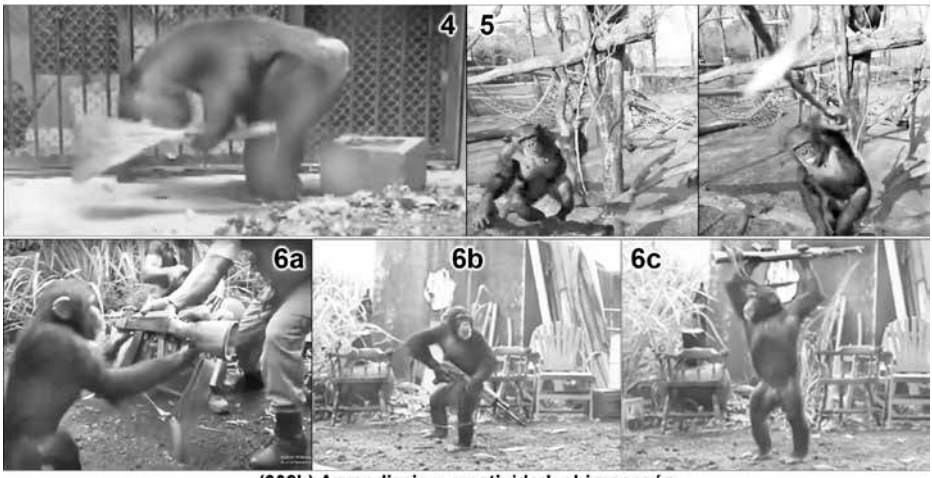
(1) /// Un estudio usó datos de personalidad y supervivencia de 538 chimpancés. Se encontró que los cinco rasgos de personalidad que se usan para humanos también eran válidos para los chimpancés y se agregó el de dominancia. Se observaron la apertura a lo nuevo, la responsabilidad, extroversión (sociabilidad), amabilidad, inestabilidad emocional (neuroticismo) y dominancia (destreza competitiva social). Esto se comparó con las orcas, donde se aplican cuatro rasgos: extroversión, dominancia, prudencia y la combinación de responsabilidad-amabilidad. En chimpancés y orcas existe una cognición compleja, un cerebro voluminoso y el aprendizaje cultural. Para el estudio con chimpancés se buscaron los aspectos asociados con la longevidad. Se encontró que, entre los chimpancés machos, la longevidad favorece a los más agradables (simpáticos, sensibles, protectores y cooperativos). También tenían más supervivencia los que mostraron apertura, los que exploraron y se adaptaron a los cambios. Los no favorecidos en longevidad eran los extrovertidos, concienzudos o neuróticos.

(2) /// Un estudio en Gombe (Tanzania) basado en las observaciones de guardaparques, evaluó la personalidad de los chimpancés, desde 1973. Se usaron 128 chimpancés bien documentados. Se los calificó



(302a) Aprendizaje y creatividad: palomas

(1) En los años 80 se les enseño a jugar al ping-pong con el pico. Por cada punto ganado recibían un grano en una ventana. **(2)** También se colocó una banana fuera del alcance y un cubo. La paloma podía moverlo con el pico y llegar a la banana. **(3)** En el metro de Londres algunas palomas viajan entre estaciones.



(302b) Aprendizaje y creatividad: chimpancés

(4) Este chimpancé en una jaula de zoológico aprendió a barrer la basura con una escoba pequeña.
(5) En semilibertad logra derribar a un drone con una rama (foto desde el drone antes de caer).
(6) En un campamento de hombres armados en África le dieron un fusil AK47. El simio había aprendido su uso por observación. Logró disparar varios tiros y todos huyeron. Luego levantó el arma en alto.

en 24 ítems con un grado de confiabilidad entre aceptable a buena. Esta clasificación fue de menor calidad que en los estudios con animales cautivos, justamente por estar en libertad. Cada chimpancé ofreció un caso diferente.

MODELO DE CAPAS

611 creatividad

¿de qué se trata? La creatividad es una consecuencia bien deseada de la personalidad. Se aplica en la solución de problema o en las acciones de placer. La personalidad no garantiza creatividad, pero una personalidad atrevida puede llevar a la innovación. La capacidad de innovar es una vía a la supervivencia. Los ejemplos de creatividad serán mejor valorados en la capa de herramientas y capa de cultura del presente modelo.

(1) Imaginar el futuro en base a imágenes del pasado /// Una interpretación dice que "la memoria es la base para la imaginación". Como los animales memorizan imágenes (según T. Grandin), el futuro se puede "imaginar" como una combinación de "imágenes ocurridas". Mediante el uso de escáneres cerebrales en humanos se pudo comprobar que la previsión es la otra cara de la memoria de episodios. Cada vez que se piensa un futuro, se toman páginas de la memoria y se unen los fragmentos en un nuevo montaje. Este proceso es la clave para la previsión y el ingenio, pero paga el costo de la precisión, porque los recuerdos se deshilachan.

(2) /// Un estudio analizó la base de datos en YouTube con videos grabados por observadores de aves. También incorporó 3.800 innovaciones descritas en artículos de 204 revistas ornitológicas. Esto se comparó con la "Lista Roja de la UICN" de especies en peligro. **Se encontró que el riesgo de extinción se reduce en la medida en que las especies tienen comportamientos innovadores.**

(3) /// Un ejemplo interesante de innovación se dio en el metro de Londres. Un grupo de palomas se observó viajando en forma regular entre las estaciones de Hammersmith y Ladbroke Grove y entre Baker Street y Euston Square o Great Portland Street. Parece que se aprovechaban de la comida rápida que queda en los trenes. Parecen elegir estas estaciones ya que están cerca de la superficie.

aves

Atrevidos y tímidos dependen de los receptores de glutamato. El camachuelo (*Loxigilla barbadensis*) es atrevido y el gorrión negro (*Tiaris bicolor*) es tímido, ambos pertenecen a la familia *Thraupidae*, la misma

de los pinzones de Darwin. **///** En un estudio en la Isla Barbados se atraparon camachuelos (atrevidos, oportunistas e innovadores) y gorriones negros (tímidos y conservadores) y se los mantuvo en cautiverio. La mayoría de los camachuelos descubrieron cómo levantar la tapa de un frasco de comida. Los gorriones quedaron perplejos por el desafío. Sabiendo de estas diferencias, se comparó la actividad genética en seis partes del cerebro usando técnicas moleculares. Entre las conclusiones se destacó la actividad de la familia de genes que producen los receptores del glutamato. Estos receptores son comunes en mamíferos y aves y están ligados a las capacidades cognitivas. Un receptor particular (GRIN2B), cuando se potencia en ratones transgénicos, los vuelve mejores aprendices. Como era de esperar, los niveles de glutamato fueron más altos en los camachuelos que en los gorriones grises.

Carbonero común (*Parus major*): más creatividad es más descendencia. /// Un estudio trabajó con carboneros salvajes que se capturaron, etiquetaron y liberaron. Luego se les ofrecieron tareas simples de resolución de problemas para medir su personalidad creativa. Por ejemplo, se les muestra un tubo vertical transparente que tiene un estante con comida. La solución consiste en tirar de una palanca para que colapse el estante y se libere la comida. Se concluyó que, a largo plazo, los carboneros más inteligentes y fuertes sobreviven igual tiempo que el resto. Pero los creativos tienen más descendencia.

Periquito australiano *(Melopsittacus undulatus)*: **las hembras prefieren machos creativos. ///** En un experimento, primero se verificó la elección de la hembra entre dos machos diferenciados por el plumaje o el canto. Luego, a los machos que fueron rechazados, se los entrenó en una prueba para abrir recipientes transparentes con semillas. Fueron presentados a las hembras de forma que pudieron ver cómo resolvían este problema. En la jaula de la hembra, había un contenedor igual pero cerrado con cinta adhesiva por lo que le fue imposible resolver el problema. Finalmente, cada hembra podía elegir de nuevo entre los dos machos originales. **Se encontró que las hembras cambiaron su preferencia eligiendo a los machos que antes fueron ignorados pero que ahora mostraron su habilidad.** Las hembras no mostraron preferencia por otras hembras entrenadas en la tarea. Lo que indica que solo era válido en el contexto intersexual. En este caso las hembras pudieron atribuir la pericia del macho a la inteligencia o a la fuerza.

mamíferos

Orcas *(Orcinus orca).* Los observadores de orcas residentes en el Mar Salish dicen que tienen fama de ser "divertidas". Se indica que menean la cola, golpean sus aletas pectorales y se lanzan al aire sobre el agua. También participan en "ceremonias de saludo" donde las orcas se alinean en dos filas opuestas antes de caer juntas. Estas orcas tienen normas culturales muy estrictas. Hay unas 50.000 orcas en todo el mundo, y las residentes en Salish, son menos de 80 animales. Las costumbres sociales parecen evitar que se apareen fuera de su grupo. Esta es una población endogámica. **///** En cautividad parece que las orcas se aburren con las rutinas. En un estudio se usó una orca (*Skana*) para estudiar las habilidades visuales. Sin embargo, después de un trabajo de 72 pruebas por día, Skana comenzó a realizar respuestas incorrectas de manera consis-

tente. Parecía que los peces eran poca motivación, por lo que se empezó a tocar música y resultó ser más efectiva.

Jabalí *(Sus scrofa)***: junto con los cerdos salvajes son innovadores para eludir al hombre.** El jabalí es el antepasado silvestre del cerdo doméstico. En cambio, el cerdo salvaje es el cerdo domesticado que se volvió silvestre. Su capacidad de supervivencia lo convirtió en una plaga para las actividades agrícolas. El control letal mediante la caza es necesario para mantener la población. Pero las noticias no son buenas. **///** Los estudios indican que tienen una alta tasa de reproducción con dos camadas de 5-6 cerdos al año. Los modelos de población muestran que para que el control letal sea efectivo, se requiere eliminar el 70 % de los animales por año hasta llegar a la extinción. Pero, los cerdos salvajes responden a la caza, cambiando los patrones de vida diurnos y nocturnos. Son genios de la navegación en laberintos complejos y encuentran la forma de eludir las trampas simples. Los cerdos no pueden ver bien, pero tienen un agudo sentido del olfato. Si identificaron un olor con los humanos, no se acercarán a una trampa. Si un cerdo de un grupo queda sin capturar, puede aprender a evitar las trampas similares y propagar el conocimiento. Si se trata de una cerda, puede enseñar a su descendencia a hacer lo mismo.

Monos capuchinos *(género Cebus)***: creatividad sin límites. ///** En el bosque seco tropical de Costa Rica, un extenso estudio de diez años rastreó a 234 capuchinos distribuidos en diez grupos sociales. Uno de los estudios buscó determinar si las innovaciones perduraban en el tiempo (cultura). Se registraron 250 comportamientos típicos. Se documentaron 187 innovaciones en diferentes categorías: interactuar con el entorno físico, obtener comida (envolver orugas en hojas) y uso de elementos y el cuerpo (mediante ramas y enredaderas como hilo dental). Se identificaron 127 comportamientos únicos y puntuales que nunca se repitieron ni se transmitió a otros. Es la creatividad libre, la madre de las innovaciones. Por ejemplo, un mono lanzó a un bebé al aire por la cola e hizo malabares; un mono tomó la mano de otro y la usó para rascarse la cabeza; algunos decidieron criar animales de otras especies; varios idearon formas de jugar con arena. Se determinó que los capuchinos más viejos y sociables eran propensos a inventar conductas como pruebas de amistad o manifestaciones contra enemigos. Los autores del estudio señalaron **que los capuchinos mostraron emociones, personalidades, formaron amigos y enemigos, hicieron política, cultura y drama social.**

Gorilas y chimpancés: desarman trampas de cazadores humanos.

(1) Gorilas en Ruanda. /// Cuando un gorila encontró una trampa, primero la señaló, luego se acoplaron otros, examinaron la situación, y procedieron a desarmarla. Las trampas son pequeños lazos de cuerdas de plantas colocadas en el suelo. Están unidas a un arbusto doblado y a un árbol cercano. Si un animal pisa la trampa, la cuerda se suelta del arbusto y el lazo se cierra. Para desmantelar una trampa, los gorilas tiraron de la rama doblada hacia atrás, rompiéndola y liberando la tensión en la cuerda. Esta operación parece que se volvió rutinaria después de la muerte de un infante que quedó atrapado, se rompió el hombro y contrajo una gangrena.

(2) Chimpancés en Guinea. /// En Bossou (Guinea) se contaba que, en 30 años de investigación, no había casos de chimpancés gravemente heridos por trampas. Para un estudio se siguió durante 15 meses a

un grupo de 10 chimpancés. Se observó lo ocurrido cuando encontraron una trampa de palos y cables usada para ratas grandes. Los dos machos del grupo evitaron la trampa, la sacudieron e intentaron destruirla. Luego, otros tres machos también intentaron destruirla. Reconocen el peligro de las trampas humanas.

MODELO DE CAPAS

621 juegos (placer)

la recompensa interna

¿de qué se trata? No todo tiene un sentido de supervivencia en los animales. Dentro de la innovación y creatividad se encuentran las acciones hechas solo por placer, con una retribución interna en el cerebro, en las neuronas, de dopamina.

-El placer se manifiesta cuando manipulan elementos corrientes o novedosos (juegos), cuando hacen movimientos estereotipados una y otra vez (bailes), pueden emitir sonidos de placer (algunos darán origen a la risa), quizás consuman tóxicos para gratificarse, etc.

-Lo hecho por placer tiene características nítidas: no se vinculan a la supervivencia, lo hacen sin obligación y tanto como pueden, tiene un costo en energía que deben compensar, lo hacen libres en la naturaleza sin relación con el hombre.

-Hay varias fuentes para la risa y el humor en los humanos y animales. Algunos tienen origen en el intercambio social, la selección sexual (como indicador de aptitud), una señalización honesta de amistad y el contagio emocional (mediante la imitación o la transmisión cultural).

-La etnología humana muestra que la burla, exageración e ironía son formas muy antiguas de humor. Se encuentran en todas las culturas humanas arcaicas y quizás sea anterior a los humanos (p.ej., chimpancés). En cambio, las manifestaciones de humor más recientes en los humanos son culturales y están ligadas al lenguaje, al humor negro y al absurdo.

Moscas: la recompensa interna se puede programar. Mediante optogenética se puede lograr un organismo cuyas neuronas se controlan por la luz e implantar un recuerdo.

(1) Mosca de la fruta: la eyaculación y el placer. /// Las moscas tienen neuronas en el abdomen que desencadenan la liberación de esperma y líquido seminal. Para un estudio se usaron moscas cuyas neuronas producían una proteína (corazonina) que se posicionaba en la membrana neuronal. Esta proteína se activaba con luz roja y producía la eyaculación. En un lugar del espacio de trabajo, la presencia de la mosca activaba la emisión de luz roja y por lo tanto la eyaculación. Se encontró que los machos tenían una fuerte preferencia por esa zona con luz roja. Esto indica que la eyaculación era una experiencia gratificante y deseada.

(2) La luz roja en lugar del apareamiento. /// En otra prueba se asoció la luz roja con un olor particular. Se encontró que las moscas preferían el aroma que les recordaba la luz roja. Después de unos días de activación repetida de las neuronas, los niveles hormonales en sus cerebros eran similares al de los machos que se aparearon con hembras. También se observó que los machos modificados preferían alimentos líquidos sin alcohol, mientras los machos de control (sin agregados genéticos) preferían el alcohol. Esto significa que la activación mediante corazonina era suficiente recompensa como para reemplazar los efectos del alcohol. Es asimilable a los humanos donde un cambio de estado de ánimo (sufrir un apareamiento exitoso o ser rechazado) afecta la motivación para consumir drogas.

La retribución inmediata. Se asume que el juego produce una recompensa inmediata mediante la liberación de dopamina en el cerebro. **///** Un estudio encontró que el canto de las aves macho activa las áreas del cerebro relacionadas con la recompensa y la liberación de dopamina. La misma zona se activa cuando se les dan drogas adictivas (cocaína o anfetaminas experimentales). Se determinó que las neuronas experimentan un incremento significativo de sinapsis. En cambio, la zona de placer no se activa cuando el ave canta sin el propósito de atraer a las hembras (fuera de temporada).

la risa

Loro kea *(Nestor notabilis)*: las llamadas sociales de buen humor.

(1) Hay siete tipos de llamadas en los keas. /// Un estudio en la naturaleza grabó 2.884 llamadas de loro kea. Con el espectrograma se clasificaron siete tipos. Se correlacionaron las llamadas y las conductas asociadas. Se observó que tendían a ser repetidas en secuencia y la más probable era la llamada de contacto (*kee-ah*). Se trata de llamadas importantes para la cohesión social en vuelo y lugares cerrados. Las respuestas diferían según la edad y sexo.

(2) La llamada de buen humor. /// Para otro estudio se grabaron llamadas que se sabe ponen de buen humor a los loros. Es una forma de contagio social de las emociones, una especie de risa contagiosa. En la prueba se mezclaron las llamadas de juego del kea con otras de la misma especie y de diferentes especies (petirrojo) de la misma zona (Nueva Zelanda). Se observó que muchos keas comenzaron a jugar pero no se unieron a juegos que estaban en marcha, sino que comenzaron a jugar con otros que no jugaban. Se puso en evidencia cuando jugaron en solitario con un objeto o realizando acrobacias aéreas.

Ratas: se ríen con chirridos ultrasónicos en el rango de 50 kHz. /// Una serie de estudios encontró que las ratas emiten sonidos inaudibles para los humanos. En el estudio ocurría cuando se perseguían entre sí y participaban en juegos de combate. Se probó haciendo cosquillas en la barriga, y se encontró que producían los mismos sonidos. Cuando se interrumpía, pedían por más. Quizás no es una risa, pero es una "señal de afecto positivo". Las cosquillas no siempre son agradables, pueden llegar a ser una tortura. Pero se demostró que el chirrido solo se asocia con experiencias positivas. Solo emitieron el sonido durante el juego entre animales de tamaño similar. Cuando se convertía en una intimidación, las vocalizaciones cambiaron. Cuando se les dio la opción, las ratas empujaron una llave para reproducir una grabación del chirridos en

lugar de otros ruidos de ratas. Cuando se usaron electrodos y opiáceos para estimular los centros de recompensa del cerebro, los chirridos eran los mismos.

Delfines: los chillidos de placer y la dopamina. En los años de 1950 se aprendió a estimular en forma eléctrica una región del cerebro que liberaba dopamina. Esta hormona está ligada al placer y la estimulación era suficiente para igualar a una recompensa alimentaria. En teoría es posible asociar cualquier evento con una recompensa, luego retirar la recompensa y que el truco siga funcionando. **///** Por ejemplo, con delfines en aguas abiertas, se ensayó la asociación de una recompensa (dulces) combinado con un zumbido. Luego se eliminó el dulce, de forma que el simple zumbido informaba del éxito, generaba dopamina y se convertía en una recompensa suficiente (sin el dulce). En los estudios se encontró que los delfines producen chillidos que se asociaban con la sensación de victoria. Se midió un retraso entre el zumbido del entrenador y los chillidos. La liberación de dopamina tarda 150 mseg en el delfín y 250 mseg en las belugas. Parece que este chillido tiene un contenido emocional y que es provocado por la emisión de dopamina incentivada por el zumbido. Este tipo de conducta, donde lo que importa es jugar con una recompensa interna, lleva a las apuestas.

Primates: la risa humana puede derivar del jadeo de los primates, ¿y el humor?

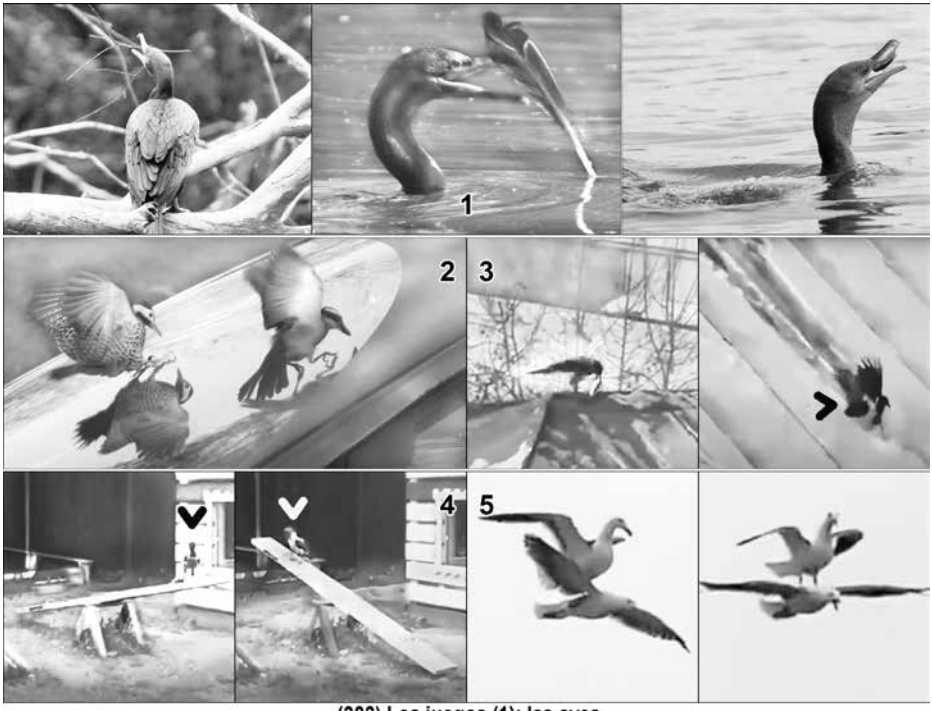
(1) /// Una hipótesis dice que la risa humana evolucionó a partir del jadeo emitido por los grandes simios durante el juego. Se experimentó con el jadeo inducido por cosquillas en chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes. Se encontró que en lugar de estar formada por exhalaciones prolongadas como las humanas, se producen al inhalar y exhalar. Hay una similitud con la risa humana y el grado de semejanza coincide con las relaciones evolutivas. Los chimpancés y bonobos tienen el tipo de jadeo más parecido a la risa humana.

(2) /// El popular gorila Koko fue entrenado y aprendió más de 2.000 palabras y 1.000 signos de lenguaje de señas. En una oportunidad se le preguntó: "¿Qué es difícil?" Y respondió "roca-trabajo". En otra oportunidad ató los cordones de su entrenador e indicó "persecución". Hay algo de humor en estas respuestas.

Bonobos: la risa y la sensibilidad en una sociedad amable. /// Las observaciones de campo muestran que los bonobos se ríen. Ríen de lo mismo que los humanos, de las cosquillas y las sorpresas. Se esconden para aparecer de golpe y exageran sus gestos. Ríen cuando una amenaza se convierte en un saludo. Ríen como una forma gentil de desafío. Es posible decir que tienen sentido del humor, en una definición amplia. No en el sentido humano como cuando se juega con palabras no dichas, con metáforas desviadas y con juegos de ideas opuestas. El humor para el bonobo es una variante del juego y un artículo de primera necesidad para la convivencia pacífica.

los juegos

Hay varios tipos de juegos en los animales. Un breve listado incluye los siguientes tipos:
-juego con objetos (manipulación sin razón),
-jugar ocultando objetos no comestibles,
-jugar volando (acrobacias aéreas aleatorias),
-juego con agua (más allá de la limpieza),
-deslizarse en pendientes (snowboard, trineo),
-colgar de las ramas como *relax*,



(303) Los juegos (1): las aves

El juego es una actividad hecha por placer, en forma voluntaria y desinteresada, de resultado incierto, con reglas cambiantes, con una recompensa interna, fuera del mundo real. Puede tener consecuencias en el aprendizaje y formación de vínculos sociales. **(1)** Los biguá (cormorán) juegan con objetos (ramas, plumas y peces). Son un bien económico que defienden de los demás. **(2)** El benteveo y carpintero juegan deslizándose en el parabrizas de un automóvil. La escena fue filmada en diferentes momentos de distintos días, y con diversos vehículos. **(3)** Un cuervo se desliza en un tejado con nieve sobre una tapa de plástico. **(4)** Otro cuervo juega en un sube-y-baja corriendo de un extremo al otro. **(5)** Estas gaviotas juegan a hacer surf. Una viaja parada sobre la otra que planea.

-juegos vocales (repeticiones sin un objetivo),
-producir o seguir un ritmo (mímica o baile).
-juego con objetos producidos por el hombre.

El juego puede ayudar a perfeccionar los movimientos, la destreza y reducir el estrés. Pueden tener un carácter utilitario (aprender sobre las características de las cosas) pero también puede ser una recompensa interna. Por ejemplo, en un experimento con cuervos, se les ofrecieron dos alternativas para lograr una recompensa. Una era tomarla directamente del plato y la segunda era cumplir una tarea con herramientas. Preferían la segunda.

(F304) Geckos: juegan con objetos en la órbita de la Tierra. Los reptiles rara vez juegan. La mayoría no tiene vida social y tienen poca energía excedente para actividades que no son de supervivencia. ***///*** En el 2013 en el satélite ruso Bion-M1, sin tripulación humana, se enviaron al espacio 15 geckos, junto con 45 ratones, 8 jerbos, caracoles y peces. Casi todos murieron por fallas en los sistemas de alimentación y energía. Un gecko de punta gruesa (*Chondrodactylus turneri*) se liberó de su collar de identificación antes del despegue. El collar pasó los

30 días de vuelo orbital flotando alrededor de su recinto. Las cámaras mostraban como los geckos empujaban el collar con sus narices. Fue una exhibición de juego inusual para un reptil. Luego se caracterizó la personalidad de estos geckos sobre la base de la frecuencia y número de episodios de juego, la naturaleza del contacto y la duración total. Se los vio jugar no solo con el collar sino con pieles de muda.

Cocodrilos: los tipos de juego. /// En los cocodrilos se reportaron juegos de tres tipos: locomotor, con objetos y social. En el caso de juegos locomotores se mencionan el deslizarse en pendientes y arrastrarse en olas como intentar hacer surf. Cuando usan objetos, lo hacen con pelotas de madera, chorros de agua, restos flotando en el agua y con las presas. En el juego social se mencionan crías subiéndose al lomo de otros amigos, o jugando con otras especies como una nutria de río. En cautividad los cocodrilos pueden jugar con el cuidador, nadar juntos, o volteándose junto al hombre en el agua que lo acaricia y abraza.

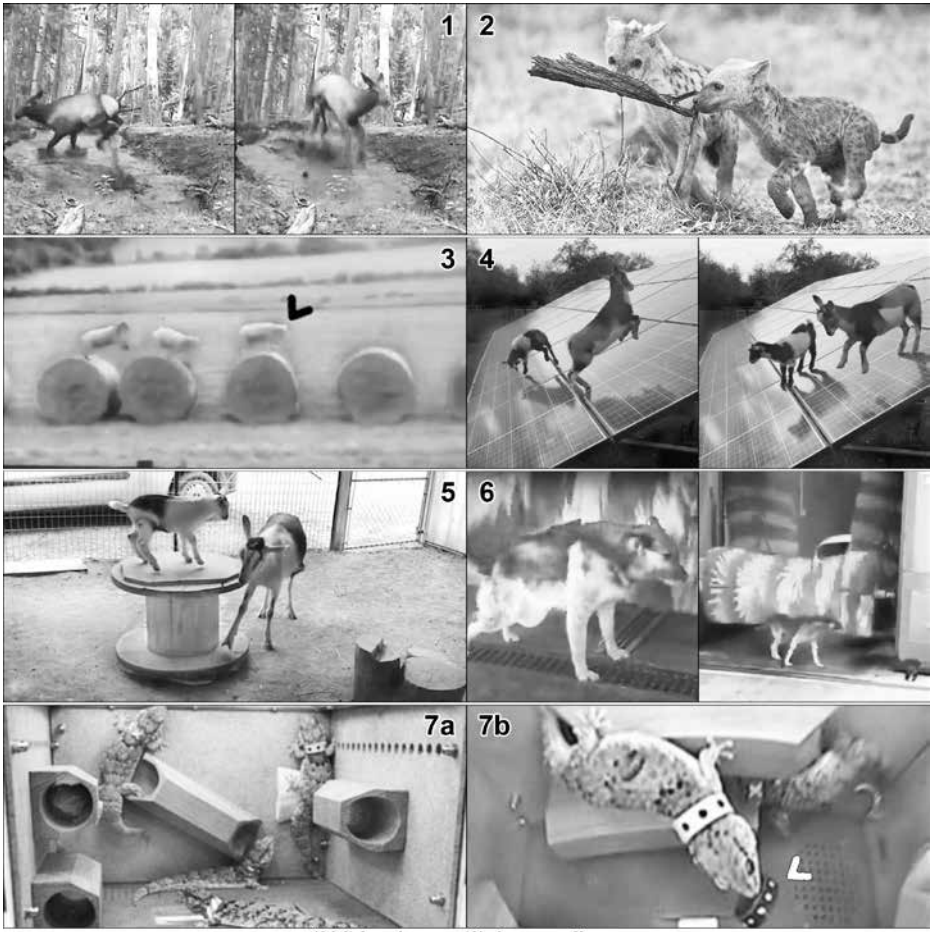
juegos: aves

Las grabaciones de observadores de aves es la mayor fuente de conocimiento. La amplia mayoría de los juegos en las aves se conocen por observaciones grabadas por aficionados ("científico ciudadano") y subidas en YouTube. La mayoría tienen poco valor, pero una selección cuidadosa entrega ejemplos llamativos. Son situaciones poco comunes y realizadas en forma voluntaria y repetida. Las muestran deslizándose en techos inclinados, en parabrisas de autos, en toboganes, frente a vidrios, cazando en formas ingeniosas, burlando la atención de los humanos. Están en libertad (no bajo la presión del laboratorio), lo hacen voluntariamente (no hay recompensa de por medio), lo aprendieron por sí mismos u observando a otras aves y tiene un costo (consumen una energía que después tienen que reponer).

Jugar parece más importante que aprender. /// Un estudio trabajó con seis cuervos y ocho loros kea nacidos en cautiverio. Primero, se les dieron objetos para jugar. Eran cubos de diferentes colores y peso y cuerdas de diferentes colores y rigidez. Después fueron entrenados para usar un objeto en una caja y llegar al premio. Es decir, se familiarizaron con herramientas y tareas. Se les dieron diez oportunidades de elegir una herramienta para una caja. Los resultados no mostraron una tendencia. Se concluyó que estas aves aprendieron sobre las propiedades físicas de los objetos al jugar con ellos. Luego de jugar tomaron mejores decisiones, pero no todas eran iguales de expertas en convertir los juguetes en herramientas. Los resultados fueron una particularidad para cada individuo. **Se concluyó que el vínculo entre el juego y el uso de herramientas es indirecto. No usaron el juego como una forma de aprendizaje. Jugaban con las cuerdas porque era divertido, pero no era utilitario.**

(F303) Dos ejemplos del proyecto "la cultura de las aves". Este proyecto del 2011 (libro "¡Aves, vida y conducta") entregó al menos dos ejemplos interesantes donde el juego de las aves se ponen de manifiesto.

(1) El juego y la "propiedad privada". El biguá (*Phalacrocorax brasilianus*) suele jugar con plumas sueltas, ramitas y hasta con peces cuando están saciados. Las ramas para los biguá son materiales para los nidos, forman parte del cortejo como obsequios, sirven para entrenarse en la manipu-



(304) Los juegos (2): los mamíferos

(1) Un ciervo juega en un charco saltando en el agua. **(2)** Dos hienas jóvenes juegan con un trozo de tronco. **(3)** Ovejas filmadas saltando sobre rollos de alfalfa. **(4)** Cabras saltando en el plano de paneles solares. **(5)** Cabras (hembra y cría) jugando con una calesita. **(6)** Perro usando un lavadero de autos para bañarse. **(7)** Más difícil de ver que con mamíferos, este gecko juega con un collar en una nave espacial rusa.

lación de las presas con el pico y son una fuente inagotable de disputas. Las disputas surgen por ser una fuente de deseos: la propiedad privada. Las aves que poseen un territorio o un nido complejo tienen una propiedad privada para mostrar. Pero el biguá es un ave con bajo apego a las posesiones (llevan una vida grupal sin territorios) y las ramitas pueden convertirse en posesiones muy importantes por poco tiempo. *Cuando los demás pierden interés en "mi rama", entonces "la rama" pierde valor para mí.* La rama solo tiene valor si lo tiene para otro. Si otro la desea, la defenderán con toda energía, si nadie la desea, la tiran. Y esta parece ser la regla que rige las relaciones de los

biguá, sea con la posición que ocupan en un tronco, un pez durante la pesca en grupo o materiales intrascendentes como cualquier cosa que encuentran en el agua.

(2) Deslizamiento en pendientes. /// Las observaciones en Reserva Costanera (Buenos Aires) muestran a pájaros que se deslizan en el parabrisas de automóviles. Esta actividad fue repetida por meses y bastante tiempo en cada oportunidad. Se puede afirmar que era voluntaria y sistemática. No tenía que ver con un vehículo (cambiaba de vehículo cada tanto tiempo) y no había agresión de por medio. Lo más interesante fue cuando dos individuos de especies diferentes estaban jugando juntas. Eran el benteveo (*Pitangus sulphuratus*) y el carpintero real (*Colaptes melanochloros*). Parecía que el benteveo había aprendido del carpintero.

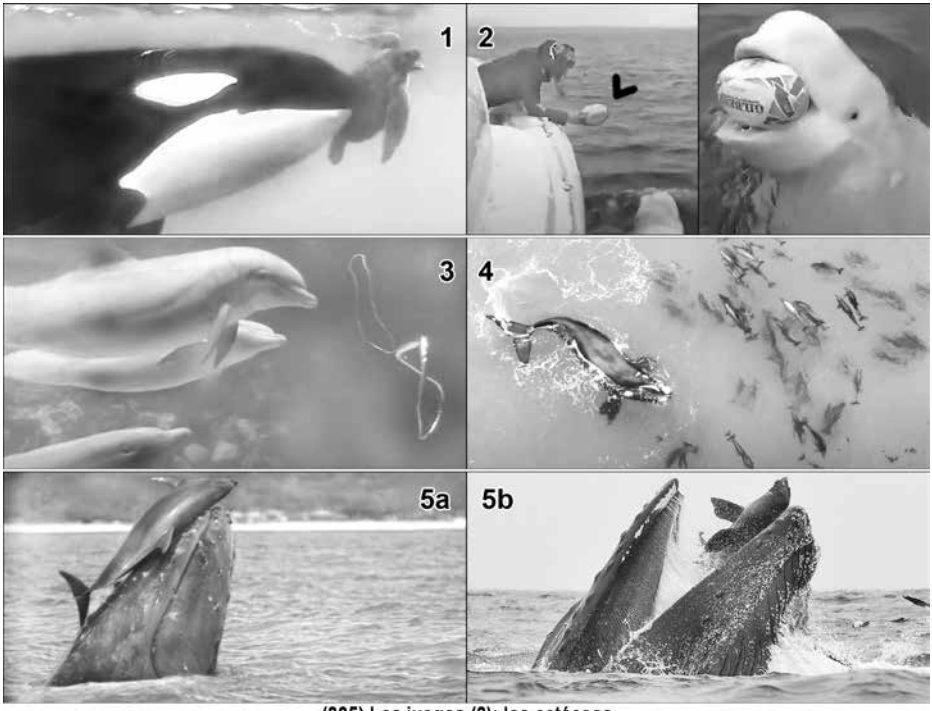
juegos: cetáceos

Los juegos en los mamíferos terrestres son de fácil observación. Los clásicos corresponden a los animales domésticos. La colección de fotos anexa muestra algunos ejemplos. Es más compleja y reciente la observación de los mamíferos marinos que para encontrar una explicación requiere el uso de drones.

(F305) Los anillos de burbujas son como volutas hechas con el humo de los cigarrillos. Los anillos (vórtices toroidales) son producidos por el aire exhalado bajo el agua. Los delfines son expertos en hacer y deshacer anillos. Examinan su creación y juegan con ella. Disfrutan mordiendo los anillos produciendo muchas burbujas más pequeñas. Las guían con el cuerpo y hacen vórtices más pequeños. En la naturaleza, otro tipo de anillo de burbujas lo produce la ballena jorobada. Son las "redes de burbujas" que tienen la finalidad de acorralar al banco de peces del cual se van a alimentar. **///** Un estudio de ocho años examinó más de 11.000 eventos de generación de burbujas en las belugas (*Delphinapterus leucas*). Se contabilizó que el 97 % de los casos correspondía a cuatro tipos: el goteo de burbujas, estallidos de burbujas, arroyos de burbujas y anillos de boca. Dos tipos: (goteos de burbujas y anillos de boca) son lúdicas en la naturaleza. Casi el 90 % de todas las burbujas proceden del espiráculo y el 10 % de la boca.

(F305) Una beluga rusa libre en el Ártico. /// Una filmación del 2019 muestra a un marinero que arroja una pelota de rugby al mar y una beluga va a buscarla y la devuelve. Parece que la beluga del video (*Hvaldimir*) escapó de una base militar rusa y podría estar entrenada para rescate. La filmación se tomó en aguas del pueblo de Tufjord (Noruega). Se la vio hostigar a los barcos pesqueros tirando de correas que colgaban a los costados.

(F305) La ballena jorobada y los delfines. /// En Hawái se documentaron varios casos de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) que levantaban fuera del agua a delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*). Se analizaron tres posibles causas: agresividad por parte de las ballenas, una ayuda a los delfines en problemas o un juego. Se concluyó que era un juego porque los movimientos eran lentos y sin hostilidad, los delfines no parecían enfermos o heridos y además parecían cooperar entre ambas especies para hacer los movimientos correctos. Las jorobadas son ballenas muy empáticas que se sabe adoptan a jóvenes de otras especies y se las ve también ayudar a otras especies cuando son atacados por orcas.

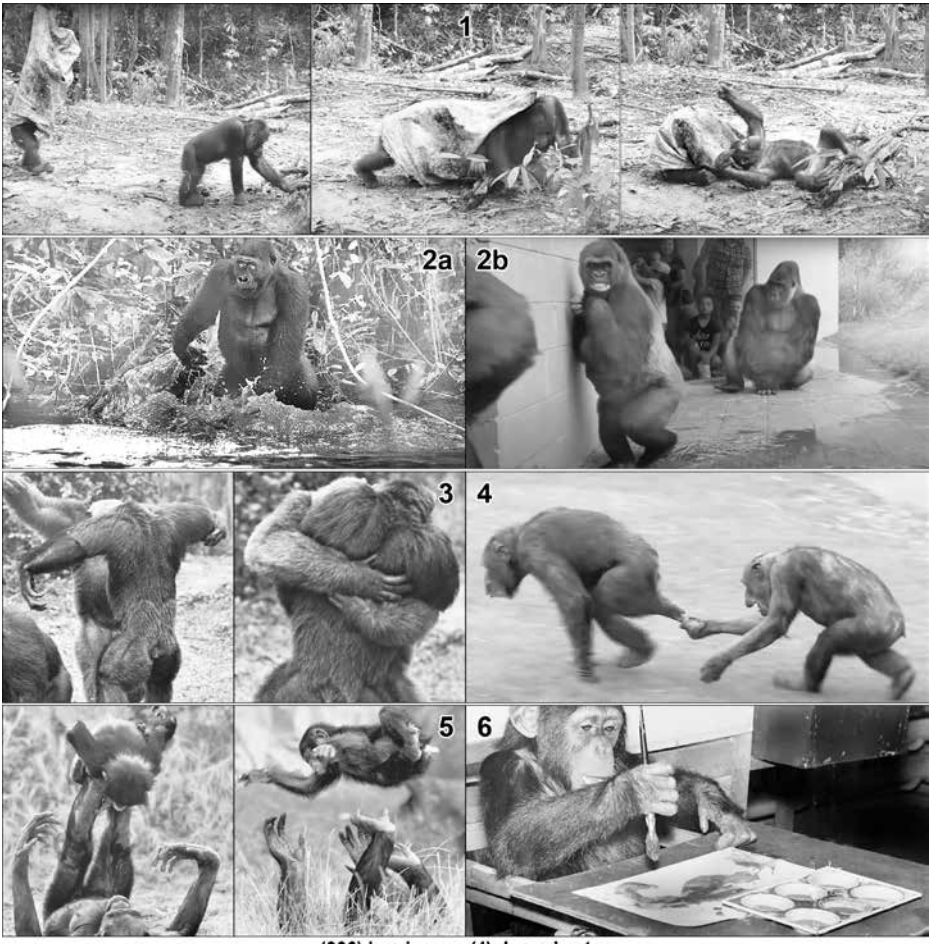


(305) Los juegos (3): los cetáceos
(1) Esta orca "juega" con una tortuga. **(2)** Una beluga juega con una pelota de rugby que tiran desde un bote. **(3)** Los delfines hacen burbujas de aire y juegan con ellas. **(4)** Esta ballena jorobada juega con un grupo de delfines al oeste de Australia. **(5a)** La ballena juega con un delfín fuera del agua en Hawái. **(5b)** Diferente es el caso de la ballena que por accidente toma con la boca un león marino. Luego lo dejará ir.

juegos: simios

(F306) Gorilas de montaña (*Gorilla beringei*)**: los juegos de diversión en el agua.** Los animales salvajes que se divierten y juegan solos son muy raros. La diversión en la naturaleza suele ser una actividad social. **///** Los estudios de campo con gorilas salvajes de Uganda permitieron conocer sus juegos en el agua. Se describieron al menos tres episodios de gorilas solitarios chapoteando en el agua. Un gorila macho de 15 años estaba lavando sus manos y brazos en el agua y moviéndolos de un lado a otro. En otro episodio, una hembra de nueve años se agachó metiendo las manos en el agua y realizó movimientos de barrido y rotación, salpicando el agua hacia adelante. Este juego duró unos 17 minutos. Se informó de expresiones faciales de felicidad. En un tercer caso, un macho giraba sus brazos mientras los movía sobre la superficie del agua.

(F306) Chimpancés: el juego de los tubos. Los chimpancés y bonobos tienen juegos sociales que favorecen la convivencia en la vida natural. En el caso de los bonobos agregan el sexo hetero y homosexual. **///** En un zoológico (Inglaterra) se enfrentó



(306) Los juegos (4): los primates

(1a-1b) Estos orangutanes jóvenes juegan cubriéndose con una bolsa. **(2a)** Un gorila disfruta salpicando con el agua desde la orilla. **(2b)** Sin embargo, los gorilas temen el agua. Así lo muestra esta actitud donde en un zoológico se cubren de la lluvia caminando contra la pared. **(3)** Estos chimpancés festejan con un abrazo en Sanaga-Yong (Camerún). **(4)** Los chimpancés se persiguen y corren en tres patas cuando se alcanzan y toman desde atrás. **(5)** Juegan con los bebes lanzándolos al aire. **(6)** Aprenden a pintar.

a seis chimpancés con un juego de tubos. Se usaron tuberías encastradas con diferentes recorridos en cuyo interior se hacían rodar objetos. Los chimpancés tenían que empujar los objetos (cubos o comida) con palos desde agujeros en las tuberías. Así podían cambiar la dirección en las tuberías y llevarlos a la salida. Cuando se usaron nueces, los simios podía comerlas cuando llegaban al extremo, lo cual era suficiente motivación. Pero se observó que estaban ansiosos por completar el recorrido con otros objetos, más allá de que fuera una nuez o un cubo sin recompensa. Los chimpancés no recibieron capacitación sobre cómo usar el dispositivo.

el baile y la música

¿de qué se trata? Para considerarlo consciente, el baile debe ser una respuesta espontánea, debe coincidir el movimiento con la música, debe efectuarse sin entrenamiento y no pueden estar expuestos a la misma melodía por mucho tiempo. Si la música cambia, tienen que cambiar con ella. El baile se desencadena por el sonido, pero los movimientos provienen del interior. No se trata de hacer movimientos repetitivos y rítmicos, como sacudir la cabeza (lagartos y pájaros), trinar (grillos y ranas) y parpadear (luciérnagas). Cuando estos animales se unen, los ritmos de sus canciones y movimientos pueden alinearse. Esto se llama arrastre de ritmo y es más simple que la coincidencia de ritmo. Las luciérnagas parpadean en patrones y tiempos complejos. Son capaces de cambiar entre tempos. Y el arrastre está en la misma modalidad; ven parpadeo y producen parpadeo, lo que podría ser una simple imitación. Algunos piensan que solo los animales con aprendizaje vocal deberían poder seguir el ritmo. Incluyen loros, colibríes, elefantes, algunas ballenas y delfines, focas y murciélagos. Sería porque las áreas del cerebro que controlan la imitación del sonido podrían detectar el ritmo.

(F307) Cacatúa azufre *(Cacatua galerita)***: el mejor caso conocido de baile en las aves.** Una hipótesis dice que los humanos y loros comparten una habilidad natural para bailar debido a cinco rasgos: aprendizaje vocal, capacidad de imitación, formación de vínculos sociales, aprendizaje de secuencias complejas de acciones, y atención a los movimientos comunicativos. **///** En una investigación se analizaron cerca de 5.000 videoclips en YouTube de diferentes animales que supuestamente estaban bailando. Esto permitió aislar 39 casos donde parecían moverse al ritmo. Eran loros y elefantes. En particular una cacatúa llamada *Snowball* demostró que podía bailar un tema de música popular (*Everybody* del conjunto rock *Backstreet Boys*). Se realizaron once versiones de este tema con el mismo tono, pero con diferentes tempos. Se encontró que el 25 % del tiempo la cacatúa bailó al ritmo. Años más tarde se volvieron a estudiar sus movimientos y se concluyó que tenía un repertorio de 14 movimientos de baile y 2 movimientos compuestos. Se balanceaba, daba vueltas de diferentes maneras, a veces levantaba los pies. Tendía a bailar en fragmentos de unos tres a cuatro segundos. Cada vez que escuchaba una melodía particular, bailaba un poco diferente, un signo de flexibilidad y creatividad.

Cacatúa de palma (*Probosciger aterrimus*)**: música a los golpes**. Los machos de esta cacatúa australiana remodelan palos y piedras que utilizan para golpear árboles. Cortan ramas con el pico y las usan con las patas para golpear los troncos. Son parte de una elaborada pantalla visual y auditiva diseñada para seducir a las hembras. La hembra se acopla cada dos años y el macho se esfuerza en que ponga los huevos en su hueco del árbol (el nido). **///** Un estudio registró 131 actuaciones de 18 cacatúas machos. Cada uno tenía su propia firma porque tocaron más rápido o lento y agregaron su propio floreo. Pero los latidos estaban equiespaciados y constituían un ritmo más que un ruido aleatorio. Parecen tener su propia noción de un ritmo regular. Las exhibiciones incluyen el tamborilear, las crestas alzadas, las mejillas ruborizadas y vocalizaciones.

Primates: sobre cómo se lleva el ritmo y el baile. Los humanos adultos y los bebés recién nacidos pueden detectar el ritmo en

(307) "Hecho por placer, la recompensa interna": ritmo y danza
(1a-1b) Una cacatúa Goffin gustaba bailar siguiendo la música de *Everybody* con varios movimientos distintos. **(2)** Un león marino aprendió a seguir el ritmo de *Boogie Wonderland* del conjunto rock *Earth, Wind & Fire*. **(3)** Un bonobo baterista (secuencia superior) sigue el tempo de un baterista humano (inferior). **(4a...4d)** El "baile de conga" en pareja de 2 chimpancés en el zoológico de St Louis.

la música. La inducción del latido es congénita y no se puede aprender. Entre los primates los chimpancés y bonobos parece que pueden llevar el ritmo.

(1) Macaco Rhesus: no siguen el ritmo. /// En un estudio con Rhesus se utilizaron los mismos estímulos y paradigmas que en humanos bebés. Se midieron las señales eléctricas del cerebro usando electrodos y se comprobó que no pueden seguir el ritmo. Los humanos comparten la percepción del ritmo (tiempo basado en la duración) con otros primates. Pero la inducción del ritmo (tiempo basado en el ritmo) parece que solo está presente en humanos y aves.

(2) El ritmo del chimpancé. /// En un estudio con chimpancés se encontró que el sonido induce un movimiento rítmico espontáneo. El balanceo rítmico es mayor en los machos que las hembras. Esto es coherente con las observaciones de campo cuando los machos hacen la "danzas de lluvia" en las tormentas. También se observó que el ritmo aleatorio o regular afecta el movimiento del chimpancé en una postura bípeda. Además se acercaban a la fuente de sonido. Esto parece indicar que la musicalidad tiene un origen evolutivo que involucra al ancestro común entre chimpancés y humanos.

(F307) Chimpancé: el baile de la conga. /// Dos hembras que se criaron juntas en el zoológico de St, Louis desarrollaron un baile de balanceo de caderas lado-a-lado. Es un baile de cuerpo entero sincronizado, lo que requiere una comprensión de lo que hacen y un vínculo social elaborado. Los análisis revelaron que la sincronización entre individuos no era aleatoria, era predecible, concordante en fase, mantenida con precisión instantánea y regulada en conjunto. Además, cualquiera de los chimpancés podía tomar la posición de guía en forma alternativa. Se sugirió que este ejemplo sirve como referencia del nacimiento del baile en el hombre.

(F307) Bonobos: siguen el ritmo con la batería.

(1) /// En el zoológico de Florida los investigadores instalaron una batería y cuando sonó cerca del recinto de los bonobos, atrajo a una audiencia entusiasta. Los bonobos se sentaron alrededor de la batería para escuchar en silencio. Fue una atención cautivadora, y cuando se detuvo la música, comenzaron a reclamar por más. Después de un poco de persuasión, dos bonobos comenzaron a tamborilear junto con los investigadores. Lo hicieron en torno a su tempo preferido, que alcanzó 278 latidos por minuto, siguieron el ritmo cerca del 40 % de los ensayos.

(2) Ensayo en laboratorio. /// Un estudio controlado se efectuó con una bonobo hembra (Kuni). Primero se le hacía escuchar a un baterista humano y se la recompensó si daba un golpe del tambor. No fue entrenada para tocar. El baterista cambiaba el tempo hasta que Kuni comenzaba a tocar, momento en que el baterista se detenía. En promedio, el ritmo de tambor de Kuni fue de 270 latidos por minuto. Luego, el baterista continuó tocando con Kuni para que se sincronizara. Esto ocurrió en el 54 % de las pruebas, con un error promedio de 17 golpes por minuto. Era más probable la sincronización cerca de 270 golpes, pero mostró flexibilidad de tempo. Es similar a los niños humanos, que se sincronizan en forma intermitente y tienen más éxito cerca de su tempo preferido.

(3) También en los chimpancés. /// En una experiencia de campo se grabó a un chimpancé cuando se acercó a un barril volcado y comenzó a golpear. El evento duró unos cinco minutos, con once secuencias de golpes. En total fueron 685 golpes. En cinco secuencias, la regularidad estuvo en los 257 latidos por minuto. No tocó el tambor al azar, sino que mantuvo un ritmo y un tempo.

las drogas

Los cerebros de los animales son idénticos en muchos aspectos. Si la dopamina es una recompensa interna generalizada, es lógico que exista una uniformidad en las reacciones ante las drogas que se suministran en forma natural o artificial. El uso de drogas está muy conectado con la automedicación de la capa de herramientas.

Mosca de la fruta *(Drosophila melanogaster)*: la adicción al alcohol. /// Los humanos y las moscas metabolizan el alcohol de la misma forma y usan las mismas sustancias como recompensa en sus cerebros. Las moscas se relacionan con el alcohol cuando toman contacto con las frutas podridas. La exposición al alcohol produce cambios de conducta por adicción. Los estudios con moscas identificaron una proteína en las neuronas que permite la tolerancia al alcohol. Tanto en moscas como en humanos se desarrolla la tolerancia (cada vez se necesita más para lograr lo mismo), la insensibilidad y la preferencia (expuestos al alcohol, prefieren las comidas que lo contienen).

Musaraña mola de pluma *(Ptilocercus lowii)*: el nulo efecto del alcohol. Este mamífero de Malasia está cerca de la base de la evolución de todos los primates. **///** Los estudios indican que se alimenta en forma exclusiva del néctar fermentado que se obtiene de los capullos de la palma bertam (género *Eugeissona*). A medida que el néctar se acumula en los capullos de la palma, una comunidad compleja de levadura fermenta el néctar. Este proceso ocurre todo el año. El contenido de alcohol es de hasta 3,8 % y lo llamativo es que lo beben en forma continua. Se grabaron las secciones de alimentación nocturna y no se observaron efectos en la conducta debido al alcohol. Se midió la concentración de alcohol en la sangre y no había signos de intoxicación. De alguna forma evitan los efectos colaterales.

Mono verde *(Chlorocebus sabaeus)*: efectos del alcohol de caña de azúcar en el Caribe. Estos monos fueron llevados de África al Caribe como mascotas por el comercio de esclavos. Durante 300 años vivieron en un entorno de plantaciones de caña de azúcar. Cuando la caña de azúcar se quemaba o fermentaba antes de la cosecha, se convertía en una golosina para los monos. Con el tiempo desarrollaron una atracción y tolerancia al alcohol en ese ambiente. **///** Un estudio determinó que prefieren el agua azucarada con alcohol y que la preferencia es en los jóvenes más que en los adultos. Es posible que los adultos beban menos porque tienen que estar alertas y perceptivos a la dinámica social del grupo.

Chimpancés: el efecto del alcohol.

(1) Origen de la tolerancia. /// Los humanos y chimpancé comparten el gen ADH4 que produce una enzima digestiva que ayuda a descomponer el alcohol. Esto permite comer frutas maduras fermentadas. Un estudio analizó la genética de 28 especies de primates y determinó que el gen ADH4 mutó hace unos 10 Ma lo que involucra a chimpancé y humanos.

(2) Conductas de bebedores. /// Cerca de la aldea de Bossou (Guinea) los nativos obtienen la savia de la palmera de rafia en recipientes que colocan en la parte alta del árbol. La savia de palma dulce fermenta en vino de palma. Los chimpancés doblan o arrugan las hojas dentro de sus bocas para producir una herramienta absorbente que usan para beber. Sumergen estas esponjas de hojas y la aprietan en la boca. Un estudio documentó 51 casos con 13 chimpancés que usaron esponjas de hojas para beber savia fermentada de palma. Se midió 3-7 % de alcohol (similar a la cerveza) y se observó que bebían cerca de un litro al día. Un macho adulto participó de 14 de las 51 observaciones. Se notó que descansan después de beber el vino de palma.

las apuestas

Las apuestas se pueden considerar como un indicador de metacognición y de recompensa por lo inesperado. En la capa de metacognición se identifica como un indicador de incertidumbre (falta de conocimiento). En caso de estar seguro, el animal hace apuestas más altas. Las apuestas por una alternativa más riesgosa, pero con mayor recompensa, muestran que son acciones llevadas a cabo porque producen placer. La búsqueda de placer impulsa a las apuestas, pero las pérdidas pueden llevar a la aversión como lo muestran las experiencias con capuchinos.

Palomas: prefieren perder a largo plazo pero apostar en cada juego. /// En un estudio se entrenó a ocho palomas para pi-

cotear, en una pantalla, dos teclas que mostraban una luz vertical (rojo o verde) o horizontal (amarillo o azul). A cambio, recibían granos de comida como recompensa.
-Si apretaba la tecla para la línea horizontal, se entregaban siempre tres granos. Era una recompensa segura y equivalía a resignar y no jugar (probabilidad y recompensa, 1x3=3).
-Si se apretaba la tecla de la línea vertical, se pasaba al juego. Se mostraban dos colores con probabilidad diferente. El color verde aparecía el 80 % de las veces y no entregaba recompensa. Pero el 20 % aparecía el color rojo y se entregaban 10 granos (probabilidad y recompensa, 0x0,8+10x0,2=2). El juego se realizó con varias palomas y se cambiaron los colores para evitar cualquier sesgo.
-Si las palomas querían maximizar las ganancias, debían seleccionar no jugar y cobrar siempre tres granos. Sin embargo, casi siempre (80 % de las veces) eligieron jugar y ganar menos granos (son tres granos seguros contra dos en promedio apostando). Esto sugiere que las palomas privilegiaron la emoción de la ganancia inesperada, aunque tenga una pérdida neta. Incluso, cuando las palomas tenían hambre apostaban más que si ya estuvieran satisfechas. Es el caso de las tragamonedas para los humanos.

Ratas: elección entre manipular la palanca o esperar la recompensa. /// En un estudio se presentó a las ratas una palanca para activar y recuperar una recompensa en otro lugar lejano. De esta forma no podían estar en ambos lugares al mismo tiempo. Las ratas se agruparon en dos personalidades. Un grupo fue en busca de la recompensa, mientras el otro grupo se juntó en la palanca para hacerla accionar. Parece que el solo hecho de accionar la palanca produce un placer. En el estudio también se logró cambiar la "toma de riesgo" de los grupos manipulando la recompensa interna en las neuronas.

Mono capuchino (*Cebus apella*)**: la aversión a las pérdidas.**

(1) /// Un estudio trabajó con una colonia de capuchinos donde se introdujo una moneda de cambio (discos de metal) y un comercio (intercambio por alimentos). Se les enseño que diferentes humanos, intercambiaban diferentes alimentos, a diferentes precios. La primera serie de experimentos encontró que, entregado un presupuesto de discos y varias opciones comerciales, las compras parecían sensatas. Se plantearon cambios de precios y diferentes estados de riqueza y se encontró racionalidad. Se concluyó que se pueden aplicar los mismos razonamientos que para los humanos (análisis de la utilidad y la teoría de precios).

(2) La segunda serie de experimentos consistió en apuestas arriesgadas, donde mostraron aversión a las pérdidas. Tenían una fuerte preferencia por las apuestas, pero las pérdidas se sopesan más que las ganancias de igual valor. La aversión a las pérdidas en humanos se observa en las inversiones (son reacios a asumir las pérdidas), vendedores de viviendas (no dispuestos a vender por debajo del precio de compra) o consumidores (más sensible a los aumentos de precios que a las disminuciones). Los capuchinos muestran poco aprendizaje social y carecen de experiencia con juegos abstractos. Esto sugiere que la aversión a las pérdidas es una función innata en lugar de aprendida. Es decir, tiene un origen evolutivo temprano anterior a la separación entre capuchinos y humanos.

TEMAS DE ESTUDIO

la inducción de un sesgo emocional

¿qué es esto? Se entiende por sesgo cognitivo al desvío en las capacidades del animal respecto de su valor promedio. El sesgo se llama emocional cuando el origen son las emociones. Por ejemplo, la felicidad se expresa siendo optimistas en situaciones ambiguas y acelerando el olvido de una experiencia negativa. Los cambios físicos y de conducta acompañan las emociones (sensación de felicidad o tristeza). El sesgo cognitivo se puede medir, de forma que también se puede medir el optimismo. El sesgo cognitivo también se puede modificar. Una forma de modificar el sesgo es mediante los juegos. Un problema para la interpretación es separar lo que son las emociones de las imitaciones.

El optimismo es beneficioso y perjudicial, pero se puede modificar. El sesgo cognitivo positivo (optimismo) es beneficioso porque abre recursos a la imaginación, mejora la creatividad y la capacidad de resolver problemas, aumenta las habilidades sociales y enfrenta en forma constructiva a las derrotas. Pero también el optimismo vuelve al individuo más confiado, más crédulo, menos capaz de desarrollar argumentos persuasivos y más propenso a tomar decisiones descuidadas. Se propuso que existe un nivel óptimo de satisfacción en los humanos que está en 7-8 en una escala de 10.

Modificación del sesgo. El paradigma dice que, si se mide el rendimiento cognitivo, se puede inferir el estado emocional y, si se modifica el estado emocional, afecta al rendimiento. La forma de trabajar con el sesgo cognitivo consiste en hacer un entrenamiento que involucre estímulos positivos o negativos. Luego, se introduce un estímulo ambiguo y se observa la reacción. Los animales que tienen un estado positivo juzgarán al estímulo ambiguo como más positivo. La prueba de "sesgo cognitivo" intenta definir el estado de ánimo sobre la base de una pregunta intrascendente. Por ejemplo, un vaso "lleno por la mitad" puede estar "medio lleno o medio vacío". El punto medio es conocido, pero la pregunta obliga a definir un sesgo hacia el optimismo o pesimismo.

abejorros: lo básico del sesgo

(F308) La versión básica del cambio de sesgo para inducir optimismo y volverlos más arriesgados. /// Un estudio trabajó con 24 abejorros que debían asociar ubicaciones y colores de recipientes. Antes de la prueba, se formaron dos grupos de abejorros. A uno se le dio una dosis extra de agua azucarada, con lo que se formó un sesgo optimista. Se usaron dos recipientes (izquierda y derecha) que contenían agua azucarada (recompensa) o agua pura (neutro). En la prueba, los abejorros aprendieron donde encontrar la recompensa. Luego se

colocó un nuevo recipiente de color ambiguo y ubicado en el centro con una recompensa desconocida. Se midió el tiempo que llevó revisar el recipiente nuevo del centro. Se encontró que la dosis de optimismo extra inicial redujo el tiempo con respecto al grupo de control. Sin embargo, podría ser que la dosis extra de agua azucarada les diera una energía adicional, entonces se planeó volver a medir el estado inicial. Se los colocó frente a los recipientes del entrenamiento ya conocidos y fueron igual de rápidos. Se concluyó que el optimismo vuelve al abejorro más arriesgado para explorar una alternativa desconocida.

La forma básica de neutralizar un sesgo pesimista mediante la inducción de optimismo. /// Otra fase de las pruebas consistió en forzar una experiencia negativa (dosis de pesimismo). Se apretó a los insectos en una trampa, lo que simula una emboscada de la arañas cangrejo que caza abejorros en la naturaleza. Cuando se tenía a todos los abejorros con un sesgo pesimista se formaron dos grupos. A uno se le dio una dosis de agua azucarada (optimismo que neutralizaría el pesimismo). El resultado es que este grupo voló al nuevo comedero cuatro veces más rápido que el grupo de control pesimista. Esto sugiere que el aumento de las emociones positivas mejora el estado de ánimo y ayuda a olvidar las malas experiencias.

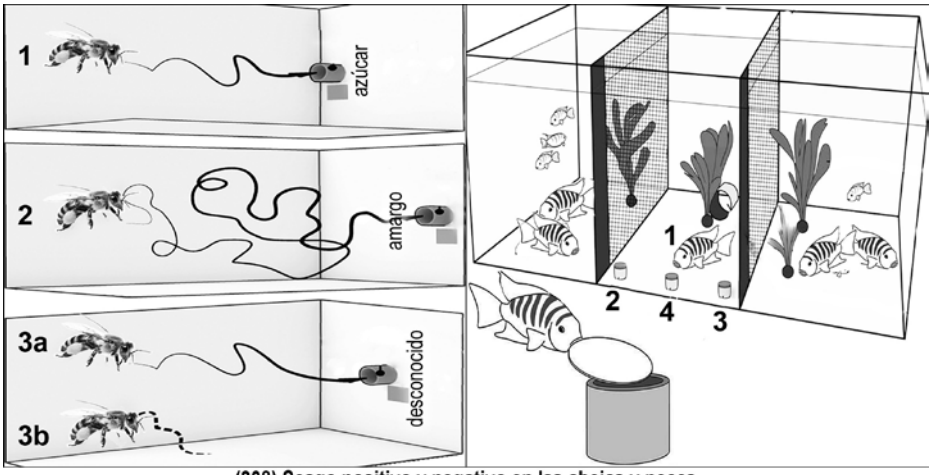
El optimismo inducido produce un aumento de dopamina en el cerebro.

(1) /// En un estudio con abejorros se encontró que la recompensa inesperada generaba un golpe de dopamina en el cerebro. Esta hormona se relaciona con el sistema de recompensas. Luego, se les administró un medicamento que bloquea la dopamina. El resultado de este depresivo fue similar al esperado en los humanos. Esto pone a los abejorros y humanos en igualdad de condiciones bioquímicas.

(2) /// En otros estudios con abejas, se observó que procesan y recuerdan los eventos positivos (atención de las crías) y negativos (enfrentar una amenaza) de manera diferente. Primero se expuso a las abejas a eventos positivos o negativos. A continuación, los cerebros se congelaron para mantener intacto el estado químico. Luego, se estudió la actividad (expresión genética) en una parte del cerebro (el cuerpo de hongo) donde se sabe que se procesa la información sensorial, aprendizaje y la memoria. Se encontraron niveles alterados de los neurotransmisores implicados en la recompensa (dopamina, serotonina y octopamina). Las diferencias se interpretaron como el resultado de procesar y almacenar recuerdos de eventos diferentes (positivos y negativos).

estudio de casos

Cangrejo de río (*Procambarus clarkii*)**: pesimismo inducido por la oscuridad.** Este cangrejo explora el entorno y selecciona lugares oscuros. Si se lo obliga a lugares luminosos, el animal aumenta el estrés y adopta un sesgo pesimista. **///** Un estudio los introdujo en un laberinto de cuatro brazos, dos iluminados y dos a oscuras. Luego se les aplicó una descarga eléctrica y mostraron más temor o ansiedad y prefirieron los brazos oscuros. Estos cangrejos tenían mayores niveles de serotonina en el cerebro y más glucosa en la sangre. Ambos son indicadores de estrés. Además, se calmaron cuando se les inyectó un ansiolítico (benzodiasepinico). Se concluyó que la conducta inducida es similar a la ansiedad de los vertebrados. Luego se comprobó que la intensidad de la ansiedad dependía de la intensidad de la



(308) Sesgo positivo y negativo en las abejas y peces
(izquierda) En las abejas la respuesta a una recompensa azucarada (1) lleva a un viaje directo y rápido. Pero con una recompensa amarga el viaje es lento (2). Luego se forma un sesgo positivo entregando una dosis extra de azucar y se prueba con una recompensa incierta. Si tiene un sesgo positivo (3a) la abeja viaja directo, con un sesgo negativo se resigna. **(derecha)** (1) La hembra del pez cíclido es separada del macho y adopta un sesgo negativo. La caja (2) tiene una recompensa y la caja (3) está vacía. La caja (4) es desconocida. Se mide el tiempo de reacción ante la caja (4) lo que indica el sesgo que posee.

descarga eléctrica hasta alcanzar una meseta donde se estabilizaba.

(F308) Pez cíclido cebra (*Amatitlania siquia*)**: pesimismo inducido por separación social.** Este pez forma pareja monógama de por vida y cuando se separan, caen en un estado pesimista. En las hembras el pesimismo aumenta cuando se la aparea con un macho que no es su pareja. **///** En un estudio las hembras fueron entrenadas para abrir un envase con la boca. Se pusieron dos envases, uno de color blanco que contenía una recompensa y otro de color negro sin recompensa. Luego se separó a la pareja, con lo que se formó un sesgo pesimista, y se colocó un envase, en el centro, de color gris. Se midió el tiempo de apertura del envase. Cuando estaban con la pareja, lo abrían de inmediato y cuando estaban solas, tardaron más tiempo o llegaron a ignorar el envase.

Estornino pinto (*Sturnus vulgaris*)**: optimismo inducido por un recinto enriquecido. ///** Un estudio formó dos grupos de estorninos. Uno fue alojado durante diez días en recintos enriquecidos con otros estorninos, con ramas y baños de agua. El otro fue alojado solo, en jaulas más pequeñas y estériles (un ambiente empobrecido). Una vez que adoptaron el sesgo cognitivo, se les enseñó a forrajear sacando la tapa de un envase que contenían un gusano. Una tapa blanca indicaba un gusano normal y una tapa gris oscuro un gusano con sabor a quinina desagradable. Una vez aprendidas estas señales, se pasó a usar tapas de colores grises diversos. Los estorninos optimistas de las jaulas enriquecidas eran más propensos a abrir las nuevas tapas. Pero, si los estorninos enriquecidos se cambiaban a alojamientos empobrecidos, se volvían muy pesimistas. Parece que el cambio los afectaba sobremanera.

Gorriones silvestres: sesgo pesimista inducido por captura. /// Un estudio capturó gorriones domésticos silvestres y fueron mantenidos en cautiverio por cuatro semanas. También se estudió el cerebro mediante tomografía de positrones para cuantificar los receptores de dopamina. El escaneo cerebral se hizo cuando fueron capturados y luego, antes de ser liberados. El estrés del cautiverio afectó a las aves de diferentes formas. Los receptores de dopamina disminuyeron (tendencia al pesimismo) y se volvieron menos resistentes al estrés. Aumentaron las conductas relacionadas con la ansiedad (alboroto de las plumas) y disminuyó la masa corporal.

Delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*)**: optimismo inducido por la natación sincronizada. ///** Un estudio trabajó con ocho delfines en cautiverio. Se los entrenó para nadar hacia uno de dos objetivos. En un caso, recibían aplausos y contacto visual y en el otro, un arenque (el premio principal). En el caso del arenque nadaban mucho más rápido. El sesgo se midió usando un objetivo ambiguo en el centro. Los delfines a los que se les permitió nadar en grupo formaron un sesgo positivo que se pudo reconocer dos meses más tarde. Esta natación es una actividad social que aumenta el vínculo entre ellos.

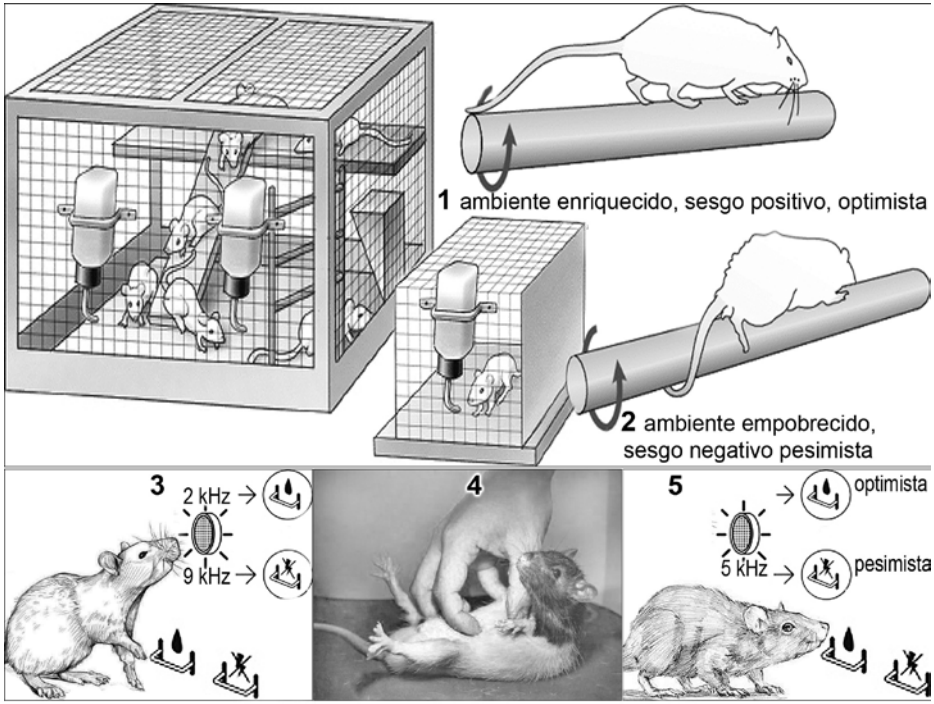
(F309) Ratas: sesgo optimista inducido por cosquillas. Las ratas pueden formar un sesgo emocional de acuerdo con el alojamiento (enriquecido para el optimismo) o mediante cosquillas en la barriga. Estas ratas suelen responden con chirridos en la banda de 50 kHz (son las risas de las ratas).

(1) El test básico. /// Se entrenaron ratas para responder a un tono, apretando una palanca. Una palanca emitía un tono de 2 kHz y daba una gota de agua como premio. Otra palanca emitía un tono de 9 kHz y daba una descarga eléctrica en los pies. Para eliminar la descarga, podía apretar otra palanca. Las ratas se dividieron en dos grupos, a uno se les aplicaron cosquillas en la barriga (sesgo optimista) y se les presentó un tono ambiguo de 5 kHz. Este grupo optimista lo interpretaba como una recompensa.

(2) La necesidad de cosquillas. /// En otro experimento se encontró que las ratas que se crían en un ambiente enriquecido son más optimistas y no requieren cosquillas adicionales. Pero si el alojamiento es empobrecido, solicitan cosquillas. Las ratas que se ríen durante las cosquillas son más amigables y capaces de lidiar con el estrés.

(3) /// Como la risa generada por las cosquillas es un rasgo emocional estable, se pudo formar una estirpe de ratas receptivas. En cuatro generaciones de crianza se seleccionaron crías que buscaban cosquillas, jugaban más, emitían más risas y estaban más motivadas para aprender tareas a cambio de cosquillas. Esta característica resultó heredable.

(F309) Ratones: el ambiente enriquecido genera curiosidad y personalidad. /// Un estudio generó un ambiente estimulante con 70 jaulas interconectadas (7 niveles de 10 jaulas). Se pusieron equipos para inspirar el juego (juguetes, túneles y escondites) y se cambiaban en forma semanal para evitar las rutinas. Se usaron ratones gemelos de cinco semanas y se distribuyeron en este ambiente enriquecido y en jaulas normales de control. Se encontró que el entorno rico en estímulos generó cambios a largo plazo, incluso después de retirado el estímulo. Se registró el movimiento con microchip durante seis meses. El ambiente enriquecido produjo adultos más exploradores y con variedad de personalidades individuales. Tenían más neuronas en el hipocampo, lo que indica ma-



(309) Formación y medición de un sesgo cognitivo

En los ratones el sesgo positivo se forma en un ambiente enriquecido **(1)** o mediante cosquillas **(4)**. El sesgo positivo se observa como una actitud optimista y arriesgada. Un sesgo negativo **(2)** resulta de un ambiente empobrecido (actitud pesimista y timorata). Una forma de medir el sesgo es mediante la prueba de 2 tonos (positivo 2 kHz y negativo 9 kHz) y un tono ambiguo de 5 kHz. El aprendizaje se hace con una palanca **(3)** que entrega una recompensa (gota de agua) con 2 kHz y otra palanca que detiene un castigo con el tono de 9 kHz. Luego se genera un sesgo positivo **(4)** y se mide la respuesta **(5)** a un tono ambiguo de 5 kHz.

yores recuerdos, aprendizaje y emociones. Se encontró que se habían acumulado muchos cambios epigenéticos (metilación del ADN en las neuronas del hipocampo). **Esto sugiere que muchos cambios de conducta se volvieron permanentes.**

Cerdos: la personalidad se suma al sesgo inducido por el alojamiento. Aunque las condiciones de crianza sean buenas, un individuo puede sufrir si tiene un carácter pesimista por naturaleza, identificado por un bajo nivel de tolerancia a la adversidad. **///** Un estudio trabajó con 36 cerdos. Primero se los caracterizó como proactivos o reactivos. Luego se les imprimió un sesgo, al alojarlos en puestos económicos (pisos sólidos y bloques de madera poco confortables) o enriquecidos (más amplios con una paja profunda y cómoda). Más tarde, se los entrenó para que reconocieran un plato de chocolate (recompensa) o granos de café amargos (castigo). Una cubierta de azúcar impedía oler la recompensa oculta. Finalmente se distribuyeron otros platos al azar. Se encontró que los cerdos proactivos tendían a arriesgar más en la búsqueda en los nuevos platos, sin importar el tipo de alojamiento

recibido. En cambio, los cerdos reactivos se volvían más optimistas si fueron alojados en el alojamiento enriquecido. Fueron más propensos al efecto del entorno, y su estado de ánimo pudo sesgar sus elecciones. El juicio de estos animales incorpora rasgos de personalidad estables y otros estados de ánimo transitorios.

Caballos de equitación: el sesgo emocional es inducido por el alojamiento. En los caballos de equitación, el estado emocional es un aspecto importante para la seguridad del jinete. **///** Un estudio trabajó sobre 184 caballos de 22 escuelas de equitación para determinar el nivel de emoción (ansiedad y miedo) y relacionarlo con la capacidad de aprendizaje. Encontraron que una de las influencias más importantes es la forma en que se alojan. Los caballos que se mantuvieron en un campo tuvieron menos miedo a un objeto novedoso y respondieron con menos emotividad que los caballos encerrados.

Vacas: el sesgo optimista es inducido por los desafíos y el aprendizaje. Muchos estudios trabajan con vacas de corral con el objetivo de mejorar la calidad de vida en las granjas.

(1) La personalidad es estable. /// Para medir la conducta en la escala optimista-pesimista, se realizó un experimento con 22 terneros, dando a elegir alternativas y viendo la capacidad de recuperarse de las malas elecciones. Los resultados muestran que cada uno tenía su personalidad y la mantenía constante al menos por tres semanas. El pesimismo era un rasgo individual consistente, no solo el resultado de estados de ánimo o emociones del día. Se evaluó también el miedo mediante pruebas de personalidad como reacciones a situaciones desconocidas (presencia de humanos u objetos extraños). Se determinó que el temor y el pesimismo estaban correlacionados. Los terneros que tenían más miedo también eran más propensos a ser pesimistas en la conducta.

(2) El aprendizaje produce un sesgo. /// Un experimento trató de identificar las reacciones emocionales al aprendizaje en el ganado joven. Se usaron doce terneras Holstein-Frisias que se dividieron en dos grupos. Se les enseñó durante catorce días a presionar un panel que abría una puerta con un largo pasillo hasta la recompensa. El grupo de control solo tenía que esperar un tiempo igual al tiempo que tardaba la ternera bajo prueba y la puerta se abría. Se midió la frecuencia cardíaca y su comportamiento al avanzar por el pasillo. En la medida en que aprendían, eran más propensas a tener frecuencias cardíacas más altas y tendían a moverse con más vigor en el pasillo. Parece que el ganado reacciona con emociones positivas a su propia mejora de aprendizaje.

Chimpancés: en las decisiones irracionales un mismo evento puede ser positivo o negativo. Las decisiones económicas irracionales son comunes a humanos y grandes simios. Los sesgos pueden resultar de las emociones previas (sesgos positivos o negativos). En general, los chimpancés son más pacientes y propensos al riesgo que los bonobo. Pero ambos muestran reacciones adversas cuando toman una mala decisión, como en los humanos.

(1) Decisiones y emociones. /// Un estudio trabajó con 23 chimpancés en Tchimpounga (Congo) y 17 bonobos de Lola-ya (RD Congo). Se ofrecieron maníes y trozos de fruta, donde la elección del maní era segura y la de trozos de fruta era variable. Una opción positiva ("ganancia") consistía mostrar un trozo de fruta y en el 50 % de los ensayos se les entregaban dos. En la opción negativa ("pérdida") se le mostraban

dos trozos pero en el 50 % de las veces se les entrega solo uno. A largo plazo la cantidad de trozos de fruta era el mismo, pero las emociones juegan un papel importante. Cuando se presentaba la elección en la forma positiva era elegida más veces la fruta que el maní. Los simios macho fueron más susceptibles a esta irracionalidad. Los sesgos de elección están muy arraigados y son difíciles de superar.

(2) Aversión a la ambigüedad. /// En otro estudio con 16 chimpancés y 14 bonobos se ofrecían maníes (poco deseable pero seguro) o trozos de fruta (más deseable pero inseguro). Como frutas se podían entregar plátano (muy deseable) o pepino. Se presentaban en 3 tipos de tazas. Una con 100 % de probabilidad de plátano, otra con 50 % y la tercera con 0 %. Los simios entendieron las probabilidades y elegían de acuerdo con lo que se presentaba. Pero algunas veces no se mostraba la taza por lo que perdían esta referencia de seguridad. Se encontró que, como los humanos, mostraban "aversión a la ambigüedad", prefiriendo apostar más a las tasas de frutas cuando conocían las probabilidades que cuando no lo sabían. Aunque la contabilidad final era la misma.

ESTUDIO DE CASOS

abejorros: mucho más que obreras

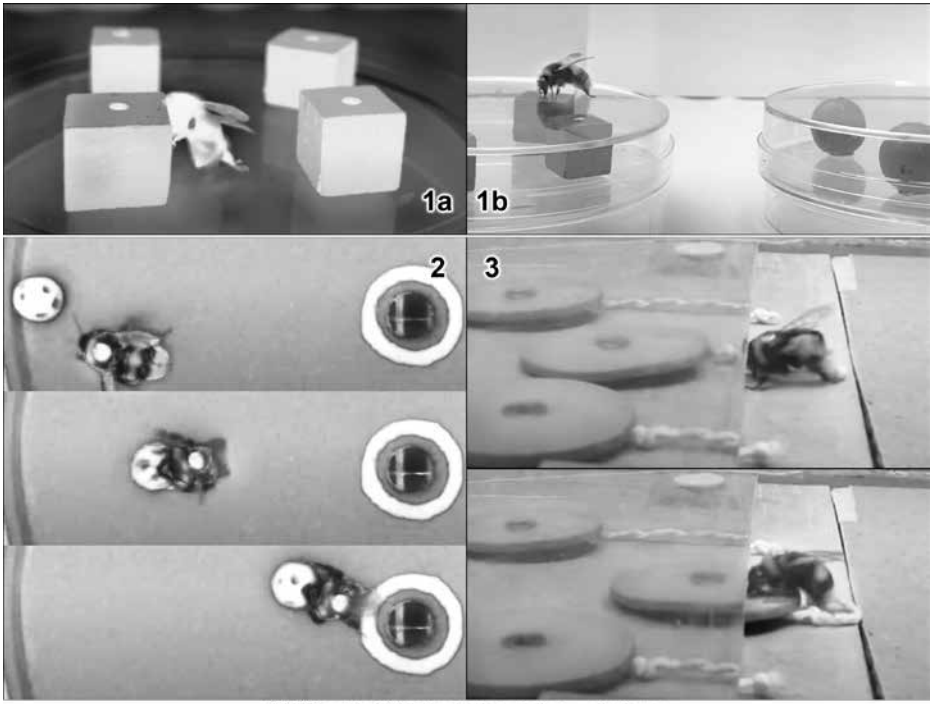
Las abejas y abejorros (familia *Aphidae*)**: tienen un cerebro compacto.** La maquinaria neural de una abeja es una fracción de los primates. Los humanos tienen 85.000 millones de neuronas y las abejas menos de 1 millón. Sin embargo, la comparación dice poco, porque un nematodo tiene 300 neuronas y no deja de sorprender. La desventaja en número o tamaño puede ser una oportunidad. En espacios reducidos, lleva menos tiempo transmitir señales entre neuronas. Los mensajes pueden ser menos susceptibles al ruido y pueden usarse señales analógicas en lugar de los disparos digitales (*on-off*) como en los mamíferos. Eso puede transmitir mayor cantidad de información en un corto período de tiempo.

personalidad y aprendizaje

Las abejas tienen gran variedad de conductas. Un proverbio latino decía *una apis, nulla apis* (una abeja no es abeja), haciendo suponer que una abeja tiene un aporte minúsculo a la colonia. **///** Un trabajo recopiló unas 60 conductas de las abejas obreras, incluidos seis clases de bailes. En los conejos, se contabilizaron 30 comportamientos; en el castor, unos 50 y en el delfín nariz de botella, unos 120. No es extraño entonces que las abejas tengan mucho para decir.

El aprendizaje tiene un costo en energía y productividad. En el cerebro, cuando se forma una sinapsis entre neuronas se está escribiendo una memoria. Esto tiene un costo energético que puede reducir la vida útil del individuo. **///** En un trabajo se entrenó a 85 abejorros forrajeadores de cinco colonias en una tarea de asociación de colores. En laboratorio se midió la velocidad de aprendizaje (una medida de la personalidad) y luego se los monitoreó en la naturaleza. Se midió la cantidad de néctar y polen que llevaron a las colmenas (la productividad), usando un seguimiento por radiofrecuencia. Se pudo concluir que los abejorros de aprendizaje lento recolectaron más recursos a lo largo de todo el período de medida. Los de aprendizaje rápido vivieron menos, quizás por los costos derivados de su alta performance cognitiva. El tejido neuronal es costoso de producir y mantener. La búsqueda de alimentos es muy exigente con la energía, pero también lo es el aprendizaje. Esto puede explicar por qué ser un mejor aprendiz (innovador) puede convertirse en una carga para el grupo social.

En las abejas melíferas hay obreras dedicadas a eliminar los parásitos externos. /// Las abejas limpiadoras (*allogrooming*) son obreras que usan su boca para eliminar escombros (parásitos y patógenos) del cuerpo. Por ejemplo, un ácaro (*Varroa destructor*) es una amenaza global para las colmenas. El estudio encontró que las limpiadoras tienen un sistema inmune más fuerte en la hemolinfa (sangre de los insectos) que el resto. Esta especialidad es débil



(310) Las habilidades de las abejas y abejorros
(1) Se puede entrenar a una abeja con cubos o esferas para reconocer el objeto por el tacto en la oscuridad (1a) o por la vista debajo de un vidrio sin tocarlos (1b). Luego deben reconocerlo con el otro sentido. **(2)** Pueden aprender a rodar una bola y llevarla hasta un destino. La enseñanza es por observación de un señuelo. **(3)** Pueden ser entrenados para tirar de una cuerda en un aprendizaje paso-a-paso, cada vez más complejo. El agua azucarada está en el centro del disco tapado por un vidrio con acceso tirando de la cuerda.

y transitoria, ya que dedican tiempo a otras tareas. Se concluyó que las abejas pueden desarrollar diferencias fisiológicas para tareas específicas, manteniendo un grado de plasticidad para cambiar de tareas.

Para aprender, necesitan castigos y premios. Parece que la capacidad de las abejas para aprender depende no solo de sus habilidades innatas, sino también del balance entre riesgos y recompensas. El aprendizaje mejora si hay un castigo involucrado. **///** Dos grupos de abejas de diez individuos cada uno fue entrenado para elegir entre opciones con diferente número de objetos. En la prueba, las abejas volaban a un laberinto en forma de "Y" para elegir y luego regresaban a su colmena. Ganaban una recompensa si elegían la opción de cuatro objetos. Uno de los grupos recibía una recompensa o nada y el otro grupo recibía una recompensa o un castigo (quinina). Cada experimento con una abeja llevó cuatro horas y contabilizó cincuenta elecciones. Se determinó que el grupo que no tuvo castigo no pudo aprender a discriminar. El grupo con castigo de quinina discriminó de manera confiable.

(F310) Pueden relacionar los gustos con las formas usando la vista o el tacto. Los abejorros no procesan sus sentidos por cana-

les separados, sino que los compaginan en una representación unificada. **///** En un estudio con más de 40 abejorros se los entrenó con objetos (cubos y esferas) con huecos que contenían un premio o castigo (agua azucarada o solución de quinina amarga). Un grupo fue entrenado para guiarse por la vista de forma que el objeto estaba cubierto por un vidrio (no podía usar el tacto). Otro grupo fue entrenado a oscuras, de forma que debía guiarse por el tacto (la forma del objeto). A cada grupo se lo probó luego en las condiciones opuestas. Los que aprendieron por la vista debían usar el tacto y viceversa. Superaron la prueba gracias a la capacidad de reconocimiento intermodal que permite percibir una imagen más completa de la realidad uniendo varios sentidos.

(F310) Pueden aprender a rodar pelotas mediante una simulación. /// Un estudio exploró la capacidad de improvisación de los abejorros. Les enseñaron que, rodando pequeñas bolas de plástico hasta agujeros, podían obtener sorbos de agua azucarada. Pronto estaban llevando las bolas y tomando la recompensa. La enseñanza se realizó con un abejorro simulado en el extremo de una varilla que reproducía el movimiento necesario. También se movió la bola mediante imanes no visibles debajo de la mesa. Se concluyó que la demostración con un señuelo era más eficiente que con imanes. Algunos abejorros llegaron a caminar hacia atrás (comportamiento que no es natural) y tomaron atajos para llegar más rápido. En una segunda fase, se permitió a otros abejorros observar la escena y adquirieron las habilidades mediante aprendizaje social. Pero además detectaron errores, ya que buscaban las bolas que estaban más cerca del objetivo. También reaccionaron a cambios de color.

(F310) Pueden aprender a tirar de una cuerda y la habilidad se propaga en forma social. En el 2016 se entrenó a abejorros (*Bombus terrestris*) para tirar de una cuerda que al final tenía una flor artificial detrás de un cristal. Se entrenaron 40 abejorros y 23 aprendieron el truco en forma escalonada. Paso a paso la recompensa se colocaba más distante y con un tramo de cuerda más complejo. El grupo de control fue de 110 abejorros sin entrenamiento previo, de los cuales solo dos resolvieron el problema en forma espontánea. Esto sugiere que la solución es una rareza pero que puede ocurrir. Luego, a los no entrenados se les permitió ver a los abejorros tirando de la cuerda. El 60 % aprendió el truco. Más tarde se los llevó a colonias ingenuas donde la habilidad se expandió en la mayoría de las obreras. Se observó una cadena de individuos ingenuos que se capacitaban y luego capacitaban a otros. La longevidad de la habilidad podría durar más que una generación y convertirse en cultural. Parece que la transmisión cultural no requiere de una alta sofisticación cognitiva específica. La difusión cultural requiere de un problema a solucionar y desde allí puede quedar establecida.

El aprendizaje social es por observación o por comunicación.

(1) Por observación. **///** En un primer ensayo con abejorros (*Bombus impatiens*) se usaron flores artificiales que requerían que caminaran en la base de un disco para obtener la recompensa. Los recolectores necesitaron varios días para aprender el uso por prueba y error. Luego se colocaron abejorros inexpertos que podían observar la acción. Cuando se pusieron a prueba, tardaron 70 segundos en obtener la recompensa.

(2) Por comunicación. /// En otra fase del estudio se colocaron abejorros experimentados en una colmena usada de control. Luego, las abejas inexpertas se enfrentaron a las flores artificiales y tardaron

200 segundos en resolverlo. La información debió transmitirse por el tacto, vibraciones y olfato. Lo cierto es que las abejas que nunca vieron las flores artificiales lo solucionaron de inmediato. Un misterio de la comunicación entre abejorros.

orientación y matemática

Miden la distancia durante el movimiento. La orientación es posible gracias a los instrumentos nativos. Pero el uso correcto del instrumental de abordo necesita de la práctica. La medición de la posición respecto al cielo y la distancia desde la colmena es imprescindible para la orientación de las abejas en el terreno. La orientación en los animales migradores es de un nivel de complejidad que maravilla. **///** Las abejas usan el "flujo óptico" para medir la velocidad y distancia de movimiento. Experimentan su entorno mientras se mueven como si permanecieran quietas y el entorno se moviera. Un trabajo con abejas nocturnas de la selva tropical permitió identificar las neuronas que miden la velocidad y distancia. También se identificaron las neuronas que usan la luz polarizada del cielo como un sensor para orientar la brújula interna. Se colocaron electrodos en células nerviosas individuales y se realizaron vuelos virtuales simulando la búsqueda de comida. Se encontró que las neuronas asociadas a la velocidad y dirección funcionan por separado y generan un recuerdo que es usado para regresar a casa.

Eligen la ruta de forrajeo mediante un proceso de ensayos. El "problema del vendedor ambulante" consiste en encontrar la ruta óptima para visitar todos los destinos con la distancia más corta. **///** Un estudio probó esta habilidad de construir un camino mediante flores artificiales. Se quería saber si la ruta respondía al orden en que eran descubiertas las flores o si reconfiguraban la ruta en busca del camino más corto. Para dificultar la tarea, se cambiaban las flores que entregaban recompensa. El seguimiento fue mediante radar. Se concluyó que las abejas y abejorros comienzan sin saber nada sobre el terreno o dónde está la comida. Exploran el paisaje, descubren lugares y deben integrar sus recuerdos espaciales en una ruta. Se encontró una fuerte preferencia por tomar atajos entre comederos cercanos, aunque significaba volar más. Sin embargo, probaron diferentes rutas de forma flexible. Algunos segmentos de la ruta se volvieron habituales, otros se olvidaron y fueron reemplazados. La distancia y tiempo de vuelo se redujo con la experiencia, debido a vuelos más rectos y una menor exploración. Usaron procesos aleatorios para probar variantes de rutas en busca de mejoras. Las abejas experimentadas trataban de seguir el mismo orden de visitas, aunque no estuviera en la forma óptima. Una vez establecida la ruta eran menos innovadoras.

Resultaron ser excelentes en el manejo de la matemática. Los detalles se analizan en la capa de herramientas.

-Los estudios las entrenaron para trabajar en laberintos y usar signos abstractos para orientarse. Cuando se realizaron cambios, entendieron que los mismos signos significan cosas diferentes en distintos laberintos. Esto sugiere una comprensión del contexto.

-También se les enseñaron las relaciones espaciales (arriba-abajo e izquierda-derecha) y el concepto de igual-diferente. Se encontró que pueden transferir el aprendizaje a nuevas situaciones con otros elementos.

-Se les enseñó a diferenciar cartas con dibujos de objetos en diferentes cantidades. Se cambió la forma de los objetos y se encontró

que respondían a la cantidad y no a la forma. Cuando se colocó una carta en blanco, la interpretaban con “cero”, lo que es un conocimiento abstracto.

-Se les enseñó a sumar o restar una unidad. En los ensayos veían una carta y un color. El color indicaba si debían sumar +1 o restar -1. Luego se le daban resultados posibles para elegir.

MODELO DE CAPAS

631 planificación

el autocontrol

El autocontrol es un indicador de la facilidad de planificación del futuro. Una forma de medir el autocontrol es proponiendo demorar una gratificación inmediata para obtener otra mayor más adelante. En los humanos se popularizó la "prueba del malvavisco". A los niños se les da la opción de recibir un malvavisco ahora o esperar para obtener mayor cantidad en un rato. Los niños con buenos resultados en autocontrol también tienen buenos resultados en las pruebas de inteligencia general. Parece que ambas cosas están conectadas.

Abejas: cuando pierden su autocontrol y actúan impulsivamente. /// Un trabajo entrenó a abejas para asociar dos olores con diferentes recompensas. Un olor daba una pequeña cantidad de solución de azúcar luego de un segundo. El otro olor entregaba una cantidad mayor luego de cinco segundos. En el grupo de abejas de control no había demora entre aparición del olor y la recompensa. Luego se probaron las preferencias con un ayuno de 6, 18 y 24 horas. Se encontró que en la medida en que el ayuno aumentaba, perdían el autocontrol y tomaban la recompensa inmediata. Las mediciones en el cerebro indicaron que el nivel de dopamina aumentaba cuando el ayuno se prolongaba. Entonces, más dopamina significa menos autocontrol. El autocontrol es vital para que los grupos sociales funcionen en armonía.

Sepia común (*Sepia officinalis*)**: El autocontrol y el rendimiento del aprendizaje.** El autocontrol se suele asociar con especies de mayor tamaño y con metabolismos bajos, con mayor esperanza de vida y tolerancia a retrasos largos, con conductas sociales cooperativas, o con un hábitat con recursos variables difíciles de obtener. La sepia muestra autocontrol, pero tiene un metabolismo rápido, vida corta y viven sin cooperación. Sin embargo, tienen varios desafíos ecológicos con recursos transitorios lo que puede impulsar el autocontrol y planificación. **///** En un experimento se midió la capacidad de renunciar a la gratificación inmediata de baja calidad (carne de langostino) y esperar a otra de mayor calidad (camarones vivos). Cada tipo de alimento se colocó en una cámara con una señalización particular. La cá-

mara de baja calidad se abría de inmediato y la otra con un retardo variable. Se midieron retrasos de espera entre 50 y 130 seg (en saltos de 10 seg). Algunas sepias se apartaban del lugar para evitar la tentación del alimento de baja calidad (se autodistraían). En otro experimento se midió el rendimiento del aprendizaje. Se le enseñó a asociar una recompensa con un color (gris o blanco). Una vez aprendida la asociación se permutaba el color, midiéndose el cambio de aprendizaje. Como era de esperar se determinó que un mayor autocontrol se correspondía con un mejor aprendizaje.

Loros y guacamayos: posponen la gratificación inmediata de acuerdo con las perspectivas del futuro. El tamaño del cerebro justifica que los loros tengan conductas llamativas frente a otras aves. Dependiendo de la especie, tienen entre 1 y 2 mil millones de neuronas (el hombre tiene 85.000 millones). Los loros tienen diez veces más neuronas que un ratón y poco menos que el capuchino. El poder de cómputo hace que los loros sean comparables a los primates. La clave es un cerebro compacto, numeroso en neuronas de muy pequeño tamaño y empaquetadas más densamente que en los mamíferos. Gracias a esta característica resuelven muy bien el autocontrol.

(1) /// En un estudio con 33 guacamayos de tres especies y loros grises se les enseñó a reconocer el valor de diferentes fichas que podrían intercambiarse por recompensas de alimentos. Luego, se los empujó a decidir si aceptar una recompensa inmediata o invertir en fichas que podían cambiarse más tarde. La mayor recompensa fue un pedazo de nuez y la menor una semilla de girasol. Una recompensa intermedia fue una pepita de maíz seco. En varias pruebas los loros rechazaron las recompensas de bajo valor a favor de elegir una ficha y acapararla. Se concluyó que estas aves son capaces de tomar decisiones deliberadas y que intentan maximizar sus ganancias. El que obtuvo mejores resultados fue el sudamericano guacamayo verde (*Ara militaris*).

(2) /// Un estudio con la cacatúa goffin (*Cacatua goffiana*) la enfrentó a la prueba de autocontrol. Se le mostraban dos premios (uno en cada mano). Para recibir el premio mayor debía tomar el menor con el pico, sostenerlo por un rato sin comerlo, devolverlo y recién después se le daba el premio mayor. La mayoría de las cacatúas aguantó 2 a 5 segundos, la mitad llegó a 40 seg y muy pocos a 80 seg. Ninguno duró 160 seg. Esta fue la primera vez que un loro superó la prueba de la gratificación tardía. En otra prueba con loros grises los resultados llegaron a 14 minutos de espera.

Los cuervos también muestran capacidad para retrasar un intercambio. /// En un experimento se entrenaron doce cuervos para intercambiar fichas por comida. Se le daba un trozo de comida de menor calidad, se le mostraba el premio mayor y se cerraba la mano. Se esperaba un período de tiempo, se abría la mano y se ofrecía el intercambio de la comida de menor calidad por la de mayor calidad. La diferencia de calidad de la comida variaba en cada prueba. El tiempo de espera también era variable, hasta cinco minutos. Durante el período de espera los cuervos hicieron varias cosas: dejaron la comida en el suelo, la escondían o la revisaban.

Chimpancés: autocontrol paso a paso.

(1) Aumento del tiempo de espera. /// Un estudio trabajó con cuatro chimpancés y un orangután. Se les presentaron veinte trozos de chocolate que se colocaron, uno a la vez, en un recipiente que estaba a su alcance. Podrían consumir las piezas en cualquier momento, pero cuando las toma-

ban se interrumpía el aporte. El tiempo para colocar los 20 trozos fue de 60 a 180 seg. En la mayoría de las pruebas retrasaron la gratificación hasta tener las 20 piezas. En otra fase del estudio se probó a los cuatro chimpancés. Se usaron cuatro alimentos diferentes en ensayos similares al anterior. Nuevamente lograron el autocontrol en la mayoría de las pruebas.

(2) /// Una prueba similar se realizó con el macaco Rhesus. La tarea de mantener el autocontrol mientras los alimentos se acumulaban, dependía de la cantidad y calidad. Algunos macacos retrasaron la gratificación incluso con demoras largas. Los datos sugieren un autocontrol en la mayoría de los macacos evaluados.

(3) Hacen un esfuerzo mayor si el premio es mejor. /// Un estudio de quince meses en el zoo de Chicago (Estados Unidos) planteó el problema de buscar fichas (trozos de tubería de PVC) en una ubicación y cambiarlas en otra. Había dos puestos de cambio con el experimentador. En el puesto cercano se canjeaba por zanahoria y en el lejano, por uvas (el premio mayor). Se hicieron tres fases de treinta sesiones cada una. Todos intercambiaban en el lugar más cercano, lo que producía aglomeraciones y los de menor rango quedaban sin satisfacción. El primer chimpancé en descubrir la mejor recompensa fue una hembra (*Chuckie*), la de más bajo estatus social. Al principio, el lugar lejano no tenía competencia. Pero cuando los otros entendieron la alternativa lejana, cambiaron de lugar y preferían viajar más lejos pero tomar la mejor recompensa. El macho alfa (*Hank*) no tenía competencia en el sitio cercano, pero cuando entendió el beneficio del lejano, también cambio de decisión.

El autocontrol se correlaciona con la capacidad cognitiva. Más inteligentes, más autocontrol.

(1) /// Un estudio con chimpancés midió la frecuencia con que eligen esperar una recompensa mejor. Se les ofreció una tentación constante de capitular y aceptar la recompensa más pequeña. Luego, se completaron las pruebas cognitivas para primates que miden una variedad de factores sociales y cognitivos (p.ej., la capacidad de seguir gestos señaladores). Se comprobó que los chimpancés con niveles altos de inteligencia general también superaban la prueba de autocontrol (gratificación tardía). Se concluyó que los chimpancés tienen una capacidad equivalente a un humano de cuatro años.

(2) La prueba con humanos. /// En 1972 un estudio ensayó con niños de cuatro años y se les ofreció un malvavisco. Pero se les explicó que, si esperaban quince minutos, recibirían dos. Estos quince minutos son una eternidad para niños humanos o animales. Algunos niños lograron esperar. Se distraían bailando, cantando, algunos lamieron el malvavisco pero no lo comían, otros incluso intentaron tomar una siesta. Unos treinta años después, se volvió a estudiar al grupo de prueba. Los niños que habían superado la prueba tenían mejores resultados en su vida universitaria, mejores trabajos y menos divorcios. Se encontró que en comunidades de niños de clase baja el autocontrol casi no existía. Los niños no confiaban en el experimentador o en el resto de los participantes.

(3) /// En un estudio con el loro gris (*Griffin*) se relató una situación idéntica. Esperaba el premio mayor o no, de acuerdo con su interés en ese momento. Superaba las pruebas hasta catorce minutos, pero a veces tomaba el bocado de inmediato. Se observó que durante el tiempo de espera se comportaba como los niños de cuatro años.

la planificación

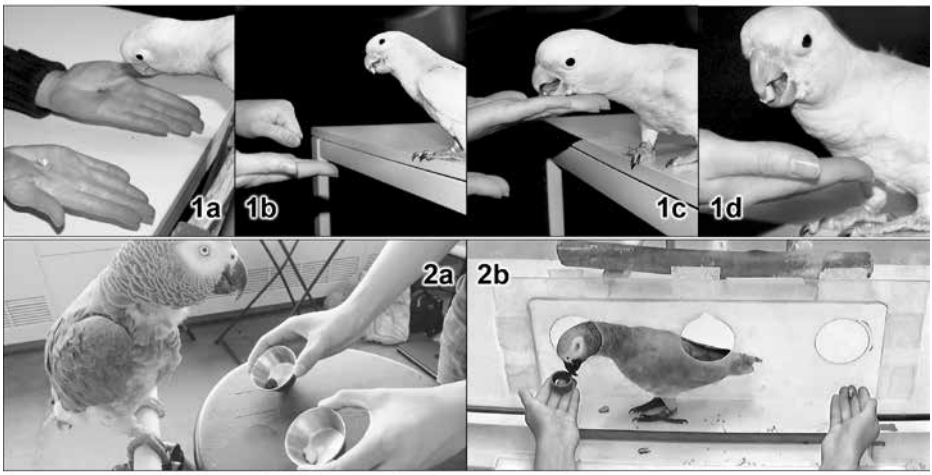
(F311) Abejorros: una acción con beneficios a muy largo plazo. /// En un estudio se trabajó con plantas de mostaza (*Brassica oleracea* y *B. nigra*), tomate (*Solanum elaeagnifolium* y *S. melongena*) y abejorros silvestres (*Bombus terrestris).* Se observó que el abejorro usó la trompa y mandíbula para cortar agujeros en las hojas. No se alimentaban de las hojas, ni llevaban material foliar a la colmena. Esta conducta ocurría cuando había escasez de polen, la única fuente de proteína para los abejorros. Cuando había polen no mordían las hojas. Luego de picar las hojas, la planta de mostaza floreció dos semanas antes de lo esperado, y la de tomate cuatro semanas antes. Esta conducta se interpretó como un truco para acelerar la floración en las plantas cercanas a la colmena. Es una conducta compleja y cuyo origen es incierto. Parece difícil que los abejorros puedan asociar el morder la hoja con una recompensa a varias semanas en el futuro. En parte porque el tiempo de vida es de menos de un mes, por lo que quizás no ven el beneficio. Podría ser que recibieran un beneficio inmediato, pero la mordedura no llegaba a proporcionar un flujo de savia desde la hoja. Tampoco en la planta se puede ligar este daño foliar con un adelantamiento de la floración. Una alternativa es que la planta asocie la mordedura con el inicio de la estación de insectos y la disponibilidad de polinizadores. En el estudio se realizó un daño mecánico artificial (con hojas de afeitar) pero sin efecto alguno. Esto sugiere que los abejorros son reconocidos por químicos.

Cuervo de Nueva Caledonia: planifican en forma previa las herramientas a usar. Las decisiones pueden ser en fila (una decisión "paso a paso") o con una planificación previa (una secuencia de pasos por delante). **///** En un experimento los cuervos debían tomar un palo corto que servía para sacar una piedra de un tubo y usar la piedra para liberar un premio (carne). En tanto, había un palo largo que era un distractor y que debían ignorar. Un problema que tenían es que cada etapa estaba oculta y no podían ver todo. Además, se intercambiaba la posición de los tubos. Es decir, a medida que avanzaban, debían tener una imagen mental de dónde estaban los palos, la piedra y la carne. Si usaban la planificación "paso a paso", los llevaría a múltiples errores. Durante las pruebas, un cuervo (*Saturno*) nunca cometió un error. La planificación previa es una capacidad cognitiva más poderosa, más cuando se la combina con el uso de herramientas.

Cuervo común (*Corvus corax*)**: cómo planifica el futuro.** Las pruebas en laboratorio son artificiales en situaciones que no se enfrentan en la vida silvestre. Pero son una forma valiosa de observar potencialidades ocultas en la conducta. Por ejemplo, en la vida silvestre los cuervos guardan alimentos, pero lejos de ser una adaptación exclusiva para la alimentación, es una habilidad que permite improvisar nuevas soluciones en el laboratorio.

(1) /// Un estudio trabajó con cinco cuervos en cautividad. Se les mostró una caja que tenía un tubo que sobresalía de la parte superior, más tres piedras. Aprendieron que podían usar una piedra que, al dejarla caer por el tubo, abría la caja y liberaba la comida (una galleta para perros). También aprendieron que otros objetos familiares no funcionaban (una rueda de madera y una pelota). Luego se les mostró la caja, pero sin ninguna piedra, la caja no podía abrirse y se retiraron. Una hora más tarde, en otro lugar, se les presentó una piedra y otros objetos sin utilidad. Eligieron tomar la piedra aun sin

(311a) ¿Planificación del abejorro? Cuando hay poco polen el abejorro muerde la hoja con la trompa y mandíbula y hace una fisura. No se alimenta con esta acción, pero la planta florece varias semanas antes.



(311b) La prueba de autocontrol con aves.
(1) La cacatúa Goffin en la prueba de autocontrol (demorar el premio). (1a) Se le muestran los premios y se les da el de menor calidad. (1b) Deben sostenerlo en la boca sin tragarlo. (1c) Luego de un tiempo devuelven la pieza y (1d) reciben la de mayor calidad. **(2)** El loro gris (2a) supera la prueba de autocontrol ante dos tipos de alimento. (2b) También entienden la asociación entre una moneda de intercambio (anillo) que más tarde podrán cambiar por una pieza de comida de calidad (nuez). Eligen el anillo en lugar del grano de maíz y demoran la recompensa.

saber que se les presentaría nuevamente la caja. Luego de quince minutos se volvió a colocar la caja y la abrieron. La tasa de éxito fue del 86 %. Cuando la caja volvió a aparecer 17 horas después, tampoco tuvieron dificultades.

(2) Un caso de interés ocurrió con una hembra (*None*) que debió ser excluida de los ensayos. En la prueba de la caja, en lugar de esperar a la llegada de la piedra por horas, encontró la forma de llenar la caja con restos de corteza de árbol. Con esto logró el objetivo, siendo un caso de creatividad, aunque no pudo comprobarse el autocontrol.

(3) /// En otra tarea los cuervos aprendieron que podían intercambiar con el experimentador una tapa de botella de plástico por la comida para perros. Los cuervos aprendieron a guardar las tapas cuando las encontraban entre varios distractores. Las seleccionaron el 74 % de las veces. Estos cuervos superaron a todos los simios en la

tarea de trueque, a pesar de que no lo hacen en la naturaleza.

(4) /// En otra fase, se mezclaron recompensas de baja calidad inmediata con la herramienta para abrir la caja en el futuro. Esta prueba de autocontrol fue exitosa al 100 %. Se observó una capacidad de planificación en una situación que no ocurre en la naturaleza. Esto indica que algunas habilidades cognitivas no evolucionan solo en respuesta a problemas específicos. En cambio, pueden aplicar lo aprendido de manera flexible. Estos cuervos no están atrapados en el presente, pueden estimar el futuro.

(F311) Cacatúa Goffin (*Cacatua goffiniana*)**: problemas al elegir la herramienta apropiada.** Esta cacatúa de Indonesia tiene la capacidad de usar herramientas. La toma de decisiones relacionada con las herramientas puede surgir de una combinación de flexibilidad, disponibilidad sensomotora y control de impulsos. **///** En las pruebas de autocontrol se les ofrecieron dos recompensas, el anacardo (*Anacardium occidentale*) como alimento favorito y la nuez de pecán (*Carya illinoinensis*) que les gusta menos. Se utilizaron dos tipos de aparatos para contener los alimentos que se abrían con herramientas diferentes (un palo y una pelota). En las pruebas se les ofreció o un alimento inmediato o una de las dos herramientas. La elección de la cacatúa fue flexible, evaluando la calidad del alimento y la funcionalidad de la herramienta. Siempre trató de maximizar la recompensa. Pero, fracasaron cuando se les ofrecieron ambos aparatos con un alimento diferente. Debían decidir entre ambas herramientas. Parece que se alcanzó el límite en la capacidad de decidir.

Ratas: pueden hacer un viaje mental que anticipa una planificación. Según lo indicado en la capa memoria neuronal del modelo, en el hipocampo del cerebro de los animales, se almacena la memoria de lugares. Esto permite crear un periplo futuro como un "viaje mental en el tiempo" recorriendo lugares memorizados. **///** Los estudios indican que las neuronas del mapa de un laberinto se disparan en una secuencia que imita el recorrido de la geografía. La secuencia de disparos se realiza mientras están en viaje, de forma que pueden planificar la ruta. Las ratas que aprenden un laberinto programan neuronas que reproducen caminos anteriores y posibles en el futuro. Solo cuando se desarrolló el lenguaje, los humanos pudieron compartir sus historias de viajes mentales.

Mono capuchino negro (*Sapajus nigritus*). En Argentina se verificó la memoria espacial de este mono. Se trata de la capacidad para retener información sobre ubicación y estado de las frutas. Se siguieron 3 grupos silvestres y se evaluó la cantidad de fruta madura e inmadura presente en los árboles frutales que recorrían a diario. Se encontró que los capuchinos retienen la información sobre la ubicación y condición de cada árbol.

Primates en laberintos: la planificación de los movimientos a futuro. Un estudio evaluó a primates en un programa que generaba unos cien laberintos. Se probaron capuchinos, macaco Rhesus, chimpancés y humanos de dos a cinco años. La prueba consistía en mover el cursor a través de un laberinto para alcanzar una meta. Los monos mostraron más problemas que los chimpancés, en especial en laberintos que requerían mayor anticipación. Algunos laberintos tenían "puntos problemáticos" que debían anticiparse para programar el movimiento. El problema aparecía cuando era necesario alejarse del objetivo para eludir el encierro

y luego volver a enfocarse en el destino. Esta habilidad es un requisito para la cognición orientada al futuro. Parece que las diferencias en el rendimiento podrían estar relacionadas con la capacidad de enfoque en la tarea.

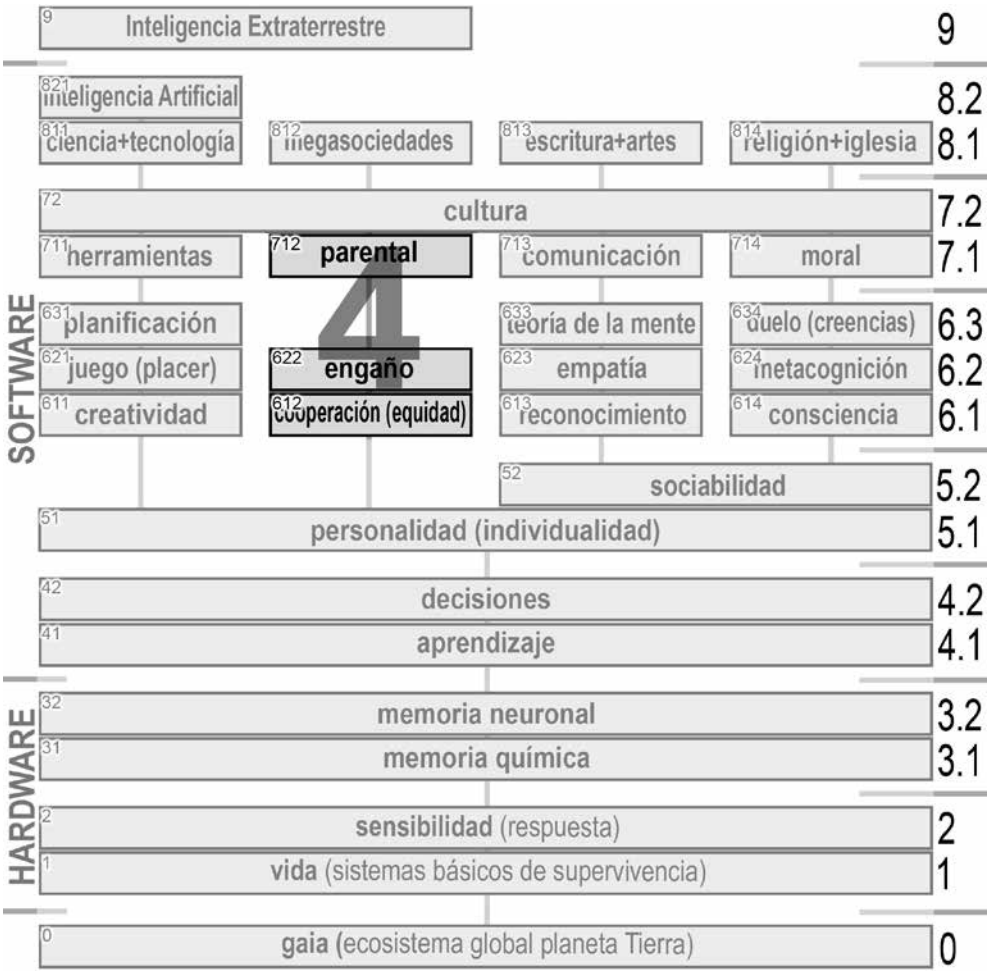
Orangután (*Pongo abelii*)**: la elección de la herramienta apropiada. ///** Un estudio trabajó con orangutanes en las selvas de Borneo y Sumatra. Se usaron bolitas de plátano (favorito) y trozos de manzana (menos atractivos) como premios. A estos artículos se accedía en dos aparatos diferentes. Uno requería sondear con una herramienta de palo y el otro dejar caer una bola. A los orangutanes se les ofrecían uno o los dos aparatos sin las herramientas. Luego se les daba a elección entre dos artículos: un alimento (recompensa inmediata) o una herramienta (para abrir los aparatos). Una vez elegido un artículo, el otro era retirado. Los orangutanes adaptaron sus decisiones. Si los aparatos estaban clausurados (la manzana o plátano eran inaccesibles), elegían la bolita de plátano (recompensa inmediata) en lugar de la herramienta. Si en cambio un aparato estaba activo, entonces tomaban la herramienta siempre que coincidiera con el aparato. Es decir, la herramienta tenía que ser funcional para ser elegida.

Chimpancés.

(1) Planifican el desayuno. Los chimpancé entienden cuáles son las frutas efímeras y preferidas y llegan muy temprano para conseguirlas. **///** Un estudio siguió a cinco chimpancés hembras adultas durante 275 días. El grupo dejaba sus nidos antes del amanecer cuando el bosque aún estaba oscuro. Se acercaban al árbol con las frutas más efímeras y sabrosas. A la noche hacían sus nidos cerca del árbol que usarían el día siguiente. Al analizar los horarios, posición de los nidos y tipo de fruta, se comprendió que planifican de manera flexible la actividad en función de múltiples datos.

(2) /// En un estudio con orangutanes y bonobos en cautividad se les ofrecieron ocho herramientas, dos de las cuales permitían conseguir comida. Cuando los simios tomaban la herramienta adecuada, se los trasladaba a un área diferente antes de que pudieran obtener la comida. Se llevó la espera hasta catorce horas. Siempre llevaron su herramienta incluso al día siguiente, después de dormir. El objetivo y la tarea seguían en la mente de los simios.

(3) /// La capacidad de planificación de los chimpancés de zoológicos los llevó a recolectar y almacenar piedras como armas contra grupos rivales. Un reporte indica que llegaron a ocultar las piedras debajo de heno para impedir que las vieran sus rivales.


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
4
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad (individualidad) 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

MODELO DE CAPAS

612 cooperación

¿de qué se trata? La cooperación es la forma más parsimoniosa de la vida. Según la teoría de juegos, la cooperación es una estrategia estable a largo plazo. Un ejemplo complejo se encuentra en el suelo (rizósfera), donde los distintos participantes se dividen las tareas. La cooperación es garantía de supervivencia, pero los seres vivos no se conforman. Para llegar a los niveles superiores del Modelo de Capas se necesita traicionar, innovar, superar al resto.

bacterias

La tragedia de los comunes o el dilema del bien público (1833). Esta parábola tiene un enfoque malthusiano y habla de la imposibilidad del crecimiento permanente. Cuenta de un pastor de ovejas que decide introducir una oveja adicional en un prado comunal. Así obtiene un pequeño beneficio marginal, con un efecto negativo casi imperceptible en el pasto. Pero, como el resto de los pastores sigue el ejemplo, el resultado es el agotamiento del pasto (el bien público). El razonamiento usado es el siguiente: "lo poco que yo lo uso, no lo agota", "si no lo uso yo, lo usará otro" y "de todas formas el bien es renovable". En los años de 1970 se reformuló como un aviso sobre los peligros de la superpoblación, el control poblacional para defender el ambiente, una responsabilidad ambiental individual y una justificación de la propiedad privada o de la estatización de recursos comunes.

Los que cooperan se aseguran el centro de la comunidad. En el suelo (la rizósfera) hay una comunidad de múltiples plantas (raíces), hongos y bacterias que mantienen un intercambio de elementos químicos (micronutrientes) y compuestos orgánicos. En ese inframundo conviene dividir los trabajos de metabolismo en lugar de hacer todas las funciones bioquímicas. Se puede ahorrar energía y ser más eficientes. Lo que produce un miembro se considera un bien común que se comparte en el medio extracelular. Esto facilita que existan miembros que, aunque no producen bienes, los consumen. Desde el punto de vista de la colonia son "egoístas" que traicionan las "normas comunitarias". **///** Un experimento con comunidades unicelulares en placas bidimensionales encontró que las

bacterias que no producen bienes pueden ser excluidas por las que colaboran. Solo pueden existir en el límite de las colonias. Las bacterias que cooperan forman el grupo central y excluyen a las egoístas. Por ejemplo, una bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*) produce el péptido PVD (pyoverdina) que se une al hierro. El hierro es un nutriente esencial y difícil de obtener en el suelo. Las bacterias que no producen PVD, aún tienen el receptor para recolectar la molécula con el hierro. Las bacterias que cooperan secretando PVD pagan un costo adicional cuando el suministro de carbono o nitrógeno es limitado. En cambio, las bacterias que no producen ahorran energía y pueden crecer más rápido.

Levadura de panadería: si no cooperan, fracasan. Un sistema colapsa si los "tramposos" son mayoría y compiten entre sí. Ese sistema no tiene futuro. La única estrategia estable a largo plazo es la cooperación. **///** Un estudio con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) encontró que, si la colonia está dominada por tramposos, es más probable que se extinga. Primero se encontró al gen (SUC2) que produce una enzima (invertasa) que descompone el azúcar. Es decir, de la sacarosa se obtienen la glucosa y fructosa. Los azúcares resultantes pueden ser usados por la levadura en la colonia. Las células tramposas que no producen bienes comunes (invertasa) logran subsistir usando los azúcares liberados por el resto. En el estudio se encontró que si superan el 90 % de la población es probable que la colonia se extinga cuando hay escasez de sacarosa. Esto lleva a ciclos de cooperación y explotación. La población fluctúa en espiral hacia una posición de equilibrio con una mezcla estable de cooperadores y tramposos.

La primera línea de combate se autodestruye para beneficiar al resto de la colonia. /// Un estudio trabajó con una cepa de bacterias *Escherichia coli* que fue intervenida con genes para los estudios con optogenética. La colonia de bacterias se enfrentó a otra colonia enemiga de la misma especie. Ambas cepas pueden producir toxinas contra colonias relacionadas. La cepa no modificada liberó toxinas que mataron a la primera línea de bacterias modificadas. Entonces la segunda línea que estaba expuesta a menos toxinas cambió al modo de autodestrucción. Estas bacterias pasaron una hora acumulando toxinas, luego explotaron y dispersaron la carga dañina al enemigo. Este autosacrificio tiene sentido porque en la colonia son clones idénticos.

Las colonias de bacterias se promedian cuando se juntan. /// Los humanos tienen colonias de bacterias en la piel. Un estudio de 2013 analizó esta comunidad en equipos de competición en el deporte de contacto *roller derby*. Se tomaron muestras a los jugadores antes y después de dos partidos. Se compararon las poblaciones bacterianas y se encontró que cada equipo tenía poblaciones similares y distintivas. Pero luego del partido las poblaciones de ambos equipos tendían a converger en una población intermedia.

hormigas y acacias

Un caso de cooperación y manipulación. Entre las hormigas y acacias existe una relación de cooperación (protección) y aprovechamiento (manipulación). La planta da cobijo para los nidos de hormigas en las espinas huecas y les alimenta en los nectarios fuera de las flores con compuestos dulces. Las hormigas atacan a todos los herbívoros (insectos, mamíferos o aves), defecan en la planta (restituyen el nitrógeno) y

controlan a las bacterias. Pero, esta relación de cooperación se matiza con manipulación, traiciones y engaños.

Las acacias y hormigas intentan preservar la relación existente. Una colonia de hormigas que posee una acacia la defiende contra otras colonias. En Kenia hay varias especies de hormigas que compiten por las acacias. Usan estrategias para excluir a otras colonias.

(1) /// Una especie (*Crematogaster nigriceps*) poda los brotes del árbol, lo que reduce el crecimiento lateral. Esto evita el contacto con otros árboles desde donde podrían ser invadidos. Otra especie (*Tetraponera penzigi*) no utiliza los nectarios extraflorales para alimentarse, por lo que los destruye y reduce el atractivo del árbol a especies que los necesitan.

(2) /// También la planta manipula a las hormigas para evitar que emigren. Una especie de acacia *(Acacia cornígera*) fideliza a la hormiga asociada (*Pseudomyrmex ferrugineus*) mediante químicos en el néctar. Las sustancias químicas impiden la digestión del néctar de otras plantas para fomentar la fidelidad. Así las hormigas aprenden a permanecer en su planta hospedadora.

Hormiga *Crematogaster mimosae***: la guerra entre colonias termina con la unión.** Esta hormiga es la más común y ocupa el 50 % de las acacias. Son muy agresivas con otras colonias de la misma especie. La colonia que pierde la lucha también pierde el árbol. Pero la que gana se debilita y tiene problemas en mantener el nuevo territorio. **///** Un estudio en Kenia incentivó guerras de hormigas atando árboles de colonias no relacionadas y contando las víctimas en lonas colocadas debajo de los árboles. Luego se analizó el ADN de 800 hormigas. Se encontró un cambio de composición genética en la colonia victoriosa. Los miembros derrotados pasan a ser parte de la colonia vencedora. Se vio que las peleas fatales con miles de bajas no producían un ganador. Las colonias dejan de luchar y se fusionan, con la reina de cada colonia aún viva. Una posibilidad es que cambien los olores de CHC y se vuelvan indistinguibles. Es la cooperación después de la guerra.

Estrategias de la planta para controlar la agresividad de las hormigas. Las hormigas guardianas de acacias son agresivas, no sirven como polinizadoras e impiden que se acerquen los verdaderos polinizadores. Algunas plantas usan barreras físicas o superficies resbaladizas para proteger las flores de las hormigas. Pero las acacias no tienen estas barreras, tienen flores abiertas, así que dependen del control químico con las hormigas. **///** Un trabajo encontró que las acacias, durante la floración, producen más néctar en los nectarios fuera de las flores. Esto retiene a las hormigas sin necesidad de ir a las flores. Pero además producen en el polen unos químicos repelentes específicos. Para las hormigas es repelente y para las abejas, es atractivo. Se cree que imitan a las feromonas que las hormigas usan para señalizar el peligro. Cuando la flor ya fue polinizada, este repelente se disipa y las hormigas retornan y protegen a la flor fecundada.

Las hormigas parásitas y mutualistas como huéspedes. Una acacia (*Acacia hindsii*) nativa de Centroamérica tiene una hormiga mutualista (*Pseudomyrmex ferrugineus*) y otra parásita (*P. gracilis*). Ambas viven en la planta, pero la segunda hace un aporte muy inferior y es parásita de la otra hormiga. **///** Un análisis comparó hojas de acacias de plantas con hormigas mutualistas y parásitas y otras a las cuales se les quitó una o ambas hormigas. Las hojas con

hormigas parásitas mostraron más daño de herbívoros y patógenos microbianos que las que tenían solo hormigas mutualistas. El número de patógenos y tejidos muertos aumentó cuando se quitó las hormigas mutualistas. También mostraron mayor concentración de ácido salicílico, una fitohormona que regula la defensa contra los patógenos. Aunque mucho menos pronunciado, este efecto también se pudo observar cuando se quitaron las hormigas parásitas, lo que indica que tienen alguna función.

los peces

(F401) Pez limpiador: ofrece un servicio comercial de limpieza a varios clientes. Estos peces son una denominación genérica que describe a una forma de vida. Se alimentan de parásitos vivos y tejidos muertos entre las escamas de otros peces más grandes. Es una relación mutualista que reparte alimento, protección y beneficios a la salud.

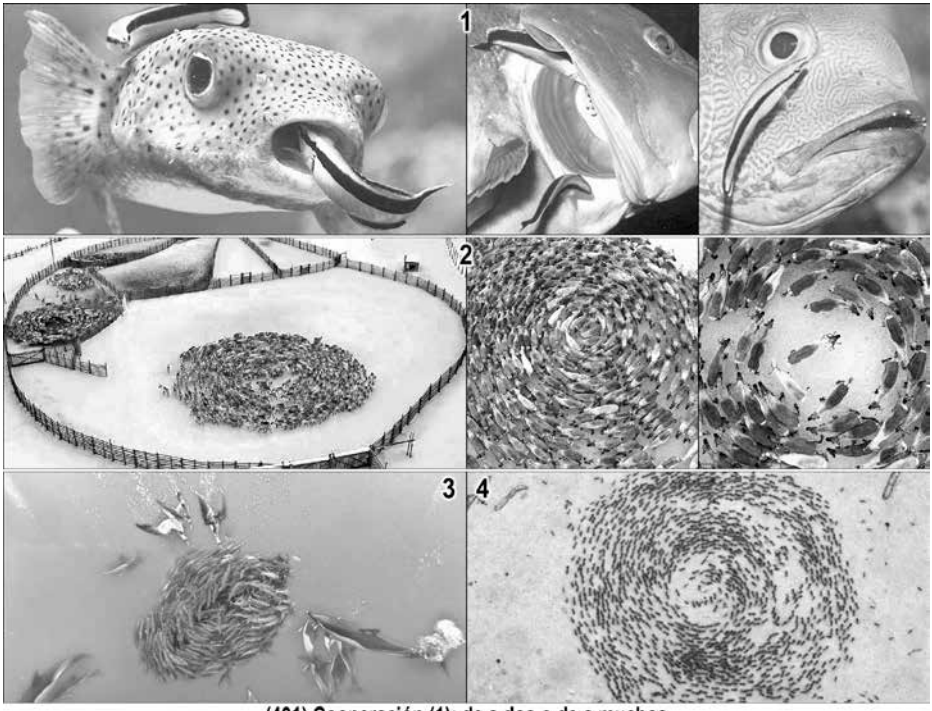
(1) Cuidar al cliente. /// En un trabajo se siguió la conducta con dos tipos de clientes. Uno es el pez loro que es visitante estacional en la zona de investigación y otro es un pez residente (*Dascyllus melanurus*) de todo el año. A los peces limpiadores les gusta pellizcar las capas protectoras de moco de sus clientes más que a los parásitos. Pero, el estudio encontró que los visitantes pueden cambiar de limpiador si no obtienen un buen servicio. Se observó que cuando hay una audiencia (alguien que está mirando) impacta en los niveles de cooperación. En este caso los limpiadores trabajan para mejorar su reputación y el pez observador se forma una imagen para decidir qué limpiador es mejor o cuál debe evitarse.

(2) Relación comercial. /// Un estudio encontró que los peces estacionales fueron tratados más rápido, con más delicadeza, y con menor probabilidad de engaño. Lo que ocurre es que los peces residentes no tienen posibilidad de cambiar de lugar y son un cliente cautivo que acepta el maltrato. En cambio, los estacionales recorren el área y los limpiadores le dan prioridad al alimento pasajero. Sin embargo, un estudio realizado luego de un ciclón y oscilaciones de El Niño, donde murieron el 80 % de los limpiadores, entregó otros resultados. Los desastres naturales cambiaron las relaciones comerciales y los limpiadores dejaron de dar trato prioritario a los peces visitantes. Se observó que los limpiadores se adaptaron a las condiciones del mercado y actualizaron sus estrategias.

(3) Beneficios del pez limpiador. /// En un experimento se midió la ventaja de la limpieza que produjo un pez limpiador (*Labroides dimidiatus*). Se usaron pruebas de aprendizaje sobre peces infectados artificialmente con parásitos. En una prueba se colocó comida sin olor en una de dos placas y los peces aprendieron a asociar la placa con el alimento. Luego se cambió la ubicación del alimento y volvieron a aprender la asociación. También se enseñó a asociar una imagen abstracta frente a un plato con la comida. Se probaron peces sanos y con parásitos. Un grupo de peces expuestos a parásitos respondió bien a las dos pruebas iniciales, pero muy mal en la tercera. Los peces que se hacen limpiar crecieron más rápido y alcanzaron tamaños mayores. Limpiarse (sanidad) mejoraba la capacidad de aprendizaje de los peces.

La caza en forma colaborativa en los arrecifes de coral. Se trata de especies que tienen tácticas de caza complementarias, por lo que, al combinarlas, se reducen las opciones de escape de la presa.

(1) El mero (*Plectropomus pessuliferus*) **se asocia con la morena gigante** (Gym-



(401) Cooperación (1): de a dos o de a muchos

(1) Cooperación entre distintas especies. El pez limpiador (*Labroides dimidiatus*) trabaja en la boca, agallas y ojos de otros peces clientes. **(2)** Cooperación en un rebaño. Los renos del ártico forman espirales cuando hay un peligro. Tanto a campo abierto como en los corrales. **(3)** Un cardumen de caballa se refugia del ataque de petreles y delfines. Los delfines tienen técnicas cooperativas para la pesca de cardúmenes. **(4)** Muy diferente es el caso de las hormigas guerreras que son ciegas y pueden entrar en un loop suicida siguiendo el rastro de feromonas.

nothorax javanicus) **para la caza. ///** Las asociaciones entre ambas especies son buscadas por los meros que envían señales a las morenas. La señalización depende del nivel de hambre del mero. Hay una diferencia de roles entre ambas especies en los arrecifes de coral del Mar Rojo. Los meros son depredadores diurnos que cazan en aguas abiertas y las morenas son nocturnas y cazan en las grietas.

(2) Trucha de coral (*Plectropomus leopardus*)**. ///** Un experimento simuló una morena modelo que arrojaba la presa al aire libre. Entonces la trucha recibía una recompensa simulando una caza exitosa. Se probaron ocho truchas en cuatro pruebas diarias durante seis días. Se le presentaron dos modelos de morenas y una presa en una grieta. Un tipo de modelo actuaba de buen colaborador, nadando cerca de la presa; la arrojaba fuera y permitía la caza de la trucha. El otro tipo de modelo nadaba lejos de la presa e impedía la caza. Se concluyó que las truchas aprendieron cuándo requerían un colaborador para asociarse y quién era el mejor. Los resultados fueron similares a los chimpancés.

las aves

Los cuervos aprecian trabajar en grupo.

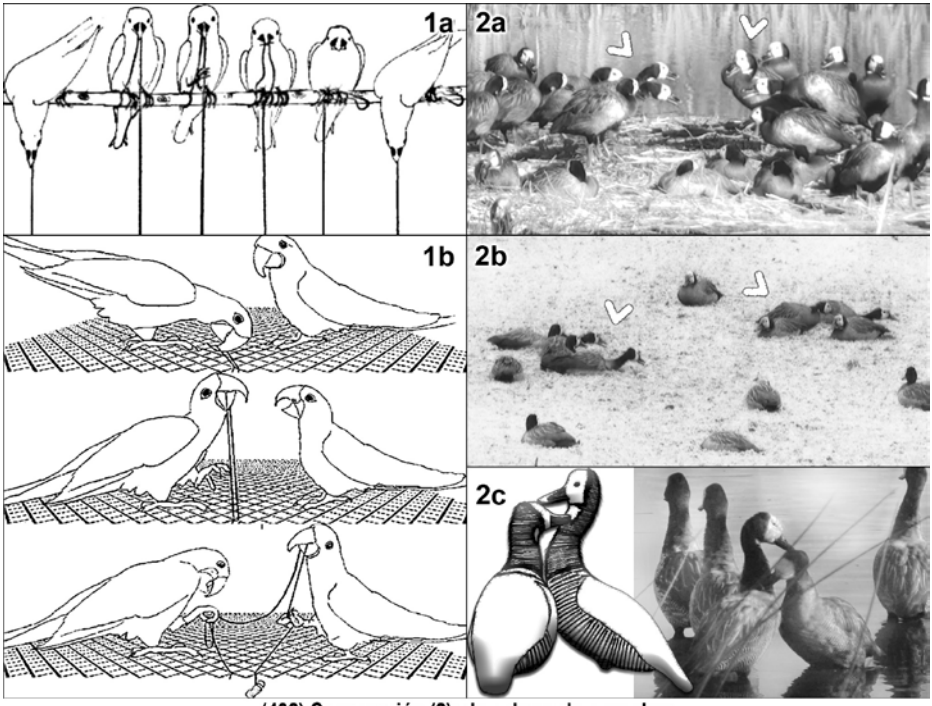
(1) Cuervo cuello marrón (*Corvus ruficollis*)**: se asocian para cazar lagartos.** El lagarto mastigura (*Uromastyx aegyptius*) en el Valle de Arava (Israel) es cazado por cuervos en forma cooperativa. **///** Un reporte informa de nueve cacerías donde la técnica fue similar. El mastigura estaba a cierta distancia de la entrada de su madriguera, alimentándose de arbustos o tomando sol. El ataque se inició con un par de cuervos volando en círculos y aterrizando en la entrada de la madriguera. Esto cortaba la ruta de escape. Los otros cuervos atacaban al lagarto, picoteándolo hasta matarlo. Solo cuando estaba muerto los dos cuervos de la madriguera se alimentaban.

(2) Cuervos: impiden alianzas que sean posibles competencias. /// Un estudio con 300 cuervos silvestres en Austria encontró que construyen alianzas sustentadas en el aseo y el juego entre dos individuos. Estas alianzas fueron interrumpidas por un tercer individuo en cerca del 50 % de las oportunidades. No fueron intervenciones al azar, porque el que interrumpe suele ser un miembro de una alianza. Además, intervienen solo cuando se está en proceso de establecer una alianza nueva. Los cuervos aliados pueden permitirse estrategias arriesgadas para impedir nuevas alianzas competidoras. Parece que llevan un seguimiento de las relaciones de los demás lo que les permite evitar actuar cuando están en la etapa prematura o en caso de una pareja ya establecida. Ni demasiado pronto, ni demasiado tarde. Es una maniobra política sofisticada.

(3) Cuervo común (*Corvus corax*)**: se organiza mediante el canto.** Las aves pueden imitar sonidos, lo que les permite comunicarse, alertar o engañar. **///** Por ejemplo, los cuervos utilizan los llamados *haa* para organizar el proceso de alimentación. Un estudio se realizó en una población de cuervos durante la alimentación del jabalí en Austria. Los cuervos siguen a los jabalíes y se alimentan junto a ellos aprovechando el movimiento de tierra. Cada sesión de alimentación se grabó en video y audio para identificar al origen y las llamadas. Se analizaron 418 llamadas de doce cuervos. Se encontró que proporcionan pistas sobre la edad y el sexo del que llama, variando en frecuencia, duración y amplitud. Esto sirve a otros cuervos para la toma de decisiones en cuanto a cómo unirse o dónde evitar grupos.

(F402) Loros sudamericanos: pueden cooperar para secuenciar acciones y movimientos. /// Un estudio trabajó con tres especies de loros de Sudamérica: amazona frente azul (*Amazona aestiva*), guacamayo jacinto (*Anodorhynchus hyacinthinus*) y guacamayo lear (*A. leari*). En las pruebas se varió la posición espacial, la presencia de un premio y la continuidad de la cuerda de la que se debería tirar. Se concluyó que algunos individuos de las tres especies pudieron usar la cuerda como un medio para alzar la comida. Además, pudieron determinar visualmente la presencia de continuidad física entre la cuerda y la recompensa. En muchas ocasiones colaboraban en parejas para jalar de la cuerda.

(F402) Sirirí pampa (*Dendrocygna viduata*)**: pelea en grupo y acicalamiento simultáneo.** Las aves rara vez pelean en grupo. El sirirí pampa es una excepción documentada en "La cultura de las aves". **///** Se puede observar cuando forman dos bandos agrupándose de a poco. La posición de ataque es muy simple: el cuerpo está inclinado hacia adelante, el lomo encorvado (como con una joroba), el cuello extendido, el pico abierto



(402) Cooperación (2): de a dos y de a muchos

(1) El paradigma de tirar de la cuerda. Muchos animales lo hacen por si mismos. Pero el guacamayo jacinto colabora para jalar cuerdas entre ambos. **(2)** En los sirirí pampa (*Dendrocygna viduata*) se forman alianzas para pelear entre grupos tanto en tierra (2a) como en el agua (2b). La sociedad se fomenta mediante el acicalamiento en simultáneo (2c).

amenazante y los gritos son abundantes ("*sirirí…sirirí*"). El pico tiene configuración roma y no engendra peligro. No quedarán heridas luego de estas acciones. La evolución los ha provisto de valentía y solidaridad, pero de ninguna arma ofensiva. Los enfrentamientos son en tierra y agua. Pero, mientras en tierra el grupo es compacto, casi se colocan hombro contra hombro (formando un *scrown* como en el *rugby*), en el agua se pierde este orden. El grupo se dispersa y la acción se transforma en temerarias avanzadas individuales. Los atacantes se internan en el grupo opositor, desde donde intentarán huir de inmediato. Los grupos mantienen la solidaridad gracias al acicalamiento mutuo. Consiste en el picoteo para limpiar las plumas del vecino en las zonas ocultas de la cabeza y cuello. Ambos trabajan a la vez, no como en la mayoría de los animales que se alternan en el cuidado.

mamíferos

Murciélagos vampiros (*Desmodus rotundus*)**: comparten comida regurgitando.** El hecho de compartir comida con extraños se adjudicó a errores de reconocimiento de familiares, al altruismo dentro del grupo o el acoso del vecino.

(1) /// Un estudio de dos años trabajó con veinte murciélagos que ayunaron e intercambiaron alimento durante 48 días. Estos murciélagos se alimentan solo de sangre y mueren luego de setenta horas de ayuno. Se encontró que los donantes iniciaron el intercambio con más frecuencia que los receptores. Por esto, la causa no puede ser el acoso. Además, el 64 % de los intercambios eran con no emparentados, por lo que el nepotismo estaba ausente. El intercambio con los dadores anteriores era 8,5 veces más importante que la relación parental. Esta cooperación recompensa a los que colaboran y castiga a los tramposos.

(2) /// Un trabajo informó que las hembras estudiadas regurgitan sangre a sus descendientes (77 de 110 donaciones). También alimentan a hembras adultas, parientes y solo a compañeros de habitación frecuentes.

Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*)**: sociedad para el éxito sexual. ///** Los machos de delfín forman grupos donde dejan de lado la competitividad sexual. Estas alianzas tienen un mayor éxito reproductivo que los machos aislados. Las alianzas son de dos a cuatro machos y pueden durar de una temporada a muchos años. Implica un alto nivel de tolerancia mutua, cooperación y coordinación. Se encontró que cuantos más socios tenga un macho, más éxito tendrá en la reproducción.

Capuchino pardo (*Cebus apella*)**: cooperan con extraños. ///** Los estudios con estos capuchinos encontraron que están dispuestos a cooperar tanto con los del mismo grupo como con desconocidos. Se observó que se volvían más prosociales si podían alternarse y ayudarse entre sí. No se encontraron evidencias de que prestaran atención a lo que hizo la pareja antes, por lo que era menos importante la reciprocidad que lo prosocial. Esto significa que aprovechan los beneficios de la cooperación y que tienen la capacidad de cooperar con extraños.

chimpancés

Teoría de juegos (i) "caza del ciervo": mide la voluntad de cooperar. La teoría de juegos ocupará varios ítems en las próximas páginas. El juego de "caza de ciervo" permite elegir entre perseguir en solitario a una presa menor (liebre) o en pareja a una presa mayor (ciervo). Por ejemplo, si uno o ambos elijen la liebre podrán obtener un punto. Pero si ambos eligen el ciervo, el premio puede valer tres puntos. Para ganar el ciervo, hay que coordinarse. En la naturaleza, los chimpancés macho coordinan sus actividades para capturar presas importantes (monos), por lo que sería posible la cooperación en laboratorio.

(1) Problemas para coordinar las parejas. /// Un estudio trabajó con 8 capuchinos, 24 chimpancés y 52 humanos. Se les ofrecía la oportunidad de seleccionar una alternativa (liebre o ciervo representados por fichas de color). El premio era diferente y desconocido, pero en la elección ciervo-ciervo el valor del premio era mayor. Todos tuvieron dificultades para coordinar la opción de ciervo. Los capuchinos eligieron la alternativa ciervo muy pocas veces y solo una pareja de cada seis lo elegía más veces que el azar. Los chimpancés y humanos fueron un poco mejores. Solo los humanos pudieron mejorar sustancialmente, pero si se les daba la posibilidad de comunicarse. Los resultados fueron diferentes en las tres especies, pero muy cercanos. Solo 5 de 26 parejas humanas (20 %) eligieron ciervo-ciervo por encima de los chimpancés. Pero si podían comunicarse, los humanos llegaron al 100 % de elecciones. La comunicación en humanos es imprescindible para la cooperación.

(2) La solución es la pareja "líder-seguidor". /// En otro trabajo, se les ofreció a parejas de chimpancés una tarea de búsqueda de alimento solos o en pareja. Se los entrenó para que entendieran la relación entre forma de búsqueda y recompensa. En este caso lograron obtener el ciervo en el 91 % de los casos. Lo hicieron con muy poca comunicación o monitoreo visual de su pareja. Parece que usaron una estrategia simple de "líder-seguidor". Una vez que uno tomaba el riesgo e iba por el ciervo, lo mejor para el otro era seguirlo. Por ejemplo, en las palomas, los líderes tienen una influencia casi absoluta en el camino elegido.

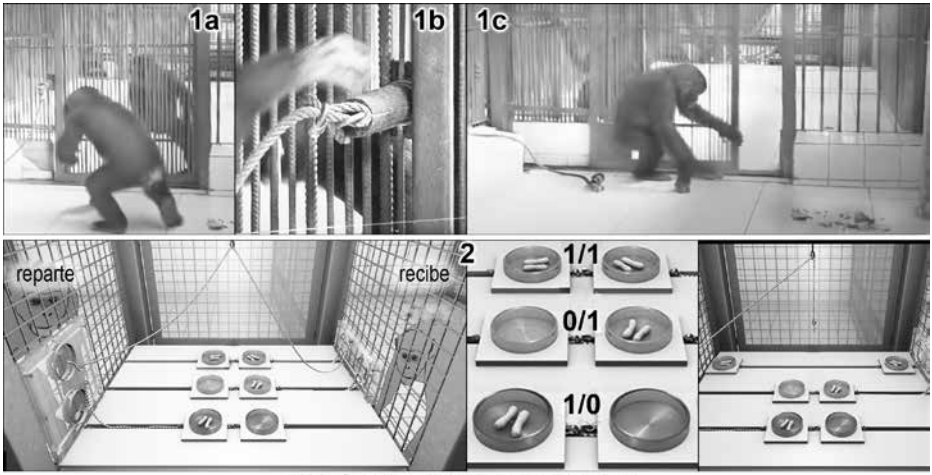
(3) Los humanos cooperan más que los chimpancés. /// Un estudio en Congo trabajó con chimpancés y niños humanos de tres años. La tarea se podía realizar solos o con un compañero. Se trataba de una plataforma con dos cuerdas. La tarea se controló para garantizar que no hubiera incentivos para trabajar solos o en pareja. Los niños eligieron cooperar en el 78 % de los casos y los chimpancés en el 58 %.

Como comparten los chimpancés.

(1) En la naturaleza. /// En Senegal se observaron 41 casos donde chimpancés compartieron una gran cantidad de elementos. Se compartió carne de caza, plantas silvestres, herramientas, miel y tierra. La mayor parte se clasificó como recuperación o intercambio pasivo, desde los machos a las hembras (27 veces) y de dominantes a subordinados. Una parte se justifica en el intercambio de carne por sexo, lo que aumenta el éxito reproductivo del macho y la ingesta de calorías de la hembra.

(2) En el laboratorio. /// En un estudio con 18 chimpancés se bloqueó el acceso a los alimentos y se los dosificó. Se agruparon en parejas y se les dio la opción de liberar comida en el formato 1/0 ("solo para mí") o 1/1 ("comida para ambos"). La opción 1/1 ocurrió el 50 % de las veces, por lo que no demostraron interés especial en compartir. Solo elegían la opción 1/1 con compañeros que habían hecho lo mismo. Lo cual es coherente con los modelos de la teoría de juegos sobre la cooperación social. Además, parece que pueden evaluar la magnitud de la recompensa, cuanto más se arriesgó su compañero, mayor es la disposición a ofrecer una recompensa proporcional. Se trata de una "contabilidad emocional". Es posible que quieran corresponder a la voluntad de cooperar y señalar su deseo de establecer lazos sociales. Esto coincide con los niveles altos de oxitocina (una hormona prosocial) cuando cooperan con los congéneres.

La cooperación se relaciona con la hormona oxitocina. /// Un estudio trabajó con dos grupos rivales de chimpancés en Costa de Marfil durante dos años. Cada uno tenía cinco machos y cinco hembras. En paralelo se tomaron muestras frescas del suelo cuando los chimpancés orinaron. Se midió el nivel de oxitocina y se observó que aumentaba cuando se preparaban para la confrontación o cuando se aventuraban en territorio rival. Los niveles aumentaron al doble respecto de los valores de control. En laboratorio, cuando se les dio oxitocina a los machos se afiliaron más a los propios y fueron refractarios a los extraños. Se sospecha que la oxitocina puede estimular las partes sociales del cerebro y reducir la ansiedad para facilitar la cooperación. También se encontró que comparten alimento y que el acoso no influyó en la decisión de compartir. Toman la decisión de cuándo compartir en función de la probabilidad de que este favor sea devuelto en el futuro. La oxitocina fue mayor luego de una caza y de compartir alimentos.



(403) Cooperación (3): en los bonobos

(1) El bonobo comparte la comida en forma voluntaria. El que tiene la comida abre una puerta mediante una "llave" (1b) para que ingrese el otro bonobo que está en la cámara vecina. **(2)** Cuando se trata de repatir comida se puede ofrecer alternativas: "comida para ambos 1/1" o "comida solo para mi 1/0".

Las decisiones prosociales se toman más rápido. Tanto en los contextos de recompensar o castigar, los chimpancés que toman decisiones prosociales lo hacen más rápido que cuando son egoístas. **///** Un estudio en el Congo con 40 chimpancés evaluó la cooperación y el autocontrol. En una tarea, el chimpancé podría darle a un compañero un objeto que estaba fuera de su alcance. Se encontró que tenían más probabilidades de elegir la opción prosocial (compartir el alimento) si tomaban una decisión rápida. Sin embargo, si dedicaban tiempo para decidir, era más probable que se quedaran con la comida. Esto apoya la idea de que las personas cooperativas tienden a tomar decisiones prosociales más rápido que las egoístas.

bonobos

Bonobos (*Pan paniscus*)**: cooperar y compartir en la naturaleza.** Los bonobos de la selva (RD Congo) cazan y comen carne dos veces al mes. En la mayoría de los casos, matan de manera oportunista a un pequeño antílope duiker (*Cephalophinae*). **///** En una observación, los bonobos de la comunidad de Bompusa-oeste se reunieron con la comunidad de Bompusa-este. Después de atrapar al duiker, el macho alfa del oeste reunió a los miembros de ambas comunidades que se acercaron de inmediato. Se trasladó a la copa de un árbol alto, seguido de nueve hembras (cuatro del primer grupo y cinco del otro) y su descendencia. Durante la siguiente media hora, les repartió un poco de carne. La solicitud era mediante miradas y estirar las manos, pero sin agresión o toma forzada. Los trozos de carne fueron comidos de inmediato. Una hembras del este tomo la cabeza del duiker y la compartió con su descendencia y otras hembras.

(F403) Cooperar y compartir en pruebas controladas.

(1) /// En la cuenca del río Congo se estudiaron a dieciséis bonobos. El experimento

consistió en llevar a un bonobo a una habitación dividida en dos por una valla. Un trozo de manzana colgaba de una cuerda en la sala vacía. Era visible pero fuera del alcance. Sin embargo, si trepaba por la cerca podría alcanzar la cuerda y soltar la fruta que caería del otro lado. Se encontró que cuando había otro bonobo, aunque fuera desconocido, soltaban la fruta. No esperaron a que se les pidiera ayuda, solo se la ofrecieron. Ayudaban con la misma frecuencia si el extraño hacía un gesto para pedir ayuda o no. Parece que el impulso de ayudar a los extraños no es totalmente consciente. Los grupos humanos cooperadores invierten en bienes comunes.

(2) /// En Lola-Ya (RD Congo) un experimento trabajó con bonobos huérfanos del santuario. Un bonobo hambriento se ponía en una habitación con comida y una llave. Podía comer de inmediato o usar la llave, abrir la puerta y permitir la entrada de otro bonobo al que podía ver. Se encontró que preferían abrir la puerta y compartir los alimentos. No se observaron signos de agresión, frustración o cambio de velocidad.

(3) /// En otro experimento se trabajó con bonobos que habían aprendido a romper nueces con rocas. Tenía dos alternativas, roer con esfuerzo la nuez de palma o romperlas con piedras. Se colocaron dos bonobos en jaulas conectadas por una abertura. Un bonobo tenía cinco nueces y el otro, dos piedras. Estaban en libertad de intercambiar cosas. En el 18 % de los casos, el que tenía nueces las compartió con el vecino. Pero nunca el que tenía piedras las compartía. Esta falta de generosidad fue más evidente con el científico. Un bonobo tenía un palo que le era reclamado por el científico a cargo del experimento. Casi nunca entregó el palo, incluso parecía burlarse al mostrarlo y cuando estaba por alcanzarlo, lo escondía. En los estudios con chimpancés, la situación fue a la inversa, negando la comida pero compartiendo herramientas. En la naturaleza es raro que el bonobo use herramientas, no deben estar acostumbrado a compartirlas y puede que no comprendan el valor potencial para su compañero.

Cómo comparten el bosque los humanos. /// Un estudio trabajó con humanos pastores de la zona de Bale Oromo (Etiopía). Se analizó la cooperación en grupos y su relación con los bienes de la comunidad. Se incorporaron al estudio datos de individuos libres que no cooperan, pero usan los bienes del bosque. Se trabajó con 679 individuos de 49 grupos. Los grupos diferían entre 0 y 88 % de cooperadores. En los grupos con menor cantidad, la participación de individuos libres fue mayor. Se observó que los grupos con mayor participación de cooperadores tenían más éxito en la gestión de los bosques (cantidad de árboles por hectárea). Estos grupos patrullaban más los bosques y así disuadían a los libres. Los cooperadores están dispuestos a gastar recursos para detectar individuos que se benefician de sus inversiones.

MODELO DE CAPAS

622 engaño

¿de qué se trata? Hay una línea continua de interacciones entre cooperar o engañar. Un engaño está hecho para generar una desigualdad, pero una cooperación puede resultar en una inequidad. Entonces puede surgir una aversión a esa inequidad. La cooperación aparece como la relación más simple y parsimoniosa desde el punto de vista de la teoría de juegos. El engaño es mucho más interesante. El menor nivel de engaño es el parasitismo que ocurre por razones ancestrales. Por ejemplo, especies o individuos que carecen de genes necesarios para una actividad y deben tomar los recursos de otros. Un peldaño más arriba ocurre cuando la conducta se adapta sobre la base de la respuesta de los otros. Pero el caso más interesante para el modelo de capas es el engaño voluntario. En este caso se evalúan alternativas, el momento y la victima apropiada. Los ejemplos de engaño de bajo nivel ocurren en las plantas, donde las decisiones están "cableadas" en los genes. Sin embargo, la epigenética le da "espesor" al engaño en las plantas mediante decisiones que son adaptables. El engaño sofisticado requiere cerebro y es evidente en las aves y mamíferos, donde se detecta la intencionalidad. Hay una conexión entre mentira y engaño. Verdades hay muchas, una misma realidad soporta "infinitas" interpretaciones que son verdaderas. Dada una interpretación que se asume como verdadera, la mentira busca desdecirla en forma consciente. El engaño aparece como más suave que la mentira. Se buscan resquicios entre las interpretaciones de la realidad para obtener algún beneficio adicional.

plantas e insectos

La brazzeína imita al azúcar pero es de mala calidad. Esta proteína imita el sabor de la fruta azucarada, pero tiene bajas energías. Cuando los primates comen la fruta del arbusto africano (*Pentadiplandra brazzeana*) pierden el tiempo, no los alimenta. **///** Una hipótesis sugiere que la planta está engañando a los primates con proteínas muy dulces pero bajas en calorías, con el objeto de dispersar sus semillas a bajo costo. En un estudio se observó que los gorilas no comen este fruto, quizás porque perdieron la sensibilidad a la brazzeína. En 51 especies de primates se ana-

lizó la secuencia de ADN y se encontró el gen (TAS1R3) que produce la proteína encargada de unirse a brazzeína. Solo el gorila tiene dos mutaciones que deforman al receptor y evitan que se detecte la brazzeína. El hombre detecta esta proteína y se sugirió usarla como edulcorante bajo en calorías.

La pérdida de fidelidad en la polinización. La ausencia repentina de la especie dominante puede cambiar toda la cadena de fidelidad en la polinización. **///** Un estudio trabajó en praderas a 2.900 m de altura, demasiado altas para que estén las abejas melíferas. Se formaron veinte parcelas de 20 m^2 con flores silvestres y se usaron redes para aislar 736 polinizadores dominantes y quitarlos del sistema. Se contabilizaron 30 especies de polinizadores y 43 de plantas con las que interactuaban. Se encontró que el 78 % de los abejorros en los grupos de control eran fieles a una sola especie de flor. Pero la fidelidad cayó al 66 % en las parcelas cerradas sin el insecto dominante. Además, bajó la productividad con un tercio menos de semillas. En tanto, se atraparon las abejas mientras polinizaban una planta (*Delphinium barbeyi*), se anestesiaron y se registraron los tipos de polen. El resultado indicó que al eliminar al polinizador principal, el resto de polinizadores abandonaron sus estrategias anteriores. El número de abejas que portaban al menos dos tipos de polen aumentó en un 17,5 %. Se alteraron los patrones de forrajeo de los polinizadores remanentes (abejas, mariposas, escarabajos). Se concluyó que, cuando falta el dominante, el mejor recurso de néctar queda libre y atraerá a los otros polinizadores. Esto deja a las plantas minoritarias sin polinizadores y se interrumpe la fidelidad floral (el engaño está en la pérdida de fidelidad).

La planta, la araña, la abeja y la mosca. Las flores publicitan recompensas que entregan en el polen y néctar. Usan formas, colores, olores y sabores. Sin embargo, se estimó que el 4-6 % de las plantas que son polinizadas por moscas las engañan de alguna manera, publicitando lo que no entregan. **///** Una planta suculenta (*Ceropegia sandersonii*) engaña a las moscas (género *Desmometopa*) para que polinicen sus flores. La morfología de la flor permite atrapar en forma temporal a las moscas y liberarlas luego, con el polen a cuestas. Estas moscas se alimentan de abejas que fueron muertas por arañas. Cuando una araña atrapa a una abeja, la abeja libera una gota de veneno con feromonas volátiles que sirven de alarma para otras abejas. Pero también son detectados por las moscas que se dirigen a comer de la abeja muerta. Aquí es donde interviene la planta, porque genera compuestos que imitan ese aroma. El estudio de los gases mostró que el aroma floral es comparable con el que liberan las abejas atacadas. Algunos de esos compuestos provocan una respuesta en las antenas de las moscas polinizadoras, lo que las impulsa a las flores. Así, la flor engaña a la mosca con una comida de araña y la usa para esparcir el polen.

La planta, la oruga y la hormiga. La mariposa del roble azul (género *Arhopala*), en estado de oruga, se alimenta en las plantas del género *Macaranga*. Este árbol está protegido por hormigas que viven en la planta. Aun así, algunas especies de mariposas logran engañar a las hormigas y depositar los huevos. **///** Un estudio obtuvo orugas de mariposa de tres especies en Malasia. Se extrajeron los hidrocarburos cuticulares CHC de los insectos y los compuestos volátiles COV de las hojas. Son compuestos químicos poco volátiles. Luego se analizaron las respuestas químicas y conductuales de las hormigas. Se encontró que, en la mariposa *A. dajagaka*, los CHC coinciden con los COV

de la planta macaranga. Esto justifica que las hormigas atendieran a las orugas. Pero, la mariposa *A. amphimuta* tiene CHC que no coincidían con la planta y fue atacada por las hormigas. La tercera especie *A. zylda* carecía de CHC y fue ignorada por las hormigas. Las estrategias para engañar pueden generar un abanico de alternativas.

La planta, el escarabajo y la bacteria. /// El escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*) es un herbívoro que ataca a las plantas de tomate, berenjena y papa. No tiene glándulas salivales, por lo que regurgita secreciones con bacterias intestinales para comenzar la digestión de las hojas. Un estudio encontró que los compuestos químicos de defensa de la planta son diferentes para el escarabajo y para las bacterias. Contra el escarabajo, la planta usa ácido jasmónico que suprime la digestión y el crecimiento del insecto. Lo que hace es inducir la producción de inhibidores de proteínas digestivas (proteasa y polifenol oxidasa). En cambio, contra las bacterias patógenas, la planta tiene el ácido salicílico. Luego se estudiaron las bacterias en las tripas del escarabajo y se encontraron 22 tipos de compuestos. Algunos de estos suprimían la respuesta de la planta contra los escarabajos (ácido jasmónico). Así que las bacterias tienen compuestos que defienden al escarabajo de la planta.

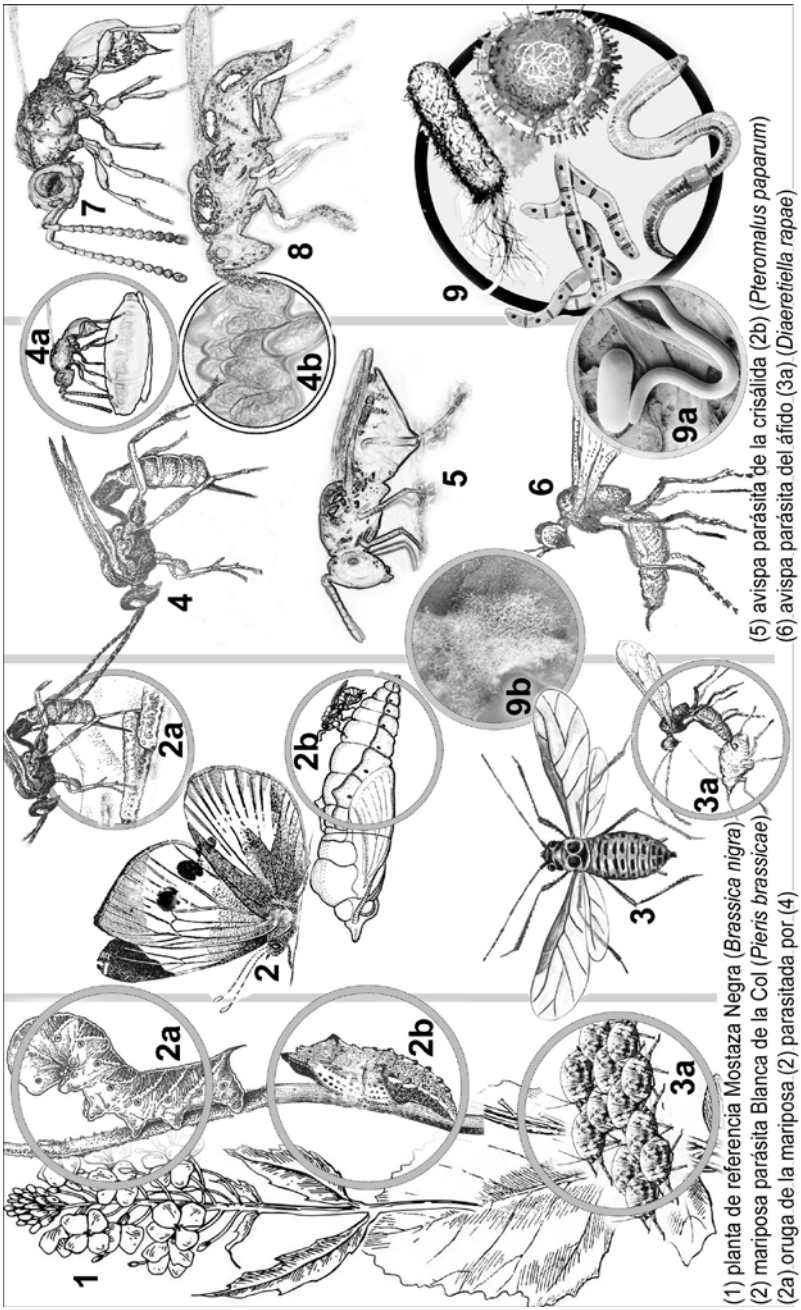
multiplicidad de actores

Los engaños encadenados. En esta escena participan la planta de maíz, un escarabajo en su fase de oruga, un nematodo, una polilla parásita y varias avispas hiperparásitas (avispas parásitas de avispas).

(1) La oruga del escarabajo. /// El primer nivel de interacciones ocurre con un escarabajo que es "plaga" en el maíz: el gusano de la raíz del maíz (*Diabrotica virgifera*). Cuando se dice "plaga" es una valoración humana para una interacción natural. La oruga ataca la planta, lo que induce a liberar en el suelo compuestos químicos BX (benzoxazinoides) que son comunes entre los metabolitos secundarios de las gramíneas. Estos compuestos se unen al hierro (lo que facilita la absorción de Fe por las plantas) y actúa como insecticida. La planta almacena el compuesto en una forma no tóxica, pero si la oruga daña la planta, el compuesto se descompone en moléculas tóxicas. La oruga utiliza el compuesto BX como guía para localizar a la planta y además, reconoce el compuesto de hierro y lo absorbe para su propio crecimiento.

(2) El nematodo. /// El segundo nivel involucra un nematodo benéfico (*Heterorhabditis bacteriophora*). Esos pequeños gusanos cilíndricos son atraídos por la raíz del maíz mediante un compuesto químico BCP (betacariofileno). Los nematodos son insecticidas biológicos que pueden invadir los insectos que son plaga y los infectan con bacterias dañinas. Las bacterias matan al insecto y los nematodos comen del cadáver. Pero las orugas del escarabajo anterior (*D. virgifera*) pueden secuestrar los compuestos tóxicos BCP de la raíz, en una forma no tóxica, y luego activarlos cuando llegan los nematodos. Para estabilizar al compuesto, se le añade una molécula de azúcar. Cuando se activan las toxinas pueden matar a los nematodos y las bacterias. Así, la oruga del escarabajo tiene un arma contra sus verdugos.

(3) La polilla y las avispas. /// El tercer nivel involucra a otra "plaga" del maíz: la polilla del barrenador del tallo (*Chilo partellus*) que deposita sus huevos en la planta. En condiciones normales la planta atraerá a avispas parásitas como defensa mediante sustancias volátiles. Un tipo de



(1) planta de referencia Mostaza Negra (*Brassica nigra*)
(2) mariposa parásita Blanca de la Col (*Pieris brassicae*)
(2a) oruga de la mariposa (2) parasitada por (4)
(2b) crisálida-capullo de la mariposa (2) parasitada por (5)
(3) áfido parásito Pulgón de la Col (*Bravicoryne brassicae*)
(4) avispa parásita de la oruga (2a) (*Cotesia glomerata*)
(4a) pupa de la avispa (4) hiperparasitada por (7)
(4b) huevos de la avispa (4) hiperparasitada por (8)
(5) avispa parásita de la crisálida (2b) (*Pteromalus paparum*)
(6) avispa parásita del áfido (3a) (*Diaeretiella rapae*)
(7) avispa hiperparásita de la pupa (4a) (*Lysibia nana*)
(8) avispa hiperparásita de los huevos (4b) (*Baryscapus galactopus*)
(9) microbios parásitos a todo nivel (bacterias, hongos, virus, nematodos)
(9a) hongo endoparásito de la pupa (2b) (*Baeuveria bassiana*)
(9b) nematodo parásito de las avispas (*Pheromermis sp*)

(404)

avispa (*Trichogramma bournieri*) parasita al huevo y otra (*Cotesia sesamiae*) parasita a las larvas de la polilla. Esta doble amenaza se suele usar como control biológico de la plaga del barrenador en agricultura. Se trata de una interacción sofisticada que recluta parasitoides en anticipación a la eclosión de los huevos. Es una protección que reduce la plaga en el próximo ciclo de reproducción. Esta capacidad de liberar en forma inducida los compuestos se perdió en algunas variedades comerciales de maíz híbrido. Se trata de un rasgo perdido en la evolución rápida por selección humana que era valioso para la planta.

(F404) Muchos más actores de reparto. En la lámina anexa se muestra un ejemplo que involucra múltiples (no todas) fuerzas opuestas.

-La planta de referencia (1) es la mostaza negra que se ve sometida a varios predadores. Los más visibles son las orugas de polillas (2) y los áfidos (3). Pero hurgando en el interior de la planta, estarán las bacterias y hongos.

-Las polillas (2) son benéficas como polinizadoras, pero significan un costo para la planta cuando ponen los huevos. Las plantas tienen una forma de control natural de plagas cuando liberan compuestos que atraen a las avispas (4) y (5) que parasitan a las orugas (2a) o a las pupas (2b).

-Estas polillas (2) tienen una forma de defenderse de las avispas (3) y (4), atrayendo a avispas hiperparásitas (7) y (8). Es una cadena de parasitismo mediante la postura de huevos.

-La planta también tiene un insecticida natural contra los áfidos (3). Son otras avispas parásitas (6).

-Todo esto está afectado por microbios que actúan en todos los niveles. Las bacterias, virus, nematodos y hongos (9), están presentes para jugar a favor o en contra de la planta y los insectos.

Una oruga herbívora que prefiere los hongos. /// El Álamo Negro (*Populus nigra*) es infectado por un hongo en sus hojas. Entonces, las orugas de la Polilla Gitana (*Lymantria dispar*) se alimentan de las hojas con hongos. Las orugas se sienten atraídas por el olor de los álamos infectados de hongos. El responsable de la atracción es el manitol (un edulcorante derivado de azúcar manosa). El análisis indica que los hongos aportan nutrientes (aminoácidos, nitrógeno y vitaminas) y que aceleran el crecimiento de las orugas. Las orugas prefieren los hongos superficiales antes que las hojas (son fungívoras antes que herbívoras).

avispas

Avispa esmeralda (*Ampulex compressa*)**: controla totalmente a la cucaracha. ///** La hembra de esta avispa pica a la cucaracha doméstica (*Periplaneta americana*). Luego pone un huevo en el abdomen y la larva se alimenta de la cucaracha. La avispa manipula el comportamiento de la cucaracha volviéndola un esclavo. Administra una primera picadura en el tejido nervioso de la cucaracha (inyecta ácido gamma aminobutírico, taurina y beta alanina). El ácido es un neurotransmisor que bloquea las señales motrices entre los nervios y paraliza las patas delanteras de la cucaracha. En una segunda picadura más tóxica, le inyecta un cóctel neurotóxico que inhibe los neurotransmisores que inician el movimiento, lo que afecta la decisión más que la capacidad de caminar.

Las avispas y las orquídeas.

(1) El engaño básico. /// Una orquídea (*Cypripedium fargesii*) es capaz de imitar a un hongo (género *Cladosporium*) y atraer a una mosca que la poliniza. Esta orquídea no tiene nada que ofrecer a cambio de la polinización, pero imita a un hongo mediante las manchas en sus hojas y el olor que libera. Como las moscas se alimentan del hongo, son atraídas y cuando entran en la flor, siguen un camino donde se le adjunta el polen. En el centro de la flor hay pelos (tricomas) que simulan las esporas del hongo. El estudio de las moscas encontró esporas de hongos y polen de las flores.

(2) Un olor algo diferente. /// En otro estudio se analizaron las feromonas de quince poblaciones de una abeja silvestre (*Colletes cunicularius*) y de una orquídea que la imita (*Ophrys exaltata*). Se encontró que el olor de la orquídea imitaba a la abeja hembra, pero con un aroma algo diferente. Incluso la diferencia puede ser una ventaja porque los machos prefieren hembras diferentes en su olor para evitar la endogamia. En los ensayos se encontró que los machos preferían un 50 % más a las abejas con olores distintos. Esto ocurre también con los ratones, entre los cuales las hembras extrañas son más populares cuando la endogamia es alta.

(3) Un cóctel de olores. /// La orquídea mediterránea (*Ophrys speculum*) produce olores que simulan a una avispa hembra (*Campsoscolia ciliata*). Las avispas macho intentan aparearse con la flor y sirven para la polinización. Un estudio encontró entre 100 y 150 compuestos volátiles emitidos por las flores. Luego se midieron los impulsos nerviosos a los compuestos aromáticos, en las antenas de los machos y se encontraron diez compuestos a los que reaccionan. La orquídea emite un cóctel amplio de químicos comunes en lugar de unos pocos compuestos raros.

(4) La avispa aprende y olvida. /// Otro caso involucra una orquídea (*Chiloglottis trapeziformis*) y una avispa (*Neozeleboria cryptoides*). El estudio determinó que las avispas macho aprenden de las malas experiencias y en veinte minutos de exposición, aprendieron a ignorar el engaño de la orquídea. Sin embargo, luego lo olvidan, como era de esperar. Un problema de esta especie es que las avispas hembra no tienen alas y necesitan de los machos para alimentarse. Por ejemplo, los machos les llevan un racimo de escamas de insectos ricos en proteínas. El engaño floral puede ser perjudicial para las avispas hembra, de forma que el costo del engaño sexual para el polinizador podría ir en detrimento de la orquídea y de la avispa.

Una historia extraordinaria de una orquídea que engaña a un escarabajo. La orquídea (*Disa forficaria*) se descubrió a principios del siglo 19. Nunca se encontraron más de dos ejemplares por año. En Sudáfrica se la vio por última vez en 1966 y se la supuso extinta. En 2018 se encontró un ejemplar que fue estudiado en campo. Este único espécimen desapareció más tarde pero se encontraron rastros de polen en escarabajos polinizadores con posterioridad. Esto hace suponer que existen ejemplares aunque no se encuentren. **///** El estudio determinó que la orquídea atrae al macho del escarabajo cuernos largos (*Chorothyse hessei*). La reacción del macho es inequívoca: se posa, tiene una conducta de copulación, acaricia y muerde los pétalos, curva el abdomen y eyacula esperma. Esta orquídea florece cada dos años y cada flor se abre por dos días, con varias flores en espera. Las flores producen un mimetismo de aromas, forma y color del escarabajo hembra. Para el estudio se tomaron muestras del aroma floral y se estudió mediante cromatografía de masas, lo que permitió aislar al atractor. Es el compuesto

disalactona (16-etil hexadec, 9-enólido) que pudo se sintetizado en laboratorio y probado en laboratorio y campo. En laboratorio se cortaron antenas de machos y se conectaron a un medidor eléctrico. Luego se las expuso a una serie de aromas. En la naturaleza la disalactona resultó ser un atractor muy fuerte para los machos. Esta estrategia de engaño le permite a la orquídea ser polinizada aun con poblaciones extremadamente bajas.

hormigas

La hormiga que engaña a otras hormigas. /// En la sabana de Brasil, la hormiga *Crematogaster ampla* es conocida por su agresividad. Sin embargo, la hormiga tortuga espejo (*Cephalotes specularis*) es invasora y no es atacada. Esta hormiga utiliza la mímica visual y pasa desapercibida. Puede engañar porque imita los movimientos de *C. ampla* y evita cruzarse para no ser detectada por el olor. Así pueden usar los mismos senderos hasta las fuentes de alimentos. El estudio determinó que el 89 % de los territorios de *C. ampla* estaban parasitados.

La hormiga que esclaviza a otras hormigas. /// Un estudio trabajó con hormigas esclavas (*Temnothorax longispinosus*) y esclavistas (*Protomognathus americanus*). Las esclavas son robadas en el estado de huevo-larva-pupa y llevadas al hormiguero de la esclavista. Cuando son obreras esclavas, cuidan a las crías de las esclavistas, las alimentan y defienden el nido. Pero, las esclavas matan el 50-70 % de los huevos de las esclavistas. No hay forma de que las esclavas sepan que lo son. Pero el hecho de matar la descendencia de las esclavistas significa que aumenta la posibilidad de supervivencia de las colonias de sus hermanas libres. Lo que ocurre es que las crías esclavistas, cuando son pupas, generan señales químicas que se identifican como extrañas. Varias esclavas a la vez pueden atacar a una pupa esclavista, que no puede defenderse y no está protegida por un capullo.

El escarabajo que engaña a la hormiga. /// Un estudio de campo trabajó con la hormiga jets (*Lasius fuliginosus*) y el escarabajo de la savia (*Amphotis marginata*). Las hormigas transportan miel de áfidos en el estómago que funciona de almacenaje de alimentos. Los escarabajos pasan sus vidas junto a los caminos de las hormigas. Un escarabajo se acerca a una hormiga, toma contacto, la hormiga lame la cabeza del escarabajo y este presiona con sus piezas bucales a las de la hormiga. El escarabajo tiene glándulas en la parte superior de la cabeza que secretan un líquido que puede ser atractivo para las hormigas. Esto anima a la hormiga a regurgitar una gota de comida. Se midió que obtienen casi dos veces más alimento que las propias hormigas. Los escarabajos nunca transfirieron comida a las hormigas ni a otros escarabajos. En ocasiones, una hormiga descubre el engaño, ataca al escarabajo que retrae sus apéndices debajo de las cubiertas protectoras de sus alas y se aplana en el suelo. En esta posición defensiva impide que las hormigas puedan voltearlos.

engaños y robos

Pez molly (*Poecilla mexicana*)**: el engaño en el cortejo. ///** Los machos optan por la hembra más grande, quizás porque el tamaño indica fertilidad. También se dejan influenciar por la popularidad de una hembra y se acercan a cualquiera que es cortejada por un macho. Esto hace que el primer pretendiente vea dis-

minuidas sus posibilidades de apareamiento. Entonces usa un truco que permite engañar a los otros machos. Primero finge interés en una hembra más pequeña, mordisqueando sus genitales y tal vez, incluso, apareándose con ella. Esto atrae la atención de los otros machos y sube la popularidad de la hembra. Entonces, sale de la escena y se dirige a la hembra preferida mientras los otros machos están de espaldas.

Cuclillo (género *Neomorphus*): **engañan imitando los sonidos de los pecaríes. ///** Muchas aves son capaces de imitar cantos y sonidos. Los cuclillos viven en los bosques de Sudamérica donde siguen manadas de pecaríes salvajes. Se alimentan de los invertebrados que los pecaríes levantan de la hojarasca. Se reportó que, cuando los cuclillos golpean sus picos, el sonido se parece al tronar de dientes de los pecaríes para disuadir a los felinos cazadores. Se analizó el sonido de cuclillo y de pecarí y se encontraron las similitudes. Se sospecha que los cuclillos, en los bosques oscuros y densos, pueden engañar a los depredadores al sugerir que los pecaríes están presentes. También, los cuclillos y cerdos podrían unirse para protegerse mutuamente, donde las aves asumen el papel de guardias. Similar a los rinocerontes y los picabuey (ver la capa de comunicación).

Ardilla gris (*Sciurus carolinensis*)**: crea caché de distracción donde no guardan comida.**

¡(1) /// Los estudios sobre la conducta de disuasión al hurto en los caché encontró que se usan tácticas evasivas cuando el observador es otra ardilla, pero no cuando es un cuervo. Una alternativa usada cuando otra ardilla está presente es aislar el escondite y actuar a espaldas de ella. Otra estrategia es cubrir sitios vacíos adicionales donde no se almacenó nada de forma que distraen al observador. Este caché engañoso se observó en dos poblaciones diferentes. Esto ocurría en presencia de otras ardillas, lo cual muestra una conducta de engaño deliberado.

(2) Las bellotas infectadas son más nutritivas. /// Un estudio comprobó la conducta de la ardilla con bellotas de robles (género *Quercus*) cuando estaban infectadas con larvas de escarabajo (género *Curculio*). Se encontró que comen más bellotas infectadas (76 %) que sanas. Lo que ocurre es que las larvas resultan ser un suplemento alimenticio. También guardaron en caché más bellotas (30 %) no infectadas, enterrándolas para que duren más tiempo. Esto significa que pueden distinguir entre bellotas sanas e infectadas y eligen cuál tomar primero.

(F405) Cerdo kunekune (*Sus scrofa*)**: el engaño del subordinado. ///** Un estudio trabajó con treinta cerdos cuya escala social era muy bien conocida. En las pruebas, se habilitaban cinco lugares ocultos que contenían recipientes y solo uno tenía comida. Los cerdos se dividieron en tres grupos por dominancia, de forma que solo al grupo intermedio se le permitía ver donde estaba la comida. Luego se dejaba libre al cerdo informado y a otro que ignoraba la ubicación. Cuando el segundo cerdo era un subordinado, comía el informado, como era de esperar por el orden jerárquico. Pero si el nuevo cerdo era un superior, el cerdo informado guiaba a su superior hasta uno de los puestos que no tenía comida, lo abandonaba de inmediato y se apresuraba a llegar al lugar que contenía la comida. Se concluyó que los cerdos tienen la capacidad de engañar a sus superiores para hacer valer el poder de la información de que disponen.

(F405) El robo de primates a humanos. Algunas especies de primates pueden interpretar a sus congéneres y a los humanos.

(405) El engaño (un acercamiento a la teoría de la mente)
(1) El cerdo kunekune engaña al líder. Si el subordinado sabe que en la posición (5) está la comida, lleva al dominante a (1) antes de correr a (5). Hacen valer la información privilegiada. **(2)** Lémur engaña a los humanos. Entiende que puede robar al que está de espaldas (2a), al que está de costado sin mirar el plato (2b) y al que tiene los ojos tapados (2c). **(3)** Con el macaco Rhesus se probó a cuál humano robaba una uva en diferentes combinaciones donde podían o no ver lo que ocurría.

(1) Lémures y humanos. /// Un estudio trabajó con 60 individuos de seis especies de lémures. Se los enfrentó a humanos con platos de comida para observar cómo la robaban. El lémur de cota anillada (*Lemur catta*), que vive en grandes grupos sociales (16 individuos), fue muy sensible a las señales sociales (el humano de frente al plato, de perfil o de espaldas). Los menos sensibles fueron los que viven en pequeños grupos (tres individuos) como el lémur mangosta (*Eulemur mongoz*). En este caso, los intentos de robo no tenían en cuenta las señales del humano. Pocos lémures entendieron la importancia de que el humano tuviera una venda en los ojos. Esto respalda la hipótesis de la inteligencia social (la vida social impulsa la cognición compleja).

(2) Macacos y humanos. /// En otro estudio se trabajó con el macaco Rhesus (*Macaca mulatta*) y se encontró que pueden robar una uva a los cuidadores humanos cuando no podían verlos. Es un componente esencial de la teoría de la mente: la capacidad de deducir lo que otros perciben en función de hacia dónde están mirando. Del mismo modo, en la naturaleza eligen robar alimentos de lugares donde no pueden ser observados con facilidad o donde hacen menos ruido.

TEMAS DE ESTUDIO

equidad y aversión a la inequidad

¿de qué se trata? Siempre que existe una interacción entre iguales la equidad es la base para la continuidad de la relación. La inequidad puede producir una aversión y la interrupción de la relación. Hay dos tipos de inequidades, cuando perjudica al individuo y cuando lo beneficia. La aversión a la inequidad es muy común en el primer caso. La aversión cuando se obtiene un beneficio se compensa compartiendo la diferencia (altruismo). En este caso se puede pensar en una línea que lleva hacia la moral y la justicia. Una actividad donde surgen inequidades es donde se requieren dos participantes obligados a coordinar el trabajo y a tener confianza recíproca. La "tarea de a dos" requiere del conocimiento del otro y quizás una teoría de la mente. El engaño y la equidad (cuando son conscientes) forman un tándem que lleva al conocimiento del bien y el mal (la moral).

tareas para dos

Los estudios experimentales sobre la cooperación buscan saber si los animales comprenden la necesidad y el papel del socio. Se usan tareas de movimiento cooperativo en condiciones solitarias y en pareja, o con pruebas de retraso, donde un animal tiene que esperar a que llegue su compañero. Una prueba estándar para la "tarea de a dos" consiste en poner una placa deslizante con comida que se atrae mediante dos cuerdas que deben ser tiradas a la vez por la pareja bajo prueba.

(F406) Calancate frente dorada (*Eupsittula aurea*)**: cooperación a ciegas.** Esta cotorra del norte de Argentina puede colaborar aun sin ver al compañero. **///** En un estudio se colocaron parejas de calancates frente a una cuerda que pasa por la manija de una caja. Si ambos colaboraban y tiraban al mismo tiempo, lograban obtener la comida. Si solo uno tiraba, la cuerda se corría y no se obtenía nada. Las pruebas con cuervos y loros grises africanos fueron exitosas, pero con el calancate se aumentó la dificultad. Se impidió que se vieran. En los ensayos pudieron resolver el problema esperando a estar ambos presentes y listos. Se observó que produjeron más vocalizaciones cuando no podían verse, quizás en busca de coordinarse. También mostraron individualidad. Por ejemplo, un calancate que levantó de inmediato la cuerda a destiempo, la soltó y esperó a que el otro comenzara a tirar. Los cuatro calancates se acoplaron en doce parejas y resolvieron la mayoría de las pruebas. Pero en la prueba de esperar para tirar juntos sin verse solo cinco de las doce parejas la resolvió.

Cuervos: tirar de la cuerda en simultáneo.

(1) Graja (*Corvus frugilegus*)**. ///** Un experimento colocó a dos cuervos graja que debían colaborar y tirar juntos de los extremos de una cuerda que deslizaba una plataforma con dos trozos de queso. Sin ningún entrenamiento, los cuervos resolvie-

ron esta tarea y cooperaron con éxito. Pero se observaron casos interesantes. Se notó que preferían trabajar más con amigos que con desconocidos. En una oportunidad, un cuervo hizo trampa y tomó los dos trozos de queso. La víctima reaccionó de inmediato y desertó en ensayos posteriores con ese individuo. Es una forma sofisticada de castigo y permite mantener el control de su pareja. Es una posible reacción a la inequidad.

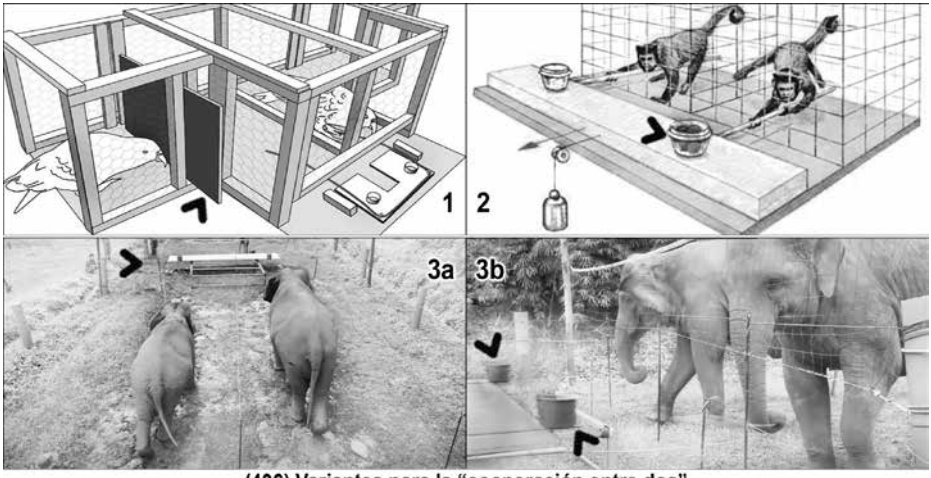
(2) Cuervo común (*Corvus corax*)**. ///** Un estudio trabajó con siete cuervos en ventiún parejas. Se les daba acceso a los dos extremos de la cuerda pero, si la prueba fallaba, se retiraba la cuerda. Esto se hace porque los cuervos gustan de jugar con cuerdas y se quería evitar cualquier recompensa indirecta. Se realizaron 600 ensayos (30 sesiones de 20 ensayos cada uno, en 10 días). Se concluyó que los cuervos cooperaron con éxito en 397 de 600 ensayos (66 %). Cada individuo tuvo éxito en al menos 32 ensayos, pero 3 de las 21 parejas nunca cooperaron con éxito. Esto sugiere que los componentes de las parejas tienen valor a la hora de cooperar.

Delfín del indo-pacífico (*Tursiops aduncus*)**: no supera una prueba de colaboración.** Los delfines tienen fama de sociables y empáticos. **///** Para un experimento se inventó un dispositivo que contenía pescado en hielo. Se abría cuando se tiraba de dos extremos a la vez. Los delfines no mostraron interés en forma natural, aunque manifestaron curiosidad. Se hicieron representaciones con humanos y solo uno demostró interés. Para facilitar la prueba, se reemplazó un delfín de la pareja por un humano. Después de la primera apertura, el delfín más activo resolvió todas las pruebas con la pareja humana.

(F406) Elefantes: prueba de cooperación. /// En un estudio en Tailandia se trabajó con doce elefantes asiáticos colocados en parejas. Primero aprendieron a tirar de una cuerda unida a una mesa deslizante que tenía comida. Luego las parejas debían unir fuerzas para tirar a la vez de la cuerda, de forma que si solo uno tiraba la cuerda, se corría. En un ensayo se liberaron los elefantes a la vez pero a diez metros de distancia del sector de pruebas. Las parejas superaron la prueba con más del 80 % de éxitos. En la siguiente prueba, se liberaron los elefantes en forma escalonada con demora, por lo que el primero debía esperar al otro. El tiempo de espera fue creciendo desde 5 a 25 seg. Consiguieron superar esta fase de las pruebas en la medida en que comprendían lo que necesitaban. Un dato interesante es que dos elefantes debieron quitarse de los resultados porque fueron innovadores y no respetaron las reglas que se esperaba de ellos. Una elefante joven hembra (*Neua*) alcanzó un 97 % de éxito llegando a la cuerda, poniendo una pata sobre ella y dejando que su pareja hiciera todo el esfuerzo de tirar. Otro elefante macho (*Jojo*) alcanzó el 83 % de éxito pero no se molestó en caminar al punto de la prueba y esperar a su compañera (*Wanalle*). Lo que hizo fue esperar en el punto de partida y entonces caminaban juntos. Esta prueba de liberación retardada no fue superada por los cuervos.

aversión a la inequidad

¿de qué se trata? El trabajo original que definió la "aversión a la inequidad" fue publicado en el 2003 con cinco monos capuchinos hembras. Desde esos ensayos se realizaron decenas de pruebas con otras especies. En general se encontró una gran dispersión de conclusiones, con grandes diferencias entre especies, entre sexos y entre individuos (personalidades). Pequeñas dife-



(406) Variantes para la "cooperación entre dos"
(1) Prueba de cooperación entre dos guacamayos con un tiempo de retardo. El primero debe entender la importancia de esperar al otro. **(2)** Prueba de cooperación entre dos capuchinos. En esta variante solo uno recibe el premio. El otro debe confiar en que le van a compartir. **(3)** Prueba entre dos elefantes acercándose (3a) a una mesa que se desliza. Deben esperarse y tirar a la vez (3b).

rencias experimentales pueden lograr uno u otro resultado. Por ejemplo, hay diferencias si hay un vecino o se está solo, si hay un vecino depende de la distancia y si tienen visibilidad, depende si se requiere hacer una tarea (un costo) para obtener un premio o es un regalo, varía con la calidad del premio o cantidad, depende de la familiaridad genética del otro participante y de la jerarquía dentro del grupo, etc. Por ejemplo, en el trabajo original, entre los capuchinos, solo reaccionaban con aversión las hembras, no los machos. Las hembras dejaron de colaborar, llegaron a golpear la jaula y tirar los premios al experimentador. En el "control de esfuerzo", donde la otra hembra recibía un premio mayor sin hacer nada, se negaban a colaborar en el 75 % de las pruebas. En tanto, en muchas especies, como en los orangutanes, mono ardilla, tamarinos, loros y peces limpiadores, no se encontró evidencia de aversión. **La aversión a la inequidad es la voluntad de sacrificar algo en aras de no convalidar una desigualdad. Esto aumenta la desigualdad como señal de descontento. Este tipo de conducta pudo impulsar la evolución de la conciencia de lo justo e injusto (moral). Para algunos va en el sentido del "juego limpio" social.**

Avispas de papel (*Polistes dominula*)**: viven en un mercado biológico. ///** Estas avispas forman colonias cooperativas donde los cambios de la "oferta y demanda" afectan el precio que se paga para permanecer en la colonia. El estudio rastreó miles de avispas en la naturaleza durante tres meses. La prueba consistió en aumentar en forma artificial la oferta de lugares de anidación adecuados lo que afectó la relación entre avispas subordinadas y dominantes. Esta oferta de sitios de anidación permitía formar nuevos grupos y ser más selectivo. El cambio en el mercado afectó la cooperación entre en las colonias. Entonces, los dominantes tuvieron que acep-

tar un trato peor para retener a los subordinados que podían independizarse.

Cuervos: una respuesta normal a la inequidad.

(1) /// Un estudio trabajó con diez cuervos (cuatro *Corvus corax* y seis *Corvus corone*) en situaciones de desigualdad. Los cuervos recibieron un entrenamiento en el cual podían cambiar una ficha por una recompensa de un trozo de queso (el premio mayor) o un trozo de uva (un premio menor). Se formaron parejas y se les dio el mismo cambio por una ficha (situación de equidad). Luego se le dieron recompensas diferentes (a uno, queso y a otro, uvas). En otra fase se aplicó el control de esfuerzo, uno debía intercambiar su ficha y el otro recibía la uva sin hacer nada. En el primer caso, dejó de tomar la recompensa injusta luego del intercambio de ficha. En el segundo, dejó de cambiar su ficha. Vieron el trato injusto y decidieron no cooperar. Se notó una alta complejidad y flexibilidad a la hora de cooperar.

(2) /// En otro estudio con cuervos de Nueva Caledonia (*Corvus moneduloides*) se formaron parejas donde cada uno ocupaba una jaula interconectada. Un cuervo recibía una piedra, se la debía pasar a su compañero, este debía poner la piedra en una caja que entregaba una recompensa para cada uno. Luego se modificó la recompensa cambiando la cantidad y calidad (alimento más o menos preferido) para cada uno. Los cuervos continuaron pasando la piedra sin observar la inequidad. Es posible que en la naturaleza estos cuervos no hayan tenido la presión de la selección natural para evolucionar una aversión a la inequidad más fuerte.

Perros: una respuesta débil a la inequidad. Algunas veces hay una indefinición, ¿hacia quién dirigir la aversión: al compañero o al experimentador?

(1) /// En un estudio con perros se probaron 22 parejas en una tarea de inequidad. Se requería que presionaran un timbre en forma alternativa para recibir una recompensa de valor igual o desigual. Se presentaron versiones con y sin experimentador. Los perros no respondieron a la desigualdad, pero mostraban frustración y no se facilitaban para la tarea cuando no estaba el experimentador. Parece que su presencia era necesaria para provocar una reacción a la desigualdad y que se necesita un elemento competitivo entre los participantes.

(2) /// Otro estudio con perros, primero, comprobó lo obvio; que están encantados de dar la pata sin recompensa que los motive. Luego, mientras se entrenaba a dos perros, uno recibía una recompensa y el otro no recibía nada. Se observó que comenzaron a dudar a la hora de obedecer ante un trato injusto y luego dejaron de colaborar. Más tarde se les dio un trozo de pan negro a uno y un trozo de salchicha al otro. En este caso no prestaron atención a esta sutileza de la diferente recompensa y respondieron con agrado.

Lobos (*Canis lupus*)**: la aversión es anterior a la domesticación.** Los lobos son sociables y cooperan en la caza, cría y defensa. **///** Un experimento usó nueve lobos y diez perros que viven en manadas. Tenían que presionar un timbre para recibir una recompensa, mientras observaban a un compañero en un recinto adyacente. Se encontró que dejaron de presionar el timbre cuando entendieron que el compañero obtenía una mejor recompensa por la misma acción. Pero, los lobos dominantes reaccionaban muy fuerte si un subordinado era recompensado. Los resultados con perros en manada fueron iguales; lo que sugiere que la aversión a la inequidad estaba en un ancestro. La domesticación no es un factor para este comportamiento en los perros.

la aversión en los primates

Monos tití común (*Callithrix jacchus*)**: el altruismo y la inequidad.** El estudio de la equidad se puede encarar haciendo que un miembro de la pareja tenga que elegir entre opciones. Por ejemplo, puede elegir entregar una recompensa a ambos (1/1, equidad) o solo a sí mismo (1/0, egoísmo). Pero también se lo puede obligar a elegir entre no entregar recompensa a ninguno (0/0, castigo con un costo) o solo al compañero (0/1, altruismo). Es de esperar que los monos prosociales tengan inclinación al altruismo. **///** Un estudio con 26 monos tití trabajó con parejas relacionadas y entre desconocidos. Se les ofrecieron las opciones 0/0 y 0/1. Por ser cooperativos, mostraron una tendencia prosocial (0/1) que superó la inclinación por la envidia (0/0). Los que estaban bien entrenados en el uso del aparato eligieron la opción 0/1 con mayor frecuencia. Este tipo de altruismo supera la aversión a la inequidad.

Capuchinos: la preferencia y el castigo.

(1) Prefieren a quienes colaboran. /// En un ensayo, se mostraron dos actores humanos con una caja cerrada. El actor A tenía una caja y se la ofrecía a B que podía aceptarla o negarse. Luego, ambos actores ofrecieron comida al mono capuchino maicero (*Sapajus apella*). Si B colaboró con A, el mono no mostraba preferencia. Pero si B se negó a ayudar, el mono prefería el ofrecimiento del actor A. Se realizaron variantes y cambios de personajes y preferían al que colaboraba. En ensayos similares con perros se encontró una respuesta similar. La conclusión fue que estos animales hacen evaluaciones sociales y prefieren la colaboración, de forma similar a los bebés humanos.

(2) Aplican un castigo. /// Cuando se trabajó con el capuchino marrón (*Cebus apella*), se encontró que aplican un castigo a los compañeros que se apropian de un recurso alimentario. Es independiente si la desigualdad es intencional o no. La comparación de conductas indicó que el castigo no fue por frustración o derivado de excitación emocional. Este castigo parece ser de naturaleza social y disminuyó el bienestar del compañero que había obtenido la dote. Este patrón es consistente con la cooperación humana en cuanto hace al despecho y la aversión a la inequidad.

Macacos: la edad y el esfuerzo realizado.

(1) La edad y experiencia aumentan la aversión. /// En un estudio con macacos Rhesus, se probaron 20 individuos jóvenes (de 17 meses de edad). No se encontraron diferencias de rechazo entre condiciones de inequidad y equidad. Un año después, se volvieron a probar ocho de los macacos y se encontró que rechazaban recompensas con más frecuencia en condición de inequidad.

(2) Aceptan la inequidad si hicieron mucho esfuerzo. Los macacos no usan herramientas, no cazan de forma cooperativa ni comparten comida. Sin embargo, hay evidencias de aversión a la inequidad. **///** Un estudio con doce macacos cola larga (*Macaca fascicularis*) encontró que respondieron a la inequidad de la misma forma cuando se probaron con conocidos o con extraños. Sin embargo, el rechazo dependió del trabajo involucrado. Rechazaron el premio solo cuando el esfuerzo para conseguirlo fue moderado. Cuando obtenían el premio sin esfuerzo o con mucho esfuerzo (p.ej., cuando tenían que tirar de una bandeja que tenía un sobrepeso adicional) no había un rechazo evidente.

Babuino oliva (*Papio anubis*)**: la personalidad en la aversión.** Los babuinos viven en sociedades complejas de hasta 150 indi-

viduos. Son tolerantes y cooperativos. **///** En un estudio se trabajó con doce babuinos en parejas que no se conocían. Debían sujetar y retener un objeto para ser recompensados. Las recompensas variaban. La tasa de rechazo en inequidad (calidad o cantidad) se produjo con diferencias individuales. En cinco babuinos la tasa de rechazo fue muy alta. Las variables como el sexo, el rango y el historial de crianza no podían explicar esta diferencia.

Chimpancés: un concepto de inequidad limitado al daño propio. Los monos no alcanzaron un sentido de la justicia más allá de los intereses egocéntricos. Por ejemplo, el mono que recibe uvas nunca trata de nivelar el resultado dándole al otro. Es parte de una larga historia evolutiva donde cooperación, egoísmo y equidad se mueven a diferente ritmo.

(1) La inequidad tiene la versión desventajosa (yo soy el perjudicado, 0/1) y la ventajosa (yo soy el favorecido, 1/0). En el caso 1/0 la aversión a la inequidad se podría subsanar si se comparte la diferencia. Las pruebas indican que los chimpancés no tienen una reacción a la desigualdad ventajosa. Por lo que puede ser una limitación para la moral en los animales. En los chimpancés la aversión a la inequidad desventajosa parece diferente si están relacionados (asumen la inequidad) o es un desconocido (reaccionan). Es el dilema "hacer olas o ir con la corriente".

(2) Los chimpancés parecen ignorar las inequidades que no los afectan. **///** Un estudio entrenó a chimpancés para desempeñar tres roles en un conflicto. Uno tenía acceso a la comida, otro podía tirar de una cuerda y robarla, y el tercero podía castigar al ladrón evitando que reciba la comida. Se observó que ninguno optó por castigar al ladrón, aunque la víctima fuera cercana. Pero si la víctima era él mismo, entonces reaccionaban con un castigo. Eso sugiere un sentido de "ojo por ojo", pero no de justicia impartida por terceros como se conoce en la sociedad humana.

la venganza

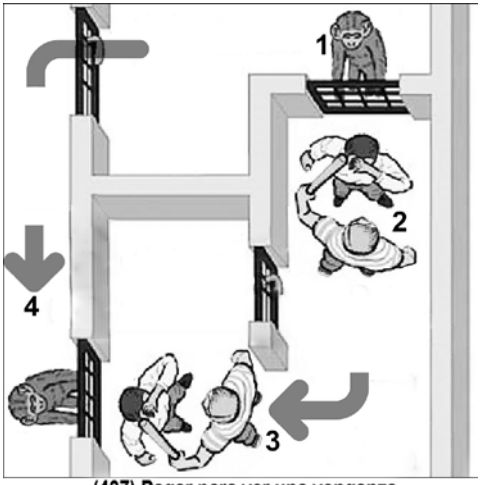
La venganza como respuesta a la aversión. La aversión a la inequidad puede terminar en una venganza, sea hacia el experimentador o al compañero. En experimentos con el macaco japonés (*Macaca fuscata*), se encontró que, cuando un agresor maltrataba a una víctima, esta se vengaba luego con los familiares más indefensos del perpetrador. Es el "redireccionamiento de la respuesta". En otra experiencia con capuchinos, se observó que reaccionaban castigando en los casos de injusticia cuando el compañero recibe más comida. En este caso, deciden castigar a otros simplemente porque tienen más. "Si yo no puedo tenerlo, nadie podrá", lo que es consistente con el rencor psicológico de los humanos.

(F407) Chimpancés: el placer de la venganza. Los chimpancés reaccionan con venganza ante el engaño o la injustica (como los humanos).

(1) /// Para un estudio, un entrenador privó de comida a un chimpancé. Luego se permitió al chimpancé observar cómo ese entrenador peleaba con otro. Parece que le resultaba agradable mirar el castigo. Entonces, los humanos se corrieron a un área donde el chimpancé no podía ver. El "placer de la venganza" llevó al chimpancé a abrir una puerta pesada para moverse a otra habitación donde podía seguir mirando. En los estudios con humanos, se encontró que en el cerebro se activa un área asociada al pla-

cer y que se inhibe otra asociada a la compasión. Cuando se comparó a los chimpancés con niños humanos, se encontró que la reacción es equivalente a la de un humano de seis años. Una diferencia fue que los humanos interpretaron la injusticia en carácter general ("a mí o a otro"), mientras los chimpancés solo reaccionaron ante la injusticia hacia ellos mismos ("a mí").

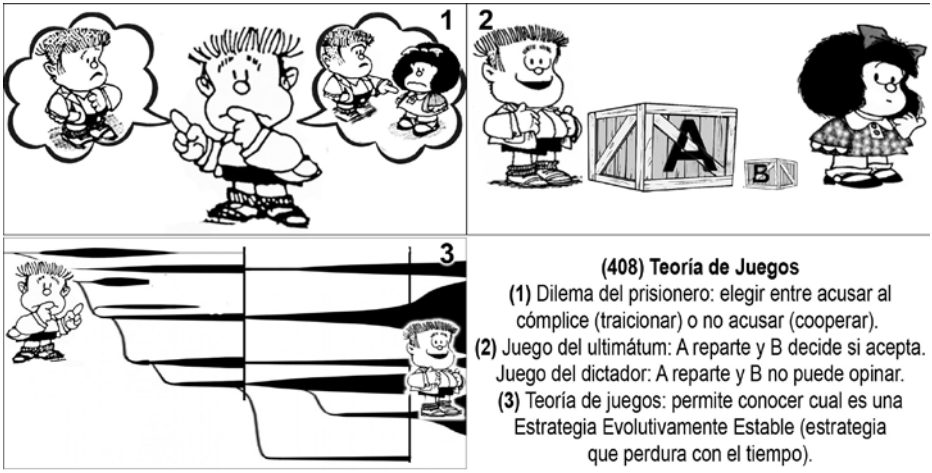
(2) /// En un experimento se expuso a chimpancés a situaciones en las cuales observaban una injusticia en el reparto de comida, pero disponían de una cuerda con la cual podían reaccionar, tirando la mesa donde estaba la recompensa del otro. En este caso, los chimpancés no recibían una recompensa, sino que se trataba de castigar por venganza. Lo que buscaban era pasar de la situación 0/1, establecida por el experimento, a forzar una 0/0.



(407) Pagar para ver una venganza
Un chimpancé (1) observa a un cuidador que castiga a otro (2) que no le resulta agradable. Los cuidadores se mudan a un lugar no visible (3). El chimpancé está dispuesto a pagar el costo de abrir una puerta pesada (4) para continuar viendo el castigo (la recompensa).

TEMAS DE ESTUDIO

Los dilemas sociales y la mejor conducta



(408) Teoría de Juegos
(1) Dilema del prisionero: elegir entre acusar al cómplice (traicionar) o no acusar (cooperar).
(2) Juego del ultimátum: A reparte y B decide si acepta. Juego del dictador: A reparte y B no puede opinar.
(3) Teoría de juegos: permite conocer cual es una Estrategia Evolutivamente Estable (estrategia que perdura con el tiempo).

los dilemas sociales

(F408) Dilema del prisionero. El dilema social básico se conoce como "del prisionero". El enunciado dice: dos delincuentes están detenidos, en aislamiento, no pueden comunicarse y no pueden coordinar una acción cooperativa. No existen pruebas suficientes para condenarlos y se le ofrece a cada uno traicionar al otro para reducir su propia pena de prisión. Si ambos "cooperan" (no se traicionan) tendrán una pena leve (p.ej., 1 año de prisión). Si uno "traiciona" al otro, el primero es liberado y el otro es condenado (p.ej., 10 años). Si ambos traicionan, ambos serán condenados (5 años). ¿Qué debe hacer un prisionero? La traición ofrece una recompensa mayor frente a la cooperación, por lo tanto, lo "racional" sería que ambos se traicionen mutuamente, con lo cual ambos son condenados y pierden el beneficio. En las pruebas, los humanos y muchos animales muestran un sesgo sistemático a cooperar, mucho más de lo previsto por los modelos.

Dilema del voluntario. Es una variante del prisionero donde hay un solo jugador. Puede tomar la decisión de actuar (ser el voluntario y hacer el gasto) o no hacerlo (esperar a otro voluntario). El dilema consiste en cuánto esperar para que aparezca un voluntario y mientras pagar los costos de la existencia del problema. Pero el dilema se vuelve dramático cuando hay de por medio razones éticas. Por ejemplo, ¿se debe denunciar un hecho de corrupción en una empresa? Si

no se denuncia, hay riesgo de complicidad por inacción. Si se denuncia, hay riesgo de sufrir amenazas de los implicados. Además, la denuncia podría llevar a la empresa a la quiebra, con la pérdida de puestos de trabajo, y quizás el voluntario sea señalado como el culpable de esta situación. Este dilema se asemeja al "dilema del cambio climático", donde actuar en forma unilateral paga los costos y se comparten los beneficios. El dilema del prisionero define un escenario no-cooperativo, con el objetivo de maximizar la utilidad; en cambio, el dilema del cambio climático define un escenario cooperativo con una utilidad igual para todos, pero desconocida.

el ultimátum

(F408) Dilema del ultimátum. Este dilema pone a prueba el altruismo y el sentido del juego limpio. Son dos los participantes y uno ("el dictador") divide un dinero para ambos. El que recibe la propuesta puede decidir aceptar o no la oferta, si la rechaza, se pierde todo. **///** Los estudios pioneros, en 1982, demostraron que los donantes humanos ofrecían un 40-50 % promedio de la suma total de dinero, y que los destinatarios rechazaban menos del 20 % del total. Se observó que los humanos no actúan de manera racional, ya que rechazan un pago injusto pero que se pierde. Es decir, había desigualdad, pero luego nadie tiene nada. Preferían castigar la desigualdad y el trato poco ético.

Chimpancés: los juegos de ultimátum.

(1) La prueba estándar. /// Un estudio planteó la posibilidad de elegir entre dos alternativas de reparto. La alternativa A repartía cinco plátanos para sí y uno, para el compañero de experimento. La alternativa B repartía tres plátanos para cada uno. Un chimpancé debía elegir la ficha y pasarla al compañero. Este podía aceptarla y cambiarla o rechazarla y ambos quedaban sin nada. Se probaron cuatro chimpancés y eligieron la ficha de equidad con mucha más frecuencia que el azar y el grupo de control. En el control, el chimpancé receptor no podía rechazar la oferta. Los receptores nunca rechazaron una oferta, pero a veces protestaron. Por ejemplo, escupiendo agua al proponente egoísta.

(2) Aceptan repartos desequilibrados. /// En otro juego, un chimpancé recibía un botín que debía compartir con su vecino. Las alternativas a ofertar al vecino eran 0, 20, 50 y 80 %. El receptor podía aceptar la oferta o no, en cuyo caso ninguno recibía nada. Mientras en los humanos se rechazan ofertas muy bajas (20 %), en los chimpancés no ocurrió lo mismo. Las ofertas que no fueron justas se aceptaron siempre que fueran distintas de cero. Esta diferencia entre humanos y chimpancés puede deberse a que los monos no comparten en forma regular.

(3) Confían en amigos para un reparto equilibrado. /// Un estudio con quince chimpancés en Sweetwaters (Kenia) encontró que confían más en quienes consideran amigos. Se diseñó una versión del juego del ultimátum formando parejas de chimpancés. Se colocó una caja con comida atada con dos cuerdas. Una cuerda representaba la desconfianza, porque se obtenía la caja con una recompensa poco agradable. La otra cuerda se asociaba a la confianza, porque al tirar de ella se enviaba la caja al compañero con una recompensa muy agradable. Claro que se debía confiar en que el compañero compartiría el botín. El experimento se realizó con parejas de amigos y desconocidos. Si tenían un vínculo estrecho, asumían el riesgo de ceder la comida y esperar un reparto equitativo.

Dilema del dictador. /// La variante del juego es el "dilema del dictador". En estudios con dos jugadores, uno reparte y el otro no puede rechazar la oferta. Solo se mide la forma de repartir. En los ensayos con humanos se encontró que, cuando no hay anonimato (p.ej., la presencia del experimentador) hay un impulso a evitar la "codicia" y simular un grado de altruismo. En una variante del juego, se cambió la actitud positiva de dar dinero, por la posibilidad de quitar dinero. En este caso se observó un mayor egoísmo y menor altruismo. Lo mismo ocurre cuando el dinero a repartir es ganado en una fase anterior con cierto esfuerzo. Si el dictador ganó dinero con su trabajo, se ve menos propenso a compartirlo.

Chimpancés: el juego y el sentido de la justicia. /// Un estudio con seis chimpancés adultos y veinte niños humanos (de 2 a 7 años) adaptó el juego del ultimátum. Se formaron parejas y un individuo elegía entre dos fichas que podía cambiar por una recompensa (comida para chimpancés o pegatina para niños). Había dos fichas, una ofrecía recompensas iguales a ambos jugadores (1/1) y la otra favorecía al que tomaba la decisión (1/0). El que tomaba la ficha se la daba al otro, el cual la cambiaba con el científico. De esta forma, el segundo daba consentimiento de la operación. Los chimpancés y los niños elegían el reparto por igual. Cuando se modificó el juego de forma que el segundo individuo no participaba, eligieron la opción egoísta.

teoría de juegos

La teoría de juegos. El dilema del prisionero se puede convertir en un modelo matemático de juego si se realiza en forma iterativa, agregando una componente estratégica de largo plazo. Para obtener un juego ejecutable, se puede proceder de la siguiente forma: los jugadores son A y B y las alternativas son "cooperar" C o "traicionar" T. Se puede asignar el siguiente puntaje: si ambos cooperan C/C, acumulan +2/+2; si uno traiciona T/C, acumulan +5/0 y si ambos traicionan T/T, acumulan -1/-1. No es un "juego de suma cero" ya que ambos pueden perder en simultáneo. El póker es un juego de "suma cero" porque lo que uno gana lo pierde el otro.

Las mejores estrategias. Hace medio siglo se estudiaron muchas estrategias para sumar la mayor cantidad de puntos.

(1) /// Puestas a competir entre sí, la mejor estrategia resultó ser la "represalia equivalente" (ojo-por-ojo). Consiste en dos simples reglas: cooperar en la primera jugada (ser "amable" y no ser el primero en traicionar), y en las siguientes jugadas, hacer lo mismo que hizo el contrincante en la jugada anterior. Es decir, se inicia "optimista" esperando que el otro coopere, pero se es "recíproco" con represalias moderadas luego de que el otro traiciona. Se atribuye a Jesús la frase: "todo lo que queráis que hagan los hombres con vosotros, hacedlo así con ellos" (Mateo, 7:12).

(2) Otras buenas estrategias. /// Una estrategia ligeramente mejor es cooperar dos veces ante una traición (ser "indulgentes"). Esto impide quedar atrapado en traiciones alternadas si ambos usan la misma estrategia. Otra alternativa posible es no tomar represalias y siempre cooperar, pero puede ser una mala elección cuando el oponente utiliza una estrategia muy agresiva. Una buena decisión es no esforzarse en ser mejor que el oponente (no ser envidioso) y conformarse con sumar puntos sin pensar en vencer al contrario. El dopaje en el deporte es un caso de estudio. Dos atletas que compiten tienen la opción de utilizar una droga

ilegal para mejorar su rendimiento. Si uno de ellos toma la droga, obtiene una ventaja. Pero si todos lo hacen, los beneficios se anulan y solo quedan los peligros.

Las estrategias más agresivas. La cooperación obtiene los mejores resultados, pero una buena estrategia muy agresiva puede buscar doblegar al contrincante. **///** Una estrategia se denominó Cero Determinante ZD. En ZD se permite a un jugador (egoísta) forzar al oponente (cooperativo) para que obtenga un valor inferior. El jugador es "extorsionado" en una especie de "juego de ultimátum". Se caracteriza por ser un juego de una sola vez, donde la reciprocidad no importa. En situaciones de abuso de poder o trato humillante, se puede llevar a preferir el castigo antes que aceptar la propuesta. Se probó mediante ensayos que las estrategias abusivas ZD no son estables a largo plazo. Son capaces de vencer a otra población de estrategias, pero no funcionan bien contra jugadores del mismo tipo. La extorsión vence a la cooperación, pero fracasa entre extorsionadores. Las simulaciones confirman que más allá de un tamaño crítico de población, las ZD pierden en competición contra estrategias cooperativas. Además, hay algunos casos en los que los estafadores pueden incluso catalizar la cooperación entre los que fueron desertores. Las estrategias estables y robustas son aquellas que son generosas. La única forma que una estrategia ZD sobreviva es reconocer a sus oponentes y ajustar la estrategia, de forma que operando contra otro ZD se vuelva cooperativa.

aplicaciones

La mejor conducta animal. Los comportamientos cooperativos (crianza comunitaria, cacería en grupo, colmenas o colonias de hormigas) pueden ser vistos bajo la lupa de la teoría de juegos, donde se aplican las "estrategias evolutivas estables": EEE. El altruismo, la cooperación y la generosidad evolucionaron en la naturaleza porque son estables a muy largo plazo. La evolución no favorece a los egoístas, aunque en el corto plazo algunos egoístas pueden salir beneficiados. La aplicación de una estrategia ZD eliminaría la cooperación y crearía un mundo lleno de egoístas. Pero ZD no puede ser el producto de la evolución natural. Ser generoso parece un error si solo hay dos jugadores; pero, si hay muchos jugadores y todos juegan generosamente, todos se benefician de la generosidad de los demás. En las estrategias generosas, los jugadores cooperan, pero, si no lo hacen, sufren más que sus oponentes a largo plazo.

Sobre el perdón. Las estrategias EEE (cooperativas y generosas) incluyen la característica del "perdón". **///** A quien traiciona se le puede castigar, pero después se podrá volver a cooperar. Este descubrimiento, aunque abstracto por ser matemático, ayuda a explicar la presencia de la generosidad en la naturaleza, que a primera vista es contraria a la noción darwiniana de la "supervivencia del más apto". El más apto puede ser el más generoso, simplemente porque esta característica es bien vista por las hembras y asegura una reproducción efectiva. Los insectos sociales (hormigas) se comportan de una manera generosa ya que pueden resignar totalmente la actividad reproductiva (propagación de los propios genes) y dedicarse al sostén del sistema comunitario (provisión de alimentos o cuidado de las crías). Esto está asegurado gracias a la uniformidad genética que garantiza que, cooperando, se permite la propagación de los propios genes. Los murciélagos comparten sangre, de forma que dando hoy se puede recibir mañana. Los sirirí pampa (*Dendrocygna viduata*) son patos que tienen una conducta de lucha grupal

cooperativa de características únicas entre las aves. La EEE de los sirirí incluye la "reciprocidad" en el acicalamiento para generar y mantener lazos afectivos (no necesariamente sexuales) y en el enfrentamiento para escalar los conflictos sin llegar al daño corporal.

El caso de las plantas. La selección natural puede favorecer a "plantas tramposas" que usan en forma egoísta los recursos. Por ejemplo, plantas con flores más grandes para polinizadores, o con raíces más profundas para obtener nutrientes y agua. Como la competencia tiene un costo, a menudo no pueden producir el máximo de semillas. Visto desde la tragedia de los comunes, tienen una ventaja selectiva que puede perjudicar a los demás, por lo que la agricultura las rechaza. En la agricultura se prefieren plantas que no compiten por los recursos entre sí. Pero, algunos rasgos de engaño podrían ser beneficiosos. Los frutos más grandes son más atractivos para los animales que ayudan a propagar las semillas. Los criadores de plantas seleccionaron la presencia o ausencia de rasgos de "engaño". En el pasado, los agricultores seleccionaron, sin saberlo, plantas con sistemas de raíces más pequeñas, ya que se han centrado en la selección de los máximos rendimientos y por lo tanto menor competencia. También seleccionaron plantas con frutos grandes, lo que implica un alto nivel de competitividad. La agricultura del futuro podría beneficiarse de vincular el conocimiento acerca de los rasgos tramposos con los modelos informáticos de la teoría de juegos evolutiva.

Cuervos: la formación de pandillas. /// Los cuervos adultos que viven en bosques templados son territoriales. Buscan comida y los defienden. Los jóvenes se refugian en forma comunitaria y buscan alimento en los territorios de los adultos. Se reclutan unos a otros para abrumar al adulto del lugar. En una población, se observó que los jóvenes se alimentan formando pandillas. Según la teoría de juegos, pueden darse dos estrategias estables. En una, las aves buscan comida de forma independiente y se reclutan entre sí. En la otra, las aves forrajean en pandillas. Parece que la primera estrategia es la más eficiente y la segunda se usa cuando la primera falla. El estudio identificó la disponibilidad de alimentos como un factor clave en la elección de la estrategia. Cuando la comida es abundante, la oportunidad para formar pandillas se vuelve más importante. Puede que además de encontrar alimento, sirva para obtener un estatus social o conseguir compañeros.

Primates: la maximización de las ganancias. /// Un estudio examinó la forma de tomar decisiones sociales en los primates (capuchinos, macacos Rhesus y humanos). Se trabajó con el modelo clásico de juego de competencia donde dos jugadores compiten por un recurso compartido. Pueden jugar "luchar (0)" o "rendirse (1)". Si ambos luchan (0/0) nadie gana. Si ambos se rinden (1/1) ganan un premio menor (1 ficha). Si juegan cruzado (1/0 o 0/1) gana un premio mayor el que lucha (3 fichas). La solución más eficiente ("equilibrio de Nash" donde no hay ninguna estrategia mejor) ocurre cuando cada jugador alterna luchar y rendirse. Cada uno gana un premio mayor en forma alternada. Se jugaron dos versiones; en una, las elecciones eran visibles de inmediato y en la otra, estaban ocultas hasta que los dos jugadores hacían su elección. Solo los humanos jugaron en forma alternada. Los capuchinos y macacos pudieron llegar a una versión donde uno jugaba varias veces luchar y luego, cambiaban. Pero solo funcionó cuando las jugadas eran visibles siempre. Encontraron una solución bastante rápido. De esta forma, jugando la ficha opuesta pudieron cambiar un juego competitivo en cooperativo.

MODELO DE CAPAS

712 parental

¿de qué se trata? Las conductas parentales tiene una secuencia temporal ligada a la reproducción: cortejo, formación de pareja, apareamiento, crianza. Algunas conductas tienen base genética, pero muchas son aprendidas y enseñadas. Para el modelo de capas, la conducta parental más importante es la educación de la cría y se trata en la capa de cultura. En este ítem solo se ofrece una introducción al tema, ya que la enseñanza parental está presente en la comunicación (aprendizaje del dialecto familiar), el uso de herramientas (fabricación y uso) y la formación de una cultura de largo plazo.

monogamia

La monogamia y la cooperación se asimilan. La cooperación es una buena salida cuando hay pocas oportunidades de apareamiento o cuando hay beneficios en la atención biparental. Es el camino a la monogamia social, entendida como formar una pareja aunque existan apareamientos fuera de ella (extrapareja). La monogamia social puede ocurrir solo por una estación reproductiva y cambia para la próxima. Los linajes que son socialmente monógamos expresan una inteligencia social más refinada. La cooperación y el cuidado biparental podrían favorecer la transición a una organización social más compleja. Una monogamia desarrollada probablemente requiere de una teoría de la mente.

La monogamia obligada es puesta en competencia con la selección sexual. /// Un experimento con 100 generaciones de mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) midió el rendimiento cognitivo en ausencia de selección sexual. A un grupo se le impuso una monogamia estricta y al grupo de control se le permitió la selección sexual. Se encontró que las líneas monógamas fueron más productivas porque los machos no tenían que competir por las hembras. En el grupo con selección sexual, las hembras podían sufrir daños. En las pruebas de cognición (p.ej., aprendizaje por medio de los olores) los machos monógamos resultaron más lentos, pero las hembras no cambiaron la capacidad cognitiva. Cuando se liberaron machos monógamos en los grupos libres, se vieron en inferioridad de condiciones. No tenían debilidad física pero

habían perdido competitividad. Así que la competencia sexual y la elección de pareja parecen mejorar la capacidad cognitiva a costa de una reproducción menos exitosa. Una hipótesis propuso que la inteligencia humana se potenció en la competencia para obtener y manipular la pareja.

La monogamia en las aves. La vasopresina es la hormona que interviene para mantener la unión monogámica en las aves macho. La vasopresina controla las emociones y la memoria. En la etapa parental se produce un fuerte desbalance hormonal en los machos que adoptan conductas de hembra para el cuidado del nido, ayudar en el empolle y alimentar a las crías. En época de cortejo predominan las hormonas masculinas "agresivas" y en la crianza las hormonas "dóciles". Hasta que lentamente se pierden y el macho recupera su rol fuera de la pareja. La monogamia tiene una base genética muy extendida en las aves. Un 92 % de las especies de aves son monógamas y ambos padres colaboran en el cuidado parental. Esta estrategia de reproducción debería ser ventajosa como estrategia evolutiva estable. **///** Una teoría dice que el origen de la monogamia en las aves fue la promiscuidad o la poligamia. En estos casos son frecuentes los infanticidios por parte de machos marginados. Esto obligó a las hembras promiscuas a defender a las crías, lo que llevó a ciertos machos marginados a colaborar en la protección, lo que habría dado un impulso al cuidado parental compartido y la monogamia.

Pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*)**: la calidad del macho como pareja. ///** Por alguna razón, parece que la hembra tiene cierta idea de la calidad del macho que obtuvo como pareja. En un estudio, se analizó el contenido de los huevos en nidos de pinzón cebra donde el macho era poco atractivo (plumas menos brillantes). Se encontró que tenían más antioxidantes (hasta 2,5 veces más de vitamina E) que los huevos de los nidos de machos con un plumaje saturado. En este caso, la hembra parece responder a la baja calidad del macho con la deposición de más antioxidantes dentro del huevo.

Tití cobrizo (*Callicebus cupreus*)**: forman lazos de pareja monógamos de por vida.** Se los puede ver celosos en la protección de la pareja y angustiados cuando se separan. **///** En un experimento se quitó la hembra y se la colocó con un macho extraño, a la vista de su pareja. Se midió la conducta durante 30 minutos y se comparó con un caso de control donde macho y hembra eran desconocidos. Cuando el macho se siente celoso, arquea la espalda, agita la cola y se muestra excitado. Los machos son más intensos en los celos que las hembras. Se midieron cambios hormonales, como el aumento de testosterona ligado a la agresión y de cortisol ligado al estrés social. Se correlacionó el aumento con la cantidad de tiempo de la separación.

Mono búho (*Aotus azarae*)**: ventajas de la monogamia.** Estos monos son profundamente monógamos. El análisis del ADN de 35 crías (17 parejas) no dio ningún caso de infidelidad. **///** Desde 1997 y por 16 años, se estudió al mono búho en Chaco (Argentina). Se siguieron las conductas, demografía y muestras fisiológicas de 18 grupos con 154 animales. Estos monos forman familias monógamas y con 3-4 años, los juveniles se alejan del grupo. Se documentaron 27 casos de reemplazos femeninos y 23 masculinos en las parejas. Las parejas sin reemplazos tuvieron un 25 % más de crías, lo que indica una ventaja de la monogamia.

Evitación de la endogamia en los gorilas de montaña (*Gorilla beringei*). La vida en

familia o grupos cercanos puede llevar a la endogamia. Una solución es que los machos o hembras jóvenes emigren a otros grupos antes de la edad reproductiva. **///** En los gorilas, cerca del 60 % de las hembras cambian de grupo para evitar reproducirse con su padre. Un estudio en Ruanda encontró que las hembras que se quedan evitan el acoplamiento endogámico. Se realizaron pruebas genéticas de materia fecal a 97 gorilas. Se encontró que el 72 % de las crías son hijos del macho dominate. Sin embargo, nunca (0 %) fue padre con una de sus hijas. La paternidad más cercana (9 crías sobre 79 estudiadas) era entre medio hermanos. Aun así, se observó muy poca variación genética entre los gorilas.

aves: apareamiento

El desarme sexual de los machos y la imposibilidad de forzar una cópula. El 98 % de las especies de aves no tiene pene, los genitales son internos. Esto entrega el control de la cópula a las hembras y tiene consecuencias importantes en la conducta. El estudio del cladograma de las aves dice que hace unos 100 Ma los órganos sexuales se redujeron y se replegaron al interior del cuerpo. Las aves más antiguas (se las llaman basales) tienen pene, tal es el caso de los patos. Pero, a lo largo de la evolución, se produjo un "desarme sexual". Es probable que en el inicio de este proceso las cópulas forzadas fueran un peligro para las hembras, por lo que había una presión selectiva para reducir el armamento sexual de los machos. Ahora, las hembras tienen el poder de elegir el macho con el que se aparean, lo cual es una motivación adicional para la monogamia. De esta forma, los intentos de cópula forzada se redujeron hasta tener una incidencia mínima, marginada a intentos aislados y con escaso éxito.

El control lo tienen las hembras. La forma de apareamiento en las aves está condicionada por la estructura genital. Los machos no tienen genitales externos (no tienen pene y los testículos son internos). Tiene una cloaca igual a la hembra donde llega el conducto con el esperma. La cloaca es única y convergen la orina, las heces, el esperma (en el macho) y los huevos (en la hembra). Para aparearse deben tocarse las dos cloacas (un beso de cloacas). Entonces: **(1)** El control del apareamiento está en manos de la hembra, lo que obliga al macho a entablar una relación duradera (aunque solo sea por el período de reproducción). **(2)** Es responsable que la gran mayoría de las especies sean monógamas y que el 90 % de las especies de aves tengan algún tipo de cuidado parental compartido. **(3)** En las aves casi no existe la cópula forzada (una violación), ya que la hembra debe cooperar en el contacto sexual. Aun así, la hembra tiene el control sobre el esperma que fue volcado en la cloaca. De esta manera puede priorizar el esperma de un individuo sobre otro, de forma que el huevo sea fecundado por los espermatozoides del macho elegido.

Aprendizaje del apareamiento en las aves. La técnica de apareamiento sigue reglas comunes a todas las aves con ligeras variantes si se realiza en el agua, en el terreno o en un árbol. El apareamiento es precedido por avisos de requerimiento sexual. Por ejemplo, picoteos en el lomo, zapateo en la tierra, simulación de un baño del macho, intento de morderse la cola, exposición de la cloaca, temblor de las alas, el canto, etc. Luego deben lograr colocarse de forma de enfrentar las dos cloacas, siempre es el macho sobre la espalda de la hembra. La hembra levanta la cola y el macho la baja. El macho eyacula y termina el acto sexual. Aunque la técnica general es innata, los detalles se aprenden por

prueba-error. Esto se nota porque las parejas no iniciadas necesitan más tiempo para acoplarse. Incluso pueden verse acoplamientos que son fallidos por error en la postura combinada. Las exhibiciones previas, el apareamiento y la construcción del nido se aprenden por prueba-error y aprendizaje social.

aves: extrapareja

Las razones del apareamiento extrapareja. La mayoría de las aves son socialmente monógamas pero genéticamente son promiscuas. Esto sugiere que el apareamiento extrapareja tiene ventajas competitivas para que sea tan difundido.

(1) /// Los datos de paternidad en las aves existen para más de 200 especies, y se estima que cerca del 70 % tienen paternidad fuera de la pareja. Pero en 1980 se creía que el 90 % eran monógamas sexuales. El cambio radical de opinión surgió con el análisis genético de los huevos. La explicación más conocida dice que las hembras invierten más en un huevo que los machos en espermatozoides y deben ser más exigentes en la calidad de la pareja. Pero, otros estudios teóricos no apoyan esta explicación asignando un beneficio genético marginal al apareamiento extrapareja.

(2) Hipótesis de los bienes públicos. /// Los beneficios deberían ser sociales o ecológicos. Por ejemplo, asegurar la fertilización de sus huevos en caso de falla de la pareja, obtener recompensas inmediatas o mediatas (comida, protección, seguridad), permitir reclutar una mayor atención paterna en su nido. Otra explicación indica que las hembras que se aparean con vecinos incentivan a los machos a cooperar para obtener bienes públicos. Sería un coagulante social. Un dato seguro es que las aves hembra tienen el control de la paternidad (qué espermatozoide fecunda al huevo) y tienen el control de los apareamientos extrapareja (son la que eligen tenerlo y con quien).

Los bienes públicos creados gracias al apareamiento extrapareja. Las hembras construyen una red social centrada en su nido. Esto proporciona beneficios de manera distribuida y difusa. Esta inversión produce bienes públicos como la vigilancia y patrullaje, las llamadas de alarma y las redes de acoso a los depredadores. La incertidumbre ante una paternidad múltiple implica una descendencia potencial distribuida y un beneficio en centrarse en la seguridad y productividad del vecindario. También puede reducir el riesgo de infanticidio. Los machos se ven incentivados a cooperar con los bienes públicos, ya que su descendencia puede estar en cualquier nido.

(1) Mirlo alas rojas (*Agelaius phoeniceus*)**: sexo a cambio de forrajeo. ///** Un estudio observó que las hembras solicitan cópulas a otros machos, luego de lo cual el macho puede permitir que la hembra forrajee en su territorio. Se midió que las hembras que incluyeron áreas extras de alimentación aumentaron sus reservas de forrajeo.

(2) Extrapareja con vecinos frecuentes. /// Un estudio analizó la red social en invierno durante la alimentación en los comederos. Se instalaron veinte comederos automáticos y 277 cajas nido. Se les colocó un identificador con un código individual que registraba los datos en el comedero y nido. Los datos de la red social permitieron conocer que el 39 % de las aves relacionadas en el invierno criaron en la primavera. Las parejas parecen formarse en el invierno. Los apareamientos extras ocurren con vecinos cercanos y sería el resultado de reuniones coincidentes entre vecinos.

Extrapareja y paternidad.

(1) /// Un metaestudio sobre un centenar de especies de aves usó el ADN para conocer el grado de paternidad. La proporción de especies con crías de otro padre fue cercana al 70 %. Pero el grado de variabilidad era muy grande, de 0 % hasta 76 % de crías provenían de otro padre. También se encontraron especies que tienen extrapareja pero cuyo ADN indica que las crías son del padre monógamo. Esto sugiere que la palabra final sobre la paternidad es de la hembra.

(2) Chingolo melodioso (*Melospiza melodia*)**: ///** El estudio de veinte años (desde 1993) de una población en la isla Mandarle (Canadá) obtuvo muestras de sangre y usó la genética para formar la filogenia. Se encontró que el 28 % de las crías tenían otro padre diferente al social y el 33 % de las crías estaban en nidos con varios padres. Pero se encontró que las crías extrapareja tenían un 40 % menos descendencia propia que sus padres. Esto indica que los apareamientos extrapareja no son para garantizar mayor reproducción. Es el costo de la promiscuidad porque las crías son peores.

(3) /// El apareamiento con varios machos produce la "competición del esperma", donde los espermatozoides compiten por inseminar al óvulo. En un estudio con mirlos se apartó al macho de la pareja y se encontró que los extrapareja aumentaron. El ADN de las crías confirmó que eran de otro padre. Esto indica que la presencia del macho cerca de la hembra reduce la posibilidad de extraparejas.

(4) La esterilización del macho tiene menos efecto. /// En un trabajo de control poblacional se castró a machos de tordo *(Agelaius phoeniceus*) para impedir su proliferación. Cuando se analizó el resultado se encontró que las hembras pusieron huevos fertilizados. Esto significa que las hembras buscaron a otros machos fuera de sus parejas que, aunque eran estables, estaban esterilizados.

La competencia por los apareamientos extrapareja.

(1) Acentor alpino (*Prunella collaris*)**: hay hembras que "roban" extraparejas. ///** Las observaciones indican que las hembras dominantes interrumpen la cópula de las hembras subordinadas y se aparean con los machos disponibles. Como se acoplan con más machos, reciben más ayuda y logran mayor supervivencia de las crías.

(2) Los gorriones viejos tienen más éxito. /// Un estudio analizó 450 intentos de apareamiento entre gorriones en un parque. Se encontró que los machos de mayor edad hacían tantos intentos como los jóvenes. Esto significa que los adultos no manipularon la situación para tener más éxito. Se observó que las hembras eran las que solicitaban el contacto extrapareja y que elegían tanto adultos como jóvenes. Esto sugiere que las hembras no tienen una elección definida en cuanto a edad del macho. Sin embargo, el éxito reproductivo es mayor en los machos viejos que en los jóvenes. Parece que son los mecanismos posteriores a la copulación los que permiten a las hembras la elección de los espermatozoides para fecundar el huevo. Los gorriones permanecen en pareja para la crianza, pero los machos puede que críen polluelos ajenos.

La relación entre extrapareja y el momento del apareamiento.

(1) Carbonero común (*Parus major*). Esta ave es socialmente monógama y las hembras se vuelven más promiscuas cuando la eclosión falla en el primer intento de reproducción. **///** Un estudio seleccionó once parejas y se reemplazaron los huevos por otros artificiales, para simular la falla de la

eclosión. El grupo de control eran 18 parejas cuyos huevos no fueron manipulados. Luego, se analizó el resultado en el segundo intento de crianza. Un análisis del ADN de 457 polluelos de 58 nidos indicó que 62 pollos (14 %) eran extrapareja. En el grupo de control (18 nidos) el valor fue el mismo en la primera y segunda postura. En el grupo experimental, la tasa de extrapareja en la segunda postura fue un 40 % más alta que la del grupo control. Las hembras decidieron aparearse con otros machos mientras aún estaban en relación con sus parejas originales. No cambiaron de pareja, pero eligieron tener apareamientos extras.

(2) Herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*)**. ///** Un estudio sugiere que los huevos fertilizados por extrapareja tienden a ponerse y eclosionar antes. Se encontró que la mitad de los nidos tiene una o más crías de distinto padre y llegan hasta el 15 % de toda la camada de una comunidad. Pero el 75 % de los huevos extrapareja eclosionan en la primera mitad del período. Esto podría indicar que las hembras optarían por un apareamiento extra al inicio para evitar la posibilidad de un compañero social infértil.

Estética, dimorfismo y extrapareja. /// En un estudio se extendieron en forma artificial las plumas de la cola en pájaros donde la cola es el atractivo sexual. Se encontró que las hembras buscaron en forma voluntaria el apareamiento extrapareja con los mejores exponentes. Esta selección (sexual) consciente de parte de la hembra sugiere que tienen un cierto grado de estética. En las especies con dimorfismo sexual se observó mayor cantidad de apareamientos extrapareja. Esto justificaría que la selección sexual mediante apareamientos múltiples favorezca el dimorfismo progresivo.

cuidado parental

(F409) El cuidado parental es una inversión de los padres con un origen muy antiguo. El cuidado parental (de uno o ambos padres) le permite a la cría tener protección cuando es más débil, aprender de los padres y ganar más experiencia antes de iniciar su propia vía. **///** El registro fósil más antiguo que se conoce tiene 520 Ma. Muestra un artrópodo (*Fuxianhuia protensa*) parecido a un camarón que cuida a sus cuatro crías. Los juveniles son muy similares a los adultos, son más pequeños y tienen un cuerpo más delgado. Todos tienen la misma cantidad de segmentos corporales, lo que sugiere que tienen la misma edad. Todos murieron y fueron fosilizados al mismo tiempo.

Tordos: el abandono de la responsabilidad parental. Los tordos son aves de América que parasitan el nido de otras aves. Ponen los huevos y dejan el cuidado parental a la especie parasitada. Por ejemplo, en la Reserva Costanera de Buenos Aires se documentaron 11 especies parasitadas y 200 en toda la distribución del tordo renegrido (*Molothrus. bonariensis*). Este tordo rara vez intenta armar un nido y, cuando lo intenta, no tiene éxito, lo que probaría que alguna vez lo hicieron y perdieron la destreza.

(1) Conteo y planificación. Para planificar el parasitismo tienen en cuenta información sobre la ubicación del nido, tipo y calidad del hospedador (observan cuando arman el nido), las defensas que tiene, el número y tasa de postura (seguimiento diario). **///** Para un estudio con el tordo cabeza marrón (*M. ater*) se simularon nidos en un gran aviario y se capturaron tordos cabeza marrón en la naturaleza para su seguimiento. Se midió cómo las hembras tenían en cuenta

(409) Cuidado parental en la garza blanca
Una familia con 3 crías de un mes de vida. **(arriba)** Uno de los padres alimenta en forma sucesiva a las 3 crías regurgitando pescado en la boca. Mientras exista buen aprovisionamiento de peces alimenta a todos por igual. Cuando hay carencias alimenta al más fuerte hasta que abandona el nido y luego puede seguir con el resto. **(abajo)** Con poca comida las crías más fuertes atacan a las débiles llegando a tirar al hermano fuera del nido.

el número de huevos y su variación diaria en los nidos a parasitar. Se encontró que prefieren nidos con la mayor cantidad de huevos (0 a 3 huevos). Hacen un seguimiento diario del tiempo transcurrido entre posturas de huevos y prefieren los nidos con la postura más reciente. Usan la información del día anterior para elegir el nido y no actualizan la información el día de la postura. Es una forma de cronometrar el mejor momento para el parasitismo: poner el huevo cuando está a punto de iniciar la incubación. Se podrían encontrar habilidades para contar huevos, evaluar el cambio de la cantidad y planificar la postura en el día siguiente. Las hembras de tordo ponen el huevo a primera luz y tardan unos segundos.

(2) El parasitado también juega. Una forma de defensa es detectar el huevo intruso, eliminarlo o abandonar el nido. Otra forma, pero involuntaria, es cuando el hospedador es inapropiado. Por ejemplo, una golondrina alimenta a sus crías en vuelo, cosa que no puede hacer con la cría de tordo. **///** Un estudio de hace 50 años indicaba que cada hembra pone un huevo por nido parasitado, casi sin preferencias de especies. Se pusieron huevos (naturales y simulados) en 640 nidos (45 especies). El 38 % de los huevos fueron rechazados. De ellos, el 80 % fueron tirados de los nidos y el resto ocurrió por abandono del nido.

Cuidado parental en anfibios. /// Un estudio analizó el cuidado parental en más de 1.000 especies de ranas y sapos (de 7.000 en total). Se encontró que la conducta parental es muy diversa. Se observa la construcción de nidos de espuma, la atención de los huevos, la crianza luego de la eclosión y la cooperación entre padres para proteger y alimentar a sus crías. Algunas ranas que ponen sus huevos en la tierra los protegen de la desecación al orinar sobre ellos. Otros

crían los huevos en el estómago o llevan a los renacuajos en sus espaldas. Este comportamiento parental permite que invadan hábitats inadecuados (desiertos). En las especies donde los machos son más grandes que las hembras, los padres se involucran más en el cuidado parental. La crianza de machos y hembras evolucionó en conjunto y varias veces en respuesta a ambientes terrestres. Los tetrápodos pueden haber desarrollado un comportamiento parental complejo cuando pasaron a colonizar la tierra hace 350 Ma.

El extenso cuidado parental en los cuervos beneficia la cognición. La estrategia parental tiene dos límites opuestos: muchas crías sin ningún cuidado o pocas crías con mucho cuidado. El cuidado parental es lo que permite a las crías pasar una infancia de aprendizaje social y cometer errores con menos riesgos. ***///*** Un estudio comparó a arrendajos siberianos (*Perisoreus infaustus*) y cuervos de Nueva Caledonia, con otras 127 especies de córvidos y varios miles de especies de paseriformes. La hipótesis es que la inteligencia y el cuidado parental van de la mano. Como medida de la capacidad cognitiva se usaron los experimentos de reconocer a un depredador y abrir una caja en busca de una recompensa. Los arrendajos forman grupos familiares ampliados, donde los jóvenes permanecen hasta los cuatro años. Los más tardíos en abandonar el grupo pudieron aprender más cosas por observación de los adultos. En los cuervos de Nueva Caledonia se encontró que el aprendizaje para construir herramientas les lleva un año, tiempo durante el cual los padres los alimentan. Permanecen con los padres por tres años, por lo que tienen una infancia más larga que la mayoría de los cuervos. Mientras los adultos usan una herramienta, les permiten observar de cerca e incluso robarlas.

La adopción dentro y fuera de la especie. La adopción puede estar impulsada por el desconocimiento o la tolerancia. Si no hay un costo para los padres, pueden tolerar a una cría de su especie u otra distinta. Lo mismo si hay abundancia de alimento. También puede ocurrir si la madre pierde la cría y adopta otra como sustituta. En la capa de empatía del modelo, se ofrecen ejemplos en los cetáceos donde se han visto varias adopciones entre diferentes especies. ***///*** En la década del 2000 se observó un caso de adopción, durante unos 14 meses, de una cría de mono tití (*Callithrix jacchus*) por un grupo de monos capuchinos (*Cebus libidinosus*). Esto ocurrió en la sabana boscosa del centro de Brasil. Un capuchino hembra que se suponía embarazada y que quizás perdió a su cría, adoptó al tití, lo cargó en su espalda y pareció amamantarlo. El bebé era un recién nacido y sobrevivió. El cuidado fue asumido luego por otra hembra, y todo el grupo toleró la presencia del tití. Hay razones para pensar que se trata de un problema de identificación ya que se observaron varios casos entre los monos titi de frente negra (*Callicebus nigrifrons*). Es probable que los altos niveles de oxitocina en las madres y la abundancia de recursos sean la causa de la adopción.

La mendicidad y el engaño en los polluelos de las aves.

(1) ***///*** Un metaestudio sobre 108 estudios con 60 especies de aves buscaba determinar la relación entre el grado de deshonestidad y la superpoblación del nido. Se trabajó con la "conducta de mendicidad" que es la súplica de los polluelos. La mendicidad por comida toma la forma de polluelos que gritan, agitan las alas y abren la boca lo más posible. Se encontró que son menos honestos acerca de la necesidad de alimentos cuando aumenta la competencia de herma-

nos o cuando uno de los padres desaparece. Todo lo que entra en conflicto es perjudicial para la honestidad. Los polluelos no nacidos (huevos o posturas futuras) también tienen un efecto en la honestidad. Esto puede deberse a que padres ahorrando recursos serían menos receptivos a la mendicidad. Las especies más honestas tienden a ser aves marinas de un solo pollo por camada.

(2) Las observaciones de campo en los garzales (*Ardea alba*) permitió verificar la conducta de mendicidad. Luego de unas semanas de vida, los padres abandonan el nido por la falta de espacio y retornan para distribuir la comida. El cambio de conducta en las crías es evidente. En ausencia de los padres, las crías no se diferencian de adultos. Tienen una conducta medida y no hay riñas entre hermanos. La llegada de uno de los padres modifica todo: se encorvan, menean, gritan, tiran picotazos, empujan, todo al mismo tiempo. Un observador humano ve este cambio de conducta, pero los padres solo pueden observar la conducta de mendicidad extrema y en parte fingida.

Vaca lechera: la vida parental entre madres y terneros. /// En la industria lechera los terneros son separados de sus madres en las primeras 24 horas después del nacimiento. Un estudio muestra que los terneros que tienen contacto con sus madres son más sociables. Se trabajó con 26 vacas y se las separó en dos grupos. Un grupo con once terneros se criaron separados de sus madres y se alimentaron con leche desde un alimentador automático. El otro grupo de quince terneros se mantuvo en contacto con sus madres (grupo de control). De ellos, nueve tuvieron acceso a sus madres, dos veces al día, y los otros seis podían acceder en todo momento. Luego se realizaron mediciones de estrés. Los terneros tenían niveles altos de la hormona cortisol cuando estaban aislados de la manada. Los que crecieron con sus madres midieron los niveles más altos de cortisol en los períodos de aislamiento, pero la frecuencia cardíaca fue la más baja. Fueron más activos durante el aislamiento, se movían más en sus cajas de parición y exploraron su entorno más activamente. Esto podría indicar mayor motivación para unirse a la manada y para hacer frente al aislamiento. El contacto con las madres los hace más sociables y competentes.

Elefantes: el aprendizaje parental puede llevar décadas.

-Los bebés elefantes son amamantados hasta los dos años. Un primer aprendizaje es el control de la trompa. A los 1-2 meses de vida, empiezan a probar alimentos potenciales: los toman con la trompa, los ponen en la boca y muerden. Aprenden probando la comida de los mayores: colocan su trompa en la boca del adulto y sacan parte del alimento. También pueden comer estiércol fresco con lo que forman su flora digestiva.

-De jóvenes (20 años), las hembras deben aprender a conseguir pareja para aparearse. La madre ayuda exhibiendo posturas de celo alrededor de sus hijas receptivas. Esta conducta de madre e hija durante el primer período estral de la joven indica la importancia de la enseñanza por demostración.

-La joven madre primeriza debe aprender previamente las habilidades de la maternidad. Lo hacen cuidando a los terneros de otras madres. La necesidad del aprendizaje se pone de manifiesto cuando se mide que los bebés primogénitos tienen más angustia y estrés y tasas de mortalidad más altas. Por eso el grupo ayuda a las primerizas.

-En tanto, el aprendizaje sexual del joven macho se hace siguiendo a los machos *musth* (adultos reproductivos). El apareamiento exitoso requiere una habilidad que se aprende observando. El joven analiza las mismas

manchas de orina y las mismas hembras. Los *musth* son tolerantes con los jóvenes, en tanto son muy agresivos con otros machos adultos.

Macaco Rhesus (*Macaca mulata*)**: la importancia del cuidado parental.**

(1) /// Un estudio siguió la conducta de 650 parejas de madre-cría. Un grupo se formó con crías que al nacer fueron asignadas a cuidadores humanos por 40 días. Luego pasaban a ser alojados con otros monos, en ambiente enriquecido y con acceso a cuidadores las 24 horas. Otro grupo se mantuvo con sus madres. A los ocho meses, todos los macacos fueron tratados de igual forma. Esto también se hizo con las generaciones posteriores para verificar el efecto transgeneracional. Se usaron también datos de 40 años de estudios para comparar los resultados. Se encontró que los monos criados con sus madres tenían más probabilidad de ser saludables en el futuro y requerían menor atención veterinaria. También eran más dominantes y tenían un estatus social más alto (medido como acceso a los recursos y parejas). Estos beneficios eran válidos solo para los descendientes de madres que habían sido cuidadas por madres. La ausencia de una madre cuidadora tiene un impacto duradero en las próximas generaciones.

(2) Empatía con los bebé del Rhesus /// Un estudio analizó las vocalizaciones de hembras adultas. Se encontró que emiten gruñidos suaves que aumentan ante la presencia de un bebé. Si un bebé se alejaba de su madre, las otras hembras vocalizan llamadas dirigidas al bebé. Las hembras mueven sus colas y emiten sonidos, lo que aumenta la tolerancia social en la madre. Se concluyó que esto da como resultado un contexto relajado donde el foco es el bebé. En grupos numerosos, el aporte de los vecinos es importante a la hora de la crianza.

Bonobo: las madres dominantes se involucran en la vida sexual de sus hijos machos. El cuidado parental tiene una extensión indefinida. En algunos casos, solo involucra los primeros estadios hasta que la cría está lista para vivir sola. En otros, como el bonobo, se estira hasta bien entrada la vida adulta. **///** Las madres bonobo garantizan que sus hijos machos se conviertan en padres. Una práctica es evitar el apareamiento de otros machos y acercar a sus hijos a las hembras ovulantes. Esto aumenta tres veces las posibilidades de paternidad. Además ayudan a los esfuerzos de cópula de sus hijos. También usan su rango en la sociedad matriarcal para darles acceso a un estatus más alto. En los chimpancés, los machos son dominantes, entonces no se ve esta situación en las hembras. Las madres bonobo no ofrecen a las hijas una ayuda similar. La razón es que se dispersan de la comunidad nativa en busca de otros grupos, pero los hijos se quedan.

La falta de cuidado parental en humanos tiene graves consecuencias a futuro. /// A fines de la década de 1960, en Rumania, se impulsó un plan para aumentar la población. Se llegó a multar a las madres con menos de cinco hijos. Para cuidar a miles de niños no deseados, el gobierno llenó orfanatos. Llegaron a casi 170.000 niños. La mayoría creció en un ambiente sin respuesta, con cuidadores en tres turnos que atendían de 10 a 15 niños. Cada niño tenía unos 17 cuidadores diferentes en una sola semana. Este experimento de crianza cero se estudió décadas más tarde para ver las consecuencias. Los estudios publicados desde 2003 muestran los problemas producidos por la falta de cuidado parental. Se concluyó que el cerebro necesita estimulación para desarrollarse y, cuando no lo consigue, el crecimiento cognitivo y emocional se atrofia.

Las capacidades cognitivas son heredables además de culturales por enseñanza parental. Un desafío es aislar el papel de la genética y de lo aprendido. Los más inteligentes ¿lo son por genética o por condiciones culturales con sus padres? En los chimpancés en cautiverio debería ser más fácil encontrar esta separación.

(1) /// Para un estudio, se trabajó con 99 chimpancés y se les realizaron trece pruebas de habilidades cognitivas. Luego, se dividieron los resultados en cuatro componentes. Cada chimpancé obtuvo un puntaje que se comparó con la relación parental. Se pudo concluir que los puntajes de inteligencia general, memoria espacial y capacidad de comunicación eran heredables.

(2) /// En un análisis de trece estudios que abarca el genoma de 78.308 humanos, se encontraron 22 genes que tienen relación con la capacidad intelectual. Previamente se conocían otros 30 genes.

ESTUDIO DE CASOS

hormigas: individualidad y sociabilidad

¿de qué se trata? A pesar de su fama de organizadas, las hormigas no tienen, para esto, un sistema explícito. No tienen una cadena de mando, ninguna hormiga da órdenes a otras hormigas, a lo sumo puede haber una sugerencia cuando se comunican con las antenas y feromonas. Una hormiga puede ser bastante tonta, pero juntas funcionan con notable eficiencia en promedio. Algunas son muy eficientes y otras, nada.

-Las hormigas se autoorganizan mediante feromonas, de forma que cada hormiga ocupa diferentes trabajos, por lo que emiten olores y cantidades diferentes. Si una hormiga no huele durante un tiempo la presencia de buscadores de alimento, entonces cambiará su trabajo. Es un sistema de autoorganización adaptativa. A esto se suman las diferencias en la personalidad que afectan y dan riqueza a las decisiones de las colonias. Se escribió que **"las más arriesgadas pueden considerarse como la imaginación de la colonia"**.

-Los animales carnívoros y cazadores no capturan ciervos y los crían. Tampoco los herbívoros siembran semillas o plantan árboles. Solo el hombre y las hormigas lo hacen, pero las hormigas llevan millones de años de ventaja.

-La esclavitud humana es rechazada hoy por la moral. Aun así, la toma de prisioneros y la explotación por el trabajo está tanto en los humanos como en las hormigas. Hay hormigas que capturan y esclavizan a otras especies de hormigas. Lo interesante es que es una conducta con un beneficio diferido, ya que se aprecia más el trabajo futuro de las esclavas que usarlas como alimento inmediato, aunque esto lleve a complejidades de administración, supervisión y seguridad.

la personalidad

Hormiga de la roca (*Temnothorax albipennis*)**: personalidad generalista o especialista**. **///** En un estudio se analizaron cuatro tareas típicas de la colonia: transporte de crías, recolección de dulces, búsqueda de proteínas animales y construcción de nidos. Se señaló a las hormigas con pintura de modelismo mediante la punta de un alambre como pincel. Los nidos eran cuadrados de cartón entre dos portaobjetos de vidrio, con un túnel para que las hormigas abandonaran el nido. Se evaluaron once colonias que tenían entre 27 y 233 obreras (total 1.142 obreras). Se constató que algunas hormigas eran emprendedoras y ansiosas en todas las tareas (generalistas), otras eran especialistas y algunas parecían perezosas. Las especialistas no fueron más eficientes, pero dedicaron más horas de trabajo. Parece que las hormigas eligen el tipo de trabajo cuando detectan que hay una falta en alguna categoría. Un individuo con un umbral inferior cambiará más rápido de actividad. Las diferencias en los umbrales sensoriales pueden graduar la división del trabajo sin ser una decisión consciente.

Hormiga del bosque (*Temnothorax longispinosus*)**: el valor de las generalistas. ///** Un estudio evaluó la importancia de los miembros sin personalidad definida para dar flexibilidad a una sociedad. Se probaron unas 3.800 hormigas, se las clasificó como especialistas o generalistas y se formaron colonias separadas. Luego se facilitó el ataque de hormigas esclavistas (*T. americanus*) que suelen robar los huevos para generar esclavos. Las hormigas del bosque se vieron obligadas a huir o luchar, pero siempre perdiendo huevos. Las colonias de especialistas perdieron casi el 80 % de los huevos, las generalistas menos del 50 %. Como esta especie solo se reproduce una vez al año, las pérdidas de huevos pueden implicar la destrucción de la colonia. También se encontró que las colonias que viven cerca de la hormigas esclavistas son más generalistas y las que viven solas son más especialistas y menos flexibles.

Hormiga azteca (*Azteca constructor*)**: la personalidad de la colonia.** En tanto cada hormiga tiene su personalidad, la colonia en su conjunto también tiene la suya.

(1) Las hormigas azteca son feroces, espantan a las hormigas cortadoras de hojas, desmiembran saltamontes y muerden pájaros carpinteros y monos. **///** Un estudio de campo analizó la conducta colectiva de colonias de aztecas que viven en árboles (género *Cecropia*) en Panamá. Las plantas ofrecen refugio en entrenudos huecos y alimento en los nectarios. Las hormigas ofrecen protección contra los herbívoros y vides invasoras y el fertilizante nitrógeno en las heces. Si el follaje de los árboles se daña, se liberan compuestos químicos que alertan a las hormigas. Para el estudio se definieron cinco rasgos característicos a nivel de colonia y se evaluó el daño en las hojas. Se consideró el comportamiento de patrullaje, la alteración vibracional, la respuesta a un intruso, la respuesta al daño en las hojas y la tendencia exploratoria. Se encontró que las colonias difieren en todas estas características. Se asignó un puntaje conductual donde el valor más alto corresponde a colonias más activas, sensibles y agresivas. Las colonias con mayor puntaje estaban en árboles que exhibieron menos daño en las hojas. Los puntajes fueron independientes del tamaño de la colonia y la edad. Luego, se simularon amenazas al árbol y se midieron las reacciones. Con el mismo estímulo, algunas colonias respondían y otras, no. Las colonias agresivas fueron siempre más agresivas, y las dóciles siempre más dóciles.

(2) /// En otro estudio se encontró que el crecimiento de la colonia de hormiga azteca y la planta estaban sincronizados. La morfología de las hormigas obreras dependía del tamaño de la planta, lo que sugiere que los rasgos de la planta influyen en el desarrollo de las hormigas. La personalidad de la colonia se correlacionó con el tamaño de las obreras. Las hormigas más pequeñas y menos variables tenían personalidades más agresivas. Algunas posibles explicaciones para esta variabilidad incluyen la epigenética, las condiciones ambientales, la disponibilidad de recursos o el estado sanitario del árbol.

Personalidad en las plantas. /// Dado que cada hormiga tiene una personalidad y que cada colonia también tiene la suya, ¿pueden las plantas tener personalidad e influenciarse mutuamente? Las plantas tienen una "personalidad" identificada por la memoria (química o epigenética) de sus estados anteriores, por el grado de sensibilidad al ambiente, por la robustez y diversidad de su rizosfera, etc. Por ejemplo, un ejemplar de una especie puede ser diferente a otro si está al sol o a la sombra, según la profundi-

dad del suelo, de acuerdo con la historia de las temporadas anteriores, etc.

Hormigas ladronas dedicadas al engaño de las colonias vecinas. En al menos dos especies de hormigas (*Ectatomma ruidum* y *Messor aciculatus*) se identificaron miembros que son ladrones especializados. **///** El estudio en Costa Rica determinó que las ladronas forman una casta separada y ocupan el 5 % de una colonia. Se siguió la actividad de 47 individuos que fueron identificados como ladrones y mostraron siempre una conducta astuta, tomando bocados de comida de un nido y llevándolos al suyo. No se trata de forrajeras oportunistas que obtienen su alimento de otras colonias, sino que actúan como si estuvieran trabajando para evitar ser detectadas. Cuando se les molesta, es probable que se congelen y luego se muevan en la dirección opuesta. Si las descubren, tiran la comida robada y corren más rápido. Esta conducta contrasta con las recolectoras regulares (no ladronas) que se aferran a su comida. Se encontró que entre las hormigas *E. ruidum* se identifica a los extraños por el olor. Entonces, las obreras ladronas desarrollaron una firma de olor que está a medio camino entre su propia colonia y la que están robando. Por eso son aceptadas en ambos mundos.

la navegación

Suma de sistemas de orientación en las colonias de hormigas. Los estudios muestran que las hormigas navegan usando diferentes instrumentos. Pueden usar la posición del sol, los patrones de luz polarizada, panoramas visuales, gradiente de olores, dirección del viento, pendientes, textura del suelo, conteo por pasos, etc. Las hormigas no integran toda la información en una representación unificada del mundo (mapa cognitivo). En cambio, poseen módulos dedicados. Un módulo sigue la distancia y la dirección del recorrido. Otro está dedicado al aprendizaje de paisajes visuales. Si se pierden, aplican un patrón de búsqueda sistemática, por ejemplo retroceden si se internan en un lugar desconocido, y tienen en cuenta lo que experimentaron recientemente para modular su comportamiento.

Hormiga de la roca: exploración y adaptabilidad al terreno.

(1) Planificación de viajes largos. /// En trabajos con esta hormiga se observó como planifican la exploración fuera del nido. Se encontró una relación entre la duración de la exploración y la velocidad promedio. La velocidad aumentó antes de un movimiento más largo. Esto sugiere que la duración se determinó de antemano en una suerte de previsión del futuro. Se encontró también que no responden a la información social de feromonas durante estos movimientos. Esto ayuda a reducir el flujo de información a procesar en una sociedad atestada de datos.

(2) Forma de salir del laberinto. /// Un estudio con la hormiga de la roca determinó que muestran un sesgo de giro hacia la izquierda en sitios ramificados. Los ojos están compuestos de pequeñas estructuras (omatidios) y las hormigas que giran a la izquierda tienen un poco más de omatidios en el ojo derecho. Esto puede deberse a que prefieren apuntar el ojo hacia la pared, de modo que, cuando llegan a un cruce, siguen la pared a la izquierda. La lateralización es útil en especies sociales que se benefician de la coordinación para cooperar en el movimiento. También el hombre tiene una preferencia a usar la lateralización de la mano derecha.

(3) Comunicación química negativa. /// En la hormiga de la roca se encontró que usa la comunicación química para evitar explorar el mismo espacio varias veces. Es un proceso que impide seguir el rastro de otro. En el experimento se permitió la exploración de una arena vacía por una hormiga a la vez. Primero se limpió la arena entre cada exploración para eliminar rastros. Cuando se dejó de limpiar, la exploración de la arena fue menor y cubrieron más espacio.

Hormiga del desierto (género *Cataglyphis*)**: la forma de eludir las trampas.**

(1) /// En un experimento de campo con hormigas del desierto se encontró que pueden aprender a evitar trampas. Se colocaron trampas con fosas resbaladizas en su camino. La única salida era un pequeño puente escondido por ramitas. En un primer intento, todas las hormigas se apresuraron a correr y cayeron en el hoyo. En un segundo intento, adaptaron la conducta a medida que se acercaban a la trampa. Se detuvieron para explorar el entorno antes de hacer un desvío y continuar. Los recuerdos visuales de unos segundos antes de caer se habían asociado como aprendizaje.

(2) /// En otro estudio se generó un campo artificial con bobinas de 1,5 m de altura. Esto produjo un campo magnético homogéneo y gobernable. El resultado fue inequívoco: cuando se cambió la orientación del campo, las hormigas miraban en esa dirección. El campo magnético es uno de los instrumentos de a bordo de las hormigas del desierto.

Ajustes en el tráfico de hormigas para evitar las congestiones.

(1) /// El estudio del tráfico permitió conocer cómo mejoran la eficiencia de la ruta. Las hormigas que llevan comida y vuelven al nido dejan un rastro de feromonas que otras hormigas podrán seguir. El primer viaje deja pocas feromonas que se incrementan con el tránsito de otras. La sumatoria de tráfico genera la mejor trayectoria entre la comida y el hormiguero. Las feromonas se evaporan y el aroma es más fuerte cuanto más corto es el camino. Esto genera un refuerzo por lo que pierden menos tiempo y energía. Las hormigas más viejas tienen un mejor conocimiento del entorno de los nidos. La búsqueda de comida en las hormigas jóvenes es un proceso de aprendizaje más que una contribución a la exploración.

(2) /// Un estudio realizó 170 experimentos con hormigas que viajaban entre el nido y una fuente de alimento. Se midió el ancho del camino y la cantidad de individuos que lo recorrían, entre 400 y 25.600. Se concluyó que (1) cuando la densidad aumenta, los flujos de hormigas se hinchan hasta volverse constante. No hay atascos como en el tráfico humano. (2) Las hormigas aceleran hasta alcanzar un flujo o capacidad máxima en el camino. (3) Cuando el tráfico se vuelve demasiado denso y causa colisiones, cambian de táctica y prefieren evitar las rutas. (4) A muy altas densidades, las hormigas se abstienen de unirse al flujo del tráfico y esperan que se reduzca. Las hormigas parecen evitar el embotellamiento al adaptar sus reglas de tráfico al hacinamiento local. Como están protegidas por su exoesqueleto no temen a las colisiones y pueden acelerar sin temor. Además, todo el tráfico comparte un objetivo común (el forrajeo) lo que determina una coherencia en el movimiento.

decisiones sobre el nido

Hormiga de la roca: la elección del espacio para el nido. Esta hormiga hace su colonia en grietas, y necesitan mudar-

se cuando el espacio que habitan se daña. Entonces envían exploradores en busca de espacios con una entrada de 1 a 1,5 mm, altura de techo de 2 mm, área interna de 20 cm^2 y bajos niveles de luz. **///** Con estas especificaciones técnicas en el laboratorio se tomaron 160 hormigas de diez colonias y se les ofrecieron nidos artificiales de diferente calidad. Se observaron diferentes conductas que fueron influenciadas por niveles hormonales, el número de receptores sensoriales, la edad y experiencia, el tamaño del cuerpo y la memoria de experiencias pasadas. Se concluyó lo siguiente:

-Más tiempo en el mejor lugar. Cuanto mejor era el nido potencial, más tiempo pasaron dejando feromonas para otras hormigas. Esto aumenta la probabilidad de contribución al *quorum* que toma la decisión. Había un balance entre la velocidad y precisión. La heterogeneidad de *opiniones* es más rápida para tomar decisiones pero es menos precisa, y es la clave de la flexibilidad.

-Una elección personalizada. Algunas hormigas fueron exigentes, otras aceptaron casi cualquier espacio que fuera mejor que el actual. Cada hormiga puede ser influenciada por la experiencia previa: si antes vio un nido de baja calidad, pasará más tiempo en el siguiente. Es decir, adquieren información y la usan para el comportamiento futuro.

-Un menor tiempo de decisión. El tiempo de decisión de una hormiga depende de la oferta, pero el tiempo de decisión del conjunto es constante. Es un enfoque de "sabiduría de multitudes", donde la racionalidad requiere que cada uno sea coherente con sus preferencias. Siempre elegir en base al mismo criterio, cualquiera fuera el criterio. Cuando se tienen muchas opciones, estrategias y enfoques individuales es más probable que surjan errores irracionales y que se compensen. Es la hipótesis de la cognición distribuida.

El cambio de opinión en la elección del nido. /// En un experimento con la hormiga de roca, se les colocó etiquetas de radiofrecuencia. Se les ofrecieron dos nidos: uno cercano de baja calidad y otro lejano de alta calidad. Eligieron el de alta calidad, aunque estaba nueve veces más lejos. Muy pocas hormigas llegaron al de alta calidad y muy pocas compararon ambos lugares. Sin embargo, un 41 % de las que visitaron el nido cercano cambiaron al lejano y solo el 3 % actuó al revés. Esta tasa de cambio puede ser un indicador de la bondad entre ambos. En muchos animales la evaluación comparativa lleva a tomar decisiones irracionales, debido a una clasificación inconsistente. Por ejemplo, A mejor que B, B mejor que C y C mejor que A.

Hormiga *Temnothorax rugatulus***: la elección del espacio para el nido.** Las grietas que usan de hormiguero deben cumplir normas de seguridad y temperatura. Pueden cambiar sus prioridades de elección de acuerdo con la experiencia reciente (memoria). **///** Un estudio trabajó con 54 colonias. Se les permitió elegir entre nidos con diferentes entradas y condiciones interiores. Esta información sirvió como referencia inicial. Entre las alternativas tenía: de entrada grande o pequeña, de interior claro u oscuro y de buena o mala inercia térmica. Más luz es menor calidad, porque más agujeros significan mayor pérdida de calor. Las colonias fueron divididas en dos grupos y se les facilitó el acceso a una parte de las alternativas. Un conjunto de 26 colonias solo podía elegir entre diferentes entradas y 28 colonias podían elegir solo entre condiciones de luz en el interior. Al final se les permitió elegir libremente otra vez para comparar con la primera referencia. Se sacaron algunas conclusiones:

(1) Cambian de opinión. Las hormigas guardan recuerdos de sus elecciones anteriores y pueden cambiar de opinión en base a la experiencia acumulada. De las 26 colonias que debían seleccionar por tamaño de entrada, al inicio, siete eligieron la entrada más pequeña y luego, fueron 17. Hubo diez cambios de opinión. De las 28 colonias que eligieron por opciones de luz, 16 eligieron el nido más oscuro antes de la elección forzada y 19, después. Se produjeron tres cambios de opinión.

(2) Decisión individual o comunal. En otra fase del trabajo se compararon las decisiones individuales con las colectivas. Cuando la diferencia entre alternativas era muy evidente, la decisión individual y colectiva era la misma. Sin embargo, se encontró que los individuos tenían una tasa de éxito ligeramente superior a la colonia cuando las alternativas eran similares. Cada hormiga en forma solitaria podía analizar todas las opciones y tomar una decisión apropiada. Esto lleva más tiempo que el enfoque de múltiples hormigas que solo revisan algunos pocos sitios. La decisión por *quorum* es eficiente, veloz, pero puede llegar a una decisión subóptima.

Hormiga carpintera (*Formica polyctena*)**: la vida en un búnker nuclear. ///** En Polonia, un búnker de armas nucleares soviéticas fue escenario de un drama. En 2013, gracias al programa de conteo de murciélagos hibernando, se encontraron hormigas. Existía cerca de un millón de hormigas, todas obreras. Las hormigas caían por una tubería de ventilación y no podían volver a salir. A pesar de estar atrapadas en un espacio sin salida, luz, calor y alimentos, lograron sobrevivir. Se encontró que las hormigas consumieron los cadáveres de sus congéneres que literalmente caían del cielo. En la naturaleza, el canibalismo ocurre en primavera cuando los alimentos son escasos. Son las llamadas guerras de hormigas que delimitan territorios de las colonias. Esto demuestra la capacidad de adaptación a hábitats marginales. Luego del estudio, se decidió liberar a las hormigas. Primero, un grupo de cien hormigas se sacaron del búnker para confirmar la relación genética entre las hormigas de la superficie y las del búnker. Luego se construyó un paso vertical de 3 m que fue explorado y usado. En el 2017, el búnker estaba vacío de hormigas, aunque continúan cayendo y abandonando el lugar.

la automedicación

la necesidad

La farmacia personal de las hormigas. Malas noticias: las hormigas recolectan alimentos junto con patógenos, comparten la comida, tienen hormigueros cálidos y húmedos que son invernaderos, están muy relacionadas genéticamente y son susceptibles a compartir gérmenes. Pero también hay buenas noticias: las hormigas son limpiadoras y eficientes eliminadoras de residuos, cuando se infectan comen toxinas (peróxido de hidrógeno o resina de coníferas), producen ácido fórmico que, con la resina, forma un antimicrobiano, y mantienen bacterias que producen antimicóticos. Resultado: llevan millones de años en esta lucha bioquímica.

Hormigas matabele (*Megaponera analis*): **el triaje de las amputaciones.** El triaje es un método aplicado en la medicina hos-

pitalaria, para clasificar la gravedad de los enfermos, de forma de atender a los más graves y rescatables primero. Es lo que aplican las hormigas africanas matabele. Estas hormigas son de las más agresivas. Varias veces al día forman grupos de cientos de individuos y salen a cazar termitas. Como las termitas se defienden y las hieren con gravedad, rescatan a los heridos y los cuidan. No lo hacen mediante la automedicación sino con un tratamiento con saliva de las piezas bucales sobre las heridas. **///** Un estudio en Costa de Marfil siguió a 208 redadas de 16 colonias. Luego, desenterraron 14 colonias y se contabilizaron poblaciones de entre 900 y 2.300 hormigas. Se informaron las siguientes conclusiones:

-En promedio se contaron unas veinte víctimas por día. Mientras algunas hormigas regresaban al hormiguero con presas de termitas muertas, otras recorrían el terreno en busca de heridos que pedían ayuda mediante feromonas. Estas feromonas (sulfuros de dimetilo) se liberan en glándulas de la mandíbula e incitan al comportamiento de rescate.

-Si una hormiga estaba muy dañada (p.ej., había perdido 5 de las 6 patas) se resistía a ser rescatada. Es una actitud altruista para no malgastar recursos. En el otro extremo, si una hormiga estaba levemente herida y era ignorada por los rescatadores, se levantaba de inmediato y corría detrás. Más de la mitad de estas hormigas heridas morían al ser emboscadas por arañas que son más rápidas.

-De esta forma, las hormigas enfermeras tomaron decisiones de a quién ayudar, aunque en parte dependían de las feromonas del herido. No se sabe si el tratamiento es preventivo para evitar infecciones o terapéutico. Pero sí se sabe que el 95 % de las hormigas heridas y recuperadas regresan a otras incursiones de caza. El 20 % de las hormigas que forman el ataque muestran signos de lesiones previas. En 53 redadas observadas se pudo estimar que una colonia rescata entre 9 y 15 soldados heridos por día. Dado que una colonia de estas hormigas produce 10-14 hormigas diarias, los rescates tienen impacto en la población.

Hormigas *Lasius neglectus***: el aseo mantiene a raya las infecciones con hongos.** La atención sanitaria en el hormiguero crea un ambiente de "inmunidad social" que se suma al sistema inmunitario de cada individuo. **///** Un estudio probó combinaciones de hongos patógenos que pudieron vencer a estas hormigas cuando estaban aisladas pero que fracasaron con la comunidad. Un tipo de hongo (género *Metarhizium*) infecta a los insectos al unirse a la cutícula como esporas. Cuando germinan, producen enzimas que rompen la superficie del insecto. Luego penetran y crecen en el interior, se replican, matan a la hormiga mediante toxinas y emiten millones de esporas nuevas al ambiente. El aseo ayuda a las hormigas a prevenir estas infecciones. Las hormigas usan sus piezas bucales para arrancar las esporas infecciosas de la superficie del cuerpo de sus compañeros de nido. Esa acción social es más efectiva que el aseo personal, porque algunas partes del cuerpo son inaccesibles. Si no tienen éxito en controlar la infección, actúan de forma selectiva. Detectan a los infectados usando señales químicas que los identifican y hacen una desinfección destructiva. Producen ácido fórmico que puede matar el hongo, pero requiere entrar en la pupa, por lo que morirá también la hormiga afectada.

Hormiga *Formica paralugubris***: la resina inhibe el crecimiento de bacterias y hongos. ///** Algunas hormigas modifican su conducta de recolección por temporadas. Un

estudio siguió la recolección anual de piedritas, ramitas y piezas de resina solidificada de coníferas para usar en el nido. Se comprobó que la resina inhibe el crecimiento de bacterias y hongos en el nido. Las hormigas mostraron una fuerte preferencia por la resina sobre las ramitas y piedras durante la primavera, mientras que, en otoño, preferían recolectar ramitas y resina. Se constató que la preferencia por la resina se basa en señales de olor y que tiene carácter profiláctico precautorio.

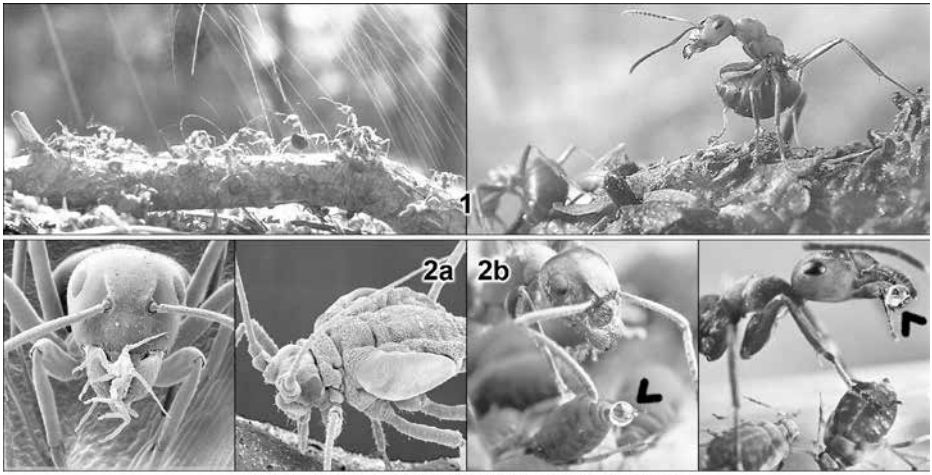
Hormigas cosechadoras (*Messor pergandei*)**: la limpieza de la tela de arañas. ///** Un estudio encontró que estas hormigas rescatan a sus congéneres atrapados por arañas. Esta hormiga habita en el desierto, en colonias de decenas de miles de individuos. Caminan una sola ruta diaria para recolectar semillas y pueden ser atrapadas por telas de araña. Cuando una hormiga enredada emite una señal de alarma química, sus compañeros la rescatan, la llevan de regreso al nido y limpian la seda de su cuerpo. Se observó que tiran de la red hasta que la destruyen. Esta operación lleva de treinta minutos a dos horas.

los compuestos

El peróxido de hidrógeno es un tóxico para los hongos. El peróxido de hidrógeno es un residuo del metabolismo celular, es tóxico para extraños y para sí mismo y debe neutralizarse lo antes posible. **///** Un estudio analizó la automedicación con peróxido de hidrógeno (agua oxigenada, H_2O_2) en la hormiga *Formica fusca*. Primero se alimentó a un grupo de hormigas con una solución de miel y a otro grupo con una solución enriquecida con peróxido de hidrógeno. Las hormigas sanas que recibieron la dieta enriquecida tenían una tasa de mortalidad del 20 %, comparado con el 5 % del grupo de control. Esto demostró que el peróxido de hidrógeno es tóxico para las hormigas. Luego se infectaron hormigas con un hongo (*Beauveria bassiana*) que es insecticida biológico. La tasa de mortalidad aumentó al 60 %, en las hormigas con la dieta ordinaria y al 45 %, en la enriquecida. Esto comprueba que beneficia a los infectados. En otra fase del estudio, se les ofreció la opción de alimento ordinaria o una enriquecida con el tóxico. Elegían el normal si estaban sanas y el enriquecido si estaban infectadas. Esto indica que tomaron una decisión inducida por la infección del hongo. Con una solución tóxica débil la tomaban el 50 % del tiempo y con una solución fuerte, la tomaban el 25 % de las veces. Esto indica que la dosis depende de los efectos del hongo. La toma del medicamento fue voluntaria y la dosis fue la apropiada al grado de infección. El peróxido de hidrógeno en la naturaleza se consigue al consumir pulgones u hormigas muertas en descomposición.

(F410) El ácido fórmico. El ácido fórmico es la primera línea de defensa y se obtiene de una glándula en la espalda. También las abejas producen este ácido y lo expulsan mediante un aguijón en la parte posterior. En las plantas urticantes (familia *Urticaceae*) se encuentra en los pelos con ampollas.

(1) Hormiga cortadora de hojas (*Acromyrmex echinatior*)**. ///** Cuando la hormiga cortadora de hojas es infectada por un hongo (*Metarhizium brunneum*), utiliza el ácido fórmico como defensa. Un estudio encontró que las hormigas mezclan resina y ácido fórmico para producir un compuesto antibiótico para tratar la colonia. Las hormigas recolectan resina de coníferas que son ricas en metabolitos secundarios de las



(410) Dos conductas distintivas en las hormigas
(1) Uso de compuestos químicos. El ácido fórmico producido por las hormigas es usado como ataque, defensa y automedicación. **(2) La agricultura y ganadería.** Los áfidos (2a) viven de las plantas y las hormigas hacen ganadería de áfidos para obtener melaza (2b).

plantas. En el estudio se comparó la resina fresca con la tratada con ácido fórmico y la mezcla mantuvo controlado al hongo.

(2) Hormiga carpintera (*Camponotus floridanus*)**. ///** En una investigación se encontró que la hormiga carpintera usa el ácido fórmico para matar patógenos de los alimentos. Esto ayuda a prevenir la propagación de enfermedades en las colonias debido a la alimentación boca-a-boca. Lo que hace es aumentar la acidez en sus estómagos al tragar ácido. Cuando se evitó que las hormigas se doblaran para alcanzar sus glándulas venenosas, los niveles de acidez eran bajos. Cuando se las alimentó con alimentos contaminados con una bacteria, las hormigas que no pudieron tomar su ácido, tenían mayor mortalidad. No está claro si beben de la glándula en forma activa o accidental, cuando se acicalan.

(3) Hormiga loca rojiza (*Anoplolepis gracilipes*) **se defiende de la hormiga de fuego** (género *Solenopsis*). La hormiga de fuego tiene una picadura como para matar animales pequeños. Su veneno es una mezcla de alcaloides y enzimas, incluidas neurotoxinas que interfieren en el sistema nervioso. Primero muerde a su objetivo para mantenerse quieta y luego inyecta el veneno con el aguijón en su abdomen. **///** Un estudio determinó que, cuando las hormigas rojizas son atacadas, huyen para limpiarse. Alcanzan la glándula que secreta el ácido fórmico y usando las mandíbulas y patas delanteras, se rocían de su propio ácido. Entonces, protegidas, vuelven a la batalla. Parece que el tóxico las protege. En otro estudio, se colocó el ácido fórmico en las hormigas argentinas (*Linepithema humile*) y, luego, se las juntó con las hormigas de fuego. El antídoto funcionó también con esta otra especie. Puede ser que el ácido fórmico neutralice las enzimas que hacen que el veneno sea tan potente.

la agricultura y ganadería

cultivo de semillas y plantas

Hormiga cosechadora (*Pogonomyrmex badius*)**: cosechan y almacenan semillas.** Unos 18 géneros de hormigas cosechan semillas y las colonias de algunas especies pueden almacenar más de 300.000 semillas en sus graneros subterráneos. **///** Las hormigas cosechadoras tienen una estrategia agrícola especial: plantan semillas, esperan a que germinen y luego las comen. Se pensaba que las hormigas eran capaces de romper las semillas, pero un estudio excavó 200 nidos y encontró otra situación. Las hormigas consumen las semillas pequeñas, fáciles de romper. Pero como recolectan de todos los tamaños, las semillas más grandes se acumulan llegando a ser la mayoría de las semillas almacenadas en peso (70 %). La germinación de estas semillas divide la cáscara y vuelve el contenido accesible. Una sola semilla grande puede tener un valor nutricional de quince semillas más pequeñas, por lo que tiene sentido recogerla y esperar a que se rompa.

Hormigas plantadoras (*Philidris nagasa*)**: cultivan semillas de árboles.**

(1) El cultivo de semillas. /// Estas hormigas de las islas Fiji insertan semillas de una planta frutal epífita (género *Squamellaria*) en las grietas de la corteza de los árboles. Luego patrullan los sitios de plantación, mientras con sus heces fertilizan las plántulas. Las plantas crecen y forman estructuras huecas grandes, redondas, vacías y conectadas al exterior (domatia). En estos huecos viven y defecan las hormigas. Cuando aparece la fruta, comen la carne y recolectan las semillas para la futura agricultura. Cada colonia de hormigas cultiva docenas de plantas con senderos que las unen entre varios árboles adyacentes.

(2) Todo empezó hace 3 Ma. /// El estudio de la genética de las plantas y hormigas mostró que estas hormigas perdieron su capacidad de construir nidos hace 3 Ma. Al mismo tiempo las plantas desarrollaron raíces que podían crecer en la corteza. Esto señala el comienzo de la relación mutua.

(3) Fertilización de nitrógeno. /// En un experimento se utilizó nitrógeno marcado con isótopos para seguir la fertilización que hacen las hormigas. Las plantas tienen verrugas absorbentes en las paredes internas de las domatias donde anidan las hormigas. En ese lugar las plantas absorben el nitrógeno de las defecaciones y lo usan en la germinación de la epífita.

Hormiga del limón (*Myrmelachista schumanni*)**: ácido fórmico como herbicida.** Esta hormiga parece aislar una zona de la selva amazónica para dejar una variedad muy baja de tipos de árboles. Se lo llama "jardín del diablo" y es una especie de monocultivo. Una variedad beneficiada es el huitillo (*Duroia hirsuta*). **///** En un estudio se plantaron retoños de un cedro amazónico común dentro y fuera de los jardines protegidos por las hormigas. Luego se permitió a las hormigas permanecer en algunas zonas y en otras, se les impidió. En cinco días, las hormigas obreras habían devastado los retoños sin protección, envenenándolos con ácido fórmico, logrando que la mayoría de las hojas se cayeran. Este comportamiento favoreció al huitillo en el área despejada por las hormigas. En la selva se conoce un área de 1.300 m^2 con unos 800 años de antigüedad y 328 árboles en un monocultivo. Las hormigas patrullan su área, si encuentran

brotes, los inspeccionan y los destruyen, si no son de huitillo. Es un caso donde el ácido fórmico se usa como herbicida.

cría de hongos

Hormigas granjeras (género *Attini*)**: domesticaron a los hongos.** Estas hormigas son una tribu de más de 200 especies en Sudamérica, que incluye las hormigas cortadoras de hojas. Cosechan hojas que llevan al hormiguero, pero no las comen, sino que las usan para alimentar a hongos. Las reinas jóvenes llevan un poco de hongos de su nido cuando vuelan para establecer un nuevo nido, lo que demuestra el grado de mutualismo. **///** El análisis del ADN estimó que comenzaron a cultivar "jardines" de hongos hace 60-50 Ma desde un ancestro común. Fue el pasaje de un cazador-recolector a un granjero de subsistencia con hongos. Al principio, eran granjas a pequeña escala que mantenían con restos de plantas. El pasaje a una relación de mutualismo ocurrió hace 30-25 Ma, cuando el clima cambió a uno más árido con largos períodos secos estacionales. Esto coincide con la evolución de las gramíneas. Hace 15 Ma, surgieron cuatro líneas diferentes. El primer paso en la coevolución fue adoptar hongos de crecimiento lento. Los hongos debieron tener dificultades para sobrevivir fuera de la atención de las hormigas y las hormigas perdieron la capacidad de producir el aminoácido arginina. Esto las transformó en herbívoros agresivos que causan defoliación en ecosistemas naturales. En el proceso, las hormigas perdieron muchos genes, pero los hongos aumentaron la probabilidad de supervivencia con el aporte de nutrientes.

Son granjeras de monocultivo de hongos. Los productores primarios de hongos tienen colonias de 2.000 obreras, pero las cortadoras de hojas pueden llegar a millones. Una granja de hongos es un monocultivo y no un bosque sostenible de especies mixtas. La presencia de otros hongos es un problema para el cultivo. **Algunos micólogos han dicho que los hongos están cultivando a las hormigas y las esclavizan.**

(1) /// Un estudio comparó los hongos de las cortadoras de hojas con los hongos de hormigas menos especializadas. Los hongos normales tenían dos copias de cada cromosoma, pero el hongo de la cortadora de hojas es poliploide (5 a 7 copias). Se sabe que multiplicar la cantidad de cromosomas es la forma rápida de domesticación. Ocurre que el hongo se hace más grande y robusto porque aumenta el número de copias de cada gen. Produce más hormonas de crecimiento y las proteínas inmunes. Las especies poliploides a menudo no pueden reproducirse sexualmente, lo que acelera la domesticación, porque evita la cruza con parientes silvestres. Los hongos actuales no pueden producir enzimas para digerir plantas leñosas y dependen de las hojas verdes traídas por las hormigas. Los hongos producen proteínas esenciales para el crecimiento de las hormigas y estas evolucionaron enzimas para digerir la producción de los hongos.

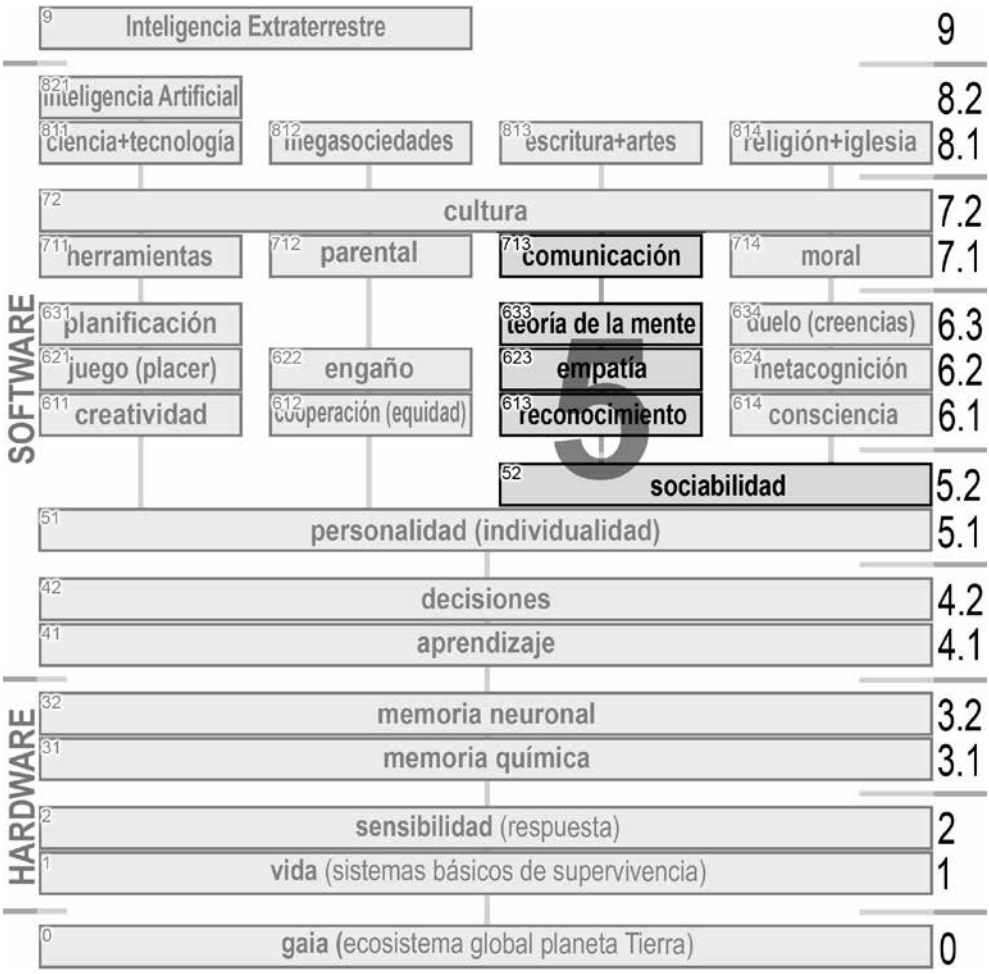
(2) Las hormigas cortadoras de hojas mantienen una granja en la cual hay hongos parásitos (género *Escovopsis*). Para protegerse, las hormigas generan un *biofilm* de bacterias en sus cuerpos que producen antifúngicos. Si la colonia se estresa (sequías), el parásito toma el control y la colonia es abandonada.

Hormigas parásitas que sirven como arma contra otras hormigas letales. Una hormiga cultivadora de hongos (*Sericomyrmex amabilis*) tolera a una hormiga parásita (*Megalomyrmex symmetochus*) que se alimenta de hongos y larvas. Se trata de una relación de parasitismo, pero con una salida mutualista que ocurre en el norte de Sudamérica. La hormiga cultivadora junta materia orgánica en descomposición que es usada como estiércol para cultivar hongos. La hormiga parásita consume huevos de la hormiga cultivadora y hongos. **///** Para poder convivir, el parásito debería mimetizarse con iguales feromonas o no tener feromonas detectables ("ser invisibles", estrategia de insignificancia). Pero un estudio analizó los hidrocarburos de la cutícula y encontró que son detectables. Lo que ocurre es que la hormiga invasora genera un veneno volátil basado en alcaloides y que funciona contra otra hormiga invasora más letal. Es un parásito que ofrece un servicio. Las hormigas agricultoras de hongos comienzan pequeñas granjas y cuidan el jardín al alimentarlo y protegerlo de los patógenos. Los cultivos son abundantes, más de lo que necesita la colonia de acogida, por lo que, cuando los parásitos invaden, no causan estrés de recursos. Si bien comen algunas de larvas ricas en proteínas, no matan a la reina y la colonia se mantiene sana.

ganadería de áfidos

(F410) Los áfidos explotan a las plantas y las hormigas a los áfidos. Los áfidos o pulgones pueden ser una plaga en los cultivos agrícolas. Cuando se instalan en un árbol toman la savia desde el floema y excretan desechos acuosos que, al concentrarse, forman un tipo de miel (melaza). Estos desechos les permiten mantener una simbiosis con las hormigas que toman la melaza y a cambio protegen a los áfidos de otros enemigos. **///** Una especie de áfido (*Nipponaphis monzeni*) coloniza las cavidades (agalla) de un árbol de hoja perenne (*Distylium racemosum*). Las agallas funcionan como protección contra enemigos y el clima. Succionan la savia del floema y se aíslan durante dos años hasta que las agallas maduran. Cuando tienen alas, migran a otra planta. Los áfidos obligan a la planta a absorber sus desechos, lo que es una manipulación de la fisiología de la planta. En paralelo las hormigas manipulan a los áfidos. Muerden las alas, con lo que evitan que abandonen las agallas y producen químicos que sabotean el crecimiento. Las feromonas de las hormigas funcionan como tranquilizantes para la granja de áfidos. Las hormigas pueden comer algún áfido, por lo que se considera una relación de sometimiento. En tanto, las hormigas combaten depredadores (mariquitas) que intentan devorar a los áfidos. Se piensa que los áfidos detectan las feromonas de las hormigas para mantenerse dentro de la zona de protección.

Hormiga (*Lasius japonicus*)**: mantiene un balance de miembros en la colonia de áfidos. ///** Otro caso de interés ocurre con un áfido (*Macrosiphoniella yomogicola*) que tiene dos posibles colores: rojo y verde. La hormiga prefiere la melaza del verde con muchos nutrientes. Se encontró que la colonia es más vigorosa con 65 % de áfidos verdes y 35 % de rojos. Pero si se quitan las hormigas, la forma roja se reproduce más rápido que la verde. Por lo que, las hormigas manipulan las poblaciones para mantener la mejor proporción. Se supone que la forma roja proporciona un beneficio al suprimir el desarrollo de brotes bajos en las plantas hospedadoras. Las hormigas invierten en un beneficio a futuro con los áfidos rojos y sacrifican un placer inmediato que sería tener un 100 % de verdes.


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
5
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad (individualidad) 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

MODELO DE CAPAS

52 sociabilidad

¿de qué se trata? La sociabilidad es una característica clave para el desarrollo cognitivo. Está en la base de una "pila" de capas que lleva a la Teoría de la Mente (comprender qué piensa el otro) y la comunicación. La sociabilidad tiene una serie creciente que parte desde lo subsocial (grupo familiar solo durante la reproducción) hasta lo eusocial (grandes organizaciones). Si un individuo integra un grupo social significa que puede reconocer a sus vecinos, interpretar sus necesidades (tener empatía) y que puede planificar el futuro. Para un animal de manada basta con identificar a su vecino, pero en una sociedad, se debe reconocer a largo plazo la estructura de toda la red.

El aseo es una actividad social que actúa de coagulante del grupo. Cuanto más grande es el grupo, más tiempo se dedica al aseo, pero a menos individuos se puede asear. En sociedades grandes el estrés aumenta y se requiere asegurar que los amigos sean confiables, entonces aumenta el tiempo de aseo. **///** Una teoría dice que en los humanos, luego del aseo, se incorporó la risa, que resultó ser como una forma de coro de varias personas. Luego se agregó el canto y baile, lo que aumentó más el tamaño del grupo humano. El lenguaje dio un mayor control sobre la risa, con los chistes y canciones. Más tarde, los rituales religiosos permitieron los supergrupos humanos. La mayoría de los humanos no tienen más de 150 individuos en la red social personal. La calidad de una relación depende del tiempo invertido, lo que establece un límite superior en la cantidad de amigos. En los mandriles los grupos son de 20 individuos, y forman agrupaciones superiores de 250 individuos. El tamaño del grupo para babuinos y chimpancés es de 50 simios. En los estudios con mandriles hembra se comprobó que quienes tienen amistades más fuertes producen menos cortisol, una hormona relacionada con el estrés, y tienen más descendientes.

Dos hipótesis opuestas: la "inteligencia social" y la "cognición distribuida". La inteligencia social dice que, a un mayor tamaño de grupo le corresponde un tamaño mayor del cerebro. Por ejemplo, en los monos sociales (babuinos y macacos) se necesitan cerebros más grandes para manejar grupos más grandes. Esta hipótesis parece responder bien en los verte-

brados donde las relaciones sociales son entre individuos no relacionados. Los conflictos en estos grupos son permanentes. Se habla de la "inteligencia maquiavélica", donde el entorno social más complejo exige habilidades más complejas a cada individuo. En cambio la hipótesis de cognición distribuida dice que, al depender del grupo, cada individuo puede invertir menos en la capacidad cerebral. Esta hipótesis parece funcionar mejor en los insectos, donde los individuos están muy relacionados y los conflictos son acotados.

(1) Avispas: un caso de cognición distribuida. /// Un estudio comparó el cerebro de 29 especies de avispas solitarias y sociales. El cuerpo de hongo en el cerebro de las avispas es el mejor indicador disponible de la cognición. Se encontró que las especies solitarias tenían el cuerpo de hongo más grande. Es un área que tiene injerencia en los sentidos, el aprendizaje y la memoria espacial. Parece que en la medida en que evolucionó la conducta social, disminuyó la necesidad de una cognición compleja en cada individuo.

(2) Urraca australiana (*Cracticus tibicen*)**: un caso de inteligencia social. ///** Un estudio trabajó con urracas en busca de medir la capacidad de aprendizaje. Se examinaron catorce grupos salvajes que tenían de tres a doce aves por grupo. La capacidad cognitiva de cada urraca se probó haciéndoles cumplir varias tareas. En una, tenían que aprender a asociar un color con la presencia de comida. En otra, debían memorizar lugares donde se escondía la comida. En una prueba adicional de autocontrol, debían evitar picotear la comida en el frente de un aparato y dar la vuelta para obtener una mejor ración. Se concluyó que, en las urracas, los desafíos de la vida en grupos complejos impulsaron la evolución cognitiva. Las pruebas repetidas en juveniles y a diferentes edades mostraron el vínculo entre el tamaño del grupo y la capacidad cognitiva en la solución de los problemas. Las urracas de grupos más grandes mostraban un rendimiento cognitivo más elevado. También las hembras con mayor rendimiento cognitivo tenían más descendencia. Este es un argumento a favor de la inteligencia social y de que el mejor rendimiento cognitivo se propaga por selección natural.

Hormiga carpintera (*Camponotus mus*)**: Las instrucciones sociales compiten con las experiencias individuales.** En los insectos sociales existe una puja entre las experiencias individuales que se aprendieron y las instrucciones sociales. La información social debe prevalecer sobre la individual cuando se trata de la toxicidad de un alimento. De esta forma el aprendizaje se propaga. **///** Un estudio con la hormiga carpintera encontró que se comunican cuando se enfrentan boca-a-boca. En ese momento detectan los olores y gustos, y se vinculan con alimentos específicos. En un experimento se las expuso a una sustancia tóxica, el ácido bórico. Esta información negativa pasó a ser una experiencia personal. Pero fue anulada cuando estaba presente en los alimentos que se intercambiaban en el contacto social. De esta forma continuaron recolectando alimentos tóxicos, siempre que el olor coincidiera con los recibidos en forma social. Sin embargo, los alimentos tóxicos sin aroma fueron rechazados.

La personalidad holgazana optimiza el consumo de energía. Las hormigas haraganas pueden ser más eficientes si no se mueven. En las grandes colonias, el uso de energía per cápita es más eficiente que en las colonias pequeñas. **///** Un estudio encontró que, en un grupo de 30 hormigas el 60 % de las obreras no se movía, pero en uno de

300 hormigas eran el 80 %. Esta razón justifica que el consumo de energía per cápita del grupo de 30 hormigas sea el doble que en el de 300 hormigas. Al no consumir energía, las hormigas perezosas están ahorrando recursos y haciendo a la colonia más productiva. Las hormigas que caminan consumen cinco veces más energía que las hormigas en reposo.

Carpa dorada (*Notemigonus crysoleucas*)**: el miedo a la cohesión. ///** En un estudio se manipuló la percepción del peligro de la carpa dorada. Se usó una sustancia de alarma química (*schreckstoff*) consistente en un cóctel de compuestos que se libera en el agua desde la piel de los peces lesionados. Este cóctel se asocia al riesgo de depredación. Los peces reaccionan mediante un sobresalto. El aumento en la tasa de sobresaltos produce cambios en la estructura física del grupo. Las carpas se agrupan, de forma que la conexión social aumenta la capacidad de detección, con una respuesta grupal más efectiva y rápida. Se reduce también el riesgo de exceso de sensibilidad y de cometer errores. Así, el aumento de la concentración de compuestos, produce cohesión en el grupo.

en las aves

Carboneros (*Parus mayor*)**: la red social se modifica cuando falta un miembro. ///** El seguimiento de 500 carboneros durante un invierno logró determinar el cambio de conducta. Se capturaron y secuestraron en forma temporal algunas aves al azar. Los resultados indican que los que quedan se adaptan a la pérdida aumentando el número y la tirantez de las relaciones sociales. Se produce un aumento de la conectividad dentro de la red social, lo que permite reconstruir los procesos (p.ej., transmisión de información). Existe un paralelismo entre el carbonero y los humanos que pierden un amigo. Según los datos de Facebook, luego de una pérdida, los amigos estrechan las relaciones y aumentan sus interacciones.

Cotorras (*Myiopsitta monachus*)**: la formación de la pirámide jerárquica social. ///** Un estudio analizó el orden jerárquico de la cotorra. Se observó que a una semana de formarse el grupo, los individuos dirigen la agresión contra quienes están cercanos en el rango. Las cotorras parecen ser capaces de recordar cadenas de agresión que determinan el orden social. Si A lucha con B y B con C, se puede formar una jerarquía de dominación. Se analizaron dos grupos de aves cautivas durante 24 días cada uno. Se contabilizaron los casos donde existió un ganador, consistente en un miembro que se acerca a otro y lo empuja. Se analizaron 1.013 victorias en un grupo y 1.360 en el otro. Se observó que la interacción y observación de otras peleas permite acumular conocimiento de quién gana contra quién. Esto evita peleas con aves de mayor o menor rango. En cambio, enfocaron su agresión contra miembros del mismo rango.

Cuervos: el valor del estatus. /// Un estudio trabajó con cuervos cautivos durante un período de seis años. Se midió la conducta dentro del grupo y el grado de sociabilidad. En paralelo, se analizaron los excrementos para medir la presencia de parásitos protozoos en el sistema gastrointestinal. Se determinó que una menor proporción de parásitos produce un aumento de sociabilidad. Los cuervos machos tenían más probabilidades (33 %) de tener parásitos que las hembras (28 %). Puede ocurrir que tener vínculos sociales extensos reduzca el estrés y sean más resistentes a los parásitos.

en los mamíferos

Ratones: la jerarquía social puede ser modificada actuando en el cerebro. En las especies que compiten para formar una jerarquía social se puede dar el fenómeno "efecto ganador". Se observa que cada victoria incrementa la probabilidad de ganar el siguiente enfrentamiento de dominación social. **///** Un estudio con ratones analizó la conducta típica durante la pelea: empuje inicial, avance-retroceso, resistencia, y retiro-quietud. El monitoreo simultáneo del cerebro encontró un grupo de neuronas que se activaban durante la fase de lucha (empuje y resistencia). Cuando se inhibieron las neuronas mediante fármacos, los ratones participaron en un número menor de empujes. Cuando se estimularon las neuronas, comenzaron a ganar contra oponentes dominantes con una tasa de éxito del 90 %, sin afectar el nivel de ansiedad. Cuando se interrumpió esta estimulación y llevaban seis victorias, mantuvieron el rango social aunque perdieron la garra del combate. Mucho de lo concerniente al rango social que se adquiere está en un circuito de neuronas.

Marmota vientre amarillo (*Marmota* flaviventris)**: desventaja de la vida social.** Estas marmotas forman grupos de 6 a 24 hembras adultas con crías. La mayoría de los machos abandonan el grupo. **///** Un estudio encontró que las más sociables viven menos. Quizás las interacciones podrían aumentar la transmisión de enfermedades (parásitos y pulgas) y llevar a la competencia por alimentos (comen pasto y vegetación). Las hembras menos sociables tienen un mayor éxito reproductivo y viven más años. En los humanos un metaanálisis de 148 estudios con 309.000 personas encontró que las personas menos sociables reducen el promedio de vida tanto como los fumadores de un paquete al día. A los humanos las relaciones sociales pueden protegerlos de los factores estresantes de la vida.

en los primates

Lémur cota anillada (*Lemur catta*)**: ser innovador aumenta el estatus social.** Los primates aprenden nuevas habilidades al observar a otros. En los lémures, los que innovan se convierten en maestros y aumentan su centralidad social. **///** Un estudio planteó nuevos desafíos a grupos de veinte lémures. Un desafío era lograr abrir una caja que contenía el premio (uvas) en su interior. En cada grupo, el primer lémur que abrió la caja fue un juvenil. Otros lémures observaron la recuperación de la uva y algunos abrieron la caja por imitación. Otros nunca pudieron hacerlo. En paralelo, se utilizó el aseo como medida para determinar la red social, tanto en los individuos centrales con muchas conexiones, como en los periféricos. Se encontró que la recuperación de la uva aumentó la cantidad de atención positiva que recibía el lémur. Se formó un desbalance en el aseo, de forma que recibieron mucho aseo sin proporcionarlo a los demás. Hay una interacción entre la innovación, aprendizaje y estatus social. Cada individuo tiene lazos entrantes y salientes en las redes sociales. Los individuos con mejor *ranking* aumentaron los vínculos entrantes debido a su posición en la red social.

Lémures: el grupo social y capacidad cognitiva. La inteligencia social sugiere que las grandes redes sociales aumentan la cognición de sus individuos. **///** Un estudio trabajó con 96 lémures de seis especies

que tienen diferentes tamaño de grupo en tareas cognitivas. Los lémures son buenos para esta comparación porque tienen similitudes genéticas pero con diversos grados de sociabilidad. Por ejemplo, el *Lemur catta* tiene el sistema social más amplio con 15,6 miembros en promedio por grupo. El más pequeño es *Eulemur mongoz* con un promedio de 3 (unidad familiar). En el estudio se evaluaron las tareas sociales y no-sociales. La tarea social midió la capacidad para entender la perspectiva visual de un competidor. Esto sería útil cuando un individuo de bajo rango intenta aprovechar oportunidades ante miembros de mayor rango. La tarea no-social midió la capacidad de autocontrol. Se encontró que el tamaño de grupo social se relaciona con la cognición social. Pero, el tamaño del cerebro (absoluto o relativo) no se relaciona con el rendimiento en las pruebas de cognición. Es decir, pueden existir progresos en cognición sin haber aumento del cerebro.

Primates: la cantidad de conflictos en la vida social. /// Un metaestudio analizó las asociaciones entre el tamaño del grupo, el tamaño del cerebro y las conductas prosociales y cooperativas. Se comparó con las conductas agresivas que llevaron a conflictos. Se analizaron 45 poblaciones de 23 especies de primates silvestres. La especie con mayor cantidad de conflictos fueron los babuinos chacma (*Papio ursinus*) con hasta 2,9 eventos promedio por hora. Los de menor tasa fueron los monos aulladores negros (*Alouatta pigra*) con 0,01 eventos por hora. Se encontró que el aumento en el tamaño del cerebro es consecuencia de los altos niveles de competencia en grupos grandes. La tasa de eventos aumentó con el tamaño del grupo, pero los conflictos de a pares disminuyeron. Esto sugiere que los individuos en grandes grupos pueden amortiguar mejor la agresión de a dos. También puede ser que las especies con pocos conflictos de a pares pueden mantener grupos grandes y relaciones sociales estables.

Gorila (*Gorilla gorilla*)**: una red social con tres niveles de agregación.** En el Congo se analizaron datos de décadas de observación sobre los intercambios sociales de cientos de gorilas. **///** Se encontró que los gorilas viven en pequeñas unidades familiares con un macho dominante y varias hembras con descendencia. Al analizar la frecuencia y la duración de las asociaciones se encontraron capas sociales. Más allá de la familia inmediata, hubo un nivel de interacción regular con un promedio de trece gorilas (tías, abuelos, primos). Por encima, otro nivel involucraba un promedio de 39 gorilas. Es un grupo agregado, en el que pasan tiempo juntos, (similar a una tribu o aldea).

Chimpancés: el estrés y la incertidumbre social. /// Una investigación en Costa de Marfil recolectó muestras de orina de chimpancés machos. Un objetivo era conocer los costos asociados con la adquisición y mantenimiento de la dominación en el grupo. Se examinaron las posibles fuentes de estrés en los períodos de competencia. Se encontró que el nivel de cortisol en la orina (hormona relacionada con el estrés) era más alto en los períodos de dominación inestable. Mientras que las tasas de agresión eran más altas en períodos estables. Así que, la agresión abierta no fue la fuente de los altos niveles de estrés. La causa fue la incertidumbre social que ocurre por la competencia en la jerarquía y por el apareamiento. Todos los machos de cualquier rango tenían niveles de estrés más altos en los períodos con alta competencia. Cuando el riesgo de escalada era alto, los machos evitaban las agresiones para disminuir el riesgo de lesiones.

ESTUDIO DE CASOS

arañas: solitarias y sociables

género *Stegodyphus*

¿de quién se trata? La sociabilidad en las arañas es muy rara. Solo 20-30 especies se consideran sociales. De acuerdo con los estudios, se estima que son líneas de evolución separadas y convergentes en algún grado de sociabilidad. **///** Un estudio analizó la filogenética de las arañas de terciopelo (género *Stegodyphus*). Forman unas veinte especies, de las cuales tres son sociales. Se encontró que las arañas sociales no son especies jóvenes y transitorias, sino que están "atrapadas en la sociabilidad" desde hace mucho. Las arañas sociales son endogámicas, con una desproporción a favor de crías hembras y con altas tasas de rotación de colonias. No forman castas como las hormigas, son colonias igualitarias, aunque tienen división de tareas. Forman telas de estructura tridimensional, lo que es necesario para contener centenares o miles de miembros.

Arañas subsociales serían ancestros de la sociales. Las arañas subsociales tienen pocos miembros en el grupo. En particular, la especie *Stegodyphus tentoriicola* pude ser un ancestro de las arañas sociales, como *S. sarasinorum* y servir de referencia.

(1) Las subsociales no tienen diferenciación de tareas. La división de tareas en las arañas sociales apareció en la transición de subsocial a social y está relacionada con la personalidad. **///** Un estudio trabajó con ambas especies en busca del origen de la división de tareas en el grupo. Primero se midió la personalidad de las arañas *S. tentoriicola* caracterizada por la audacia individual y la participación en la captura de presas. La audacia se midió como la tendencia a salir del nido para ver quién quedó atrapado en la red. Se encontró que las más audaces también eran las más agresivas. Se concluyó que no hay diferenciación de tareas en las arañas subsociales. En las arañas sociales (*S. sarasinorum*) la diferenciación se relaciona con la personalidad del individuo. Parece que la división de tareas apareció en el origen de las arañas sociales y que se debe a diferentes personalidades.

(2) Los grupos emparentados son más cooperativos. El análisis genético demostró que las colonias de subsociales son clones con poca o ninguna variación genética y sin flujo de genes entre colonias (son endogámicas). Esto permite que las arañas subsociales compartan las enzimas digestivas que les permiten consumir las presas. **///** Para un estudio se formaron grupos de tres y seis arañas, donde los grupos eran de arañas emparentadas o extrañas. En los grupos más grandes, se notó una tendencia a reducir la colaboración y aumentar el oportunismo. Esto arrastra al grupo a la fracturación. En los grupos emparentados, la conducta fue más cooperativa. Estar rodeado de familiares mejora la dinámica de grupo y la cooperación.

Los cambios genéticos desde las subsociales a las sociales. /// En un estudio se

comparó el genoma del género social *Stegodyphus* con otros cinco géneros de arañas no sociales. En las especies sociales, los genes que evolucionaron rápido fueron los de comportamiento social y los de inmunidad. Esto sugiere que la vida en grupo necesitaba de un *upgrade* en las defensas. En las especies solitarias, los genes más rápidos en evolucionar fueron los ligados al metabolismo energético. El patrón es opuesto a las abejas y hormigas, donde los genes metabólicos fueron los más rápidos. En las arañas sociales la tasa de evolución genética fue más rápida que en las especies solitarias. Esto puede ser producto de la demografía de las arañas sociales. Como hay más hembras que machos, también es mayor el nivel de endogamia.

Araña *S. dumicola*: **la personalidad del individuo y de la colonia.** Estas arañas habitan plantas de espinos en las zonas áridas del suroeste de África, en colonias de hasta 2.000 individuos.

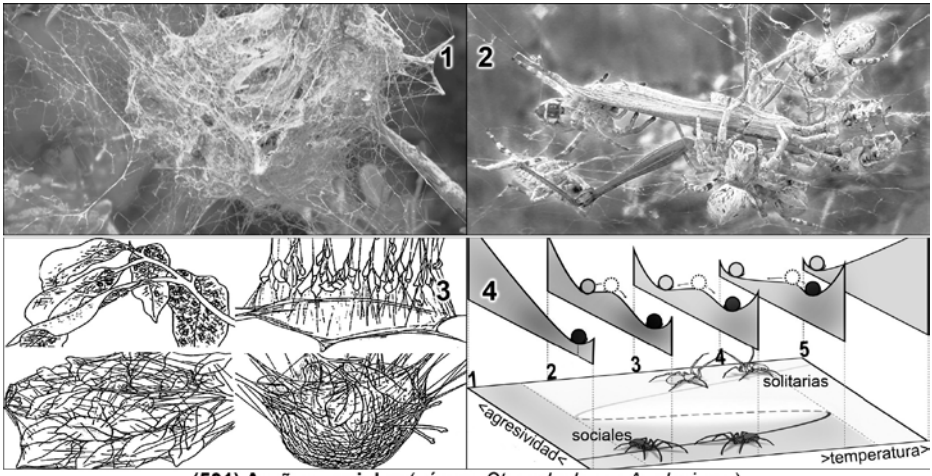
(1) La personalidad del individuo. /// Un estudio analizó el involucramiento personal de cada araña en tareas comunales. Por ejemplo, en ataques, tareas de construcción y reparación de la red. Se descubrió que el tamaño y la condición corporal influyen en las tareas que realizan. Las más pequeñas ayudan con la construcción y mantenimiento de la red. Las más grandes se ocupan de la búsqueda de comida. La "personalidad de la colonia" se correlaciona con la variedad de arañas individuales.

(2) La personalidad de la colonia. /// Otro estudio analizó 240 sociedades de *S. dumicola* en los desiertos de Namibia y Kalahari (África). Primero se caracterizó la colonia sobre la base de los miembros audaces y se monitoreó durante seis meses. La audacia se analizó exponiéndolas a un chorro de aire que las arañas interpretan como un depredador cercano (ave, murciélago o avispa). La araña responde con una postura fingida de muerte (doblan las piernas y se acurrucan en una pelota). La audacia se midió como el tiempo que tardan en salir de esa postura. En el estudio se encontró que la conducta en sitios áridos difiere de los húmedos. Una colonia con individuos audaces tenía más probabilidades de sobrevivir en sitios áridos. Pero en sitios húmedos, los individuos audaces no tenían influencia. En otra fase del estudio, se tomaron individuos de colonias audaces de sitios húmedos y se dejaron en colonias tímidas de sitios áridos. En estas colonias tímidas, sus miembros estuvieron dispuestos a seguir a los audaces sin importar de dónde eran. Esto sugiere que la personalidad de los individuos puede hacer bascular la personalidad de la colonia.

(3) La competencia entre colonias. /// En un trabajo se analizaron las prácticas de caza colectiva. Se encontró que las colonias no compiten entre sí en forma agresiva. Pero al estar varias colonias en la misma planta, la competencia ocurre por las presas voladoras. El estudio creó zonas con colonias de arañas dóciles y otras agresivas. Se concluyó que las estrategias minoritarias funcionaban mejor que las mayoritarias. Es así porque en las zonas con mayoría de colonias agresivas se sobreexplotaron los recursos. Entonces, prosperaron las sociedades dóciles, que subsisten con menos recursos. En las zonas con mayoría de colonias dóciles, no fueron lo suficientemente prósperas para cubrir todo el sector. Ninguna estrategia aniquiló la estrategia opuesta, por eso perduran los diferentes rasgos sociales en el tiempo evolutivo.

género *Anelosimus*

(F501) Araña *A. studiosus*: **la araña cuya personalidad depende de la temperatu-**



(501) Arañas sociales (género *Stegodyphus* y *Anelosimus*)
(1) Nido de una colonia de *S. dumicola* en un árbol. **(2)** Caza cooperativa de un saltamontes. **(3)** Los nidos entre hojas de las arañas sociales *A. eximius*. **(4)** Modelo de conducta de las arañas *A. studiosus*: entre las zonas 1-2 (baja temperatura) son sociables y entre 4-5 (alta temperatura) son agresivas. En la zona 2-3-4 la conducta puede bascular entre ambos extremos.

ra. Esta araña social vive en toda América y muestra una personalidad que va desde la pacifista (sociable) a la agresiva. En ciertas condiciones ambientales, forman colonias, hilan redes, comparten presas con otras y ponen huevos que cuidan en forma cooperativa. **///** Un estudio encontró que el trabajo conjunto en la colonia es normal hasta los 31°C, más allá, comienzan a atacarse entre sí. Estas colonias tienen un punto de inflexión en el que algunas pequeñas perturbaciones ambientales pueden causar un cambio brusco y dramático (una bifurcación). El fenotipo social se da con mayor frecuencia hacia el sur de Sudamérica (Argentina), junto con una correlación entre social y menor temperatura. Se cree que se debe a la disminución de las tasas de supervivencia de las madres y el retraso del desarrollo de las crías, lo que requiere de la cooperación de la comunidad.

El valor de los individuos agresivos es que cuidan a la sociedad de los invasores. /// Para un estudio, se capturaron arañas *A. studiosus* en la naturaleza. Se las clasificó en dóciles y agresivas colocándolas en espacios donde se juntaban (dóciles) o se atacaban (agresivas). Luego se organizaron 90 parejas en diferentes combinaciones. Una semana después en el laboratorio, cada pareja había creado redes en contenedores separados. Se llevaron los contenedores al campo de origen y durante cinco años se siguió la evolución. Cada colonia formó redes colectivas de 40 a 100 individuos. De las 90 redes, un grupo de 45 fue protegido eliminando la competencia y con el resto, no se intervino. Las colonias en los territorios limpios se comportaron igual, sin importar la personalidad de sus fundadores. Pero, las colonias en áreas intactas fueron atacadas por arañas solitarias. Las colonias agresivas lucharon y produjeron menos crías. Las colonias dóciles ignoraron a los intrusos y se reprodujeron. Los primeros años, las dóciles sacaron ventaja. Luego comenzaron a disminuir por causa

de los invasores, hasta extinguirse. Quedaron algunas de las parejas mixtas y las parejas agresivas que siguieron adelante.

Las colonias agresivas sobreviven a los huracanes del Caribe. /// En un trabajo se siguió a las colonias cuando pasaron tres huracanes por Florida, en 2018. Días antes del pronóstico de huracanes, se evaluaron los nidos en la naturaleza. Se realizaron pruebas de personalidad que consistieron en tocar con la punta de un cepillo de dientes eléctrico el centro de la telaraña. Las colonias agresivas entraron en frenesí, mientras las dóciles reaccionaron más lento. Días después de los huracanes, se realizó una nueva evaluación de los sobrevivientes. El 75 % de las colonias había sobrevivido. Meses más tarde, muchas colonias dóciles desaparecieron, mientras las colonias más agresivas prosperaban.

Hay avispas que controlan a las arañas para que modifiquen la tela. Las arañas sociales cooperan en grandes colonias, capturan presas juntas, comparten la crianza y rara vez se alejan de los nidos. La sociabilidad en un insecto individualista debió iniciarse cuando comenzaron a perder la aversión a las crías de extraños.

(1) El dominio completo de *A. eximius.* **///** Un estudio trabajó con una avispa (género *Zatypota*) que pone un huevo en el abdomen de la araña *A. eximius*. La oruga de la avispa se alimenta de la hemolinfa, la sangre de las arañas. El parásito logra controlar completamente la conducta de la araña. La araña abandona la colonia y produce un capullo para proteger a la oruga de la avispa. Se trata de un secuestro completo de la conducta de la araña, ya que realiza dos acciones que no son parte del repertorio de las arañas: alejarse de la colonia y producir un capullo.

(2) El caso de la araña tigre (*Argiope argentata*). Esta araña no es social y es de Sudamérica. **///** Un caso similar ocurre con la avispa parasitoide (género *Acrotaphus*) que ataca a la araña tigre. Primero ataca a la araña en su red, una vez paralizada, pone un solo huevo. La oruga de la avispa consume a la araña y se convierte en pupa. Se manipula la conducta de la araña porque deja de hacer una red normal para armar una red especial que protege la pupa.

MODELO DE CAPAS

613 reconocimiento

¿de qué se trata? El proceso de reconocer (identificar) es necesario para saber si el otro es un miembro de la especie o de otra, para conocer de qué sexo se trata, si es un dominante o subordinado, si es familiar o desconocido, si es una presa o un predador. Sirve para imitar o empatizar, para aprender o enseñar, para cooperar o engañar. Reconocer está en la base de la vida social. Se reconoce mediante los sentidos (compuestos químicos solubles o volátiles, la vista, el oído o el tacto), pero el grado de precisión y la acción posterior es lo que diferencia al reconocimiento de la más simple sensibilidad.

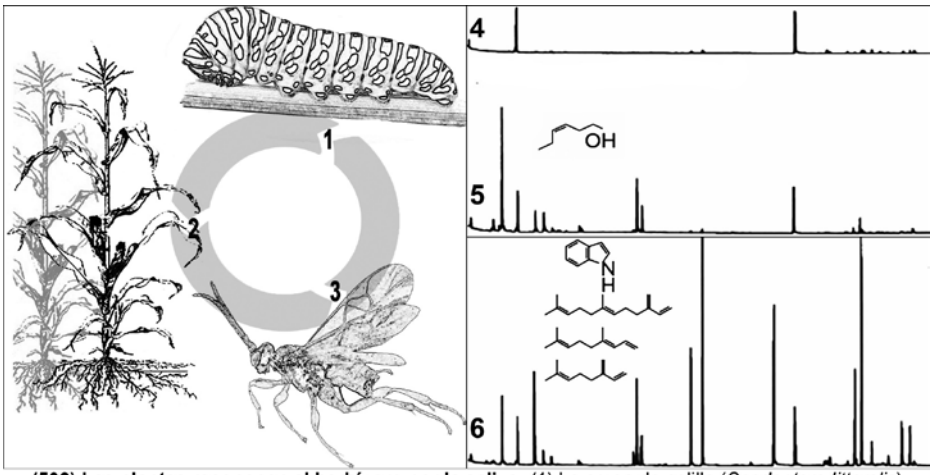
La "observación" de olores y sabores. El reconocimiento básico ocurre por la detección de moléculas químicas volátiles (olores) y solubles (sabores). Para el estudio científico se usa la técnica de espectrometría de masas (o espectrografía de gases). El equipamiento desvía (separa) mediante un campo eléctrico cada molécula de acuerdo con su masa, de forma que se puede identificar la densidad (cantidad) de cada molécula. El diagrama obtenido varía con el tiempo y consiste en una serie de barras verticales donde la altura indica la densidad.

en las plantas

(F502) Las plantas identifican la saliva de un herbívoro.

(1) /// En un estudio del 2016 se informó que hayas (*Fagus sylvatica*) y arces (*Acer pseudoplatanus*) son capaces de identificar el mordisqueo de un ciervo. La identificación es posible por detección química de compuestos contenidos en la saliva. En el estudio se cortaron brotes y se goteó saliva de ciervos. Luego se midieron las concentraciones de fitohormonas y taninos. Una vez reconocido al ciervo como causa, la planta aumenta la producción de ácido salicílico y de tanino (que es repulsivo para el herbívoro). Se encontró que en los brotes del árbol aumentaron las fitohormonas de crecimiento para acelerar la recuperación. Si el daño no tenía origen en el animal, entonces no había ácido salicílico, ni taninos, ni fitohormonas. La diferencia estaba en la saliva.

(2) /// La planta del maíz (*Zea mays*) es atacada por la oruga de la polilla (*Spodoptera littoralis*). Esta oruga es herbívora y cuando el maíz es mordido libera indol que atrae a las avispas parásitas (*Microplitis*

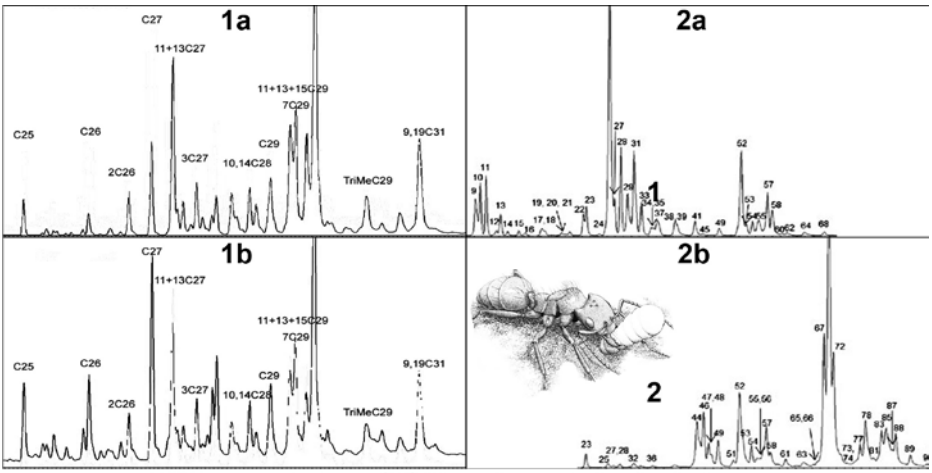


(502) Las plantas reconocen al herbívoro por la saliva: (1) La oruga de polilla (*Spodoptera littoralis*) come del maíz. (2) La planta de maíz (Zea mays) libera indol como respuesta a la herbivoría y (3) el indol atrae a las avispas parásitas (*Microplitis rufiventris*) que pone los huevos en la oruga. Los compuestos volátiles COV naturales del maíz sin herbivoría (4) cambian cuando se emite indol inducido por la oruga (5). A largo plazo (6) los terpenos mejoran las defensas.

rufiventris). Estas avispas ponen sus huevos en la oruga. El maíz reconoce a su atacante gracias a la saliva de la oruga.

Género *Petunia*: reconocen el origen del polen en el estigma. El polen propio debe ser rechazado para evitar la endogamia y también el polen de otra especie para evitar los híbridos. El óptimo es un polen de la misma especie y de diferente individuo, aunque no siempre se puede hacer esta diferenciación. Las plantas pueden rechazar el polen mediante mecanismos moleculares (autoincompatibilidad) que involucra a muchas proteínas. **///** Un estudio con plantas petunia encontró parte de este mecanismo químico. Se seleccionaron dieciocho proteínas masculinas que son reconocidas por cuarenta proteínas femeninas. Las femeninas son tóxicas para el polen, lo que evita la autofertilización. El polen que cae sobre el estigma de la flor hembra recibe una proteína tóxica que detiene el crecimiento del polen. El polen lleva antídotos que neutralizan las toxinas de otras plantas, pero que no neutralizan las toxinas propias. De esta forma, el polen puede fertilizarse en un estigma de otra planta, pero no en sí mismo. Los genes del polen y del estigma trabajan en conjunto. En otro estudio se analizó la coevolución de este sistema de reconocimiento y se encontró que ocurre cuando el costo de la autofertilización (endogamia) es alto.

Pimientos e hinojos: el sonido puede servir para identificar en las plantas. /// Un estudio trabajó con semillas de pimiento (*Capsicum annuum*) en placas de Petri colocadas en círculo alrededor de una maceta con hinojo (*Foeniculum vulgare*). El hinojo libera sustancias químicas en el aire y el suelo que ralentizan el crecimiento de otras plantas. Como era de esperar, las semillas del pimiento germinaron más lento. Luego se encerró el hinojo, impidiendo la comunicación química, y para sorpresa, las semillas



(503) Reconocimiento por CHC (hidrocarburos cuticulares) en las hormigas
(1) Diferentes géneros-iguales CHC. La espectrometría de masas de CHC de la hormiga esclavista (1a) *Rossomyrmex minuchae* y la hormiga esclava (1b) *Proformica longiseta.* Hay coincidencia de compuestos lo que facilita la vida en conjunto. **(2) Mismo género-diferentes CHC.** Los CHC de la hormiga de fuego *Myrmica rubra* (2a) y *M. ruginodis* (2b) son muy diferentes aunque son del mismo género.

brotaron más rápido de lo normal. Es posible que el sonido alertara de la presencia del hinojo y como no había señales químicas, las semillas pudieron reaccionar anticipando el crecimiento. En otro experimento, se encontró que las semillas de pimiento que crecieron al lado de una planta de ají sellado también crecieron más rápido.

en los insectos

(F503) Hormigas: reconocimiento por el olor del exoesqueleto CHC. Los hidrocarburos cuticulares (CHC) son químicos que están en el exoesqueleto de los insectos. Es un cóctel de un centenar de sustancias. Sirven para impedir la pérdida de agua (útil para terrenos áridos) y para identificación y comunicación (origen, casta, funciones). Algunos insectos solitarios los usan como feromonas sexuales. Para hacer la identificación por los CHC se necesitan receptores particulares para cada compuesto.

(1) CHC es un código de barras químico. /// Un estudio de los compuestos químicos determinó que son de muy baja volatilidad y detectables por las antenas de las hormigas. Se justifica que tengan baja volatilidad, ya que si fueran más volátiles generarían una nube confusa y podría abrumar el sistema olfativo. Cada hormiga tiene una mezcla de CHC que actúa en conjunto y es un identificador. Las hormigas tienen un sofisticado arsenal de receptores olfativos, con cerca de 400 genes receptores y es la mayor cantidad entre los insectos. A esto se suman las habilidades para aprender y discriminar los hidrocarburos relacionados.

(2) El perfil de CHC evoluciona más rápido que las especies. Las hormigas tienen un gran arsenal genético para cambiar su perfil de CHC, lo que facilita la diversidad. **///** Un trabajo con hormigas del género *Crematogaster* seleccionó 43 especies de

todo el planeta y se formó el árbol filogenético y los perfiles químicos. No se encontró una relación entre ambos aspectos, lo que significa que las especies relacionadas tienen perfiles de CHC muy diferentes. Esto da riqueza y variabilidad ya que permite una rápida diferenciación.

(3) El cóctel de CHC depende del clima. /// Otro estudio con 38 especies del género *Camponotus* y 42 de *Crematogaster* encontró que el clima tiene influencia en la huella química de CHC. Las especies de hormigas de regiones húmedas (Malasia y Uganda) tienen un balance de compuestos diferentes (más alquenos y menos dimetilalcanos) que las de regiones áridas en el Mediterráneo. Quizás se debe a las diferencias en la protección contra la desecación. Además, se encontró que la temperatura no tiene influencia en la composición de CHC.

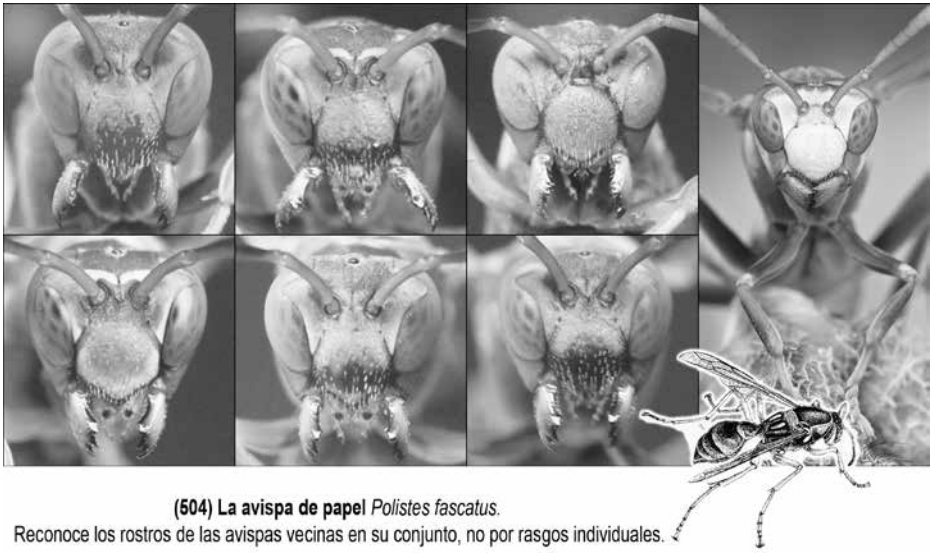
(4) Las hormigas en simbiosis manipulan el CHC. /// Los perfiles de CHC son similares en las hormigas que viven en simbiosis en el mismo nido. Por ejemplo, dos especies que viven juntas en Sudamérica (*Crematogaster levior* y *Camponotus femoratus*) tienen una enorme diversidad química, pero se alimentan juntas y, a veces, se alimentan entre sí. Otro caso ocurre con las hormiga esclavista *Rossomyrmex minuchae* y la hormiga esclava *Proformica longiseta*. Se observó una coincidencia de compuestos debido a que conviven en el mismo hormiguero.

Hormigas y acacias: reconocimiento por vibraciones. /// Un estudio encontró que las vibraciones producidas por masticación de los herbívoros en las acacias podrían ser una fuente de información confiable para las hormigas defensoras. Se midieron las vibraciones en acacias inducidas por el viento y por una cabra comiendo. Luego se ideó un dispositivo mecánico calibrado que reproducía el movimiento asociado con un mamífero que masticaba. Se encontró que las hormigas respondieron a estas vibraciones que simulan un herbívoro, pero no al viento. Además, las hormigas se dirigieron directamente hacia la fuente de las vibraciones, por lo que pudieron distinguir el tipo y lugar de origen.

Moscas de la fruta: reconocimiento por el olor.

(1) El olor para orientarse en un paisaje olfativo. Cuando se percibe un olor, se activa una población de neuronas llamadas glomérulos. Las neuronas detectoras de olores se reúnen en grupos del cual sale una sola neurona. Los ratones tienen 1.800 de estos glomérulos y los humanos 5.500. Por esto resulta más simple estudiar a la mosca de la fruta que tiene solo 50 glomérulos. **///** Un estudio trabajó con moscas de la fruta, en las cuales se registró la actividad de los glomérulos. Para medir la conducta de respuesta se usó un simulador de vuelo. Es un sistema de realidad virtual donde la cabeza de la mosca está fija y rodeada por un paisaje olfativo y visual. Funciona siguiendo los movimientos de las alas. Se encontró que las moscas respondían atraídas o expulsadas por el olor. El tiempo de reacción era de 200 mseg. Cada glomérulo tenía una ponderación dentro del conjunto para tomar la decisión. La actividad ponderada de los glomérulos coincidía y predecía las respuestas al olor. Parece que, para determinar la conducta al olor, se requiere la participación de la mayoría de los glomérulos, cada uno con su ponderación.

(2) El olor para detectar avispas parásitas. /// Las avispas del género *Leptopilina* parasitan las orugas de las moscas. Un sistema de alerta temprana en las moscas hembra indica cuándo las avispas están cerca. Para lograrlo disponen de una neurona olfativa que detecta compuestos sexuales



(504) La avispa de papel *Polistes fascatus.*
Reconoce los rostros de las avispas vecinas en su conjunto, no por rasgos individuales.

de las avispas. En el estudio (cromatografía de gases y electrofisiología, se identificó la neurona, los olores y el cambio de conducta en la mosca. La neurona puede detectar tres compuestos: actinidina, nepatalctol e iridomirmecina. El último es una feromona sexual de la avispa. Como se trabajó con moscas que nunca habían visto una avispa, se pudo concluir que la conducta de evitación es innata. Se encontró que cuatro especies del género *Drosophila* tenían la misma conducta. Esta estrategia es muy buena, porque es difícil que la avispa pueda cambiar sus feromonas sexuales siendo esenciales para la reproducción.

Abejas melíferas: reconocimiento por químicos de microbios intestinales. /// La identificación no es genética, sino por los compuestos hidrocarburos CHC que dependen de los microbios y que se intercambian en la comida. El microbioma de las abejas pertenece a la biología social no solo individual. Una prueba es que las abejas bebés pueden cambiarse de colonia sin ser rechazadas, pero solo hasta una cierta edad y nivel de desarrollo. Las abejas desarrollan perfiles de olor a medida que envejecen. Si se cultiva una abeja aislada, nunca desarrollará un microbioma completo. Las abejas de diferentes colonias tienen diferentes comunidades microbianas intestinales y perfiles de CHC. Esto se determinó mediante la secuenciación de muestras intestinales y el análisis de extractos cuticulares. Cuando los científicos manipularon el microbioma las abejas hermanas, cambiaron los perfiles de olor.

(F504) Avispa de papel (género *Polistes*)**: reconocimiento por el rostro.** Este género tiene especies que forman nidos con una o varias reinas. Los nidos son de papel con celdas hexagonales. Cuando hay varias reinas, tienen que mantener un orden jerárquico. Las reinas de *P. fuscatus* deben reconocer el resto para reducir la agresión y mantener la paz. Tienen patrones faciales variables que utilizan para el reconocimiento individual.

(1) /// Un estudio midió la capacidad de memoria de reconocimiento de *P. fuscatus*.

Se comenzó midiendo la agresión durante las interacciones en el primer día de la colonia. Luego, se separó a la pareja fundadora y se los alojó por separado con diez avispas. Una semana después, se permitió que interactuaran nuevamente. Se sabe que si se tratara de una avispa desconocida, serían muy agresivas. En este caso, la agresividad fue mucho menor. No se conoce el límite máximo de esta memoria de rostros, ya que en nidos grandes hay cerca de veinte avispas.

(2) /// En otro estudio se comparó a *P. fuscatus* con la especie *P. metricus* que tiene una sola reina y no requiere el reconocimiento facial. A las dos especies se le presentaron fotos de caras de avispas en laberintos en forma de "Y" con el piso electrificado. Para eludir la descarga, debían distinguir la cara correcta. La reina de *P. fuscatus* aprendió en cuarenta pruebas, pero la de *P. metricus* nunca aprendió. Cuando se usaron patrones simples (triángulos, cruces y líneas) en lugar de caras, las avispas de *P. fuscatus* requirieron más pruebas para reconocer de manera confiable el patrón respecto de las caras. Parece que hay algo especial en las caras. Se encontró que reconocieron el rostro aun cuando las fotos tenían modificaciones en Photoshop.

(3) /// La memoria individual se probó en las especies *P. metricus* y *P. dominulus*. Estas avispas carecen de patrones faciales que permitan el reconocimiento individual. Luego de un día de separación de la pareja fundadora de la colonia, no se encontró evidencia de memoria. Se sabe que tampoco tienen un reconocimiento químico. En el caso de *P. dominulus* otro trabajo encontró que los patrones faciales al menos comunican la capacidad de lucha. Cuando dos avispas se encuentran, se evalúan, pero sin luchar, usando las manchas negras en las caras.

Polillas: olores para atraer y olores para repeler.

(1) Polilla cogollo del tabaco (*Helicoverpa assulta*). Esta polilla es una plaga en la agricultura del tabaco y el pimiento picante (solanáceas). **///** Un estudio investigó los receptores odorantes y encontró un gen (HassOR31) que se expresa en las antenas y en los órganos de puesta de huevos. Este receptor responde a doce odorantes que estimulan la puesta de huevos. Esto sugiere que los olores se detectan en los órganos de postura y ayuda a encontrar la planta correcta. Son olores que atraen a la planta. Pero también pueden detectar los olores de los excrementos de gusanos de esta polilla. De esta forma actúan como repelentes para que la polilla no ponga huevos en las plantas que ya están infectadas.

(2) Polilla gusano del tabaco (*Manduca sexta*). **///** Esta polilla detecta compuestos volátiles que están en las heces de las orugas. Son ácidos alifáticos (seis carbonos) que las polillas evitan. Las pruebas se realizaron en un túnel de viento para polillas. La clave es una proteína (IR8a) que detecta los compuestos de las heces. Este olor de las heces de las orugas repele a las polillas, pero también atrae a insectos predadores.

(3) /// El linalool es un compuesto orgánico volátil COV de la planta de tabaco silvestre (*Nicotiana attenuata*). Un estudio encontró que las polillas hembras de *M. sexta* prefieren poner huevos en plantas con alto contenido de linalool. El linalool también atrae a insectos depredadores (*Geocoris*). Este carácter ambivalente hace que el contenido de linalool sea muy variable. La reacción de una polilla depende del contexto, del ambiente. Es decir, de muchas variables, donde los olores tiran hacia un lado y otro.

en los peces

Pez cíclido (*Julidochromis transcriptus*)**: distinguen patrones fáciles de congéneres.** Este pez vive en grietas rocosas ocultas por la vegetación en el lecho del lago. Solo una pequeña parte de su cuerpo tiende a ser visible. Por esto debe ser que se identifican por el patrón alrededor de los ojos. **///** En un estudio se aisló a ocho machos adultos de un grupo de individuos que se conocían entre sí y los colocaron en un tanque. Se los expuso a modelos digitales con una combinación de rasgos familiares y desconocidos en sus caras y cuerpos. Se encontró que identificaban los modelos faciales, sin importar el tipo de cuerpo. También, pasaron más tiempo siguiendo las caras desconocidas, lo que es una señal de vigilancia.

Pez arquero (*Toxotes chatareus*)**: distingue rostros humanos.** En la naturaleza, este pez caza de una manera muy singular: escupe un chorro de agua a los insectos en las hojas sobre la superficie. El disparo puede ser muy preciso, hasta 2 m, adaptando la fuerza del envió según la distancia y el tamaño de la presa. Además, tiene un arranque muy rápido, lo que le permite llegar al lugar donde caerá el insecto antes incluso de tocar el agua. En el laboratorio, se entrena a los peces arquero para escupir al objetivo de estudio en una pantalla y así conocer sus preferencias.

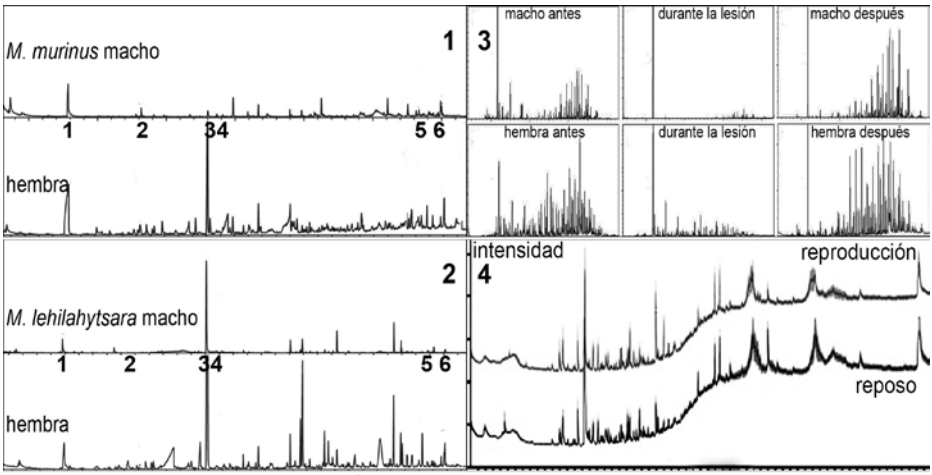
(1) /// Como el pez arquero no tiene exposición directa a los humanos, es poco probable que pueda reconocer la cara humana. Por otro lado, al no tener un cerebro con neocórtex estarían privados de la zona cerebral que se supone se usa para reconocer rostros. Por esta carencia, se les presentaron rostros humanos como si fueran objetos. Primero, vieron los rostros completos y luego, se eliminó el color, la forma de la cabeza y se controló el brillo. Los peces alcanzaron una precisión de discriminación del 77-89 %. Pudieron reconocer un rostro hasta entre 44 alternativas. Se observó una variación individual importante en el número de sesiones requeridas para aprender la tarea. En algunos, bastó con una sola sesión y otros requirieron hasta diecisiete sesiones. La diferencia puede deberse a la experiencia y la motivación. De todas formas, se comprobó que el reconocimiento de rostros es un proceso que se aprende.

(2) /// Si de reconocer rostros humanos se trata, las cabras pueden reconocer las emociones y prefieren las caras felices. En un estudio con veinte cabras, se les presentaron dos imágenes en blanco y negro de humanos. Era la misma persona con una sonrisa y una expresión de enojo. Las cabras se tomaron tiempo para mirar y pasaron más tiempo mirando la cara feliz, lo que es un indicador de interés.

Pez espinoso (*Gasterosteus aculeatus*)**: reconocen y miden por el olor.** Estos peces tienden a agruparse en puñados sueltos junto con la compañía de parientes cercanos.

(1) Miden el tamaño por el olor. /// Como los cardúmenes están formados por peces del mismo porte, surge la pregunta sobre cómo un pez determina su tamaño para unirse al cardumen. Un estudio expuso a los espinosos a una variedad de señales químicas y diferentes envergaduras. Se encontró que podían "oler el tamaño" porque preferían las señales químicas de peces del mismo porte.

(2) Huelen el parentesco. /// Otro estudio expuso a los espinosos a tres cardúmenes: dos de hermanos (conocidos y desconocidos) y otro de extraños (desconocidos). Cada pez bajo prueba era libre de



(505) "Observar" el olor de los lémures

(1) Cromatografía de la orina de *M. murinus* y **(2)** *M. lehilahytsara*. Son: 1: dimetilsulfona, 2: metilfenol, 3: quinolina, 4: ácido nonanoico, 5: hexadecanol, 6: ácido hexadecanoico. **(3)** Lémur cola anillada (*Lemur cata*). La intensidad de la orina en machos y hembras, antes, durante y después de las heridas. Cuando enferman disminuye la intensidad. **(4)** La intensidad es mayor en el período reproductivo que durante el reposo.

elegir a qué cardumen unirse. Se determinó que elegían el grupo de hermanos, aunque fueran desconocidos. No había preferencias entre ellos, pero podían diferenciarlos de los extraños. Parece que usan señales olfativas e infieren el parentesco. Usaron algo así como una autorreferencia química.

Pez guppy (*Poecilia reticulata*)**: reconocen el parentesco para el apareamiento.** Estos pequeños peces tropicales se ayudan entre hermanos macho para el apareamiento. Usan el reconocimiento de parentesco para minimizar la competencia sexual entre parientes machos y en las hembras lo usan para rechazar a las parejas endogámicas. Los machos cortejan mediante un baile alrededor de la hembra. Si la hembra está interesada responderá moviéndose hacia el macho. Pero otro macho puede interponerse e interrumpir el apareamiento. **///** Un estudio siguió a 600 guppy en grupos de 12 individuos. Se encontró que los machos competían menos con sus hermanos. También ejercían una forma de escalada ya que, cuando un macho interrumpía a otro, este hacía lo mismo con el primero. Van y vienen interponiéndose hasta que uno abandona.

en las aves

Gallina de Guinea (*Acryllium vulturinum*)**: se reconocen dentro de grupos multinivel.** Muchas aves viven en grupos que pueden ser abiertos o cerrados y pueden o no tener estabilidad de largo plazo. La gallina de Guinea forma grupos multinivel estables para lo que requieren el reconocimiento individual. El grupo multinivel está formado por la pareja, por el grupo con membresía estable y por la relación con otros grupos específicos. **///** Un estudio siguió una población de

más de 400 aves adultas en Kenia. Las aves se marcaron y se identificaron 18 grupos sociales de 13 a 65 individuos en cada uno. Los grupos se mantuvieron estables a pesar de la superposición en el terreno. Estas gallinas se comportan de manera muy cohesiva sin exhibir agresión intergrupal. Algunos individuos se etiquetaron con GPS para seguir esta relación. Los individuos se reconocen entre sí y entre cientos de aves y se mezclan y dividen en grupos estables todos los días.

Periquitos (*Forpus passerinus*)**: se reconocen mediante llamadas. ///** En Hato Masaguaral (Venezuela) se fabricaron nidos para loros con tubos de PVC de 1 m de largo. Los nidos fueron ocupados por periquitos en el estudio más extenso realizado con aves (desde 1987). Se recopilaron llamadas de más de 8.500 loros, con 3.000 nidos y 16.000 huevos. Los loros se imitan entre sí, emparejando las llamadas de a pares, como grupos e incluso dialectos vocales. Se analizaron espectrogramas de 5.000 llamadas. Se encontró que, partiendo de una plantilla de llamada básica de los padres, las crías las modifican y obtienen su propia llamada de contacto única. Los pichones de la misma familia tenían llamadas similares, lo que permitió que se reconocieran al abandonar el nido.

Pájaro carpintero: el picoteo es individual. /// Un estudio sugirió que los patrones de picoteo de los pájaros carpinteros son una identificación de cada individuo. Se registraron los sonidos de 41 carpinteros y se compararon los intervalos y el número de golpes. Se encontró que el 86 % de las secuencias eran específicas para cada individuo. Los patrones no identificaban machos y hembras. Este grado de individualidad no asegura que sea usado para identificar al autor o informe de la calidad física en la búsqueda de pareja.

en los primates

(F505) Lémur cola anillada (*Lemur catta*)**: el olor corporal es un indicador de la salud.** Los lémures son primates endémicos de Madagascar. Tienen glándulas en sus genitales que secretan una sustancia maloliente. Pero, las lesiones físicas reducen la firma del olor y ponen al animal en evidencia. **///** Los estudios de cromatografía de masas indican que los olores son señales compuestas de 200 a 300 productos químicos. Es una firma que indica quién estuvo allí y si está listo para aparearse. Se usaron hisopos de algodón para recolectar las secreciones olfativas de 23 individuos mientras recibían tratamiento veterinario. Las pruebas revelaron que las lesiones cambiaron el cóctel químico. El número de compuestos disminuyó un 10 % mientras estaban heridos. Los patrones persistieron aún bajo los efectos de los antibióticos. En las pruebas, los machos sanos prestaron más atención a las muestras de machos lesionados. Marcaron los olores de los heridos para afirmar su dominio. Usaron glándulas de olor adicionales que tienen en el interior de sus muñecas. Pueden estar usando el olor para detectar cambios en la capacidad de lucha y actuar más agresivamente cuando huelen debilidad.

Macaco Rhesus: los machos reconocen y prefieren hembras de otros grupos. Estos monos no tienen glándulas aromáticas y no realizan marcas de olores para la comunicación olfativa entre parientes. Sin embargo, tiene olores corporales específicos. **///** Un estudio en Puerto Rico, durante la temporada de apareamiento, tomó muestras de olor corporal de 33 hembras adultas. Las muestras se colocaron en contenedores de

metal aireados individuales. Se permitió el acceso de 74 macacos no relacionados. Se encontró que inspeccionaron por más tiempo el olor de las hembras de otros grupos. Colocaron su nariz más tiempo en muestras de una hembra de un grupo más alto que el propio. Parece que reconocen el estado jerárquico de su grupo en relación con los demás y les ayuda a comprender mejor su entorno social.

Mono nariz chata (*Rhinopithecus bieti*)**: el color de los labios indica las cualidades. ///** Este mono tiene un enrojecimiento de los labios que solo ocurre en machos y aumenta con la edad. Un estudio encontró que los cambios de color ocurren en la época de apareamiento cuando los machos de bajo rango aclaran los labios. El estudio incluyó 15 machos y se analizaron color de los labios, edad, estado social, número de hembras en su harén. Parece que los labios más rojos indican una mejor calidad masculina. También, puede ser una forma de evitar conflictos, porque el color da una jerarquía social. No está claro si esta característica es el resultado de la preferencia de las hembras o de la competencia de los machos.

Gorilas: no reconocen a sus crías. Una pregunta frecuente es si los machos logran reconocer a sus crías. Un primer elemento es que, para reconocer a una cría, debería tenerse un concepto de paternidad. **///** Mediante observación y técnicas genéticas (para reconocer la paternidad) se pudo estudiar a los gorilas del PN Volcanes (Ruanda). Se observó la forma de interactuar entre machos y bebés y se midió el tiempo de contacto. Se concluyó la falta de evidencia que sugiera que un macho reconoce a sus bebés. Lo que se notaba es que el rango social de un gorila macho tenía una influencia en sus relaciones con los bebés. Los machos alfa tienden a ser más cariñosos y tener relaciones más fuertes con los bebés de la tropa.

MODELO DE CAPAS

623 empatía

imitación y emulación

¿de qué se trata? Se dijo que "la imitación es la forma más sincera de adulación". Una imitación de calidad puede ser una facultad cognitiva avanzada, quizás más que el original. Al observar se adquieren nuevas técnicas, se hacen inferencias sobre la eficiencia, las limitaciones y las intenciones del modelo imitado. Intervienen dos componentes, la parte del cuerpo utilizada y la acción realizada. Se debe evaluar la destreza de la acción, la comprensión e intencionalidad, la teoría de la mente y las consecuencias. En muchas situaciones, en lugar de copiar con precisión (imitar), es más útil comprender el objetivo de las acciones y solo copiar aquellas relevantes para la tarea (emular). La emulación no pretende imitar, sino igualar o superar los resultados. El aprendizaje social por observación y la imitación están conectados, pero la imitación puede llevar al paso superior que es la imitación de los sentimientos (empatía). El aprendizaje social supera a la prueba-error al formar una memoria idéntica sin correr el riesgo del error.

Dragón barbudo (*Pogona vitticeps*)**: imita la forma de abrir una puerta**. **///** En un estudio, primero se entrenó a uno de estos lagartos de Australia para abrir una puerta de alambre que cubría un agujero en una caja de madera. La puerta se deslizaba a la derecha o izquierda y se podía usar el pie o la cabeza. Al final se encontraba con la recompensa de un gusano. Más tarde, se permitió a un grupo experimental de ocho lagartos observar la escena de apertura. El lagarto entrenado abrió siempre la puerta corriéndola a la derecha y con la cabeza. Todos los lagartos bajo prueba abrieron la puerta de la misma forma. Ninguno de los lagartos del grupo de control realizó el movimiento clave con la cabeza. En este ensayo los lagartos imitaron una acción que no era parte de su comportamiento espontáneo.

Entender hacia dónde mira el otro. Algunos animales tienen la capacidad de mirar hacia donde mira otro individuo. Es un talento poco frecuente y que requiere entender que el otro está observado algo.

(1) Tortuga patas rojas (*Chelonoidis carbonaria*). **///** Durante un estudio se esta-

ba entrenando a una tortuga con un puntero láser que iluminaba arriba de una pantalla. En tanto otra tortuga, detrás de escena, también miró hacia arriba, aunque no veía el láser. Estas tortugas son solitarias en la naturaleza y no se espera que desarrollen esta capacidad de tomar señales desde los congéneres. En otra oportunidad se observó que una tortuga aprendió a encontrar comida oculta, al ver a otra caminar en una dirección. Esto indica que son capaces de aprender socialmente.

(2) Gaviotas (*Larus argentatus*). **///** Las gaviotas argénteas tardan más en acercarse a la comida cuando son observadas por un humano. Esto sugiere que entienden la mirada. En un experimento, el investigador miraba a las gaviotas o giraba la cabeza. Se estudiaron 95 gaviotas urbanas (50 adultas y 45 juveniles) y 60 de lugares rurales (34 adultas y 26 juveniles). Los científicos se acercaron a las gaviotas mientras miraban al suelo o a las aves. Se encontró que tardaron más en alejarse cuando no estaban siendo miradas. Los juveniles reaccionaron igual que los mayores, lo que sugiere que es innato o aprenden muy rápido. Las gaviotas en áreas urbanas soportaron menor distancia que las rurales. Las gaviotas rurales tenían tres veces más probabilidades de volar que caminar. Volar es una medida más drástica que abandonar el lugar caminando. Esto sugiere que están menos acostumbradas a que se les acerquen.

Aves: la observación permite evitar probar alimentos desagradables y tóxicos. /// Un estudio trabajó con doce herrerillos (*Cyanistes caeruleus*) y doce carboneros (*Parus major*). Ambas especies viven juntas y tienen una dieta similar. En el estudio se les ofreció alimentos normales y amargos que se habían empaquetado con símbolos para reconocerlos en forma visual. Se permitió que un ave probara la comida mientras otras la miraban. La respuesta al alimento desagradable se puso en evidencia con un enérgico barrido del pico y la sacudida de la cabeza. Las observadoras aprendieron la relación entre los símbolos del envase y los gestos del maestro, de forma que rechazaban la comida amarga. Se determinó que el herrerillo aprendió mejor observando a su propia especie, mientras que el carbonero aprendió de ambas especies por igual. En este caso el aprendizaje social aprovecha de otras especies, lo que también ocurre con las llamadas de alerta.

Gallo lira (*Lyrurus tetrix*)**: la estética de grupo. ///** Un estudio trabajó con este galliforme en los Alpes. Un macho fue requerido por varias hembras simuladas por muñecos. Esto atrajo a otras hembras que valuaron mejor a este macho. Se lo llama "estética de grupo" porque permite usar el juicio de los otros para actuar más rápido y eficaz. Es una evidencia del aprendizaje e imitación y un ejemplo de la propaganda sexual. Ejemplos como este se observan en muchas ramas de la vida. Por ejemplo, en las moscas fue usado para imprimir un sesgo hacia determinado fenotipo (color artificial en el macho) que se propagó a otras hembras.

Delfín nariz de botella (*Tursiops trunca*)**: imitan sin ver. ///** Un experimento uso a un delfín nariz de botella que ya sabía imitar movimientos de otros congéneres. Pero en esta oportunidad se le vendaron los ojos y se le pidió que imitara los movimientos de un humano. Se encontró que imitaba los movimientos humanos incluso sin poder verlos. Si se le hubiera pedido imitar a otro delfín podría reconocerlo por el sonido, pero con un humano solo podía ecolocalizarlo.

empatía y contagio emocional

¿de qué se trata? Las observaciones de la conducta animal resultan relativamente fáciles si se compara con entender sus motivaciones. Los experimentos del siglo 20 en busca de empatía en animales fueron neutralizados por la teoría del "conductismo". Se sostenía que los animales no tienen estados mentales, solo acciones. Todo se reducía a castigos o recompensas, competencia y consecuencias, pero sin emociones. Cada conducta similar a la empatía se la explicaba como una respuesta a un estímulo. El escepticismo prevaleció hasta finales del siglo pasado. Una vez admitido que los animales tienen emociones, se puede pensar en imitar o contagiarse las emociones.

Niveles de empatía. La empatía evoluciona por la necesidad de cooperar. La imitación sirve para entender las acciones de los demás. Entonces, el origen de la empatía se encuentra en la cooperación y la imitación. Se pueden identificar tres niveles de empatía:
-El contagio emocional (empatía básica) consiste en sincronizar las emociones (p.ej., pesimista-optimista, nivel de estrés).
-La empatía prosocial involucra al individuo dentro del grupo que busca encajar en un sistema existente.
-La empatía cognitiva es el nivel superior y se asocia a la teoría de la mente. Busca comprender lo que piensa el otro para lograr una sincronía completa. Es el nivel más alto y el escalón necesario para llegar a la moral. Se trata de estados que activan respuestas fisiológicas y mentales similares en ambos individuos.

Ratones: el primer contacto con el contagio de las emociones. /// Los primeros estudios con ratones buscaban conexiones entre la herencia y el dolor. Un experimento consistía en tomar un ratón de una jaula comunitaria, sumergir la cola en agua caliente y medir el tiempo que tardaba en quitar la cola. Ese tiempo se asociaba con la tolerancia al dolor. Luego, el ratón volvía a ser colocado en la jaula comunitaria y se tomaba otro ratón. Se encontró un resultado inesperado, los primeros ratones acusaban una menor cantidad de molestias y el dolor parecía aumentar en los siguientes. Los ratones sucesivos respondían no solo al dolor del agua caliente, sino a la reacción de los anteriores. Se lo atribuyó a un "contagio de las emociones", porque cuando los ratones no se devolvían a la misma jaula, el sesgo desaparecía. Este hallazgo comprobó que la interacción posterior a la prueba condicionaba a los otros ratones al dolor.

Cuervos: observación, contagio emocional y cambio en el sesgo cognitivo. Los cuervos demostraron que pueden entender y compartir las emociones de un compañero. **///** En un estudio se formaron cuatro parejas y se les permitió elegir entre dos cajas. Una caja estaba vacía y la otra tenía la recompensa (un trozo de queso). Los cuervos aprendieron cuál era el contenido de cada caja sin problemas. También se quería conocer el estado emocional (optimistas o pesimistas). Esto se puede estimar mediante una prueba de sesgo cognitivo (se analizó en la capa de juegos). Con el aprendizaje y el estado emocional se pasó a una segunda fase. Los cuervos se separaron y a uno de ellos se le ofreció elegir entre las dos cajas. Una caja contenía un trozo de zanahoria (poco apreciada) y la otra una comida seca para perros (una exquisitez). En tanto, el otro

cuervo podía observar a su compañero, pero no podía ver el contenido de la caja. Se debía guiar por su reacción que podía ser normal (recompensa) o frustrada (castigo). Se reconocía porque con la recompensa movían la cabeza y el cuerpo. Pero con la zanahoria reaccionaban mal, dedicando poco tiempo a la caja y llegando a patear o rascar. Los cuervos que observaron la escena fueron llevados a la medición del estado emocional (sesgo cognitivo). El resultado indicó que estaban más negativos. Esto sugiere que les había impactado la conducta del compañero. Los que observaron un comportamiento normal no mostraron variación en las emociones. Pero, sí influyó un contagio emocional negativo (la decepción).

Juego de a dos: solo es posible cuando hay un sincronismo emocional.

(1) /// En los trabajos en campo con coyotes (*Canis letrans*) salvajes se observó cómo el juego es socialmente contagioso. Se puede describir como contagio visual positivo. Hay una acción llamada "arco de juego" que sirve para iniciar y mantener el estado de ánimo para el juego. Con perros se observa que, en menos de un segundo, copian las expresiones y comportamientos de otros perros. Esto permite juegos sociales de alta intensidad y un mecanismo de refinamiento durante el desarrollo. La capacidad de mantener un estado de ánimo de juego parece descansar en la mímica rápida y el contagio emocional. Cuanto más fuerte es el vínculo social, mayor es el nivel de mímica rápida. El juego en grandes grupos se descompone más rápido porque no pueden leerse entre ellos.

(2) /// El sincronismo emocional puede darse a conocer con los gestos del rostro. En un experimento con 22 osos malayos (*Helarctos malayanus*) se analizó la comunicación gestual. Se encontró que 21 imitaban las expresiones con la boca abierta durante el juego. Cuando se enfrentaron trece osos, se vio que las mismas expresiones se sincronizaban en menos de un segundo.

el bostezo

Periquito australiano (*Melopsittacus undulatus*). Esta ave es muy popular como mascota porque imita a sus dueños y además puede captar los bostezos de otros. **///** En un experimento se colocaron en jaulas adyacentes con y sin una barrera visual. Cuando los periquitos podían verse, aumentaba tres veces la probabilidad de bostezar dentro de los cinco minutos posteriores al bostezo de su vecino. En otro experimento, se les mostraron videos de periquitos con y sin bostezos. Todos los que vieron el video con bostezos también bostezaron, pero menos de la mitad lo hicieron con el otro video. **///** En tanto, las tortugas fracasaron en la prueba de contagio del bostezo. Un trabajo de seis meses enseñando a una tortuga a bostezar no logró que otras lo aprendieran. Los bostezos no se propagaron.

Macaco de barbería (*Macaca sylvanus*)**: el acicalamiento y el bostezo. ///** Un estudio trabajó con veinte hembras en un entorno de semilibertad (Inglaterra). Se observó que, cuando un macaco ve a otro que es acicalado, es probable que deje de rascarse y bostezar. Se cree que estos comportamientos son signos de ansiedad y ver un acicalamiento, los tranquiliza. Los monos observadores también estaban más propensos a participar en el aseo personal, ya sea como peluqueros o clientes. Además, mostraron comportamientos más amigables, como abrazar a otros macacos o alimentarse con ellos. El efecto duró hasta treinta minutos.

Orangutanes: el bostezo y rascarse. /// Un experimento con orangutanes en un parque en semilibertad, en Holanda, analizó la respuesta al bostezo. Se les mostraron videos de orangutanes conocidos y extraños. También se usó un robot de orangután (*Waldo*). Se encontró que se contagiaban con bostezos de propios o extraños, pero no de Waldo. En otro estudio se tomó nota de la conducta y los tiempos cuando se rascan. Se encontró que si un orangután comienza a rascarse, es muy probable que otro repita la conducta. El rascarse resultó ser más contagioso que el bostezo. Parece que lo usan para mostrar que entienden la emoción del otro. Se rascan cuando se sienten estresados y que otro lo repita significa que comparte, que hay un problema. El rascarse ocurrió en situaciones negativas.

Bonobo (*Pan paniscus*)**. ///** En un experimento con 21 bonobos, les hicieron mirar videos con bonobos bostezando. Resultó que los bostezos de compañeros o extraños fueron igual de contagiosos. Es probable que el impulso de ser amable con los extraños evolucione en especies donde los beneficios de vincularse superan a los costos. Pueden estar ansiosos por causar una buena primera impresión. En definitiva, todas las buenas relaciones comienzan entre dos extraños.

la empatía social

Cuervo común (*Corvus corax*)**: la reconciliación y el consuelo luego de riñas.** Se sabe que algunos animales hacen las paces después de las peleas. Los animales sociales parecen buscar la reconciliación si se trata de relaciones importantes.

(1) /// Un estudio buscó entender cómo reaccionan los cuervos después de peleas con desconocidos. Primero se colocó algo de comida dentro del recinto y se observó que el racionamiento provocó riñas de diferente calibre. Cuando las peleas eran poco agresivas, el agresor a menudo buscaba a la víctima después de la comida. Se sentaba cerca, tocando e incluso acicalando las plumas de la víctima. Pero si la violencia era más severa, los perpetradores mantuvieron un lugar amplio sin otros cuervos. Las víctimas buscaban consuelo en cuervos que no habían estado involucrados en la disputa. Esto indica que los córvidos participan en la reconciliación flexible y el consuelo de terceros.

(2) /// De la misma forma, un estudio que recopiló más de 3.000 observaciones de peleas entre chimpancés encontró que consuelan a los perdedores. Esta es una forma de empatía orientada al grupo.

Roedores (1): la ayuda y la empatía.

(1) Temen mojarse y quieren ayudar. La empatía está orientada a hechos que recuerdan las malas experiencias propias. La memoria facilita la empatía emocional. **///** En un estudio se permitió que una rata seca observara a otra atrapada en una cámara húmeda. La rata seca liberó del encierro a la rata angustiada. Esto sugiere que entendió la angustia y la motivó a ayudar. Podría ser que buscara compañía, pero no es el caso porque no mostraron interés en liberar a otras ratas que no estaban mojadas. **///** En otro estudio, a una rata se la sumergía en agua con peligro de ahogarse. A otra rata se le ofrecía tomar una golosina o apretar una palanca que permitía salvar a la compañera. Elegían salvar a la rata. Esto sugiere que el bienestar era más valioso que la golosina. Cuando no había una rata en peligro tomaban la golosina, por lo que era un bien deseable.

(2) Se nivelan las experiencias. /// En otro estudio, se analizó la empatía entre pares de roedores. Se observó que, si dos ra-

tones experimentaban dolor juntos, las conductas de dolor eran mayores que en forma individual. Si experimentaban diferentes niveles de dolor estando juntos, las conductas tendían a nivelarse. Además, la sensibilidad a un estímulo nocivo fue igual, tanto en el que lo sufría como en el que lo observaba. También se encontraron muestras de consolación. Por ejemplo, si un ratón estaba aislado en una jaula con dolor, otros que eran libres de moverse se acercaban. Se interpretó como una muestra de querer ayudar.

Roedores (2): la empatía y las hormonas.

(1) Rata parda (*Rattus norvegicus*)**: el dilema de la cooperación. ///** Para un experimento se enseñó a las ratas a usar una plataforma. Cuando la rata habilitaba el acceso a una rampa podía entrar otra rata y obtener comida, pero la rata principal no obtenía nada a cambio. Luego, se obtuvo el olor de una rata que había colaborado en forma espontánea y de otra que no había colaborado. Se expuso a otras ratas a uno de estos olores. Se encontró que el olor era suficiente para incitar a la colaboración. El olor ligado a la cooperación no es indicativo de una rata individual, sino de la actitud (del comportamiento).

(2) Topillo de pradera (*Microtus ochrogaster*)**: empatía social y hormonas. ///** Un estudio analizó el sincronismo social de estos roedores. Como se emparejan de por vida y se cuidan mutuamente, cuando un compañero tiene miedo, su contraparte lo consuela lamiéndolo. Se encontró que el sincronismo emocional y hormonal van de la mano. Esta conducta parece ser innata, facilitada por la hormona oxitocina. Cuando se bloquearon los receptores de oxitocina, dejaron de cuidarse el uno al otro. Un estudio adicional midió los niveles de la hormona corticosterona y se encontró que aumenta cuando el topillo se encuentra con otro estresado.

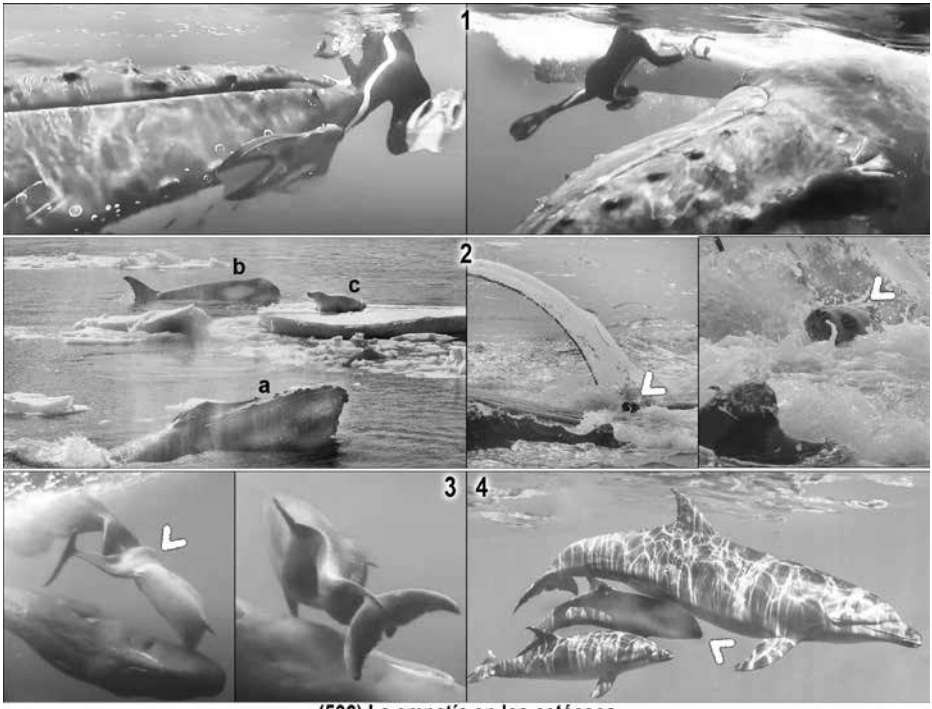
la empatía con otras especies

empatía en los cetáceos

La empatía entre especies es el nivel más alto esperable. No solo debe comprenderse el estado del otro sino que, al ser de otra especie, obliga a una sensibilidad especial. Los cetáceos, elefantes y primates son especialmente empáticos con otras especies.

(F506) Ballenas jorobadas y humanos. /// En el 2017, en las Islas Cook, una ballena jorobada protegió a una bióloga que buceaba, de un tiburón tigre. Las grabaciones muestran que la ballena de 23 toneladas se interpuso en el camino, empujó a la bióloga con su cabeza, la cubrió debajo de su aleta pectoral e incluso la sacó fuera de la superficie del agua. Estas acciones duraron diez minutos y muestran decisión y delicadeza de parte de la ballena. Así evitó el ataque del tiburón tigre que se encontraba en los alrededores.

(F506) Ballenas jorobadas contra las orcas en defensa de las focas. /// Las ballenas jorobadas fueron observadas cuando protegían a focas de Weddell de las orcas. Las orcas estaban cazando focas mediante la técnica de "barrido de olas". Se observó cómo las jorobadas se interponían, golpea-



(506) La empatía en los cetáceos

(1) Una ballena jorobada protege a una bióloga del ataque de un tiburón tigre. Llegá a levantarla sobre el agua. **(2)** Otra ballena jorobada (a) interviene en un ataque de una orca (b) contra una foca de Weddell (c). Luego la protege colocándola sobre las aletas pectorales. **(3)** Un grupo de cachalotes adopta a un delfín con una malformación en la columna vertebral. **(4)** Una hembra de delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) adopta a una cría de ballena cabeza de melón (*Peponocephala electra*).

ban las aletas y la cola en el agua y emitían fuertes "gritos" para alejar a las orcas. Los movimientos de disuasión duraban al menos una hora y podían extenderse hasta siete horas. Una estadística desde 1951 indica 115 observaciones donde las jorobadas se enfrentan a las orcas por alguna razón.

(F506) La adopción entre delfines y ballenas. /// En el 2015, en el atolón de Rangiroa (Polinesia Francesa), se observó un caso raro de adopción. Una madre y su cría hembra de delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) se movían junto a una cría macho de ballena cabeza de melón (*Peponocephala electra*). La madre estaba identificada como ID#TP25. Ambas crías se empujaban para estar debajo de la madre (posición infantil). Los meses siguientes se observó que la madre delfín amamantaba a la cría de ballena. La adopción llevó al menos dos años. Esta es una entre varias observaciones de adopciones entre especies; se desconoce si se trata de una adopción de un huérfano o de un secuestro.

Cooperación entre delfines.
/// Se cuenta que en 1950, una embarcación dragadora, en la costa de Florida, detonó di-

namita a varios metros de profundidad. Entonces apareció un delfín herido que estaba incapacitado de ascender por sí mismo hasta la superficie para respirar. Se presentaron dos delfines que se colocaron a ambos lados y lo mantuvieron a flote hasta que varios minutos después se recuperó y pudo retomar la natación.
/// En las Bahamas se realizaron observaciones de alianzas entre delfines nariz de botella y delfines manchados (*Stenella frontalis*). Se los observó jugar, buscar comida juntos, cuidar las crías mutuamente y defenderse en caso de ataque.

Delfines y humanos. /// Un reporte informó de un grupo de delfines bien estudiado que acompañaba a una embarcación en forma rutinaria en una ruta turística. En una ocasión una persona murió a bordo y el barco volvió a puerto. El grupo de delfines acompañó el viaje alejados a 15 m de distancia, cuando lo normal era acercarse a saludar y nadar en la estela de la embarcación. Cuando el barco retorno al mar, los delfines se comportaron de forma habitual.

empatía en los primates

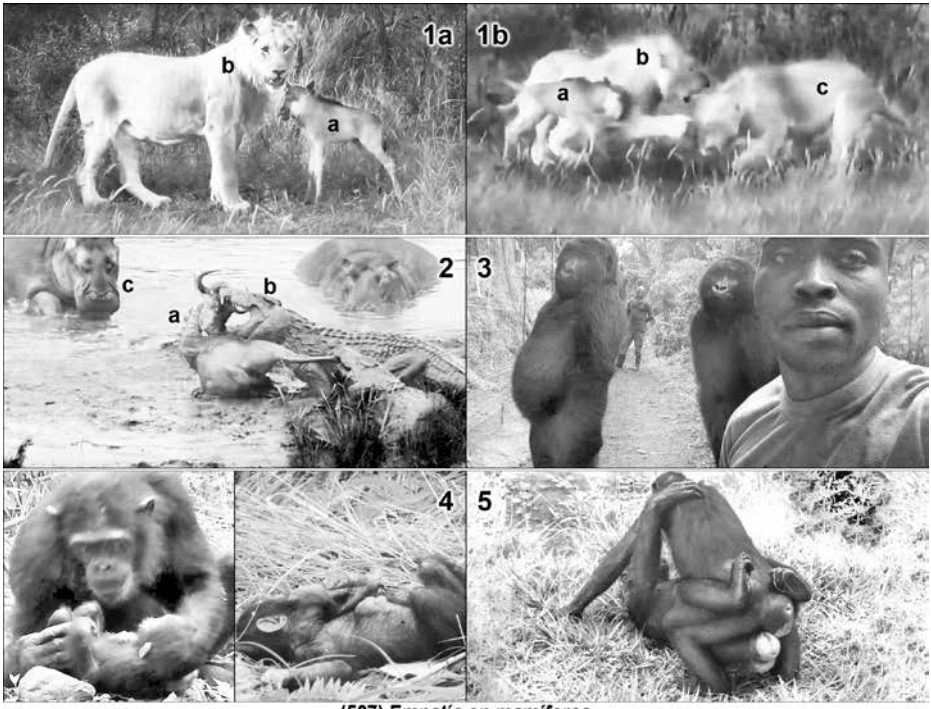
Gorila. En los gorilas se menciona la protección de niños humanos en zoológicos y la imitación que hacen de los cuidadores. **///** En 1996, un niño de tres años cayó siete metros, en el recinto de los gorilas, en un zoológico en Chicago. Con el niño inconsciente una gorila hembra (*Binti Jua*) de ocho años se acercó, lo acarició, lo acunó y lo llevó hasta la puerta por donde entran los cuidadores. Su hijo de 17 meses estaba siempre a su lado. La gorila lo protegió de otros gorilas e incluso pidió ayuda humana para rescatarlo.

(F507) Chimpancés. El nivel básico de empatía de los chimpancés ocurre durante el acicalamiento y la imitación en el uso de herramientas. Se sabe que tienen un entendimiento de las necesidades del otro. Por ejemplo, durante la comparación de conductas de grupos salvajes en reservas intactas e intervenidas por el hombre, se pudo determinar que la presencia humana modifica la conducta (ver capa de cultura).

(1) /// Un estudio encontró que los chimpancés responden a nivel emocional al ver una lesión. Se trabajó con seis chimpancés cautivos. Un cuidador al que conocían llevaba una herida simulada de la que manaba sangre falsa. Las cámaras termográficas mostraron una caída de la temperatura en las narices de los chimpancés. Esto se asocia con una fuerte reacción emocional negativa.

(2) /// Una chimpancé hembra (*Krom*) era sorda y engendró una sucesión de bebés. Tenía un intenso interés positivo en ellos. Lo llamativo era que no podía escuchar los gritos de angustia de sus bebés, sin embargo, aún así podía comprender y responder a sus necesidades.

(3) /// En Montes Mahale (Tanzania) en el 2015 se reportó el primer caso de un cuidado parental prolongado más allá del período biológico. Una cría hembra (llamada XT11) vivió 23 meses gracias a la atención de su madre de 36 años. Los síntomas eran semejantes al Síndrome de Down. Tenía malformaciones abdominales y en la columna vertebral, una mirada vacía, boca entreabierta y no podía sentarse erguida. La madre respondió a los comportamientos anormales, habilidades limitadas y necesidades excepcionales de su cría. Incluso dejó de buscar hormigas para atender a la cría. La cría sobrevivió amamantada durante todo el tiempo (fuera del período normal) y nunca comió plantas debido a las limitaciones motoras. Una hermana de XT11 ayudó en



(507) Empatía en mamíferos

(1) Una leona (b) adopta momentáneamente a una cría de ñu (a) y la protege de otra leona (c). **(2)** Un antílope ñu (a) del género *Connochaetes* es atrapado por un cocodrilo (b). Varios hipopótamos (c) intervienen para liberar al ñu. **(3)** Una selfie "famosa" en el P.N. Virunga (RD Congo) con gorilas que imitan a sus cuidadores en un centro de rescate de animales huerfanos. **(4)** En Mahale (Tanzania) una madre chimpancé atiende por 23 meses a su cría incapacitada (síndrome de down). **(5)** El sexo entre hembras de bonobo es muy frecuente y tiene una motivación social y empática.

la crianza (la acicalaba y cargaba) mientras la madre subía a los árboles a comer frutas. La dieta láctea no cubre todos los nutrientes necesarios y quizás fue la causa de muerte.

(F507) Bonobo. Los bonobos tienen una sociedad sensible y empática. Una demostración es cómo resuelven sus problemas, mediante el sexo. **///** Una demostración de la empatía con otras especies ocurrió en el zoológico de Twycross (Inglaterra). Un estornino quedó golpeado y cayó a tierra. Un bonobo hembra (*Kuni*) levantó al estornino con una mano y subió a la cima del árbol más alto en su recinto. Llevaba al estornino con las dos manos, luego desplegó sus alas y las abrió de par en par. Lanzó al estornino tan fuerte como pudo al aire. El estornino no reaccionó y cayó de nuevo. Entonces lo recogió y lo cuidó todo el día, hasta que el estornino se fue volando. Kuni actuó siempre con buenas intenciones y protegió al estornino. Parece que tenía una noción clara de lo que sería bueno para un pájaro.

MODELO DE CAPAS

633 teoría de la mente

¿de qué se trata? El concepto de "teoría de la mente" se refiere a una lectura de la mente. Identifica la capacidad de hacer una hipótesis de lo que está pensando el otro. Los requisitos son: entender de quién se trata, tener una empatía con él y reconocer un posible engaño.
-En tanto la metacognición es saber lo que se sabe o se ignora, la teoría de la mente es suponer lo que sabe o ignora el otro.
-Mientras la empatía informa de las emociones del otro, la teoría de la mente informa de lo que piensa el otro (una perspectiva cognitiva).

(F508) El test de Sally y Anne. Este experimento tradicional permite aproximarse a la habilidad de "leer la mente". El sujeto bajo prueba observa a Sally dejar un objeto en un cajón A y se retira. Luego Anne cambia el objeto del cajón A al B y se retira. Regresa Sally y se pregunta dónde está el objeto. El observador debe responder: ¿dónde Sally buscará el objeto? Si tiene una teoría de la mente, comprenderá que Sally buscará el objeto en el cajón A. Es decir, comprende que se puede tener una creencia falsa sobre la ubicación del objeto y que ignora que ahora está en el cajón B. Se han realizado muchas variantes de esta prueba para adaptarlo a la perspectiva del animal bajo prueba. En los humanos la solución correcta aparece a los cuatro años. Se trata de asumir la consciencia de las falsas creencias, donde los demás pueden no tener pensamientos que reflejan la realidad.

"yo sé que tú sabes". Una inferencia clásica sobre qué es la teoría de la mente se expresa de la siguiente forma: "yo sé--que tú sabes--que yo sé". Estos son estados mentales entre dos individuos y se dice que el máximo que los adultos humanos pueden manejar es cinco estados. Según se cree, es el tamaño de la corteza prefrontal lo que determina las habilidades de atribuir una teoría de la mente.

Termitas: algo más que empatía. Las termitas del sur de África construyen montículos sobre el suelo. Son herbívoros y constructores de suelo mediante la minería de profundidad. Se calculó que cada termitero produce cuatro toneladas de suelo al año. Es una fuente de nutrientes que convierte las sabanas áridas en praderas exuberantes, a pesar de la escasez de agua. **///** Un prolongado estudio de veinte años permitió

(508) Teoría de la mente
(1) La lectura de la mente se manifiesta cuando se forma una hipótesis de lo que piensa el otro. Mafalda piensa que Manolito no sabe que ella está porque no la puede ver. **(2)** Test de Sally y Anne. (2a) Llega Manolito y coloca un objeto en un cajón. (2b) Mafalda lo cambia del cajón A al B. (2c) El observador debe saber que Manolito piensa que está en A (entiende la noción de una "falsa creencia").

identificar personalidades y "emociones" en las termitas. Algunas termitas son iniciadoras, comienzan a construir y reclutan a otras perezosas, empujándolas si se resisten. Otras comparten el agua, dedicando quince minutos a aspirarla del subsuelo y luego la distribuyen en el nido. En un experimento, se formó un pequeño mundo artificial, con algo de suelo familiar, humedad, astilla de madera y hongos de su colonia. Se eliminó todo signo de angustia cognitiva. Las observaciones dieron lugar al siguiente relato por parte del científico en jefe con más de dos décadas de estudio de estas termitas.

"Las termitas exploran el espacio y comienzan a acicalarse entre sí. Una comienza a lamer a otra. Trabaja con sus mandíbulas cada uno de los apéndices (patas, antenas, la boca). El cliente parece tranquilo, las antenas están quietas, y presenta sus apéndices para ser trabajados uno a uno. El aseo se vuelve más intenso y se forman estaciones de aseo con grupos de termitas esperando su turno. Muestran individualidad, deseos y placer. Están más allá de las labores mecánicas cotidianas y de individuos autómatas gobernados por los genes. No es posible decir que una termita se forma una teoría de la mente de las demás, pero se puede decir que hay más que la simple empatía."

Elefantes: aconsejan dónde atenderse cuando están heridos. /// En Nairobi (Kenia) un centro de cuidados de elefantes enfermos afirma que estos animales saben que serán atendidos en su centro de rescate. Incluso si los animales nunca han estado allí. Los elefantes que no fueron atendidos en el centro, pero que conocen a otros que sí han estado, a menudo aparecen con heridas que necesitan atención. Eso sugiere no solo el conocimiento abstracto de la atención médica, sino una comunicación sofisticada de ese conocimiento. El estado mental de un animal se infiere de las observaciones, que solo cuentan una parte de la historia.

la mente de los cuervos

Esconden información sobre la comida almacenada. Los cuervos que esconden

comida en caché tratan de ocultar los lugares. Lo hacen de distintas formas:
-reducen el tiempo que invierten en terminar los cachés cuando son observados,
-usan obstáculos como barreras visuales para quedar fuera de la vista de los competidores,
-retrasan el almacenamiento hasta que los observadores se retiran,
-se mantienen alejados de los cachés terminados, siempre que no se presenten competidores,
-hacen cambios en los caché terminados si fueron observados.

Entienden la mirada y (quizás) se forman una teoría de la mente.

(1) /// Un estudio encontró que los cuervos esconden su comida más rápido si piensan que están siendo observados, incluso si no hay nadie a la vista. Los posibles ladrones no se acercaron a los escondites de otro hasta que el lugar estuvo libre de observadores. Los ladrones buscaron en otros lugares, entregando información falsa para evitar la agresión del que almacena. En cierto sentido están manipulando al otro o engañándolo. Para algunos, esto es una muestra de una teoría de la mente, pero para otros solo están reaccionando a las señales visuales.

(2) Grajillas (*Corvus monedulase*). **///** En otro estudio con este córvido, se encontró cómo siguen la mirada de los humanos. Pueden determinar el lugar de la comida siguiendo los ojos de una persona conocida. También respondieron cuando la persona señaló la ubicación de la comida. Pero, tardaron más tiempo, cuando la persona era desconocida o cuando tenían un ojo tapado. Las grajillas quizás desarrollaron la habilidad de entender las señales oculares sutiles, no para responder a las amenazas sino para facilitar la cooperación social.

Entienden los sonidos e interpretan los movimientos. /// En un estudio se pusieron cuervos en dos habitaciones separadas por una pared de madera, con ventanas y mirillas que podían cubrirse. Le permitían usar la mirilla para ver dónde los humanos escondían la comida en la otra habitación. Con esto el cuervo aprendía que lo podían estar observando. Más tarde le dieron comida con la mirilla abierta y se simularon sonidos para que pensara que había otro cuervo observándolo. Se midió que escondieron su comida más rápido. Pasaron de 14 a 8 segundos.

Cambiaron el caché cuando fueron observados por competidores.

(1) Chara californiana (*Aphelocoma californica*) es un córvido que almacena la comida en caché y roba los escondites de otros en los matorrales. **///** Utilizan una variedad de tácticas para minimizar la posibilidad de robo en sus propios escondites. Una alternativa consiste en recordar quién lo observaba y hacer un cambio de escondite. En los estudios se encontró que solo las aves que antes habían sido robadas volvían para cambiar el cache. Este cambio lo hacen cuando están en privado. El ave proyecta sus propias experiencias de robo en otros congéneres. Parece que la motivación para cambiar de caché es la de almacenar más y está provocada por el estrés.

(2) Carbonero común (*Parus major*). **///** En un experimento se le permitió observar dónde el carbonero palustre (*Poecile palustris*) almacenaba semillas de girasol. Se esperó hasta 24 horas y se les permitió ir en busca de lo escondido por la otra ave. La memorización de los escondites fue casi perfecta. Lo interesante es que esta operación de robo no la hace en forma habitual y podría no tener bien desarrolladas las habilidades para esta tarea.

(3) Arrendajo (*Garrulus glandarius*). **///** Esta pequeña ave almacena alimento y también hace un cambio de caché si otras aves están observando. Se encontró que las malas experiencias vividas incrementan la sensibilidad a nuevos eventos ("un ladrón conoce a un ladrón"). Este comportamiento puede ser un indicador de teoría de la mente.

la mente de los chimpancés

El test tradicional (Sally y Anne). /// Un estudio trabajó con 34 grandes simios (chimpancés, bonobos y orangutanes) en cautiverio. El objetivo era comprobar el test tradicional para detectar la teoría de la mente. En el experimento se colocaron dos simios (A y B) observando cómo un voluntario colocaba un objeto en una caja. Luego el simio B era retirado y el voluntario cambiaba el objeto de lugar. El simio A sabía del cambio (la creencia verdadera) y el simio B tenía una falsa creencia (estaba ausente). Entonces se ingresaba al simio B en la sala. Se encontró que A tenía una tendencia a ayudar a B para encontrar el objeto, lo que sugiere que pueden comprender que el otro estaba en un error. Estas pruebas dejaron algunas dudas.

El test alternativo del biombo. Para descartar posibles explicaciones que no llevan a la teoría de la mente, se diseñó una prueba diferente. **///** En el estudio se formaron parejas de chimpancés en las que cada uno se enfrentó a un biombo que impedía la visión. En un caso, el biombo tenía una tela opaca (no permitía ver) y en el otro, se usó una tela semitransparente. Una vez que cada chimpancé se familiarizó con su barrera, se les mostró un video. Se veía un voluntario que estaba detrás de un biombo y un objeto que se cambiaba de posición. Cada chimpancé debía interpretar la escena de acuerdo con su propia experiencia anterior. Para saberlo, se siguió la mirada, lo que es un predictor de opinión. Los simios que tenían la barrera opaca anticiparon que el investigador no sabría qué ocurre detrás. Los que tenían la semitransparente mostraban que sabían del cambio de posición del objeto. Se descartó de esta forma una explicación conductual, donde el simio se basa en la conducta de lo que observa. La explicación correcta apunta a que se forman una teoría de la mente.

El test de entregar una herramienta. /// Un estudio trabajó con parejas de madre e hijo de chimpancés que se alojaban en cabinas contiguas. A uno se le daba un problema y el otro tenía varias herramientas, entre ellas la solución al problema. Por ejemplo, una caja de jugo de un lado y la pajita para beber del otro. Se eligieron madre e hijo porque estarían más motivados para ayudarse. Se cambió el rol de pedir y ofrecer ayuda para evitar los sesgos. La experiencia se organizó de forma que se pudieran ver en algunas ocasiones y no tuvieran visibilidad en otras. Se concluyó que nunca se ofreció la ayuda a menos que el otro lo solicitara. La solicitud era extendiendo los brazos, aplaudiendo o saludando al otro. Si podían verse, elegían la herramienta correcta en el 80-100 % de las veces. Si no podían verse, el requerimiento se respondía entregando una herramienta por vez en orden aleatorio.

Robar sin que te vean. /// En un estudio se encontró que, si un chimpancé está robando comida, se asegura de estar muy callado si otro miembro está observando. Además, parece que pueden adivinar que ciertos lugares pudieron ser usados en el pasado para esconder cosas. En un ensayo de búsqueda de comida por etapas, los chimpancés siguieron con la vista intentando adivinar dónde

podrían haber mirado sus competidores. De esta forma buscaban en las ubicaciones menos obvias. El robo a hurtadillas y el engaño sofisticado son indicadores de una teoría de la mente.

Una secuencia de engaños y picardías mediados por la lectura de la mente. /// Hace 50 años se experimentó con un grupo de seis chimpancés cautivos. Cada día se dejaba ver a una hembra (Belle) dónde se escondían frutas, en el recinto de juegos. Luego se habilitaba el ingreso de los seis chimpancés juntos. Al principio Belle se dirigía al escondite y comía primero, hasta que el macho alfa (Rock) entendió la situación y empezó a perseguir a Belle y a quitarle la comida. Entonces Belle cambió y se sentaba en el lugar donde estaba la comida pero sin descubrirla. Rock entendió la situación de nuevo y buscaba la comida donde Belle se sentaba. Así que Belle empezó a evitar el lugar del escondite, mientras Rock buscaba al azar. Pero cuando Rock se acercaba al escondite, Belle se ponía nerviosa. Rock empezó a usar estos indicadores como una guía de búsqueda. Entonces intervinieron los experimentadores colocando dos grupos de frutas, uno pequeño y otro normal. Belle empezó llevando al grupo al escondite menor y corría luego al abundante. Hasta que Rock entendió la maniobra de nuevo. Se dice que Belle tenía verdaderos ataques de ira. Un caso de engaño similar se describió antes para el cerdo kunekune (capa de engaño figura F405), pero en este caso se produce dentro de una secuencia de medidas y contramedidas.

neuronas espejo: hacer, ver y pensar en hacer

Un puñado de neuronas que codifican una acción. Las neuronas espejo se descubrieron en 1996 trabajando con macacos Rhesus.

(1) /// En el estudio se investigaba un área de la corteza cerebral que gobierna la capacidad de apretar con las manos. Un macaco estaba cableado con electrodos para detectar la actividad de las neuronas que se activaban cuando agarraba un objeto. De improviso, cuando un investigador tomó un plátano, reaccionaron algunas neuronas del mono, lo que llamó la atención. Luego se confirmó esta observación accidental. Resultó que estas neuronas forman pequeños circuitos. Cada uno se activa cuando se ejecuta una acción en particular. Pero, también se activa cuando se observa ejecutar esa acción y cuando se piensa en ejecutarla.

(2) /// En otro estudio se siguió un circuito de neuronas espejo que se activó cuando se observó a un voluntario "agarrar y llevar a la boca" una manzana. Otro circuito se activó cuando la acción fue "agarrar y colocar en una taza". Con el movimiento de "agarrar para comer" se dispararon quince neuronas espejo, y para "agarrar para colocar" se dispararon cuatro neuronas espejo. El primer grupo no se activó con la segunda acción y viceversa. Ambos grupos eran excluyentes, solo se activaba uno a la vez. Además, se confirmó que se activan cuando se hace la acción, cuando se ve hacerla o cuando se piensa en hacerla.

Permiten el aprendizaje, la imitación, y la empatía con los demás. La hipótesis es que las neuronas espejo permitirían

entender lo que piensan, sienten o hacen los demás. Estarían muy relacionadas con la empatía social y las imitaciones. Como en los humanos estas neuronas se ubican en un área del lenguaje (área de Broca), se postuló que podrían ser un vínculo entre el lenguaje y la imitación de sonidos y gestos. Las neuronas espejo son una vía para sentir al otro. Podrían ser las encargadas de inducir un bostezo cuando se ve a otro hacerlo. También facilitarían el aprendizaje: como codifican la representación de la acción, permitiría simular la acción y prepararse para reproducirla. Es entrenamiento implícito. Podrían estar en la base de la introspección (autoconciencia). Tienen el potencial de comprender la acción, imitar el aprendizaje y simular el comportamiento de otras personas.

El aprendizaje social cablea una memoria con neuronas espejo que se usa más tarde. Algunos casos ya mencionados y por mencionarse se pueden analizar a la luz de las neuronas espejo. Por ejemplo, el pez arquero puede aprender a ajustar su disparo de agua hacia los insectos con solo observar a otro más experimentado. Se puede concluir que los observadores "cambian su punto de vista" sobre la base de lo que observan en los ensayos de prueba-error de otros. El aprendizaje social, entendido como aprendizaje por observación de otro, podría corresponder a neuronas espejo que se cablean observando y se usan más tarde para repetir la acción.

Neuronas espejo en las aves. /// Un estudio equipó a los machos de chingolo pantanero (*Melospiza georgiana*) con instrumental ultraligero montado en el cráneo, para registrar la actividad de ciertas neuronas individuales. El objetivo era el área cerebral del canto. Se pudieron identificar neuronas que se activaban cuando el ave emitía una secuencia particular de notas y también cuando escuchaba esa misma secuencia de notas. En otro trabajo se encontraron neuronas similares en el pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*). Como las aves se separaron de los mamíferos hace 300 Ma se puede pensar que las neuronas espejo tienen un origen común previo o una evolución convergente posterior. Es probable que estas neuronas surgieran en el ámbito de interpretar al grupo social y beneficiar el aprendizaje por observación e imitación.

Mono tití común (*Callithrix jacchus*)**: cómo identificar las neuronas espejo. ///** Para el estudio se identificaron las neuronas que respondían cuando se veía una acción de agarre. Bajo anestesia, se inyectaron trazadores fluorescentes en la región. La técnica de microscopia de fluorescencia permitió identificar las neuronas individuales. Luego se implantaron electrodos para registrar la actividad y se identificó la categoría de neuronas espejo.

Los monos sincronizan su actividad cerebral durante las interacciones sociales. /// Un estudio desarrolló un sistema inalámbrico que registró la actividad neuronal de dos monos en simultáneo. En el experimento un mono era llevado lentamente hacia un dispensador de frutas, mientras otro observaba lo ocurrido. Cuando el primero llegaba al dispensador, ambos recibían una recompensa de jugo. El experimento se repitió con varias parejas.

-Se encontró que mientras el primero era llevado, el mismo grupo de neuronas en la corteza motora se activaba en ambos monos. El sincronismo permitía predecir lo que estaba ocurriendo. Cuando estaba a poca distancia, se activó otro grupo de neuronas en ambos y otro más se sincronizaba cuando el movimiento era a cierta velocidad. Esto demuestra la sincronía de las neuronas espejo.

-También se encontró que el estatus social afectaba a la sincronización. Cuando un subordinado observaba a un mono dominante, la sincronización era mayor que al revés. Los subordinados podrían imitar mejor la actividad neuronal de los dominantes y comprender sus acciones. Ocurre cuando se pone en el lugar del otro para aprender observando.

-Otra conclusión fue que ciertos grupos de neuronas activas se asociaron con la dopamina, así que la imitación neuronal puede ser reconfortante a la vez. Esto puede explicar porque fisgonear es gratificante.

Ratones: las neuronas que se asocian con las emociones. Las expresiones faciales del ratón cambian cuando sufre estrés o prueba algo dulce o amargo. **///** Un estudio trabajó en regiones del cerebro que se activan al ver expresiones faciales (emociones). En el estudio se pudo medir la actividad individual de las neuronas. Se encontró que hay neuronas individuales en la corteza que reaccionaron ante una expresión facial. Cada neurona individual se vinculaba con una sola emoción. Esto sugiere la existencia de "neuronas de emociones" que reflejan una sensación específica.

ESTUDIO DE CASOS

macacos: una sociedad maquiavélica

¿de quién se trata? El macaco Rhesus (*Macaca mulatta*) es un mono del sudeste de Asia cuya línea filogenética se separó de la línea humana hace 25 Ma. La genética coincide en el 97,5 % con la humana, pero este valor dice muy poco, porque ante un cambio en el ADN no hay forma de saber si el cambio ocurrió en una u otra línea.

-El Rhesus vive en sociedades complejas con jerarquías de dominio y vínculos sociales duraderos. Los machos alfa (gobiernan una tropa de 50 individuos) usan amenazas y violencia para lograr los mejores lugares, comidas y hembras. Compiten por el estatus social mediante la agresión, el nepotismo y complejas alianzas políticas. El sexo también se usa con fines políticos.

-Los miembros menos poderosos son marginados y obligados a vivir en los bordes del área del grupo, donde son más vulnerables. Deben esperar a que los demás coman primero y luego obtienen las sobras.

-El altruismo es raro y, cuando ocurre, es una forma de nepotismo. Las madres ayudan a sus hijas a alcanzar un estado similar al suyo y a mantenerlo durante toda su vida. Se aseguran de tener mucho sexo con el macho alfa, pero también con otros machos a espaldas del alfa.

-Ocurren revoluciones cuando los miembros de la familia dominante son atacados por otras familias subordinadas. Pero toda la estructura social establecida se evapora cuando hay una guerra entre grupos de macacos. Dicen que "cada gramo de xenofobia es combustible para la batalla".

La isla Cayo Santiago (Puerto Rico) es la isla de los macacos. Tiene 15 hectáreas y es hogar de 2.000 Rhesus, según censo del 2019. Fue fundada en 1938 y está habitada solo por monos. Los humanos hacen un viaje al día para llevar alimentos. Esta es la población de investigación más vieja y mejor documentada. El huracán Katrina (2005) se llevó en mayor proporción a los más pobres de la comunidad, lo que es un indicador de la escala social desbalanceada.

Género *Macaca:* **la personalidad de los macacos.** El género *Macaca* incluye a 24 especies con variaciones de personalidad en lo que hace a la amistad, mezcla de la amabilidad del chimpancé y el altruismo humano. Todos muestran cierta apertura (curiosidad). ***///*** Un estudio comparó el "estilo social" como elemento de la personalidad. Se formó una escala de cuatro grados desde el despótico (grado 1) al tolerante (grado 4). La clasificación depende de las fuerzas en las jerarquías de dominación de las hembras. El grado 1 (macacos Rhesus y japoneses) se caracteriza por el favoritismo hacia parientes y monos de alto rango. El grado 4 (macacos tonkean y con cresta) son tolerantes con las hembras no relacionadas. Es un ejemplo de una personalidad audaz y curiosa.

Rhesus: la escala social determina la salud y respuesta al estrés. ***///*** Un estudio con 45 Rhesus hembra analizó el estrés producido por el cambio en la escala social.

En el estudio los macacos compitieron entre sí y formaron un estatus con orden jerárquico donde todos conocían su lugar. Después de un año, se cambiaron los grupos de forma que fue necesario un nuevo orden social. Se observó que los que están en la parte inferior de la escala social viven vidas más cortas y enfermas. Vivir en la base puede tener efectos sobre la salud a largo plazo. Incluso los que ascienden en la jerarquía social llevan los efectos de su estado anterior. En el estudio se identificaron 3.735 genes cuya actividad estaba influenciada por el lugar anterior en la jerarquía. Las hembras que cayeron en la escala social mostraron los efectos de su reciente degradación en su actividad de genes. Los genes del sistema inmunológico quedan alterados en forma epigenética, lo que propaga en el tiempo los cambios y puede debilitarlos frente a invasores microbianos.

Rhesus: **rascarse demuestra estrés y relaja a los otros.** El rascarse es una forma de comunicar algo. Parece reducir la agresión de los demás, disminuir la posibilidad de conflicto y beneficiar a ambas partes. **///** Un estudio trabajó con 45 Rhesus de Cayo Santiago y siguió las interacciones sociales naturales durante ocho meses. Se encontró que se rascaban en los momentos de mayor estrés, por ejemplo al estar frente a un macaco de alto rango o de enemigos. El rascado redujo la probabilidad de ser atacado. La probabilidad de agresión de un mono de alto rango a uno de menor rango era del 75 %, pero bajaba al 50 % si se rascaba. Un mono estresado puede ser impredecible o estar debilitado, por eso un ataque podría ser arriesgado o innecesario. Mostrar el estado de estrés reduce la necesidad de conflicto.

Macaco cola de cerdo (*Macaca nemestrina*): **autoridades dentro de la red social. ///** Un estudio siguió a una manada de 84 macacos en cautiverio. Se observó la existencia de múltiples redes de amistad. Cada macaco estaba incluido en varias redes y todas operaban bajo la mirada de figuras autoritarias del más alto rango. Estos individuos dedicaban tiempo y esfuerzo a poner fin a riñas entre miembros en las distintas redes. Los investigadores retiraron a tres de estas autoridades y la estructura de redes se modificó. Aumentaron las agresiones y disminuyeron las reconciliaciones. En las redes, el aseo y el juego disminuyeron y el número de amistades cayó. La población se segregó en facciones pequeñas y homogéneas que no se relacionaban con extraños. Una autoridad puede ser un elemento necesario y moralizante.

la toma de decisiones

El macaco decide no castigar en vano, es consciente del bienestar. /// En un estudio con macacos cautivos, se les enseñó a elegir un ícono en la pantalla. Los íconos permitían dar al otro un premio (sorbos de jugo) o un castigo (bocanada de aire en los ojos). Se realizó un seguimiento ocular para ver hacia donde miraban y la frecuencia de parpadeo. Ambas son indicadores de compromiso social. La mayoría de los catorce pares de macacos examinados no estaban dispuestos a castigar. Se registraron comportamientos prosociales, algunas indiferencias y un par de antisociales. Se notó un vínculo en el conocimiento previo entre macacos y la concesión de premios. Esto sugiere que sabían lo que estaban haciendo. También se observó un parpadeo (indicador de empatía) cuando se eligió un castigo. Se midió que los macacos que daban más premios también tendían a parpadear más

antes de castigar a otro macaco. Se concluyó que los macacos toman en cuenta el comportamiento de los otros y modifican el suyo. Parece que son conscientes en cierto sentido del bienestar de sus compañeros.

El macaco elige tomar decisiones altruistas. /// Para un estudio se formaron parejas que debían seleccionar entre pares de alternativas. Las posibilidades eran "jugo para mí (1/0)", "jugo para el otro (0/1)", "jugo para ambos (1/1)" y "jugo para ninguno (0/0)". En el juego se presentaban de a pares. Cuando tenían que elegir entre 0/1 y 0/0, preferían la primera, en lo que es una versión altruista. Este altruismo se potenciaba cuando se les aplicó oxitocina en forma de gas mediante una máscara. La oxitocina es una hormona prosocial.

Rhesus: ante la incertidumbre buscan más información. Una tarea de aprendizaje simple es entrenar a un animal para ver dos tazas (A y B) y colocar siempre la comida en la A. Cuando el animal entendió el truco, el experimentador cambia, y pasa a dejar la comida en B. Los perros, continúan perseverando con la taza A. En cambio, los Rhesus cambian de inmediato. Tienen toda la información necesaria y cambian acorde con ella. Pero, qué pasaría cuando no está disponible toda la información. **///** En una experiencia con macacos se comprobó que saben cuándo necesitan más información. Le permitieron buscar alimentos colocados en uno de dos cilindros. Una tercera posición permitía observar el contenido de los dos cilindros. Cuando los monos vieron en qué cilindro ponían la comida, corrieron a buscarla. Pero cuando no estaban seguros fueron a la posición de observación. No se acercaban a esta posición si no era posible observar los cilindros. Entonces, usaron la información de que disponían para decidir si necesitaban más. Esta conducta de dudar (incertidumbre) es un indicador de la metacognición, que se soporta por encima de la consciencia y que está en línea hacia la moral en los animales. Mientras la teoría de la mente aporta la conexión con el otro, la metacognición aporta la identificación de los límites del conocimiento. Entre ambos se puede construir una plataforma para identificar el bien y el mal (la moral).

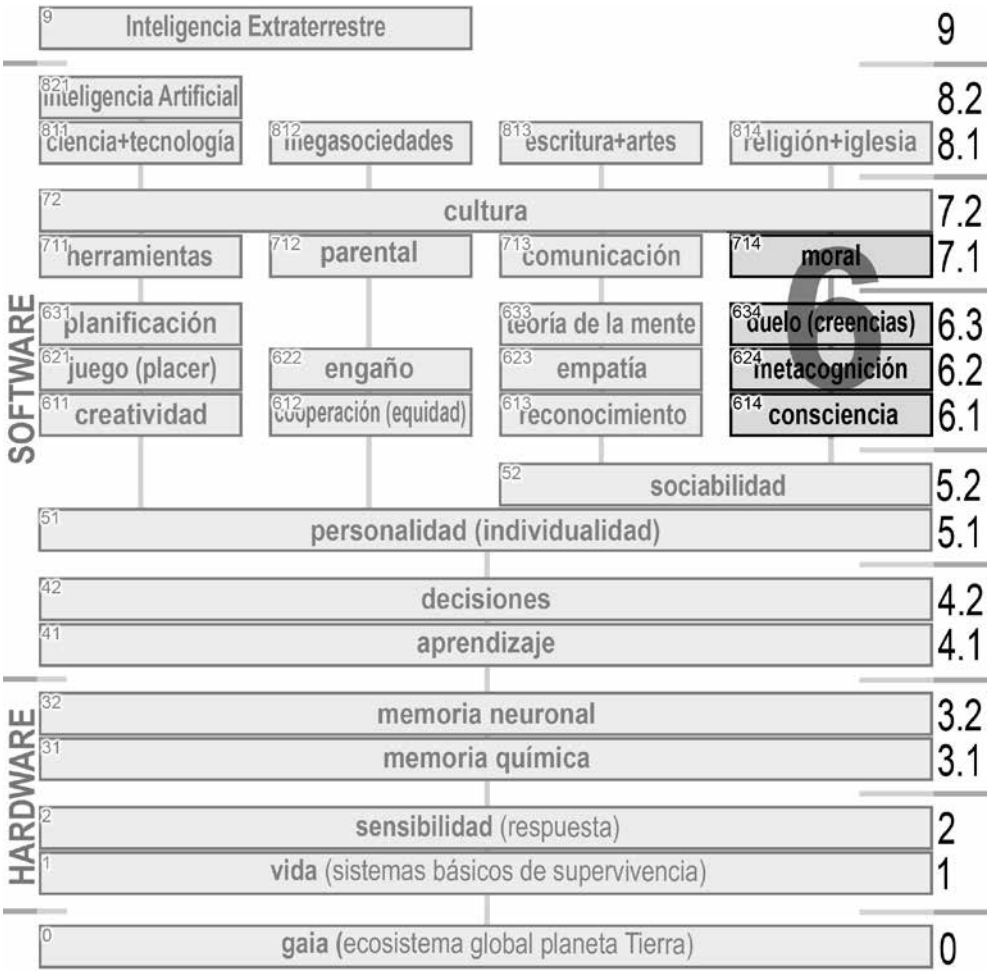
juego y toma de riesgo

Lo más atractivo no es lo más elegido. /// Un estudio con macacos exploró la relación entre la capacidad de atención y la toma de decisiones. Frente a una pantalla de computadora tenían la libertad de mirar opciones a elegir. Se encontró que miraron hacia los objetos más valiosos y novedosos. Pero, a pesar de la "preferencia" con la mirada, no siempre elegían los estímulos novedosos. Parece que una parte del cerebro implementa un código de valor flexible basado en neuronas individuales. Estas neuronas son estimuladas durante el proceso de tomar decisiones económicas.

Los Rhesus asumen riesgos. /// Un experimento midió la capacidad de apostar. Se mostraron en una pantalla dos objetos en forma de escalera y debían seleccionar uno mediante el joystick. La recompensa era un poco de jugo de grosella negra diluido. Luego se complicó la prueba, al cambiar la distancia entre peldaños y ofrecer una recompensa mayor cuanto mayor distancia había entre peldaños. Se aplicó un sesgo donde el aumento de la distancia entre peldaños era mayor que el aumento de la recompensa. Se incorporó una forma de apuesta segura usada cuando la separación entre peldaños

era casi idéntica. Los macacos podían elegir una apuesta segura o apostar a ganar más tomando un riesgo. Se concluyó que siempre preferían la brecha más amplia en busca del premio mayor.

La capacidad de reconsiderar una apuesta con riesgo. /// Para un experimento, se le enseñó a los macacos a ver un objeto en una pantalla y recordarlo. En la próxima pantalla, se mostraba el mismo objeto mezclado entre otros objetos de distracción. El macaco debía tocar el objeto inicial. En una tercera pantalla, se ofrecía un cuadro de apuestas. Si elegía la apuesta alta y la respuesta era correcta, agregaba tres fichas a un banco de fichas. Pero si estaba errada, se restaban tres. Cuando el banco de fichas se llenaba, el mono recibía la recompensa. Si elegía la apuesta baja, obtenía una ficha en forma segura. Este es un juego de no-suma-cero, donde una serie de buenas decisiones puede mejorar el balance final. Se manipularon las imágenes (contraste) para dificultar la decisión y se encontró que hacían apuestas más altas cuando se presentaban fotos con alto contraste. No se encontró un efecto en la memoria, pero sí en la confianza sobre la respuesta. En estudios similares se concluyó que la posibilidad de tomar una vía de escape cuando no están seguros, les permite mejorar la sumatoria de recompensas. Todo esto apunta a que tienen un conocimiento de lo que saben e ignoran (la metacognición).


9 Inteligencia Extraterrestre
9
821 inteligencia Artificial
8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia
8.1
72 cultura
7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral
7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias)
6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición
6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia
6.1
52 sociabilidad
5.2
51 personalidad (individualidad)
5.1
42 decisiones
4.2
41 aprendizaje
4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal
3.2
31 memoria química
3.1
2 sensibilidad (respuesta)
2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia)
1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra)
0

MODELO DE CAPAS

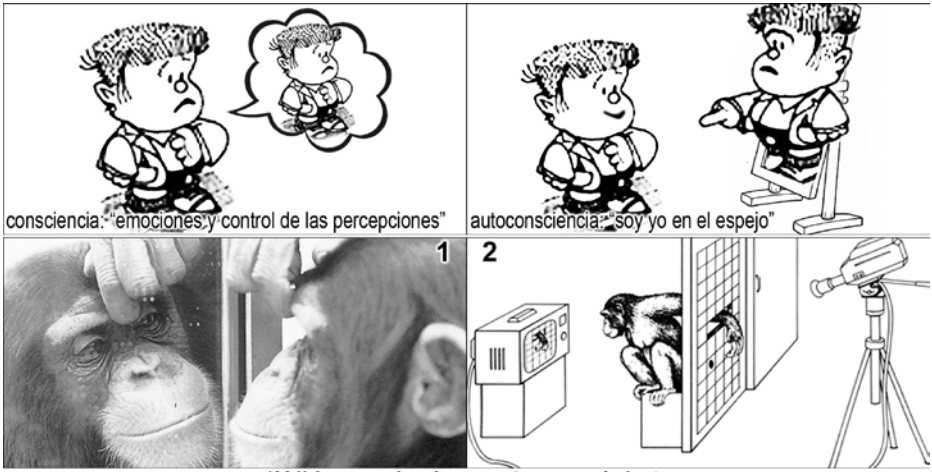
614 consciencia

¿de qué se trata?

Parece que la consciencia son percepciones y emociones, no una capacidad superior. Si así fuera, los componentes básicos podrían estar muy extendidos en la vida. Muchas experiencias conscientes son emotivas, son reconfortantes o atemorizantes, agradables o molestas, etc. **Las emociones son una guía mediante incentivos (positivos y negativos) que moviliza hacia lo beneficioso.** Los psicólogos dicen que las emociones básicas que se reflejan en la cara en toda la humanidad son: alegría, tristeza, ira, miedo, sorpresa y asco. Pero se agrega un submundo más sutil (vergüenza, aburrimiento, depresión, celos, amor, etc.). Los animales comparten algunas de estas emociones. La fisiología básica y la química del cerebro ligada a las emociones son comunes en humanos y animales. Algunas respuestas emocionales se observan en la concentración hormonal, frecuencia cardíaca, temperatura corporal (fiebre emocional) y otros indicadores externos.

Es una experiencia privada, intrínseca y subjetiva, selectiva, flexible pero lenta. Parece que un animal está consciente si experimenta el mundo subjetivamente ("yo, aquí y ahora"). La consciencia es lo que se pierde cuando se duerme. La esencia de la subjetividad es la atención selectiva, enfocándose en un aspecto a la vez. La consciencia es más flexible que las respuestas reflejas (los instintos), pero es más lenta y requiere mucha energía. Se concentra en pocos elementos sensoriales entre toda la información disponible. Cuando esto ocurre, el individuo toma el control de su percepción.

La consciencia filtra la percepción y entrega una realidad editada. La consciencia es algo misterioso que se expresa en cosas como un color agradable o la sensación de estar enamorado. Son emociones que se perciben como parte de la realidad. Pero cada individuo solo percibe una parte del todo, los sentidos son limitados. Algunos tienen un ancho de banda muy estrecho (ve solo una parte) y otros muy amplio (no permite ver los detalles). Además, el cerebro se encarga de procesar y presentar solo una fracción de



(601) La consciencia por autoreconocimiento

(1) En la "prueba del espejo" el chimpancé usa el espejo para investigar partes del cuerpo que no llega a ver.
(2) Las pruebas alternativas incluyen "el obstáculo del propio cuerpo" y el "manejo de botones o joystick".

lo que percibe. Si se presentaran todos los detalles, sería abrumador. Un ejemplo es el parpadeo que es permanente y no se percibe casi nunca. El cerebro edita la información y crea una interfaz de usuario que simplifica la complejidad. Aunque no se percibe la verdad, parece que todos comparten la misma tergiversación. Por eso **no se puede estar seguro de la consciencia de los demás. Solo se puede tener una interpretación propia de la mente de los otros.**

Una variedad de consciencias en las diversas ramas de la vida. Si los pulpos tienen consciencia, debió evolucionar en forma separada por 500 Ma. Si las aves tienen consciencia, llevan 300 Ma de aislamiento respecto a los mamíferos. La consciencia pudo haber evolucionado y perderse en innumerables oportunidades a lo largo de la historia evolutiva. Seguramente existieron dinosaurios que desarrollaron su propia consciencia. En suma, aunque no hay forma de saber qué ocurrió, parece que no hay una sola manera de ser conscientes y por eso puede ser inescrutable.

(F601) El listado de signos indirectos que apuntan a una consciencia. Existe una multifacética variedad de pistas que indican que un animal puede experimentar la consciencia. Ninguna es concluyente pero están en el camino correcto.

-El individuo siente emociones. El corazón se acelera en situaciones de estrés. Siente un aumento de temperatura corporal ligado a las emociones (fiebre emocional).

-Supera la "prueba del espejo" cuando se reconoce en un espejo o en alguna de las pruebas alternativas de autopercepción (olor, tamaño, etc.).

-Tiene una idea de lo que piensan los demás y actúa sobre la base de esa percepción ("teoría de la mente").

-Tiene la capacidad de enfocar la atención en un hecho y relega a segundo plano las otras percepciones. Toma el control de las reacciones.

-Muestra un aprendizaje ilimitado por asociación, entendido como la habilidad de analizar múltiples señales en una sola percepción.
-Es altamente flexible en la toma de decisiones, pero muestra arrepentimiento de haber tomado una mala decisión. Siente culpabilidad.
-Tiene muchos receptores de dopamina en su cerebro para sentir la recompensa. Es sensible a los anestésicos. Necesita dormir para fijar la memoria.

La consciencia está distribuida en el cerebro y la clave es la intercomunicación. Una hipótesis dice que la consciencia tiene su soporte en la capa externa del cerebro (la corteza) y en el centro del cerebro (el tálamo). La percepción se volvería consciente si desde el tálamo se da intervención a la corteza. Otra hipótesis sugiere que no interesa la anatomía del cerebro. La consciencia sería el resultado de la combinación de datos, por lo que es más que la suma de sus partes.

(1) La pérdida de consciencia. /// Una posible forma de saber qué ocurre es analizar la pérdida de consciencia. Los estudios indican que no se apaga una región cerebral, sino que colapsa la comunicación entre áreas del cerebro. La consciencia no tendría un interruptor, sino que se extiende en la red del cerebro. Para constatarlo se escaneó el cerebro mientras se lo anestesiaba. Se encontró que la inconsciencia se asocia con una falla de la corteza para propagar los mensajes al resto del cerebro. Esto podría explicar por qué un anestésico general (ketamina) produce la inconsciencia aunque aumenta la actividad en muchas áreas del cerebro. Lo que hace es deprimir la comunicación entre regiones.

(2) /// Mientras algunos pensamientos son conscientes, otros se esconden inadvertidos por debajo de la percepción. En una prueba con humanos se les mostró una cadena de cartas en rápida sucesión. Debían responder una pregunta sobre la primera carta, lo que les hizo perder la atención consciente del resto. La actividad neuronal se registró con 128 electrodos. Se observó que, cuando un evento se volvía consciente, las neuronas de varias regiones del cerebro explotan en actividad sincrónica.

consciencia y emociones

Algunos argumentos a favor de que las plantas tienen consciencia. Es muy difícil sostener que las plantas tienen consciencia, aunque algunos lo han propuesto. Los argumentos se basan en que sienten el efecto de la anestesia, tienen algo parecido a dormir y toman ciertas decisiones complejas. Se "cumplirían" algunos indicadores indirectos de la presencia de consciencia.

(1) Se anestesian los movimientos. Como las plantas responden a los estímulos (a velocidad vegetal) también pueden ser anestesiadas. Se puede usar dietiléter, cloroformo, halotano o isoflurano. Esto no debería sorprender porque, como se comunican internamente mediante fitohormonas, es lógico que existan compuestos que las neutralizan. **///** Un estudio aplicó anestésicos a diversas plantas y encontró que en una hora quedaron inactivas. Por ejemplo, cuando se trabajó con una planta carnívora atrapamoscas se monitoreó el potencial de acción de la membrana celular y se observó que el gas dietiléter ($(C_2H_5)_2O$) lo eliminó. Esto sugiere que la bioelectricidad y los potenciales de acción impulsan los movimientos de estas plantas como en los animales.

(2) También las raíces. /// Otro estudio trabajó con células de la raíz de Arabidopsis.

Se las colocó bajo anestesia (dietiléter y lidocaína), lo que afectó el reciclaje de las vesículas en la membrana. Esto significa que no podían continuar produciendo los materiales necesarios para exudar compuestos.

(3) Se relajan por las noches. En las leguminosas se demostró que, si no "duermen", se marchitan en varios días y pierden las hojas. Es la consecuencia del "insomnio" en las plantas. **///** Un estudio trabajó con abedules para determinar el movimiento por la noche. Se realizaron mediciones mediante escaneo láser (para evitar la iluminación), en noches tranquilas (para evitar los efectos del viento) y en el equinoccio (para asegurar la longitud de la noche). Se midió en Finlandia y Austria. Se determinó que todo el árbol se inclina, con movimientos pequeños (unos 10 cm en árboles de 5 metros de altura), pero que son sistemáticos. Las hojas y las ramas caen poco a poco, con la posición más baja un par de horas antes del amanecer. Por la mañana, los árboles vuelven a su posición original en unas pocas horas. No se sabe si fueron "despertados" por el sol o por su propio ritmo interno circadiano. El efecto de caída es causado por la pérdida de presión interna del agua en las células (presión de turgencia), que es influida por la fotosíntesis. Las ramas y tallos de las hojas son menos rígidas y más propensas a la caída por su propio peso.

Mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)**: sienten emociones y pueden concentrar la atención.**

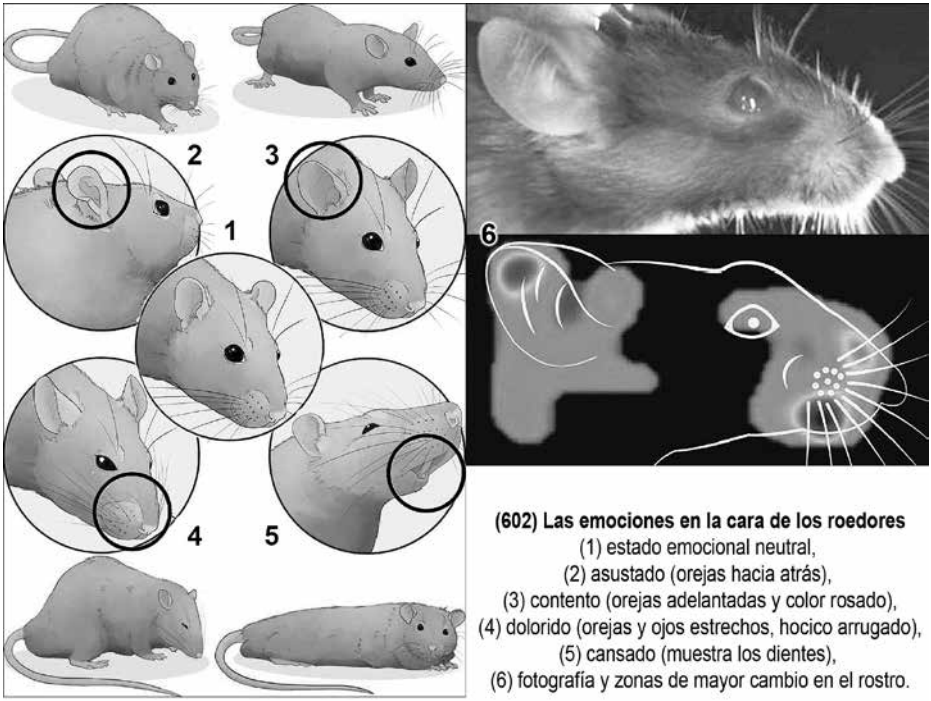
(1) El estrés lleva al miedo. /// Un estudio expuso a las moscas a sombras de predadores y se encontró que aumentaban en forma gradual y persistente la velocidad y el salto. Algunas veces se congelaron en su lugar como defensa. Las sombras causaron que las moscas hambrientas dejaran una fuente de alimento, lo que sugiere que vivían una experiencia negativa. Tomó tiempo que volvieran a su comida, producto de una lenta recuperación. Cuantas más sombras se usaban, más tiempo les tomaba calmarse y volver a la rutina. Cuando huían, se trataba de algo más que un escape, era un estado fisiológico duradero muy parecido al miedo. En los humanos, el estrés está regulado por la hormona cortisol. En los insectos y otros invertebrados, otra hormona (corazonina) coordina las respuestas para contrarrestar el estrés y restaurar el equilibrio interno.

(2) El estrés aumenta el riesgo de muerte. /// Cuando se expusieron las moscas al olor del depredador mantis (*Mantis religiosa*), se encontró que el riesgo de muerte aumentó hasta siete veces. El mayor riesgo ocurrió en poblaciones pequeñas donde las moscas pasaron más tiempo vigilando y menos comiendo. Si el olor es suficiente, el declive de la población de moscas continúa. Quizás, este sentimiento no califique como una emoción, pero responde en forma similar.

(3) Tienen atención selectiva. /// Un estudio verificó que se pueden concentrar en un evento. Primero se las entrenó para caminar sobre una bola suspendida en un colchón de aire y frente a una escena virtual. Al girar la bola podrían cambiar la escena y elegir a cuál objeto prestar atención. Cuando una mosca estaba prestando atención a un objeto, se media la actividad neuronal mediante sondas implantadas en su cerebro. Se encontró que hay una ventana de atención y que los otros objetos están siendo reprimidos.

La fiebre emocional.

(1) Pez cebra (*Danio rerio*)**.** La fiebre emocional es un indicador indirecto de consciencia y se expresa como la capacidad de sufrir hipertermia por estrés. Ocurre cuando el cuerpo se calienta por ansiedad ante un evento inminente. Es un anticipador de emo-



(602) Las emociones en la cara de los roedores
(1) estado emocional neutral,
(2) asustado (orejas hacia atrás),
(3) contento (orejas adelantadas y color rosado),
(4) dolorido (orejas y ojos estrechos, hocico arrugado),
(5) cansado (muestra los dientes),
(6) fotografía y zonas de mayor cambio en el rostro.

ciones y ocurre aún en los peces que tienen "sangre fría" (ectotermos). **///** Para probarlo se confinaron peces cebra aislados en una pequeña red en el centro del tanque experimental. Por ser ectotermos buscan trasladarse a un ambiente con temperatura igual a su estado fisiológico interno. Luego de estar en esa situación estresante por quince minutos, fueron liberados para nadar libremente. Se les ofrecieron varias cámaras a diferentes temperaturas. Los peces estresados pasaron más tiempo en aguas más cálidas comparados con el grupo de control. Se calculó que su temperatura corporal había aumentado entre 2 y 4 °C. La fiebre emocional es un indicador de sentimientos de algún tipo.

(2) En las ratas. /// En un estudio se midió que, cuando una rata era manipulada por un desconocido, la temperatura aumentaba 1 °C. Si la misma persona la manipulaba todos los días, la temperatura aumentaba cada vez menos y, al quinto día, dejaba de hacerlo. Si se cambiaba el manipulador al sexto día, volvía a aumentar. Esto indica que los cambios de temperatura son psicológicos. La fiebre emocional se midió también en tortugas y lagartos.

(F602) Ratas: señales faciales y reconocimiento de emociones.

(1) Las señales faciales. /// Un estudio que trabajó con visión artificial pudo vincular varios estados emocionales con las expresiones faciales. Algunos estados son placer, asco, náuseas, dolor y miedo. Los algoritmos informáticos pudieron medir la fuerza de estas emociones. Los ratones que lamieron azúcar cuando tenían sed, mostraron mayor alegría que los ratones saciados. Los que probaron una solución algo salada,

se mostraban satisfechos pero, si eramuy salada, llevó al disgusto. Las expresiones faciales reflejaban el carácter interno emocional, indicando la intensidad y el origen con un retardo de milisegundos. Luego, se midió la actividad cerebral de neuronas individuales mediante microscopía y se activaron neuronas mediante optogenética. Se encontró que cada neurona reaccionaba con la misma fuerza y al mismo tiempo que la expresión facial. Además, cada neurona estaba vinculada a una sola emoción. Esto sugiere la existencia de "neuronas emocionales", cada una para una sensación específica. En forma similar a las "neuronas espejo" o las "neuronas de lugar". Si esto es cierto, un ratón estaría en condiciones de entender la emoción de otro, observando las expresiones faciales.

(2) Reconocen el dolor en la cara. Como las ratas y ratones muestran cambios faciales cuando sienten dolor, es posible que sus congéneres los interpreten. Se observa que aplanan la cara, entrecierran los ojos, mueven los bigotes e inflan las mejillas y la nariz. Con esta información se crearon tablas de dolor en roedores mirando su cara. **///** En un experimento se formaron jaulas especiales para ratas sin experiencia. Había varias habitaciones decoradas con fotografías de ratas con dolor o neutrales. Podían elegir dónde pasar su tiempo. Se encontró que pasaban la mayoría del tiempo donde las fotos eran de ratas neutras.

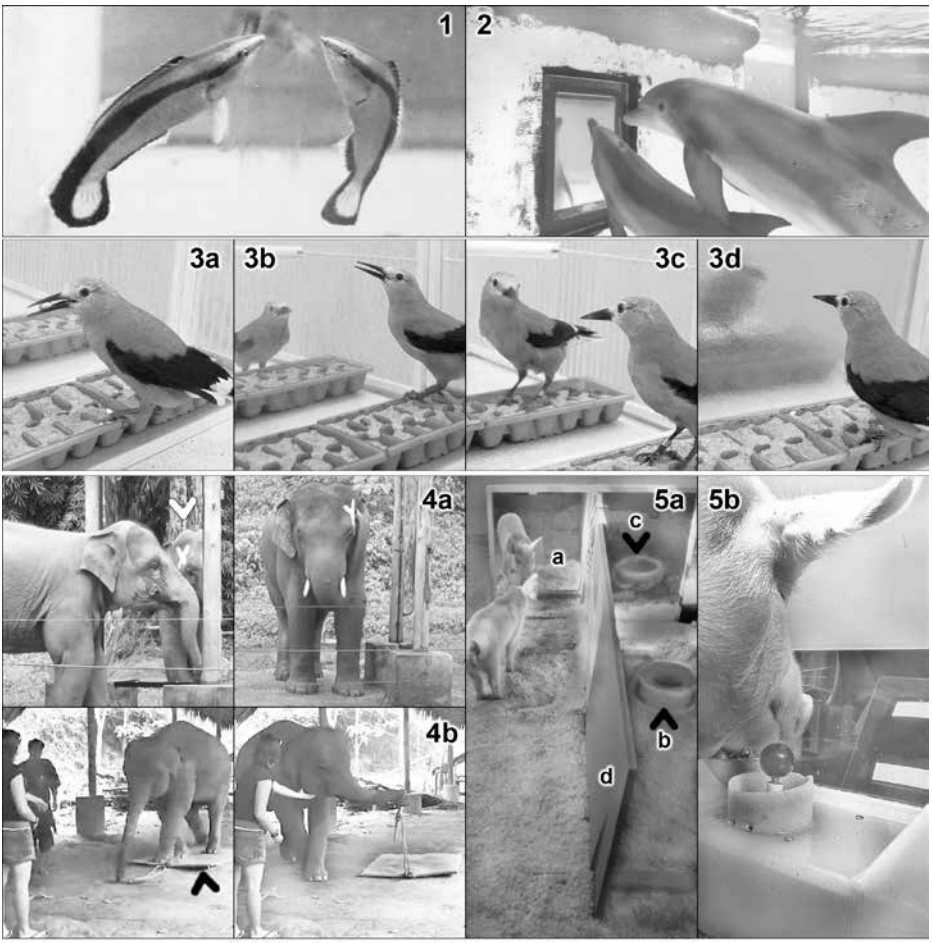
prueba del espejo (autoconsciencia)

la prueba del espejo

¿de qué se trata? La prueba donde un animal se reconoce frente a un espejo se convirtió por un tiempo en un indicador clásico de autoconsciencia. Darwin había usado un espejo para experimentar con un orangután en el zoológico de Londres en 1838, pero no fue hasta 1977 que se formalizó su uso. En los delfines ocurre a los siete meses de edad, a los 12-15 meses en humanos y algo más tarde en los chimpancés. Su aparición está vinculada con el desarrollo sensorial y motor. Cada especie reacciona al espejo de distinta forma, con sus costumbres y medios. Los que tienen manos pueden tocar el área del cuerpo marcada, pero las aves y delfines están obligados a hacer otros movimientos. Incluso están los que no reaccionan con claridad al espejo (perros), pero pueden cumplir con otras pruebas equivalentes. Siguiendo con el concepto de que ninguna prueba es definitiva, la prueba del espejo no entrega certeza de consciencia, pero es un paso más cerca.

-**///** Por ejemplo, en la prueba del espejo con el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) se observó que mostraba mayor interés en acercarse al espejo. Aumentaron los círculos repetitivos con la cabeza, también la visión cercana del ojo o la región genital que se había marcado.

-/// Con la urraca euroasiática (*Pica pica*) se usaron pegatinas de color que se colocaron en un lugar en el cuello. Cuando se vieron en el espejo, las aves se rascaron el cuello con el pico, lo que indica que reconocen que son ellas las que están en el espejo. Luego, cuando la pegatina era negra, del mismo color que las plumas, no reaccionaron. Esto indica que fue la imagen reflejada la que desencadenó la acción y no una molestia por la pegatina.



(603) Pruebas de consciencia por autoreconocimiento

La prueba clásica del espejo se observa en los casos del **(1)** pez limpiador y **(2)** delfín naríz de botella. **(3)** Prueba alternativa con el cuervo cascanueces. Se estudió la reacción al esconder piñones en cache (hieleras con arena) cuando (3a) están solos, (3b) ante un competidor, (3c) con un espejo y (3d) con un espejo difuminador (como en la naturaleza donde no se ve bien). **(4)** El caso del elefante asiático. (4a) La prueba del espejo con una marca en la cabeza. (4b) Prueba alternativa donde el cuerpo es un obstáculo. **(5a)** Los cerdos no se reconocen en el espejo (a) pero entienden el funcionamiento porque descubren un plato (b) escondido detrás de una mampara (d) mediante el reflejo (c) en el espejo. **(5b)** El test alternativo para cerdos consiste en el manejo de un cursor en una pantalla mediante un joystick.

(F603) Pez limpiador (*Labroides dimidiatus*)**: reaccionan ante un espejo.** Este pez marino es conocido por limpiar de parásitos externos a otros peces más grandes. **///** En un experimento, se colocaron diez crías salvajes de pez limpiador en tanques individuales con un espejo. Durante los primeros días, fueron siete los que atacaron sus imágenes especulares. Pero algunos corrieron hacia el espejo y se movieron rápido frente a él, en lo que se interpretó como una forma anormal de comportarse que nunca se había observado. Luego, ocho de los peces fueron probados con marcas. Se inyectó un gel de color en una parte de la cabeza donde solo se podía ver usando el espejo. Se observó que siete de los ocho pasaron más tiempo en posturas que permitía observar la parte que había sido marcada. Algunos intentaron raspar la marca en el sustrato cercano. Nunca reaccionaron a marcas transparentes y nunca cuando tenían marcas pero no había espejo. Esto sugiere que estaban respondiendo a la señal visual. Los peces de control (sin marcas) se enfrentaron a un divisor transparente que simulaba un espejo e interactuaron con otro pez marcado. No intentaron eliminar nada de sí mismos. Tampoco reaccionaron a marcas colocadas en un espejo. No era una reacción innata a una marca.

Mono capuchino: la prueba con espejos. /// En un experimento se probaron capuchinos en tres escenarios. En el primer escenario, se puso detrás de una mampara transparente otro capuchino desconocido. Los machos reaccionaron en forma amenazante y las hembras evitaron el contacto visual. En el segundo escenario, detrás de la misma barrera, se colocó un capuchino conocido del mismo sexo. Los machos y hembras casi no reaccionaron. En el tercer escenario se reemplazó la mampara por un espejo. Los machos hicieron más contacto visual que antes, reaccionaron con confusión o angustia, chillaron, se acurrucaron en el suelo o intentaron escapar de la sala de prueba. Las hembras se miraron a los ojos e hicieron gestos amistosos, como relamerse los labios y balancearse.

Las dudas sobre la prueba del espejo obligan a adoptar pruebas alternativas. El pez limpiador parece ser capaz de usar su reflejo para mirarse, pero esto no asegura que sean conscientes de sí mismos. Para muchos la prueba del espejo es una forma cuestionable de sondear las mentes de los animales. Dicen que la capacidad de reconocerse está relacionada con el estilo de vida. Sería más probable que la consciencia ocurra donde la supervivencia depende de leer las mentes de los demás. Si así fuera sería un subproducto accidental de la evolución, una recreación del cerebro. Por ejemplo, para el pez limpiador, que ofrece un servicio quitando parásitos a otros peces, es beneficioso poder interpretar la mente de su cliente.

alternativas al espejo

(F603) Fue J. Piaget quien sugirió probar en niños humanos la "consciencia del propio cuerpo". Se les pidió que entregaran una manta sobre la que estaban sentados. Si era capaz de comprender la conexión entre el fracaso y el cuerpo como obstáculo se decía que era consciente. Los bebés menores de 18-24 meses no se movieron de la manta y dejaron de intentar la tarea.

Palomas: la prueba alternativa de reconocerse en un video en vivo. /// Un trabajo con palomas y espejos concluyó que usaban el espejo para localizar el lugar de

la marca y quitarla. Pero más concluyente fue la prueba de reconocerse en un video. Fueron entrenadas para picotear un teclado cuando se vieran en un video en vivo, pero no cuando vieran una grabación. Las palomas se reconocieron en videos en vivo, aun cuando tenían un retardo de dos segundos.

Perros: la prueba alternativa de reconocer su propio olor. Los perros (*Canis familiaris*) no pasan la prueba de reconocimiento en el espejo. Tienen una pobre agudeza visual y sufren una especie de daltonismo. Pero tienen muy buen olfato con cuarenta veces más neuronas olfativas que los humanos. **///** En un estudio, se probó a 26 perros en la "consciencia del propio olor". Se recolectaron muestras de orina, se las almacenó y se las usó para mojar estacas. La prueba se repitió cuatro veces al año. Se colocaron cinco muestras de orina de perros diferentes y una estaca sin olor. Los perros tuvieron cinco minutos para oler las muestras. Todos los perros dedicaron más tiempo a oler las muestras de orina de los demás y muy poco a la orina propia. Cuando su propio olor fue adicionado con otro, lo investigaron por más tiempo. Esto indica que identifican el olor como propio. Los resultados indican que esta autoconsciencia aumenta con la edad.

(F603) Elefante: la prueba alternativa de entender que el cuerpo entorpece una prueba. La prueba del espejo dejó dudas cuando se probaron elefantes. Se aplicaron marcas visibles y marcas falsas invisibles en la cabeza. Pocos elefantes muestran interés en la marca. La evidencia de autoconsciencia se mostró cuando uno tocó con la trompa una X pintada en su cabeza. Entonces se propuso una prueba diferente basada en entender que su cuerpo es un obstáculo para resolver un problema. En la prueba de "consciencia del cuerpo" el elefante se comportó con éxito. **///** A los elefantes bajo prueba se los paró sobre una alfombra que tenía una cuerda atada. Se les pidió que trajeran la alfombra y entendieron que debían correrse antes de tirar. Tenían consciencia de que su cuerpo dificultaba la tarea. En una variante debían caminar sobre la alfombra, recoger un palo atado a ella y pasarlo al experimentador. Otra vez resolvieron el problema. En una prueba de control, el palo no estaba sujeto a la alfombra y el elefante podía moverlo parado sobre ella. Los elefantes salieron de la alfombra en 42 de 48 pruebas, en comparación con 3 de 48 en la prueba de control. En pruebas similares con niños humanos no pudieron entender el problema hasta los dos años.

(F603) Cerdos: utilizan un espejo, pero no se reconocen. Alternativa: dominan un joystick.

(1) El uso de un espejo. /// Un estudio trabajó con siete cerdos a quienes se los dejó jugar con un espejo. Se les dieron cinco horas en total para que se familiarizaran. En general se acercaban con cautela, pero uno presionó con el hocico y lo rompió. Luego se generó un corral donde un espejo dejaba ver un plato de comida que estaba oculto tras una mampara. Los cerdos vieron el reflejo y entendieron dónde estaba la comida. Tardaron en promedio 23 seg en encontrar la comida. Los cerdos del grupo de control, que no estaban familiarizados con el espejo, buscaron la comida detrás de él. Sin embargo, los cerdos no pasaron la prueba de autorreconocimiento con el espejo.

(2) El uso de un joystick. /// En un experimento se modificó un joystick para que fuera usado con el hocico. Les llevó seis semanas aprender a utlizarlo mediante recompensas. El joystick fue conectado a una PC que tenía una pantalla de tamaño y distancia recomendada por el optometrista para la vista de los cerdos. Aprendieron a relacionar

el joystick con el movimiento en la pantalla. El trabajo final consistió en alinear el cursor con un icono en la pantalla y recibían un dulce m&m como recompensa. Tardaron unas pocas horas en aprender el truco. Los tiempos de aprendizaje fueron similares a los primates. Mostraron más interés en la tarea pero con un tiempo de atención muy corto, unos 15 minutos (los primates pasan varias horas). Se cansan de jugar y se acuestan.

Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*).

(1) Prueba alternativa de dominio del mouse. Los macacos no pasaron las pruebas del espejo en forma concluyente. **///** Entonces se ensayó una alternativa sobre quién tiene el control de un joystick. En una pantalla había dos cursores, uno gobernado por el macaco y otro "distractor" que coincidía solo en parte en los movimientos. Después de mover el cursor, se les pedía que identificaran el cursor que controlaban. Como grupo de control se usaron humanos. Ambos seleccionaron el cursor correcto en una variedad de opciones. Esto sugiere que tienen cierta comprensión de la autogestión. Es una sensación implícita de soy "yo" el que tiene el control (autoconsciencia).

(2) Consciencia de las llamadas de alerta. /// El estudio de la actividad de las células neuronales del macaco permitió conocer que pueden generar un grito de llamada o guardar silencio a voluntad (en forma consciente). En el estudio se les enseño a hacer una llamada cuando aparecía un objeto. En tanto, se tomaban mediciones en el cerebro de la corteza prefrontal. Cada vez que aparecía el objeto se activaban las neuronas y hacía una llamada. Pero si hacía una llamada espontánea, las neuronas no se activaban. Resulta que estas neuronas no señalan una vocalización, sino la decisión consciente de vocalizar.

(F603) Chimpancé: la prueba alternativa de gobernar una palanca mediante una pantalla. /// Un estudio trabajó con dos chimpancés muy entrenados en tareas guiadas por espejos y televisión. Se colocó una cámara de video oculta que enfocaba una palanca también oculta. El chimpancé podía ver la palanca en un monitor de video y tenía un hueco por donde podía colocar el brazo y llegar a la palanca. Se encontró que pudieron mover el brazo para alcanzar la palanca con la mano. También pudieron discriminar entre imágenes en vivo y grabaciones. Por otras experiencias se sabe que los macacos fracasan en pruebas similares.

MODELO DE CAPAS

624 metacognición

(604) Metacognición y creencias
(1) Metacognición: se refiere a "yo se lo que se y lo que ignoro". Se pone en evidencia con la incertidumbre en la toma de decisiones. **(2)** Teoría de la mente: se refiere a "yo se, que tu sabes, que yo se". Se forma una idea de la mente del otro. **(3)** Creencias: se refiere a "pensar que existe algo que está ausente". Puede llevar a la superstición o la creencia en un ser superior protector.

incertidumbre…

¿de qué se trata? La cognición (de *conocer*) incluye las capacidades de aprendizaje (percibir, entender y memorizar) y de resolver problemas (tomar decisiones e innovar). Es decir, las capas 2-3-4 (y quizás 5) del modelo de capas. La metacognición es la capacidad de ser consciente de esta cognición. Es decir, "saber lo que se sabe y lo que se ignora", y se ubica en la capa 6.24 del modelo. En los humanos se evidencia ante la necesidad de buscar algo en Google. En los animales con la falta de confianza en la toma de decisiones y en la incertidumbre en las respuestas. Algunos animales se pueden negar a colaborar si no están seguros. La sola incertidumbre o la duda ante una decisión no es metacognición, pero si la incertidumbre es consciente se está en el camino correcto. La metacognición también es una base para la teoría de la mente.

Mientras la metacognición corresponde a "yo sé lo que yo sé", la teoría de la mente se refiere a "yo sé lo que tú sabes".

(F604) La incertidumbre es personal y subjetiva y se interpreta comparando acciones. Para sobrevivir en una sociedad o grupo es necesario entender el ánimo, motivaciones e intenciones de los demás. Pero también las especies solitarias se encuentran en situaciones nuevas y problemáticas, donde las reacciones condicionadas no sirven. Necesitan más información para resolver dilemas y evaluar cursos de acción. **///** En 1995 se reportó un estudio con un delfín (*Natua*) en un acuario de Florida. Natua debía indicar si un tono era de 2.100 Hz o era inferior. Se realizaron innumerables pruebas donde al inicio se ofrecían las alternativas 1.200 y 2.100 Hz. Un acierto era recompensado (un pez) y un error se castigaba (un tiempo de espera). Paulatinamente el tono de 1.200 Hz se fue elevando en frecuencia. La respuesta era contundente hasta que se llegó a 2.085 Hz donde la conducta basculó (el máximo de incertidumbre). Como no estaba seguro, dudaba y titubeaba. Entonces, se negaba a colaborar y podía tomar la opción de abandonar la piscina hacia mar abierto. En el experimento no era importante si acertaba, sino cómo reaccionaba ante una dificultad elevada. En contraste, experimentos con otros animales determinaron que no expresaban ninguna capacidad de duda en pruebas similares. Parece que solo reaccionan; ante la duda, siguen adelante. Es decir, mientras en muchos animales la opción es acierto o error, en el caso de Natua era acierto o me niego.

La ventaja de saber menos o el valor de la incertidumbre e ignorancia. La certidumbre de una mente erudita puede ser un obstáculo. Un estudio de la década de los años 1980 encontró que los revendedores de automóviles conocían muy bien sus vehículos. Como asumían que sus clientes también lo sabrían, fijaban el precio en consecuencia. Entonces, sufrían la "maldición del conocimiento". En cambio el vendedor que ignoraba el verdadero valor podría ganar más dinero. Parece un oxímoron, pero la ignorancia puede ser una virtud en la educación. Para enseñar de manera efectiva se debería adoptar la perspectiva ingenua del alumno.

…en los insectos

Mosca de la fruta: la incertidumbre demora la toma de decisiones. **///** Un estudio puso a prueba veinte moscas frente a dos muestras de olor colocadas en los extremos opuestos de una cámara estrecha. Primero fueron entrenadas para evitar una de las muestras. Cuando eran muy diferentes y fáciles de diferenciar, las moscas tomaban decisiones rápidas y casi siempre se trasladaban al extremo correcto. Cuando las muestras de olor se hicieron más cercanas y difíciles de distinguir, las moscas tomaban mucho más tiempo para decidir y cometían más errores. La demora indica incertidumbre, no estaban seguras de qué decisión tomar. Pero las abejas fueron más lejos.

Abejas (*Apis mellifera*)**: ante la incertidumbre abandona el juego. ///** Un estudio trabajó con abejas ante una tarea donde debían discriminar entre imágenes cuya dificultad aumentaba a cada ensayo. Las abejas eran recompensadas (agua azucarada) o castigadas (agua con quinina). De 33 abejas, fueron 23 las que obtuvieron un rendimiento superior al 80 %. Luego del entrenamiento, comenzaron a variarse las imágenes de forma que se volvían más difíciles de distinguir. También se añadió un hueco de salida del la-

berinto con lo que podían volver a participar. Se probaron las 23 abejas y fueron 10 las que aprendieron a usar el hueco de escape. Optaban por no participar en forma selectiva cuando aumentaba la dificultad, lo que mejoró el rendimiento promedio de todas las pruebas. Las abejas pueden mostrar un nivel básico de metacognición.

Hormiga faraón (*Monomorium pharaonis*)**: la incertidumbre pone en duda los recuerdos.** Las hormigas toman decisiones colectivas en base al *quorum*, lo que lleva a óptimos locales, pero donde pueden quedar atrapadas. Por ejemplo, si una colonia encuentra una fuente pobre de alimento y todas las hormigas lo aceptan, no van a poder cambiar a una fuente de mejor calidad, porque no la buscan. Necesitan un mecanismo de escape. **///** Para un experimento se entrenó a las hormigas en un laberinto en forma de T con alimento en un brazo. Encontraron el alimento y marcaron el camino con feromonas. Luego se cambió la comida al otro brazo del laberinto. Las hormigas no encontraron el alimento y comenzaron a buscarlo. Cuando volvían sobre sus pasos, hicieron una nueva marcación más intensa con feromonas. Esto cambió la ruta de las próximas hormigas, pero causó incertidumbre al hacer que los recuerdos se volvieran menos confiables. Parece que las hormigas pueden medir la fiabilidad de sus propios recuerdos. La capacidad de evaluar la propia memoria (la metamemórica) es un componente de la metacognición.

…en palomas y ratas

Palomas: ante una incertidumbre...

(1)…buscan pistas adicionales. /// En un estudio se entrenaron palomas para un orden de picoteo. En algunos casos se les daba la opción de picotear un ícono que entregaba una pista de la solución. Esta opción era especialmente útil al inicio de cada entrenamiento para que pudieran aprender. Cuando habían aprendido, se eliminaba y se presentaba solo en ocasiones. Al seleccionar esta opción estaban evaluando sus conocimientos. En otra fase del estudio se encontró que buscaron más pistas cuando las tareas eran más difíciles.

(2)…pierden precisión de espacio y tiempo. /// Otro trabajo entrenó palomas para observar en una pantalla una línea horizontal estática. La línea horizontal tenía 6 o 24 cm de largo y permanecía visible durante 2 u 8 segundos. Se llama prueba de la "magnitud común". Si respondían correctamente (picoteo de uno de los cuatro símbolos visuales) recibirían comida como recompensa. Las palomas consideraron que las líneas más largas tenían una duración más larga y viceversa. Eso significa que las palomas usan un área común del cerebro para juzgar el espacio y el tiempo. Lo que sugiere que estos conceptos abstractos no se procesan por separado. Luego se introdujeron cambios de longitud y tiempo. La tarea obligaba a las palomas a procesar el tiempo y el espacio en simultáneo porque no podían saber qué es lo que cambiaría. Se encontró que la longitud de la línea afectaba la discriminación de la duración y que la duración afectaba a la longitud. Las palomas dudaban en su decisión. Esta interacción entre espacio y tiempo también se observó con humanos y monos. Parece que existe una relación neuronal en común para ambas magnitudes. Los humanos perciben el espacio y tiempo mediante la corteza cerebral que además procesa el habla y la toma de decisiones.

(3)…prestan atención a los vecinos. /// Un experimento involucró a ocho bandadas de cinco palomas rastreadas por GPS. Se usó la técnica de "cambio de reloj" que

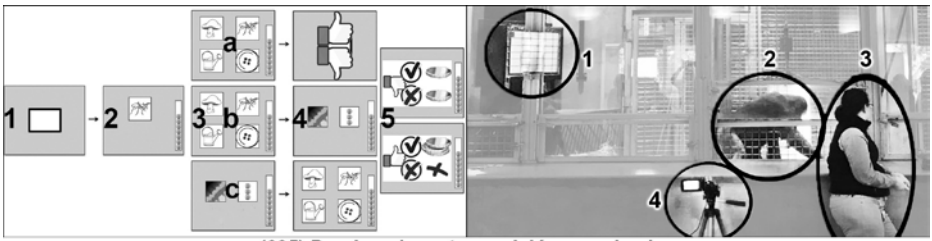
modifica en el sentido de orientación. Se usa un campo magnético en la cabeza que interfiere con el terrestre por lo que se desorienta en forma selectiva al líder para ver la reacción de la bandada. Se encontró que los líderes con información incorrecta pueden ser anulados por la sabiduría colectiva del grupo. En palomas mensajeras hay una jerarquía de liderazgo que determina el peso de la contribución a la decisión del grupo. Pero si el líder yerra en las decisiones, el grupo lo corrige. El mecanismo exacto no está claro, pero es posible que los líderes mal informados duden de sus propias habilidades y presten más atención a sus compañeros.

Ratas: no dudan, eligen lo mismo si acertaron o cambian si erraron. /// En un estudio con ratas, se formaron mezclas con dos olores en proporciones variables. Las ratas debían informar cuál olor era el dominante. Luego de elegir, se acercaban a un pico de agua que les daba una recompensa si habían seleccionado la respuesta correcta. Se comparó la velocidad de respuesta y el éxito de la decisión. Se encontró que no dudaban, tomando el mismo tiempo para las decisiones difíciles y fáciles. Esto es porque la estrategia de decisión fue diferente a lo esperado. Se observó que reajustaban su decisión de acuerdo con el resultado del ensayo anterior. Si acertaban, la próxima respuesta estaba sesgada hacia el mismo olor. Si erraban, se sesgaban al cambio. Esta estrategia es consistente con un ambiente que cambia continuamente, lo que lleva a actualizar su enfoque en cada prueba. Aparece como una conducta muy variable, aunque lo que ocurre es que se están adaptando demasiado rápido (a cada paso). Hay dos argumentos posibles que la justifiquen. (1) Un argumento dice que el culpable es la discriminación sensorial. Por ejemplo, en la toma de decisiones del tipo derecha-o-izquierda (¿de dónde proviene el sonido más fuerte?) la categoría espacial está incorporada en el cerebro. Pero no es el caso del olfato. (2) Otra razón es la pérdida de confianza. Al encontrar que están equivocadas, las ratas cambian en forma drástica la decisión. Esto ocurre cuando se usa un circuito cableado para el aprendizaje prueba-error en forma permanente.

apuestas en primates

(F605) Los tests de prueba de existencia de metacognición. Existe un menú sucesivamente más complejo para probar si un animal tiene metacognición.
(a) Una versión inicial de los tests consiste en asignar una tarea de elección y luego preguntar sobre si están seguros de esa elección. Al darle una segunda oportunidad, el animal debe decidir sobre su estado interno de seguridad.
(b) Se puede complicar esta prueba si se agrega una etapa final de apuesta. Consiste en pedirle que realice una apuesta sobre la decisión tomada. Si se encuentra muy seguro, la apuesta será alta y la recompensa también.
(c) Otra variante es permitir abandonar el juego. En un momento se le pregunta si continúa o abandona. El animal tiene que decidir si sabe lo suficiente como para continuar o prefiere salirse en esta oportunidad y esperar la siguiente.
(d) Otra alternativa consiste en obligarlo a tomar una decisión con información parcial, pero a la vez ofrecerle la posibilidad de buscar información adicional. Cuando se siente poco seguro, deberá gastar energía en ir a buscar esa información adicional. Es decir paga un costo por la inseguridad.

Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*)**.** Las siguientes pruebas apuntan a que los Rhesus tienen metacognición.



(605) Pruebas de metacognición en animales

(izquierda) Los estudios con monos tienen varias etapas y alternativas. (1) El acceso es voluntario. (2) Se muestra una fotografía manipulada. (3) Se muestra la fotografía junto a varios distractores. Debe identificarla. (4) Se le ofrece continuar o abandonar el juego. (5) Si abandona recibe una moneda (gane o pierda). Si continua y gana recibe 3 monedas. Si pierde no recibe premio. Alternativa (b): se le ofrece apostar monedas por una recompensa mayor. Esto indica el grado de seguridad. Alternativa (c): se le ofrece apostar o resignar antes de jugar. Es un índice del grado de optimismo. **(derecha)** A este orangután se le plantea una prueba similar en la pantalla (1). La recompensa se entrega en otro sitio (2). Si está seguro de la respuesta irá de inmediato a buscar la recompensa.

(1) Buscan más información. /// En un estudio con veinte macacos se le permitía mirar dónde un humano escondía un premio en un aparato con tubos. En ciertas oportunidades, se ofrecía información completa y en otras, era difícil entender dónde se escondía. También se disponía de un punto de observación donde se podía mirar el escondite. Se encontró que, cuando tenían poca información, buscaban más datos para resolver el problema.

(2) Prueba segura o variable. /// En otro estudio se les dio a elegir entre una opción segura (la probabilidad y recompensa eran 1x1) y otra de riesgo variable (2x0,5, 4x0,25, 8x0,125…). Es decir, no había diferencias a largo plazo, pero existía una expectativa de ganar más en un golpe de suerte. Los macacos elegían la opción arriesgada. Pero si existía una desproporción y era muy evidente (2x0,125), preferían la opción segura. Cuanto mayor era el riesgo sin pérdida, más la elegían. El premio mayor tiene un impacto alto en la toma de decisiones arriesgadas. Cuando se introdujeron intervalos entre ensayos más largos, la preferencia por la acción de riesgo disminuyó. Se concluyó que las apuestas repetidas y rápidas aumentaron la probabilidad de juego arriesgado. Son compulsivas y con efecto inmediato.

(3) La prueba con apuestas. /// Para un experimento se mostraba una serie de cinco a nueve fotografías que debían memorizar. Luego, se presentaba otro grupo de fotos y debían decir cuáles estaban en el grupo original. Por fin la prueba final consistía en apostar por su propio desempeño. Una apuesta alta (confianza) permitía ganar más bolitas de plátano o perder todo. Una apuesta baja (incertidumbre) permitía ganar siempre una sola bolita de plátano. Si los monos parecían aburrirse, se subía el premio cambiando el plátano por pastillas m&m. Se observó que, cuando perdían, reaccionaban emocionalmente: miraban fijamente el monitor, gritaban con incredulidad, fruncían el ceño, caían hacia atrás, se cubrían la cara con los brazos, etc. Se contabilizó que elegían el riesgo alto en el 77 % de las pruebas.

(F605) Orangután: ante la duda, espera por los resultados. /// Un experimento se organizó con asistencia voluntaria, pero

en un horario fijo del día. En la prueba se les mostraba un grupo de objetos en la pantalla, luego se mostraba la pantalla en blanco (1 a 10 seg) y aparecía otro grupo de objetos que contenía uno de los objetos iniciales. La prueba se volvía más difícil en la medida en que aumentaba el tiempo de espera. Luego de otro tiempo de espera, un sonido indicaba si la respuesta había sido correcta o no. En caso de acierto, en una ubicación contigua, se le entregaba una uva. El orangután debía apresurarse, porque la uva rodaba y caía en un lugar inaccesible. Se observó que, cuando el orangután estaba seguro de que su respuesta era correcta, se dirigía tranquilo al lugar de la recompensa antes del sonido. Pero si tenía dudas, permanecía esperando el veredicto. En este tipo de ensayos, lo que interesa es la reacción más que el acierto. Se cuenta que, en algunos casos, cuando una participante (Lucy) tenía una duda, adoptaba la misma postura que el experimentador, tratando de imitarlo, mirándolo de frente, como para obtener una ayuda.

Chimpancé: no adivina, busca más información. Los chimpancés, como los macacos Rhesus y otros primates, buscan más información ante la incertidumbre. **///** Un estudio trabajó con chimpancés entrenados en comunicarse mediante símbolos para nombrar una comida, que en este caso estaba oculta. Las pruebas se fueron complicando con información incompleta sobre la identidad del alimento. En ocasiones se mostraban los alimentos antes de esconderlos de forma que resultaba muy sencillo. Pero en otras no se les daba ninguna pista oculta y la única forma de saberlo era ir hasta el lugar donde se encondía. Se encontró que, cuando tenían una pista, respondían de inmediato, pero cuando no tenían pistas, buscaban la forma de obtener más. Esto refleja una capacidad controlada de búsqueda de información que sirve para apoyar una respuesta cierta y segura.

Los monos y humanos están sujetos a falacias metacognitivas. Los monos pueden asociar un recuerdo con un nivel de confianza que depositan en él. Un estudio encontró que los monos y humanos basan estas inferencias metacognitivas en forma similar. Se basa en el uso de señales secundarias para juzgar la confianza en los recuerdos. **///** En el estudio se manipularon los estímulos (p.ej., el contraste en las fotografías) y se encontró que responden a las mismas falacias metacognitivas que los humanos. Los estímulos más fáciles de ver se recuerdan mejor, y pueden conducir a juicios de confianza inexactos. Ambos tienen un origen evolutivo compartido.

libre albedrío: elegir el futuro

¿de qué se trata? El libre albedrío representa la libertad de tomar decisiones (no condicionadas) sin la intervención externa o divina. La creencia en el libre albedrío es la base de la responsabilidad individual por las acciones. Es un requerimiento para justificar la aplicación de un castigo. Hay evidencias de que el miedo al castigo es lo que evita que las sociedades se quiebren. El libre albedrío se complica cuando las cosas se vuelven personales y las emociones entran en juego. Por el contrario, el determinismo dice que todos los eventos son el resultado de causas previas y que

todo lo que pasa tiene una razón de ser. Las decisiones y acciones son el resultado de procesos cerebrales. Desde este punto de vista las decisiones son deterministas porque tienen una causa material involuntaria. Esto no niega el libre albedrío porque la causa es el propio sujeto. Es la suma de pensamientos, creencias, deseos, etc. Puede no ser consciente de cada acción, pero las determina. **Es como un libre albedrío en piloto automático.**

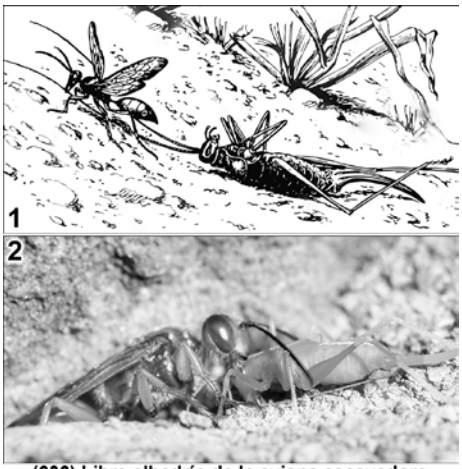
El libre albedrío en humanos. Una forma de mirar dentro del cerebro es con escáneres cerebrales. Cuando un pensamiento se activa, las neuronas involucradas consumen energía y requieren oxígeno, la sangre fluye y la imagen se calienta. El aumento de circulación sanguínea aparece en las imágenes. **///** Varios estudios indican que la actividad cerebral asociada con una acción ocurre antes del sentimiento subjetivo de elegir esa acción. Cuando se usó un escáner de resonancia magnética, se pudieron predecir algunas acciones mediante la actividad cerebral hasta diez segundos antes de tomar una decisión consciente. Si la actividad cerebral es anterior al sentimiento de elección, se justifica que algunos digan que no hay posibilidad de libre albedrío. Sin embargo, son muchos los acontecimientos simultáneos y en cadena, por lo que cualquier evento de decisión es parte de la acción de decidir. La decisión se toma en un cerebro en particular, con el entorno e historia particular, por lo que la mezcla causal es única para cada individuo en cada momento. Eso es el libre albedrío y explica por qué el comportamiento es tan difícil de predecir, aunque se pueda hacer una predicción instantes antes de la acción.

El libre albedrío en animales: impredecibles pero dentro de una lista de opciones. La teoría que sostiene el comportamiento determinista en los animales (reaccionará siempre con la misma respuesta) ya no es sostenible. Además, la ausencia de determinismo no implica un comportamiento al azar. Aunque pueden ser impredecibles, las respuestas provienen de una lista de opciones**. Parece que lo que mejor funciona es una combinación de determinismo (genética) y conducta en apariencia aleatoria, pero que está definida por probabilidades (personalidad).** El cerebro tiene todas las opciones, pero no las usa todas. Por ejemplo, un depredador no debería poder adivinar las acciones de su presa, pero la presa no debería ser tan aleatoria como para incluir opciones más peligrosas que el depredador. Sin la capacidad básica de elegir entre opciones (libre albedrío) es imposible acceder a los niveles superiores (conciencia, educación, etc.).

estudio de casos

(F606) Avispa excavadora (*Sphex ichneumoneus*)**: aparentan no tener albedrío.** Darwin estudió esta avispa y no entendió su actitud frente a la madriguera. Lo que observó es que la avispa lleva un grillo, pone sus huevos en el grillo vivo e inmovilizado y las larvas se alimentan mientras crecen. Darwin quedó horrorizado y lo citó como una de las razones de su pérdida de fe en su Dios benéfico y omnipotente.

(1) /// Un estudio encontró que cuando esta avispa va a poner sus huevos, caza un grillo, lo paraliza con un aguijón sin matarlo, lo arrastra hasta el borde de su madriguera, lo deja fuera y entra para verificar si hay bloqueos. Sale de frente y lo tironea hacia adentro. Si el grillo se mueve, lo busca, lo



(606) Libre albedrío de la avispa escavadora
(1) Arrastra un grillo vivo por las antenas. (2) Deja el grillo, entra en el hueco, gira, sale de frente, toma el grillo, lo entierra en la madriguera, pone el huevo y el grillo sirve como alimento para las orugas. Si el grillo se mueve repite todo el ritual.

arrastra al umbral, lo deja fuera y volverá a entrar para verificar que no hay bloqueos. Lo hará una y otra vez, parece no tener otra opción, como si el programa se reiniciara. Aparenta ser un comportamiento inflexible, determinista, dictado por factores preexistentes, sin reflexión o libre albedrío. En un ensayo se reportó cuarenta veces esta conducta estereotipada. Luego, cuando logra ingresar al grillo, la avispa pone los huevos, tapa el hueco y lo abandona. Algunos dicen que, en la medida en que sabemos más de la neurociencia de la toma de decisiones humanas, más "*sphexicos*" parecemos ser.

(2) /// Sin embargo, en otros estudios se encontraron conductas alternativas donde, luego de varias iteraciones, deja de hacerlo. También se verificó que la cantidad siempre es de cuatro grillos, pero no los cuenta. Si un grillo se pierde (lo sustrae una hormiga, mosca o el científico) no buscará un reemplazo. Otra "falla" en su conducta es la forma de arrastre del grillo, tomándolo de las antenas. Si se cortan las antenas del grillo, la avispa no adopta otra actitud como tirar de las patas.

Pez cebra (*Danio rerio*)**: la actividad de las neuronas predice la decisión. ///** Un estudio rastreó la actividad de las neuronas ante una toma de decisión en el pez cebra. Primero se los entrenó para evitar un castigo (agua caliente), moviendo la cola a la derecha. Para calentar el agua en el entorno del pez, se usó un láser. Luego de quince repeticiones, habían dominado el truco, respondiendo al entorno más cálido unos veinte segundos después de encendido el láser. En el 80 % de los ensayos, el pez recordaba el truco. Durante la prueba, también se siguió la actividad de un grupo de 5.000 neuronas. Se identificó el patrón de actividad mientras se detectaba el calor y se movía la cola. Se vio que unos diez segundos antes de mover la cola, los patrones cerebrales eran diferentes en función de la decisión. Es decir, en el 80 % de las veces se pudo predecir la acción, sea en el momento y en la dirección del movimiento de la cola. El estudio uso microscopía de campo de luz, que permite el seguimiento de la actividad de cada neurona.

Macaco Rhesus: toma decisiones similares al hombre.

(1) /// Un estudio creó tres tipos de juegos. Dos tenían patrones reconocibles, donde la respuesta correcta se obtenía siguiendo una secuencia. El tercero era aleatorio. En los dos primeros, los macacos los reconocieron muy rápido. Con el juego de azar reaccionaron como si esperaran una "racha" de resultados. Las recompensas aparecían en forma aleatoria, pero los monos favorecían a un lado (p.ej., 1,25 a la derecha y 0,75 a la izquierda). Tenían muchas oportunidades para superar este

sesgo, aprender y cambiar, y no lo hacían. Sostenían la creencia falsa de una racha de suerte. Una posible explicación se refiere a la distribución de alimentos en la naturaleza, que no es aleatoria. Si encuentran un escarabajo bajo un tronco, parece evidente insistir en una ubicación similar. Estos sesgos en la toma de decisiones suponen que no se toman solo con la información (libre albedrío). Es una combinación de sesgos, heurística y razonamiento estadístico. No se sabe el origen de los sesgos, pero parecen ser compartido entre humanos y animales.

(2) /// Un estudio correlacionó la generosidad o egoísmo en los macacos con la actividad neuronal entre la amígdala y la corteza frontal del cerebro. Cuando eran generosos (prosociales) las interacciones estaban sincronizadas, ocurrían al mismo ritmo. Cuando eran antisociales, esta sincronicidad estaba suprimida. Los investigadores usaron esta información para predecir qué decisión habían tomado. Hay una firma única de sincronía neural que refleja si se tomó una decisión prosocial o antisocial. Cuando eran prosociales, las interacciones se transmitían a una frecuencia, y cuando eran antisociales, a otra. La frecuencia fue determinada por la región del cerebro en la que se dispararon las neuronas.

ESTUDIO DE CASOS

loros: los sabios de las aves

loro gris africano

(F607): Reconocen la necesidad del otro y están dispuestos a ayudar.

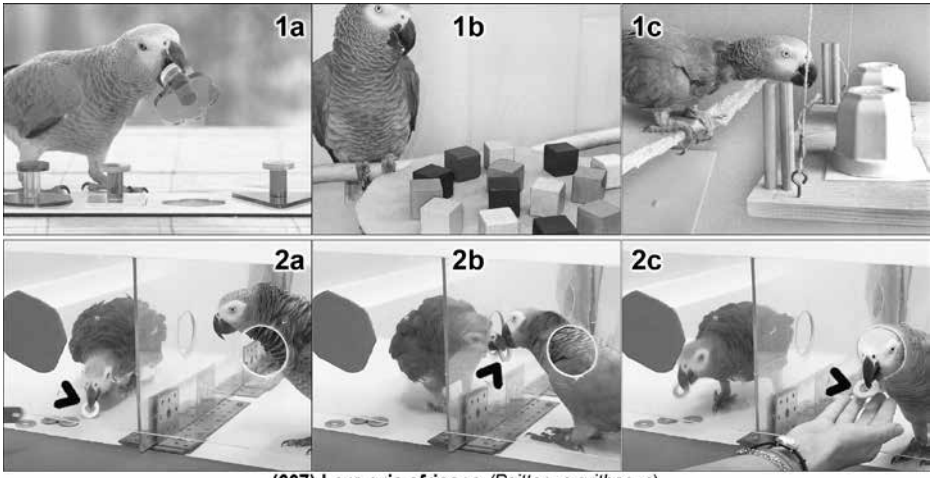
(1) Loro gris africano (*Psittacus erithacus*)**: colabora con el otro. ///** En un experimento se entrenaron loros para recoger y entregar una ficha (un anillo metálico) en la mano del científico. Como intercambio, recibían un trozo de nuez. Un mes más tarde, un par de loros se pusieron en jaulas contiguas (A y B) con ventanas hacia el científico y entre los loros. El loro A recibía fichas pero no se le ofrecía un intercambio. El B podía intercambiar pero no recibía fichas. Así que el circuito posible era el A que tomaba la ficha, la pasaba a B y este la cambiaba por comida. El loro A no recibía comida por esta acción, por lo que es una acción desinteresada. Luego los roles se invirtieron y pudieron devolver los favores. En una prueba de control, los loros no podían intercambiar fichas por comida y no se pasaron fichas. No tomaban el intercambio como un juego, era una acción utilitaria. Tampoco transfirieron fichas si no había nadie presente en el otro lado. Se encontró que siete de ocho loros se pasaron fichas para que pudieran cambiarlas por comida. Pasaron más fichas cuando el otro loro era un amigo frecuente (pasaban más tiempo juntos).

(2) Quienes no colaboran. /// La misma prueba se realizó con guacamayos de cabeza azul (*Primolius couloni*) y se comprobó que no se ayudaban. Actuaron de manera egoísta, tratando de llegar al científico e ignorando al otro guacamayo vecino. **///** En otro estudio con cuervos, se les ofrecieron tres colores de fichas. Un color era valioso para el cuervo (se intercambiaba por comida), otro para el compañero, y el tercero no tenía valor. Cada cuervo debía obtener más fichas de su propio color. Se encontró que no se intercambiaron fichas para ayudarse en forma activa, solo en forma casual. Parece que la reciprocidad en cuervos no es frecuente. Quizás no llegaron a entender los roles potenciales de receptor y donante como los loros.

La historia del loro gris *Alex* (1976-2007). **///** Alex se entrenó observando a dos modelos humanos que interactuaban cambiando roles. Alex intervenía si lo creía conveniente. Esto contrastaba con el método tradicional de comunicación bidireccional con los loros.

-Alex era capaz de usar un código de comunicación bidireccional. Para 1999 incluía 50 objetos, numeración hasta 6, distinguía 7 colores y 5 formas. Aprendió conceptos como grande-pequeño, igual-diferente y arriba-abajo. Utilizaba más de 100 palabras y parecía comprender lo que decía. Por ejemplo, cuando se le mostraba un objeto podía decir la forma, color o material.

-En una oportunidad, mirándose en un espejo, pregunto "*¿de qué color?*", y aprendió que era de color gris luego de repetirle seis veces



(607) Loro gris africano *(Psittacus erithacus)*
(1a) Este loro gris soluciona rompecabezas 3D. **(1b)** El loro gris Alex podía contar y sumar. Cuando se le preguntó "¿cuanto azul?" respondía la cantidad de cubos con ese color. **(1c)** Alex solucionaba problemas lógicos. Se mostraban diferentes premios (granos y nueces) en dos tazas. Se tapaba el conjunto, se extraía el contenido de una, se lo mostraban y retiraban. Alex entendía que la taza con la comida extraida estaba vacía y elegía la otra. **(2) Ayuda al semejante.** (2a) Un loro recibe fichas pero no puede cambiarla. (2b) Se la entrega a su vecino que está habilitado para cambiar las fichas por comida (2c). Coopera sin esperar una recompensa ya que no actúa cuando está solo o el vecino no puede cambiar la ficha.

la palabra "gris". Fue la primera oportunidad que se reportó una pregunta en un animal.
-Cuando un investigador mostró irritación, Alex trató de desactivarlo con la frase "*lo siento*". Cuando dijo "*quiero plátano*" y le dieron una nuez, miró en silencio y volvió a pedir el plátano y luego arrojó la nuez mostrando molestia. Cuando se cansaba del trabajo, decía "quiero volver" para ir a la jaula.
-En una oportunidad pareció aburrirse del trabajo y respondió mal en forma sistemática. Se le mostraron dos bloques rojos, tres azules y cuatro verdes. Se le preguntó "¿de qué color son tres? Y respondió "*cinco*" (debía decir "azul"), se le repreguntó y volvió a responder lo mismo. Entonces se le preguntó "bueno, ¿de qué color son cinco?" y Alex respondió "*ninguno*".
-Se cuenta que se le preguntó la diferencia entre dos grupos de objetos, pero cuando eran iguales respondió "*ninguno*". Indicando que comprendía el concepto de nada o cero. Lo mismo ocurrió con un círculo que describió como "*ninguna esquina*".

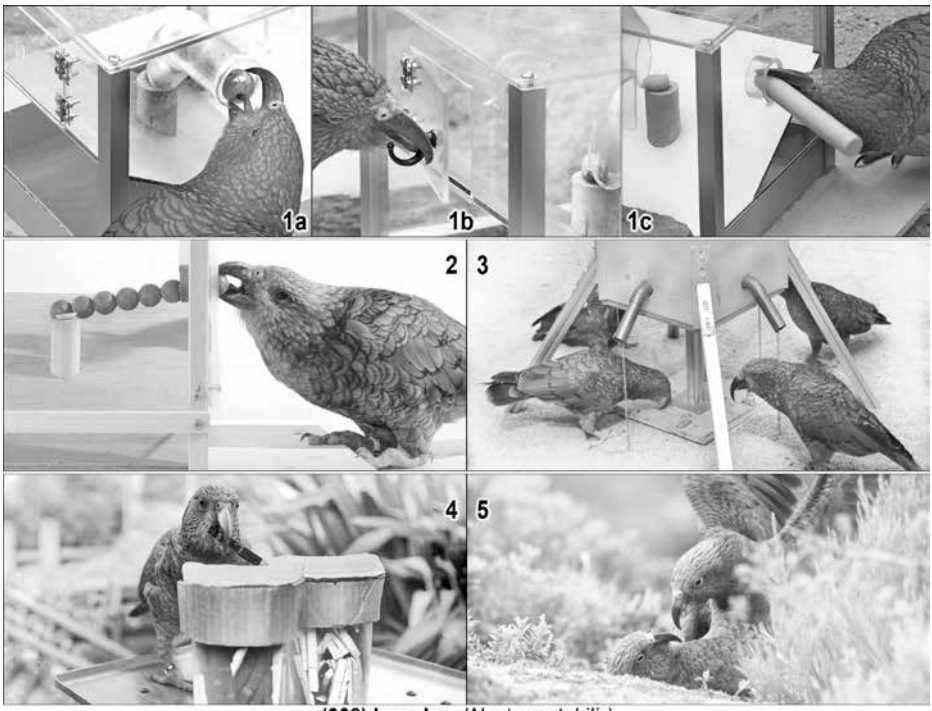
(F607) Alex se niega a participar de la prueba con comida en el extremo de la cuerda. /// En esta prueba el ave se encuentra en un palo (la percha) del cual cuelga una cuerda y en el extremo está el premio. El ave debe tirar de la cuerda con el pico y sostenerla con el pie para volver a tirar. Parece simple, pero se necesita un plan de varios pasos. Cuando se realizó esta prueba en cuervos salvajes, la superaron sin problemas y sin entrenamiento. La prueba colocó a dos loros grises (*Kyo* y *Alex*) ante la tarea. Con Kyo se usó una campana en el extremo de la cuerda porque era su juego favorito. Kyo lo resolvió de inmediato de la misma forma

que los cuervos. Cuando se colocó a Alex, se le puso una nuez en el extremo. Alex miró hacia abajo y dijo "*recoge la nuez*". Se le dijo "Alex, recoge *tú* la nuez". Alex se negó a hacerlo. Estaba acostumbrado a explotar a los becarios que ayudaban en el laboratorio y decidió mostrar su carácter.

La historia del loro gris *N'kisi.* Este loro en el 2004 tenía un vocabulario de 950 palabras y las usaba en su contexto, algunas en oraciones completas con formas verbales para mantener el tiempo correcto. No dependía de frases aprendidas para comunicar sus pensamientos. Era capaz de comprender imágenes fotográficas, nombrar objetos en una foto e inventar nuevos términos. Por ejemplo, "*medicina olor agradable*" (equivalente a aceites de aromaterapia). La primatóloga J. Goodall cuenta que, al conocer al loro en persona, ambos ya se conocían por fotos. La científica pregunto ¿cómo estás?, y N'kisi preguntó: *"¿tienes un chimpancé?*". También se cuenta que en una oportunidad había muerto una iguana. La cuidadora estaba muy triste y lamentaba la pérdida, entonces N'kisi le dijo "*cambiale las pilas*".

N´kisi participó de un estudio de telepatía. Dicen que N'kisi a menudo iniciaba comentarios sobre lo que estaban haciendo, sintiendo, mirando o pensando los investigadores. Esto llevó a suponer que tenía habilidades para leer la mente de los demás. Por esta razón se lo probó en un ensayo controlado y controvertido de telepatía. ***///*** La comunicación extrasensorial debía ser entablada entre la cuidadora y el loro. Se realizó una lista de palabras, se seleccionaron fotografías que las identificaban, se colocaron en sobres opacos, se aleatorizaron y numeraron. Nadie sabía qué imagen había en los sobres ("prueba de doble ciego"). Se ubicó a ambos en ambientes cerrados y alejados sin visibilidad alguna. Cada fotografía era observada por la investigadora que la comentaba por dos minutos. Todo se grabó para su estudio posterior. Se puntuaron los aciertos y errores. Como no había garantías de que el loro entendiera el experimento, se aceptaron una de varias palabras que podían identificar a la fotografía. El loro era libre de decir lo que quería. En muchas oportunidades se contabilizaron como errores comentarios de imágenes anteriores con las que el loro quedaba "enganchado". El resultado fue el siguiente. Usando palabras al azar, el loro podría haber tenido 7,4 aciertos promedio, pero anotó 23 aciertos (en 147 ensayos y 19 alternativas). La probabilidad aleatoria de lograr esta marca fue de uno en 2.000 pruebas. Un éxito interesante fue ante una imagen de un automóvil donde el conductor asomaba la cabeza por la ventanilla. La experimentadora hizo notar este detalle y el loro dijo *"Uh-oh, cuidado, saca la cabeza*". Para los que diseñaron el experimento, hay evidencia convincente de telepatía entre el loro y la experimentadora.

La prueba de excluir la alternativa imposible para elegir la otra. A Sherlock Holmes se le hizo decir que "*una vez descartado lo imposible, lo que queda, por improbable que parezca, debe ser la verdad*". Se llama "inferencia por exclusión". ***///*** Para un estudio se entrenaron siete loros que debían seleccionar una entre dos tazas invertidas que escondían comida. Primero se escondió una semilla en una taza y una nuez en la otra, mientras el loro observaba. Luego se extraía la comida de una taza y se podía volver a ponerla o retirarla. Entonces se le pedía al loro que eligiera una taza. El experimento empezó cuando las tazas estaban escondidas detrás de una pantalla opaca y no podía ver cuándo se sacaba la comida de la taza. Pero, si estaba atento, debería



(608) Loro kea (*Nestor notabilis*)
(1) Un loro, múltiples tareas. Resuelve una caja con diferentes herramientas (bolas, llaves y palos). **(2)** También puede encadenar tareas como para lograr un objetivo luego de varios pasos (planificación del futuro). **(3) Cuatro loros trabajan juntos.** Para obtener la comida deben actuar en simultáneo. **(4)** Tienen conocimientos de probabilidad al elegir uno de dos recipientes que contienen diferentes cantidades de piezas de colores. **(5)** Juegan, se toleran y emiten sonidos diferentes para el juego.

entender que la taza que contenía esa comida ya estaba vacía. Así que debía elegir la taza que contenía la otra comida. De los siete loros, tres superaron la prueba inicial (70 %) viendo todo el espectáculo. Pero solo uno (*Awisa*) llegó al 76 % de las veces en la prueba con el telón que ocultaba la escena. Había igualado la sabiduría de Holmes.

El loro gris *Griffin*. Este loro participó en un mismo test con 21 estudiantes de Harvard y 21 niños de 6 a 8 años. Griffin reemplazó a Alex cuando murió en el laboratorio de Harvard. El juego requería seguir el movimiento de cuatro tazas volcadas que contenían objetos con cuatro colores diferentes. Se hicieron catorce rondas de diferentes dificultades con un premio de anacardos crudos. La posición de las tazas se intercambió hasta cuatro veces, un intercambio eran dos posiciones de conmutación. Debían seguir el movimiento de cada color, porque se les preguntaba al final del proceso. El loro superó a los niños en todos los niveles de dificultad e igualó a los estudiantes.

loro kea

(F608) La competencia entre loros Kea (*Nestor notabilis*) **y cuervos.** Un estudio

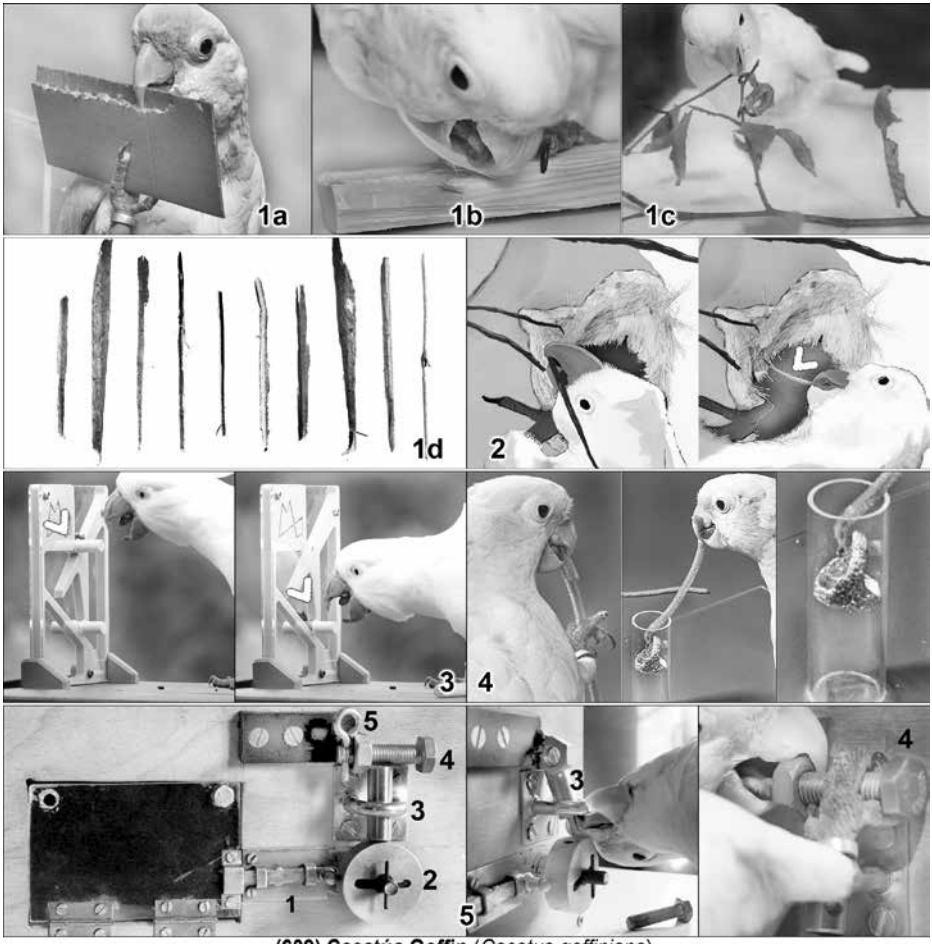
confrontó seis loros Kea de Indonesia y cinco cuervos de Nueva Caledonia ante iguales tareas difíciles. Se encontró que las resuelven de maneras muy diferentes, aunque ambas son aves muy hábiles. **///** Se construyó una caja con una recompensa en el interior. Era de plástico transparente y cada cara tenía una forma de acceso diferente. La forma más fácil, y que todos probaron, era tirar de una cuerda atada a la comida y que sobresalía por una pared. Otra pared tenía un agujero con un tubo por el que entraba una bola que rodaba y empujaba la comida. La siguiente pared tenía un hueco donde introducir una varilla de madera para empujar la comida. La última pared tenía una ventana que se abría hacia afuera mediante un gancho. Se concluyó que los cuervos actuaron en forma reservada para no ser vistos. Un cuervo debió ser excluido porque nunca se acercó a la caja. En tanto, los loros actuaron sin inhibiciones, primero golpeando la caja o tratando de voltearla y luego, mediante las herramientas. Los cuervos parecían un gato sigiloso y los loros un perro atolondrado. Los loros fueron más rápidos en descubrir las soluciones y mostraron más variabilidad con las herramientas. Un límite fue cuando debían empujar una pequeña barra por el agujero. Su pico no está diseñado para esta tarea. Entonces recurrieron al pico y las patas para trabajar la varilla hasta que dominaron la técnica. En la primera sesión, todos los loros resolvieron dos o tres soluciones, pero en los cuervos el máximo fue una solución. El uso de la pelota fue adquirido más rápidamente por los loros. En general quedó la enseñanza de que, al usar múltiples soluciones de un problema, se puede evaluar mejor la capacidad de cada ave.

herramientas de la cacatúa

(F609) Cacatúa Goffin (*Cacatua goffiniana*)**: puede doblar ganchos como herramientas. ///** Un estudio trabajó con una canasta que contenía recompensas y un tubo recto o curvado para acceder a ella. Para recuperar una recompensa desde un tubo vertical de acceso, se requería que doblaran un gancho. En otro caso se disponía de un tubo de acceso horizontal y se requería desenrollar un cable doblado para sacar la comida del tubo. Las cacatúas dominaron ambas tareas. Utilizaron diferentes estrategias para fijar la herramienta durante el proceso de doblado. Lo interesante es que en la naturaleza no hacen anzuelos prefabricados como los cuervos, porque no se dedican al forrajeo. Tampoco doblan palos durante la construcción del nido porque se reproducen en huecos de árboles. Las cacatúas tuvieron que improvisar en lugar de aplicar rutinas conocidas.

(F609) Pueden fabricar herramientas de cartón, madera o ramas.

(1) /// En un experimento con seis cacatúas Goffin, se les suministraron materiales para cortar en tiras y usar como herramientas. El aparato de prueba era una plataforma con alimentos colocada dentro de una caja transparente a la que se accedía por una abertura. Se cambió la distancia a la comida y el diámetro de la abertura. En promedio fabricaron herramientas más largas de lo necesario, pero el ancho de la herramienta no pudo ser ajustado. Solo una cacatúa realizó una herramienta que ingresaba por el hueco. Se concluyó que pueden ajustar su comportamiento en la dirección prevista, pero que están limitados en la precisión.



(609) Cacatúa Goffin (*Cacatua goffiniana*)
(1) En laboratorio fabrican herramientas cortando cartón (1a), astillas de madera (1b) y partiendo ramas con el pico y patas (1c). (1d) Se muestran 10 herramientas fabricadas por la cacatúa Figaro. **(2)** En la naturaleza se las vio usar espinas para escarbar en un coco. **(3)** En experimentos puede resolver puzzles y **(4)** doblar ganchos para hacer herramientas. **(5)** La prueba de apertura de una caja con 5 cerraduas. Un pasador (1) cierra la tapa basculante (2), atorada por un cilindro (3) que gira 90°, obstruido por un tornillo (4) que está fijado por un perno (5).

(2) /// En otros ensayos se prestó atención a la técnica para elaborar las herramientas. Primero recibieron una plancha de madera de alerce y mordieron el material una o dos veces para arrancar una astilla. Es un trabajo simple porque la madera está estructurada en vetas (anillos de crecimiento), pero las astillas eran demasiado largas. Cuando se les dieron ramitas con hojas, cortaron hojas y ramas laterales hasta obtener una herramienta utilizable. Luego se les dio un trozo de cartón. Al no tener vetas como

la madera debieron hacer varias marcas mordiendo el cartón a lo largo del borde con la mandíbula inferior. Luego usaron el pico superior curvo, para cortar una pieza alargada. Como el trabajo era mayor tendían a hacer herramientas más cortas. El resultado fue similar a las herramientas que hacen los cuervos de Nueva Caledonia en la naturaleza con la hierba pandanus (F7a04).

El transporte de herramientas para usarlas varias veces. /// Durante unas pruebas, a los Goffin se les permitió usar un solo palo como herramienta para recuperar nueces. Eran varias cajas de alimentos donde la nuez podía estar suelta o encerrada dentro de pequeñas cápsulas de píldoras. Además del problema de abrir la caja, debían considerar la posibilidad de guardar la herramienta y reutilizarla. Se observó que conservaban la herramienta de diferentes formas. Podían sostenerla con la pata y usar el pico para la recompensa. También usaron el orificio de la caja donde dejaron la herramienta parcialmente colocada. Como no usan herramientas en la naturaleza, cada cacatúa resolvió el problema por su cuenta, sin preconceptos. Para moverse con la herramienta, debieron perfeccionar una rutina que después repetían en todos los casos.

(F609) La cacatúa *Fígaro* enseña a otros congéneres. /// Fígaro es un Goffin macho adulto capaz de esculpir herramientas a partir de un palo de madera. Estas herramientas las usa para arrastrar nueces que están fuera de su alcance. Un dato de interés es que, en la primera observación, se fabricó diez herramientas. Como la primera le llevó cuatro veces más tiempo que el resto, es probable que se haya registrado una innovación (aprendizaje). Fígaro pudo enseñar a otros machos a hacer estas herramientas. Se usaron varias formas de demostración. En algunas Fígaro hacía la herramienta y en otras las usaba. También se probó mover las herramientas y la comida con imanes. Se les mostró a tres machos y tres hembras y solo los machos aprendieron a interactuar con las herramientas. Fígaro usaba la herramienta sostenida con el pico entre los barrotes hasta alcanzar la nuez. Pero un aprendiz la puso a ras del piso y le pegaba a la nuez de costado. Estas aves aprendieron del resultado y no la técnica precisa. Incluso un macho tomó un bloque de madera y creó su herramienta de forma espontánea.

(F609) Una prueba compleja de apertura de una puerta con cinco cerraduras en serie. /// En un experimento se probaron cacatúas en un aparato con cinco cerraduras. Un pasador que liberaba el acceso a un tornillo, el tornillo que liberaba el acceso a un perno que giraba 90°, el perno que liberaba una rueda y la rueda que liberaba un cerrojo al que había que correr. Cada cerradura atascaba el acceso a la siguiente, y debían abrirse en una secuencia específica. Se probaron quince cacatúas, de las cuales diez abrieron algunas de las cerraduras y cinco llegaron al final (una nuez de premio). Una cacatúa (*Pipin*) resolvió el problema sin ayuda en menos de dos horas. Otros lo hicieron luego de recibir alguna ayuda o ver a otros resolver el problema. Más tarde, se reordenaron las cerraduras para verificar que existió aprendizaje y no solo memorización. La respuesta fue la solución correcta en forma inmediata. Mostraron plasticidad y memoria práctica.

ESTUDIO DE CASOS

elefantes: una sociedad empática

¿de qué se trata? Los elefantes que sobreviven son de dos géneros, uno en África (género *Loxodonta*) y otro en Asia (género *Elephas*). Se les atribuyen rasgos destacados de percepción, personalidad, creatividad, sentimientos y empatía. Los elefantes forman grupos matriarcales donde los machos se retiran de jóvenes y permanecen las hembras y crías. Las matriarcas más viejas son las líderes por tener más experiencia y memoria de miembros, eventos y lugares. Los grupos se desarman (fisión) y vuelven a formarse (fusión), por lo que la comunidad es más amplia que los grupos que se observan a cada momento y las matriarcas tienen buen conocimiento de donde están los demás.

Tienen personalidades muy variadas. /// La personalidad se midió con 250 elefantes en Myanmar. Se analizaron tres factores de personalidad: atención, sociabilidad y agresividad. La atención se manifiesta en cómo el elefante percibe e interactúa con el entorno. La sociabilidad, en cómo busca la proximidad de otros. La agresividad, en cómo interfiere en su interacción social. Se estudiaron elefantes en semicautividad que trabajan con troncos junto a un humano (el *mahouts*) que lo conoce desde el nacimiento. Se analizaron 28 rasgos en una escala de cuatro puntos. Resultó que todas las alternativas de personalidades estaban representadas.

son perceptivos

La trompa es un órgano perceptivo de máxima precisión.

(1) Memoria de la posición. /// Un estudio realizó un seguimiento de un grupo de treinta elefantes africanos cuando viajaban. Los grupos cambian de composición y no caminan en un orden fijo, lo que dificulta la memoria de los olores. Para el trabajo de campo se juntó orina, se la colocó en ciertos lugares y se observó cómo reaccionaban. Los elefantes mostraron interés en el olor de cualquier miembro del grupo, pero se sorprendieron al encontrar muestras de orina en lugares incorrectos. Por ejemplo, se colocaron por delante muestras de orina de un elefante que viajaba en el fondo del grupo. Esto indica que llevaban una memoria olfativa de dónde estaba cada uno.

(2) Medición del contenido. /// En otro trabajo, los elefantes mostraron la capacidad de discriminar el tamaño de las porciones de alimentos usando solo el olfato. En los experimentos se cargaron dos cubos con semillas de girasol (un manjar para el elefante). Se cerraron los cubos y se dejaron agujeros para permitir el olfato. Se repitió el experimento con varios elefantes y diferente cantidad de girasol en los cubos. Se concluyó que había una clara preferencia por el cubo que contenía más semillas. Además, cuanto mayor era la diferencia en las cantidades, mejoraba

la precisión. También se encontró que los machos eran mejores que las hembras para determinar las cantidades.

(3) Detección de explosivos. /// Un estudio en Pretoria (Sudáfrica) realizó pruebas de olfato en tres elefantes para detectar TNT. Entre 502 cubos, pudieron identificar todos menos 18 (3,6 % de error). Los cubos contenían el explosivo TNT disuelto en acetona sobre papel de filtro. El resto de los cubos solo tenían acetona y papel de filtro. En otra prueba, los olores distractores eran té, lejía, jabón y gasolina. Acertaron la totalidad de los 23 ensayos.

Pueden reconocer en una extensa red de contactos y por mucho tiempo.

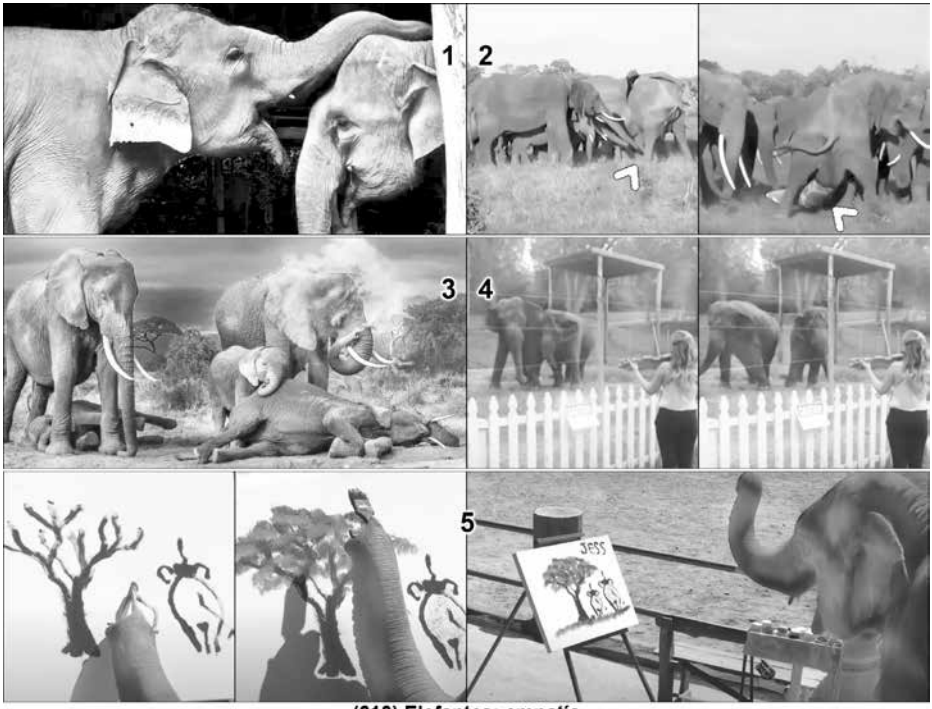
(1) Conocimiento de la red de contactos. En Amboseli (Kenia) un trabajo de 28 años analizó la asociación de 1.700 elefantes. La estadística general indica que una unidad familiar se encuentra con otras 25 familias en un año, lo que representa cerca de 175 hembras adultas. Se midió que pueden reconocer unas 100 llamadas de contacto. **///** En uno de los estudios, se probó el reconocimiento vocal sobre 21 unidades familiares durante siete años. Se determinó que la probabilidad de reacción (agrupamiento en formación defensiva) disminuye con llamadas familiares frente a desconocidos. También disminuye con el aumento de la edad de la matriarca. Esto sugiere que las matriarcas mayores pueden tener redes más amplias o mayor confianza social que las matriarcas más jóvenes. El envejecimiento también influye en el éxito reproductivo porque forman una familia con mayor conocimiento social.

(2) La memoria de las elefantas. /// A fines del siglo pasado, dos elefantas (*Shirley* y *Jenny*) vivieron juntas en un circo. Luego fueron separadas y no volvieron a tener contacto. Unos 22 años más tarde, fueron llevadas por separado a un Santuario de Elefantes (Tennessee). Cuando Shirley reconoció a Jenny, quería meterse en el mismo cubículo. Se llamaron y se tocaron a través de las barras que las separaban. Es un caso de reconocimiento y memoria de larga duración, equivalente en años a otro caso de delfines de Florida.

Tienen formas de reconocer a los humanos que pueden ser una amenaza. La percepción y el reconocimiento es la primera línea para la empatía.

(1) Reconocimiento por las voces. /// Los trabajos en la comunidad de elefantes matriarcales en Amboseli (Kenia) permitió determinar el nivel de amenaza de los intrusos humanos. En ensayos controlados, los elefantes pudieron diferenciar entre etnias (Masái y Kamba), género y edad. Se estudiaron 47 grupos familiares de elefantes. Se les hizo escuchar voces de hombres Masái (con quienes tienen conflictos por el agua y pastoreo), de hombres Kamba, de mujeres Masái y jóvenes de ambas etnias (ninguno representa un peligro). Cuando los elefantes escucharon las voces de Masái, tendieron a juntarse, olfatear y alejarse con cautela. Los grupos de elefantes con matriarcas más viejas evaluaron mejor la amenaza como resultado del aprendizaje previo. A las grabaciones de leones, respondieron colocando a los jóvenes en el centro y se movieron hacia la fuente de sonidos como para asustar al león.

(2) Reconocimiento por la ropa. /// En otros ensayos, se probó con ropa de Masái y Kamba que había sido usada durante cinco días por sus dueños. A la ropa Masái reaccionaron más rápido, se alejaron más lejos y tardaron más en relajarse. También se probó ropa limpia con color rojo de Masái y blanco de Kamba. Se observó que reaccionaron al rojo, pero no al blanco.



(610) Elefantes: empatía

(1) Se consuelan adoptando la misma actitud y con caricias de la trompa en la cabeza. **(2)** Todas las hembras colaboran durante el parto. **(3)** Cuidan a los enfermos, protegen a los muertos y reconocen los huesos **(4)** Dos elefantas (*Kelly* y *Viola*) siguen la música de violín de Bach. **(5)** Aprenden a pintar obras de arte sin ayuda de los cuidadores.

son empáticos

(F610) Los elefantes se consuelan (contagio emocional) y protegen (teoría de la mente).

(1) Se consuelan ante el dolor. /// Un elefante perturbado ensancha las orejas, levanta la cola, puede que orine y defeque y emita sonidos de angustia. Un estudio en Tailandia con 26 elefantes asiáticos encontró abundantes evidencias de consuelo. Para el estudio se organizaron seis grupos de elefantes que fueron guiados por los mahout (cuidadores) en las tareas diarias. Se observaron las conductas y los hechos estresantes naturales (un perro, una serpiente en la hierba, un elefante hostil). Cuando un elefante se alteraba por miedo a lo imprevisto, el que reconocía los signos de ansiedad corría a consolarlo. Gorjeaba suave y le acariciaba la cabeza y genitales con la trompa. Se observó que ponía la trompa en la boca del otro en una actitud de entrega porque podrían ser mordidos. Se registraron 84 incidentes donde, casi siempre, el contagio emocional ocurría ante un evento estresante.

(2) Protegen a los incapacitados. /// En Samburu (Kenia) se reportó el caso de una

hembra adolescente (Babyl) que caminaba lento y con dificultad. Se pudo reconstruir una historia de varios años donde los demás miembros del rebaño nunca la dejaron atrás. Caminaban, se detenían y la buscaban con la mirada. Si Babyl se retrasaba, algunos la esperaban. Nunca la dejaron sola como para defenderla de depredadores. A veces, la matriarca incluso alimentaba a Babyl. El grupo no tenían nada que ganar, era solo solidaridad sin límites.

Se ocupan de proteger y rescatar al que está en problemas.

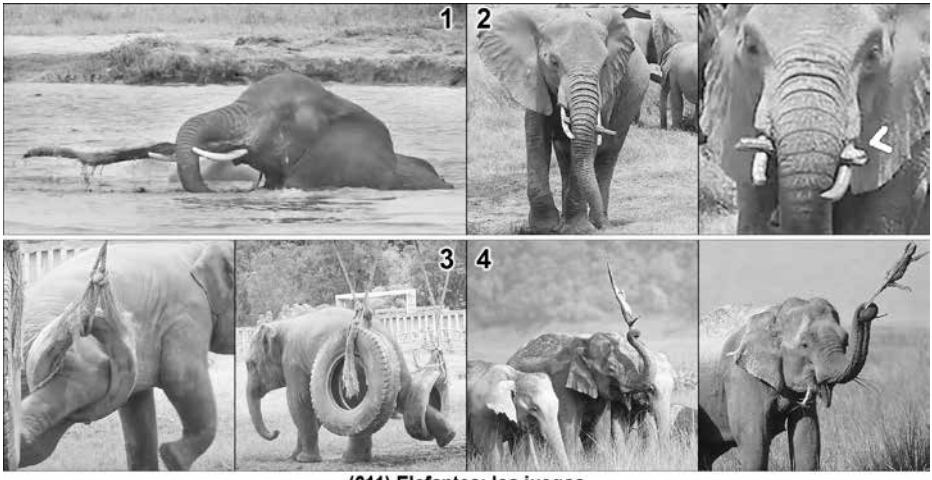
(1) Rescatan a los perdidos. /// En Amboseli (Kenia) se cuenta una experiencia con una joven y audaz hembra (Ebony). La elefanta se alejó y se metió en medio de un clan que no era el suyo. Como muestra de dominio, el clan secuestró a Ebony y la mantuvo cautiva con sus trompas y patas. Otras elefantas trataron de rescatarla, pero no pudieron y se retiraron. Minutos más tarde, regresaron con todos los miembros de su familia extendida. El ataque rescató a Ebony. Eso sugiere que hicieron un plan (previsión) y diseñaron un trabajo en equipo. No queda claro como transmitieron a los demás lo que había ocurrido y qué necesitaban hacer.

(2) La madre da instrucciones a la cría. Un guardaparque de Addo-Park (Sudáfrica) contó que, cuando reparó una cerca, la madre y su bebé quedaron aislados de distinto lado. La madre pasó su trompa por los cables y calmó a la cría. Parece que le comunicó qué debía hacer porque la cría actuó de inmediato. Se apartó de la madre, se acercó a un árbol a 20 m de distancia y permaneció inmóvil. Era casi invisible. Cuando se acercó el camión de trabajadores, la madre salió a la carretera, levantó una gran nube de polvo, hizo cargas cortas contra el vehículo, hasta que retrocedieron. Durante la confusión, la cría se acercó a la cerca, se deslizó por un hueco y buscó refugio en otro árbol. Entonces, la madre ignoró al camión, les dio la espalda y se fue con su cría.

Tienen una relación especial con los humanos.

(1) El pastor herido cuidado por una elefanta. Una anécdota cuenta de un pastor de camellos cuya pierna fue rota por una matriarca en un enfrentamiento accidental. El hecho ocurrió en el Rancho Laikipia (Kenia). Los camellos volvieron solos al caserío y entonces un grupo de búsqueda salió en su auxilio, al día siguiente. Cuando fue encontrado, estaba debajo de un árbol y una elefanta impidió que se acercaran. Con esfuerzo (tiros al aire) pudieron alejarla lo suficiente y llevarse al pastor. Luego contó que la elefanta se dio cuenta de que no podía caminar y, usando su trompa y patas delanteras, lo movió suavemente varios metros y lo sostuvo bajo la sombra de un árbol. Allí lo vigiló la tarde y noche, hasta el día siguiente. Su familia dejó atrás a la elefanta, pero ella se quedó. Cuando una manada de búfalos vino a beber en el comedero, ella los ahuyentó. Sabía que estaba herido y se encargó de protegerlo.

(2) Percepción inexplicable: asisten al funeral de un conservacionista. /// El refugio Thula-Thula para elefantes (Sudáfrica) mantuvo una relación de cercanía con manadas vecinas que eran atacadas por cazadores. Cuando en 2012 falleció el fundador del refugio, se cuenta que dos manadas de elefantes viajaron unas doce horas para llegar a la casa. Permanecieron dos días hasta que decidieron regresar a su lugar. Estos animales eran salvajes, no había forma de avisarles del fallecimiento, pero sintieron, de alguna forma, la necesidad de viajar.



(611) Elefantes: los juegos

(1) Un elefante encuentra un tronco en la charca y juega un rato. **(2)** Otro elefante lleva un palo entre los colmillos y la trompa. **(3)** Este elefante en cautividad juega con una cuerda y un neumático. **(4)** En cambio, en la naturaleza este elefante juega con un lagarto como si fuera un objeto.

(F610) Tienen una relación especial con los enfermos y muertos. Un detalle más extenso de este tema se presenta en la próxima capa de duelo.

(1) Relación con los enfermos. Las observaciones indican que cuidan a los enfermos y, cuando están por morir, los sostienen buscando que se recuperen. Días después de morir, aún están tratando de reanimarlos. Otros grupos que pasan por el lugar se unen a las muestras de dolor.

(2) Intentos de sepultura. Se observa que, cuando se resignan a la muerte, intentan una sepultura superficial con ramas, hojas y polvo. **///** Por ejemplo, se cuenta que en Kenia una vieja mujer de una aldea vecina se acostó a descansar debajo de un árbol. Cuando despertó tenía un elefante junto a ella. Se quedó paralizada, mientras llegaban otros elefantes. Comenzaron a gritar y la enterraron con ramas. Al otro día la mujer fue encontrada ilesa por una patrulla de búsqueda.

(3) Relación con los muertos. Las pruebas y observaciones en campo muestran que reconocen los huesos de su especie. Le prestan más atención que a huesos de otras especies o maderas. Sin embargo, no distinguen a los huesos de sus familiares.

(4) Aversión a producir daño. /// Se cuenta que, en la India, un elefante levantaba troncos siguiendo un camión y los colocaba en pozos. Seguía las instrucciones del mahout, su entrenador. En cierto agujero, el elefante se negó a bajar el tronco. El mahout fue a observar y había un perro durmiendo adentro. Solo bajó el tronco cuando el perro se levantó y se fue.

(5) Una madre afligida por la pérdida de una cría. /// Un reporte en Amboseli (Kenia) indica que una hembra dio a luz a un bebé muerto. La madre cuidó a su cría muerta durante dos días, intentando revivirlo. El investigador se dio cuenta de que no había comido ni bebido y acercó la camioneta para darle algo de agua. La elefante estiró la trompa al interior, bebió con entusiasmo y permaneció unos momentos tocándose el pecho.

innovación y creatividad

Anécdotas sobre la creatividad de los elefantes. Un investigador que pasó décadas estudiando elefantes en África cuenta anécdotas interesantes. Dice haber visto en muchas ocasiones a elefantes que tomaban un palo con la trompa y lo usaban para quitar garrapatas de entre sus patas delanteras. También cuenta que recogían una hoja de palma o similar, y la usaban para espantar moscas donde no llega la trompa. Observó que si arrancaban una hierba con raíces y tierra, la golpeaba con el pie para quitar la tierra antes de llevarla a la boca. Si había agua cerca, la lavaban antes. El mismo investigador dice haber recibido objetos tirados por elefantes. Entre ellos recuerda piedras, palos, una caja de película Kodak, una sandalia y un hueso de ñu. Los elefantes se arrojan cosas durante peleas intensas y durante el juego.

(F610) Los elefantes pueden aprender a pintar y seguir la música.

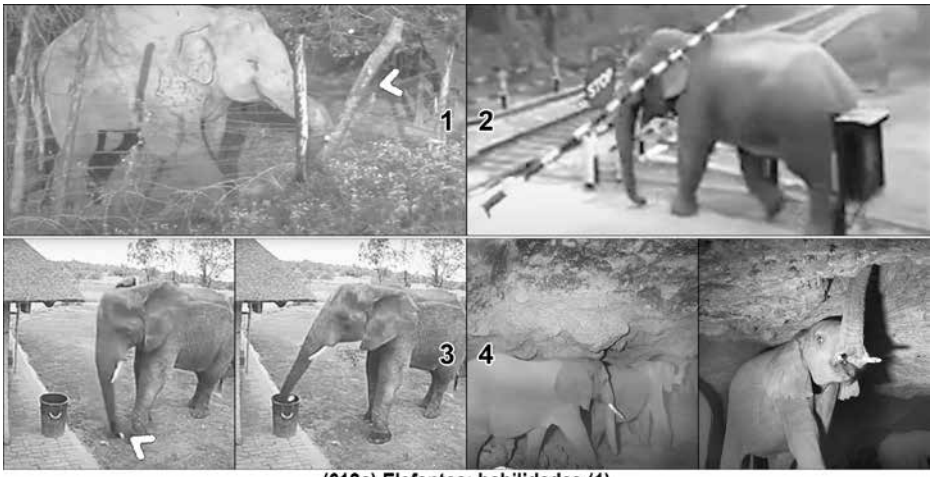
(1) /// Un elefante asiático (Ruby) del zoológico de Phoenix solía escuchar las conversaciones de los cuidadores. Cuando escuchaba la palabra "pintura" se ponía muy excitable. Los colores que prefería eran el verde, amarillo, azul y rojo. En una ocasión, un camión de bomberos estacionó cerca de los elefantes. Las luces del camión alumbraban rojo, blanco y amarillo. Cuando Ruby pintó más tarde, eligió esos colores. También mostraba una preferencia por los colores de la ropa de los custodios. En Tailandia existe una escuela donde los elefantes son entrenados para mostrar al público la habilidad de dibujar y pintar. Tal el caso de Jess en la figura anexa.

(2) /// Los elefantes pueden distinguir melodías y seguir el ritmo. Hace 60 años se publicó que un elefante (Rensch) podía distinguir doce tonos en la escala musical. Recordaba melodías simples y las memorizaba por años. Más recientemente se informó que un elefante (Shanthi) tenía habilidad para tocar la armónica y otros instrumentos de viento. En Tailandia se formó una orquesta de seis elefantes que "improvisaba" música en instrumentos diseñados a medida con interacción mínima de sus entrenadores. Son instrumentos tradicionales de Tailandia en una escala paquidérmica con gong, vibráfono, armónica y tambores. Mientras tocan, mueven las orejas, cola y piernas, siguiendo el ritmo. Se cuenta que la elefanta baterista principal (Pratidah) exhibe señales de musicalidad. Desarrolló un patrón de ritmo estilo *swing* cuando tocaba con los otros elefantes.

El problema de tirar de la soga para recuperar la caña de azúcar.

(1) /// Un estudio con siete elefantes asiáticos les presentó un tronco que tenía atada una cuerda y en el extremo, una caña de azúcar (una delicia). Para recuperar la caña, se necesitaba tirar del tronco, tomar la cuerda con la trompa y sujetarla con alguna otra parte del cuerpo. Bastaron entre uno y tres intentos para que los siete elefantes dominaran la acción que debía hacerse unas seis veces para llegar al extremo. Para asegurar la cuerda, usaron la pata delantera o la boca y lo hicieron en forma flexible. También algunas aves (cuervos, loros) superaron pruebas similares. Se trata de animales que no poseen manos.

(2) Un punto de apoyo para subir y llegar a la comida colgante. /// Con tres elefantes asiáticos en cautiverio se buscó saber si lograrían usar palos de bambú como herramientas para obtener frutas fuera del alcance. En la primera prueba, los elefantes nunca intentaron alcanzar la comida usando los palos. Los manipularon como herramien-



(612a) Elefantes: habilidades (1)

(1) Tiran cercas eléctricas usando troncos. **(2)** Levantan barreras de ferrocarril. **(3)** Una cámara de seguridad capta cuando un elefante se acerca a la casa, junta un objeto y lo tira en el cesto de basura. **(4)** Hacen minería de sal en la cueva de Kitum.

(612b) Elefantes: habilidades (2)

(5) Se acostumbran a parar camiones en la ruta y robar cañas de azucar. **(6)** Cortan con la trompa el pasto sin dañar el árbol plantado dentro del corral. **(7)** Aprenden a desgarrar la corteza de un tronco, estirar el corte y comerla. Usan trompa y colmillos para hacer fuerza y manipular el tronco.

tas para rascarse, golpear el piso, las paredes, colgar elementos decorativos y levantar las puertas. El problema lo resolvieron de otra manera. Usaron un cubo cercano para pararse sobre él y alcanzar la fruta. Recuperaron el cubo de varios lugares para usarlo como plataforma. En ausencia del cubo, utilizaron otros objetos, y cuando los objetos eran pequeños los apilaban en un intento de alcanzar la comida. Los resultados indican que un elefante es capaz de resolver el problema de una vez y sin prueba-error. Cada vez que un método no tenía éxito, cambiaban de estrategia. Parece que lo que falló en la prueba inicial con el palo de bambú es que la trompa no es una mano como para manipular la caña. La trompa es un órgano sensorial muy sensible para el tacto y el olor. Es un excelente apéndice para localizar, examinar y adquirir alimentos. El ojo del elefante tiene una fóvea dirigida al extremo de la trompa facilitando la interacción sensorial. El palo de bambú no se ve cuando se sostiene en el aire y puede disuadir al elefante de usarlo como herramienta de precisión.

El problema de espantar moscas mediante ramas. Los elefantes asiáticos pueden usar ramas como herramientas para repeler moscas, una operación que no requiere de precisión con la trompa. **///** Un estudio informó de observaciones de campo en P.N. Nagarhole (India). Se siguió a un grupo de 34 elefantes salvajes, de los cuales ocho usaron ramas para espantar moscas. El mismo estudio realizó pruebas controladas sobre trece elefantes cautivos. Las ramas eran inapropiadas por ser demasiado largas o tupidas. Se les dieron cinco minutos para intentar resolver el problema. Fueron ocho los elefantes que modificaron las ramas con diferentes estilos. Lo más común fue sostener la rama principal con el pie delantero y arrancar una rama lateral o el extremo. Por ambas experiencias se concluyó que fabricar herramientas para espantar moscas es una operación habitual en los elefantes.

(F611) Un lagarto como juguete. Una elefanta asiática (Madhuri) era experta en atrapar lagartos monitor (género *Varanus*) con la trompa. En una observación de campo en el Parque Corbett (India), se la vio revolear por el aire a un lagarto vivo. El lagarto resultó ser un juguete cruel, porque lo usó durante dos días, mientras lo arrojaba cada tanto. Esta elefanta tiene fama de ser muy agresiva con los visitantes.

(F612) Se rebelan contra los implementos de control humanos.

(1) Cortan las vallas electrificadas. /// Los elefantes asiáticos fueron vistos arrojar grandes rocas sobre una cerca eléctrica para arruinarla y cortar la electricidad. Esto sugiere que saben qué cercas son eléctricas y cuáles no lo son. En otro caso, en India, se los vio romper cercas eléctricas usando troncos y limpiando los cables circundantes, usando sus colmillos para proporcionar un pasaje seguro. En Amboseli (Kenia), durante los últimos cuarenta años, los elefantes han sido atacados por miembros de la comunidad Masái porque matan ganado. Esto no ocurre en otros lugares donde viven los Masái. Los elefantes que viven cerca de las tierras de cultivo aprendieron a desmantelar cercas eléctricas. La costumbre se extendió en forma cultural.

(2) Aprenden a liberarse de los grilletes. /// En los años de 1970, un elefante asiático (Bandula), en cautiverio en Sri Lanka, descubrió cómo desmantelar los mecanismos de seguridad de los grilletes de sus pies. El dispositivo más complejo (gancho Brummel) era un cierre con dos puntos opuestos que se abren cuando se deslizan juntos. Bandula solía tocar con la trompa el

gancho hasta que se separó cuando estaba alineado. Luego uso la misma técnica para liberar a sus compañeros. Se observó que miraba a su alrededor para asegurarse de que nadie estuviera observando.

(3) Silencian las campanas. /// Cerca de las plantaciones de plátanos, a los elefantes se les coloca una campana de madera en el cuello. Se observó que desarrollaron la costumbre de tapar la campana con barro o arcilla para que el badajo no pueda sonar. Así logran entrar en silencio en la plantación por la noche. No solo consumen los racimos de plátanos, comen también las hojas y todo el árbol.

(F612) La necesidad de sal y la solución de la minería. /// En Kenia, la cueva de Kitum (Monte Elgon a 2.500 m de altura) está en un sector de rocas piroplásticas (volcánicas). La entrada está protegida por una cascada. En la primera sala, hay huesos de búfalos, antílopes y monos, lo que indica que los elefantes no son los únicos visitantes. En la oscuridad y silencio total, los elefantes se dispersan por grupos en unos 200 m de paredes ricas en sal. Los elefantes aprendieron a visitar el lugar mostrando interés solo en la zeolita. La zeolita beneficia el engorde, controla la diarrea y secuestra toxinas. Es un medio de automedicación. Usan los colmillos para romper pedazos de la pared que luego mastican y tragan. Dejan las paredes con surcos y es probable que parte de la cueva sea una construcción de los elefantes (minería de sal). Las marcas indican una exploración antigua y cultural. Los restos que dejan los elefantes los aprovechan otros animales (búfalos, hienas). Hay guano de murciélagos en lugares más escondidos. También hay una grieta profunda en donde han caído elefantes jóvenes.

Aprenden a cuidar el agua. /// Se reportó que algunos elefantes fueron vistos cavando hoyos para beber agua en Sudáfrica. Luego arrancaron la corteza de un árbol, la mordieron en forma de bola, llenaron el hoyo y lo cubrieron con arena. Esto evitaba la evaporación, por lo que podían regresar para tomar más agua.

MODELO DE CAPAS

634 duelo (creencias)

¿de qué se trata?

Los rituales y el duelo. Los rituales, en parte culturales, son un medio visible para identificar a los miembros de un grupo. Fomentan la identidad, reflejan los valores propios y demuestran un compromiso compartido. Tienden a involucrar varios pasos que pueden seguir un guion, aunque difíciles de entender en términos de causa y efecto. Los rituales asociados a la reproducción (el cortejo) son los más visibles y estereotipados. Los ligados a la muerte (el duelo) son los más enigmáticos. El cortejo es en su mayoría genético; el duelo, en su mayoría, cultural.

En el concepto de muerte intervienen varios aspectos: la inevitabilidad (seguridad que todos morirán), la irreversibilidad (no se puede volver a la vida), la no-funcionalidad (no pueden sentir o actuar) y la causalidad (la muerte es una consecuencia de algo). Los humanos alcanzan a comprender los cuatro hitos a los diez años. Algunas especies de animales tienen noción de la irreversibilidad y no-funcionalidad. No es posible saber por el momento si comprenden la inevitabilidad y causalidad.

Lo que se necesita para pasar del duelo a la moral. En una secuencia de complejidad creciente se pueden identificar cuatro niveles:
Reconocimiento de los congéneres enfermos o muertos. Puede ser por el olor, los quejidos, postura o conducta. La identificación lleva a la acción. Por ejemplo, las hormigas cuidan a los heridos y las abejas limpian los cadáveres.
Duelo por la pérdida de alguien cercano. Se observa en la insistencia para reanimarlo, alimentarlo, moverlo, protegerlo, limpiarlo, taparlo, visitar el lugar un tiempo después, etc. De esta conducta hay ejemplos en cetáceos, elefantes y chimpancés.
Memoria con la posibilidad de recrearlo. Es el germen de una "creencia" en algo sobrenatural que vigila o protege. No hay indicios que tenga lugar en los animales aunque es posible porque tienen los elementos necesarios.
Moral. Es el paso final que debe contemplar una idea del bien y el mal.

Abejas: reconocen a los cadáveres y los retiran. Las abejas no muestran sentimientos especiales hacia los enfermos y muertos. Sin embargo, se ocupan de ellos porque beneficia a la salubridad de la comunidad. Hay abejas dedicadas a la limpieza de cadáveres. De esta forma cumplen con el primero de los niveles mencionados.

(1) Reconocimiento. La clave para reconocer la necesidad está en la cubierta de compuestos químicos CHC (hidrocarburos cuticulares). Forman una cera que cubre la superficie (la cutícula del exoesqueleto) y ayudan a evitar que se seque. Con el animal vivo los CHC se liberan al aire lentamente y permiten reconocer a otros miembros de la comunidad. **///** Un estudio en abejas midió que los CHC libres se reducen cuando mueren y su temperatura corporal disminuye. La casta de abejas "funerarias" puede percibir este cambio "oliendo" con las antenas y "saboreando" con sus pies. El estudio trabajó con cinco colmenas de abejas melíferas asiáticas *(Apis cerana*). Se comenzó calentando los cadáveres. Mientras las abejas muertas, frías, eran retiradas en 30 minutos, cuando se calentaban, tardaban horas. Luego se eliminó los CHC de las abejas muertas con hexano, que puede disolver ceras y aceites. Se las calentó y colocó en la colmena. Las abejas funerarias se pusieron en acción de inmediato. Esto sugiere que no es la temperatura, sino los compuestos CHC los que diagnostican congéneres muertos.

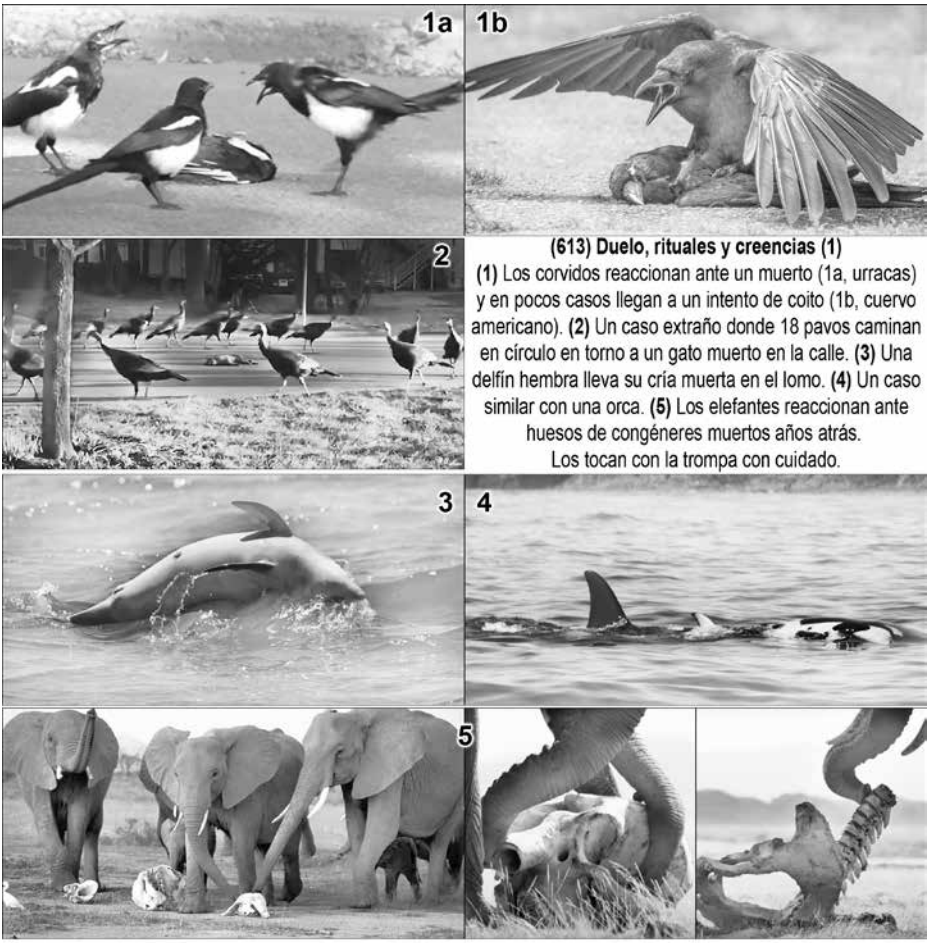
(2) Feromonas de los muertos. /// En otro estudio, se encontraron dos feromonas (ácido oleico y beta-ocimeno) que solo son liberadas por las larvas de abejas muertas. El grupo de abejas funerarias detectan estas moléculas con sus células nerviosas en las antenas. Cuando se agregaron las feromonas a larvas sanas, las abejas reaccionaron y las eliminaron. Las proteínas detectoras en las antenas (OBP16 y OBP18) son específicas y están ausentes en las abejas que no eliminan cadáveres. Estas proteínas se adhieren a las moléculas de olor, estimulan las neuronas y el olfato. Las colmenas sin cadáveres reducen las infecciones. Esto se comprobó en abejas donde se obligó a una producción adicional de proteínas OBP.

Pecaríes: llevan un duelo en la manada. El Pecarí de collar (*Pecari tajacu*) es un mamífero americano similar al jabalí europeo. La conducta obsevada semeja un duelo ante los muertos. **///** El seguimiento de una manada de cinco miembros incluyó detectar que uno de ellos parecía estar enfermo. Al morir, el grupo permaneció cerca. Dos pecaríes trataron de recoger al muerto, como si quisieran ayudarlo. En los días posteriores, el rebaño visitó su cuerpo, solos o en parejas. A veces simplemente caminaban o se paraban cerca. Se los vio empujar el cuerpo, acariciarlo, olerlo, morderlo e intentar levantarlo colocando su hocico debajo y empujando hacia arriba. A veces, dormían junto al cuerpo o se acurrucaban contra él. La manada reaccionó de una manera que se asemeja al duelo. El décimo día después de la muerte, un grupo de coyotes se acercó. Los pecaríes los persiguieron, pero esa noche, los coyotes regresaron y se comieron los restos.

duelo en los cuervos

Cuervo americano (*Corvus brachyrhynchos*)**: la reacción ante los cadáveres.**

(1) /// Un trabajó de dos años con estos cuervos comenzó habituando a las aves a unos cien sitios de comida en un lugar del bosque. De esta forma se atrajo la anidación. Luego, un grupo de 25 voluntarios con máscaras se pararon cerca de la comida



(613) Duelo, rituales y creencias (1)
(1) Los corvidos reaccionan ante un muerto (1a, urracas) y en pocos casos llegan a un intento de coito (1b, cuervo americano). **(2)** Un caso extraño donde 18 pavos caminan en círculo en torno a un gato muerto en la calle. **(3)** Una delfín hembra lleva su cría muerta en el lomo. **(4)** Un caso similar con una orca. **(5)** Los elefantes reaccionan ante huesos de congéneres muertos años atrás. Los tocan con la trompa con cuidado.

durante treinta minutos. Las máscaras eliminaban las expresiones faciales, permitiendo rotar a los voluntarios. Los voluntarios sostenían un cuervo muerto o un halcón de cola roja (*Buteo jamaicensis*) muerto. Los cuervos respondieron con llamadas de alerta, pero no reaccionaron al voluntario de control con las manos vacías. Unas seis semanas más tarde, los voluntarios seguían siendo rechazados aunque tuvieran las manos vacías. Las aves también eran más cautelosas en esa área. Pero, cuando se usó una paloma muerta, la respuesta de los cuervos fue más leve, lo que indica que son más sensibles a los conespecíficos.

(2) /// Hay anécdotas que indican una tendencia a colocar palos y otros objetos sobre pájaros muertos, en lo que parece una especie de duelo. En un experimento, se colocaron cuervos disecados en un parque. Bastó que un cuervo se alarmara, para que aparecieran decenas. Todos rodearon al cuervo muerto, mirándolo mientras se posaban en los árboles o volaban sobre él.

(3) /// En un experimento se usaron trazadores radiactivos para medir la actividad ce-

rebral de un cuervo luego de ver a otro, muerto. Se encontró que el hipocampo (ligado a la formación de la memoria) se iluminó al ver al muerto. Ese cuervo estaba aprendiendo sobre un lugar, una cara o una situación.

(F613) Reacción a la muerte de un compañero.

(1) Urraca (*Pica pica*). **///** Un reporte indica que algunas urracas respondieron a un cadáver en forma anormal. Se pararon alrededor y luego volaron lejos, traían agujas de pino y picoteaban el cuerpo. Son conductas que podrían cohesionar al grupo e indicar la necesidad de reorganizarse en ausencia de un miembro. Otra interpretación describe lo sucedido en términos de confusión, lo que llevaría a una explicación menos romántica. Quizás ambas cosas tienen parte de razón.

(2) Chara californiana (*Aphelocoma californica*). **///** Los estudios indican que se reúnen en grupos de dos a diez, en torno al cadáver de su especie y de otras. Las llamadas de las charas atraen a otras que se unen en un coro de llamadas o miran en silencio desde los árboles. Las agregaciones duran hasta 45 minutos.

(F613) Algunos reaccionan con sexo ante cadáveres.

(1) /// Un trabajo de tres veranos realizó experimentos con cuervos muertos cerca de nidos activos. Se midió la reacción de 309 parejas reproductoras y se observó que emitían llamadas de alarma desde lejos y acosaban los cuerpos. En el 24 % de los casos, se identificó que algo abrumaba a los cuervos, se acercaban para tocar, tirar, arrastrar o picotear al cadáver. En el 4 % de los casos se observó un intento de cópula (necrofilia), cosa que es imposible por la estructura de los genitales internos de las aves. Los casos más dramáticos incluyeron la alarma, la cópula y al final, despedazaban el cadáver. No había canibalismo. El trato era diferente si se colocaban ardillas o palomas como control. Tampoco se confundieron con cuervos vivos. En un caso, una pareja de cuervos, luego de ver un cadáver, se apareó.

(2) /// Parece que estas reacciones están ligadas a los niveles de hormonas (testosterona). Se cree que el frenesí hormonal desestabiliza las capacidades cognitivas y compromete la racionalidad. En otros estudios, se midió que la testosterona se eleva durante las demostraciones de defensa territorial y rituales de apareamiento. Ambas zonas en el cerebro están relacionadas.

duelo en los cetáceos

Desde 1970 al 2016 se tienen al menos 78 reportes de duelo en cetáceos. Se observaron en 20 de las 88 especies estudiadas. El interés por la descendencia muerta se observó en otros mamíferos marinos, como en la nutria marina (*Enhydra lutris*), el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), el lobo marino (*Zalophus californianus*) y la foca común (*Phoca vitulina*).

(F613) Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*)**: dos ejemplos en Grecia.**

(1) /// La observación de una población de delfines en Grecia documentó, en 2007, cómo una madre interactuaba con su becerro muerto. Levantaba el cadáver por encima de la superficie, en un aparente intento de hacer que respirara. Lo hizo una y otra vez, durante dos días y nunca se separó de él. Se oyó su llamada, lo tocaba con su hocico y sus aletas pectorales. Parecía incapaz de aceptar la muerte. El recién nacido tenía un hematoma grande en su mandíbula inferior, lo que sugiere que pudo ser matado por otro delfín. Existen reportes de infanticidio en esta especie.

(2) /// En otra oportunidad se observó a un delfín de 2-3 meses que tenía dificultad para nadar. Tenía marcas de blanqueo, posiblemente por exposición a plaguicidas o contaminación por metales pesados. El grupo parecía estresado, nadando de forma irregular. Los adultos trataban de ayudar al animal moribundo para mantenerse a flote, pero siguió hundiéndose. Cuando murió, la madre y el grupo permitieron que se hundiera y se fueron del área. En este caso, el grupo había asumido la muerte y estaban preparados. Puede que no entiendan la muerte, pero parecen afligirse.

(F613) Orca (*Orcinus orca*)**: 17 días de duelo por la muerte de una cría. ///** Las orcas del Mar Salish (cerca de Vancouver) son de las más estudiadas. En una observación que duró 17 días y 1.600 km de recorrido, una madre llevó a su bebé muerto a través de las aguas heladas. La madre (llamada J35 por los científicos) mantuvo el bebé a flote lo mejor que pudo hasta que finalmente lo dejó caer. La observación ocurrió en el 2018, pero la madre parece haber perdido tres crías desde el 2010 y este solo vivió media hora. En el 2020 la misma orca tuvo otro parto. Esta vez exitoso. La población se encuentra en serio riesgo de pérdidas por la endogamia.

duelo en los elefantes

(F613) La relación con los huesos. Mucho de lo que se sabe del duelo en elefantes proviene de las observaciones en las reservas silvestres en África. Estas son algunas hechas en Samburu (Kenia).

(1) /// Una observación del 2006 permitió estudiar un evento tres semanas después de la muerte natural de una matriarca. Había elefantes de tres familias que inspeccionaban los huesos. Eran familias no relacionadas, pero que la conocían y mostraron una conexión al detenerse en su cuerpo. Los jóvenes olían con fascinación y los adultos tocaban los huesos con la trompa. Su familia seguía angustiada porque no se levantaba.

(2) /// Otra observación informó de familiares de una matriarca muerta que la tocaban y empujaban durante casi una semana. Algunos se mecían de un lado a otro, mientras otros permanecían en silencio. Señalan que lo observado no estaba basado en la supervivencia o la necesidad, sino en algún tipo de emoción.

(3) /// Cuando fue necesario matar a un elefante, el cadáver fue descarnado y la carne se repartió a las tribus. Los huesos se llevaron a 800 m de distancia y fueron abandonados. Esa noche, los otros elefantes encontraron el cuerpo. Tomaron el omóplato y la pierna y regresaron los huesos al lugar exacto donde fue muerto el elefante.

Reconocen los huesos pero no la familiaridad. Los escépticos del dolor por el duelo animal tienen razón en una cosa: no se sabe mucho sobre este tipo de conducta. Pero una creciente colección de anécdotas y filmaciones permiten progresar en los hechos, aunque falten interpretaciones.

(1) Reconocen los huesos. /// Un experimento se realizó en Amboseli (Kenia) con 17 familias de elefantes. Se les presentaron objetos colocados a 25 m de distancia del grupo. Se les dio para revisar calaveras de elefante, búfalo y rinoceronte. Los elefantes pasaron el doble de tiempo en el cráneo de su propia especie. Lo hicieron oliendo y tocando objetos individuales con sus trompas y pies. Luego se cambiaron los elementos. Con 19 familias se revisaron cráneos de elefante, un trozo de marfil y un trozo de madera. La preferencia fue el cráneo,

luego el marfil con seis veces más tiempo de atención que la madera.

(2) No reconocen la familiaridad. /// En otro experimento se trabajó con tres familias que habían perdido la matriarca. Cada uno recibió tres cráneos de matriarcas, incluido el suyo, pero no mostraron preferencia por el cráneo de su pariente. No se pudo corroborar que los elefantes visitaran los huesos de parientes muertos porque no pudieron distinguir el cráneo de su matriarca muerta entre otras. El hecho de que puedan distinguir los huesos de su propia especie no debe sorprender. Los elefantes forman una sociedad matriarcal llena de miembros que tienen vínculos estrechos. Una muerte podría ser un evento social significativo. Podría tener un impacto en la vinculación social y la estructura del grupo.

Los intentos de sepultura.

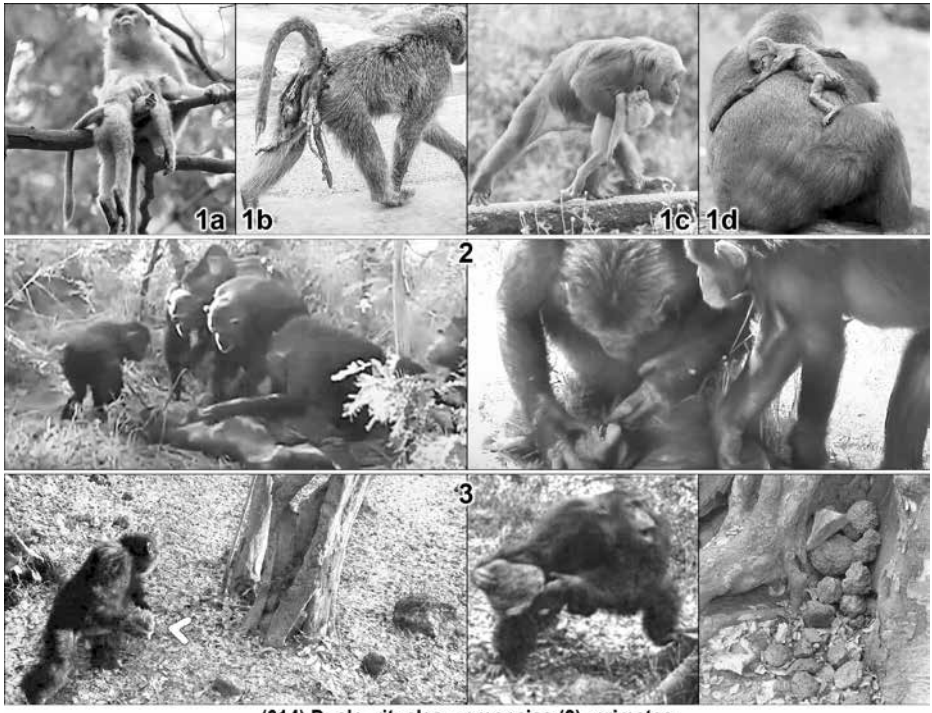
(1) /// Una observación cuenta que una elefanta (*Tina*) fue herida de muerte por cazadores furtivos. Cuando empezó a ceder, dos hembras de la familia se pusieron a cada lado para mantenerla de pie. Luego cayó y murió, pero las asistentes no se rindieron. Intentaron levantarla, lograron sentarla y cayó nuevamente. Trataron de poner hierba en la boca. La madre de Tina puso sus colmillos debajo de la cabeza, trató de levantarla y el colmillo derecho se le rompió hasta la cavidad nerviosa en la boca. Luego comenzaron a enterrarla en una tumba poco profunda y arrojaron hojas sobre su cuerpo. Pasaron la noche junto al cadáver y por la mañana se fueron.

(2) /// En otra oportunidad una familia perdió a la matriarca. El grupo tocaba su cuerpo con la trompa tratando de levantarla. La manada produjo los retumbos de los elefantes alterados y luego toda la manada se quedó en silencio. Comenzaron a arrojar hojas y tierra sobre el cuerpo y rompieron las ramas de los árboles para cubrirla. Pasaron dos días en silencio. Se iban a buscar agua o comida, pero siempre regresaban.

duelo en los primates

Parece probable que, en especies de larga vida, la exposición repetida a la muerte conduzca a una comprensión de lo irreversible. Cuando los lazos fuertes entre individuos se rompen por la muerte, pueden sentir un impacto emocional. Es razonable que puedan sufrir por el duelo. En el hombre, con una comunicación fluida, parece que las imágenes sobrenaturales del duelo se propagaron en forma cultural. En los animales en cambio, sin la posibilidad de comunicar estos sentimientos, debieron quedar en el ámbito de la introspección.

La tanatología de los primates. /// Un estudio analizó 240 informes (200 años de historias) sobre aspectos cognitivos, psicológicos y fisiológicos de la muerte entre primates. Se encontró que las especies defienden a sus compañeros muertos, cargan los cuerpos y exhiben respuestas emocionales (dolor). Las especies que llevan crías muertas lo hacen porque son capaces de portar objetos. Los lémures y monos tamarinos no pueden llevarlos, a pesar de los continuos intentos. Cuando muere un miembro adulto, realizan vigilias y protegen o visitan el cuerpo. Parece ser un subproducto de las relaciones de apego y les permite aprender sobre cadáveres, una forma de categorizar al individuo de vivo a muerto. También obtienen información sobre los posibles cambios en la jerarquía del grupo. El concepto de muerte es algo que los humanos adquieren entre los tres y diez años.



(614) Duelo, rituales y creencias (2): primates

(1) La conducta de duelo lleva a las madres a conservar a sus hijos muertos: (1a) mono nariz chata, (1b) papión chacma, (1c) mono gelada y (1d) gorila. **(2)** Los chimpancés se reunen junto a un cadáver con estupor y curiosidad. **(3)** Tiran piedras contra "árboles sagrados" en lo que se interpreta como un ritual.

(F614) Mono nariz chata (*Rhinopithecus bieti*)**: interacciones con la compañera moribunda.** Entre estos monos hay observaciones de comportamientos compasivos con los enfermos y moribundos. **///** Una observación involucró al macho alfa de un grupo y a su compañera moribunda durante la última hora de vida. Luego de la muerte, el macho la tocó y acomodó suavemente, como si tratara de revivirla. Los investigadores enterraron a la hembra muerta lejos del lugar. Al día siguiente el grupo de monos volvió al lugar a buscarla.

(F614) Papión chacma (*Papio ursinus*)**: la prolongación emocional por la muerte.** El papión vive en grandes grupos con jerarquías en ambos sexos. Un grupo puede variar entre 20 y 100 primates.

(1) /// Un estudio de trece años en el desierto de Namibia, encontró doce casos de madres que llevaron bebés muertos. Se observaron madres con sus neonatos muertos hasta por diez días (promedio 3-4 días). Preparaban al bebé muerto con frecuencia. Las razones se atribuyen al comportamiento de crianza y el fuerte vínculo madre-bebé. La hipótesis del manejo del duelo sugiere que las madres llevan al bebé muerto como una forma de lidiar emocionalmente con su pérdida. Estas madres se dan cuenta de que sus bebés están muertos, ya que tratan el cadáver de manera muy diferente. Son llevados por una extremidad o arrastrados por el sue-

lo, cosa que nunca ocurre con un bebé vivo. En los chimpancés y macacos se registraron períodos de un mes, mucho más que en el papión. Pero estos papiones viajan distancias largas en un día y el ambiente del desierto es duro, por lo que es costoso llevarlo. Algo muy raro es que los machos asociados con la madre (quizás el padre) también protegen al bebé muerto. Los machos no suelen ser buenos padres, pero protegen a sus bebés de amenazas (infanticidios).

(2) Las observaciones etológicas se corresponden con los análisis clínicos. **///** Un estudio trabajó con una hembra de papión chacma adulta y salvaje en Botsuana. Después de la pérdida de un pariente cercano por un depredador, se midieron altos niveles de glucocorticoides, que son indicadores de estrés. Otras hembras del mismo grupo, menos cercanas al fallecido, no exhibieron tal aumento de estrés.

(F614) Mono gelada (*Theropithecus gelada*). **///** Estos monos están relacionados con los babuinos y viven en los pastizales de montaña en Etiopía. En los seguimientos de una banda de 200 gelada, entre 2007 y 2010, se reportaron 14 madres llevando bebés muertos. En un caso, lo llevó por 48 días, tiempo que es favorecido por ser una zona de montaña fría donde la descomposición es lenta.

(F614) Chimpancés: reportes de duelos.

(1) /// En Bossou (Guinea) una epidemia de gripe golpeó una comunidad de diecinueve chimpancés. Murieron dos chimpancés de 1 y 2,5 años. Ambos cadáveres fueron llevados por sus madres durante 68 y 19 días. Como estaban en la estación seca, sus cuerpos se momificaron. En cierta forma, los trataron como si estuvieran vivos: los acicalaban, apartaban las moscas, daban gritos de angustia si se caían y los colocaban en el suelo con cuidado. Pero sabían que estaban muertos porque el trato era diferente. Una posible razón del duelo puede estar en la producción de hormonas cuando amamantan. Estas hormonas les impiden quedar embarazadas, y cuando se detiene el flujo hormonal, regresa la fertilidad, lo que ayudaría a superar las pérdidas de las crías.

(2) /// En una observación, un grupo de chimpancés cautivos reaccionó a la muerte de una anciana. Revisaron el cuerpo en busca de signos de vida y limpiaron pedazos de paja de su pelaje. Luego se negaron a ir al lugar donde había muerto durante varios días.

(3) /// En otro reporte, una chimpancé limpió un cadáver usando un tallo de hierbas como herramienta. Ocurrió en el 2017, en Zambia, donde se filmó a la madre limpiando los escombros de los dientes de su hijo fallecido. Además, introdujo hierbas en la boca, las extraía y examinaba.

(4) /// En Uganda se observó que los individuos acicalaron a una hembra adulta asesinada. Para los investigadores, no quedó claro si esto es "limpieza de cadáveres" o una simple "limpieza social".

Chimpancés: los huérfanos se adoptan luego del duelo de la madre. Los adolescentes adoptan a sus hermanos menores si sus madres mueren. Los hermanos mayores los vigilan y protegen. **///** En Kibale (Uganda) un grupo de 200 chimpancés sufrió una enfermedad respiratoria en 2017. Murieron 25 chimpancés y 13 crías perdieron a sus madres. Los chimpancés pasan los primeros cinco años cargados y amamantados por sus madres, y otros tres años cerca de ellas. El estudio siguió a cuatro pares de hermanos. Los hermanos mayores tenían entre 10 y 17 años, y los menores entre 6 y 7 años. Las parejas pasaron mucho más tiempo juntas. Se arreglaban, se tranquilizaban y consolaban mutuamente. Eran inseparables y, cuando

viajaban, se detenían y miraban por sus hermanos. Los mayores se enojaban si perdían el rastro de los jóvenes. Es común que los jóvenes llorisqueen si se pierden, pero, en estos casos, también lo hacían los mayores.

Homínidos: la evolución de la sepultura. Después de reconocer la muerte y reaccionar ante ella, el próximo paso es la sepultura. Los elefantes intentan mover y tapar el cuerpo con elementos del entorno.

(1) Abandono estructurado hace 3,2 Ma. /// En Etiopía un descubrimiento arqueológico encontró trece ejemplares de *Australopithecus afarensis* (nueve adultos, dos juveniles y dos infantes). Estaban colocados a una distancia de contacto y habían sido enterrados al mismo tiempo. No hay evidencia de inundación repentina o catástrofe, ni indicios de participación de depredadores. Una explicación es que los cuerpos fueron parte de un "abandono estructurado". No significa entierro, ni se le asigna valor simbólico o religioso.

(2) Lugar para los muertos hace 1 Ma. El género *Australopithecus* (4,5-2,5 Ma) es ancestro del género *Homo* (desde 2,5 Ma). **///** En Atapuerca (España) se encontraron 28 *Homo heidelbergensis* (2-05 Ma) que es ancestro de *H. sapiens*. Estaban en un pozo de 1 Ma de antigüedad. Hay poca probabilidad de que hayan caído, por la forma en que los huesos se fracturaron. No parece una acumulación natural. La mayoría son varones, adolescentes y jóvenes, y muestran signos de enfermedad ósea o deformidad. La mejor explicación es que fueron colocados en la parte superior del pozo después de la muerte y luego se desplomaron gradualmente. Es una evidencia de un lugar específico para los muertos.

(3) La sepultura hace 100.000 años. El almacenamiento en caché funerario se volvió cada vez más común. Los cuerpos se encuentran en lugares que son difíciles de explicar de cualquier otra forma, metidos en fisuras y grietas, en salientes de difícil acceso o en la parte posterior de las cuevas. Hay un breve salto conceptual desde este "almacenamiento" hasta el "entierro". **///** Por ejemplo, en dos cuevas, en Israel, los esqueletos de *H. sapiens* de 120.000 años fueron encontrados en huecos claramente humanos. Estas personas estaban en camino a una cultura simbólica. Los entierros deliberados hacen más probable pensar en cosas como la vida después de la muerte. Pero el entierro era para ocasiones especiales; la mayor parte fueron escondidos o abandonados. La mayoría de los arqueólogos aceptan que los *H. neanderthalensis* y *H. sapiens* estaban involucrados en prácticas mortuorias hace 40.000 años. Hace 14.000 años la mayoría de los muertos eran enterrados, una práctica simultánea con la agricultura y la religión.

las creencias

¿de qué se trata? Una creencia ocurre cuando un individuo supone que es verdadera la interpretación de un suceso. La creencia da por cierto algo sin poseer evidencias de ello. Sirve para orientar en la búsqueda. Platón definió al conocimiento como una *creencia verdadera justificada por la razón*. Entonces, una creencia falsa no sería conocimiento, aunque sea sincera. Distinguir conocimiento y creencia no es simple. Las creencias son una de las bases de la cultura y como tal pueden ser ampliamente compar-

tidas. Son ideas memorizadas sobre cómo es el mundo y sobre cómo debemos actuar. Las creencias morales son las que indican lo que está bien y mal.

Cuervos: la creencia de donde está escondida la comida. Los cuervos esconden la comida en caché e interpretan las miradas ocultas de los observadores. Esconden alimento perecedero (gusanos frescos) y duraderos (granos secos) en distinto lugar. Se forman una creencia sobre quién observa (un posible ladrón) o qué comida está en condiciones de ser consumida. Si fueron observados, cambian la comida de lugar. Luego, buscan primero los gusanos, hasta que estiman que están podridos y luego pasan a los granos. Es decir, se formaron una *creencia* sobre la calidad y durabilidad del alimento. La creencia se convertirá en conocimiento en la medida en que ajusten los resultados. Los acontecimientos poco recurrentes pueden formar creencias que quizás no llegan a ser conocimiento.

"Violación de las expectativas": una forma de poner en evidencia las creencias. Cuando se quieren descubrir creencias, una forma es la violación de expectativas que se presenta como un grado de incredulidad. Las creencias se evidencian por las expectativas y, cuando se violan, el animal queda sorprendido. Por ejemplo, mira por más tiempo algo que rompe el patrón estándar de lo que debería ocurrir. No es una percepción absoluta, sino es cómo contrasta algo dentro de un sistema más amplio. Es como ver un truco de magia y quedarse mirando incrédulo porque viola las creencias.

Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*)**: la detección del engaño.** Estos monos no usan herramientas en la naturaleza así que las pruebas con herramientas deberían no tener antecedentes para ellos. Sin embargo, parecen tener noción de lo imposible. Una conducta de curiosidad ante algo improbable es un indicador de saber lo que puede ocurrir y lo que no. Un primer acercamiento al conocimiento de las ciencias. **///** Para un estudio se usaron cuchillos, taza para agua y manzanas. Luego se les mostró cómo el cuchillo corta la manzana. Mediante un engaño se les mostró que, usando el cuchillo, las dos mitades de manzanas volvían a formar una entera. Otros experimentos del mismo tipo mostraban que el cuchillo podía cortar el agua y el vaso una manzana. Se pudo concluir que entendieron la imposibilidad, ya que mostraron una mirada más larga cuando algo imposible ocurría. El tiempo de la mirada es una medida de la expectativa o creencia.

(F614) Chimpancés: rituales con piedras y troncos en África Occidental. El proyecto PanAfrican tiene un protocolo estandarizado para el estudio de chimpancés. Iniciado en el 2010, para el 2020, tenía 39 sitios bajo vigilancia. Está diseñado para el estudio de animales no habituados a la presencia humana por lo que se confía en los métodos de muestreo no invasivos. Se recopilan datos ecológicos, sociales, demográficos y de conducta.

(1) ¿árbol sagrado? /// Por primera vez, en Guinea, se encontraron evidencias de lo que parecía ser un "árbol sagrado" (un santuario) usado por los chimpancés. Mediante cámaras trampa, colocadas en árboles marcados con arañazos, se encontró que estaban poniendo piedras en el hueco de los árboles. También golpeaban los árboles con las rocas, aunque no parece ser un medio de comunicación. Tendría una motivación simbólica. Los chimpancés tienen bailes rituales durante las lluvias, lo cual abona esta idea.

(2) Piedras para rituales. Los estudios posteriores encontraron varios lugares

con montones de piedras acumuladas junto a árboles. **///** Al menos en cuatro sitios en África occidental (Liberia, Costa de Marfil y Guinea) el uso de cámaras trampa permitió saber que los chimpancés visitaban los árboles en forma regular. Recogían piedras y las arrojaban a los árboles mientras emitían una vocalización de pitido de larga distancia. Aparenta ser un ritual de machos adultos y no parece estar relacionado con la abundancia de piedras o la disponibilidad de árboles adecuados en un área. En esta región, los humanos tienen muchos árboles sagrados con colecciones de piedras. Así que podría ocurrir lo mismo con los chimpancés.

(3) /// En un ensayo, los investigadores tiraron piedras contra árboles de tres tipos, en varios escenarios. Se grabaron los sonidos y se compararon con los chimpancés. Se encontró que los simios preferían ciertas especies de árboles con raíces expuestas y que, cuando las piedras golpeaban con las raíces, los sonidos eran más bajos y duraban más tiempo. Se concluyó que quizás los chimpancés arrojan las piedras a los árboles por el sonido. Otra alternativa sugerida es la demarcación de un territorio mediante piedras (mojones).

Sobre cómo sienten lo sobrenatural los animales. Las creencias y moral tienen raíces evolutivas y no serían una exclusividad humana.

(1) Creencias en animales. Los animales tienen un conocimiento científico superficial de lo natural (matemática, física, química). Las "pruebas" se presentan en la capa de herramientas. Que sea rudimentario, lejos de ser un impedimento, puede permitir saltar muchos límites para imaginar eventos que superan lo natural. En los humanos el conocimiento va en desmedro de lo sobrenatural; a más conocimiento, se le asocia menos influencia de lo divino. En los animales, las creencias son un "collage" de recuerdos vividos, de imágenes guardadas que permiten recrear un futuro cargado de emociones.

(2) Dios en los animales. Para los humanos el concepto de dios (uno o varios) tiene aspectos en común. Puede ser el creador de todo, puede ser eterno, puede ser muy o todopoderoso. Puede administrar justicia (con premios y castigos) o bondad (siempre se encuentra un perdón). Estas características convierten al dios en un protector ante la adversidad. De estas características, parece que la única que está al alcance de los animales es considerar a dios como un "protector ante la adversidad". No parece que los animales se interroguen sobre la eternidad o el origen de las cosas. Pero sí pueden formarse una idea de un ser protector (a imagen y semejanza). Esto ocurre en la impronta al nacer, cuando encuentran, en los padres, a un ser superior. Durante la vida, pueden rememorar esas imágenes y asignarlas a algo muy poderoso. Esta creencia ("dios"), con propiedades muy simples, es personal. Cada individuo tendrá su interpretación. Para obtener un dios comunitario se requiere la comunicación verbal que permita intercambiar ideas y formar una identidad única. Es una característica exclusiva humana. En resumen: un dios de límites personales puede estar presente en muchas ramas de la vida. Lo que se necesita es un cerebro que sienta temor y pueda recrear un protector. Un dios como el de las sociedades humanas necesita de la comunicación.

MODELO DE CAPAS

714 moral (religión)

¿de qué se trata?

Requisitos para la moral humana. Hay tres condiciones que determinan el comportamiento moral humano:
-la capacidad de **anticipar las consecuencias** de las propias acciones,
-la de hacer **juicios de valor** (bueno-malo), y
-la de **elegir entre cursos de acción** alternativos.
Los códigos morales de conducta son el resultado de la evolución cultural, lo que explica la diversidad cultural y su aparición y desaparición en la historia. La moral tiene un origen evolutivo y se apoya en la autoconsciencia y la consciencia de la muerte, la cooperación y la organización social, la aversión a la inequidad, el lenguaje simbólico (creativo), los códigos legales e instituciones políticas, la literatura y el arte, entre muchos otros. Las normas morales de las culturas son porosas y se modifican. Sin embargo, toda cultura considera sus normas como universales, aunque cambien muy rápido. Conceptos extremos tienen cabida en culturas cercanas. Por ejemplo, "ojo por ojo" y "poner la otra mejilla". La justicia y la bondad pueden ser extremos opuestos.

Requisitos que cumplen los animales. Si la moral tiene un origen evolutivo, muchas de las bases deben estar presentes en los animales y ser muy antiguas en el tiempo. En los animales se encuentran indicios de cognición (aprendizaje y memoria), entienden los límites de lo que saben (metacognición), tienen consciencia (noción de sí mismos), tienen empatía (comparten las emociones) y entienden lo que piensa el otro (teoría de la mente), pueden tener duelo (comprenden la pérdida de un compañero), tienen aversión a la inequidad (rechazan un trato injusto), tienen una conducta prosocial (forman una reputación dentro de la comunidad) o muestran indicadores de vida lenta (reproducción tardía y cuidado parental). La mayoría de las líneas evolutivas muestran algunas de estas características y ciertas líneas las tienen todas. Pero las pruebas no siempre son concluyentes y se acumulan con el tiempo de estudio. Es muy probable que los animales tengan una idea de lo que está bien o mal, lo que lleva a tener moral.

la vida lenta

Desde la vida rápida hacia la vida lenta, un camino hacia la moral. Estas dos estrategias de vida son extremas. En los humanos el proceso que lleva a las megasociedades es un camino hacia la lentificación.

(1) La estrategia de "vida rápida" se refiere a los organismos que maduran pronto, tienen una reproducción temprana, una menor inversión en la pareja y descendencia, su conducta suele ser más impulsiva y agresiva. Tendrán la mayor descendencia posible, quizás en forma promiscua, con bajos o ningún cuidado parental y alta mortalidad infantil. La vida rápida es aceptable en un entorno hostil e impredecible, con recursos escasos y con alta mortalidad.

(2) La estrategia de "vida lenta" requiere la formación de una sociedad con individuos prosociales, con parejas monógamas de largo plazo, un cuidado parental que extienda los plazos reproductivos y un ambiente menos competitivo. La vida lenta genera individuos más pacientes e indulgentes que aprecian las reglas morales.

La vida rápida como producto del estrés. La vida lenta se asocia al sesgo cognitivo positivo, con bajo estrés y mayor autocontrol en la búsqueda de recompensas.

(1) Roedores: asumen más riesgos. /// Un estudio colocó a ratas y ratones en un laberinto con dos opciones. Un camino bien iluminado (peligroso) con una recompensa mayor y otro más oscuro (seguro) con menor calidad de recompensa. La elección fue la mitad de las veces a cada lado. Luego se los estresó al ponerlos en bolsas de tela por un período corto o golpear algunas veces sus pies. El estrés formó un sesgo cognitivo negativo que los impulsó a tomar más riegos y elegir el camino peligroso con una recompensa mayor. Este cambio de sesgo duró meses. El estrés (sesgo negativo) sobreexcitó la actividad (vida rápida) lo que encaja con la conducta humana donde, bajo estrés, se acepta asumir más riesgos.

(2) Estornino pinto (*Sturnus vulgaris*)**: impulsa la recompensa inmediata**. **///** En un estudio con estorninos se los colocó en un entorno muy competitivo durante unos días. Se encontró que cambiaron sus conductas invirtiendo menos en mantenimiento físico, bajando de peso y con niveles reducidos de reparación de ADN. Desarrollaron una psicología rápida, prefiriendo las recompensas inmediatas sobre otras más rentables a futuro. Tenían menor autocontrol. Esto tiene sentido desde un punto de vista evolutivo: si pueden morir en cualquier momento, la mejor oportunidad es ahora. Por el contrario, en un entorno más favorable y predecible, los organismos cambian a una estrategia de vida lenta.

La moral incorpora muchas de las buenas prácticas de la selección natural. El cuidado parental es una conducta favorable a la perpetuación de la especie y el mantenimiento de la moral. Está asociado a la vida lenta junto con la monogamia, una norma muy común en la moral. En los animales, la moral se entiende por las conductas y no por los motivos. La conducta moralizante es aquella que tiende a mejorar el bienestar del grupo, incluso a costa de disminuir el bienestar del individuo. La moral en los animales se puede manifestar como la aversión al daño y a la inequidad, en la empatía, en el valor del prestigio y el apego a las normas y en ocasiones, la violación de ciertas normas.

Vida lenta en primates. /// Un estudio de ocho años siguió a 128 individuos de 36 especies de primates. Se evaluó la manipulación de alimentos en todo el ciclo de

desarrollo. Se encontró que el orden y el momento en que aparecen las acciones de manipulación se repiten en la filogenia. Por ejemplo, el primer paso es tomar un objeto con una mano. Se concluyó que es poco probable que las habilidades más desarrolladas evolucionen en especies de vida rápidas. La vida lenta sería también un trampolín para llegar a habilidades desarrolladas.

aversión al daño

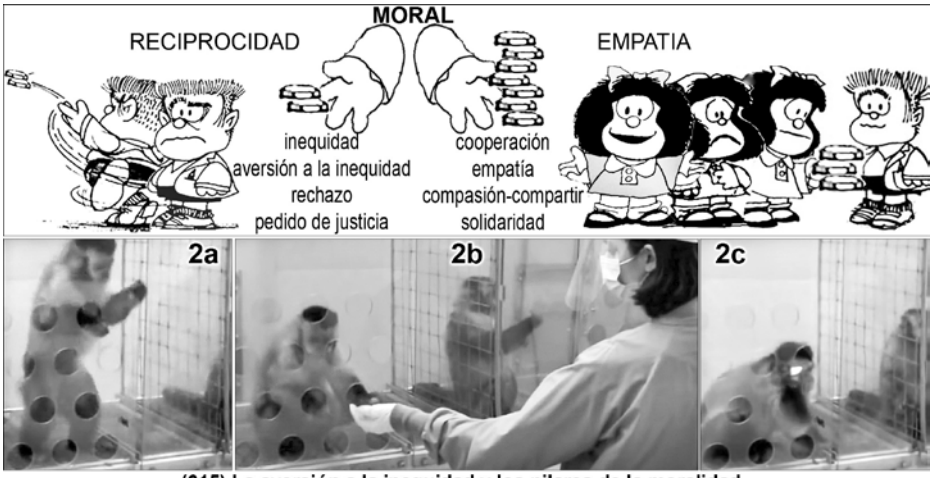
La "aversión al daño" es el rechazo para hacer una acción que daña a otro. En los animales sociales con vida lenta se debería formar una moral de grupo. Se requieren módulos de conducta que permitan entender al otro, por eso la teoría de la mente se necesita en una sociedad que desarrolle rituales y creencias. El juicio intuitivo de lo que es correcto e incorrecto puede surgir de las aversiones. La aversión al daño supone entender el sufrimiento del otro y empatizar, de forma que asumirá un costo para evitar el daño.

Ratas: rechazan hacer daño.

(1) /// En un estudio con 24 ratas se les mostraron dos palancas, donde una entregaba más recompensas que la otra (una y dos pastillas de sacarosa). Luego, se cableó la palanca más gratificante para que además del premio generara una descarga eléctrica en el piso de una rata vecina. Cuando la rata accionaba la palanca recibía la recompensa, pero el vecino sorprendido reaccionaba chillando. Un grupo de 9 ratas dejaron de usar la palanca preferida de inmediato y pasaron a la otra (perdían en cantidad de pastillas). La aversión a producir daño ocurrió con ratas conocidas o desconocidas. Una rata dejó de usar las dos palancas quizás angustiada por el daño. En tanto, otras parecían indiferentes, en una demostración de personalidad. Luego se aumentó la recompensa a 3 pastillas y algunas ratas que habían dejado de usar la palanca de 2 pastillas siguieron haciéndolo. Por lo visto, la solidaridad tiene un valor económico. Luego se anestesió en el cerebro el área asociada a la empatía, y las ratas siguieron usando la palanca. Habían perdido la motivación interna en ayudar.

(2) El cableado neuronal. /// En otra fase, se trabajó en el área cerebral asociada a la aversión al daño y la empatía. La misma región cerebral que en el hombre se asocia a la empatía, en las ratas se vincula con las emociones. Son neuronas espejo que se activan ante el dolor propio y el ajeno. Luego, se aplicó un anestésico local que redujo la actividad cerebral. Esto eliminó la aversión al daño y la rata aplicó el castigo sin remordimiento. Se concluyó que la motivación moral que impide hacer el daño en humanos y ratas tiene un cableado similar. Algunos argumentaron que se desconoce si la rata tiene una motivación egoísta (no sentir gritar) o altruista (no causar daño). Pero esta discusión también se plantea en los humanos. En muchos casos, el altruismo parece una fase superior del egoísmo. Por ejemplo, se puede hacer un acto altruista pensando en una recompensa divina posterior.

Suricatas (*Suricata suricatta*)**: las "señales sinceras" evitan hacer un daño. ///** En Kalahari durante 10 años se estudiaron 422 interacciones en 36 grupos de suricatas. Se encontró que una parte de las interacciones entre grupos se resolvió sin luchar y con un grupo abandonando el lugar. Cuando el combate fue inevitable, fue precedido por un baile que pudo llegar a disuadir al otro grupo. El 86 % de las interacciones agresivas terminaron antes de empezar. Se contaron 13 interacciones (de las 422) con muertes, con un total de 22 muertos. También en la



(615) La aversión a la inequidad y los pilares de la moralidad
(arriba) La aversión a la inequidad lleva al rechazo y la justicia. La empatía lleva a la compasión y compartir (prosocial). **(2)** En las pruebas con capuchinos se entregan premios diferentes (zanahoria y uvas). El mono que que recibe la zanahoria (2b) aborrece la inequidad y la tira (2c) al experimentador. Pero, en este caso, no hay una búsqueda para compartir entre estos monos.

lucha una conducta de cooperación que respete las señales sinceras puede ayudar a reducir el daño como un colateral de la "aversión al daño".

Macaco Rhesus: prefieren sufrir a dañar. /// Ya en 1964 se publicó un trabajo que informaba que el Rhesus prefería sufrir a hacer daño. Se había entrenado a macacos para tirar de una cadena que les entregaba comida. Luego esta acción, se conectó con un shock eléctrico a un compañero. Un Rhesus llegó a dejar de tirar de la cadena durante doce días después de presenciar el impacto de su accionar. Prefirió el hambre pero evitó producir un daño a otro animal.

mitigar la inequidad

(F615) La "aversión a la inequidad" es el rechazo a una distribución injusta. El rechazo se manifiesta ante una desproporción en las recompensas durante las pruebas de laboratorio. Se observa como pérdida de colaboración y, en ocasiones, enojo y agresión. Casi todos los ejemplos (capa de cooperación) se refieren al rechazo cuando la inequidad se percibe como un perjuicio (balance negativo). Rara vez la inequidad es compensada cuando se obtiene un beneficio (balance positivo). Es decir, se magnifica "la injusticia que me afecta", pero se esconde "la justicia que me beneficia". En los loros y chimpancés, se tienen buenos ejemplos de solidaridad donde una recompensa es compartida o se facilita la obtención de alimento al otro. Es la "compensación de la inequidad".

Urracas alas azules (*Cyanopica cyanus*)**: sobre cómo compartir para "mitigar la inequidad".**

(1) /// Un estudio con este córvido entregó gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*)

como alimento. Se formaron tres grupos, uno que recibía gran cantidad; otro, con una cantidad regular y el tercero que no recibía nada. Se les dio la posibilidad de compartir gusanos a través de una malla de alambre. Se encontró que tendían a compartir la comida teniendo en cuenta la ración que recibía el otro para tratar de corregir la inequidad. Las hembras compartían con los que no tenían nada y los machos con todos. Las urracas comparten comida como respuesta a la mendicidad, pero en este caso también lo hacían sin mendigar.

(2) /// En otro experimento se construyó una percha mecánica con un mecanismo de balancín y un brazo en la jaula contigua. En un extremo, se posaba una urraca y en el otro, se entregaba una comida a otra urraca. La urraca que se posaba en la percha no recibía nada. Si la urraca abandonaba la percha, la comida se volvía inaccesible para ambas. Así que, si se posaba en la percha, era para entregar comida, no para comer. Se encontró que tenían un interés particular en hacerlo ya que solo operaban el aparato, cuando había comida para repartir y una urraca para recibir. Esto indica que entendían el mecanismo.

aversión al cambio de opinión

La aversión al cambio de opinión lleva a persistir en el error. En economía, la falacia del "costo hundido" se refiere a seguir considerando los costos (gastos realizados) que son irrecuperables. Esto lleva a negarse a renunciar, cuando se ha invertido mucho tiempo y trabajo pero no hace más que aumentar las pérdidas. Parece que los animales (y humanos), cuanto más recursos dedicaron, más probable es que persistan, aunque sea inútil. Los costos hundidos se relacionan con la aversión al cambio de opinión que tiene un costo en autoestima. Nadie quiere reconocer que se equivocó.

Ratones: aversión al cambio de opinión. **///** Un experimento trabajó con 4 ratas en un "patio de comidas". Consistía en un pasillo circular con 4 rayos salientes. En el extremo de cada rayo había un tipo de comida (pallets de plátano, cereza, chocolate o un pallet insípido). Cuando una rata llegaba al extremo del túnel se escuchaba un tono que indicaba el tiempo de espera para recibir la comida (1 a 45 seg). Era el "costo" de la comida. En tanto, otro tono indicaba el tiempo faltante (una cuenta regresiva). Las ratas podían abandonar la espera y probar suerte en el próximo puesto, pero tenían un tiempo máximo de trabajo (60 minutos) por lo que debía decidir rápido. Las ratas tenían el cerebro cableado de forma que los investigadores sabían "que pensaban" acerca de los sabores preferidos. Los ensayos midieron la reacción cuando decidían cambiar de túnel y se les presentaba un costo mayor que el anterior (una mala decisión). El arrepentimiento se observaba como un cambio de conducta. Al principio rara vez cambiaban de opinión ante una mala elección. Solo se apresuraban a consumir el alimento (promedio 5 seg). En cambio, ante una buena decisión la disfrutaban con más tiempo (20 seg gastados entre consumo y acicalamiento). Cuando tomaban una mala decisión, persistían en la espera. En la medida que el precio del producto aumentaba (tiempo de espera) tenían que reconocer la mala decisión. Posterior a un cambio de opinión aumentaba la probabilidad de aceptar malas ofertas. Más adelante aprendieron a tomarse un tiempo extra para planificar con anticipación y evitar malos acuerdos. El tiempo invertido en decidir daba a entender que había algún

costo detrás del cambio de opinión. Al planificar con anticipación redujeron la probabilidad del cambio de opinión, aunque no tenían ganancia de alimento.

Primates: más lo intentan, más persisten. /// En un estudio se trabajó con 26 capuchinos y 7 macacos. Debían jugar un videojuego operando un joystick que movía un cursor en la pantalla cuyo objetivo era seguir a un objeto en movimiento. Cuando cumplían con el seguimiento, sonaba una alarma y obtenían el premio. Las pruebas podían ser de 1, 3 o 7 segundos (para los monos un segundo es mucho tiempo). Pero, la mayoría de las rondas eran de un segundo. La mejor decisión consistía en abandonar si no se obtenía el premio rápido y empezar de nuevo desde el inicio. Se observó que persistían por mucho tiempo (hasta los siete segundos) si no obtenían el premio. Cuanto más lo intentaban, más persistían. Parece ser una conducta innata y arraigada en los primates porque en los humanos ocurre lo mismo. En un experimento con humanos, se les ofrecía ver un video a elección, pero existía un "tiempo para bajar el video" (el costo). Aunque el costo resultara ser muy alto, una vez que tomaban una decisión, estaban resueltos a esperar. Ocurre cuando se ve una película hasta el final aunque no guste porque ya se pagó por ella.

la reputación

Existe un vínculo entre la moralidad y la reputación. La capacidad de evaluar a otros ayuda a estabilizar la sociedad mediante la exclusión de los malos interlocutores sociales. Una hipótesis dice que hay dos grados de moralidad. El primero es la "moralidad uno-a-uno" que gobierna el cómo un individuo puede esperar ser tratado (p.ej., respeto a la propiedad). El segundo es la "moralidad como interés de la comunidad" que se extiende a la armonía del grupo en su conjunto (p.ej., intervenir para interrumpir una pelea).

Suricata: sobre la reputación y como se gana credibilidad. Los suricatas son territoriales, dejan heces y aroma anal para marcar sus madrigueras. Dentro del grupo, algunos suricatas ofician de centinelas haciendo guardia mientras el resto busca comida. Aquí es donde interviene la moralidad en interés de la comunidad. Los suricatas que buscan insectos para comer, entierran la cabeza en la arena, por lo que deben confiar en los centinelas para ser alertados de serpientes, halcones o chacales. Las llamadas confiables del tipo "todo despejado" permiten el trabajo de búsqueda con confianza. **///** Un estudio siguió a nueve grupos de suricatas en el desierto de Kalahari (Sudáfrica). Había entre 3 y 23 animales por grupo. Las pruebas con grabaciones permitieron medir el grado de confianza del grupo. En el caso de los guardias más confiables, el tiempo de alerta de los buscadores se reducía a la mitad. Estos superguardianes no eran los viejos o de alto rango; cualquier individuo tiene el potencial de ser un vigilante efectivo. Entre los suricatas, el puesto de máxima confianza (credibilidad) se gana.

Capuchinos y macacos: la persistencia de las normas y el uso de atajos. Los trabajos con macacos y capuchinos indican que aprovechan la oportunidad cuando pueden cambiar a una opción más eficiente (mediante atajos opcionales). Tienen menos inhibiciones morales en violar las reglas que los humanos.

(1) /// Un trabajo planteó una secuencia de eventos usando una computadora. Parti-

ciparon 22 capuchinos, 7 macacos Rhesus y 56 humanos. Por prueba-error aprendieron que debían presionar en orden un cuadrado rayado, un cuadrado punteado y luego un triángulo. Si seguían este orden, recibían un premio (bolita de plátano), si cometían un error, tenían un castigo (tiempo de espera). Cuando habían entendido el proceso, se les presentaba, de entrada, el triángulo del final, de forma que actuaba como un atajo. Todos los monos usaron el atajo (70 % la primera vez), pero el 61 % de los humanos no lo hizo. Un 30 % de los humanos tomó el atajo cuando vio, en un video, que se podía hacer. Pero el resto se mantuvo fiel al procedimiento inicial.

(2) /// En una prueba en Namibia, se trabajó con hombres de la tribu seminómada Himba. Se encontró que el 50 % respetaba la norma. En otra prueba (zoológico de Atlanta), se probó con niños de siete a diez años. Se encontró que tenían cuatro veces más probabilidad de usar el atajo que los adultos. Los humanos parecen estar más apegados a las reglas, por lo que pueden llevarlos a tomar decisiones ineficientes y perder oportunidades. Esto también podría indicar un apego mayor a la moral en los humanos que en los animales, entendido como reglas éticas de respeto a las normas establecidas. También podría indicar que, en las pruebas con humanos, no se llegó al nivel de recompensa suficiente como para violar las normas.

la moralidad

Chimpancé: sobre cómo llegar al último neumático y la moral de un simio. /// En el zoológico de Arnhem (Países Bajos), cada mañana se limpiaban con manguera los neumáticos y se los colgaban, uno a uno, en un tronco horizontal. En cierta oportunidad, un chimpancé (*Krom*) se interesó por el último neumático que estaba lleno de agua. Una secuencia de seis neumáticos impedía quitarlo. Krom tiró del neumático deseado pero no pudo moverlo. Trabajó en vano por diez minutos y se resignó. Otro chimpancé (Jakie), que observaba la acción, se acercó, quitó uno a uno los neumáticos del tronco y cuando llegó al último, lo extrajo con cuidado para que no se perdiera el agua. Luego, Jakie le llevó el neumático a Krom, quien lo aceptó y usó las manos para recoger el agua. Una mirada superficial muestra la capacidad cognitiva de Krom para resolver un problema. Aunque, bien pudo ocurrir que antes hubiera observado a otro chimpancé o a un cuidador hacer esta operación. Pero la cuestión importante está en por qué Jakie ayudó a Krom. Una posible interpretación es que Jakie interpretó el deseo o necesidad, decidió ayudar y tiene consciencia de que ayudó (teoría de la mente). Es decir, **hizo algo que sabe que está bien hacer y quizás tenga la idea de que todos deberían actuar igual. Sería un simio moral.**

Chimpancé: sobre la moralidad del reparto desigual del producto de la caza en grupo. /// En el P.N. Tai (Costa de Marfil), la selva es densa y elevada y para cazar a un mono colobo rojo (*Piliocolobus badius*) los chimpncés necesitan formar un grupo de cacería. En cambio, en Gombe, cazan el colobo rojo en forma individual, ya que los árboles son bajos y están más separados. El grupo de caza en Tai es de tres o cuatro chimpancés con cierta división del trabajo: el que conduce, el que bloquea, el que persigue, el que hace la emboscada. Se turnan en cada puesto según lo requiera la situación. Tienen que aprender los roles, donde la emboscada es anticipatoria y el bloqueo requiere fuerza y edad. Necesitan veinte años para convertirse en un buen cazador. Durante la cacería,

se juntan observadores pasivos. Cuando un chimpancé del grupo de caza atrapa al colobo, es rodeado por los otros. Es el momento de la moralidad en el contexto de una acción colectiva. El que obtuvo la presa la comparte, de forma que los que participaron de la cacería obtienen una porción mayor que los observadores. Este reparto desigual se produce en un ambiente de igualdad de reclamos de mendicidad. Lo que ocurre es que el reparto desigual incentiva la participación en el grupo de caza.

Bonobo: tienen una idea sobre el compromiso social. /// Un experimento en semicautividad, consistió en esperar a que un grupo de bonobos se embarcaran en el acicalamiento. Luego, se hacía un fuerte ruido con la puerta (estímulo general) o se llamaba a un bonobo por el nombre (estímulo dirigido). Se observó que, luego de la interrupción, los bonobos reanudaban la actividad donde había sido truncada. Se notó que hacían señales para suspender y reanudar la interacción. Tienen cierta consciencia de las consecuencias sociales de interrumpir un compromiso conjunto.

los dioses moralizantes

A la moral animal se le suma la religión en los humanos. Para tener moral no se requieren compromisos religiosos. Es probable que los animales tengan una moral básica y que la religión sea una evolución exclusivamente humana que se inició hace 50.000 años con el animismo. En las religiones animistas, los objetos son símbolos y tienen espíritu, pero se necesita que todo el grupo comparta esta creencia. Es posible que los animales alcancen un nivel de evolución con creencias y moral (son estados mentales que por el momento no se pueden interpretar). Pero, los pasos siguientes, dioses moralizantes y las religiones, son una exclusividad de los últimos milenios de los humanos. Sin lenguaje (diálogo) no hay dioses compartidos.

El camino a la moral en los grupos humanos en crecimiento. En los grupos tribales pequeños, como los Hadza del Serengueti (Tanzania) y los Bosquimanos del Kalahari, no se preocupan por la moralidad. Estas sociedades son transparentes, la interacción cara-a-cara hace que sea difícil escapar del foco social. El altruismo familiar y la reciprocidad son suficientes para mantener los lazos sociales. Pero cuando los grupos crecen, el anonimato es más común y la cooperación se rompe. Entonces se necesitan otros coagulantes para sostener la cooperación, confianza y sacrificio personal. Fue la moral la que fomentó las muestras de devoción (ayunos, tabúes, rituales) que permitían transmitir de manera confiable las creencias. Así se pudieron integrar a desconocidos anónimos en comunidades moralmente unidas. Una ayuda fue la presencia de un dios como jurisdicción sobrenatural en común.

En Göbekli-Tepe, hace 11.500 años, primero fue el templo y luego la ciudad. Una hipótesis dice que primero fue la ciudad estable y luego la religión. Pero hay un contraejemplo en el sitio arqueológico de Göbekli-Tepe (Turquía). Tiene obeliscos de piedra tallados con figuras mitad humanas y mitad animales. El sitio es el primer lugar sagrado conocido hecho por el hombre. Necesitó un gran esfuerzo comunitario, pero los primeros signos de la agricultura aparecen 500 años después. Esto significa que los constructores fueron cazadores-recolectores que se unieron detrás de una creencia religiosa compartida. En este caso parece que primero fue el templo y luego, la ciudad.

El pasaje a una estrategia de vida lenta en los humanos. En los animales, muchas sociedades hicieron un pasaje a la vida lenta. Una teoría sugiere que el hombre realizó un salto hacia la vida lenta en Oriente Medio, hace unos 2.500 años. Esto habría coincidido con el surgimiento de las religiones moralizantes. **///** Un buen indicador de la riqueza de las sociedades es el uso de energía per cápita. El valor de 5.000 kilocalorías/día para egipcios y sumerios, se duplicó gracias a las ciudades. Con riqueza, estabilidad y predictibilidad, la estrategia lenta fue en aumento (Grecia y Roma). Pero el que adoptaba una estrategia más lenta estaba en desventaja frente a las rápidas. Por ejemplo, la fidelidad está en desventaja frente a la infidelidad, el perdón frente a la venganza, el trabajo frente al ocio, ser pacifista frente al beligerante, etc. Esta desventaja incentivó a crear una moral que condenara los comportamientos rápidos. Aquí interviene el aporte de las religiones de moralidad lenta, con castigos para los transgresores. En las religiones greco-romanas, se privilegiaban los rituales, sacrificios y otras formas de pedir favores a sus divinidades. Eran religiones materialistas y fueron reemplazadas por las moralistas. En la actualidad, la mayoría de la población ya tiene un estándar de vida lenta con riqueza creciente y entonces se produce un declive gradual de la moralización mediante la religión.

Primero el crecimiento de la sociedad, luego los dioses moralizantes. /// Un estudio trabajó con registros de 414 sociedades, unos 10.000 años de historia en 30 regiones del planeta. Se utilizaron 51 índices de complejidad social (población, burocracia, dinero) y cuatro índices de lo sobrenatural y moralidad. El estudio confirmó una relación entre la complejidad social y la adopción de dioses moralizantes. Primero se llegó a una sociedad compleja y luego aparecieron los poderosos (grandes) dioses moralizantes. El castigo sobrenatural a favor de la conducta prosocial aparece con poblaciones de más de un millón de personas. La moralización mediante dioses no es un requisito previo para la complejidad social. Es un requisito para mantener y expandir imperios multiétnicos complejos. Los rituales que son un estándar de las tradiciones son los que preceden a los dioses moralizantes. Entonces, para el aumento inicial de la complejidad social, las prácticas rituales eran más importantes que el contenido de las creencias religiosas. En el hombre se pueden separar moral y religión, debido a que existen otros medios de control social (p.ej., las leyes) para asegurar la moral. Un atractivo de la religión es que los sentimientos religiosos parecen ser menos egoístas que las leyes.

Las ventajas del pasaje del animismo a una religión moralizante. /// La etnia Oromo en África nororiental mantuvo su religión animista (lo material tiene un alma) aun viviendo en contacto con los musulmanes. Pero en la segunda mitad del siglo 19, una guerra arruinó a la población y el comercio de marfil y ganado. En pocas décadas, toda la sociedad se había convertido al islam. Esto les permitió ingresar en una de las redes de comercio de larga distancia. Los oromos tuvieron que demostrar que profesaban la nueva fe, renunciando a la carne de cerdo, evitando el alcohol, reformando las reglas de poligamia y rezando cinco veces al día. Fueron demostraciones de fe que garantizaban a otros musulmanes que cumplirían su palabra. La religión abrió el acceso a las redes económicas y sociales en todo el mundo. Los grupos con dioses moralistas e intervencionistas se expanden porque funcionan mejor que los grupos aislacionistas y no cooperativos.

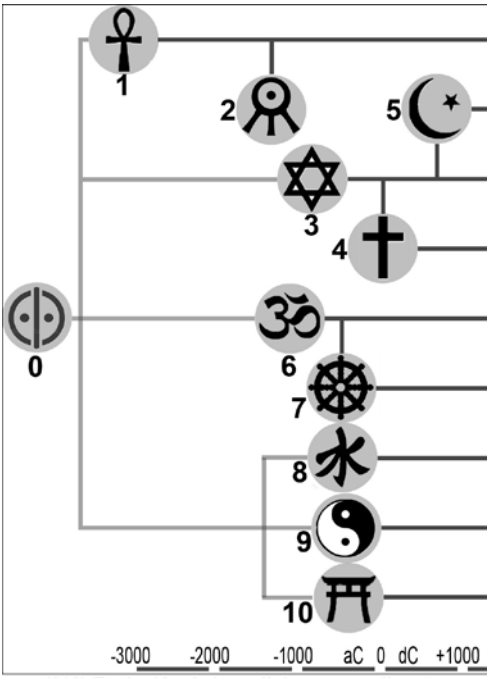
las religiones

El origen de la religión. El cerebro humano evoca en forma natural un mundo imaginario de espíritus, dioses y monstruos. Más inseguro se siente, más difícil es resistir la atracción de este mundo sobrenatural. Las ideas religiosas son comunes a todas las culturas, como el lenguaje y la música. Hay varias teorías sobre el origen de las creencias religiosas.

-Una teoría dice que la religión fue un proceso de selección, evolución y dispersión de genes. Es decir, una adaptación genética que ayuda a sobrevivir y por eso se propaga. El problema de esta hipótesis es que la creencia en la "vida después de la muerte" es incompatible con la propagación de genes que deben ser egoístas. Si hay ventajas adaptativas, estas no explican el origen, sino la permanencia.

-Otra teoría dice que la religión surge como un subproducto de la mente humana. No significa que hay un "módulo de dios" en el cerebro, pero sí que las capacidades cognitivas humanas generaron una tendencia al pensamiento sobrenatural. Algunas de las bases de nuestras creencias religiosas estarían "cableadas" en el cerebro.

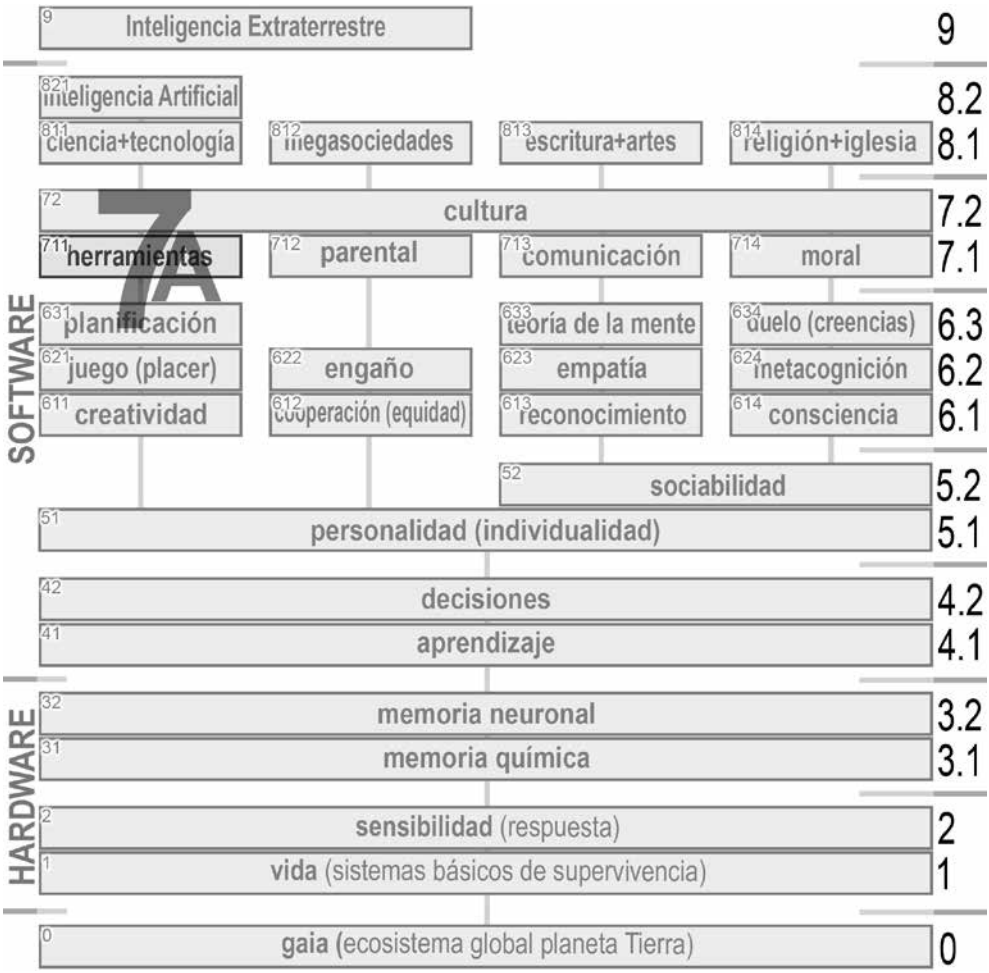
-Una tercera alternativa dice que la "tragedia de la cognición" es la facultad de anticipar eventos futuros (incluyendo la muerte). Por eso, el aumento de la cognición generó sus anticuerpos predisponiendo a formas supersticiosas de pensamiento. La creencia religiosa es el "camino de menor resistencia", mientras la incredulidad requiere un esfuerzo. El ateísmo es difícil de vender.



(616) Evolución de las religiones moralizantes
(0) origen común de religiones animistas (ligadas al alma). (1) politeismo egipcio (3000 aC) y (2) atonismo (1350 aC), (3) judaismo (950 aC), (4) cristianismo (30 dC), (5) islamismo (620 dC), (6) hinduismo (1000 aC), (7) budismo (520 aC), (8) taoismo (550 aC), (9) confucionismo (500 aC), (10) sintoismo (500 aC).

(F616) Religiones moralizantes. Los principales movimientos ascéticos y moralizantes son el judaísmo (900 aC), hinduismo (800 aC), budismo (520 aC), cristianismo (30 dC) e islamismo (620 dC). Surgieron cerca en el tiempo, en tres regiones de Eurasia y provocaron el aumento del nivel de vida. Se basan en la noción de que la existencia humana tiene un propósito distinto del éxito material. Radica en una existencia moral y en el control mediante la moderación (comida, sexo, ambiciones), el ascetismo (ayuno, abstinencia, desapego) y la compasión (ayuda, sufrimiento).

¿Cuántas religiones? Puede ser que la religión sea una buena salida para evitar el desconcierto. Pero esto no asegura que exista una única salida garantizada. **///** El estudio de la evolución de las religiones indica que, mientras se crean nuevas entidades religiosas, la mayoría (casi totalidad) desaparecen. A la larga, casi todos los movimientos religiosos fracasan. Un estudio analizó 200 comunas (religiosas y seculares) en Norteamérica del siglo 19. Se encontró que la vida media de las comunas religiosas fue de 25 años. En 80 años, nueve de cada diez se habían disuelto. A las comunas seculares, la mayoría socialistas, les fue peor. Duraron un promedio de 6,4 años y el 90 % desaparecieron en menos de 20 años.


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad (individualidad) 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

MODELO DE CAPAS

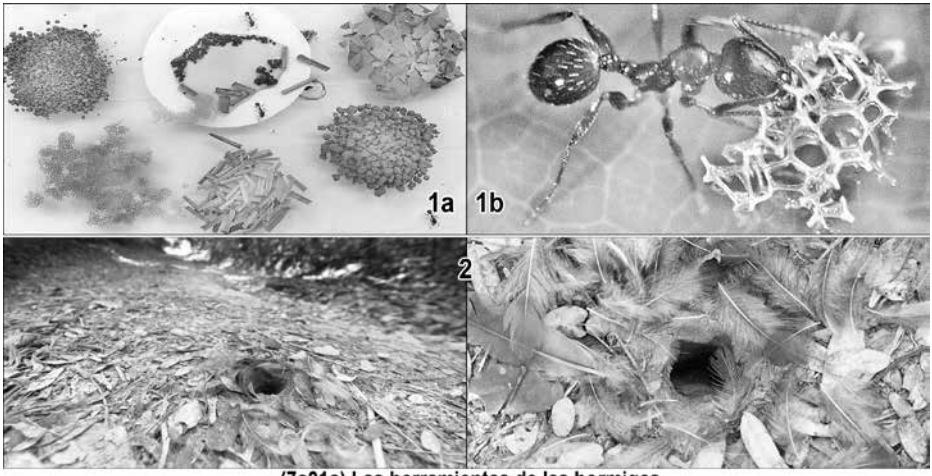
711 herramientas

¿de qué se trata? En el contexto del modelo de capas, el uso de herramientas se considera en un sentido amplio. La capa de herramientas da soporte a la superior capa de cultura. Por esto es importante la forma en que se usa la herramienta y cómo es el aprendizaje. Para ser cultural, el uso de una herramienta debe enseñarse y propagarse entre generaciones. El concepto de herramienta incluye las ciencias, la automedicación, la agricultura en las hormigas, etc. En los humanos se llega a un nivel superior, la capa de ciencia y tecnología (incluye la capa de inteligencia artificial). En general una herramienta puede ser un elemento natural (sin modificar) o procesado para la ocasión, pero siempre usado para algún propósito. El uso de un concepto amplio expone los hechos y deja la valoración en manos del lector. No se pretende encerrar el tema en un corsé, sino abrirlo.

hormigas

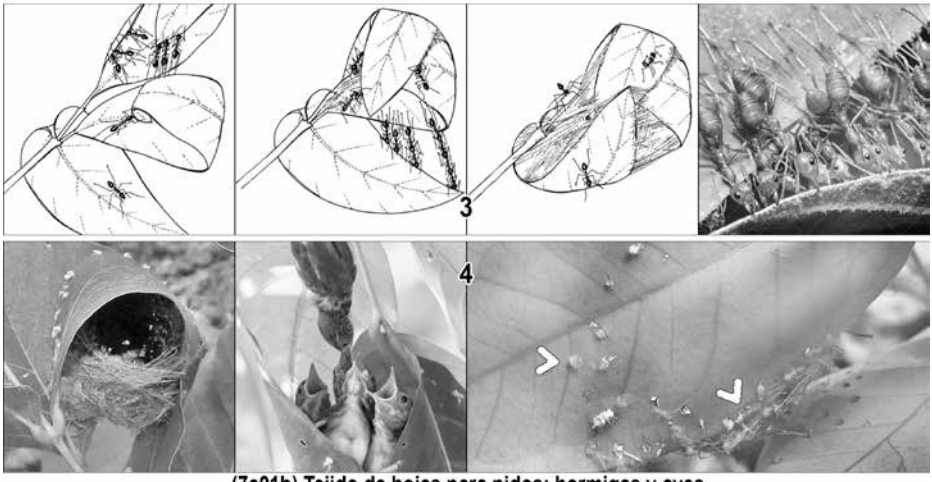
Todo lo accesible se convierte en una herramienta. Usan materiales del ambiente (hojas y ramas, granos de piedras, plumas, pegamentos) y también seres vivos (musgo, hongos, áfidos, etc.). Los usan como alimento, para colectar líquidos, para fabricar nidos, como armas. Hay hormigas que doblan hojas para hacer el nido, otras tiran granos de piedra o tierra como ataque, algunas usan hojas o madera para absorber líquidos. Las hay que desarrollaron la ganadería de hongos y áfidos o la agricultura de semillas. La mayoría son expertas en la automedicación, recurriendo a compuestos químicos propios y de bacterias asociadas.

(F7a01) Herramientas para el transporte de líquidos. Muchas especies de hormigas tienen un estómago que se expande para llenarlo de alimento. Luego lo regurgitan. Pero otras no tienen este recurso y dependen de conseguir envases en el ambiente. Tal es el caso de las hormigas carnívoras del género *Aphaenogaster*. ***///*** En un estudio se ofreció a dos especies de hormigas varias alternativas naturales (ramas, agujas de pino y granos de tierra) y artificiales (esponjas y papel). Las obreras de una especie (*A. subterranea*) prefirieron los granos pequeños del suelo para absorber miel diluida y espon-



(7a01a) Las herramientas de las hormigas

(1) Las hormigas *Aphaenogaster* usan hojas, agujas de pino, piedras, esponjas o papel para absorver líquidos y llevarlos al nido. (1a) Prueba en laboratorio y (1b) una hormiga con una esponja. **(2)** La hormiga *P. oxyops* usa plumas para camuflar la entrada al nido que actúa como trampa para insectos.



(7a01b) Tejido de hojas para nidos: hormigas y aves

(3) La hormiga tejedora (género *Oecophylla*) fabrica un nido con hojas en un trabajo cooperativo.
(4) También el pequeño pájaro sastre común (*Orthotomus sutorius*) teje hojas para hacer su nido.

jas para la miel pura. Incluso rompieron la esponja en pedazos más pequeños para un mejor manejo. Las obreras de la otra especie (*A. senilis*) comenzaron usando todas las alternativas, pero se enfocaron en trozos de papel y esponja, porque podían absorber la miel diluida. Se concluyó que aprendieron por prueba-error y eligieron entre alternativas posibles. Se observó que modificaron el tamaño de una herramienta para facilitar el manejo. Prefirieron granos de tierra frente a las hojas, quizás por la facilidad de transpor-

te. Los factores que influyeron en la elección fueron el peso, la capacidad de absorción, la facilidad de manejo y la distancia de transporte. Si la distancia aumentaba, elegían herramientas más pequeñas. Una observación interesante fue cuando soltaron agujas de pino sobre el agua, pero no las recuperaron. Las usaron de cobertura para caminar. Otras veces cubrieron el alimento con granos o astillas para ocultarlo y llevarlo más tarde. Fue un mecanismo de engaño para preservar el monopolio de la fuente de alimento.

Hormiga brava (*Solenopsis richteri*)**: usan granos de arena como relleno. ///** Para un ensayo con estas hormigas de Sudamérica se colocó un pequeño recipiente de agua azucarada de 2,5 cm de altura. Las hormigas podían flotar y se alimentaban en la superficie. Como los exoesqueletos son hidrofóbicos actúan de flotadores. Luego se agregó un compuesto surfactante que rompe la tensión superficial del agua y las hormigas comenzaron a hundirse. Entonces comenzaron a llevar granos de arena al interior del recipiente para poder pisar sobre ellos. Son los mismos granos que usaban para extraer el agua azucarada. Pero esta operación nunca se había observado en contenedores sin surfactante. Así que aplicaron un enfoque adaptable al uso de la herramienta (los granos) para objetivos distintos.

Los granos de piedras usados como armas. /// En un reporte de Brasil se informa que una especie del género *Dorymyrmex* extrae los materiales del nido y forman un montículo. Las obreras mantienen la forma circular alrededor del nido de manera que las hormigas de otras especies tienen dificultades para escalar los montículos. Esto sugiere que cumplen una función protectora. En observaciones en Norteamérica se encontró que hormigas del mismo género arrojan piedras pequeñas a hormigas competidoras. En estos dos casos el manejo de piedras es defensivo y ofensivo. Por ejemplo, en el oeste de Norteamérica, la hormiga *D. bicolor* convive con tres especies de hormigas melíferas (género *Myrmecocystus*). Las melíferas se llaman así porque acumulan "miel", de forma que se hinchan y son una reserva viviente de alimento. Además, secretan una sustancia venenosa de sus glándulas. Así que las obreras de *D. bicolor* rodean el nido de las melíferas y arrojan piedras y otros objetos intentando bloquear la entrada. Basta que algunas obreras arrojen piedras en el nido de las melíferas para obligarlas a trabajar quitando materiales de la entrada.

(F7a01) Hormiga *Pheidole oxyops***: usan plumas como camuflaje de una trampa.** Las observaciones en Viçosa (Brasil) muestran que estas hormigas colocan plumas fuera del nido. **///** Un estudio verificó dos posibles razones: para retener el rocío en áreas secas, o como señuelos para cubrir una trampa. La primera alternativa se probó quitando plumas y colocando bolas de algodón húmedas. Como las ignoraron, se concluyó que no era la humedad lo que interesaba. También se formaron diferentes trampas artificiales y se contó la cantidad de artrópodos (ácaros, colémbolos u otras hormigas). Se comprobó una mayor concentración de artrópodos errantes donde había plumas. Los nidos tienen una boca muy ancha (12 cm de diámetro) lo que actúa de trampa. Una vez que caen en la trampa, las paredes blandas de la entrada dificultan la salida. Así, estas hormigas consiguen alimento casi sin salir del nido.

nidos de hojas

(F7a01) Hormigas tejedoras (género *Oecophylla*)**: hacen un tubo de hojas pegadas con cera.** Estas hormigas son arborícolas y construyen hormigueros entretejiendo las hojas. Las colonias pueden involucrar varios árboles, decenas de nidos y hasta medio millón de obreras. Se alimentan de la caza de insectos y de la melaza de los áfidos. Protegen a las plantas contra insectos, lo que reduce la polinización y dispersión de semillas. También protegen a los áfidos que se alimentan de la savia de la planta y que entregan la melaza. **///** Las observaciones indican que el nido lo fabrican doblando hojas y uniéndolas. Se requiere el aporte de miles de hormigas que forman cadenas para juntar el borde de las hojas. El grupo de construcción aumenta en tamaño en la medida en que el trabajo progresa. Cuando las hojas están dobladas, otras obreras traen larvas en sus mandíbulas que manipulan para que secreten una seda que pega las hojas. Un nido puede ser construido en un día y la fabricación es continua para sustituir los nidos viejos o dañados por las tormentas.

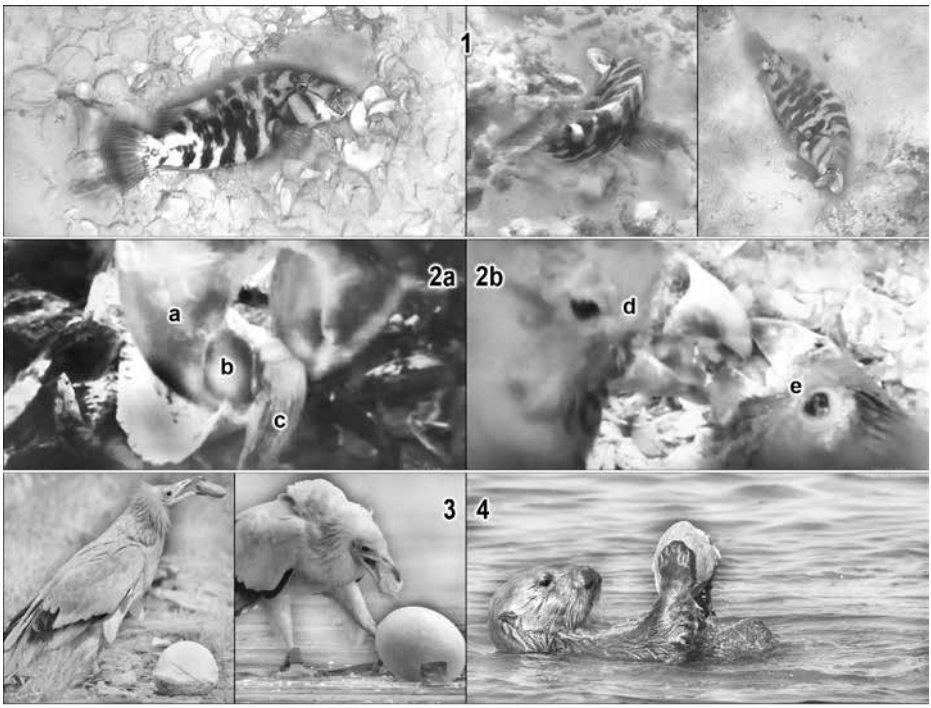
(F7a01) Sastre común (*Orthotomus sutorius*)**: Hacen un nido casi idéntico a las hormigas. ///** Este pequeño pájaro de Asia tropical trabaja con una hoja grande o dos más pequeñas. Con el pico perfora agujeros en los bordes opuestos de las hojas. Toma seda de araña o fibras vegetales con el pico, las enhebra por los agujeros y las anuda para evitar que se salgan. El proceso se repite hasta formar una bolsa en cuyo interior arma el nido. Las hojas están cosidas superpuestas, de forma que se dificulta la visión de la estructura. Se observan dos tipos de puntadas: una consiste en fibras que se abultan en el exterior y funcionan como remaches. En la otra, las fibras se extienden entre varias perforaciones vecinas y parece como una costura. Solo la hembra realiza este comportamiento de costura.

piedras

(F7a02) Peces: algunos usan piedras para romper caparazones y obtener calcio.

(1) En el género *Choerodon*. **///** Varias especies fueron observadas usando rocas como yunques para romper las conchas de bivalvos (vieiras, erizos y almejas). En una especie (*C. anchorago*) se observó que avivaban la arena para desenterrar el bivalvo y lo tomaban con la boca. Luego nadaban varios metros hasta una roca y la usaban como yunque para romper el molusco con golpes laterales de la cabeza. Este tipo de movimiento es observado también en las aves, como el benteveo común (*Pitangus sulphuratus*), para partir insectos contra objetos duros. En otra especie (*C. schoenleinii*), se encontraron restos de bivalvos cerca del yunque. Se estimó que la operación de romper conchas con piedras es algo regular. En otro caso (*C. graphicus*), se vio a los peces golpear bivalvos contra rocas y corales, apartar trozos de coral y conchas con la boca y arrojar arena a un lado con la boca y la aleta.

(2) /// En un ensayo de acuario, los peces dulce (*Thalassoma hardwicke*) recibieron alimento en gránulos inadecuados. Eran demasiado grandes para tragar y demasiado duros para romper con las mandíbulas. Entonces llevaron el gránulo a un yunque para golpearlo. Esto se observó unas quince veces, casi siempre fue una operación exitosa y consistente. La roca seleccionada como yunque fue la misma en todas las oportunidades. Aparece como un rasgo muy arraigado en algunos peces.



(7a02) Herramientas de piedra
(1) Un pez (*Choerodon graphicus*) usa piedras para romper los caparazones de moluscos.
(2) El loro vasa (*Coracopsis vasa*) usa una piedra (2a) para moler una concha y obtener calcio. (a: pico, b: piedra, c: concha). (2b) El macho (d) comparte una piedra con la hembra (e).
(3) El buitre alimoche (*Neophron percnopterus*) usa piedras para romper huevos.
(4) Las nutrias marinas (*Enhydra lutris*) usan piedras para romper conchas de mariscos y almejas.

(F7a02) Loro vasa (*Coracopsis vasa*)**: el uso de piedras para romper conchas. ///** Un estudio filmó durante ocho meses a diez loros en cautividad. Se siguieron las interacciones con conchas de caracoles marinos que estaban en el piso del aviario. Las conchas son una fuente de calcio apreciada por las hembras en época de postura de huevos. Se encontró que la mitad de las aves usaron guijarros de piedra que colocaron dentro de las conchas. Luego golpeaban con el pico y la lengua para molerlas de a poco. También usaron una cuña para romper las conchas marinas. Se observó cómo los machos compartían las herramientas con las hembras. El objetivo de las hembras era obtener una dosis extra de calcio, pero los machos también mostraron interés en esta tarea. La razón es que los machos regurgitan alimento en la boca de las hembras antes de la cópula.

(F7a02) Buitre egipcio alimoche (*Neophron percnopterus*)**: rompe huevos de avestruz con piedras. ///** Cuando el alimoche encuentra un huevo grande, se mete una piedra en el pico y la arroja contra el huevo hasta que se rompe la cáscara. Es una tarea que suele tardar unos minutos porque su puntería lanzando piedras es pobre. Alcanzan el objetivo en el 40-60 % de

los lanzamientos. Son persistentes así que luego de varios intentos logran romper el huevo. Prefieren las piedras redondeadas a las dentadas. Una teoría dice que los buitres primero lanzaban huevos para abrirlos y luego cambiaron para arrojar las piedras. Se trata de una conducta innata ya que se ve en buitres ingenuos, pero deben aprender a asociar los huevos de avestruz con una fuente gratificante de alimento. Aprenden esta asociación cuando encuentran un huevo roto por otra ave y prueban su contenido.

(F7a02) Nutrias marinas (*Enhydra lutris*)**: rompen conchas con piedras**. Estas nutrias tienen un pliegue de piel entre las patas delanteras y el pecho. La usan para llevar alimentos a la superficie o transportar una piedra que usan de herramienta para abrir mariscos y almejas. Suelen flotar de espaldas, colocando la piedra en el pecho y golpeando la concha con ambas patas delanteras contra la piedra. Las madres tienen un cachorro por vez y los cuidan por 6-7 meses, tiempo suficiente como para aprender el comportamiento materno. Las nutrias jóvenes son activas, curiosas y juguetonas. Las patas delanteras son pequeñas y no se usan para nadar. La musculatura y los huesos están adaptados para la sensibilidad táctil y el uso de herramientas (detección, manipulación y consumo de presas).

ramas

Frailecillo (*Fratercula arctica*)**: los palos sirven para rascarse**. **///** A esta ave marina del Atlántico Norte se la observó sostener un palo de madera en su pico y usarlo para rascarse la espalda durante cinco segundos. Estaba sentado en el mar, debajo de los acantilados de la colonia y entre sus congéneres. Luego despegó vuelo llevando el palo. En una cámara trampa en Islandia quedó registrada una conducta similar con un palo del suelo que usó para rascarse las plumas del pecho.

(F7a03) Pinzón carpintero (*Camarhynchus pallidus*)**: el uso de espinas de cactus. ///** Este pinzón de las Islas Galápagos usa espinas de cactus para capturar insectos en la corteza de un árbol. Los pájaros carpinteros tienen lenguas con agujas listas para atrapar insectos en la madera, pero el pinzón carpintero se ayuda de una espina. Tiene tres formas de usar la espina: como un aguijón (expulsa al insecto sin tocarlo), como una lanza para empalar una larva, o como un palo que empuja o mueve al insecto inactivo. La espina es reusable por lo que la lleva en el pico o las patas. Y si la espina no se ajusta al propósito, la modifica acortándola. Algunos usan ramitas de arbustos de moras, una planta que no es nativa, lo que sugiere una costumbre adaptable. Es decir, lo importante es la función y no el origen. El uso de herramientas difiere entre hábitats. En zonas áridas (alimentos limitados y de difícil acceso) las herramientas son esenciales en la estación seca. Hasta la mitad de las presas se adquieren con la ayuda de herramientas. En zonas húmedas, con mayor disponibilidad y facilidad para alimentarse, rara vez usan herramientas. Un experimento encerró a un pinzón que no usa herramienta en un recinto con cactus. Se encontró que adquirió la costumbre de usar espinas durante el encierro. Esto sugiere que aprenden en forma social.

Jabalí de Bisayas (*Sus cebifrons*)**: los palos sirven para cavar el nido. ///** Una observación involuntaria en el zoo de París llevó a descubrir que las hembras usaron palos y corteza para ayudarse en la construcción del nido. Lo hicieron solo cuando

las hembras construían su nido cavando un hoyo. En tres años se observaron once casos de cerdos usando herramientas, de ellos, diez fueron hembras. Adicionalmente se les dieron herramientas (espátulas) para ver si las usaban; pero solo se usaron dos veces y no les daba ventajas al cavar.

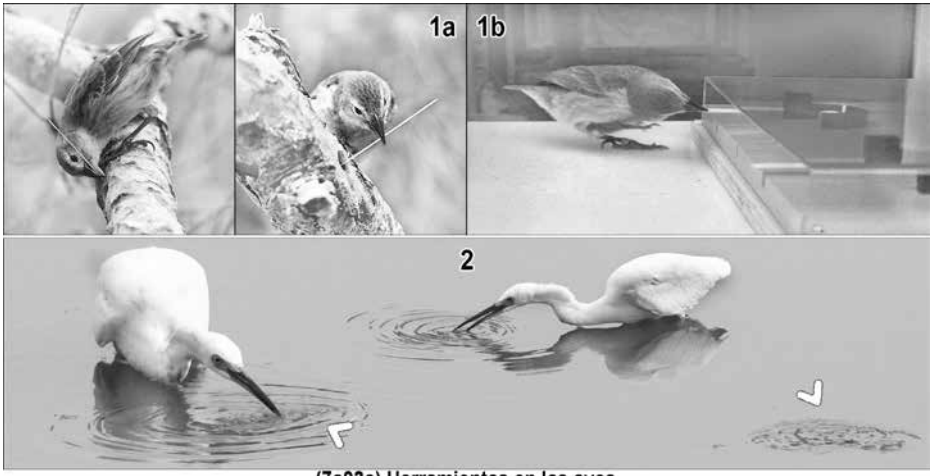
Ratas: pueden usar ramas para alcanzar la comida. /// En un estudio se colocaron ocho ratas en una caja transparente. Se las entrenó para obtener cereal de chocolate (un premio) que se ponía accesible mediante herramientas con ganchos. Aprendieron la técnica sin problemas. Luego se les dieron dos herramientas similares enganchadas. Una funcionaba bien y la otra, no. Seleccionaron la herramienta correcta el 95 % de las veces. Pudieron entender la disposición espacial entre la comida y la herramienta con un gancho. Pero no tuvieron el mismo éxito cuando para obtener el cereal se necesitaba usar un rastrillo. En un caso, el rastrillo se veía normal, pero el travesaño era blando y no podía traer el cereal. No lograron interpretar esta sutileza.

las aves

(F7a03) Garcita verde (*Butorides virescens*)**: uso de cebo en la pesca. ///** Esta garcita aprendió a dejar caer objetos (miga de pan) en el agua y atrapar a los peces que se acercan a la superficie. Esta pesca con cebo es rara y está documentada mediante filmaciones disponibles en YouTube. Que sean pocas las garcitas que usan el método indica que no es una conducta genética. Tampoco se propaga en forma social. Para algunos, es una imitación de los humanos, pero los esfuerzos de enseñanza fracasaron. Para otros, es el resultado de un aprendizaje casual, pero parece difícil relacionar la caída de algo en el agua y la aparición de peces. Lo que parece seguro es que solo ocurriría en individuos muy capaces, los más aventajados de la generación.

Aves rapaces que usan el fuego para capturar presas. /// En el norte de Australia se informó de aves que esparcen el fuego. Son el milano negro (*Milvus migrans*), el milano silbador (*Haliastur sphenurus*) y el halcón berigora (*Falco berigora*). Estas rapaces habitan el bosque y, cuando hay incendios, se los vio tomar una ramita encendida con el pico o las garras y dejarla caer en un sitio no alcanzado por las llamas. El conocimiento de esta costumbre es antiguo porque hay danzas ceremoniales de culturas aborígenes que la memoran. Al menos veinte reportes científicos aseveran estas observaciones. Un episodio reciente (2017) indica que hacen esta operatoria cuando el fuego se está extinguiendo. El uso del fuego en los humanos tiene la evidencia más antigua en Kenia hace 1,7 Ma.

La elección de materiales para el nido de las aves. Las aves fabrican nidos de múltiples formas y algunas son sorprendentes. En muchos casos, seleccionan materiales en forma precisa, sabiendo qué poner en cada instancia del armado (base, paredes o techo). La elección, acarreo y manipulación de materiales para el nido puede ser considerado como uso de herramientas. **///** Por ejemplo, el camachuelo (*Pyrrhula pyrrhula*) hace un nido de ramitas. Un análisis de los materiales encontró que la base contenía ramas más gruesas, fuertes y rígidas. Con el pinzón cebra (*Taeniopigia guttata*), en cautiverio, se reportó que eligen materiales artificiales (cuerdas) en función de las propiedades y la experiencia. También ocurre con el mirlo (*Turdus merula*), lo que sugiere que tienen



(7a03a) Herramientas en las aves

(1) El pinzón carpintero de las islas Galápagos usa espinas de cactus (1a) para capturar insectos y (1b) aprende a usar herramientas en laboratorio. **(2)** Algunas garzas aprendieron a usar cebo como migas de pan o toque suaves de pico, para atraer a los peces a la superficie.

(7a03b) Herramientas en los simios

(3) Un orangután imita a pescadores con una rama. **(4)** También usan ramas para pescar insectos. **(5)** Dos casos de gorilas que usan palos para medir la profundidad del agua y para cruzar una charca.

cierto nivel de conciencia de dónde y cuándo colocar diferentes materiales. **///** Pero no solo en las aves. En el castor (*Castor fiber*), se comprobó que prefieren ramas de sauce (género *Salix*) y álamos (género *Populus*) por encima de otros árboles disponibles. Los materiales se seleccionan de acuerdo con el grosor. Así, cuando elegían aliso (género *Alnus*), lo usaban en ramas muy delgadas.

Pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*)**: la decoración y camuflaje del nido. ///** Un experimento decoró los espacios asignados para los nidos con papel de diferentes colo-

res. Los pinzones quedaron limitados en el ambiente a utilizar. Luego se les ofrecieron tiras de papel de colores para que completaran el nido. Los pinzones eligieron en su mayoría tiras que coincidían con el color del espacio, en un intento de camuflaje. Se observó que algunos tomaban una pequeña proporción de tiras de papel de color diferente. Así aplicaron el "camuflaje disruptivo" para ocultar el nido. Consiste en romper el contorno del nido, con lo que se pierde la forma externa y se vuelve menos atractivo. La construcción del nido tiene algo de innato, pero también de experiencia y de prueba.

los primates

¿de qué se trata? Los primates usan herramientas de muchas formas. Aquí solo se exponen casos simples. Los más complejos (piedras y ramas), donde interviene el aprendizaje por enseñanza, se derivan a la capa de cultura. Para que un caso de uso de herramientas se convierta en cultural debe ser aprendido (o enseñado) y debe ser una identidad del grupo dentro de una especie.

Monos ardilla (*Saimiri oerstedii*)**: el uso de vajilla para comer. ///** Estos monos del norte de Sudamérica aprendieron a usar implementos humanos en cautiverio (California). De 57 animales en total, fueron 39 los que aprendieron a usar objetos de plástico para comer y beber en forma espontánea. En el estudio se contabilizaron 212 actos donde llevaron comida usando los recipientes. Se los vio llevar agua a una percha distante donde bebían. Almacenaban los recipientes en las perchas de los árboles y los recuperaban cuando los necesitaban. Pero como recuperaban cualquier recipiente de los acumulados, no fue posible asegurar que estaban planeando su uso a futuro. Desarrollaron este hábito de manera rutinaria a pesar de disponer de una gran cantidad de comida y bebida. El uso de recipientes era opcional. Se especula que obtienen placer de consumir en una forma más pausada, por lo que tendría una razón lúdica.

Babuinos que tiran piedras. Darwin mencionó que en Abisinia (Etiopía) los babuinos (*C. gelada*) rodaban piedras montaña abajo, como defensa contra hombres y otros grupos de babuinos. **///** Hoy se sabe que los babuinos chacma (*Papio ursinus*) del Cañón de Kuiseb (Namibia) duermen en las paredes rocosas. Cuando se ven amenazados, levantan piedras con una mano y las dejan caer por un lado. Un informe registró 23 incidentes de este tipo con 124 piedras.

Orangután (*Pongo pygmaeus*)**: el uso de ganchos. ///** En un experimento, se enfrentó a varios orangutanes con una canasta con alimento que tenía un tubo vertical desde donde se accedía. Se les ofrecieron trozos de alambre, rectos y doblados, aunque solo servían los doblados. Algunos resolvieron el problema en el primer intento. Los orangutanes doblaron la mayoría de los ganchos con los dientes y la boca. Esta tarea de ajuste se considera un paradigma en psicología comparada para evaluar el uso de herramientas. Parece que inventaron una solución a este problema en lugar de aplicar algún conocimiento previo.

(F7a03) Gorilas: usan palos para moverse en arroyos. Los ambientes lacustres obligan al uso de palos como herramientas, una ayuda de valor, luego que se experimentó el riesgo del agua.

(1) /// En Nouabalé-Ndoki (Congo) reside un grupo de gorilas muy bien estudiados. En una ocasión, una charca hecha por elefantes

formó una zona pantanosa. Una gorila hembra (*Leah*) dejó su cría en la orilla y caminó erguida entrando en la charca. Cuando el agua le llegó a la cintura se detuvo, regresó a la orilla, tomó un palo (un metro de largo y 2 cm de diámetro) y lo usó como herramienta para probar la profundidad del agua y estabilidad del piso. Se estiró hacia adelante y fue caminando con la ayuda del palo. Avanzó unos 10 m en la piscina, pareció cambiar de opinión, regresó mientras la cría lloraba al borde del agua y la condujo por el borde de la orilla hasta alimentarse con hierbas acuáticas.

(2) /// En otra observación, en la misma zona pero en distinto grupo, una gorila hembra (*Efi*) tomó un tronco de arbusto (1,3 m de largo y 5 cm de grosor). Lo colocó con ambas manos en un terreno pantanoso y caminó sobre él en cuatro patas, como en un puente. No quedó claro si llegaba a cruzar todo el vado con el tronco pero al menos le dio más estabilidad y soportó su peso.

(3) /// También se vio a una hembra manipular un poste de bambú, colocarlo como escalera hasta la percha del árbol para que pudiera subir su cría, mientras lo sostenía para mantenerlo estable. El movimiento fue intencional ya que actuó cuando escuchó las llamadas de socorro de su bebé.

Primates: desentierran la comida usando herramientas. Varios estudios con primates en cautiverio consistieron en entregar herramientas para excavar y obtener alimentos enterrados. Fueron capuchinos copetudos (*Sapajus apella*), bonobos y chimpancés.

(1) Chimpancés (*Pan troglogytes*). **///** En un estudio, se monitoreó un grupo de diez chimpancés en cautiverio en una reserva insular en Noruega. Nunca habían realizado excavaciones. Se cavaron cinco agujeros y se colocaron frutas enteras. Al principio se proporcionaron herramientas (corteza y palos) ya preparadas para la excavación. Luego se entregaron elementos sin confeccionar. Se observó que nueve de los diez chimpancés excavaron con éxito y ocho usaron herramientas en lugar de sus manos. Cuando no se les dieron materiales, recolectaron sus propios elementos desde la vegetación. Reutilizaron herramientas y eligieron las largas para la excavación. Se observaron seis tipos de excavaciones donde se turnaban para cavar e incluso compartían la fruta una vez extraída.

(2) Bonobos (*Pan paniscus*). **///** A quince bonobos se les enterraron alimentos debajo de dos capas de arena condensada y piedras. Se les entregaron piedras, rama y astas, como posibles herramientas. Fueron seis bonobos los que usaron herramientas casi de inmediato. Seleccionaron palos largos para hacer palancas. Algunos utilizaron herramientas en secuencia. En otra tarea, usaron rocas como martillos para romper huesos largos y exponer la médula. Otro bonobo abrió los huesos a lo largo. Incluso afiló un palo con sus dientes para formar una lanza y se la tiró al investigador. Se concluyó que, cuando se les dio la materia prima, las usaron en estrategias correctas y específicas del contexto. Claro que los bonobos en cautiverio disponen de mucho tiempo para experimentar, lo que no ocurre en la naturaleza. El potencial está, la habilidad puede surgir de ser necesario y coincide con lo que se cree que ocurrió con los humanos.

ESTUDIO DE CASOS

cuervos: la caja de herramientas

El aprendizaje por observación social y la influencia parental. Los cuervos son expertos en el uso y fabricación de herramientas. Cortan ramas, deshilachan hojas y usan alambres doblados. Lo hacen en forma natural y los modifican. Ajustan la forma por prueba-error y toman ideas observando a otros. Se desempeñan con éxito en la naturaleza y en la pruebas de laboratorio.

(1) /// Un estudio buscó entender la propagación cultural y si prestan atención en forma genérica o precisa. Se encontró que no imitan ni copian acciones sino que obtienen un aprendizaje superficial. Si un cuervo ve que otro tiene un éxito, lo primero que hará es intentar en el mismo lugar ("la mejora del estímulo"). Luego comienza a resolver el problema por sí mismo, ignorando la información del otro cuervo y usando el aprendizaje de prueba-error. El aprendizaje social los lleva a un problema, pero lo resuelven por la propia iniciativa. Hay poca evidencia de propagación cultural.

(2) /// Los cuervos jóvenes ven lo que hacen sus padres. Los adultos pueden abandonar las herramientas y los jóvenes interactuar con ellas. Los padres pueden atraer la atención sobre las herramientas y el trabajo. Parecen aprender a usar la herramienta mediante prueba-error en el transcurso de varios meses. Se estudiaron los cuervos en pequeños grupos familiares, pero se encontró que no importaba el grupo. Todos aprendieron de todos, y si tienen la oportunidad, aprenderán de cualquiera. En la naturaleza pueden ser los grupos familiares, pero no es obligatorio.

fabricantes de ganchos

Técnica 1: Cuervo Nueva Caledonia (*Corvus moneduloides*)**: usa ramas para pescar orugas en los árboles.**

(1) /// En observaciones de campo se registró que cazaban orugas de escarabajo bancouler (*Agrianome fairmairei*) en troncos en descomposición de los árboles de nuez de la India (*Aleurites moluccana*). La técnica de extracción es similar a la pesca de termitas de los chimpancés. Insertan una ramita que incomoda a la oruga y repiten la acción, hasta que la oruga muerde la rama y la pueden sacar. Experimentan con herramientas de palo en forma natural. Es una conducta que se observa también en los cuervos que nacieron aislados sin contacto con otros (la idea es innata). Pero la pericia en el uso aumenta en la medida en que se vuelven adultos (ensayo y aprendizaje). Se observó que tienen una forma preferida de sostener sus herramientas (comparable a ser zurdos o diestros).

(2) /// Para construir la herramienta eligen ramas con un tallo robusto pero maleable. En el laboratorio se le mostraron ramas de su planta preferida junto a una de aspecto similar. Como era de esperar tomaron su material preferido con mayor frecuencia. Luego se eliminaron las hojas de ambas plantas y reemplazaron con hojas de una tercera planta. No fueron engañados. Parece que el tallo es lo que eligen, porque es lo que usan.

(3) /// Para un estudio, se colocaron cámaras miniaturas, montadas en diecinueve

cuervos silvestres. Se pudo grabar durante una semana, en forma continua, en una tarjeta micro-SD. Se registraron dos instancias de fabricación de herramientas, usando ramas vivas de corteza de papel (género *Melaleuca*) y *Acacia spirorbis*. Las utilizaron para buscar comida, incluso en el suelo del bosque. En una escena, un cuervo deja caer su herramienta y luego la recupera, lo que sugiere que las valoran y no las descartan.

(4) Cuervo alalā de Hawái (*Corvus hawaiiensis*)**. ///** Este cuervo está extinto en la naturaleza y solo sobrevive en cautiverio con programas de reintroducción. Las crías tratan de usar herramientas aún sin entrenamiento. Los cuervos de Nueva Caledonia y Hawái son del mismo género y evolucionaron en entornos similares de islas tropicales, pero muy separados entre sí. Es posible que las habilidades técnicas sean conductas convergentes. Como la separación ocurrió hace 11 Ma parece menos probable una herencia del ancestro en común.

(F7a04) Técnica 2: fabricación de ganchos cortando ramas bifurcadas.

(1) /// Los trabajos de campo mostraron que la fabricación de ganchos del cuervo de Nueva Caledonia es una secuencia minuciosa. Primero buscan plantas particulares entre una miríada de arbustos, en la maleza del bosque, y cosechan una ramita bifurcada. Luego la sostienen bajo los pies, la tallan y mordisquean, y le pelan la punta hasta que obtienen un pequeño gancho. En ensayos de campo se observó que cambios menores en el gancho podían aumentar el rendimiento. Debido a que los usuarios de herramientas pueden vivir más y dejar más descendencia, se espera que la habilidad en la fabricación se propague.

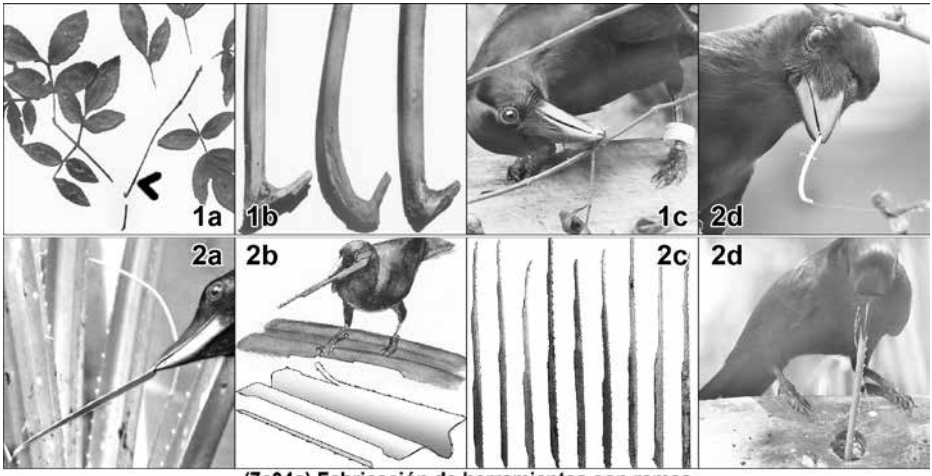
(2) /// Para un estudio se construyeron troncos con perforaciones de varios tamaños que contenían comida en el fondo. A los cuervos se les ofrecían trozos del arbusto predilecto y palos rectos terminados. Se midió el tiempo de acceso a la comida como un indicador de eficiencia. Las herramientas fabricadas por los cuervos fueron de 3 a 13 veces más efectivas que las ramitas rectas. Cuando los científicos hicieron las herramientas fueron de 6 a 9 veces más eficientes que una ramita no modificada. Esta eficiencia en la construcción de herramientas significa que podría estar bajo selección evolutiva.

(3) /// Los ensayos verificaron que los ganchos más grandes son más eficientes porque reducen el tiempo de trabajo. Pero los cuervos experimentados prefieren los pequeños. Usan una técnica rápida y de poca precisión en la producción. Quizás toman en cuenta la relación costo-beneficio (tiempo y tamaño de la captura). También es posible que los anzuelos más grandes se rompan más fácilmente y prefieran hacerlos pequeños y reemplazables con facilidad.

(F7a04) Técnica 3: herramientas hechas de hojas con espinas de pandanus.

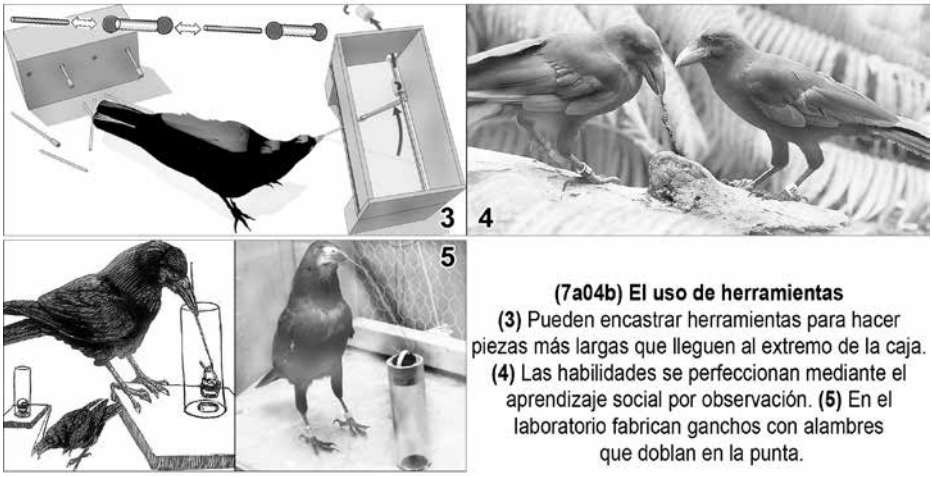
(1) /// En Nueva Caledonia se observaron cuervos fabricando herramientas con hojas de una planta similar a una palmera (género *Pandanus*). Estas hojas tienen púas naturales en sus bordes. Los cuervos hacen dos cortes en el borde aserrado y arrancan la parte intermedia. Queda una herramienta aserrada de un lado (como una "hoja de sierra") que usan para extraer gusanos. Se los vio fabricar varios tipos de herramientas con diferentes formas (anchas, estrechas y escalonadas). Se notó una cierta distribución geográfica para cada tipo, lo que sería una herencia cultural.

(2) /// En un experimento, los investigadores fabricaron herramientas de pandanus y se las colocó en un hueco de un tronco. En el hueco, había un cebo de recompen-



(7a04a) Fabricación de herramientas con ramas

(1) Técnica de fabricación de ganchos: toman el extremo de una rama, quitan las hojas con el pico y conservan la rama con una pequeña aguja (1a). La usan como un anzuelo (1b) en la cubierta de los árboles. **(2)** Otra técnica: cortan el borde de las hojas de la planta *Pandanus* (2a). La hoja tiene espinas y toman una cinta del borde con distintas formas (2b). Se usan en huecos de ramas y troncos.



(7a04b) El uso de herramientas

(3) Pueden encastrar herramientas para hacer piezas más largas que lleguen al extremo de la caja. **(4)** Las habilidades se perfeccionan mediante el aprendizaje social por observación. **(5)** En el laboratorio fabrican ganchos con alambres que doblan en la punta.

sa, pero la herramienta estaba colocada al revés (con las púas apuntando en la dirección opuesta). Los cuervos intentaron usar la herramienta, y luego la abandonaron o la cambiaron de posición solo luego de varios intentos. Incluso persistieron en el error en ensayos que eran una repetición de otros. En la naturaleza, el éxito parece estar ligado al procedimiento de corte y uso inmediato. Cuando en lugar de la hoja de pandanus se les presentaron herramientas de gancho, los mismos cuervos les daban vuelta de inmediato antes de intentar usarlas. No hay una conclusión única.

ingenio y placer

Las herramientas son más que un elemento utilitario, son una recompensa en sí mismas. /// Un estudio vinculó el uso de herramientas y el placer en los cuervos de Nueva Caledonia.

-El sesgo cognitivo. El primer paso fue caracterizar cada cuervo con el "sesgo cognitivo". Fueron entrenados con una caja que, colocada a la izquierda, siempre contenía tres piezas de carne. Cuando se colocaba a la derecha, solo contenía un trozo de carne. Cuando el cuervo entendió la relación, la caja se colocó en el centro. El tiempo que tardaba en llegar a la caja era un indicador del sesgo cognitivo. Si llegaba rápido era optimista en encontrar una recompensa importante.

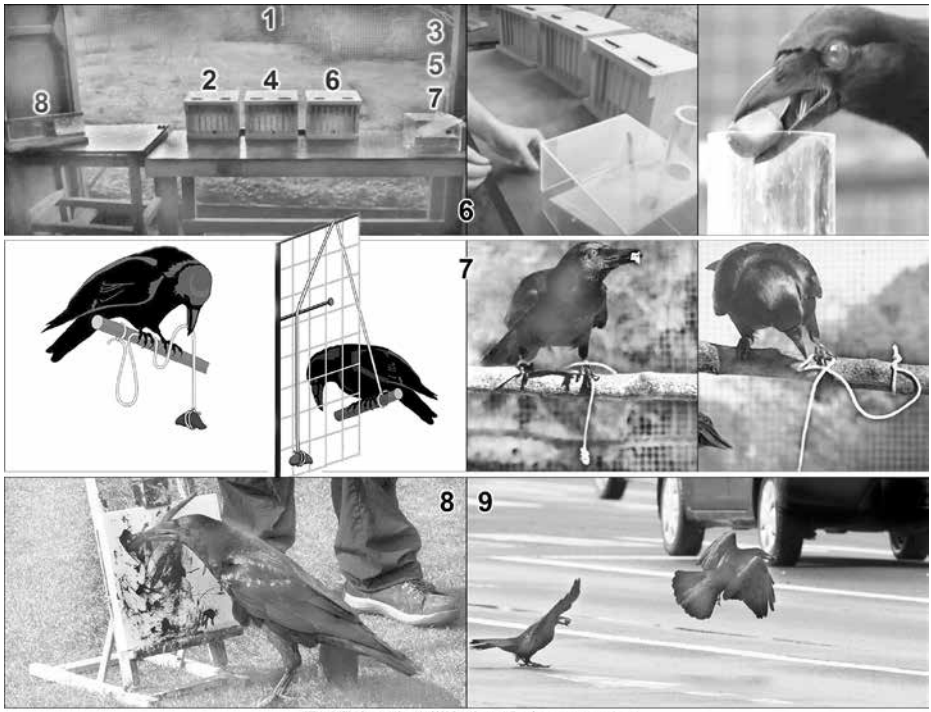
-Pruebas con herramientas. Luego se les presentaron algunas pruebas con herramientas. En una prueba, había dos alternativas: usar una herramienta para extraer un trozo de carne de una caja o ir a una caja donde la carne estaba accesible sin trabas. Esta prueba está claramente desbalanceada, porque el uso de herramientas podría ser un trabajo duro y evitable. En la segunda prueba, se ofrecía recoger el premio en una mesa o recorrer las cuatro esquinas de la sala. Otra vez se requería un esfuerzo mayor para obtener lo mismo. Luego de cada prueba se volvía a medir el sesgo cognitivo.

-Resultados. Después de usar las herramientas en la primera prueba, eran más optimistas, aunque el trabajo fuera mayor. Parece que, aunque disfrutaran de obtener la comida fácil, más disfrutaban cuando podían jugar con las herramientas. En la prueba en que debían recorrer las cuatro esquinas, no existió un sesgo optimista. **Se concluyó que hay algo específico en el uso de herramientas que están disfrutando.**

(F7a05) El uso secuencial de las herramientas. Los cuervos pueden usar herramientas para manipular otras herramientas lo que se asocia con la planificación.

(1) /// En un estudio se escondió una recompensa en una caja que se alcanzaba con un palo largo. Una tarea muy simple. Pero luego, se les colocó el palo largo en una jaula que se abría mediante el palo corto. De siete cuervos, seis resolvieron el problema sin necesidad de prueba-error. Esto muestra la capacidad para planificar un paso por delante. También se probó colocando la herramienta larga fuera y la corta, dentro de la jaula. Los cuervos tomaron la herramienta larga e ignoraron la corta. En otro ensayo se elevó el número de pasos: un palo corto que colgaba de una cuerda, este palo corto se usaba para obtener tres piedras en forma sucesiva, las piedras servían para abrir una caja que tenía un palo largo, el palo largo se usaba para empujar el premio inaccesible en otra caja. De los siete cuervos, fueron cuatro los que resolvieron el problema escalonado de varios pasos.

(2) /// En un estudio se pusieron compartimentos con palos o piedras de distintos tamaños. Cada estadio de la prueba estaba separado con un divisor de madera y no podía verse el próximo. Se les permitió familiarizarse y se los puso a prueba en tres configuraciones. Por ejemplo, tenían que tomar un palo para sacar una piedra de un tubo y luego usar la piedra en una plataforma que liberaba un trozo de carne. Un compartimento con un palo debía ser ignorado porque solo era un distractor de la piedra. Se probó con once cuervos salvajes. Luego de veinte pruebas, cuatro cuervos llegaron al 80 % de éxito. Al resto les llevó unas cuarenta pruebas. Si la primera herramienta era la piedra a todos les llevó más de cuarenta pruebas. La explicación es que mientras los palos son usados en la naturaleza, las piedras, no y necesitan más tiempo.



(7a05) Las habilidades de los cuervos

(6) Pueden resolver un problema con 8 pasos: 1-palo corto que cuelga sirve para trabajar en las jaulas, 2-4-6-cubos escondidos en las jaulas, 3-5-7-cubos pesados que liberan una trampa con un palo largo y 8-jaula con el premio que se abre con el palo largo. **(7)** Pueden tirar con el pico de una cuerda para subir la comida y la sujetan con la pata. **(8)** Aprenden a pintar. **(9)** Rompen semillas dejándolas caer en las ruedas de los autos.

(F7a05) Las soluciones ingeniosas. Los cuervos son buenos en seleccionar la herramienta correcta si tienen la oportunidad de explorarlas de antemano. Parece que están aprendiendo sobre las propiedades mientras interactúan con ellas, como en un juego. Aprenden durante la exploración, aunque no buscan en forma activa información.

(1) Pueden unir herramientas cortas para hacer una larga. /// En laboratorio se les dio para ensayar herramientas desconocidas. Se probaron con ocho cuervos a quienes se les facilitó una caja de herramientas y un recipiente, con un espacio estrecho de acceso a la comida. Primero se dejaron herramientas diversas y los cuervos tomaron la apropiada para acceder a la comida. Hicieron esto sin ninguna dificultad. Luego se les entregaron herramientas cortas, pero que podían combinarse para hacer una más larga que funcionara. Sin ayuda o demostración, cuatro de los ocho cuervos insertaron una pieza en otra y extrajeron la comida. Se les dieron piezas aún más cortas y un cuervo (Mango) llegó a formar una herramienta de tres y cuatro partes. En el hombre parece que esta habilidad apareció hace 300.000 años y podrían haber evolucionado con la planificación, cognición compleja y lenguaje.

(2) Idearon una forma de llevar cosas pesadas o incómodas. /// En un trabajo se observó cómo un astuto cuervo deslizó un

palo de madera en una tuerca de metal y se fue volando. Unos días más tarde, otro cuervo insertó un palo delgado en un agujero que tenía una gran bola de madera para sacarla de la habitación. Se observaron cuatro instancias de este truco. En una oportunidad, quería llevar un objeto pesado en el pico. Entonces, insertó un palo y lo llevó con las patas.

(3) Aprendieron a romper nueces y se volvió cultural. /// En la ciudad de Sendai (Japón) los cuervos (*Corvus corax*) aprendieron a romper las nueces con los automóviles. Se posaban en un cable y dejaban caer la nuez sobre el tráfico. Los vehículos rompían la nuez y cuando el tráfico se detenía, el cuervo la recogía. El hábito de poner nueces en las ruedas se inició en la década de 1980 y se extendió a otros cuervos en la ciudad.

planificar el futuro

¿Imaginan y planifican o solo prueban? Los animales que fabrican herramientas podrían imaginar con anticipación cómo usarlas. Se trata de resolver un problema de una sola vez, sin recurrir a la prueba-error. Para lograrlo los cuervos deberían imaginar cada paso y seleccionar la opción mejor. No hay evidencia para saber si pueden imaginar y elaborar varios escenarios posibles. Es probable que tengan una vida mental rica basada en las imágenes de la memoria y que las usen para armar una nueva imagen alternativa.

(1) Los juegos anticipan las herramientas. /// En un estudio en la isla Nueva Caledonia, hogar de los cuervos, se verificó el proceso de aprendizaje. A catorce cuervos se les permitió examinar (jugar) diferentes bloques (pesados o ligeros) y cuerdas (rígidas o flexibles). Con esto tenían un primer contacto con las herramientas, sin saber para qué servirían. En el ensayo, se colocaron las herramientas y un problema a resolver donde se usaba una sola de ellas. Luego de diez ensayos, seis cuervos tuvieron éxito, seleccionando la herramienta correcta, antes de acceder al reducto con el alimento. En los cuervos sin experiencia previa, el resultado fue el azar. Esto demuestra que recuerdan ciertas características de los objetos con los que jugaron y que las aplicaron cuando se les presentó la oportunidad.

(2) Construcción de herramientas de cartón. /// Un estudio entrenó a ocho cuervos salvajes con cuatro tarjetas de cartón prefabricadas de diferente tamaño. Tenían que deslizar la tarjeta de cartón con el pico por una ranura para liberar un trozo de carne de una máquina. Luego se les dio un pliego de cartón más grande que no entraba en la ranura. Los cuervos lo tomaron con la patas y lo cortaron a la medida de la tarjeta conocida. La única forma de hacerlo era que tuvieran una idea memorizada del tamaño original.

La prueba de tirar de la cuerda. /// En un experimento, se colocó comida en el extremo de una cuerda. El cuervo debía tirar de la cuerda con el pico, sostener la cuerda con la pata y repetir esta acción varias veces. Algunos cuervos resolvieron el problema, otros abandonaron antes del final y algunos no lo intentaron. Un síntoma de individualidad a la hora de resolver problemas. En otra fase del estudio se probaron once cuervos con una configuración diferente. En lugar de soltar la cuerda desde una percha, se formaron dos rollos sobre una mesa con el alimento en el extremo. Pero uno de los rollos tenía la cuerda cortada. La mayoría tiró de la cuerda entera, pero solo uno lo hizo tantas veces como para traer la comida. Persiste la duda sobre si el cuervo se forma una idea de lo que ocurre y planifica el futuro con múltiples acciones, o solo responde a cada acción por separado.

TEMA DE ESTUDIO

711 herramientas

ciencias

la hipótesis

Los animales tienen conocimientos básicos de las ciencias (matemática, física y química). Entre los animales, el *Homo sapiens* despegó desde esa base hace unos 50.000 años (astronomía, automedicación, religión animista). Después, la agricultura y ciudades dieron un impulso hace 10.000 años. Hace 3.000 años se desarrolló la escritura, filosofía, matemáticas y monoteísmo. El desarrollo de las ciencias se hizo explosivo en los últimos 400 años (desde el Renacimiento). Una parte del conocimiento científico básico está implícito en el animal porque se necesita para vivir desde el primer momento. Los sensores están incorporados (luz, electricidad, magnetismo, compuestos químicos, gravedad, peso, etc.). Pero se requiere perfeccionar el uso mediante el aprendizaje. Hay algunos pocos sensores que no están en la naturaleza y fueron inventos humanos. Por ejemplo, el detector de radioactividad Geiger, de rayos X, la cromatografía de gases, etc.

La hipótesis dice que las ideas científicas son herramientas porque sirven para resolver problemas. Los animales tienen conocimientos básicos de ciencias que mejoran con el aprendizaje. Si esta hipótesis se confirmara, las consecuencias serían desestabilizantes. Por ejemplo, los animales estarían en condiciones de generar imágenes de eventos posibles a futuro, pero también improbables (p.ej., creencias en lo sobrenatural).

Los animales tienen un nivel básico de tecnología (del griego *estudio del arte*)**.** La tecnología surge como el uso de herramientas para construir otras herramientas. La tecnología es anterior y da soporte a las ciencias. Lleva unos 2 Ma de desarrollo desde que la "tecnología lítica" comenzó a usar piedras para construir herramientas del mismo material. Por ejemplo, una piedra usada como martillo y otra usada como yunque sirven para fabricar lascas que se utilizarán como cuchillos. La producción sistemática de piedras de corte dio lugar a las culturas líticas. Los monos capuchinos de Sudamérica también usan piedras y yunques y producen lascas, pero las lascas son desechadas y no se usan como herramientas. Una diferencia clave entre la tecnología de los animales y humanos es que un animal está obligado a conocer todos los pasos de la tecnología para hacer algo. En cambio, los hombres pueden dividir el trabajo y repartir el conocimiento. Para la mayoría de las tecnologías humanas, no existe ningún humano

que conozca una de ellas en su totalidad. La clave es la capacidad de comunicación que permite la división del trabajo. La "prototecnología lítica" de los primates se estudia en la capa de cultura.

El concepto de matemática (del griego *conocimiento que necesita aprendizaje*) **se opone al concepto de arte** (*conocimiento que no necesita aprenderse*). La matemática se considera un "lenguaje universal" porque los conceptos que describe no dependen de especies o culturas. Estos conceptos tiene 2.500 años (Pitágoras y Aristóteles). Pero los primeros documentos conocidos sobre cálculo con números son de 4.500 años atrás. Es posible que el cálculo sea anterior a la escritura. Parece que recién para ese momento histórico la matemática humana se separa del conocimiento de los animales. Se puede reinterpretar a A. Einstein "*cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son exactas; cuando son exactas, no se refieren a la realidad*". Así, los animales, que viven en la realidad, manejan una versión simplificada, aproximada, no exacta de la matemática. Los animales (incluidos los humanos) perciben las cantidades de dos formas. Nacen con un sentido de numerosidad limitado, entendido como la capacidad de percibir un número exacto de objetos discretos. El límite parece estar entre tres y diez, según la especie. También nacen con la capacidad de identificar el tamaño y densidad, lo que permite reconocer una numerosidad aproximada (mayor-menor). La matemática, desde su inicio, siguió un camino de firmeza inevitable, infalible y con conclusiones *a priori*. Esto se contrapone con las otras ciencias (física, biología, geología) que tiene conclusiones falibles y *a posteriori*.

La física es el estudio de lo natural (la naturaleza). Es probable que la primera ciencia perfeccionada por el hombre fuera la astronomía, que hoy es parte de la física. Muchos animales usan el cielo para orientarse en los movimientos, por lo que la astronomía en el hombre es parte de una larga tradición de los animales. Hace 2.500 años, en Grecia, la física era parte de la filosofía. Pero, hace 500 años se inició una extraordinaria radiación de disciplinas. Los animales necesitan conocimientos de geometría (longitud, área, volumen), de movimiento (tiempo, velocidad, orientación, balística), de dinámica (masa, fuerza, gravedad, rozamiento, temperatura, presión). Por ejemplo, la gravedad se expresa en las aves como acciones para ralentizar la caída o planear. Otros animales necesitan conocer el desplazamiento que un cuerpo produce en el agua, o la atenuación del sonido con la distancia, la ecolocalización (efecto Doppler), la orientación en largas travesías (luz polarizada y campo magnético terrestre), la detección eléctrica en los peces, etc. Todos son aspectos de la física que los animales aprenden a dominar según la especie, con sus necesidades y contexto propio. Perfeccionan el uso de los instrumentos sensores nativos, porque si bien los sentidos están, aplicarlos requiere pericia.

La química tiene su origen en la automedicación y la alquimia. La etapa científica de la química tiene solo 350 años, pero la alquimia es mucho más antigua. En los animales, la química está muy ligada a los detectores de gases y líquidos. Pero hay algo complejo y oculto en la automedicación animal, un conocimiento combinado de química y biología. Los animales aprenden en qué contexto, qué cosa (bacterias, hongos, insectos, plantas), y en qué cantidad (dosis) deben consumir algo para mejorar su estado físico.

matemática (i): lo exacto y aproximado

La numeración en los humanos. Los humanos no necesitaron del dominio de los números hasta que no se desarrolló el comercio y la agricultura. Parece que, hasta este momento, el manejo de cantidades en los humanos era igual a los animales.

(1) /// Un estudio trabajó con 189 lenguas aborígenes australianas. Se encontró que un 75 % no tenían palabras para números por encima de 3 o 4. Un estudio similar en Sudamérica dio un valor del 61 %. Estos límites coinciden con los animales que distinguen en forma precisa entre tres y diez objetos. Se puede concluir que la numeración extendida es un rasgo cultural humano que surgió con el comercio y es muy reciente.

(2) /// En otro trabajo se compararon imágenes cerebrales de hablantes nativos de los idiomas chino e inglés. Se encontró que procesan los mismos números en diferentes partes del cerebro. Esto sugiere que el lenguaje y la cultura influencian en que neuronas son reclutadas para trabajar con números. No está determinado genéticamente.

(F7a06) Planta carnívora atrapamoscas (*Dionaea muscipula*)**: cuenta los toques de los pelos.** El movimiento de las hojas en las plantas se produce por variación de la presión de agua que carga o vacía las células. Cuando se modifica el volumen, se produce un movimiento. Este mecanismo es el que mueve la flor del girasol (*Helianthus annuus*), pliega las hojas de la mimosa (*Mimosa pudica*) o cierra la trampa de la carnívora atrapamoscas. El disparo del mecanismo debe ser a prueba de falsos positivos, para evitar malgastar energía. Debe distinguir entre causas, sea una inofensiva gota de lluvia o un insecto.

(1) Cuenta la cantidad de toques. /// La carnívora atrapamoscas tiene seis pelos sensores en la cara interna del par de hojas que se cierran. Un experimento encontró que el primer toque de los pelos no cierra los lóbulos, se requieren dos toques en menos de treinta segundos para forzar el cierre. Con un toque adicional, se libera el ácido jasmónico que prepara el proceso digestivo. Si hay dos toques más (el quinto) se liberan las enzimas digestivas, lo que disuelve una mosca en una semana. Cuanto más forcejee el insecto y toque los pelos, mayor es la secreción. Así, la planta se asegura de iniciar el proceso con ciertas garantías de éxito. Sin un sistema nervioso, el proceso de conteo es de naturaleza química: cada toque aumenta la concentración de calcio. La posición del umbral determina cuántos toques disparan el mecanismo.

(2) Un toque se convierte en electricidad. /// Un estudio trabajó con los pelos sensoriales de la atrapamoscas en busca de los genes que convierten los estímulos mecánicos en señales eléctricas. Cuando un pelo se dobla al tacto, se genera un potencial de acción en su base. Hay células que abren los canales iónicos de calcio debido al estiramiento de la membrana y se vuelven conductores de electricidad. La parte superior del pelo sensorial actúa como una palanca que amplifica el estímulo mecánico. En tanto, el estímulo eléctrico se propaga al resto de la hoja.

(3) Memoria y contabilidad. /// En otro estudio, se analizó el conteo, medición de tiempo y memoria química mediante los iones de calcio. Para hacer visible el calcio intracelular se diseñaron atrapamoscas transgénicas que llevaban un gen artificial

(GCaMP6). El gen codifica una proteína que emite fluorescencia verde cuando se une al calcio. Esto hace visible la concentración de calcio. Se encontró que el nivel de calcio aumentaba a cada toque de los pelos en la hoja, de forma que con dos toques en treinta segundos, se supera un umbral y se dispara el cierre de la trampa. Se verificó que la concentración dura un tiempo (memoria) y se pierde (se olvida). Las plantas pueden contar y medir el tiempo usando la concentración química (memoria y contabilidad).

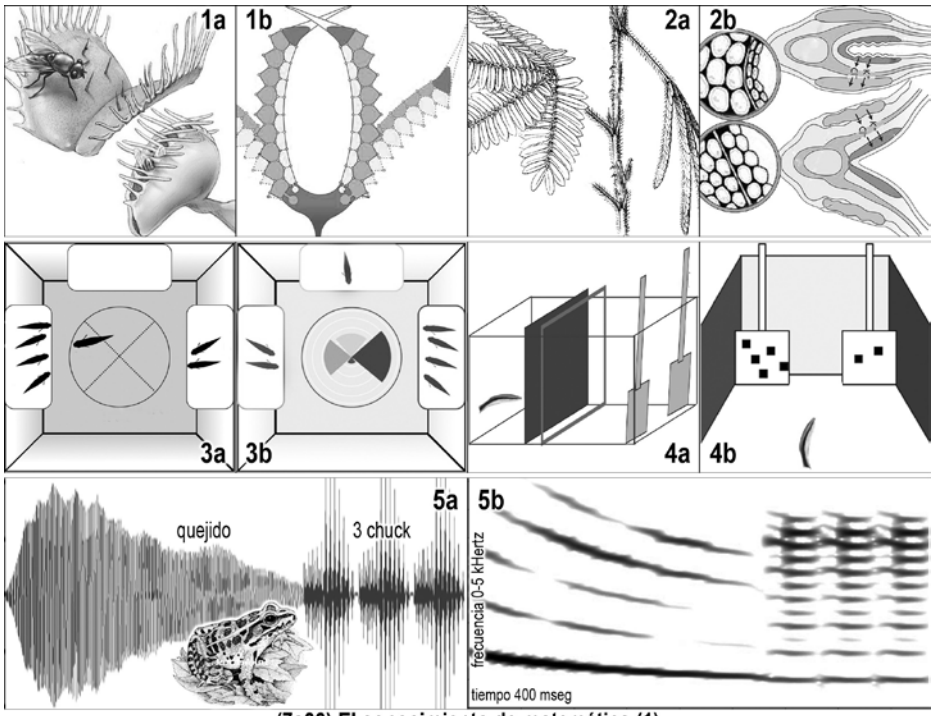
Araña seda dorada (*Nephila clavipes*)**: lleva la contabilidad de presas en la red**. Esta araña es tejedora de redes y caza esperando que las presas queden atrapadas. También lleva un conteo de cuántas presas envueltas tiene en un segmento de su telaraña. **///** En un ensayo en Costa Rica, se les entregó larvas de gusano de la harina con lo que formaron un stock de alimento bajo control del experimentador. Luego se eliminó una parte de las presas. Las arañas reconocieron la falta y comenzaron a buscar. Se encontró que el tiempo de búsqueda aumentaba en función de la cantidad y tamaño de las presas faltantes. Esto indica que forman recuerdos del stock y con ellos, regulan los esfuerzos de recuperación. Se quería saber si memorizaban el número de presas o un valor continuo (superficie, volumen, masa). Se les dieron presas que variaban en cantidad y tamaño, pero siempre con el mismo valor total de masa. Se encontró que la búsqueda era más intensa con muchas presas pequeñas que con pocas y grandes. La cantidad es más importante.

Sepia (moluscos *Sepiida*)**: puede numerar hasta cinco camarones**. **///** Para un estudio, se alimentó a sepias con camarones (su alimento preferido). Se les ofrecieron diversas opciones, camarones muertos o vivos, grandes o pequeños, y grupos con distintas cantidades. Se encontró que preferían los camarones vivos a los muertos. Si tenían hambre, preferían el camarón más grande, pero en ausencia de hambre, tomaban el pequeño. En la prueba de opciones de cantidad, pudieron seleccionar la mejor oferta entre pares con hasta cinco camarones. La elección dependía del hambre que tuvieran o la calidad del camarón. Esto sugiere que combinan información externa (ambientales) e interna (sus propias preferencias). Se observó que, en ciertos casos, se tomaban un momento para decidir cuál preferían.

(F7a06) Peces: la discriminación en cantidad y tamaño.

(1) Pez mosquito (género *Gambusia*)**: cuentan hasta 3 o 4.** En el estudio de la toma de decisiones la "regla de razón constante" indica que la preferencia de una opción entre dos alternativas no debería cambiar en presencia de una tercera opción (el señuelo). Si no cambia la decisión, se considera que es racional. **///** Un trabajó probó a 39 peces mosquito (*G. affinis*) hembra, en un aparato que presentaba bancos de peces de diferente tamaño. Primero se probó la preferencia entre bancos de dos y cuatro peces. Por razones de seguridad, elegían el cardumen de cuatro peces. Luego, se agregaba una tercera alternativa de 1 y 3 peces como señuelos. Cada prueba duraba tres minutos y se medía el tiempo de permanencia frente a cada grupo. Se encontró que pudieron discriminar entre 2-4 peces, pero no pudieron diferenciar entre los cardúmenes de 3-4 peces. Parece que allí está el límite de conteo preciso. En esta prueba solo se trabajó en una dimensión, la cantidad de peces.

/// En otros estudios se agregó un cambio de superficie del cardumen. Esta es una medida continua que contrasta con la discreta de la cantidad. Se determinó que la



(7a06) El conocimiento de matemática (1)

(1) La planta carnívora atrapamoscas "cuenta" los toques en los pelos del interior de las hojas (1a). El cierre de la trampa (1b) es por bombeo de H_2O al interior de la célula lo que aumenta su tamaño. **(2)** La planta mimosa cierra las hojas cuando se la toca. El mecanismo es similar por bombeo de agua. **(3)** Prueba de elección en los peces entre 3 cantidades. Se mide el tiempo de permanencia en cada cuadrante. **(4)** Otra forma de diferenciar entre cantidades mediante cartulinas con símbolos. **(5)** Rana túngara hembra selecciona al macho por la cantidad de *chuck* (oscilograma y espectrograma).

tasa de éxito del pez mosquito era máxima cuando había información numérica y continua juntas. Esto se verificó probando tres condiciones donde la proporción siempre fue de 0,66 (p.ej., 2-3, 4-6, 6-9). Con los peces espinosos, se encontró que podían discriminar en 6-7 (0,86). En los mamíferos, los simios llegan a discriminar 9-10 (0,90), los perros 3-4 y los caballos 2-3.

/// Con otra especie de pez mosquito (*G. holbrooki*) se encontró que podían diferenciar entre 3 y 4 peces. Esta especie superó a la anterior, pero su límite se trasladó a entre 4 y 5 peces. Para valores superiores, la discriminación mejoraba cuando la distancia era grande. Por ejemplo, podían discriminar 4-8 u 8-16 (1:2). Esto sugiere que interviene el área total cuando las cantidades son grandes.

(2) Peces guppy (*Poecilia reticulata*)**.** ***///*** Un estudio evaluó a 26 guppy (peces sudamericanos de agua dulce) en pruebas de discriminación de cantidad. Se los introdujo en estanques que no proporcionaban cobertura ni refugio. Se incluyeron bancos de 4 y 6 peces para ver a cuál cardumen se unían por seguridad. Después se les ofrecieron 4 y 6 trozos de alimento. Se encontró que se

unieron al banco más grande y escogieron la comida más abundante. Sin embargo, la destreza matemática no incluye los números exactos, no pudiendo distinguir con precisión diferentes números. Es posible que el área del cardumen o comida sea necesaria para la decisión. Se observó que algunos respondieron mejor a la prueba del banco de peces y otros a la prueba de alimentos, lo que se atribuye a una personalidad de los individuos.

(3) Tiburón bambú (género *Chiloscyllium*)**. ///** Un estudio trabajó con doce tiburones. Se los entrenó con imágenes de dos grupos de formas geométricas proyectadas en una pared. Luego, se probó con unos 40 objetos para asegurarse de que habían entendido. La mitad de los tiburones aprendieron a presionar su nariz contra la imagen que tenía la mayor cantidad de objetos, por lo que eran recompensados con comida. Su capacidad de elección era correcta solo si la diferencia entre objetos era de al menos dos objetos.

(F7a06) Rana túngara (*Physalaemus pustulosus*)**: el conteo de *chuck* en el canto**. El macho de esta rana de Centroamérica canta en la etapa reproductiva usando un tono largo como un quejido (*whine*) seguido por chasquidos breves (*chuck*). Cuando está en presencia de un competidor, suele añadir dos *chuck* al final. Si el rival hace lo mismo, pasará a tres *chuck*. Seguirán aumentando hasta el límite de la respiración (6 o 7 *chuck*). Las hembras escuchan, cuentan y se aparean con el macho que hace la mayor cantidad de *chuck*. En tanto, los murciélagos que cazan ranas y los mosquitos que pican a las ranas también los escuchan y se orientan para encontrarlos.

(1) El conteo de las hembras. /// En un estudio se encontró que hay células especializadas en el cerebro que llevan la cuenta de las señales sonoras y de los intervalos. Las neuronas cuentan el número de pulsos emitidos en un margen de tiempo. Si el tiempo entre los pulsos se corre una fracción de segundo, las neuronas no se disparan y el proceso de conteo se interrumpe. Las hembras también prefieren los *chuck* de menor frecuencia, quizás porque representa a machos de mayor tamaño. Otras especies tienen preferencias diferentes, como el caso de *E. coloradorum*, en que el macho no emite *chuck*.

(2) Los murciélagos que escuchan a las ranas. Cuando las túngara macho llaman desde los charcos, se crean ondas que se extienden por el agua. Otros machos usan estas ondas para evaluar la competencia. También el murciélago cazador de ranas (*Trachops cirrhosus*) detecta las ondas para localizar el origen. **///** En un estudio se encontró que los machos aumentaban la tasa de llamadas en más del doble cuando recibían ondas y sonido combinado. Esto indica la presencia de competidores. Pero, además, dejaban de llamar si estaban a menos de 7 cm del rival. También los murciélagos prefieren ondas y llamadas en simultáneo para localizar a la rana. Cuando se agregó hojarasca en la superficie del agua, parece que los murciélagos dejaban de responder a las ondas, quizás por la pérdida de precisión. Cuando se acercaba un murciélago, la rana se silenciaba, pero la onda en el agua continuaba, por lo que dejaba una huella que podía ser usada por el murciélago.

(3) Los mosquitos que escuchan a las ranas. Los mosquitos hembra del género *Corethrella* pican a las ranas en busca de sangre. A diferencia de los mosquitos tradicionales que usan señales químicas para orientarse, estos mosquitos usan las llamadas de las túngara. **///** Un estudio instaló trampas acústicas (parlantes con tubos de recolección) para probar esta característica. Cuando una túngara macho es pica-

da, se puede infectar con tripanosomas, un parásito sanguíneo que transmiten los mosquitos. Al igual que los murciélagos, los mosquitos prefieren los machos con llamadas más complejas (varios *chuck*). En el estudio se confirmó que no es el CO_2 el que atrae a los mosquitos, tal como lo hace en las moscas.

(4) /// En otro estudio se encontró que los mosquitos usan el sonido durante la conducta de apareamiento. Se grabaron los sonidos de batido de las alas en un enjambre y se encontró que ajustan la velocidad de batido hasta igualar las armónicas superiores y luego copulan en el aire. Los batidos de las alas de los mosquitos (rango 0,5-5 kHz) coinciden con las túngara. Se cree que los mosquitos primero ajustaron el uso del sonido para el apareamiento y luego para escuchar a las ranas.

León (*Panthera leo*)**: la contabilidad de los enemigos.** Los leones son territoriales, viven en grupos familiares y pueden calcular el tamaño de la manada. Atacan o se defienden de otras manadas de acuerdo con el número de miembros detectados. **///** En un ensayo en Serengueti se reprodujeron sonidos simulados de otras manadas. Un grupo de cinco leonas escuchó los rugidos grabados de tres leones. Miraron hacia el lugar de donde provenían los sonidos y se lanzaron al ataque. En pruebas similares con hienas y chimpancés se obtuvieron resultados idénticos. Las hienas sacaron la cuenta exacta al modificarse el número de rugidos y de individuos que los producían.

Ratas: pueden contar hasta seis túneles ordenados. /// En un experimento se colocaron seis laberintos en serie sobre una pared. Cada laberinto tenía una puerta de acceso que se abría empujando. Solo en uno de los laberintos tenía comida en el extremo. Se ensayaron doce ratas con distintas posiciones de las puertas. Cuando las ratas aprendían qué puerta tenía el premio, se dirigían a ella. Luego se cambiaron de lugar las puertas (posición secuencial, distancia de la entrada, lugar como derecha-izquierda). Las ratas tenían que volver a aprender la nueva posición y se dirigían a ella sin demora. Se concluyó que pudieron contar hasta la puerta con recompensa.

Elefantes: la contabilidad de objetos.

(1) /// En un experimento se arrojaban manzanas en dos baldes a la vista de un elefante africano. Debía seleccionar el balde que contenía la mayor cantidad de frutas. Algunas veces se arrojaba más de una manzana en un balde, por lo que tenía que llevar la contabilidad de cada uno por separado. El 74 % de las veces eligió el balde correcto. Un elefante llegó al 87 % de eficiencia. Los humanos de control llegaron al 77 % promedio.

(2) /// Un estudio entrenó a un elefante asiático de catorce años para usar un panel táctil de computadora. Se le presentó una tarea donde debía indicar cuál de dos figuras tenía mayor cantidad de objetos. Se ensayaron entre 0 y 10 objetos (plátanos, sandías y manzanas). No todas las frutas se presentaron en el mismo tamaño, para garantizar que en la decisión no influyera el tamaño. Se obtuvieron 181 éxitos sobre 271 ensayos (67 %). El tiempo de reacción fue influenciado por la diferente cantidad de objetos y la relación entre las dos figuras. Necesitaba más tiempo cuando las presentaciones eran compactas, con menos distancia y cantidades más grandes.

matemática (ii): los expertos

matemática de abejas

Sobre conceptos abstractos.

(1) Laberinto y señales. /// En un trabajo, se entrenaron abejas para recorrer laberintos usando signos abstractos para orientarse. Luego, se realizaron cambios y se encontró que entendían que los mismos signos significan cosas diferentes en distintos laberintos. Esto sugiere una comprensión del contexto.

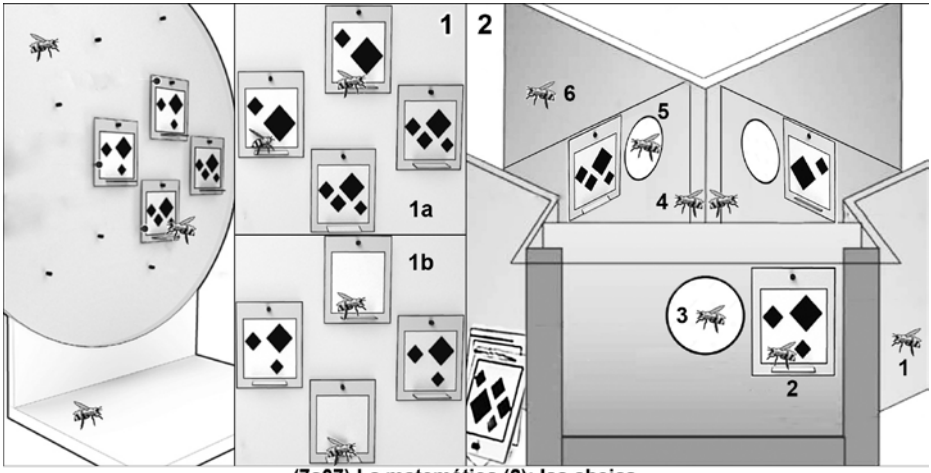
(2) Igual y diferente. /// En otro trabajo se les enseñó a las abejas a elegir objetos simétricos. Luego, debieron aprender relaciones espaciales (arriba-abajo e izquierda-derecha) y el concepto de igual-diferente. Se encontró que además de aprender, pueden transferir el aprendizaje a nuevas situaciones. Si aprendieron a buscar olores iguales, pueden elegir signos iguales. Pudieron aprender a buscar pares de formas basados en el color (igual o distinto color) y disposición espacial (colocadas horizontal o verticalmente). Las abejas dominaron la tarea después de 30 ensayos, en comparación con los miles de intentos requeridos por algunos primates.

(3) La transitividad. Las avispas y abejas fueron parte de un estudio sobre inferencia transitiva (usar lo conocido para inferir lo desconocido). **///** Primero se trabajó con avispas de papel (*Polistes dominula* y *P. metricus*) a las que se entrenó para discriminar entre pares de colores (p.ej., A-B, B-C, C-D). Un color en cada par se asoció con una leve descarga eléctrica y el otro con una recompensa. Las avispas organizaron la información en una jerarquía. Luego se les presentaron pares nuevos de colores (A-C, B-D). No tuvieron problemas para darse cuenta de que un color podía ser seguro en una situación y no en otra. Si bien las avispas resolvieron el problema, cuando se trabajó con abejas no superaron la prueba. Como el cerebro es similar (un millón de neuronas) la diferencia puede tener un origen social. Una colonia de abejas tiene una sola reina y múltiples obreras de igual rango. Las avispas de papel tienen varias hembras reproductivas (fundadoras) y requieren formar y recordar escalas. Es una sociedad más compleja y cambiante. Ambas tienen necesidades sociales diferentes y responden distinto a la transitividad.

(F7a07) Cuentan hasta seis objetos e identifican la ausencia como cero.

(1) /// En un estudio conocido en el 2018 primero se les enseñó a diferenciar entre dos plataformas que mostraban tarjetas con una cantidad de objetos. La tarjeta con menor cantidad entregaba un premio (solución de sacarosa dulce) y la otra, un castigo (quinina desagradable). Se dio por aprendida la asociación cuando llegaron al nivel de 80 % de éxitos. Luego se cambió la forma de los objetos y se comprobó que respondían a la cantidad y no a la forma. Se probaron alternativas y se encontró que podían diferenciar hasta seis objetos.

(2) /// En otra fase del trabajo, las abejas debían elegir entre cartulinas que tenía entre 0 y 6 objetos. Cuando aparecía una cartulina en blanco, la elegían. Esto indica que entienden el concepto de "cero" como una cantidad inferior al uno. Sin embargo, en la opción 0-1 eran menos precisas y les llevaba más tiempo. Cuando un animal toma más tiempo en decidir, se dice que reconoce una incertidumbre (metacognición). Tiene que dedicar un tiempo adicional para procesar lo



(7a07) La matemática (2): las abejas

(1) El cero. La abeja se entrena para reconocer la menor cantidad de objetos (1a). Luego, identifican una cartulina vacía (1b) como cantidad nula de objetos (el cero). **(2) Suman y restan.** Se les muestra una cartulina con objetos (2). Si es de color azul debe sumar +1 y si es amarillo restar -1. Pasa a la siguiente cámara (3) con 2 alternativas (4) y debe elegir la correcta (5) para recibir el premio (6).

que sabe, aunque hay mucha resistencia a decir que "están pensando". Que la distancia numérica afecte al tiempo de decisión indica que conciben el cero como una cantidad en competencia con el resto. Las abejas interpretan una serie numérica donde el 1 está más cerca de 0 que de 5. Esta capacidad es comparable a los primates.

(F7a07) Pueden sumar o restar una unidad. Las operaciones de este tipo requieren dos niveles de procesamiento. Las reglas requieren una memoria a largo plazo durante todo el experimento. Los números requieren una memoria de corto plazo durante el ensayo en curso. **///** Un experimento trabajó con catorce abejas en operaciones de suma y resta. Se construyó un laberinto en forma de "Y" con premios (agua azucarada) y castigos (solución de quinina). Desde la entrada, la abeja veía una cartulina de 1 y 5 objetos (p.ej., cuadrados de distinto tamaño). Si los objetos eran azules, debía sumar una unidad (+1) y si eran amarillos, debían restarla (-1). Luego la abeja pasaba por un agujero a una segunda cámara donde se le ofrecían las dos alternativas de resultados posibles en el brazo Y. Por ejemplo, si se veía una cartulina de 3 cuadrados azules (+1) se tenía la solución correcta (4) y la incorrecta (2). Las posiciones se cambiaban al azar para evitar que se acostumbraran. Al principio, las decisiones eran aleatorias, hasta que pudieron entender cómo resolver el problema. Luego de unas 100 pruebas de aprendizaje (entre 4 y 7 horas) entendieron la función de los colores. Obtuvieron un 67 % de éxitos. En otros estudios se comprobó que la capacidad de sumar y restar se encuentra en las arañas, las aves (loro gris y palomas) y primates (mono vervet, Rhesus, orangutanes y chimpancés).

matemática de aves

(F7a08) Colibrí rufo (*Selasphorus rufus*)**: tienen noción del orden numérico.** Los

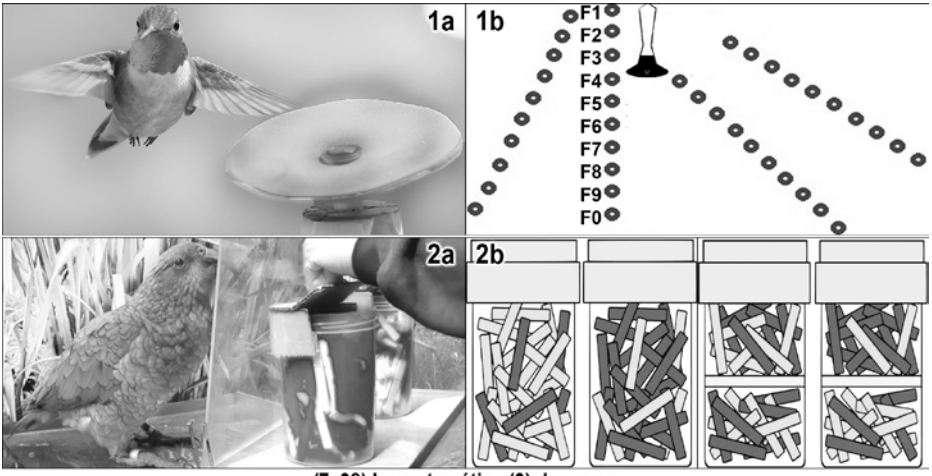
machos silvestres de estos colibríes forman territorios. Si se colocan flores artificiales, aprenden a visitarlas de acuerdo con el régimen con que se rellena el contenido. **///** Un experimento colocó comederos con néctar artificial (solución de sacarosa al 25 %) que se usó como lugar de referencia durante todo el experimento. Este comedero era retirado para las pruebas donde se reemplazaba por diez flores artificiales. Se atraparon nueve colibríes que se marcaron para identificarlos y se liberaron. Para el ensayo, se alinearon 10 flores artificiales idénticas separadas por 20 cm donde solo una tenía néctar. En el primer ensayo, siempre la flor N°1 (la más cercana al comedero) tenía alimento. Las aves aprendieron el truco. Luego se mezclaron los comederos, se movieron de lugar y se cambió el orden relativo. La comida estaba ahora en una posición numérica distinta. Los colibríes pudieron entender el lugar donde estaba para la próxima búsqueda. Esto sugiere que llevan el orden dentro de la secuencia de flores artificiales, lo que está relacionado con el conteo, memoria y orientación.

(F7a08) Loro kea (*Nestor notabilis*)**: las decisiones basadas en la probabilidad.** Este loro es nativo de la isla sur de Nueva Zelanda. Su llamada (*keee-aa*) da origen al nombre. **///** Para un estudio, se les enseñó a asociar la ficha negra con una recompensa, ignorando la ficha naranja. Luego se les mostraron frascos transparentes, llenos de fichas de ambos colores. De esta forma, podían ver cuál color tenía mayoría. Por ejemplo, un frasco contenía igual cantidad de fichas negras y naranjas y el otro, mayor cantidad de negras. El científico tomaba con cada mano una ficha de cada frasco sin mostrarla y el loro debía elegir una mano. El 85 % de las veces, eligieron la mano que contenía la ficha del envase con alto porcentaje de fichas negras. Una vez probado que entendían la probabilidad, se realizaron variantes para confundirlos. Se dividieron los frascos por la mitad, pero interpretaron bien la situación. Luego un científico sacaba una ficha negra de un frasco con mayoría de naranja y el otro elegía al azar. El loro comprendió cuál científico tenía un sesgo por extraer fichas negras y pudo reunir múltiples señales para predecir el futuro. Es como jugar al póker donde hay que combinar la probabilidad y el sesgo a mentir. No queda claro si el loro logra entender que más fichas negras resulta más probable pero que esto no garantiza el éxito. Sin embargo, mostraron un sentido intuitivo de las estadísticas.

Las palomas trabajan con el orden numérico y la probabilidad de ocurrencia.

(1) Aprenden el orden de las cantidades. /// Para un experimento, las palomas fueron entrenadas para ordenar 35 listas numéricas de tres ítems. Eran fotos con 1, 2 o 3 objetos de diferentes tamaños, colores y formas. Fueron recompensadas con granos de trigo cuando elegían la secuencia ascendente correcta. Una vez aprendida la tarea, fueron evaluadas con pares en el rango de 1 a 9 objetos. Los pares eran de tres tipos. Uno tenía solo cantidades del entrenamiento (1-2-3). Otro tenía un número conocido (1-2-3) y otro nuevo (4 a 9). El tercero tenía dos números nuevos (4 a 9). Se encontró que la precisión aumentaba y el tiempo de decisión disminuía, en la medida en que pasaban los ensayos (aprendizaje). Pero la precisión caía cuando la distancia entre números era menor (efecto distancia).

(2) Deciden por la probabilidad de ocurrencia. /// En un trabajo con ocho palomas se las entrenó con dos teclas. Cuando se encendía una tecla, la paloma podía obtener una recompensa si la picoteaba. Cada tecla se iluminó 24 veces, pero mientras una tecla ofrecía 18 recompensas (75 % de las veces), la otra solo en 6 (25 %). Cada tanto, ambas



(7a08) La matemática (3): las aves

(1) **Colibrí rufo**. Desde un comedero de referencia se colocaron 10 flores artificiales (F1-F10). Solo una flor tenía alimento. Se modificó la orientación y distancias. Los colibríes identificaron la flor con premio.
(2) **Loro kea** (*Nestor notabilis*). El loro separado por un vidrio ve 2 vasos llenos de barras de color. Debe elegir una alternativa basado en la probabilidad de ocurrencia. Se muestran 2 ejemplos de problemas propuestos de probabilidad.

se iluminaban a la vez y la paloma debía elegir una de ellas. Se encontró que eligieron la alternativa más ventajosa el 85 % de las veces. Luego se modificó la configuración, llevando la primera tecla a 12 encendidos con 9 recompensas (75 %) y la otra, a 36 encendidos también con 9 recompensas (25 %). Otra vez, luego de familiarizarse, preferían la tecla correcta el 90 % de las veces. Se concluyó que tienen una idea de la ganancia a mediano plazo y llevan una contabilidad difusa.

Cuervos: logran las habilidades en cuatro meses. /// Un estudio probó las habilidades cognitivas de 8 cuervos a los 4, 8, 12 y 16 meses de vida. Se midió la memoria espacial, la permanencia del objeto (comprender que un objeto todavía existe cuando está fuera de la vista), los números relativos, la suma, la capacidad de comunicarse y aprender de un experimentador humano. Se encontró que las habilidades estaban formadas a los cuatro meses y no variaron después. El desempeño era diferente entre individuos (personalidad). El rendimiento fue mejor en números y cantidades y peor en la memoria espacial. Comparado con estudios previos sobre 106 chimpancés y 32 orangutanes se encontró que tienen un rendimiento cognitivo equivalente (menos en memoria espacial). Pero lo logran mucho más rápido (cuatro meses en lugar de muchos años).

Los cormoranes cuentan hasta 8. Los cormoranes (género *Phalacrocorax*) se usan en Asia para la pesca tradicional. Se los entrena para sumergirse y capturar peces, pero se los controla mediante una cuerda que se ata al cuello. De esta forma, los peces grandes no pueden ser tragados y solo pasan los pequeños. Cuando tiene un pez grande en la garganta, se lo lleva hasta el bote y se lo obliga a devolverlo. **///** En el río Li, en China, los cormoranes eran entrenados para devolver siete peces y quedarse con el octavo como recompensa. Hace 50 años se observó

que, cuando devolvían siete peces, se negaban a devolver el octavo y exigían que se les aflojara el nudo para tragarlo. Se negaban a cooperar, mientras otros cormoranes, que no llegaron a la cuota, trabajaban sin problemas. Esto llevó a concluir que podían contar hasta esta cantidad.

matemática de primates

Capuchino pardo (*Cebus apella*)**: tienen razonamiento simbólico. ///** Un estudio probó a cinco capuchinos con alimentos "reales" y con fichas "simbólicas" que representaban los alimentos. Se presentaron tres alimentos (A, B y C) ofrecidos en cantidades variables y se asociaron a las fichas. Luego se pasó a probar la transitividad. Si prefieren A a B y B a C, entonces A debe preferirse a C. Mantuvieron en ambos contextos la transitividad. Sin embargo, fue diferente cuando se trataba de cantidad. Cuando se trabajó con fichas, aumentó la distancia de valoración entre alimentos. Por ejemplo, al elegir entre alimentos reales, resultaba lo mismo un Cheerio (bocadito de avena) y dos piezas de queso parmesano. Pero expresado en fichas, un Cheerio equivalía a 4 fichas de parmesano. Se concluyó que pueden razonar en símbolos, pero con distorsión sobre el valor de los productos.

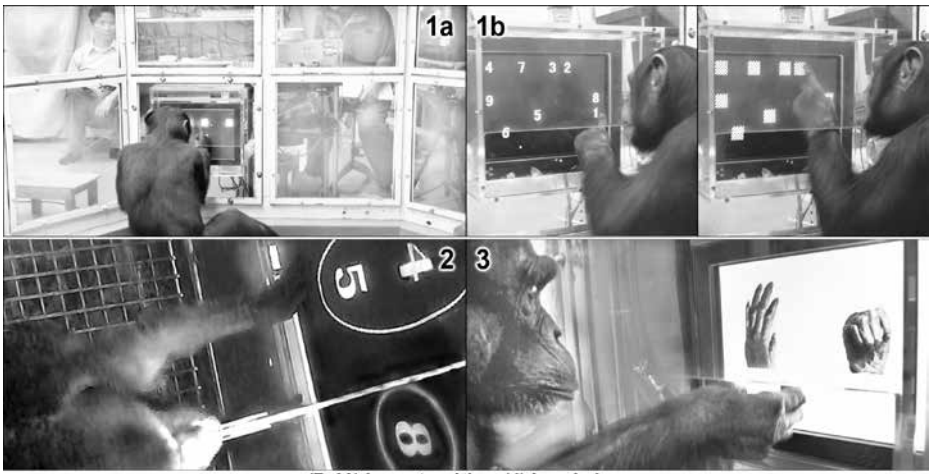
Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*).

(1) Pueden ordenar en forma ascendente. /// Un ensayo consistió en enseñarles a ordenar en forma ascendente pares de cantidades de hasta cuatro elementos. Luego se probaron pares nuevos fuera del rango de entrenamiento (cinco a nueve objetos). Los monos pudieron ordenar los pares de números. Esto sugiere que habían aprendido una regla numérica abstracta (menor-mayor). Se concluyó que pueden entender la escala ordinal del 1 al 9.

(2) Pueden sumar valores y compararlos con otro. /// En otro estudio, se les enseñó a memorizar 26 símbolos (los dígitos 0 a 9 y 16 letras). Se asignó un valor a cada uno de los 26 símbolos, de forma que se premiaba cuando elegían el de mayor valor. El trabajo empezó cuando se les presentaron dos símbolos de un lado y uno solo del otro. Para recibir la recompensa, tenían que sumar los dos símbolos de un lado y compararlo con el solitario. Respondieron cuál era mayor en el 90 % de las veces. Para evitar que resolvieran las tareas por memorización, se introdujo un juego nuevo de símbolos. Una vez entrenados en la escala de valores, se repitió la prueba anterior. Se encontró que estaban sumando, pero que cometían más errores cuando los valores a comparar eran muy próximos. Esto indica que se basan en estimaciones como los humanos.

(3) La proporción entre dos cantidades. /// Un trabajo buscó saber si el macaco puede manejar proporciones. En una computadora se presentaban dos formas (círculos negros o diamantes blancos). Se formaban grupos de objetos y debían seleccionar la variante con mayor proporción de círculos sobre diamantes. Por ejemplo, con 3 círculos y 9 diamantes (3:9) y 8 círculos y 5 diamantes (8:5), lo correcto es (8:5). Luego, se agregó complejidad cuando de ambos lados había más círculos o diamantes. Por ejemplo, si se presentaba (8:16) y (5:6), la respuesta era correcta (5:6) aunque en (8:16) había mayor cantidad de círculos. Se encontró que acertaban en tres de cada cuatro pruebas.

(4) Tienen una idea de probabilidad. /// Un estudio uso la "violación de expectativas" para determinar cómo los macacos administran un concepto básico de probabilidades. Se desarrolló un aparato donde podían verse dos tipos de frutas en canti-



(7a09) La matemática: (4) los simios

(1) Se presentan 9 números en una matriz de 8x5 espacios. El chimpancé observa la distribución y aprieta el número "1". Todos los números se enmascaran y debe recordar la posición del resto. El chimpancé Ayumu logró un 80% de aciertos con 200 mseg de observación. **(2)** Con el macaco Rhesus se verificó el aprendizaje de sumar. Por ejemplo se presentan los números "4-5" e indica que es mayor que el "8". **(3)** El juego "piedra-papel-tijera" viola la transitividad (A<B, B<C, A<C) y es un problema de aprendizaje para el chimpancé.

dades diferentes. Luego se dejaba caer una fruta. La "expectativa" indica que debería caer una de las fruta que son mayoría. A un grupo de control de 20 macacos no se les permitió observar la proporción de frutas. Como no tenían expectativas la reacción fue neutra. Luego se formó un grupo de prueba de 80 macacos que observaban el contenido. Cuando se dejaba caer una fruta de las que estaban en baja proporción los macacos miraban más tiempo en forma incrédula. Esto es un indicio que usan la probabilidad para razonar sobre posibles resultados. Si el resultado viola la probabilidad desconfían del resultado.

Babuino oliva (*Papio anubis*).

(1) La mayor cantidad de maníes. /// En un experimento con ocho babuinos se los enfrentó a dos tazas con diferente cantidad de golosinas. Se colocaron entre uno y ocho maníes en cada taza y debían elegir la que contenía mayor cantidad. La recompensa eran los maníes de la taza elegida. En los pares fáciles (p.ej., 2:7) acertaron el 75 % de las veces. Pero tenían menos éxito en los pares difíciles (p.ej., 6:7) donde acertaron el 55 %. Esto confirma cómo manejan las cantidades. Hasta tres pudieron manejar el formato digital (objetos discretos), pero para valores más grandes, lo hicieron en forma analógica: "aproximadamente mayor que…".

(2) La probabilidad de que sea una palabra. /// Un estudio trabajó con palabras en idioma ingles de cuatro letras. Se probaron seis babuinos que debían mostrar memoria y detectar los patrones recurrentes. Por ejemplo, las secuencias BRRU e ITCS no son palabras, pero KITE sí lo es. La recompensa por el acierto (palabra o no-palabra) era una golosina de trigo seco. En esta prueba no se espera que entendieran el significado de las palabras, solo si eran palabras válidas o no válidas. En 300.000 pruebas

lograron aciertos en tres de cada cuatro. Uno de ellos acertó el 80 % y aprendió 308 palabras de cuatro letras. El aprendizaje fue por ensayo-error y memoria. Pero además, y aquí lo interesante, agregaron la identificación de combinaciones nuevas posibles, por ejemplo las que contienen SH. La asistencia era voluntaria y podían elegir el momento de trabajo. Los más entusiastas hacían 3.000 pruebas al día y el más perezoso solo 400. Iban en busca de comida y la emoción del juego. Ensayos similares se hicieron con palomas (ver la capa de inteligencia artificial).

(F7a09) Chimpancés: la secuenciación numérica.

(1) Secuenciación alternada. La coordinación es esencial en situaciones sociales para resolver problemas de manera conjunta. Los chimpancés trabajan juntos en escenarios de turnos alternados y cambian de turno sin señales externas que ayuden a cronometrar el tiempo. La coordinación permite decidir el momento de su propia entrada. **///** Un estudio pudo demostrar que se turnan para completar una tarea de secuenciación de números. Los chimpancés bajo prueba eran expertos en ordenar una serie de números en la secuencia correcta. Luego fueron puestos a prueba en una versión compartida de la tarea. Los números del 1 al 8 se dividieron en dos pantallas. Por ejemplo, la pantalla táctil de uno mostraba 1-5-7-8 y para el otro 2-3-4-6. La recompensa eran trozos de manzana. Se formaron tres parejas de chimpancés (madres e hijos). Los chimpancés jóvenes cometieron menos errores y respondieron más rápido. Sin embargo, las madres eran mejores trabajando solas. Esto sugiere que los jóvenes son buenos prestando atención a sus madres. Es un indicador de cómo se transfiere el conocimiento entre generaciones.

(2) Memoria y velocidad prodigiosa. /// Un experimento trabajó con un chimpancé (Ayumu) que aprendió a ordenar hasta 17 números en la pantalla de una computadora. Luego se planteó la aparición aleatoria de los dígitos 1 al 9 en una matriz de 8x5 espacios. Cuando el chimpancé observaba la distribución, apretaba con el dedo el 1 y en ese momento todo el resto de los números eran enmascarados por un cuadrado blanco. Ayumu debía seguir el orden del 1 al 9 sin ver los números. Solo con la memoria. Lo llamativo es que el tiempo para memorizar requirió como promedio 200 mseg. Así de rápido asimilaba la posición de los nueve números. La matemática de cálculo se basa en las habilidades de memoria y ordenamiento.

La pérdida de la transitividad en "piedra, papel y tijera". Este juego circular es una diversión para los humanos, pero no para los chimpancés que lo aprenden a fuerza de recompensas con trozos de manzana. El problema es la ruptura de la transitividad: si A es mayor que B y B mayor que C, entonces A es mayor que C. Pero en este juego C es mayor que A (¿cómo?). **///** En un estudio, se entrenaron siete chimpancés frente a una pantalla de computadora en el juego piedra-papel-tijera. Aprendieron la relación de cada par y luego en un juego al azar. La relación entre tijera y piedra fue la más difícil con catorce sesiones de entrenamiento, cuando en las otras había llevado entre dos y tres sesiones. Como resultado, el aprendizaje del juego circular llevó un promedio de 307 sesiones. Luego se trabajó con 38 niños de diferentes edades de preescolar y se encontró que los niños de cuatro años ya juegan con más habilidad que suerte. El promedio fue de cinco sesiones.

conocimientos de física y química

física

(F7a10) Pez arquero (*Toxotes chatareus*)**: la balística en el disparo**. Este pez utiliza una técnica única de caza balística. Derriba a los insectos que están por encima del nivel del agua con un disparo de agua (escupida) dirigido con precisión. El disparo requiere corregir el desplazamiento del objetivo en movimiento y la difracción de la luz bajo el agua.

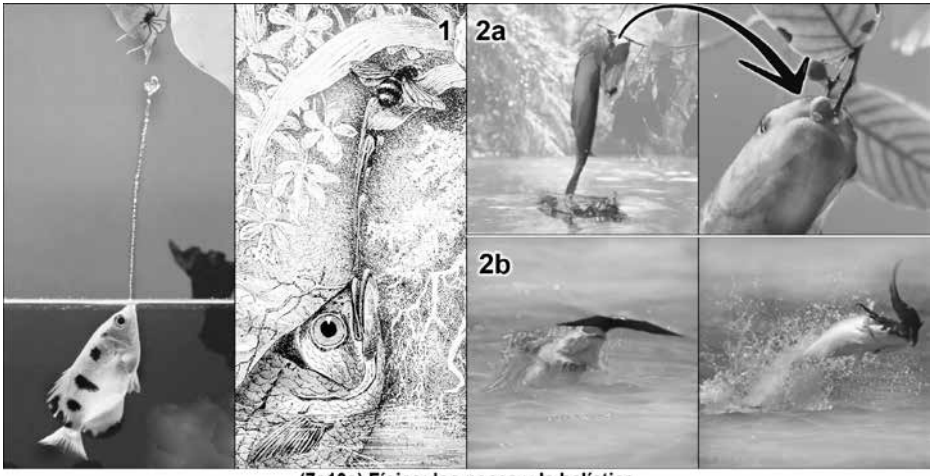
(1) Aprendizaje de balística observando. /// En un experimento se impidió a un grupo de peces arqueros que pudieran practicar el disparo. Se colocó a un individuo dominante al que se permitió practicar el disparo mientras era observado por los otros. Luego se permitió al resto que disparara. Se observó que, desde las primeras pruebas, el rendimiento se acercó al resultado del pez ya entrenado. Se concluyó que los observadores pudieron "ajustar su punto de vista" sobre la base de la observación de prueba-error del otro miembro del grupo. Es un ejemplo de aprendizaje social y de dominio de la balística. En el hombre, la balística también funcionaba por prueba-error hasta que en el renacimiento surgió la física clásica y comenzó a sistematizarse.

(2) Modular la potencia del chorro de agua para lograr el mayor impacto. /// Un estudio analizó la fuerza del disparo del pez arquero. Se encontró que la velocidad de salida del chorro se modula para lograr un aumento gradual de la masa acumulada en la cabeza del chorro. Se trata de sucesivas gotas que expulsan, más lento las primeras y más rápido las últimas. Como resultado, la potencia de la cabeza del chorro entrega un impacto de 3.000 Watt/kg. Esta cifra excede la potencia específica máxima de 500 W/kg que puede entregar el músculo de un vertebrado. La forma de hacerlo es cambiar la sección transversal de la apertura de la boca. Pero esto debe tener en cuenta la distancia al objetivo.

Loro gris (*Psittacus erithacus*)**: puede identificar la cantidad en el envase.** Los loros y cacatúas tienen habilidades en el manejo de herramientas y la matemática. También pueden distinguir entre la apariencia (forma del envase) y la realidad (volumen del contenido). **///** En las pruebas con loros grises, se les mostraron dos vasos de jugo idénticos y se les preguntó cuál preferían. Siendo iguales, la elección era al azar. Luego se vertió el jugo en un vaso alto y delgado y en otro bajo y ancho. Si se trata de humanos, hasta los 6 años el niño elige el más alto creyendo que contiene más. El loro no cayó en esta trampa. Luego se diseñaron pruebas para engañarlo. Por ejemplo, se le mostraron dos tazas con diferentes cantidades de jugo. También se vertieron en tazas donde una tenía un fondo falso de forma que parecían iguales. El loro reconocía la taza que contenía más jugo. Los investigadores se esforzaron en engañarlo, pero el loro seguía los movimientos.

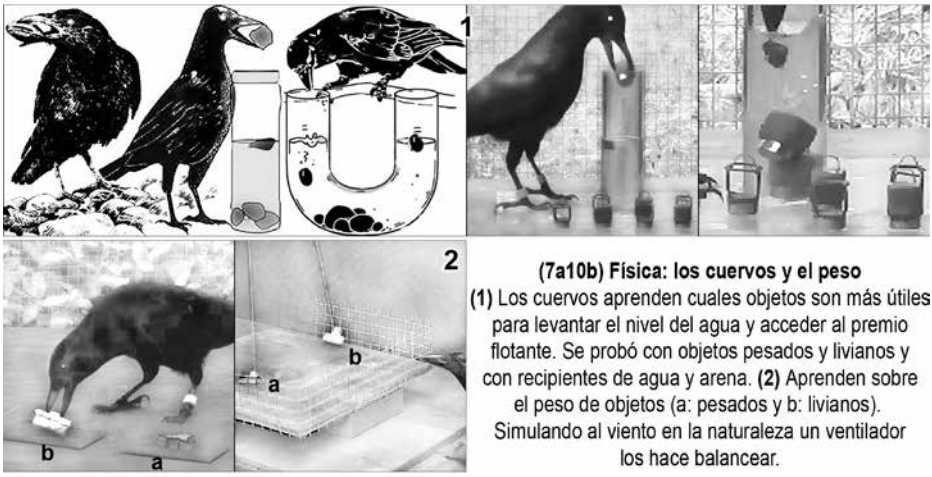
(F7a10) Los cuervos y el peso.

(1) Cuervo Nueva Caledonia (*Corvus moneduloides*)**. ///** En una investigación se entrenó a doce cuervos en dos grupos para discriminar entre objetos ligeros y pesados. Durante el entrenamiento, las aves pudieron tocar y levantar los objetos. Luego se formaron pares de objetos desconocidos, uno ligero y otro pesado, colgados de cuerdas,



(7a10a) Física: los peces y la balística

(1) El pez arquero muestra conocimientos de balística cuando caza insectos mediante un chorro de agua que calibra por ensayos de prueba-error o mediante la observación social. **(2a)** Más simple, el pez piraputanga pega saltos fuera del agua para alcanzar frutos. **(2a)** El pez jurel caza aves en el mar saltando fuera del agua.



(7a10b) Física: los cuervos y el peso

(1) Los cuervos aprenden cuales objetos son más útiles para levantar el nivel del agua y acceder al premio flotante. Se probó con objetos pesados y livianos y con recipientes de agua y arena. **(2)** Aprenden sobre el peso de objetos (a: pesados y b: livianos). Simulando al viento en la naturaleza un ventilador los hace balancear.

frente a un ventilador donde se balanceaban. Con esta información, en el 73 % de los ensayos, eligieron el objeto liviano o pesado que se le pedía. Si la prueba se realizaba con el ventilador apagado o con cuervos del grupo de control que no habían aprendido sobre el peso, el resultado era el azar. En estos ensayos el ventilador funcionaba como reemplazo del viento en la naturaleza. La evaluación subjetiva del peso puede ser de utilidad para buscar nueces llenas.

(2) Arrendajos (*Garrulus glandarius*)**: pueden discernir entre un maní lleno o vacío. ///** En un experimento se tomaron maníes con cáscara, se los procesó con delicadeza cambiando el contenido para entregarlos a los cuervos. Se presentaban grupos de diez vainas de tres maníes

llenas o vacías, de igual aspecto exterior. Las aves tomaban la vaina y de inmediato la aceptaban o rechazaban sin abrirlas. También se usaron vainas rellenas de arcilla con un peso de un gramo o superior y los cuervos pudieron notar la diferencia y tomar las más pesadas. Se nota que sacuden las vainas con el pico como parte del proceso de decisión. Luego, se prepararon vainas de 1, 2 y 3 nueces y con diferentes combinaciones de maníes adentro. Debían elegir entre vainas de masa similar pero de diferente tamaño. Si la vaina grande era liviana y la pequeña era pesada, elegían la pequeña. Se comportaron como si supieran que algo andaba mal. Cuando sacudían las nueces en sus picos, producían sonidos que también tenían en cuenta.

Tres casos de desplazamiento en un fluido (Principio de Arquímedes).

(1) (F) Cuervo de Nueva Caledonia: sobre volumen y peso. /// En el 2014 se entrenaron seis cuervos para manipular piedras dentro de tubos llenos de agua. Luego se les asignaron pruebas para ver si entendían la relación causa-efecto en el desplazamiento del agua. La cadena de acontecimientos era la siguiente: tomaban una piedra, la arrojaban al agua, el nivel del agua subía, la comida flotaba más alta, y repetían la operatoria una y otra vez hasta llegar arriba. En otra prueba debían diferenciar entre agua y arena en el recipiente, ya que si había arena el arrojar piedras no tiene efecto alguno. Entendieron que los objetos sólidos se hunden y los huecos flotan y que no funciona arrojar piedras a la arena. Además, se les dieron dos tubos de distinto tamaño, de forma que el de menor diámetro era preferible porque se llenaba más rápido. Los cuervos resolvieron el problema en cuatro de las seis pruebas. También se les presentó un problema donde el tubo tenía forma de U. En este caso, tenían que inferir que había una conexión entre las dos ramas del tubo.

(2) Mapache (*Procyon lotor*)**. ///** Un estudio trabajó con ocho mapaches en una prueba de desplazamiento de agua en un recipiente con una golosina (malvavisco) flotando. Se les dejaron piedras cerca del tubo, pero los mapaches no vieron la conexión. Tampoco los cuervos del caso anterior vieron la conexión en su primer intento. De los ocho mapaches, fueron cuatro los que en forma accidental dejaron caer piedras en el agua. Pero solo dos parece que comprendieron la acción y recogieron piedras en forma proactiva. A estos dos mapaches se les dieron objetos varios para sumergir. A diferencia de los cuervos, los mapaches no parecían evaluar el tamaño o el peso. Tenían una intención exploratoria y quizás con el tiempo podrían haber entendido más sobre el valor de los objetos. Uno de los mapaches dejó de explorar los objetos y se dedicó a descubrir cómo derribar todo el aparato, derramar el agua y obtener el malvavisco. Al menos demostró cierta habilidad sólida para resolver problemas.

(3) Elefante asiático. La misma prueba fue adaptada para investigar a otros animales. Así como los cuervos necesitan poner piedras en el tubo, los primates escupen agua en el tubo y los elefantes agregan agua con la trompa. **///** Un experimento trabajó con doce elefantes asiáticos en zoológicos. Una elefanta resolvió el problema en forma espontánea necesitando varios pasos para agregar suficiente cantidad de agua en el tubo. En pruebas posteriores el tiempo de solución del problema disminuyó. Pero, salvo esta elefanta, el resto necesitó entrenamiento previo para comprender la solución. Entonces se probó con el aprendizaje social, permitiendo que observaran otros que ya sabían de la solución. Ningún elefante observador resolvió la tarea hasta después de ver tres demostraciones. Es posible que no

fueran suficientes, o que no respondan bien a la observación visual, estando más interesados en el tacto y olor.

(4) Chimpancés. En la prueba con el chimpancé, se puso un tubo aferrado a los barrotes de la jaula y un maní en el fondo. El chimpancé intenta con los dedos y los labios. Se desanima. Al rato vuelve con agua en la boca y la deposita en el tubo. No llega al maní. Vuelve a intentarlo. A la tercera vez obtiene el maní. El 20 % de los chimpancés probados logró resolver el problema. Entre los orangutanes, ninguno pudo hacerlo. En los humanos, lo resolvió el 8 % de los niños de 4 años y el 58 % de los de 8 años.

Chimpancés: sobre tirar, empujar y el peso de los objetos. Los primates muestran conocimientos intuitivos de física. Por ejemplo, cuando los chimpancés seleccionan piedras que llevan para usarlas de martillo, o los gorilas usan varas para medir la profundidad del agua.

(1) Un problema de vida o muerte. /// En un zoológico de Suecia un chimpancé juvenil se enredó por el cuello con una soga que colgaba. Se estaba ahogando. Un macho de alto rango se acercó y lo levantó con un brazo, con lo que quitó la presión de la cuerda. Con su mano libre, desenvolvió la cuerda y lo soltó. Fue una demostración de empatía, ante la emoción del pequeño, y de conocimiento sobre qué hacer para evitar tirar del menor. Necesitó comprender lo que sucedía antes de encontrar la solución.

(2) El concepto innato del peso. Los grandes simios saben, sin aprender, que en una balanza, el platillo que está más abajo tiene más probabilidad de contener comida. Tienen una preferencia espontánea, desde la primera vez, por el plato inferior. En cambio los cuervos parece que no tienen este conocimiento. Cometen errores a la hora de evaluar qué piedras ejercerán mayor fuerza en una palanca para liberar alimentos. Parece que se guían menos por el concepto de peso o fuerza, y aprenden mediante una solución prueba-error.

química y biología

Problema: no hay dos que detecten lo mismo. La química se basa en compuestos, proporciones y reacciones. La ciencia llevó estos aspectos, que ya existían en los animales, a niveles impensados. Por ejemplo, la inteligencia artificial permite predecir si una molécula puede tener características antimicrobianas sin hacer ninguna experiencia real. Solo usa el conocimiento ya aprendido y lo extrapola. **///** Un estudio en humanos encontró unos 400 genes que codifican los receptores de olores. El Proyecto 1000-Genomas determinó más de 900.000 variaciones de esos genes. En promedio, la comparación de receptores entregó un 30 % de diferencias. El estudio clonó más de 500 receptores de 20 individuos con ligeras variaciones genéticas. Se los expuso a 73 odorantes (p.ej., vainillina o guayacol) y se identificaron 27 receptores que respondían al menos a un odorante. De esta forma, un mismo olor activará de distinta forma los receptores y entregará una interpretación en el cerebro diferente para cada individuo. **La evaluación química sin instrumental científico resulta ser un rasgo de la personalidad de los seres vivos.**

La predicción de la calidad de un producto.

(1) Las plantas necesitan que las frutas sean consumidas cuando las semillas están listas para ser dispersadas y los animales necesitan el mayor contenido de azúcar y nutrientes. Es lógico que perfeccionen la identificación de la fruta apropiada. **///** En la selva mexicana se evaluó a cinco monos ara-

ña (género *Ateles*) en la capacidad para distinguir olores de frutas. Se les presentaron mezclas de diez sustancias que simulaban los frutos de dos árboles tropicales en diferentes etapas de madurez. La tarea consistía en seleccionar la mejor fruta, y lo hicieron en más del 70 % de los intentos. Cuando las mezclas se nivelaron, siguieron notando la diferencia. Esta capacidad innata (basada en los receptores químicos) fue perfeccionada (por el aprendizaje) para aprovechar mejor el ciclo de maduración de la fruta.

(2) Un orangután (*Pongo abelii*) **que pronostica el sabor. ///** Un orangután de Sumatra (Naong) de 21 años, fue parte de un estudio en el Zoo de Furubik (Suecia). Como grupo de control se tomó a diez humanos de entre 20 y 35 años. Las pruebas requerían que se construyeran mentalmente nuevas mezclas de jugos a partir de ingredientes conocidos. Consistía en pronosticar si el resultado era o no agradable. Se combinaron cuatro ingredientes conocidos (cereza, limón, ruibarbo y vinagre de manzana) en seis mezclas de bebidas que nunca se habían probado. Se encontró que cada uno tomaba decisiones coherentes con sus preferencias particulares. El orangután pudo integrar recuerdos para generar nuevas mezclas y predecir si el resultado sería sabroso o no. El desempeño del orangután estuvo dentro del rango de lo mostrado por los humanos. Nunca respondió al azar, en el modo de prueba y error.

La habilidad de clasificar a los animales (introducción a la taxonomía).

(1) Orangutanes. /// En un estudio con cuatro orangutanes, se les mostraron imágenes de animales. Se les pidió que, dada una imagen (insecto, reptil, pez, ave o mamífero), eligieran otra imagen entre un conjunto. Se les presentaron imágenes de la misma clase, familia y especie. Por ejemplo, en el caso de la clase "aves", que involucra una variedad muy amplia, se agrega dificultad. Usando la percepción sería más difícil interpretar en la misma clase (p.ej., loros y buitres), que de especies cercanas (p.ej., dos especies de loros). Sin embargo, les resultó más fácil emparejar a nivel de clase. Esto significa que formaron un concepto que se extiende más allá de la similitud perceptiva. Esta capacidad de igualar estímulos a nivel de clase taxonómica (p.ej., las aves son voladoras) indica que pueden extraer categorías abstractas. Parece que pueden compartir un proceso conceptual con los humanos.

(2) Macaco Rhesus. /// En otro estudio con cuatro Rhesus, se encontró que pueden clasificar fotografías en las categorías: humanos, peces, aves y flores. La base fotográfica de prueba tenía más de 2.000 fotos de cada categoría. Se cambiaban los ángulos de la fotografía para evitar que se fijen en una característica (p.ej., el pico en las aves). Los macacos pudieron distinguir aves, incluso basados en un primer plano de un ala.

La automedicación. La medicación en los animales cabalga entre la química y biología. Es parte del repertorio de muchos animales. La automedicación, a continuación…

TEMA DE ESTUDIO

711 herramientas

automedicación

¿de qué se trata? La medicación es un cambio en la alimentación que mejora al individuo. El animal debe determinar el cuándo (el momento del consumo ligado a una enfermedad), el qué (el compuesto), el cuánto (la dosis) y algunas veces el cómo (el procesamiento). La forma más simple de automedicarse es tener incorporado el medicamento en la dieta normal y aumentar la dosis. Esto puede ocurrir cuando la enfermedad modifica la percepción del alimento e incentiva a aumentar la dosis. Otra posibilidad es aprender observando a los demás y adoptar la costumbre. Cuando la automedicación requiere un procesamiento se puede asimilar al uso de herramientas.

Las condiciones que deben cumplirse para ser automedicación:
-Cuando un animal consume un compuesto (planta, insecto o mineral) como medicamento no debería formar parte regular de la dieta, y si lo es, debe haber un cambio significativo en la dosis.
-El consumo del medicamento debe dar poco o ningún valor nutritivo o debe producir un perjuicio si se consume en condiciones sanas (debe ser costoso para los sanos).
-Tienen que consumirse cuando los parásitos determinan un cambio de conducta (debe ser una necesidad para los enfermos).
-Debe ser una actividad individual, no social, aunque se aprende o perfecciona de alguna forma por observación.
-El cambio de conducta debe ocurrir en la naturaleza no en cautividad.

Farmacia de los watongwe. Se cuenta que hace un siglo en Mahale (Tanzania) un puercoespín que estaba enfermo ingirió raíces de una planta conocida como mulengelele (arbusto del género *Vernonia*). La gente de la aldea WaTongwe evitaba esta planta por ser muy venenosa. Pero, ante una epidemia de una enfermedad similar a la disentería, el curandero de la aldea siguió el ejemplo del puercoespín y probó la planta. Luego la introdujo entre los otros habitantes de la aldea. Los watongwe usan todavía esa planta para enfermedades como gonorrea y sífilis. En Nigeria se encontró que el 30 % de las especies de plantas alimenticias son también usadas como medicina. Además, el 89 % de las especies de plantas usadas para tratar los síntomas de la malaria, también se utilizaron en un contexto dietético.

… en los insectos

Oruga de polilla (*Grammia incorrupta*)**: primer caso conocido de uso de alcaloides en insectos.** Las orugas pueden hacer un cambio nutricional incorporando tóxicos para protegerse de los huevos de las avispas parásitas. El siguiente fue el primer caso que se describió de automedicación en

insectos. **///** Un análisis trabajó con la polilla *G. incorrupta*, que se alimenta del arbusto póñil (*Fullugia paradoxa*). Allí ponen los huevos. Sus orugas serán parasitadas por avispas y moscas (familia *Tachinidae*). La primera línea de defensa de la oruga son los hemocitos (células similares a los glóbulos blancos). Cuando detectan los huevos parásitos, se produce una sustancia que cambia el sabor en la oruga. Esto altera el régimen de comidas, pasando a consumir mayor cantidad de alcaloides naturales (pirrolizidina). Estas moléculas no tienen un valor nutricional, por lo que las orugas crecen más lento. Pero sirven de veneno para los huevos de los parásitos. Se midió que, cuando las orugas no estaban infectadas con huevos, el consumo del alcaloide reducía la supervivencia en 16 % (lo que confirma que es tóxico). Pero si estaban infectadas, la supervivencia aumentaba 17 % respecto de las orugas sin alcaloide (confirma que es un medicamento). Se encontró que si era parasitada por un solo huevo, bastaba con la ingestión de comida nutritiva (proteínas y carbohidratos) para aumentar las defensas del sistema inmunológico. Pero con dos o más huevos, consumían más alcaloides. La cantidad de alcaloide aumentaba con dos y tres huevos, donde se estancaba. El consumo fue más del doble de alimentos ricos en alcaloides de lo normal.

Orugas de polilla tigre (*Platyprepia virginalis*)**: la cicuta beneficia a las orugas**. Como en el caso anterior, cuando el sistema inmune de la oruga reconoce a un parásito, modifica la percepción del sabor y se vuelve más receptivo a la toxina cicuta. **///** Un estudio encontró que, cuando esta oruga está infectada, deja de alimentarse de la leguminosa lupino arbustivo (*Lupinus albus*) y pasa a la cicuta (*Conium maculatum*) que es venenosa. En este caso el veneno parece otorgar una tolerancia, porque la oruga y el parásito pueden sobrevivir. No queda claro si se trata de una automedicación de la oruga o de una manipulación del parásito mediante sus propias toxinas. Es decir, puede ser que la oruga cambie la alimentación para controlar al parásito o que el parásito intoxique a la oruga y la manipule para que coma un veneno que no la mata pero la aletarga y facilita la convivencia.

Abejas: nicotina contra parásitos. /// La nicotina es un metabolito secundario del néctar en algunas plantas (familia *Solanaceae* y *Tiliaspecie*). Las abejas parasitadas por un protista (*Crithidia bombi*) pueden usar este néctar como automedicación. Esto se comprobó mediante estudios toxicológicos, microbiológicos y conductuales. En un trabajo se encontró que las abejas infectadas consumieron más nicotina durante la búsqueda de alimento. La nicotina en la dieta no eliminó la infección, y diez días después la carga parasitaria se acercó al nivel de las abejas de control. El alcaloide tuvo efectos perjudiciales en las abejas sanas y los efectos de ayuda fueron pasajeros en las enfermas.

Mariposa monarca (*Danaus plexippus*)**: la acumulación de toxinas.** Los estudios indican que esta mariposa puede ser infectada por protozoos parásitos que se transmiten desde la hembra a sus huevos. **///** Se encontró que la infección produce una modificación en la sensibilidad de la monarca a los olores vegetales. De esta forma, en caso de infección pueden consumir plantas tóxicas y curativas (*Ophryocystis elektroscirrha*) que atacan a los protozoos. También se encontró que ponen los huevos en la planta algodoncillo (género *Asclepia*), planta que produce químicos (cardenólidos) que protegen a las

orugas de los parásitos. La oruga come las hojas y el tóxico lo acumula sin procesar. Cuando la mariposa llega a adulta, lleva el tóxico incorporado por lo que la protege contra predadores como las aves.

Mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)**: el alcohol ayuda a las moscas.** Se sabe que el alcohol protege a las larvas de las moscas de los huevos de las avispas. Las moscas infectadas se automedican compuestos con alcohol. **///** Un estudio trabajó con moscas de la fruta y unas avispas parásitas (*Leptopilina heterotoma*). En el experimento se colocaron 300 moscas en jaulas con dos platos de comida, uno de los cuales tenía etanol al 6 %. Se colocaron 50 avispas hembra para medir la reacción de las moscas y se contaron los huevos de las moscas 24 y 48 horas después. Las moscas de control (sin avispas) prefirieron poner los huevos en los platos sin alcohol. Las moscas en presencia de avispas hembra pusieron mayor cantidad de huevos en el plato con alcohol. Cuando se pusieron avispas macho no mostraban preferencia por el alcohol. Esto indica que las moscas podían reconocer entre avispas macho y hembra y si eran hembras preferían la comida con alcohol. Sin la presencia de avispas, se les ofreció platos con varias concentraciones de etanol y prefirieron la concentración de 3 %. Esto es consistente con los riesgos del alto contenido de alcohol al 6 %. Pero si había avispas hembra elegían el plato de mayor concentración (12-15 %). Este comportamiento es mediado por un neurotransmisor y permanece un tiempo una vez eliminadas las avispas.

Hormigas. En el apartado especial sobre hormigas se trata el uso de peróxido de hidrógeno y ácido fórmico como armas químicas, tanto defensivas como ofensivas.

… en los nidos de aves

El uso de plantas aromáticas naturales en los nidos con fines preventivos.

(1) Herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*). **///** En un estudio se encontró que, de los cientos de variedades vegetales cercanas al nido, solo usaron una decena. Cuando los investigadores retiraban alguna variedad (p.ej., lavanda) el herrerillo la reponía. Volvía a colocar una nueva rama o brote de la misma clase de planta en apenas unas horas. Esto sugiere que tiene un balance mental de los componentes y que no son al azar.

(2) Estornino pinto (*Sturnus vulgaris*). **///** El estornino también selecciona las especies vegetales que usa en su nido. Un estudio encontró en el nido las especies zanahoria salvaje *(Daucus carota)*, aquilea *(Achillea millefolia)* y otras usadas en fitoterapia. Estas plantas son muy aromáticas y contienen muchos aceites esenciales. Son las plantas que más huelen en el entorno y son seleccionadas con el olfato por los machos. Cuando se quitaron las plantas olorosas y frescas de algunos nidos se midió un incremento de ácaros. Estas plantas aumentaron la protección contra bacterias patógenas y retrasaron la eclosión de los huevos de piojos (género *Menacanthus*).

(3) Gorrión común (*Passer domesticus*). **///** Un estudio en Calcuta (India) mostró que, poco antes de la eclosión de los huevos, los gorriones tapizan sus nidos con hojas de nimbo (*Azadirachta indica*). Esta planta es muy conocida por sus propiedades insecticidas. Pero, durante un brote de malaria (provocada por el parásito de género *Plasmodium*), se observó que los gorriones cambiaron del nimbo al clavellino (*Caesalpinia pulcherrima*). Esta planta es rica en quinina lo que quizás sirve para paliar los síntomas de la enfermedad.

Arrendajo (*Garrulus glandarius*)**: eliminan el ácido fórmico de las hormigas antes de comerlas.** Estos cuervos, como otras muchas especies de aves, usan y comen hormigas. Por ejemplo, se extienden con las alas abiertas, toman hormigas con el pico y las frotan contra las plumas. El hormigueo (*anting*) tiene varias posibles explicaciones. Una hipótesis dice que el ácido fórmico de las hormigas sirve contra los parásitos (ácaros). Pero los estudios no encontraron evidencia sólida para esto. Otra hipótesis dice que eliminan el ácido fórmico antes de comerlas, para hacerlas digestibles. Aunque no se descarta que tenga una función de protección.

(1) /// Un estudio con seis arrendajos les ofreció hormigas con las glándulas ácidas intactas o extirpadas. Las hormigas sin ácido fórmico fueron engullidas sin más trámite. Si estaban intactas, les quitaban el ácido, pero las manejaron con tanta suavidad que conservaron todo el contenido nutritivo del estómago. Se calculó que, para un arrendajo, el consumo de diez hormigas equivale a un huevo revuelto en los humanos.

(2) /// En otras observaciones se encontró que cuervos y estorninos usan otros materiales de la misma forma que las hormigas. Por ejemplo, las cáscaras de manzana, naranja y limón, bolas de naftalina, piezas de neumáticos de goma y colillas de cigarrillos encendidos. Los estorninos se acercan al fuego para darse una ducha de humo en las plumas. Esto sugiere que el *anting* tendría que ver con la higiene y prevención.

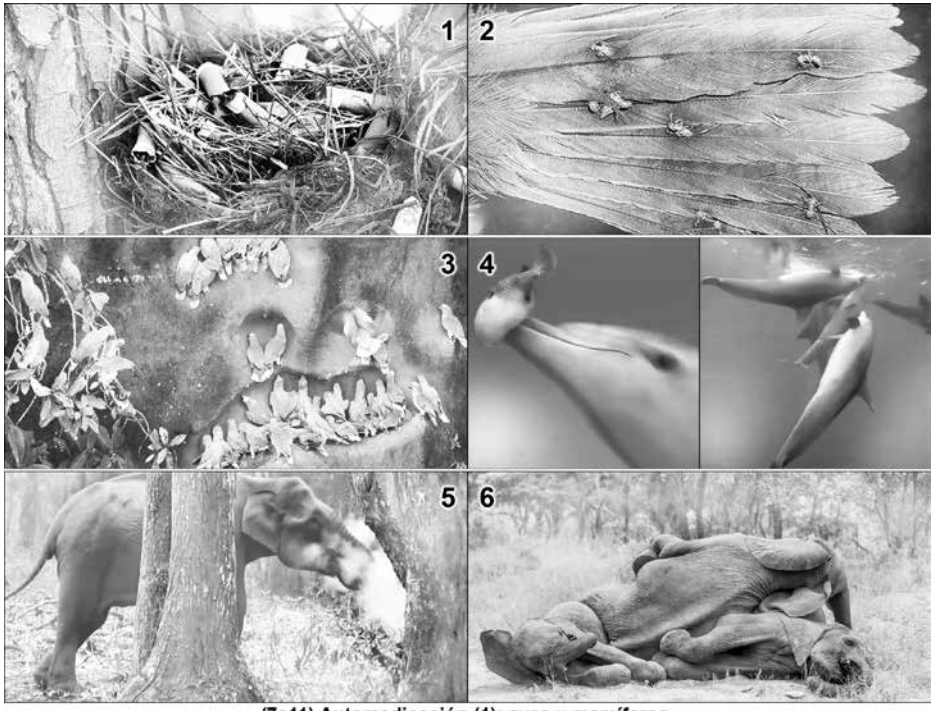
(F7a11) Pinzón común (*Carpodacus mexicanus*)**: usan colillas de cigarrillos contra ácaros y garrapatas.** La disponibilidad de colillas es demasiado reciente como para que su uso sea un rasgo genético. Es posible que ciertos productos químicos que están en la naturaleza también estén en las colillas. Entonces, llevó poco tiempo entender que esta fuente era una alternativa a la natural y la costumbre se propagó en forma social. Las colillas tienen restos de sustancias (acetato de celulosa y nicotina) que son repelentes. Además, contienen leves trazas de pesticidas, herbicidas y otros químicos de la agricultura del tabaco. No está claro si las colillas son perjudiciales también para los polluelos a largo plazo.

(1) /// Un estudio encontró que los pinzones son más propensos a agregar fibras de cigarrillo al nido si contienen garrapatas o ácaros. Estos parásitos producen daños al comer plumas y chupar sangre de las aves. En el estudio se usaron trampas térmicas para comparar la presencia de insectos (ácaros) en nidos con y sin colillas. En los nidos con colillas había menos parásitos.

(2) /// En un experimento, se intervino luego de la eclosión de los huevos, en 32 nidos. Se reemplazó el nido por uno de fieltro para eliminar todas las plagas. Algunos nidos recibieron garrapatas vivas; otros, garrapatas muertas y otros nidos se usaron como control. Se encontró que los nidos con garrapatas vivas recibían más colillas de cigarrillos. Cuantos más insectos vivos había en el nido, más cigarrillos traían los pinzones. Si había parásitos muertos no traían colillas.

… en mamíferos

(F7a11) Delfín dientes quebrados (*Steno bredanensis*)**: intoxicación con el pez globo. ///** Unas observaciones en las islas Azores permitieron seguir a una decena de grupos que reunían 50-60 delfines en total. En cierta oportunidad estaban perezosos, sin rumbo, tumbados vientre hacia arriba. Se lo atribuyó a los peces globo con los que los



(7a11) Automedicación (1): aves y mamíferos

(1) Los nidos de las aves pueden llevar colillas de cigarrillos que sirven para repeler ácaros. **(2)** Algunas aves usan hormigas (*anting*) para extraer el ácido fórmico y ponerlo en las plumas. **(3)** Estos loros del amazonas de Perú comen arcilla rica en sodio (geofagia) durante la época de reproducción. **(4)** Este grupo de delfines quedaron intoxicados al interactuar con un pez globo. **(5)** Un elefante come cenizas de un incendio natural y las expulsa por la trompa. **(6)** Algunos elefantes comen la fruta de la marula y parece que se emborrachan.

delfines interactuaban. Se interpretó que podía ser una intoxicación con el veneno tetrodotoxina del pez globo. Esta toxina es tan peligrosa que una pequeña dosis puede matar. Es 120.000 veces más letal que la cocaína en la misma dosis de gramos. Es de 10 a 100 veces más letal que el veneno de las arañas viuda negra y la serpiente mamba negra. No quedó claro si se trató de un contacto casual (juego) o en busca de drogarse. La búsqueda activa de una intoxicación parece muy riesgosa con este veneno. Pero además, la tetrodotoxina no es psicoactiva ya que lo que hace es provocar la paralización, pero no altera la mente, por lo que sería una mala elección como droga.

Felinos: el placer y la lucha contra insectos. La hierba gatera (*Nepeta cataria*) y la vid plateada (*Actinidia polygama*) son plantas que contienen iridoides, un repelente de pulgones. Uno de los compuestos químicos es el nepetalactol que afecta a los gatos. ***///*** En un estudio, se pusieron hojas con nepetalactol en bolsas de papel y se presentaron a felinos (25 gatos domésticos, 30 salvajes, leopardos, linces y jaguares). Los felinos se rindieron a la sustancia, se

frotaron la cabeza y el cuerpo durante un promedio de diez minutos. En cambio los perros y ratones no mostraron interés. Luego se midieron los niveles de betaendorfinas. Estas hormonas se asocian al alivio del dolor y el placer porque activa el sistema opioide. Se encontró que las hormonas aumentaban después de la exposición al nepetalactol. En cinco gatos se bloquearon los sistemas de detección de opioides y no reaccionaron. También se comprobó que los gatos transfirieron la sustancia química a su piel y que repelían a los mosquitos. Un caso de automedicación con doble propósito.

(F7a11) Elefantes.

(1) Comen carbón incendiado. /// En el P.N. Nagarhole (India) se vio un elefante asiático ingerir carbón vegetal. Se sabe que el carbón tiene un efecto laxante y propiedades curativas al unirse con las toxinas. El ambiente de la observación fue un parche quemado del bosque húmedo (árboles caducifolios). La observación con cámara trampa muestra a una hembra que toma carbón y lo sopla con la trompa. Esto generó una nube de humo como si estuviera fumando que fue lo primero que llamó la atención.

(2) Para facilidad de parto. /// Las mujeres humanas en Kenia preparan té con las hojas de un árbol de la familia *Boraginaceae* para inducir el parto. Parece que las hembras preñadas de elefantes también buscan esta planta. El seguimiento anual de una hembra preñada en el P.N. Tsavo (Kenia) permitió observar un cambio puntual en la dieta de todo el año. Al final de su embarazo, caminó seis veces más por día para comer de un árbol del que nunca había comido. Consumió desde las hojas hasta el tronco, dejando un muñón. En cuatro días, comenzaron las contracciones y dio a luz a una cría sana. Nunca se observó comer de este árbol fuera de este evento.

(3) La embriaguez. La fruta de la planta marula (*Sclerocarya birrea*) gana un 3 % en contenido de alcohol (por fermentación) luego de unos días en el suelo. Los elefantes africanos consumen esta fruta y se sabe que gustan de tomar bebidas alcohólicas. Estas dos realidades se combinaron para generar la idea de que se emborrachan con la marula. **///** Pero un estudio encontró que deberían comer cuatro veces más marulas de lo necesario y no beber agua para que tuvieran efecto. Sin embargo, a los elefantes se los observa ebrios. La causa podría ser la corteza del árbol que está habitada por orugas de un escarabajo venenoso que los indígenas usan como veneno para flechas.

Corderos: aprendizaje de medicación. Un enigma es cómo los animales aprenden por primera vez que las plantas son medicinales. Se observó que los corderos infectados con parásitos tienden a probar nuevas plantas. Pierden la "neofobia alimentaria" (temor a nuevos sabores). Aumenta la exploración y la probabilidad de un descubrimiento medicinal accidental. Consumen plantas con múltiples sustancias antiparasitarias lo que minimiza la resistencia de los microbios a los antibióticos. **///** En un ensayo de campo se infectó a corderos con larvas de parásitos y se les ofreció alimento con taninos. Se midió que la carga parasitaria se redujo. Más tarde, solo los corderos que experimentaron los efectos antiparasitarios eligieron este forraje. Solo lo comían cuando tenían parásitos. Se observó que otros corderos aprendían más rápido cuando estaban juntos, lo que apunta a una transferencia cultural. Entonces, si los animales de pastoreo son capaces de automedicarse, los ganaderos deberían proveerles una amplia variedad de plantas. Algunos aseguran que el ganado de pastoreo salvaje es más saludable que los confinados, por esta razón.

… en los primates

(F7a12) Lémures: usan a milpiés como fuente de toxinas para la piel. En Madagascar las lluvias hacen emerger a los milpiés del suelo. En la misma época, los lémures tienen el máximo de infecciones estomacales. **///** Las observaciones de campo en Kirindy muestran que los lémures toman a un milpiés, lo muerden y se lo frotan por el cuerpo y genitales. También se observa que mastican el milpiés con lo que gotean un líquido naranja de su boca. En las observaciones, fueron varios los lémures que hicieron lo mismo. Lo que ocurre es que los milpiés arborícolas (género *Sechelleptus*) secretan toxinas defensivas (benzoquinona) que sirven para controlar los parásitos gastrointestinales (nematodos *Oxyuridae*). Uno de los casos documentados es el lémur pardo de frente roja (*Eulemur rufifrons*). Esta especie es la que muestra mayor cantidad de parásitos nematodos. La infección se hace evidente cuando los nematodos salen por el ano para depositar los huevos afuera en la piel circundante. Los milpiés producen esta toxina cáustica usada por los lémures como insecticida y antimicrobiano. La aplicación del milpiés no es solo vía tópica (refregándolo en la piel), sino que también lo muerden y tragan. Tragarlos luego de usarlos en la piel ayuda a que sean menos tóxicos en el sistema digestivo y tengan un efecto preventivo. Es similar a las aves que comen hormigas luego de quitarles el ácido fórmico en las plumas.

Monos del nuevo mundo.

(1) Capuchinos: usan milpiés como repelente de insectos. En Venezuela se observó al capuchino llorón (*Cebus olivaceus*) untarse con milpiés (*Orthoporus dorsovittatus*). Tendría la función de disuasión química contra los mosquitos. Se observó que compartían los milpiés con otros monos, en lo que podría ser una función cultural. **///** En un estudio con mosquitos hembra (*Aedes aegypti*), se les presentaron compuestos extraídos de milpiés (benzoquinona) mezclados con sangre. Los mosquitos se alimentaron menos y volaron más (repelencia). Estos compuestos también son usados como una unción en los capuchinos maicero (*C. apella*) y capuchino cara blanca (*C. capucinus*). Por ejemplo, al maicero se lo vio usar hojas de plantas aromáticas, de cebolla o cítricos, e insectos (hormigas y milpiés). Todos tienen alguna forma de propiedades repelentes de insectos. Los aplican con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias cuando hay más insectos voladores.

(2) Mono de saki (*Pithecia rylandsi*)**: consumen lodo para neutralizar toxinas.** Una gran parte de la dieta en la selva amazónica peruana son semillas de frutas inmaduras. Están llenas de productos químicos tóxicos y necesitan compuestos que los neutralicen. El mono saki vive en el dosel de la selva tropical y parece usar el lodo para prevenir las molestias estomacales. El lodo podría controlar los parásitos y entregar minerales. **///** Los estudios indican que no consiguen el barro en el suelo, sino que lo obtienen en la cubierta del montículo de termitas. Este barro está procesado por termitas de tierra y proviene del interior del suelo. El barro puede absorber cationes (partículas positivas) por lo que eliminaría sustancias tóxicas de la dieta. Otros comedores de semillas (guacamayos y loros) van a suelos ricos en arcilla, en los acantilados ribereños de los ríos, para darse baños de barro que son calmantes intestinales.

(3) Tamarindos (género *Saguinus*)**: tragan semillas enteras para expulsar gusanos. ///** Estos monos (*S. mystax* y *S. geoffroyi*) son del norte de Sudamérica y comen frutas con sus semillas. Las semillas son grandes y están rodeadas de una pulpa fibrosa y adhesiva. Las semillas pasan intactas por el tracto digestivo en una a tres horas. Tragan semillas, pero no las digieren, cumpliendo con una función curativa. Trabajan por desplazamiento mecánico, expulsando los gusanos parásitos intestinales (género *Ancanthocephala*).

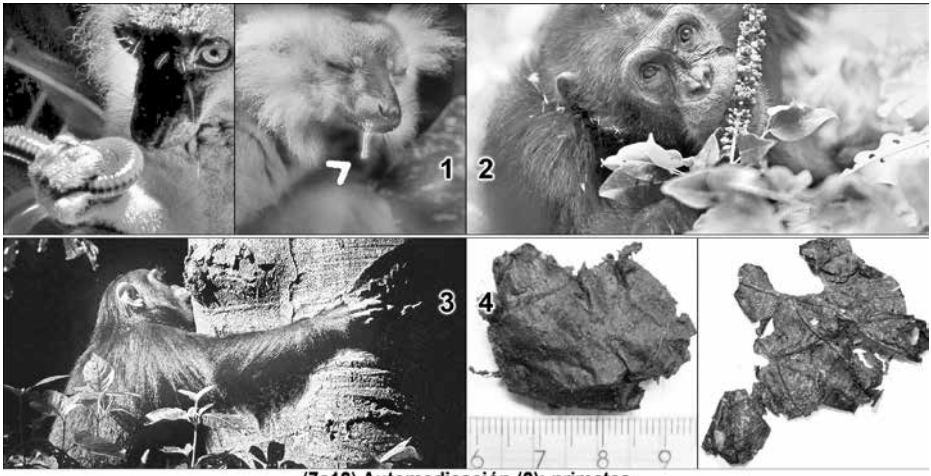
(4) Muriqui (*Brachyteles hypoxanthus*)**: para aumentar o disminuir la fertilidad. ///** En Brasil, estos monos parecen practicar una forma natural de planificación familiar. Hacen un esfuerzo especial para comer hojas de *Apulia leiocarpa* y *Platypodium elegans*. Son plantas que contienen productos similares al estrógeno (isoflavanoides) que podrían disminuir la fertilidad. Cuando necesitan aumentar la fertilidad, comen una fruta (*Enterlobium contortisiliquim*) que contiene un precursor de la progesterona (estigmasterol) que favorece el embarazo.

Monos del viejo mundo.

(1) Colobo rojo de Zanzíbar (*Procolobus kirkii*)**: comen carbón para neutralizar los fenoles. ///** Este colobo de la isla Unguja (Tanzania), consume carbón vegetal para aliviar la indigestión. En su alimentación consume hojas jóvenes que son tóxicas y el carbón vegetal neutraliza sus efectos. Parece que el hábito se transmite desde la madre a la cría. El carbón lo consiguen de plantas incendiadas, de la misma forma que los elefantes asiáticos. La extrema inercia del carbón no lo hace bueno como fuente de minerales, por lo que no es un alimento. Un problema para los colobos es que comenzaron a comer frutos de árboles exóticos (almendras y mangos indios) implantados por la agricultura. Estos árboles tiene un alto contenido de fenoles y el carbón los absorbe de las proteínas. Esta fuente de comida novedosa aumentó la densidad de colobos y, con ello, los problemas de convivencia en el área.

(2) Colobo rojo de Kibale (*Piliocolobus tephrosceles*)**: comen corteza de árboles. ///** Un estudio de cuatro años trabajó con un centenar de colobos rojo en Uganda. Se estudió a los monos infectados por tricocéfalos (nematodos parásitos) y se observó que se mueven y acicalan menos. Se encontró que ingieren hasta el doble de la corteza de árboles. La corteza fibrosa podría ayudar a barrer a los parásitos del tubo digestivo. También, se encontró que siete de los nueve árboles y arbustos preferidos por los monos enfermos tienen propiedades antisépticas o analgésicas. Eso sugiere una automedicación ya que los lugareños emplean las mismas plantas para combatir sus dolencias.

Orangután (*Pongo pygmaeus*)**: ungüento para los dolores musculares. ///** Los estudios con orangutanes salvajes en Borneo recopilaron unas 20.000 horas de observación. Durante este tiempo, se reportó el uso de una planta (*Dracaena cantleyi*) como automedicación. La conducta se observó en siete ocasiones. En un caso, se pudo ver cómo una hembra masticaba las hojas y producía una espuma blanca. Esta espuma se la frotó sobre el brazo superior izquierdo durante siete minutos. Nunca tragaron las hojas. Las poblaciones humanas locales indígenas también usan cataplasmas (tratamiento superficial caliente) con estas hojas para tratar dolores musculares. Los análisis de laboratorio farmacológico revelaron que los extractos de estas hojas tienen propiedades antiinflamatorias. Se cree que las hembras pueden usar esta planta para aliviar los músculos y articulaciones debido al peso extra de las crías cuando trepan al dosel del bosque.



(7a12) Automedicación (2): primates

(1) El lémur muerde a un milpies que secreta toxinas que usa en la piel y las traga contra parásitos intestinales. **(2)** El chimpancé come frutos de la familia *Phytolaccacea* y **(3)** corteza del árbol del género *Albizia*. **(4)** Los bonobos consumen boyos de hojas del arbusto *M. fulvum*.

(F7a12) Chimpancés: las hojas deben ser ásperas y estar enteras y plegadas.

(1) Comen hojas de aspilia. /// En Gombe (Tanzania) se observó cómo los chimpancés tragaban enteras, sin masticar, las hojas de la planta aspilia (*Aspilia mossambicensis*). Son ásperas, afiladas y de sabor horrible. En Mahale (Tanzania) se observó que las hojas de aspilia no forman parte de la dieta normal, pero los chimpancés recorrían un largo camino hasta encontrarlas. Primero probaban una serie de hojas sin arrancarlas, seleccionaban una, la plegaban en acordeón, la mantenían en la boca y la ingerían entera. Horas después, las hojas reaparecían en las heces, sin digerir. Comían más hojas durante la temporada de lluvia. Más tarde se contabilizaron 19 plantas que comen los chimpancés por estas razones.

(2) Tienen pelos que arrastran a los nematodos. /// Un análisis en el laboratorio de plantas emparentadas reveló que contienen un compuesto antibacteriano y antifúngico (tiarubrina). Pero las hojas de aspilia no contienen este compuesto. Por otro lado, los chimpancés son infectados por nematodos intestinales (gusanos nodulares), pero ninguna planta de las analizadas tenía acción sobre los nematodos. Se encontró que lo que tenían en común era su textura áspera por la presencia de unos pelos cortos y flexibles (tricomas). El examen de excrementos mostró la presencia de gusanos nodulares vivos enganchados a los tricomas. Así que, la selección para automedicación de estas hojas era por sus características físicas y no químicas.

Chimpancés: maestros de la aldea de los watongwe. El arbusto *Vernonia amigdalina* es usado por la tribu watongwe (Tanzania) como tratamiento para parásitos intestinales, diarrea y malestar estomacal. Las hojas de las plantas silvestres pueden ser letales si se ingieren crudas, como a veces se observa entre las cabras domésticas. Pero los chimpancés, que inspiraron a los watongwe, evitan estas partes. Esto sugiere

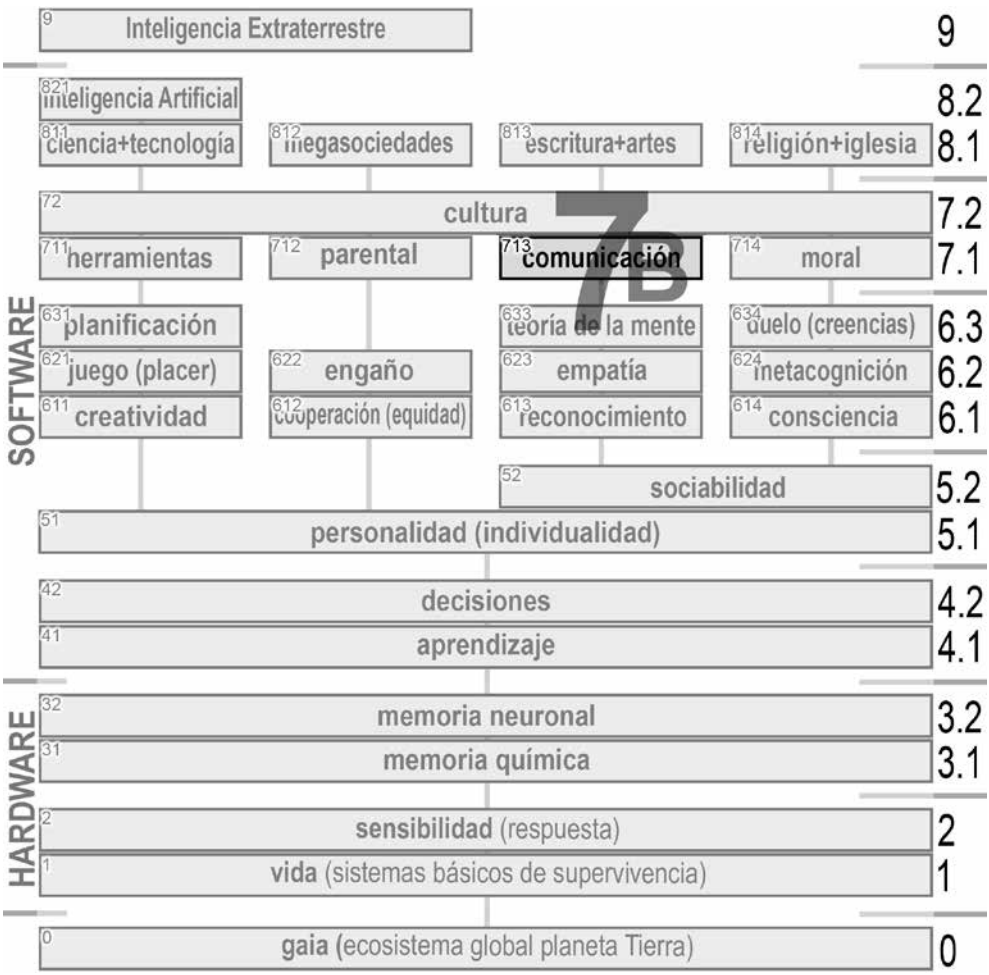
que los chimpancés saben más que las cabras. La historia es la siguiente:

(1) Comen médula de vernonia. /// Los chimpancés de Mahale están infectados por parásitos, uno de ellos es un nematodo (género *Oesophagostomum*). Estos gusanos nodulares se encapsulan en nódulos en la pared intestinal. En general producen síntomas de diarrea, letargo y pérdida de peso. Se observó que los chimpancés mastican la médula de vernonia que parece ayudarlos. El procesamiento es meticuloso: eliminan la corteza exterior y las hojas para masticar la médula expuesta, de la cual extraen un jugo amargo y fibras residuales. El proceso puede llevar de uno a ocho minutos. En ocasiones, los bebés prueban la médula desechada por sus madres enfermas. Este puede ser parte del aprendizaje social sobre la planta y su contexto de uso.

(2) /// En campo, se pudo analizar las heces de los chimpancés. Se encontró que la cantidad de huevos de nematodo por gramo de materia fecal cayó de 130 a 15 en 20 horas. En los individuos de control, que no masticaron la médula, la mejora fue más lenta o aumentó la cantidad de huevos.

(3) Eligen la parte menos tóxica. /// En laboratorio se encontró que vernonia contiene compuestos bioactivos (nueve glucósidos y cuatro lactonas) capaces de matar parásitos. Uno de los compuestos (vernoniósido) es muy tóxico y se encuentra en la corteza y las hojas, pero no en la médula. Esto indica que los chimpancés saben escoger la planta apropiada y la parte menos tóxica.

(F7a12) Bonobo (*Pan paniscus*)**: las hojas son empaquetadas. ///** En Salonga (R.D. Congo) el seguimiento de bonobos encontró que comían hojas de un arbusto (*Manniophyton fulvum*) que es usado también por los nativos para la caza. Los bonobos tomaron una hoja, la descansaron en la lengua, la salivaron y doblaron formando una bola. Evitaron el contacto con los labios porque causa picazón y llagas. Luego la tragaron. Esta observación se repitió en 56 ocasiones. Los bonobos duermen en los árboles y defecan temprano, lo que permitió tomar 694 muestras de heces que habían caído al suelo. Como en Gombe y Mahale para los chimpancés, los bonobos de Salonga comen hojas como papel de lija para fregar los parásitos y eliminarlos. Estas hojas tienen pelos rígidos (tricomas) de sílice. Se observó que los trozos de hojas se eliminaron en dos días, quizás porque el empaquetado previo es como una cápsula de liberación prolongada.


9 Inteligencia Extraterrestre 9
821 inteligencia Artificial 8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia 8.1
72 cultura 7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral 7.1
7B
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias) 6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición 6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia 6.1
52 sociabilidad 5.2
51 personalidad (individualidad) 5.1
42 decisiones 4.2
41 aprendizaje 4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal 3.2
31 memoria química 3.1
2 sensibilidad (respuesta) 2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia) 1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra) 0

MODELO DE CAPAS

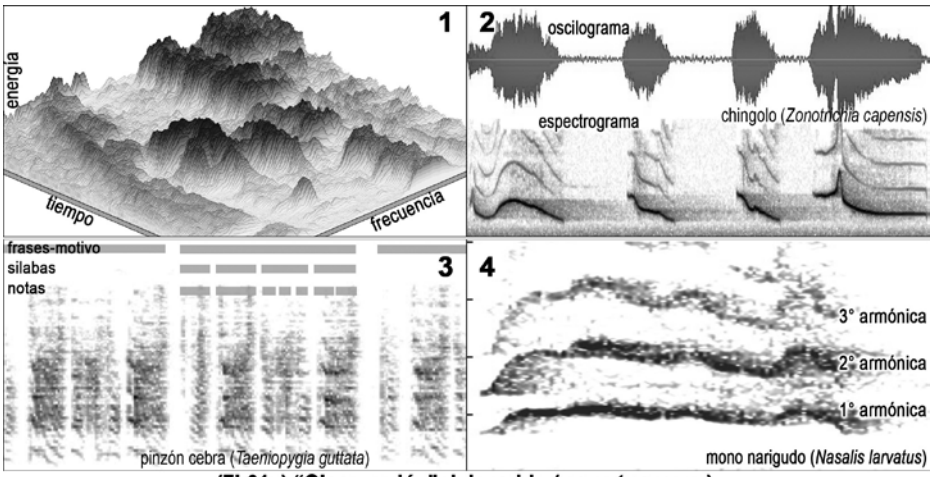
713 comunicación

¿de qué se trata? La capa de comunicación usa los servicios de las capas inferiores y entrega un servicio a la capa de cultura. La comunicación puede ser química, gestual u oral. La comunicación química es casi la única para microbios, plantas e insectos. Para una comunicación gestual y oral se requiere comprender al otro: sus acciones, emociones y pensamientos (teoría de la mente). En los primates, la comunicación oral es pobre y se complementa con la gestual. En los cetáceos y las aves, pobres en gestualidad, la comunicación oral es la principal fuente de cultura. A mediados del siglo 20 existían dos hipótesis. Los seguidores de N. Chomsky decían que solo los humanos tienen una capacidad sintáctica innata. Los seguidores de B. Skinner decían que el lenguaje se aprende y podía enseñarse a los primates. Ambos fracasaron, ni el humano es único ni los animales aprenden el lenguaje humano. La comunicación, como el resto de los aspectos de la vida, tiene una componente innata y otra aprendida. La teoría de Darwin, con el transcurso del tiempo, demolió la idea de que los humanos son especiales. El lenguaje fue por un corto tiempo el diferenciador. La capacidad de hablar permite crear mundos imaginarios y allí radicaría la diferencia entre humanos y animales. Pero este escudo protector, donde los humanos son únicos, tampoco es duradero y se debilita. Comprender cómo se comunican los animales es un proceso que recién empieza.

la observación del sonido

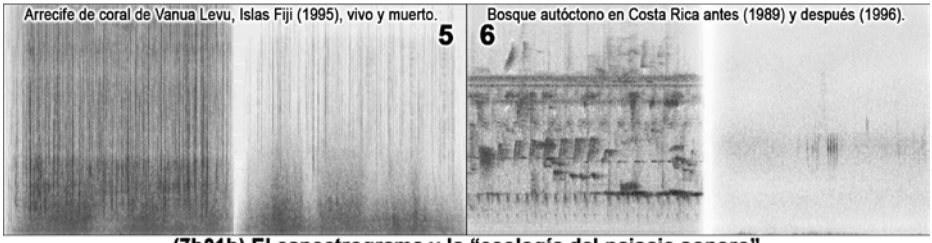
(F7b01) El espectrograma EG para observar el sonido. La comunicación puede ser por olores (compuestos orgánicos), oral (canto, llamadas) y visual (gestos, contacto). Cada una de estas formas se visualiza a su manera. Los olores se ven con la cromatografía de masas: un diagrama de densidad de cada compuesto en función de la masa de la molécula. La información sonora se hace visible mediante dos herramientas: el oscilograma (la forma de onda) y el espectrograma EG (el espectro de frecuencias). El espectrograma es mucho más rico en información que el oscilograma.

-**El espectrograma EG de 3D y 2D.** Un EG se ve como una superficie (2D bidimensional) donde se entrega la densidad de ener-



(7b01a) "Observación" del sonido (espectrograma)

(1) Espectrograma 3D. Es un espectro de frecuencias (energía vs frecuencia) que varía a lo largo del tiempo. **(2)** Espectrograma 2D. La energía se muestra como tonos de grises (ejemplo en el canto del chingolo de 2 seg). **(3)** Estructura del canto del pinzón. Son motivos, compuestos de sílabas, compuestas de notas. **(4)** Fundamental y armónicas. Un canto del mono narigudo (0-20 kHz y 0,8 seg). La frecuencia fundamental (primera armónica) ocupa entre 3,4 y 5,4 kHz (promedio 4,9 kHz) y la segunda ocupa el doble de frecuencia (10 kHz).

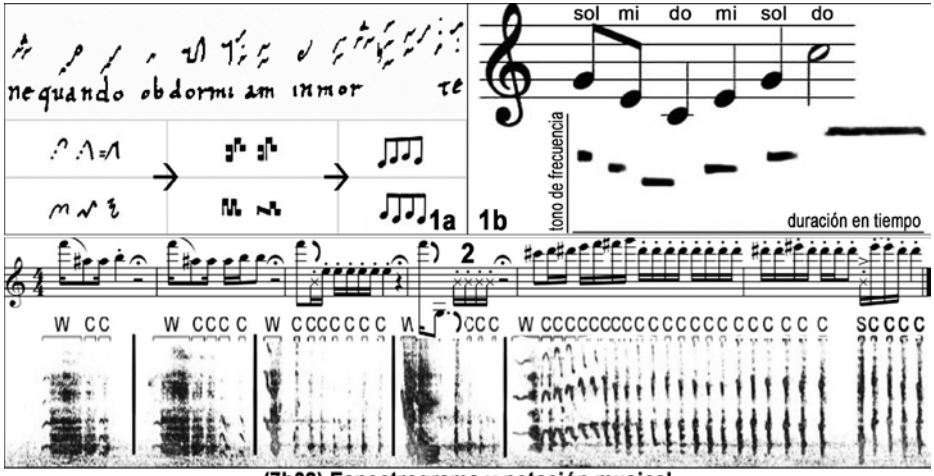


(7b01b) El espectrograma y la "ecología del paisaje sonoro"

Espectrogramas de ambientes ecológicos. **(5)** La primera parte (15 seg) es el sonido ambiente en una parte sana de un arrecife de coral con 15 especies de peces. La segunda parte, grabada a 400 metros de distancia, es una sección moribunda (sin peces, solo olas y camarones).
(6) Algo similar son las grabaciones en un bosque autóctono (península de Osa, Costa Rica). En 1989 el bosque antes de un proceso de tala selectiva. Después, en 1996, la plantación forestal. Ver también la figura 815a para un ambiente oceánico en California con barcos y cetáceos.

gía en cada frecuencia a lo largo del tiempo. En realidad es un diagrama 3D donde la densidad de energía (el tercer eje) se reemplaza por una tonalidad de grises. Las zonas más oscuras se corresponden con las frecuencias que tienen mayor densidad de energía en un instante de tiempo.

-**Las armónicas.** Un oscilograma está formado de sinusoides moduladas en amplitud. Esto se observa en el EG como capas de armónicas. La primera armónica es la de menor frecuencia y tiene la mayor energía. Se llama armónica fundamental. La segunda armónica se ve como una capa de forma si-



(7b02) Espectrograma y notación musical
(1) Los cantos gregorianos del siglo 10 se notaban mediante "neumas" (1a, representan tendencias del patrón del canto). Entre el siglo 10 y 14 la notación pasó a indicar notas y tiempos (1b) que se asocian al espectrograma. **(2)** Ejemplo de llamada del mamífero placentario damán (*Procavia capensis*) y su equivalencia en la partitura.

milar pero del doble de frecuencia. La tercera armónica tiene el triple de frecuencia que la fundamental.

-**La organización interna.** Las "canciones" más elaboradas (aves, cetáceos, murciélagos) se pueden dividir hasta llegar al nivel de "nota". La denominación es arbitraria. Por ejemplo, en la ballena jorobada una canción se divide en temas, un tema en frases y una frase en unidades. En las aves, una canción se divide en frases (motivos), la frase en sílabas y la sílaba en notas. En las aves la separación entre cada uno de los componentes de una canción ocurre como silencios producidos por la respiración. Los cetáceos no producen sonidos mediante el flujo de aire, es independiente de la respiración. Por eso la división se realiza distinguiendo "dibujos" similares en el EG.

-**La utilidad.** Un EG permite detectar diferencias entre vocalizaciones. Se usa para identificar la evolución del canto (los cetáceos lo cambian en forma regular), para estudiar los dialectos entre poblaciones, o para diferenciar entre especies. Es útil para identificar como "madura" el canto en la medida que el individuo crece y envejece. La conexión entre un EG y una conducta permite identificar el significado que tiene cada sonido.

-(F7b02) Relación con la notación musical. La notación musical se correlaciona con un diagrama EG. Una nota musical identifica la frecuencia y la duración; es decir, una nota es una barra horizontal en el EG. La relación entre el canto de las aves y la notación musical se remonta a 1650 cuando A. Kircher transcribió el canto de algunas aves al papel (*Musurgia Universalis*, arte musical universal).

teoría de la información

La eficiencia del lenguaje: palabras cortas para el uso frecuente. Un aporte

a la descripción de los lenguajes es la ley de Zipf. Parece estar presente en todas las formas de comunicación complejas. Dice que las palabras más comunes son más cortas y las palabras más largas tienen sílabas más cortas (ley de la brevedad). **///** Por ejemplo, en los humanos el balbuceo de un bebé es aleatorio, todos los sonidos se producirán de manera uniforme. Se puede hacer un gráfico que relacione la longitud de los sonidos más usados y la cantidad de veces que se utiliza. El gráfico será una constante horizontal (el azar), todos los sonidos tienen igual probabilidad. En la medida en que el bebé aprende a hablar, experimenta con pocas palabras. El gráfico será una recta muy pronunciada: pocos sonidos usados muchas veces. Cuando aprende el idioma, será una recta con pendiente -1, es decir, cuando aumenta la longitud del sonido, disminuye su uso. Todos los idiomas humanos responden a esta sencilla regla. También se cumple en muchas otras formas de comunicación oral y gestual.

Hyrax de roca (*Procavia capensis*)**: la ley de la brevedad y del mínimo esfuerzo. ///** Desde 1999 una población silvestre de estos pequeños mamíferos se estudia a largo plazo en el Mar Muerto (Israel). Viven en grupos de hasta 30 animales, con varias hembras y sus crías, y un macho adulto residente. Para un estudio se trabajó con 19 hyrax equipados con grabadoras de audio en miniatura durante una semana. Se encontraron voces y propósitos. Las hembras produjeron más tipos de llamadas afiliativas (*coo*). Las llamadas más largas fueron las más frecuentes (lo opuesto de la ley de la brevedad). Pero las llamadas suaves se utilizan con mayor frecuencia, por lo que en este caso la ley se aplica a la amplitud no a la duración. En los machos la duración y amplitud son minimalistas (ley del mínimo esfuerzo). Están influenciadas por los requisitos de las canciones publicitarias, que deben ser altas para llegar a oyentes remotos.

La corrección de errores en el lenguaje se basa en la redundancia. La entropía (de la teoría de la información de Shannon) estudia el ordenamiento y la previsibilidad de las palabras en cada idioma, incluido los códigos digitales. Más entropía significa que hay más información, es menos probable, menos previsible, con más incertidumbre.

(1) /// Por ejemplo, en los idiomas humanos se calculó una entropía de noveno orden. Significa que si faltan nueve o más palabras se pierde la relación condicional entre ellas y es imposible la reconstrucción de lo que falta. Para los delfines se midió una entropía de cuarto orden (o quizás mayor). El orden entre las palabras les permite corregir errores producidos por los ruidos en el océano. Es como recuperar letras faltantes en un manuscrito mal copiado mediante el uso de reglas ortográficas. En las ballenas jorobadas, la sintaxis permite recuperar los mensajes con una pérdida del 40 %. Esto es lo que se espera de una comunicación inteligente, que tenga muchas reglas que interconectan las señales de varios tipos y que permita maximizar la recuperación de errores.

(2) Señales alienígenas o ruido cósmico. /// Los mismos conceptos se pueden aplicar a otras fuentes, como las estelares. Por ejemplo, si a los púlsares se les aplica la ley de Zipf o la entropía se encuentra que no hay correlación. Entonces, puede concluirse que las señales espaciales desde pulsares no forman parte de un lenguaje alienígena. Estas ideas pueden entregar una herramienta para distinguir señales inteligentes en medio del ruido cósmico.

estudio de casos

Abejas (género *Apis*)**: la comunicación mediante el baile de meneo.**

(1) Dirección y distancia. El género *Apis* es el único que se comunica mediante el lenguaje de baile de meneo. Son unas 10 especies que bailan, pero hay otras 500 especies de abejorros que no tienen lenguaje de baile. Se especula que este baile surgió entre 40 Ma (surge el género) y 20 Ma (se diversifica en especies). El escenario más probable indica una evolución en Eurasia, en un clima templado, de vegetación irregular. El meneo fue descripto por K. Frisch hace menos de un siglo y funciona de la siguiente forma. Cuando las obreras regresan a las colmenas, informan al resto sobre la dirección y distancia al destino. Es una figura de ocho donde el alineamiento indica el ángulo respecto al sol y la cantidad de movimientos del abdomen (meneo o *waggle*) indica la distancia. Las otras abejas observan, repiten el baile, aprenden la dirección y distancia, y vuelan al destino. El destino puede ser la fuente de comida o un nuevo lugar para la colmena.

(2) Ayuda, pero a veces confunde. /// Un estudio determinó que el lenguaje de baile es más beneficioso cuando las fuentes difieren mucho en calidad y son difíciles de encontrar. Las abejas que buscan comida tienen una memoria excelente y pueden recordar un lugar rico en alimentos durante varios días. Se encontró que las colmenas sin la información de la danza eran más activas y producían más miel que las colmenas que lo usaban. Es posible que las abejas pierdan interés cuando el baile es desorientado y salgan a buscar comida por su propia iniciativa. Las abejas parecen juzgar la relevancia de la información y, después de un tiempo, se dan cuenta de que algo anda mal.

Avispas: las alarmas de abejas y moscas ante las avispas parásitas. Las avispas son un dolor de cabeza para muchos animales. Las abejas usan una variante del baile de meneo como alarma por avispas y las moscas, el movimiento de las alas. Incluso los elefantes usan retumbos específicos para abejas y avispas.

(1) Alerta de meneo en las abejas. /// Un estudio con la abeja japonesa (*Apis cerana*) describió cómo responden al peligro de las avispas (*Vespa mandarinia*). Se simularon ataques de avispas en colmenas de abejas y se encontró que las abejas usaron una danza de meneo como señal de advertencia. El baile hecho en la entrada a la colmena informaba de la emergencia e inducía a recolectar vegetales olorosos como defensa. Por ejemplo, llevaban a la colmena hojas de hierba nepalí (*Persicaria nepalensis*) que disuaden a la avispas. El principio de parsimonia justifica que un baile tan complejo como el meneo sea usado con diferentes objetivos (búsqueda de alimento o nuevos nidos y advertencia de enemigos).

(2) Movimientos de las alas en las moscas. Hay avispas parásitas que depositan sus huevos en las orugas de las moscas. Las moscas pueden comunicar a sus congéneres la presencia de las avispas. **///** Un estudio demostró que cuando una mosca adulta hembra ve una avispa pondrá menos huevos en un esfuerzo por proteger a su descendencia. La mosca usa los movimientos de las alas para comunicar la amenaza, de forma que otras hembras pondrán menos huevos, aunque no hubieran visto a la avispa. Se encontró que las moscas de diferentes especies no se podían comunicar tan bien como dentro de la misma especie. Esta

comunicación mejoró cuando las dos especies cohabitaban el mismo lugar. Vivir juntas les permitió aprender nuevos dialectos compuestos de diferentes señales visuales y de aromas.

Mosca de la fruta: el ajuste del volumen del "canto". El canto se produce haciendo vibrar las alas con dos modos: *pulso* y *seno*. Si se amplifica 60 dB (un millón de veces) un *pulso* de la mosca sonaría como el ronroneo de un gato y un *seno* parecería el zumbido de un mosquito. Los machos ajustan la amplitud del canto durante el cortejo en función de la distancia a las hembras. **///** El estudio de las neuronas que controlan las canciones permitió identificar los estímulos visuales que incitan a cantar más fuerte. También se identificó el circuito muscular que regula el volumen. Las hembras escuchan muchos minutos las canciones antes de aceptar al macho. Por lo tanto, los machos deben optimizar el volumen de su canción para que coincida con las preferencias de la hembra. También, deben minimizan el costo energético de un canto prolongado.

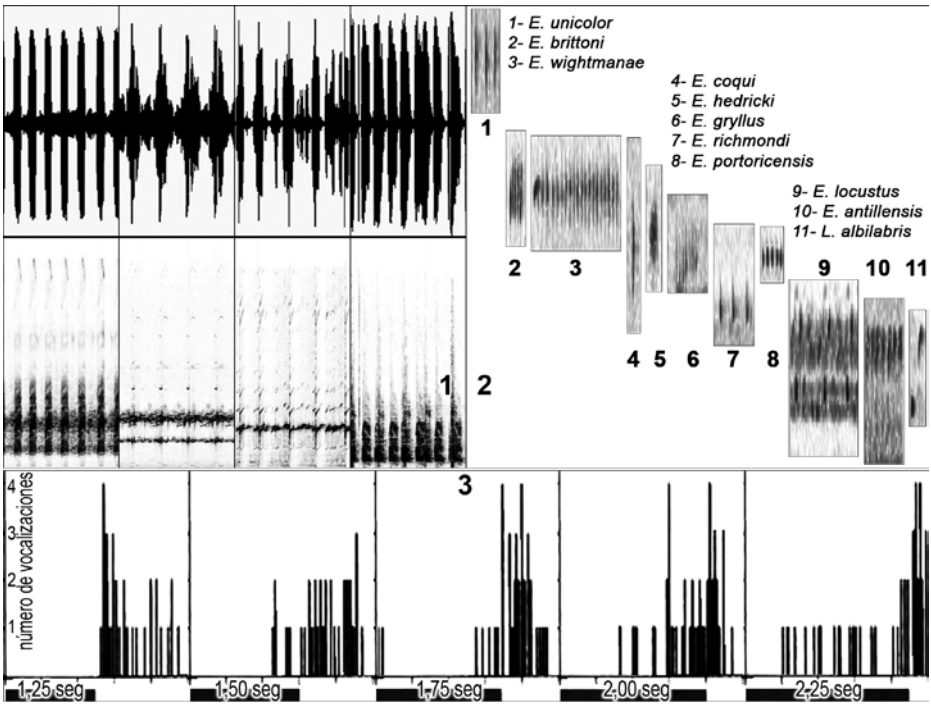
(Fb03) Ranas (género *Eleutherodactylus*)**: sincronizan el canto en frecuencia y tiempo.** Cuando en una charca todas las ranas cantan a la vez, deben buscar formas de evitar la superposición. La alternativa usada es que cada especie trabaje a una frecuencia distinta y que los individuos de la misma especie canten en diferente momento.

(1) /// Un estudio analizó el espectrograma EG sonoro de ocho especies del género *Eleutherodactylus* en la naturaleza. El tamaño del cuerpo se correlacionó con la frecuencia, de forma que a mayor tamaño, menor frecuencia (más grave). Cada especie trabaja en frecuencias algo diferentes y pueden comunicarse a la vez. Es la multiplexación por división de frecuencia. Pero dentro de la misma especie, se requiere una organización temporal (multiplexación por división de tiempo).

(2) /// El estudio del canto de los machos *E. coqui* encontró que se sincronizan evitando que coincidan con los vecinos. El canto tiene dos partes "*co*" que repele a machos y "*qui*" que atrae a las hembras. En los ensayos se simularon ruidos fuertes para entorpecer el canto. Se encontró que la rana trató de sincronizar el canto con los períodos de silencios entre tandas de ruidos. Se ensayaron ruidos periódicos con 1,25 a 2,25 segundos de duración. Fueron capaces de encontrar los intervalos de silencio aun cuando no fueran periódicos. Aplicaron la técnica de arranque-aborto, donde inicia el canto y si hay ruido lo aborta.

Reptiles: llamadas durante la reproducción.

(1) Cocodrilo del Nilo (*Crocodylus niloticus*)**: la llamada de los huevos**. El ambiente influencia la vida prenatal, de forma que, antes de nacer los seres vivos aprenden. Por ejemplo, hay llamadas desde el interior de los huevos que pueden sincronizar el nacimiento y alertar a la madre. **///** En un estudio, se grabaron los llamados y se los reprodujo a un lote de huevos, dos veces al día. Otros dos lotes recibieron ruido aleatorio y sin sonidos. Los huevos expuestos a las llamadas respondieron con llamadas, en el 80 % del tiempo y con movimientos oscilantes, la mitad del tiempo. En contraste, el ruido aleatorio y el silencio rara vez provocaron una respuesta. Los huevos expuestos a las llamadas casi siempre eclosionaron durante los diez minutos desde el coro de llamadas. La madre protegió el lugar donde enterró los huevos, incluso si fueron retirados por los científicos. Cuando se expuso a la madre a las llamadas de los huevos fueron de inmediato y desenterraron los parlantes del experimento.



(7b03) Comunicación simultánea por reparto de frecuencia y tiempo

(1) El oscilograma y espectrograma del canto de 4 especies de ranas con sonido ambiente. **(2)** Las ranas del mismo género *Eleutherodactylus* usan la división de frecuencia (concentración de energía en distintas frecuencias) para no interferirse. **(3)** En la especie *E. coqui* los individuos sincronizan las llamadas durante los silencios para no interferirse (multiplexación de tiempo). La barra horizontal indica el tiempo de ruido. Las verticales muestra el número de vocalizaciones de la rana. Esperan el momento de silencios para vocalizar. Si el ruido dura mucho tiempo intentan y abortan.

(2) Tortugas gigantes (*Podocnemis expansa*)**: cambian las voces para la reproducción. ///** Estas tortugas de ríos, en Sudamérica, migran en grupos desde los bosques inundados en verano, a las playas de ríos, en forma estacional, todos los años. En las playas, ponen los huevos y cuando emergen las crías, migran juntas de regreso a los bosques inundados. En los estudios se usaron micrófonos e hidrófonos submarinos para grabar las voces. La comparación de las frecuencias reveló diferencias entre vocalizaciones durante la migración, la estancia en la playa y la anidación nocturna. Los significados no están claros, pero se cree que pueden ayudar a coordinar sus movimientos. Las madres produjeron sonidos únicos cuando esperaban a que aparecieran sus crías.

Ardillas: comparten alarmas con los vecinos.

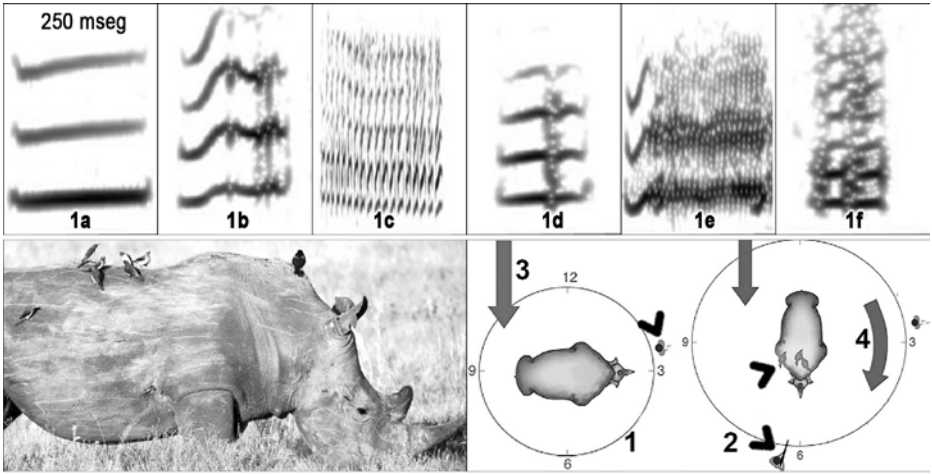
(1) Ardillas grises (*Sciurus carolinensis*)**: el canto de las aves es una información sincera.** Muchos animales aprendieron a integrar llamadas de alerta de otras especies (relacionadas o no). **///** Un experimento enfrentó a 54 ardillas salvajes con grabaciones de la llamada del depredador,

halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*). La grabación se acompañó con "charlas" de aves cantoras de múltiples especies o sonidos ambientales. Se encontró que las ardillas aumentaron la vigilancia (congelarse, mirar hacia arriba o huir) cuando solo había sonidos ambientales vacíos. Pero si escuchaban también a las aves cantoras, bajaban la vigilancia. Para las ardillas, el canto de las aves era un indicador confiable de seguridad. De la misma forma, utilizan las llamadas de alerta de las aves para alarmarse. Para estos animales, los cantos y llamadas sinceras de otras especies son una fuente en la que se puede confiar.

(2) Ardillas y marmotas: alarmas recíprocas. /// Un estudio registró las llamadas de alarma de ardillas (*Tamias striatus*) y marmotas (*Marmota monax*). Ambas tienen enemigos comunes y por eso responden el uno al otro. Primero se grabaron llamadas de alarma en la naturaleza, en una reserva natural. Luego se reprodujeron esas grabaciones en altavoces portátiles y se revisaron las respuestas. Si bien la respuesta de la marmota a la llamada de las ardillas fue leve, las ardillas respondieron a las llamadas de la marmota. La diferencia quizás se debe al tamaño. La marmota es mucho más grande que la ardilla y es menos probable que sea atacada por los depredadores.

Ratas topo desnudas (*Heterocephalus glaber*)**: tienen dialectos para cada colonia**. Estas ratas de las llanuras secas al este de África son muy comunicativas (a pesar de ser casi sordas). Producen constantemente chillidos, gorjeos y gruñidos. Viven en colonias con estricta división del trabajo (reina, obreras, soldados) y un dialecto propio. Los extraños no son bienvenidos, son xenófobas extremas, es el resultado de la escasez de alimento. Tienen un metabolismo muy lento, por lo que viven diez veces más que las ratas normales. **///** Un estudio de dos años registró 36.190 chirridos de 166 individuos en 7 colonias. Se usó una inteligencia artificial IA para analizar ocho propiedades acústicas del espectrograma. La IA permitió identificar cada individuo por su vocalización y el dialecto de cada colonia. Luego se colocaron ratas topo en cámaras anexas conectadas mediante un tubo. Se comparó la reacción de cada rata al sonido de la vecina. Si los sonidos eran de individuos de la propia colonia, daban una respuesta vocal. Si eran de otra colonia, permanecían en silencio. Esto sugiere que identifican el dialecto de la colonia. También se generaron sonidos artificiales con las características del dialecto. Las ratas respondieron a estas llamadas, aun cuando se pusiera un olor de otra colonia. Esto sugiere que priva el sonido sobre el olor. Luego se colocaron tres crías huérfanas de una colonia en otra donde nació una camada nueva. Unos seis meses más tarde, la IA determinó que hablaban el dialecto de la colonia adoptiva. Esto confirma que las crías aprenden el dialecto. Durante el estudio en una colonia, se perdieron dos hembras reproductoras, reinas sucesivas, lo que generó anarquía en la estructura piramidal. La rata reina es la única reproductiva. Se observó que las vocalizaciones comenzaron a cambiar y permanecieron inestables hasta que una nueva hembra llegó al mayor rango. Esto sugiere que la reina es la encargada de mantener el dialecto.

(F7b04) Suricatas (*Suricata suricatta*)**: llamadas que informan y que identifican.** Los suricatas son mangostas diurnas que se reproducen en forma cooperativa y viven en grupos de hasta cincuenta individuos. Las llamadas de alarma protegen al grupo pero exponen al emisor ante los enemigos. Para mejorar la relación costo/beneficio las vocalizaciones deben ser flexibles. Los suricatas



(7b04) Comunicación en suricatas y rinocerontes
(arriba) Llamadas de suricatas: **(1a) alerta general de bajo nivel, (1b) alerta de pánico de alto nivel, (1c) animal en movimiento alarma de bajo nivel, (1d) animal terrestre lejano alarma de bajo nivel, (1e) animal terrestre cercano alarma de alto nivel, (1f) llamada para observar de una serpiente.**
(abajo) Sociedad entre rinoceronte y picabuey. El rinoceronte sin picabuey (1) tiene un radio de alerta de 27 m. Con picabuey (2) el radio aumenta a 61 m. Si la dirección del viento (3) favorece al cazador el picabuey alerta al rinoceronte que gira y lo enfrenta (4).

ajustan las llamadas en función del entorno social. Los mamíferos no suelen emitir llamadas en ausencia de congéneres y dependen de la composición de la audiencia. Los contextos más comunes son las alarmas de huida, el reclutamiento para inspeccionar o señales para acosar.

(1) Llamadas que informan. /// Un estudio de 470 horas sobre 35 suricatas en 85 incursiones encontraron 6 tipos de llamadas de alarma de huida. Dependían del depredador (aéreo o terrestre) y el nivel de urgencia (baja o alta). También tenían en cuenta si eran depredadores (carnívoros y rapaces o herbívoros) y la lejanía (cercano se refería a 200 m, para peligros aéreos, y 50 m, para terrestres).

(2) Llamadas que identifican. /// En el desierto de Kalahari un estudio reprodujo el audio de llamadas de suricatas. Al inicio se acostumbró a los miembros al ensayo. Pero en un momento se reprodujo la misma llamada desde un sector e, inmediatamente después, desde otro sector opuesto. Los suricatas dejaron de hacer lo que estaban haciendo, como si supieran que algo andaba mal. La llamada les indicó que un miembro estaba en dos lugares a la vez. Lo imposible crea incertidumbre.

(F7b04) Rinoceronte negro (*Diceros bicornis*)**: llamadas del picabuey como alerta contra cazadores.** Las aves limpiadoras de parásitos (picabuey del género *Buphagus*) en idioma swahili se llaman *Askari wa kifaru* (guardia de rinoceronte). Hoy se sabe que sirven como centinelas contra los cazadores furtivos. **///** El estudio de los rinocerontes salvajes encontró que, con los picabuey en el lomo, eran mejores para evitar a los humanos. Estos rinocerontes son muy cortos de vista y confían en el olfato para detectar

enemigos. Si se les aproxima con el viento a favor se puede llegar muy cerca (promedio 27 m en el estudio). Los picabuey se alimentan de las garrapatas en el cuerpo del rinoceronte y sirven como una alerta temprana. Ante la alarma del picabuey, el rinoceronte puede girar enfrentando al humano. Se pudo estimar que el 40-50 % de todos los posibles encuentros con rinocerontes negros fueron frustrados por estas aves. Los experimentos muestran que, con las aves, la detección de humanos fue en el 100 % de las pruebas, pero sin ellas, fue el 23 %. Además la distancia de aproximación fue de 27 m, sin pájaros y 61 m, con ellos.

Elefante marino (género *Mirounga*)**: cada macho tiene una llamada única. ///** Los estudios indican que se distinguen dentro de una estructura social estratificada. La tasa de conflicto entre machos es muy alta, pero la tasa de agresión física es muy baja, solo el 5 % de las interacciones. En los ensayos con llamadas grabadas se encontró que son disuasivas para los subordinados. Se grabaron llamadas de otros harenes y se reprodujeron, observando la reacción. En lugar de atacar o retirarse, la mayoría esperaron, miraron o lo ignoraron, Esto sugiere que identifican a cada miembro de la colonia.

comunicación de elefantes

las 5 formas

(1) Acústica. Al ser de corta duración y deliberadas, las señales acústicas son buenas para enviar información sobre una situación inmediata. Para situaciones de largo plazo, se prefieren las señales químicas. Los elefantes producen sonidos que van desde un retumbo (muy baja frecuencia a 10 Hz) hasta gritos agudos (frecuencias altas de 10 kHz). Tienen un registro de 4 a 10 octavas como resultado de los 7,5 cm de su laringe (cuerdas vocales) y el movimiento de todo el sistema sonoro (incluyendo la trompa). Pueden lograr resultados diferentes con el mismo sonido básico, dependiendo de si mantienen la boca abierta o cerrada, la cabeza alta o baja, las orejas firmes o aleteando, la trompa en alto, etc.

La variedad de llamadas. /// Un estudio con el elefante asiático informa que producen cuatro tipos de vocalizaciones. Los **retumbos** (*rumble*) son llamadas largas y de baja frecuencia (10-170 Hz) que usan para comunicación entre manadas. Los **rugidos** son vocalizaciones largas, ruidosas y fuertes, de alta frecuencia. Pueden ocurrir durante una agresión, angustia o juego. La **trompeta** es de alta frecuencia y ocurre por perturbaciones de humanos o animales salvajes. Los **chirridos** son llamadas breves y ruidosas de alta frecuencia, usadas en estado de confusión. Otra forma son los ruidos no-vocales, como soplar aire por la trompa.

(2) Sísmica (retumbos). Esta comunicación de "ultra-baja" frecuencia se refiere a los retumbos (10-40 Hz) que se propagan por el suelo. **///** Un estudio midió que un retumbo viaja a 310 m/s en el aire y un 20 % más lento en el suelo. Pueden emitir potencias de sonido intolerables de 110 dB a un metro de distancia (equivale a una bocina de automóvil). Esto permite ser escuchados a dos km de distancia con una atenuación de 50

dB, pero aun audible (equivale a sonidos de una oficina en silencio). En condiciones óptimas de propagación (sin viento, sin nubes y con inversión térmica a la madrugada o anochecer) puede llegar a 10 km. La punta de la trompa y los dedos de los pies sirven para detectar los retumbos y obtener la dirección de origen y responder si es necesario.

(3) Gestual. Los elefantes utilizan cada parte de su cuerpo para transmitir su mensaje. Un gesto de amenaza consiste en doblar la oreja hacia atrás. Un elefante dominante señala su estado apareciendo "ampliado" (cabeza por encima de sus hombros y orejas abiertas). Un subordinado aparece "comprimido" con la cabeza baja y las orejas hacia atrás. Uno asustado levanta la cola y la barbilla. Otro emocionado levanta y agita sus orejas y abre los ojos. Pero hay cientos de casos. **///** Un ejemplo ocurre cuando un elefante propone al resto del grupo "vamos juntos en una dirección". Entonces emite un retumbo y usa el cuerpo para señalar la dirección y levanta el pie en señal de caminar. Cada tanto emite el retumbo y agita las orejas. Una grabación de campo muestra a una hembra joven hacer la llamada doce veces en media hora para animar al grupo a dirigirse al pantano. Los elefantes pueden discutir, negociar, acordar o discrepar en forma gestual y oral.

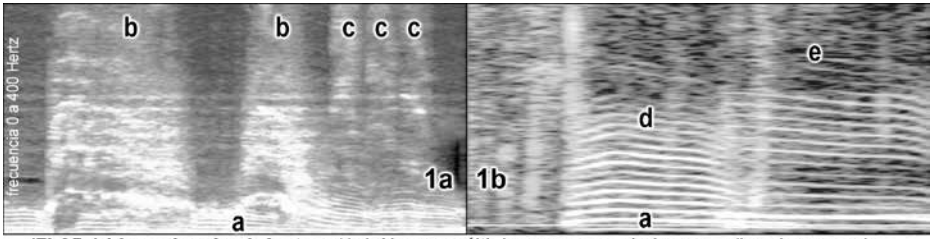
El etograma de los elefantes. /// Este catálogo o biblioteca (*elephantvoice.org*) detalla la conducta y comunicación de los elefantes de la sabana africana. Son tres décadas de estudios (desde 1991) de conductas, fotografías, grabaciones de audio y video. Consta de 23 contextos, en 92 constelaciones (varias conductas conectadas) y 390 conductas individuales. Al año 2020, llevaba 2.800 archivos multimedia. El etograma documenta las conductas frecuentes, raras, novedosas y adquiridas. Un mundo complejo y todo para interpretar.

(4) Táctil. El contacto físico da lugar a la sociabilización con todo el cuerpo (trompa, orejas, colmillos, patas, cola, etc.). La punta de la trompa es muy sensible y puede detectar grietas de hasta 0,25 mm de espesor. El contacto es parte inseparable de la empatía de la sociedad de elefantes. Un indicador es el respeto que muestran por los huesos de los muertos que son delicadamente tocados con la trompa (ver capa de duelo).

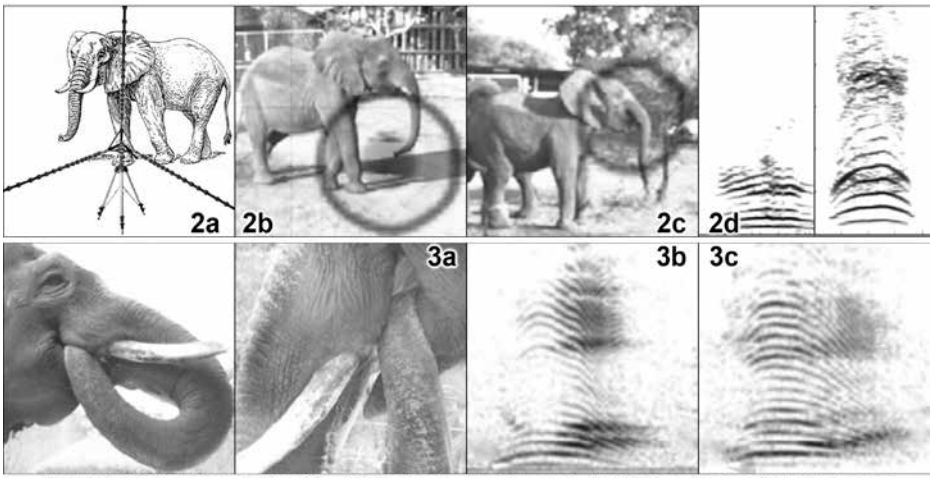
(5) Olfativo. Los olores perduran en el tiempo y sirven como memoria de la ubicación de los miembros de la manada. Los elefantes tienen unos 2.000 genes dedicados al olfato (5 veces más que en los humanos). Se los ve rastrear el aire y suelo en busca de manchas de orina y materia fecal. En ocasiones un elefante aplana la punta de la trompa sobre una mancha de orina, la sella, inhala y sopla sobre la sustancia para calentarla y que libere más compuestos volátiles. También usan la saliva y secreciones de la glándula temporal (un orificio entre la oreja y el ojo) para señalizar. **///** Se cuenta que en Amboseli, donde los elefantes son cazados por los guerreros masái, llegan a huir estando a 2 km de distancia. También se cuenta que huyeron de un vehículo que habían llevado masái, un día antes. Para saber a dónde "mira" un elefante, no hay que ver a los ojos sino a la punta de la trompa. El movimiento de la punta es un reflejo de qué hace su mente.

(F7b05) La necesidad de empatizar los lleva a ajustar las llamadas para imitar.

(1) /// Un elefante africano (Calimero) estaba en el zoológico de Basilea (Suiza) junto con algunos elefantes asiáticos. Los



(7b05a) Llamadas de elefantes. (1a) Alarma múltiple por presencia humana (hombres samburu en Kenia). En la base un retumbo (a) con 2 rugidos (b) y 3 trompetas (c). Frecuencia 0-2 KHz, duración 15 seg. (1b) Llamada combinada de macho (d) y hembra (e). El macho trabaja entre 70-200 Hz y la hembra entre 140-400 Hz. Duración 10 seg.



(7b05b) Llamadas e imitación. (2) Retumbo nasal y oral. (2b) Retumbo nasal de trompa y (2b) oral de garganta. (2d) Espectrograma nasal y oral. Frecuencia 0-400 Hz y tiempo 4 seg. (3) El elefante *Koshik* imita palabras humanas con la trompa en la boca. (3b) espectrograma humano para "nuo" (*acostarse* en coreano), (3c) imitación del elefante *Koshik* (0-400 Hz, 4 seg).

asiáticos usaban principalmente chirridos para comunicarse. Como el elefante africano usaba retumbos profundos en forma predominante, aprendió a hacer chirridos y dejó de hacer retumbos.

(2) /// Un elefante asiático (Koshik), en Corea del Sur, aprendió a imitar seis palabras coreanas. Incluía *annyong* (hola), *aniya* (no), *anja* (siéntate) y *choah* (bien). Lo increíble es como producía las palabras. Los humanos modifican las mejillas, lengua y labios. El elefante lo hizo poniendo la trompa en la boca, mientras la sacudía y exhalaba. Similar a los humanos que silban con la ayuda de los dedos. Solo se sabe de los orangutanes que modifican la frecuencia de sus llamadas normales usando las manos o los orangutanes que usan hojas en la boca.

(3) /// En Tsavo (Kenia), una elefanta africana adolescente (Mlaika) reprodujo sonidos de camiones que rodaban por la autopista Nairobi-Mombassa. Los camiones eran audibles solo de noche y Mlaika

solo emitía el sonido por la noche. Las mediciones acústicas mostraron que los sonidos grabados eran más parecidos a los camiones que a las llamadas de otros elefantes africanos.

los retumbos

Los retumbos escapan a la audición humana. Desde los años 1980, se sabe que los elefantes usan señales de muy baja frecuencia para comunicarse con otros que están cerca pero no se ven. La anatomía del oído y el volumen del cuerpo en forma de tonel parecen estar diseñados para trabajar en bajas frecuencias. Los retumbos son las llamadas más comunes y variables en acústica. Las funciones son muchas, para coordinar el movimiento, reunir animales, atraer pareja, individualizar a los miembros, etc. **///** Un estudio analizó la laringe extirpada de un elefante africano hembra muerta por causas naturales. Se pudo reconstruir la forma de retumbar. Se ajustaron las cuerdas vocales y se sopló aire simulando los pulmones, variando el flujo y la presión, la temperatura y la humedad del aire. Esto produjo infrasonidos iguales a los retumbos, lo que indica que el sonido se produce por flujo de aire (en los cetáceos no es así). La comparación se hizo con 470 llamadas grabadas del mismo elefante durante cuatro años.

(F7b05) Hay retumbos por vía nasal y por vía oral. /// Un estudio con el elefante africano permitió visualizar los retumbos mediante una "cámara acústica" de 3-dimensiones transportable. Consistía en una serie de micrófonos colocados en tres ejes cerca de las seis hembras estudiadas. Los resultados indican dos tipos de retumbos con diferente ruta, por vía nasal (trompa) y oral (garganta). Ambos retumbos tienen diferente recorrido (nasal: 2 m, contra oral: 0,7 m) y diferente frecuencia de salida. La oral tiene frecuencias que se concentran en 300-400 Hz y la nasal hasta 200 Hz. Pueden estar cambiando las vías de retumbos según el contexto. Los ruidos nasales predominaban durante las llamadas para contacto y los orales en situaciones de vinculación.

La variedad de retumbos específicos.

(1) Para reconocer las manadas. Los elefantes usan los pies para "escuchar" las llamadas de otras manadas y responden dependiendo de quién está llamando. **///** En un estudio, se grabaron las llamadas de alarma en Namibia y Kenia, hechas por elefantes amenazados por leones. Las manadas que se juntan en los abrevaderos de Namibia reaccionaban a las llamadas de alarma de un rebaño vecino y conocido. La reacción era dramática. Primero se congelaban y luego se agrupaban y apretaban, con los bebés en el medio. Los elefantes de Namibia reaccionaron menos a las llamadas de otros rebaños que los de Kenia. Es desconcertante que los elefantes ignoren una llamada de alarma de una manada desconocida. Quizás no confían en ellos.

(2) Para el apareamiento. /// El *must* es un estado de los machos en el cual se vuelven agresivos y buscan a las hembras. El nivel de testosterona llega a ser sesenta veces el valor normal. Anuncian su estado con conductas específicas, secreciones corporales y un murmullo pulsante (originado por el agitar de una oreja por vez). Una hembra en celo secreta olores, orina y emite retumbos. Los retumbos de celo, después del apareamiento, atraen la atención de cualquier macho distante de rango superior. Los miembros de la familia suman sus voces provocando una cacofonía de llamadas en un "pandemonio de apareamiento". El apa-

reamiento es un asunto familiar cercano donde la madre ayuda a su hija primeriza.

(3) Para las abejas. A pesar de sus gruesas pieles, los elefantes adultos pueden ser picados por abejas o avispas en los ojos y trompa.

/// En un experimento se grabaron retumbos de alerta por abejas y se reprodujeron a otras manadas. Se encontró que el 60 % de las veces las familias huían del lugar, cuando solo el 20 % huyó con ruidos genéricos de control.

/// En Kenia se grabó el zumbido de las abejas africanas y se reprodujo junto a 17 familias de elefantes. Fueron 16 las que abandonaron el lugar de descanso debajo de los árboles, antes de un minuto, y la mitad se movió a los 10 segundos. La reacción es casi inmediata.

/// Otro experimento de campo construyó una cerca de troncos con colmenas suspendidas por cables y cubiertas con paja para evitar el sol. Cuando los elefantes intentaban cruzar la zona, las colmenas se movían y los elefantes escapaban por temor a las abejas. Se midió un 86 % menos de ataques a los cultivos protegidos de esta forma, aunque las colmenas estuvieran sin abejas. Puede ser que se trate de la memorias de eventos aprendidos o de enseñanzas culturales.

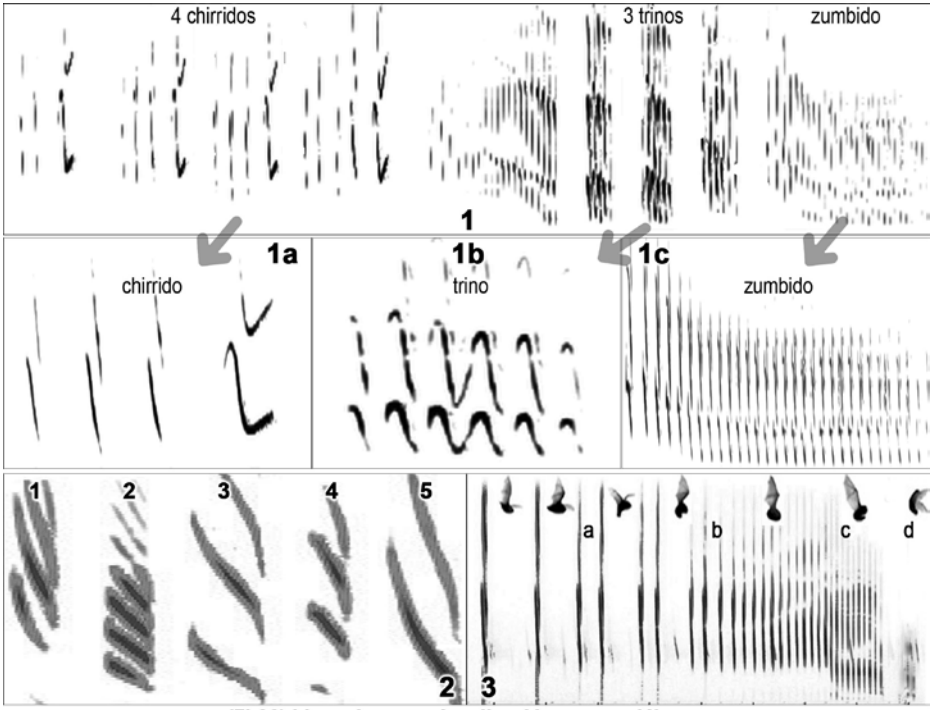
(4) Para los humanos. /// Los hombres de la tribu Samburu (Kenia) hacen pastoreo y su voz es reconocida por los elefantes. Si están en reposo y escuchan sus voces, reaccionan de inmediato, se vuelven vigilantes y huyen del sonido emitiendo llamadas de alerta. Los samburu compiten con los elefantes y estos producen llamadas de alarma específicas (retumbos, rugidos y trompetas). Cuando otros elefantes escuchan estas llamadas, exhiben conductas de vigilancia. El retumbo de alarma por samburu es distinto al retumbo de alarma por abejas. Además, las conductas son diferentes, porque con abejas sacuden la cabeza.

comunicación de murciélagos

Hay pocos grupos de animales que producen "canciones" (murciélagos, aves y cetáceos). Las aves llevan centenares de años de estudios, los cetáceos algunas décadas. Ambos son tratados en la capa de cultura del presente modelo. Entre los primates, solo el gibón puede acercarse al concepto de canciones. Los murciélagos son nocturnos, volátiles y producen vocalizaciones ultrasónicas. Esta suma de características inaccesibles dificulta el estudio de las vocalizaciones y relacionarlas con la conducta.

(F7b06) Las llamadas de los murciélagos funcionan como mensajes e identificación.

(1) Llamadas sociales. /// Un estudio trabajó con siete especies de murciélagos y sus llamadas en vuelo. Se pudo observar que tienen firmas específicas para cada especie y que las llamadas sociales se relacionan con la actividad. Esto da identidad a cada especie e individuo. El tamaño del repertorio fue proporcional con la complejidad del grupo social. Las llamadas más complejas pueden codificar más información sobre la identidad individual. Por ejemplo, en una especie (*Noctilio leporinus*) se pudieron identificar llamadas sociales para evitar colisiones durante la búsqueda de alimento. Otra especie (*Pipistrellus pipistrellus*) usa llamadas en vuelo para atraer parejas. En otros casos, cuando las crías estaban aprendiendo a volar, las parejas madre-cachorro volaron juntas con llamadas para mantener la cohesión.



(7b06) Llamadas y ecolocalización en murciélagos

(1) Canto del murciélago sudamericano cola de ratón (*Tadarida brasiliensis*). Contiene chirridos, trinos y zumbidos. En su mayoría son ultrasonidos con frecuencias 20-80 kHz (tiempo 1,2 seg).

(2) Pulsos para cazar una polilla. 1- *A. jamaicensis*, 2- *P. hastatus*, 3- *P. poeyi*, 4- *M. macrophyllum*, 5- *M. daubentonii*. Ultrasonidos de 20-150 kHz y con menos de 10 mseg de duración.

(3) Secuencia de pulsos para el ataque de un murciélago insectívoro (*Myotis capaccinii*). Consiste en (a) fase de aproximación, (b) cercanía, (c) sobre la presa, (d) fase de contacto. Tiempo total 400 mseg.

(2) Los motivos de las llamadas. /// Un estudio filmó a 22 murciélagos egipcios de la fruta (*Rousettus aegyptiacus*) durante 75 días. Con una inteligencia artificial se analizaron unas 15.000 llamadas en busca de diferencias en el tono de los chirridos para relacionarlos con la conducta. Se encontró que ciertas llamadas actúan como identidad del llamante y el destinatario. Además, en el 61 % de los casos se identificó uno de cuatro motivos: sueño, comida, espacio y sexo. Se trata de un sistema de comunicación sofisticada que se aprende en la comunidad. Se notó que cambian el tono cuando se relacionan con el sexo opuesto. Es casi una necesidad de una especie que vive 20-30 años en comunidades numerosas de centenares o miles de individuos.

(3) /// Un trabajo con el murciélago mastín común (*Molossus molossus*) lo expuso a llamadas en fase de búsqueda. Se mantuvo el estímulo hasta la habituación. Luego se cambió a otro estímulo similar para ver si respondían al cambio. Se encontró que pueden distinguir entre llamados y que usan detalles para cada individuo. Las llamadas tienen la función de detectar presas y de identificar a los miembros en el entorno. Esto les permite coordinar el vuelo en la oscuridad con otros individuos cercanos.

La comunicación con los cachorros. En los humanos una "charla infantil" se caracteriza por tonos más altos y un tempo más lento. Si se trata de señas, los gestos son exagerados para hacerlos más evidentes. En los murciélagos es lo mismo. **///** Los estudios con el murciélago alas de saco (*Saccopteryx bilineata*) de Sudamérica mostraron que, en los tres primeros meses de vida, los adultos actúan de manera diferente. Las madres interactúan con los cachorros mientras balbucean, lo que se interpreta como una retroalimentación positiva durante la práctica vocal. Las vocalizaciones de las hembras muestran un tono diferente. En los machos las vocalizaciones se simplifican para transmitir la "firma vocal" de su grupo social.

La adopción de un dialecto en los jóvenes. Como las crías crecen en la oscuridad y rodeadas de vecinos ruidosos es lógico que aprendan el dialecto del grupo.

(1) Los murciélagos juveniles adoptan el dialecto de la colonia, incluso cuando difiere de la lengua de los padres. **///** La experiencia con el murciélago pálido (*Phyllostomus discolor*) incluyó a catorce cachorros de tres colonias. Se usaron grabaciones de otro grupo en cautiverio durante un año hasta que se hicieron adultos. Se encontró que desarrollaron el dialecto forzado a la vez que se comunicaban con sus madres en la lengua original. Estos jóvenes siguieron adelante con el dialecto adquirido.

(2) /// En otro estudio se atraparon quince hembras gestantes de murciélago egipcio de la fruta (*R. aegyptiacus*). Las madres no guardaban parentesco cercano. En laboratorio, se formaron tres grupos de cinco animales. Luego del parto, se usaron grabaciones de colonias con frecuencias más baja, alta o una combinación. Las madres fueron liberadas a las catorce semanas, cuando las crías serían destetadas de forma natural. Con otras 17 semanas en cautividad adicionales, los jóvenes ya imitaban el tono de las grabaciones.

(3) Puede modificarse el dialecto en los adultos. /// El murciélago pálido (*Phyllostomus discolor*) de Sudamérica es sociable y tiene un rico repertorio de llamadas. Para un experimento se entrenaron seis murciélagos durante cuatro horas diarias, escuchando llamadas de un tono más bajo que las propias. Se les dio un premio (puré de plátano) cuando la repetían. Luego de un mes, todos los murciélagos habían empezado a bajar el tono.

(F7b06) Las secuencias de ultrasonidos como ecolocalización.

(1) La posición de la presa. Los murciélagos que cazan en espacios abiertos producen pulsos cada vez más frecuentes a medida que se acercan a la presa. Pueden seguir rastreándola incluso cuando desaparecen detrás de los obstáculos. **///** Un experimento colocó murciélagos quietos en una percha de forma que pudieran rastrear insectos. Se registraron las señales de ecolocalización y los movimientos de la cabeza. Se agregaron obstáculos que interrumpieron los ecos. Se determinó que los movimientos de la cabeza predecían el movimiento de los insectos. Usaron tanto la información de velocidad como de movimiento del insecto para ajustar los cambios de la cabeza.

(2) Las polillas se adaptan a los cantos. La polilla de la cera (*Achroia grisella*) puede detectar los pulsos ultrasónicos que emite el murciélago de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*). Con esta información, modifica el plan de vuelo por uno evasivo. Las polillas macho también emiten señales ultrasónicas en el contexto del cortejo con las hembras. Los machos se acercan a las hembras, atraídos por las feromonas. Pero si escuchan a los murciélagos, interrumpen

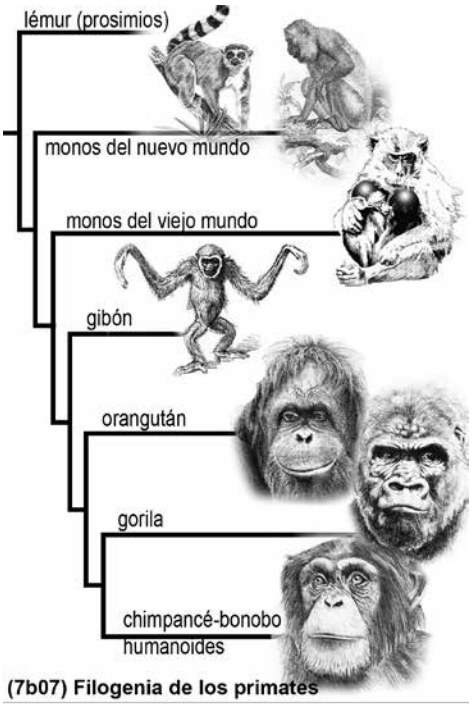
el canto. Son cantos suaves y dirigidos a hembras cercanas, lo que evita a los murciélagos y otros machos rivales. Las canciones de cortejo largas y fuertes no deberían tener chances evolutivas por los riesgos que se corren. **///** Un estudio de 26 especies de polillas exploró la relación entre el nivel de sonido y la duración. Se encontró que las canciones más débiles (64 dB) duraban mucho (1,9 seg), pero las más fuertes (129 dB) duraban poco (0,31 seg). Se concluyó que existe una relación inversa entre volumen y duración, lo que se interpreta como una adaptación para evitar a los murciélagos.

ESTUDIO DE CASOS

713 comunicación

primates (monos)

¿de qué se trata? La comunicación en los primates es un lubricante social, aunque no sea un transmisor de información en forma obligada. Sirve para establecer y mantener la familiaridad. En ocasiones sirve para compartir emociones. Los primates se comunican mediante llamadas orales (gritos o susurros), gestos del cuerpo (posturas) y muecas faciales, mediante el contacto físico y los olores. La presentación que sigue se estructura sobre la base de la filogenética de los primates.



(7b07) Filogenia de los primates

los prosimios (lémures)

La comunicación oral. Los prosimios fueron los primeros en separarse del tronco principal del cladograma de los primates a poco de iniciarse la radiación (hace 55 Ma). Evolucionaron recluidos en Madagascar y hoy se cuenta un centenar de especies. Pasan el día en la copa de los árboles o por el suelo del bosque. Se comunican mediante gritos y llamadas sociales para el contacto, cohesión y repulsión. También emiten olores (glándulas en las muñecas), gestos del cuerpo (p.ej., cola levantada como bandera) y faciales (ojos desorbitados, boca muy abierta y juego con los labios). Sus enemigos son la mangosta, halcones, gatos y perros salvajes, por lo que sus llamadas están orientadas a estas amenazas.

(1) Lémur cola anillada (*Lemur catta*)**: los *gemidos* y "*hmm*".** Se sabe que esta especie produce 22 sonidos vocales diferentes. **///** Un estudio trabajó con cinco tropas de lémures y se enfocó en los gemidos y "*hmm*", ambos usados durante la cohesión social. Los gemidos son cortos, agudos y usados cuando están separados sin verse. Los *hmm* son silenciosos y se usan cuando se mueven, alimentan y vigilan. El ritmo aumenta durante los viajes o la vigilancia, o cuando están muy aislados. Los usan los machos de bajo rango para mantenerse cerca de los miembros tolerantes del grupo. Los estudios indican que tienen conversaciones durante el aseo. El aseo es selectivo (solo con ciertos individuos) y las vocalizaciones fueron aún más selectivas. Respondieron solo a las llamadas de quienes acicalaban más a menudo.

(2) *Ronroneos, chillidos* y *aullidos*. Estas tres vocalizaciones son parte de las 22 de los lémures cola anillada. **///** Durante 1.000 horas de estudio se siguió a machos, sus vocalizaciones y la reacción que mostraban como respuesta. Se estableció el rango de dominación y la tasa de vocalizaciones. Por ejemplo, el ronroneo de los machos se asoció con el nivel de agresión (agonismo). Los chillidos entre machos se vincularon con la agresión y sumisión. Los aullidos se relacionaron con los encuentros entre grupos. Los coros de aullidos aumentaban cuando no estaban presentes miembros del grupo.

La comunicación por el olor: útil durante la noche y cuando no se ven. Los lémures dispersan olores mediante la orina y glándulas odoríferas (muñeca, codo, cuello o genitales). Una forma de dispersión del olor consiste en frotar la cola en el antebrazo y agitarla ante los oponentes en una "lucha apestosa".

(1) Los machos tienen glándulas en sus muñecas que producen químicos que se vaporizan cuando se los expone al aire. Durante la época no reproductiva, los olores sirven para alejar a otros machos. En la etapa reproductiva, el olor se vuelve dulce y atractivo a las hembras. **///** Un análisis encontró que los responsables son tres compuestos aldehídos (dodecanal, metiltridecanal y tetradecanal). Uno de ellos está también en las feromonas de insectos (tetradecanal). Un aldehído es un alcohol deshidrogenado (pierde un H y se oxida). Por ejemplo, del alcohol decanol deriva el aldehído decanal. Las hembras olfatean y lamen los lugares que tienen gotas de estos olores, pero solo si los tres compuestos están presentes. Cuanto más testosterona tiene el macho más fuerte es el olor. Esto sugiere que el olor es un indicador de salud reproductiva.

(2) Lémur ratón (género *Microcebus*)**.** Son pequeños, nocturnos, arbóreos y recolectores solitarios. **///** Un estudio analizó muestras de orina en las especies gris (*M. murinus*) y godman (*M. lehilahytsara*). La espectrometría de masas detectó 977 compuestos volátiles en 18 lémures (machos y hembras). Las firmas permitieron diferenciar entre especies y sexos. Estas especies también tienen comunicación oral, por lo que ambas vías se complementan para llevar una vida social. Pueden identificar la especie, el sexo, grupo, parentesco, individuo, estado social, reproductivo y el estado de salud. Las señales químicas de la orina influyen en la conducta social y sexual de los congéneres. Por ejemplo, se verificó que los machos dominantes liberan

una feromona (un esteroide) en la orina que reduce los niveles de testosterona en otros machos.

La comunicación gestual y táctil: útil en el contacto cuerpo a cuerpo. Los estudios de campo muestran que el lémur de cola anillada usa una mirada fija para amenazar. También tira hacia atrás los labios para señalar sumisión, gira hacia atrás las orejas, y ensancha las fosas nasales. También usan bostezos en señal de amenaza. En el caso del lémur sifaca (*Propithecus coquereli*) usa un gesto de juego con la boca abierta y una mueca sumisa, enseñando los dientes, en las peleas perdidas. En cuanto a la comunicación táctil, ocurre en el acicalado social o durante los grupos que se juntan a dormir. El lémur cola anillada forma un orden determinado por el rango y extiende la mano en lo que se interpreta como un sometimiento. El acicalamiento se da hacia individuos de posición superior. Es un tratamiento íntimo y mutuo, a menudo recíproco. Dedican entre el 5 y 11 % del tiempo al acicalado. Reservan los intercambios vocales para los animales con quienes se acicalan con mayor frecuencia. Las vocalizaciones son un "acicalamiento a distancia" para mantenerse en contacto cuando se separan.

monos del nuevo mundo

¿de quién se trata? Los monos de América forman un grupo de cinco familias, todas descienden de una única línea. Se los llama platirrinos (del griego *nariz plana*). El origen es africano y los primeros representantes llegaron a este continente hace 35 Ma. Se caracterizan por una nariz chata y cola larga. Tienen canciones complejas y estructuradas por niveles, solo igualadas o superadas por los gibones. Hace poco se encontraron restos de otro grupo de monos (parapitécidos) que cruzó el Atlántico en la misma época. Convivieron unos 11 Ma y luego se extinguieron.

(F7b08) Mono aullador (género *Alouatta*). Uno de los monos del nuevo mundo más conocido es el aullador que se identifica por sus gritos. En Argentina se encuentra la especie carayá (*A. caraya*). ***///*** Un estudio con *A. palliata* identificó diecisiete vocalizaciones (rugido, ladrido, quejido, *oodle*, *eh*, *wrah-ha*, *EEEeee*, etc.). Cada uno tiene un intérprete (macho, hembra, bebé) y condiciones en que los emiten. Una vocalización en especial se emite como advertencia a los machos de otros grupos. Los machos deciden escalar en la lucha en función de una relación jerárquica. Lo hacen mediante gritos de llamadas, vocalizaciones de larga distancia que llevan una información honesta sobre la capacidad de lucha. Ocurre antes de entrar en combate, para evitar peleas costosas, con pocas probabilidades de ganar. La evaluación mutua tiene beneficios frente a la autoevaluación, en particular cuando las señales son veraces (sinceras, sin engaños).

Mono capuchino (*Cebus capucinus*). Los capuchinos forman una subfamilia de tres géneros que habitan desde el norte de Argentina hasta Centroamérica. **///** Un estudio de campo trabajó en Costa Rica. Se grabó a 14 miembros de una tropa (34 horas de grabación) y 1.892 sonogramas. Se encontraron vocalizaciones asociadas a alarmas, angustia o peleas. Se identificaron dos sonidos (*trino* y *huh*) con significado. Un trino específico fue usado por adultos para iniciar y dirigir el movimiento de la tropa. Los trinos de los subadultos solo se dirigieron a otros subadultos. Los *huh* se usaron cuando estaban en los parches de frutas.

los monos tití

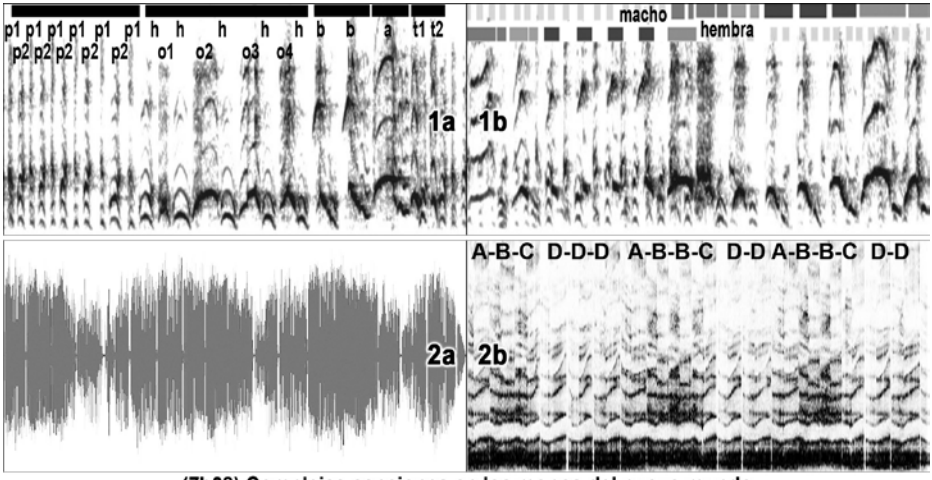
La denominación de monos tití es un genérico para más de 60 especies de monos de Sudamérica.

Tití frente negra (*Callicebus nigrifrons*)**: llamadas diferentes para depredadores terrestres y aéreos.** Los estudios indican que el sistema de advertencia de los titíes diferencia si un depredador es volador o terrestre. Parece que pueden indicar también si un ave rapaz aterriza en el suelo o un depredador terrestre se sube a los árboles. El seguimiento de seis familias en su bosque nativo permitió hacer ensayos con señuelos colocados por los investigadores. Se grabaron las llamadas y se observó hacia dónde miraban. Se encontró que los mensajes estaban codificados en la cantidad de tipos de llamadas. **///** En Minas Gerais (Brasil) se colocaron depredadores disecados (carancho y leopardo oncilla) y se grabaron las llamadas. Se encontró que emiten llamadas diferentes para predadores aéreos (volando o en un árbol) y terrestres (en tierra o en el árbol). Las llamadas cambiaban de tono, pasando de un sonido bajo a uno alto, o viceversa. En África hay monos del viejo mundo que también tienen la habilidad de informarse sobre predadores, pudiendo ser una herencia del antepasado común.

Tití gris (*Saguinus leucopus*)**: hacen ultrasonidos. ///** Un estudio realizó cerca de 17.000 grabaciones con 3.500 sonidos. Se encontraron 19 fonemas de chillidos que se identifican como ondas de ultrasonido (similar a ballenas y murciélagos). Por ejemplo, el bebé tití le grita a su mamá *chiiih* para pedirle que lo cargue. La madre emite un *chi* como respuesta afirmativa. Para advertir que hay un humano o felino gritan *piiip* y para integrarse y enfrentar a alguien, hacen un gorjeo.

Comunicación y la domesticación. Los monos titíes son sociales y cooperativos, hacen intercambios vocales amistosos, cuidan a las crías de los demás, son monógamos y celosos y comparten la comida. Todos son indicadores de un alto grado de sociabilidad. La sociabilidad va de la mano de la autodomesticación.

(1) /// Un estudio trabajó con titíes gemelos para conectar la comunicación parental temprana y el grado de sociabilidad. Uno de los gemelos recibió señales vocales de adultos reproducidas por una computadora que respondía al 100 % de las vocalizaciones del joven. El otro gemelo solo escuchó respuesta en el 10 % de los casos. Estas sesiones duraron 40 minutos, cada dos días durante los primeros 60 días de vida. Durante el resto del tiempo estaban con sus familias. Los resultados indi-



(7b08) Complejas canciones en los monos del nuevo mundo

(1) Tití huicoco boliviano (*P. donacophilus*). La canción está organizada en forma jerárquica en una secuencia de 5 frases (1a). Consta de pares de sílabas (p1-p2, h-o) con variaciones en la estructura. (1b) Dueto hembra-macho con una parte inicial dominada por la hembra y la final por el macho. En ambos diagramas: frecuencia 0-5 KHz en 5 seg. **(2)** Mono aullador macho. Oscilograma (2a) y espectrograma (2b) de 30 seg, con ciclos de respiración de un segundo. El espectrograma abarca de 0-8 kHz. La energía principal es un sonido profundo concentrado en 0-1 KHz (base del gráfico). Las diferencias en las sílabas se observan en el entorno de 2 a 5 kHz.

can que los recibieron el 100 % de atención aprendieron sus llamadas de adultos más rápido. También se aceleró el parche de pelaje blanco en la frente. Esto muestra la conexión entre el desarrollo vocal y la coloración del pelaje facial (signo de domesticación). Esa conexión se da junto con un cambio en la laringe. También ocurre con zorros seleccionados por su mansedumbre y el pinzón bengalí domesticado (en la naturaleza es la munia).

(2) Reconocen el lenguaje humano. /// Los tití pueden reconocer el lenguaje humano. En un ensayo con tamarinos acostumbrados al idioma japonés, se les habló en holandés. Parece que se aburrieron al no entender y se alejaron. Pero cuando se volvió a hablar en japonés, miraron hacia atrás con renovado interés.

Tití común (*Callithrix jacchus*)**: mantienen conversaciones.**

(1) /// Un estudio en cautiverio grabó las conversaciones y encontró que, ante una amenaza, se vuelven a susurrar entre ellos para evitar ser escuchados. El hallazgo fue casual porque el objetivo era grabar las llamadas del mono tití tamarino (*Saguinus oedipus*). El tití común hace llamadas de *mobbing*, que son sonidos hechos para confundir o intimidar a los depredadores. Antes del estudio, los monos habían usado estas llamadas "mafiosas" cuando aparecía el supervisor del zoológi-

co. Cuando el supervisor los amedrentaba, dejaban de escucharse. Sin embargo, en las grabaciones se escucharon vocalizaciones de amplitud muy baja. Parece que entienden qué nivel de sonido es imperceptible para el humano.

(2) /// En un experimento se colocaron los monos en esquinas opuestas de una habitación. Podían escucharse pero no verse. Se grabaron los intercambios de llamadas y se encontró que dialogaban. Entre una llamada y la respuesta esperaron unos cinco segundos. Se concluyó que siguen un conjunto de reglas tácitas de etiqueta en la conversación.

(F7b08) Componentes básicos del lenguaje. Muchos animales usan patrones que son parte del lenguaje humano lo que indica que hay un origen previo de ciertos aspectos del lenguaje. Que los monos tití muestren esta habilidad lleva el origen al menos a la base de la separación hace 35 Ma. En el canto de las aves y cetáceos hay un orden temporal de las notas y resulta fundamental para la comunicación. En los primates, el orden también es importante durante el aprendizaje del uso de herramientas.

(1) Las secuencias correctas. /// Un estudio trabajó con el tití común (*Callithrix jacchus*) creando secuencias de sonidos. Las secuencias empezaban y terminaban con un tono bajo y tenía varios tonos altos en el medio. De esta forma el tono bajo actuaba de conexión entre secuencias. Se les hicieron escuchar cientos de estas secuencias. Luego se pasó a la fase de prueba donde se escucharon secuencias nuevas. Algunas secuencias tenían el mismo patrón y otras carecían de alguno de los tonos bajos (apertura o cierre). Se midió el interés de los monos en términos de duración de la mirada a los parlantes. Se encontró que reconocían la diferencia y mostraban atracción por las secuencias correctas.

(2) El orden de las sílabas. /// En otro experimento se enseñó al tití cabeza blanca (*Saguinus oedipus*) una serie de palabras que compartían una misma sílaba. Se familiarizaron con un patrón (un prefijo o sufijo en particular). Por ejemplo, para prefijos se usó *shoy-bi*, *shoy-la*, *shoy-ro*, etc. Para sufijos es *bi-shoy*, *la-shoy, ro-shoy*, etc. Se reprodujo durante treinta minutos la secuencia para que se familiarizaran. Al día siguiente se reprodujeron nuevas palabras consistentes con el patrón y otras con errores. También en este caso se midió el interés basado en la mirada. Los resultados mostraron que tienen la capacidad de distinción entre secuencias correctas e incorrectas.

(3) La gramática en los primates. /// Un trabajo creó una "gramática artificial" para estudiar la interrelación entre las palabras de una frase. Por ejemplo, en la frase "el perro que mordió al gato se escapó" se sobreentiende que el perro se escapó, no el gato. Es una estructura de 3 partes AYB donde lo conectado es AB. La gramática artificial combinó sonidos en lugar de palabras, lo que permitió trabajar con diferentes simios (tití, chimpancés y humanos). Primero se enseñó la gramática donde ciertos sonidos eran seguidos de otros (p.ej., siempre después de A sigue B). Incluso si hay otros sonidos en el medio (AYB). Luego se hicieron combinaciones donde se violaban las reglas mientras se observaba la conducta de mirada del simio. Se concluyó que las tres especies comparten la capacidad de procesar sonidos no adyacentes. De nuevo, esto sugiere que es una habilidad que estaba presente en la base de los primates.

monos del viejo mundo

Los monos del viejo mundo (catarrinos, *nariz hacia abajo*) forman una muy variada gama de monos de África y Asia con 30-25 Ma de separación de la rama de los humanos. La propagación desde África fue hace unos 8 Ma por la península arábiga, la misma ruta que seguiría el género *Homo* mucho más tarde.

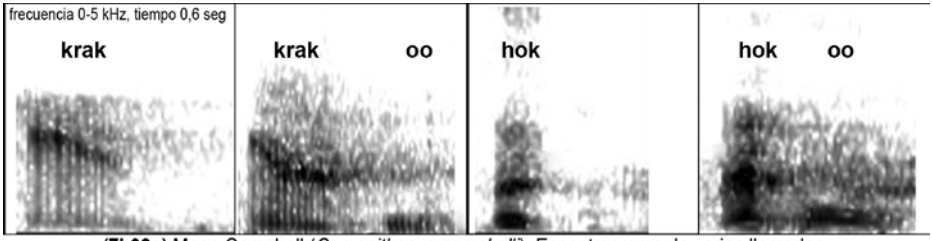
género *Cercopithecus*

(F7b09) Mono Campbell (*C. Campbelli*)**: tienen seis llamadas principales.** Este mono de la costa de África occidental emite alertas y parece tener un lenguaje con sintaxis. Viven en pequeños grupos de una decena de individuos (macho adulto, varias hembras y su progenie). El repertorio vocal de los machos es muy diferente al de las hembras. **///** Un estudio en Tai de 20 meses sobre seis grupos encontró seis llamadas (*boom*, *krak*, *krak-oo*, *hok*, *hok-oo*, *wak-oo*). No las usan en forma aislada, sino que producen secuencias largas de un promedio de 25 llamadas sucesivas. Al modificar la secuencia de llamadas, los mensajes cambian. Puede relacionarse con un peligro (árbol que cae, un depredador), el tipo de depredador (águila, leopardo), cómo se lo detectó (visual o sonido), puede ser una llamada para partir, etc. Los Campbell pueden agregar llamadas a la secuencia para dar más precisión. La capacidad de combinar puede haber aparecido para compensar la poca flexibilidad vocal. Se determinó que el orden importa y cambia el significado. Por ejemplo, *bomm-bomm* significa reunirse; pero *boom-boom-krak-oo* significa una rama que cae. Sin embargo, *boom-krak-oo-boom* no tiene significado alguno.

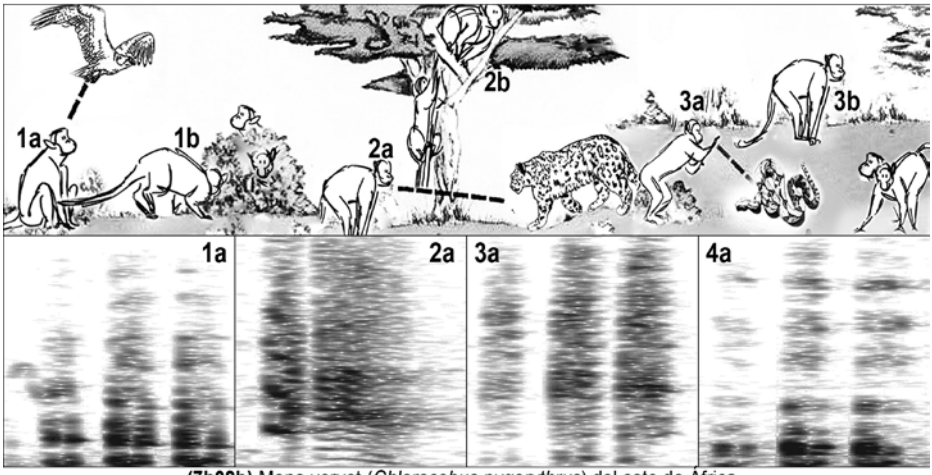
Los Campbell tienen dialectos diferentes en Tai y Tiwai. Los monos Campbell mostraron variantes entre los estudios de la isla Tiwai (Sierra Leona) y el bosque de Tai (Costa de Marfil). **///** En el 2009 en Tai se usaron señuelos y sonidos específicos para asustar a los monos. Se grabaron las alarmas y reacciones y se encontró que *krak* significaba leopardo y *hok* águila. También se comprobó que el sufijo -*oo* suaviza el significado (alarma de bajo nivel). Por ejemplo, *hok-oo* corresponde a una amenaza aérea poco importante (caída de ramas). El término *boom* significó que la costa estaba despejada. Cuando se estudió en Tiwai, las diferencias fueron una sorpresa. En la isla no hay leopardos, por lo que el término *krak* cambió de significado y se convirtió en una llamada general que señalaba cualquier cosa menos águila.

-En estos dialectos, la misma palabra significan cosas diferentes. Así, en Tiwai la llamada *krak-oo* correspondía a una alerta menor, pero en Tai era alarma de leopardo de bajo nivel. Como las palabras compiten entre sí, se suele usar la más específica. De esta forma, si se escucha *krak* se puede inferir que no es ni *krak-oo,* ni *hok*. Es una inferencia por la negativa: *krak* significa *no-hok* y *no-krak-oo*. Es decir, ni una amenaza general menor, ni una amenaza aérea. En Tai es un leopardo y en Tiwai es una amenaza general.

-Otra característica es que el número de palabras aumenta con el nivel de alarma. Por ejemplo, *boom-boom*, significa que "se va a caer una rama importante". Pero *boom-boom-krak-oo-krak-oo-hak*-oo, es porque "vienen monos rivales" y es grave. El caso *krak-krak-oo*, se usa para "viene un leopardo" y es grave porque se escucha pero no se lo ve. Mientras que *wak-oo-krak-oo-hok-hok-oo* corresponde a "viene un águila".



(7b09a) Mono Campbell (*Cercopithecus campbelli*). Espectrograma de varias llamadas. Por ejemplo: *Krak* se usa para alarma terrestre (leopardo) y *Hok* para alarma aérea (águila). El sufijo -oo indica bajo nivel (p.ej., leopardo lejano o caída de rama).



(7b09b) Mono vervet (*Chlorocebus pygerythrus*) del este de África. Reacción frente a una llamada de alarma. (1a) Con la llamada de un aguila los demás monos se esconden. (2a) Con una de leopardo se suben a un árbol. (3a) Con una de serpiente se paralizan y quedan inmóviles. El mono verde (oeste de Africa) no tiene aguilas como predador y la llamada se usó para un drone (4a)

Mono diana (*C. diana*)**: entienden la llamada de los Campbell.** Como en los monos Campbell, los monos diana de Costa de Marfil tienen llamadas de alarma para predadores terrestres y aéreos. Como ambos son del mismo género, los diana entienden las llamadas de los Campbell.

(1) /// Como los monos diana viven junto a los Campbell, se estudió si los diana los entienden. Se grabaron las llamadas de los Campbell, se editaron quitando o añadiendo el sufijo *-oo* y luego en la jungla se reprodujeron cerca de los diana. Se encontró que entendían las llamadas, reaccionaron de una forma casi idéntica a los Campbell. Por ejemplo, se agitaron y permanecieron en alerta mucho más tiempo al escuchar *krak* que *krak-oo*.

(2) /// Los cálaos (*Buceros bicornis*) son aves similares al tucán y lograron descifrar las llamadas de los diana. Pero los cálaos solo responden a la llamada de predadores aéreos (halcones). Ignorando la llamada que involucran amenazas terrestres ya que no son un peligro para ellos. Los cálaos también reaccionan a la llamada que hace la mangosta enana.

Mono nariz blanca (*C. nictitans*)**. ///** Otro caso similar al Campbell es el mono de nariz blanca del centro de África. Este mono tiene una llamada de alarma general *pyow* y una advertencia específica de alarma de águilas *hack*. Pero estas alarmas combinadas tienen otro significado. Por ejemplo, para estimular el movimiento del grupo usan *pyow-pyow-hack-hack*. El hecho de que todos estos monos del mismo género usen vocalizaciones similares con significados distintos sugiere una base muy antigua para sus señales vocales. Tienen pocos sonidos, pero usados en forma combinada pueden señalar muchas más cosas.

Se puede concluir que los monos del género *Cercopithecus* tienen similitudes de vocalizaciones y significados que apuntan a una estructura conservadora. Se sabe que los primates no requieren escuchar para vocalizar en la forma normal para la especie, por lo que es una habilidad hereditaria. Por ejemplo, los estudios con mono ardilla criado en aislamiento social y acústico o los macacos Rhesus (*M. mulata*) criados con macacos japoneses (*M. fuscata*) de forma cruzada, desarrollaron las vocalizaciones típicas de cada especie.

estudio de casos

(F7b09) Mono verde o vervet (género *Chlorocebus*). Este género está en toda África al sur del Sahara. Durante el tiempo de la esclavitud en América fueron introducidos en las islas de Caribe.

(1) Vervet de África Oriental (*C. pygerythrus*). **///** Estos vervet emiten tres gritos distintos que varían si ven un leopardo, una serpiente o un águila. Cuando un compañero escucha el grito, reacciona en consecuencia. Si escucha una llamada que denuncia a un leopardo, se precipita corriendo hacia un árbol. Con la llamada de una serpiente, permanecen inmóviles sobre dos patas. El grito que señala a un águila los impulsa a escanear el cielo mientras buscan refugio en los arbustos.

(2) Vervet de África Occidental (*C. sabaeus*). **///** En Senegal las aves rapaces no representan una amenaza. Un estudio de diez años indica que la tercera llamada no está presente. Incluso cuando se intentó asustarlos con pájaros falsos, no funcionó. Pero cuando se trabajó con un drone, la respuesta fue inmediata: dieron alarmas y se apresuraron a ponerse a cubierto. El grito fue similar a las alarmas de águila de los vervet de África Oriental. A pesar de 3,5 Ma de divergencia evolutiva, la estructura de la llamada se mantuvo casi igual. Que reaccionen a un drone y no a un ave simulada significa que la llamada no está vinculada a las águilas. Parece corresponder a una categoría más amplia (peligro en el aire). Luego, mediante un altavoz, se reprodujo el sonido del drone cerca de un animal solitario y este levantó la vista y escaneó el cielo. Parece que una sola exposición a una nueva amenaza fue suficiente para que los monos supieran qué significa el sonido. El estudio muestra que la producción vocal de estos monos tiene una flexibilidad limitada. Pero también que pueden atribuir significado a una variedad de sonidos.

Mono mangabey gris (*Cercocebus atys*). **///** Un estudio trabajó en una comunidad de mangabey salvajes en Costa de Marfil. Se usaron modelos de serpientes para ver sus reacciones. Por lo general, luego de encontrar una serpiente, se paralizan, la observan por un tiempo, y otros se unen en la inspección. La mayoría de los individuos no mostraron reacciones fuertes a menos que casi pisaran a la serpiente. Pero algu-

nos llamaban casi cada vez que veían una. El patrón indica que las llamadas ocurrían cuando eran pocos cerca de la serpiente o cuando nadie había llamado por un tiempo. Esto transmitía la ubicación de la serpiente para cualquiera que lo escuchara. El sistema social determina la forma de transmitir la información. Por ejemplo, en los mangabey, los grupos son grandes y todos los miembros del grupo viajan juntos. Cuando un mono ve una serpiente, la llamada es para todo el grupo, donde también están sus familiares. Pero en los chimpancés la reacción es diferente. La comunidad se divide en subgrupos y entonces esperan cerca de la serpiente para informar a los miembros del grupo en forma más personalizada.

Mono gelada (*Theropithecus gelada*). **///** Los estudios en estos parientes de los babuinos muestran que tienen hasta 25 llamadas (seis tipos diferentes). Los gelada tienen vocalizaciones para diversos fines (contacto, tranquilidad, solicitud, apaciguamiento, ambivalencia, agresión y defensa). Se encontró que la ley de Zipf se aplica a los gelada de las tierras altas de Etiopía. Las secuencias cortas comienzan con llamadas largas, pero las secuencias largas comienzan con llamadas cortas. Se los observa sentarse, escuchar y conversar entre sí. Complementan la comunicación con gestos. Muestran amenaza al voltear sus labios superiores hacia arriba por lo que evidencian sus dientes y encías, y retiran sus cueros cabelludos para mostrar los párpados pálidos.

Macaco Rhesus (*Macaca mulatta*)**. Sobre las llamadas y vocalizaciones.**

(1) Las llamadas son más culturales que genéticas. /// Un estudio analizó la estructura acústica de las llamadas *-ooo.* Se trabajó con 67 Rhesus hembra adultas. Las llamadas se relacionaron con el parentesco obtenido de la base de datos genéticos. También se comparó con la familiaridad definida con la edad y pertenencia a grupos. Se encontró que las llamadas se asimilaban con la familiaridad (hembras de edad cercana o con membresía grupal y matrilineal). Esto sugiere que la cultura tiene más influencia que la genética.

(2) La anatomía vocal le permitiría vocalizar pero le falta desarrollo cerebral. /// Un estudio realizó moldes de yeso del tracto vocal de un Rhesus y en otro se usaron rayos X para estudiar en vivo cuando emiten sonidos. Se usó un agente de contraste con bario para crear perfiles visuales del tracto vocal mientras emitían sonidos y llamadas. Se midieron los límites a los que se podía estirar el tracto vocal. Se observaron 99 configuraciones y se calculó el sonido teórico que pueden producir. Se encontró que tenían la capacidad anatómica de formar los cinco sonidos de vocales. Cuando se reprodujeron los sonidos simulados a diez voluntarios humanos se reconoció el 90-98 % de ellos. La anatomía vocal del Rhesus es capaz de crear un discurso entendible, pero carecen de un cerebro listo para hablar. Si esto es cierto, en el hombre el habla requirió de cambios neuronales más que en la anatomía vocal.

(3) Los sonidos con los labios serían el origen del habla humana. /// Un estudio usó rayos X para investigar los gestos y sonidos generados cuando se relamen los labios. Son chasquidos producidos en situaciones amistosas cara a cara. Es un sonido suave (*pppp*) que no va acompañado de fonación (desde las cuerdas vocales). Se encontró que se producen abriendo y cerrando los labios muy rápido junto con

movimientos de la mandíbula, lengua y el hueso hioides (esqueleto de soporte para la laringe y la lengua). Ocurren a una velocidad de cinco ciclos por segundo, el doble del movimiento de masticación. Está a medio camino ente una falsa masticación y el habla. **Una hipótesis dice que el origen del habla humana se encuentra en estas señales faciales de comunicación.** La alternancia entre vocales y consonantes en las sílabas es similar a relamerse los labios. Estos gestos con los labios parecen estar bajo control voluntario y pueden aprenderse (a diferencia de los gritos o gruñidos). También los orangutanes pueden aprender a silbar usando los labios y la lengua, en lugar de la laringe. Pero aun quedaría por explicar el origen del componente de "canto" del habla, que requiere un control voluntario sobre la laringe.

ESTUDIO DE CASOS

713 comunicación

primates (simios)

Los simios son el inicio de la secuencia que deja atrás a los grupos de monos (nuevo y viejo mundo). Los simios se diferencian de los monos en que no tienen cola.

el gibón

(F7b10) Gibón (familia *Hylobatidae*)**.** Los gibones son del sudeste de Asia y se separaron de la línea humana hace 25 Ma. Forman unas diecisiete especies. Usan sonidos básicos que pueden combinar para transmitir advertencias. Además pueden cantar a dúo en la pareja.

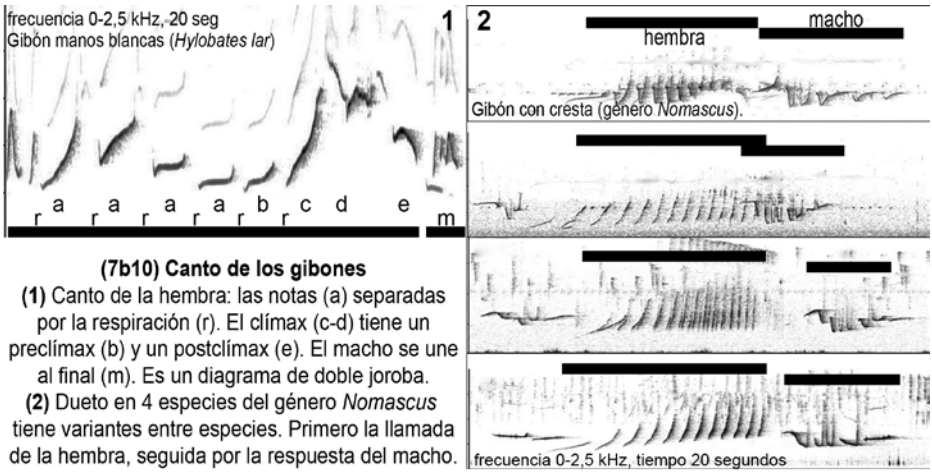
(1) /// Un ejemplo del canto puede ser la secuencia "*wa-hoo-hoo-hoo-hoo-wa-wa*" que identifica a un leopardo. Pero si el leopardo está quieto agregan elementos adicionales al final. En un caso, una hembra usó ocho unidades acústicas adicionales. No se sabe que estaba diciendo, pero podrían ser instrucciones específicas. Los gibones se consideran simios menores, pero en términos de comunicación van varios pasos adelante. Se sugirió que la canción humana antecedió al lenguaje hablado y que la canción del gibón podría sonar parecida a las canciones que los primeros humanos (1,8 Ma).

(2) Gibón plateado (*Hylobates moloch*)**. ///** Un estudio en Java permitió conocer la estructura del canto de este gibón. Una nota es el componente básico (cerca de 1 segundo). La composición de notas se llama frase. Las frases estructuran un canto que dura minutos. Por ejemplo, la nota *Oo* (0,2 s) es la más simple de todas y la nota *wa* es la más común y tiene cuatro tipos diferentes. Otras notas identificadas se llamaron *chevron* (con 7 variantes)*, variable e inspiración*. La variedad apunta a una complejidad que aún hay que interpretar.

(F7b10) El canto en dúo. Los gibones pueden tener un canto solitario por sexo (útil en la competencia por territorio o apareamiento) o en dúo dentro de la pareja (útil como reafirmación de la unión).

(1) El origen del canto en dúo. /// Un estudio se propuso analizar el estado primitivo de los gibones: ¿fue primero el dúo o el canto en solitario? Se comparó la conducta del canto en todas las especies de gibones usando el árbol filogenético. Se consideró cuán específico es el canto por sexo, cuándo cantan en solitario y la preferencia por un momento del día. Se concluyó que el último antepasado común de los gibones (LUCA) produjo canciones en dueto. Los duetos evolucionaron de una canción común para ambos sexos y que luego se separó por sexo. El paso siguiente fueron las canciones solistas segregadas. Parece que una especie con canto individual deriva de otra con formato de dúo.

(2) Gibón siamang (*Symphalangus syndactylus*)**: el ajuste del canto en dúo.** Los siamang son monógamos y hacen canciones



(7b10) Canto de los gibones
(1) Canto de la hembra: las notas (a) separadas por la respiración (r). El clímax (c-d) tiene un preclímax (b) y un postclímax (e). El macho se une al final (m). Es un diagrama de doble joroba.
(2) Dueto en 4 especies del género *Nomascus* tiene variantes entre especies. Primero la llamada de la hembra, seguida por la respuesta del macho.

con duetos largos y complejos. **///** Un experimento forzó un intercambio de parejas y se observó cómo ajustaban el canto. Se contabilizaron treinta y tres variantes en la secuencia de llamadas, después del intercambio. Algunos cambios ocurrieron por los rasgos individualistas de un miembro de la pareja. Al menos dos cambios se atribuyen a un esfuerzo de aprendizaje para adaptarse al nuevo compañero de dúo. Mostraron un patrón de canción estable en la pareja original y nuevos rasgos luego del intercambio. El esfuerzo de adaptación fue de uno o ambos miembros.

(3) Gibón Kloss (*Hylobates klossii*)**: cada sexo con su canción. ///** Estos gibones de Indonesia tienen la particularidad de no cantar a dúo en la pareja. El estudio de 30 años muestra que el canto, en lugar de funcionar como vínculo de pareja, funciona entre vecinos del mismo sexo. Los machos cantan antes del amanecer y las hembras después del amanecer. Tienen una funcionalidad intersexual y no se superponen.

Gibón con cresta (género *Nomascus*)**: tienen cantos regionales.** Los machos y hembras cantan solos y en dúo de pareja. Para mejorar la propagación en el bosque, las canciones se concentran en una banda de frecuencias, con modulaciones lentas. **///** Un estudio encontró que el canto en este género permite identificar especies y variedades regionales dentro de la misma especie. Se compararon canciones y la genética de 19 poblaciones. Se analizaron más de 400 canciones usando 53 parámetros acústicos. Se concluyó que cada gibón tiene su canción propia, pero se puede encontrar un dialecto regional.

Los gibones modifican la forma de canto a voluntad como los cantantes de ópera. Emplean las mismas técnicas de los soprano humanos. **///** En el estudio, un gibón fue grabado en una cámara profesional de sonido. Luego, se agregó helio a la atmósfera de la cámara. Este gas es menos denso que el aire normal y hace que las frecuencias de resonancia del tracto vocal se eleven. El sonido de la llamada de un gibón se origina en la laringe, que está separada por cuerdas vocales que modifican el sonido. El gibón fue capaz de regular los sonidos que emitía cuando escuchó el corrimiento de frecuencia. Escuchó su voz, determinó que había algo mal y

modificó la forma de su tracto vocal, la laringe y las cavidades bucales para corregirlo. A los cantantes de ópera les lleva años de estudio dominar y manipular la voz de esta manera.

Gibón manos blancas (*Hylobates lar*)**: la hembra que golpea la puerta**. En muchas especies de gibones, cuando un miembro del dúo hace llamadas, a intervalos regulares se suma el otro miembro de la pareja, con gritos de mayor duración. **///** En un zoológico de Suiza se describió a una hembra que inventó una conducta desconocida. Cantaba su canto territorial y cada vez que alcanzaba su clímax, cerraba de golpe una puerta para acentuar su llamada. Unos segundos antes de llegar al clímax, la hembra se dirigía a su caja de madera y cerraba la puerta corredera con un golpe. Después abría la puerta y saltaba fuera de la caja. No era parte del ritmo, era un llamado de atención. Se atribuye a que, cerca, había ingresado un grupo de gibones siamang (*S. syndactylus*).

el orangután

El lenguaje gestual es más importante que el vocal. Los grandes simios son muy comunicativos mediante gestos y poco en forma vocal. Para que un gesto sea comunicativo debe cumplir varias características: deben ser movimientos del cuerpo, extremidades y cabeza, pero no debe incluir el uso de la fuerza para lograr el objetivo. Debe estar dirigido a un destinatario específico, esperando conseguir una respuesta. Si no se está satisfecho intentará el mismo u otro gesto diferente. Los gestos que no se entienden son abandonados porque pierden la utilidad. Los gestos para las crías son ampulosos para que sean más evidentes. Con estas características se estudia el diccionario de gestos en los primates.

Orangután (género *Pongo*)**: comunicación por gestos en la naturaleza.** Los orangutanes (del malayo *orang* persona y *hutan* bosque) son de Malasia e Indonesia. Se separaron de la línea humana hace 18 Ma. Son muy callados, pero tienen una variedad interesante de expresiones. **///** Un estudio de dos años (600 horas de filmación) analizó la forma de comunicación de dieciséis orangutanes salvajes en un bosque de pantanos de turba en Borneo. Se filmaron 1.300 señales (860 vocales y 440 gestos) y se identificaron once señales vocales (chirrido, gruñido) y veintiún gestos físicos (señas, sacudir objetos, empujar el labio inferior). Si bien prefieren usar las manos cuando hacen gestos, usan los pies más que los chimpancés. Se encontró que son muy receptivos, de forma que reaccionan antes de que finalicen los gestos del otro y en menos de un segundo, en el 90 % de las comunicaciones. Se observó que usaban sonidos y gestos para lograr ocho objetivos diferentes para cosas que querían que hiciera otro orangután. Algunos objetivos identificados fueron: "adquirir un objeto" (el señalador quiere algo), "trepar sobre mí" o "trepar sobre usted", "alejarse", "disminuir la intensidad del juego", "reanudar" o "detener". Se los identificó como rasgos culturales, no genéticos. Los toques físicos se usaron cuando eran para alguien que no estaba prestando atención y la comunicación vocal, cuando el otro estaba fuera del rango visual.

La comunicación por gestos en cautiverio.

(1) /// Un estudio trabajó nueve meses en tres zoológicos de Europa con 28 orangutanes. Se identificaron 64 gestos, 40 fueron usados con la frecuencia suficiente como para analizar el significado. Se agruparon en varios objetivos sociales: iniciar una interacción (contacto, preparación o juego), solicitar objetos o compartirlos, instigar al movimiento conjunto, hacer que un compañero retroceda o se detenga en una

acción. Se encontró que eran más persistentes con sus gestos, cuando su compañero no respondía de la manera prevista.

(2) /// Otro estudio mostró cómo modifican de forma intencionada los gestos de comunicación. Trabajaron con seis orangutanes en cautividad en situaciones donde debían conseguir alimento con ayuda humana. Los científicos, en lugar de ayudar a interpretar los gestos, simulaban entender mal las instrucciones. Se observó que, primero, persistían y repetían los gestos. Luego, reducían el catálogo de gestos a los que habían sido entendidos. Los gestos fracasados no volvían a ser usados. Se notó que evaluaban la comprensión de la persona que observaba sus gestos (teoría de la mente). **///** Los ajustes a los gestos no deben extrañar, pueden incluso generar un dialecto. Un ejemplo bien documentado ocurrió en forma espontánea en adolescentes sordos en escuelas de Nicaragua en los años 1980. Los alumnos inventaron un lenguaje de señas privado con características criollas. Lograron emanciparse de sus maestros en forma inconsciente. Esto generó una motivación especial en el uso del dialecto de señas.

Particulares llamadas sonoras.

(1) Llamada por hechos pasados. /// En 24 ensayos en Sumatra un investigador se disfrazó de tigre y se acercó de distintas formas a 7 orangutanes hembra. Cuando percibían el peligro, tomaban a su bebé, defecaban y orinaban (signo de angustia) y comenzaban a trepar más arriba por el árbol en absoluto silencio. Luego de 2 minutos el investigador se retiraba y la hembra esperaba para comenzar a advertir con gritos de alarma el peligro que creía haber corrido. El tiempo medio de espera fue de 7 minutos (máximo de 20 minutos). Esta conducta indica que pudo evaluar los riesgos, que tomó la decisión de esperar y no reaccionar con una llamada inmediata, y de hacer una comunicación intencional posterior al hecho. Parece que evitan hacerse notar, asegurándose de que la cría entendiese el peligro, e informar más tarde del risgo. Se encontró que con crías más jóvenes se producían respuestas más rápidas. Las llamadas se escuchan hasta 300 metros, pero como son solitarios no hay orangutanes cerca para escucharlas. Es probable que la hembra se preocupe más cuando deja de ver al felino porque pierde contacto visual.

(2) Sonidos culturales con hojas. /// En Borneo, una de las especies de orangután (*Pongo pygmaeus wurmbii*) emite una llamada especial (chillido de beso). Se genera mediante una entrada brusca de aire a través de los labios fruncidos que produce un sonido de beso. Hacen este ruido cuando se sienten amenazados (serpiente, leopardo, tigre o humano). Lo más probable es que aleje al depredador, no es una llamada de socorro. Los orangutanes son solitarios y otro orangután tardaría mucho en responder. Estos chillidos se hacen de tres formas: solo labios, con la mano delante de los labios y con hojas delante de los labios. Se los observó quitar las hojas de una rama y sujetarlas frente a la boca mientras hacían chirriar el beso. Se midió que el uso de las hojas reduce la frecuencia del chillido lo que finge un orangután más grande. En las selvas espesas los depredadores se guían por el sonido cuando no pueden ver. Parece un rasgo cultural porque solo se lo observó en ciertas poblaciones.

Orangután Chantek (1977-2017)**: fue un macho con habilidades lingüísticas con señas.** Pasó años aprendiendo signos con humanos. Recibía un sueldo de arandelas de metal que gastaba en un restaurante de comida rápida. Le gustaba limpiar la zona donde dormía y a veces ayudaba en la cocina. Salía a pasear a las plazas y lagos cercanos a la Universidad de Tennessee. Aprendió varios cientos de signos y entendía el inglés hablado. Inventó algunos signos nuevos como combina-

ción de otras palabras. Con el tiempo se convirtió en una amenaza ya que tenía la capacidad de usar herramientas para romper cercas y abrir candados. Cuando fue transportado a un santuario, a los otros orangutanes los llamaba "perros". Con el tiempo se adaptó y aunque siguió haciendo señas perdió la fluidez.

el gorila

Gorila (*Gorilla gorilla*)**: el lenguaje de gestos.** Los gorilas se separaron de la línea humana hace 15 Ma. Carecen de un lenguaje oral y utilizan los gestos (rostro, manos y cuerpo) para comunicarse. Se pudieron identificar unos 25 sonidos (gorjeos, gruñidos, rugidos, aullidos, etc.) y algunos están conectados con conductas identificables. Se tocan las manos para mostrar que no tienen nada, o para iniciar otro contacto. Presionan una palma sobre la cabeza de otro para indicar que terminó lo que estaban haciendo. Con los bebés, las madres usan los gestos en forma exagerada y repetida. **///** Un estudio de 120 horas de videos encontró que las madres tocaban y acariciaban a sus pequeños y usaban gestos que nunca se usaban entre los adultos. También usaban golpes ligeros para que los bebés los entendieran. Los adultos tendían a repetir y ralentizar gestos cuando se comunicaban con los jóvenes. Es decir, comprendían que los bebés todavía estaban aprendiendo la jerga. Es una demostración de cultura.

Los gorilas tienen al menos 102 tipos de gestos.

(1) /// Un estudio realizó un catálogo de gestos de gorilas. Todos los grupos estudiados comparten gestos comunes, como el balancear el brazo con un objeto y tocar a otros. Pero también hay gestos que identifican a ciertos lugares. A medida que se agregaban poblaciones al estudio, la mayoría de los gestos correspondían con los conocidos. Es probable que dos poblaciones difieran en el repertorio de gestos, pero todas provienen de un tronco común a toda la especie. Se concluyó que la mayoría de los gestos son naturales y no necesitan ser aprendidos.

(2) Sobre la rutina "haz lo que hago". Cuando se les pide que imiten a los humanos lo hacen, pero en forma inexacta. **///** Un informe experimental indicaba que una gorila hembra parecía hacer bien la rutina "has lo que hago". Pero luego se descubrió que las copias de acciones humanas eran gestos que ella misma había hecho antes. Parece que el hecho de tener un gran repertorio de gestos puede explicar por qué pueden imitar. Están reutilizando acciones de su propio repertorio, no aprendiendo nuevas.

(F7b11) Gorila hembra Koko (1971-2018)**: era famosa por el vocabulario.** Llegó a manejar más de 1.000 signos del lenguaje de señas. Lo que equivale a un humano de tres años. Además, entendía 2.000 palabras de inglés hablado, incluyendo sustantivos, verbos y adjetivos y conceptos como bueno y falso. Obtuvo una puntuación entre 70 y 90 en varias escalas de coeficiente intelectual. A los 19 años, pasó la prueba del espejo, donde la mayoría de los gorilas fallaron.

(1) /// Koko usaba el lenguaje de manera engañosa y con efectos de humor. Inventó nuevos símbolos, por ejemplo "anillo" lo mencionó como "dedo-brazalete". Tuvo un gato como mascota, el cual había reclamado por dos años y se puso muy triste al saber que había muerto años después. En otra oportunidad un cuidador le mostró una foto de un esqueleto y le preguntó "¿Está vivo o muerto?", respondió ‹muerto", le repreguntó «¿a dónde van los animales cuando mueren?" y respondió «hoyo-cómodo». Se cuenta que, en una sesión de pruebas, le preguntaban sobre el color de

unas prendas. En un momento, le mostraron una prenda blanca y respondió rojo. Le dijeron que estaba errado y le volvieron a preguntar y volvió a responder rojo. Entonces le preguntaron el porqué y, tomando una fina hebra roja adherida, la mostró e hizo un gesto de triunfo. Llegó a comunicar las prioridades temporales: "primero vierte esto, luego Koko bebe".

(2) /// Un estudio analizó 71 horas de video y permitió encontrar ejemplos repetidos de nueve comportamientos voluntarios con control sobre su vocalización y respiración. Estos eran comportamientos aprendidos, no parte del repertorio típico de gorilas en la naturaleza. En uno se lo observa soplar una frambuesa (o soplar en su mano) cuando quería un regalo. En otro se suena la nariz con un pañuelo. También sopló instrumentos de viento y la humedad en anteojos, antes de limpiarlos con un paño. Imitó conversaciones telefónicas, parloteando sin palabras en un teléfono, entre su oído y la curva de un codo. No producía un sonido bonito y periódico, pero podía controlar su laringe lo suficiente como para emitir un gruñido. También podía toser a pedido, lo que requiere que cierre su laringe. Es el resultado de vivir con humanos desde que tenía seis meses. La diferencia con los otros gorilas son las circunstancias ambientales. Esto sugiere que algunas de las bases para el habla estaban en un ancestro común con el gorila. Existe el potencial para el desarrollo común del tracto vocal flexible.

los chimpancés y bonobos

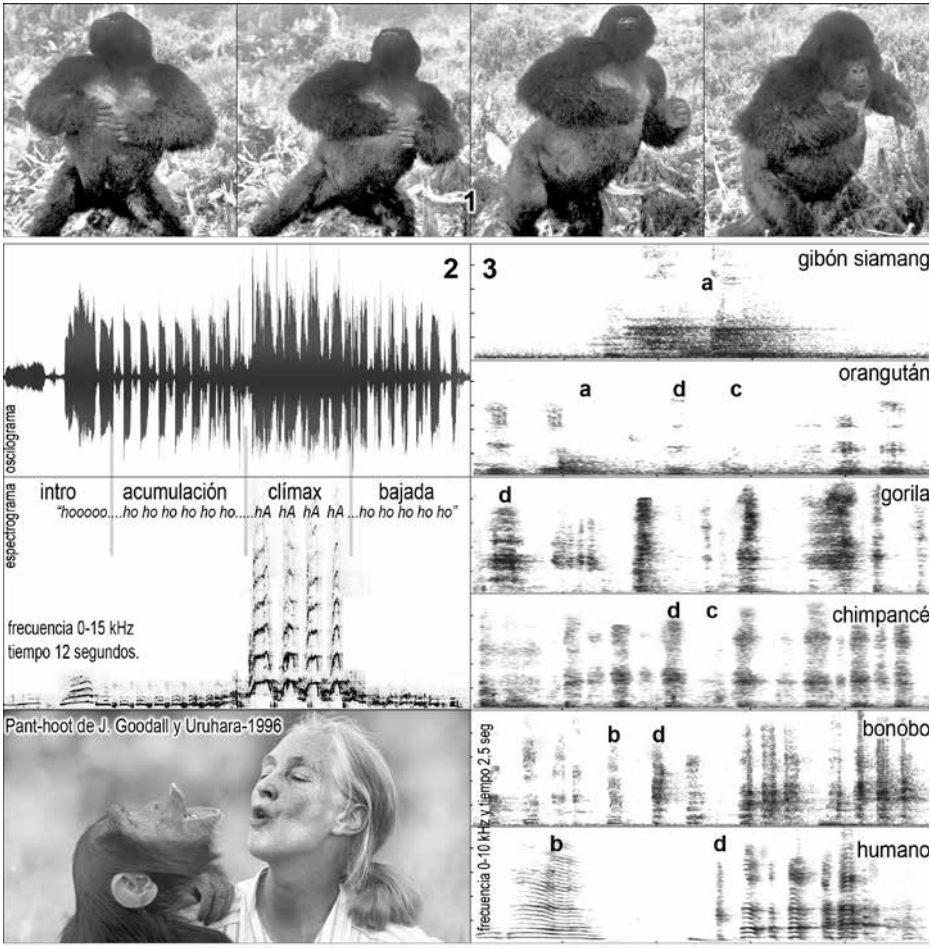
¿de qué se trata? Los chimpancés (*Pan troglodytes*) y bonobos (*P. paniscus*) no tienen un lenguaje oral evidente. Sin embargo, es posible que inventen sus propios ruidos y que tengan un significado solo para cada individuo. Serían proto-palabras que, para llegar al lenguaje, se necesita que sean recogidas por otros. Se podrían propagar por el grupo, pero lo más probable es que ocurra entre madre e hijos. Los jóvenes son atentos y juguetones como para imitar a su madre. Es probable que haya ocurrido innumerables veces y que se haya frustrado siempre. Cualquier lenguaje privado se perdería en cada generación, siendo pisoteado en el mundo de los adultos. Sin embargo, algunas llamadas perduran.

chimpancé: oral

La comunicación oral: las llamadas *hoo* tienen varias funciones.

(1) /// Un trabajo en la comunidad de Sonso en el bosque de Budongo (Uganda) encontró que los chimpancés usan llamadas silenciosas "*hoo*" en tres contextos: alerta, viaje y descanso. Se grabaron los sonidos y reacciones de 29 chimpancés sobre un total de 77. Se encontró que los "*hoo*" no tienen relación con las emociones. Cada llamada informa a los receptores cómo comportarse y ayuda a los receptores a permanecer juntos. Por ejemplo, en el contexto de descanso, los que reciben la llamada deben permanecer cerca de los llamadores. En viaje, los receptores deben acercarse al que llama. En alerta, deben acercarse lentamente. La necesidad de permanecer juntos en un hábitat de baja visibilidad puede haber facilitado la evolución de variantes sobre una llamada.

(2) /// En una ocasión, al zoológico de Edimburgo (Escocia) llegó un grupo de nueve chimpancés adultos desde Países Bajos. Un estudio analizó el cambio en el gruñido durante la alimentación con manzanas y los cambios de la red social. Se encontró que los integrantes del grupo holandés cambiaron los gruñidos para parecerse a los escoceses. La convergencia se



(7b11) Comunicación en gorilas, chimpancés y las risas

(1) Latido de pecho de los gorilas. Lo hacen con las manos ahuecadas en rápida sucesión. Un estudio en Ruanda demostró que la frecuencia del sonido es un indicador confiable de tamaño del simio. **(2)** ***Pant-hoot* del chimpancé.** El llamado está compuesto por una introducción compuesta de *hoo* suaves y de baja frecuencia. Sigue la acumulación (creciente en nivel, velocidad y frecuencia), el clímax (alta frecuencia y volumen) y cierra la bajada. **(3)** Las fases de la risa por cosquillas en 6 especies de simios. Se muestran (a) el régimen vibratorio de ruido, (b) la voz regular, (c) la llamada ingresiva, y (d) la llamada egresiva.

midió en tres años (2010-2013). Estos cambios para adaptarse a un nuevo grupo se observan también en cetáceos, elefantes y aves.

(F7b11) La llamada de jadeo *pant-hoot*. Esta llamada de los chimpancés es bien conocida, compleja y de larga distancia. Los machos y hembras producen estas vocalizaciones, pero predominan en los machos adultos de alto rango. Los jadeos identifican al individuo y distinguen su rango debido a las variaciones propias.

(1) Las cuatro fases del jadeo. /// Los estudios de espectrogramas muestran que tiene cuatro fases: introducción, acumulación, clímax y bajada. La introducción son *hoo* suaves y de baja frecuencia. En la fase de acumulación los *hoo* aumentan en velocidad, nivel y en frecuencia. La fase de acumulación se convierte en el clímax con gritos fuertes y de alta frecuencia. Al final el clímax se ralentiza y se apaga en una fase de bajada, que es lo opuesto a la acumulación. Este jadeo se escucha en múltiples situaciones: para la formación de grupos sociales, para mostrar el dominio, cuando encuentran un árbol con frutos, al unirse para saludar a otro grupo social, etc.

(2) La búsqueda del coro de jadeos. /// En un estudio realizado en dos comunidades de chimpancés, en Uganda, se determinó que buscan compartir el jadeo a coro con otros machos. Para lograrlo un individuo modifica el jadeo individual para sincronizarse con el resto. El que inicia el jadeo estira la fase de acumulación para permitir el ingreso de otros chimpancés al coro. También se encontró que prolongan la cantidad de elementos del clímax para sincronizar y dar más emotividad al coro. Se concluyó que ajustan la fase de acumulación y clímax para promover el coro.

(3) Argumento para indicar que los dialectos son culturales. /// En un estudio de cuatro poblaciones de chimpancés en Costa de Marfil no se encontraron diferencias genéticas (ADN nuclear) ni ambientales (eran vecinos). Sin embargo, había diferencias en las llamadas de jadeo. Por esto se atribuyeron las diferencias a razones de aprendizaje cultural (dialectos).

(4) Argumento para indicar que no son culturales /// Los jadeos tienen algunas variantes regionales pero ciertos estudios niegan razones culturales. Se estudiaron dos poblaciones de machos (10 de Mahale y 12 de Kibale, distantes 700 km). En Kibale tenían una introducción y acumulación más larga y lenta. Se encontraron variaciones entre machos de cada población. El estudio encontró algunas diferencias ambientales (diferente propagación en los hábitat) y del tamaño corporal. No se encontraron evidencias de que las diferencias fueran culturales por aprendizaje.

(F7b11) La risa por cosquilleo tiene un origen evolutivo en los simios. /// Un estudio examinó la acústica de la risa por cosquilleo en orangutanes, gorilas, chimpancés, bonobos y humanos bebés. Los datos acústicos se codificaron como estados de caracteres y se analizaron con la filogenética. Se encontró evidencia de que la risa inducida por cosquilleo es homóloga en estos grandes simios. Hay un origen evolutivo común para la risa en los simios (15 Ma). Sin embargo, puede ser anterior, porque la risa en el mono siamang muestra similitudes con la risa del orangután. La risa de los ancestros debió ser más larga y más lenta que en los humanos, también más uniforme y con menos cambios en los regímenes de vibración.

Las llamadas ante una serpiente.

(1) Tienen consciencia de lo que saben sus compañeros, y hay intencionalidad en las llamadas. /// Un estudio observó cómo los chimpancés de Budongo (Uganda) reaccionaban a serpientes artificiales. Se realizó sobre 33 chimpancés con tres modelos de serpientes colocadas en caminos frecuentados. Los simios se paralizaron, gritaron *hoo* como llamada de alarma e hicieron gestos señalando la serpiente. Los llamados aumentaban cuando había amigos y desprevenidos. Esto sugiere que son intencionales, que se realizan a voluntad y no como un reflejo. Luego se agregaron sonidos grabados de chimpancé haciendo llamadas de alerta o sonidos en reposo. Se encontró que reaccionaron menos luego de las llamadas simuladas y reaccionaban más cuando estaban con otros simios incautos.

(2) Diferencias entre chimpancés y bonobos. /// En un trabajo se estudiaron 82 chimpancés y bonobos de cinco comunidades con un modelo de la víbora gabón (*Bitis gabonica*). Se observó que los simios pueden evaluar lo que otros saben, porque dejaron de llamar, cuando todos habían visto la serpiente. Los chimpancés fueron más eficientes, porque los individuos que llegaban tarde se sorprendían menos que en los bonobos. Estaban mejor informados. Esto podría indicar que la motivación para ayudar y advertir a los demás era mayor en estos chimpancés.

chimpancé: gestual

La comunicación gestual.

(1) /// Un estudio en Budongo (Uganda) analizó cómo se comunican los chimpancé mediante gestos. Se identificaron unos 2.000 ejemplos en 58 gestos con las manos, postura corporal, expresiones faciales y varios ruidos. Al combinar los gestos pueden transmitir una amplia variedad de mensajes. Siguiendo la ley de Zipf, los gestos más usados tienden a ser cortos y los gestos más largos pueden dividirse en gestos cortos. Se encontraron gestos que son usados por todos. Por ejemplo, extender un pie a un joven es una invitación para subirse al lomo.

(2) Jugar es el contexto más común para la comunicación gestual. /// En otro estudio de 6.500 episodios de comunicación y combate, se pudieron seleccionar 66 gestos, de los cuales 19 fueron intencionales. De ellos, 17 eran para alentar las interacciones ("prepararse", "acercarse", "cambiar el juego") y 2, para desalentar ("detener eso" y "alejarse"). Se encontró que, de los 66 gestos, algunos tenían varios significados, con un promedio de 2,8 por gesto. La mayoría (57 de 66) estaban relacionados con juegos.

(3) Pueden indicar "más lejos" solo con gestos. /// Un experimento trabajó con ocho chimpancés colocados en un corral dividido en dos secciones, separados por barras. Del otro lado del corral, había dos mesas, una cerca y otra lejos. Un investigador entraba, colocaba un pedazo de plátano en una de las dos mesas y se retiraba. Luego, otro entraba y le preguntaba al chimpancé si quería el plátano. Se encontró que, cuando el plátano estaba en la mesa del fondo, el chimpancé levantaba los brazos, un poco más alto, y abría la boca, un poco más grande. Era un intento de decirle al investigador que el plátano estaba más lejos. No solo pudieron entender el concepto de distancia, sino que también pudieron transmitirlo.

Transmiten instrucciones a otro compañero para una tarea conjunta. **///** Un estudio diseñó una caja de colaboración que obligaba a dos chimpancés a unir fuerzas para alcanzar un premio (uvas). Estaban separados por barrotes y debían trabajar con herramientas. Un chimpancé tenía dos cajas opacas y, en una, estaban las herramientas. El otro chimpancé tenía la llave que abría las cajas y sabía en cuál de las dos cajas estaban las herramientas. Es decir, debía darle la llave e indicarle en cuál usarla. La solución correcta ocurrió en cerca del 80 % de las parejas. En esta prueba, los chimpancés se comunicaron en forma espontánea. Se pudo observar que usaron movimientos y miradas que podían indicar lo que debía hacerse.

Producen expresiones faciales independientes de la vocalización. En los chimpancés, el uso independiente de expresiones y vocalizaciones mejora el significado en la comunicación. **///** En un estudio se grabaron 46 chimpancés, durante juegos espontáneos, en el orfanato de Chimfunshi (Zambia). Luego se aplicó el sistema estándar de codificación (ChimpFACS), para medir

los movimientos faciales que fue desarrollado para humanos. Se encontró que producían catorce expresiones faciales con la boca abierta tanto en presencia de sonidos de risa o en su ausencia. Estas expresiones faciales se produjeron en forma flexible, sin importar la vocalización. La expresión facial y la vocalización se usaban de manera diferente en el juego social.

Chimpancé Washoe (1965-2007)**: fue el primer primate en aprender el lenguaje de señas americano (ASL). ///** Esta hembra llegó a aprender unas 350 palabras y le enseñaba palabras a su hijo adoptivo. Luego se amplió el grupo llegando a cinco chimpancés que usaban hasta 240 signos, incluso para comunicarse entre ellos. Usaban signos para crear categorías de lenguaje natural. Por ejemplo, decían "perro" para cualquier raza de perro o "zapato" con cualquier tipo de calzado (zapatilla o bota). Se cuenta que una cuidadora tuvo un aborto y cuando regresó al trabajo le contó a Washoe "mi bebé murió". Washoe la observó, bajó la cabeza, dijo "llorar" y toco la mejilla dibujando con el dedo el camino de una lágrima. Como los chimpancés no derraman lágrimas, esa señal tiene un valor invaluable en la teoría de la mente.

bonobo

¿de quién se trata? El género *Pan* se separó hace menos de 2 Ma, formando las especies de chimpancé y bonobo. La familia *Hominidae* reúne a los géneros *Homo* y *Pan*, que se separaron hace más de 7 Ma. **///** La comparación de la secuencia del genoma de esta familia muestra una diferencia de 1,3 % entre *Homo* y *Pan* y de 0,4% entre chimpancés y bonobos. Para algunos las diferencias genéticas son tan pocas que deberían ser un solo género. Se dijo que una denominación *Homo troglodytes* para el chimpancé o *Pan sapiens* para el hombre sería inadmisible entre los humanos, pero que un extraterrestre no lo dudaría. Los territorios de bonobo y chimpancé en el centro de África están separados por el río Congo, con los bonobos aislados en el sur. Se piensa que la formación del río Congo separó a los antepasados dejando a los chimpancés todo el resto del bosque. Parece que la división es limpia, sin cruces genéticos posteriores.

La sociedad del bonobo: matriarcal, sexual y pacífica. Los bonobos forman una sociedad matriarcal que resuelve los problemas con sexo en lugar de violencia (se los llamó los monos hippies). El sexo ocurre en el 30 % de las veces frente-a-frente. Tienen sexo tanto hetero como homosexual. El sexo entre hembras consiste en frotar los genitales externos en la posición frente-a-frente y ocurre sin importar el período de ovulación (es una actividad social no sexual). Comparado con los chimpancés, los bonobos son más sociables, cooperan y comparten más comida y son menos agresivos. Los chimpancés fabrican y usan herramientas; los bonobos, mucho menos. Probablemente el ambiente de selva al sur del río Congo hace innecesaria la invención de herramientas. Los bonobos juegan incluso cuando son adultos y se observan cara-a-cara como tratando de adivinar qué piensa el otro. Son más empáticos que los chimpancés.

(1) Preferencia por lo positivo. /// Un experimento con cuatro bonobos hembra cautivas permitió analizar qué preferían. Debían sentarse y observar dos imágenes en una pantalla. Luego aparecía un punto en el espacio de cada imagen y la bonobo debía señalarlo para obtener un premio. Se ejecutaron trece pruebas en cada una de las veinticinco sesiones planificadas. Las bono-

bo localizaban el punto más rápido sobre imágenes emocionales positivas. Estaban más enfocadas en imágenes de acicalamiento, cópula y bostezos, que en imágenes de agresión o peligro. Cuando se probó de la misma forma a chimpancés y humanos, se mostraron más interesados en imágenes de peligro o agresión.

(2) El amor, no la guerra. Para darse una idea de la sociedad bonobo sirve una anécdota de la segunda guerra mundial. **///** Se cuenta que en el zoo de Múnich había chimpancés y bonobos. Cuando se produjeron los bombardeos aliados, toda la colonia de bonobos murió de ataques cardíacos y toda la tropa de chimpancés sobrevivió. Eso dice mucho de la sensibilidad de unos y la asimilación de la violencia en los otros. Los chimpancés practican la guerra y los bonobos, no. La tolerancia a la violencia es muy diferentes.

Diferentes respuestas a las hormonas.

(1) Hormonas de los machos frente al estrés. /// Una diferencia básica es como responden al estrés. Los bonobos machos emparejados con hembras dominantes muestran un aumento del cortisol. Los chimpancés machos en la misma condición tienen un aumento en la testosterona. Esto sugiere que los machos perciben una situación idéntica de manera diferente. Los bonobos perciben la competencia como un factor de estrés y los chimpancés como la lucha por el dominio.

(2) La oxitocina en los rasgos sociales de observación. Los cambios sociales en las especies chimpancés y bonobos son recientes y evidentes. Los chimpancés tienen grupos con macho alfa y los bonobos son una sociedad matriarcal. **///** Un estudio usó técnicas no invasivas donde la oxitocina fue nebulizada (convertida en aerosol) en una caja con acceso voluntario y donde recibían jugo. Luego se les mostraban imágenes (fotos y videos) y se grababa la mirada. Los bonobos (como los humanos) dirigían la atención a los ojos en las imágenes, mientras los chimpancés guiaban la mirada hacia la boca.

(3) Más oxitocina, más cooperación. /// En LuiKotale (RD Congo) se relacionaron las interacciones sexuales, se identificaron los socios preferidos y analizaron muestras de orina para medir la oxitocina. Se encontró que las hembras, frente a situaciones competitivas, preferían las relaciones homosexuales. La oxitocina en las hembras aumentaba más después del sexo homosexual que del heterosexual. Las parejas del mismo sexo con más actividad homosexual cooperaban más y quizás sea la clave para que las hembras alcancen altos rangos de dominio en la sociedad bonobo.

Las llamadas de cópula de las hembras tienen una función social. /// Las bonobo hembra producen llamadas de cópula durante el apareamiento y participan de frecuentes interacciones sexuales con machos y hembras. Las llamadas (chillidos y gritos) ocurren en ambos contextos (hetero y homosexual). El volumen depende del rango social y de la audiencia presente. Las llamadas son más fuertes cuando es una hembra de bajo rango interactuando con otra hembra de rango mayor. También es más fuerte si una hembra alfa está entre la audiencia. No se encontró correlación con la duración o posición del cuerpo. Las usan como señales sociales en el contacto homosexual para mejorar el estatus social. Esto es importante porque las hembras jóvenes abandonan su grupo y se unen a uno nuevo. Allí arrancan desde la base del estatus social, por lo que deben escalar. Estas señales sociales pasaron de tener una función reproductiva (placer) a una social más general.

La comunicación mediante gestos.

(1) Manual de gestos. /// Un estudio analizó más de 2.300 gestos de bonobo y seleccionaron 33 como consistentes. Se definió el significado observando la reacción en los demás. Por ejemplo, el primer bonobo presenta un brazo, el segundo bonobo trepa por la espalda del primero y este deja de gesticular. Entonces se infiere que estaba satisfecho y que el gesto significa "trepa sobre mí". Se encontró que los gestos se usaron en toda la gama de relaciones. Levantan el brazo, lo sacuden, hacen señas, se arañan con fuerza, se muerden, se inclinan, se cuelgan, balancean, hacen mendicidad, se abrazan, se besan de boca o lengua, dan patadas y bofetadas, etc.

(2) El gesto de acicalamiento. /// En otra fase del estudio, se compararon con gestos de chimpancés. Se encontró que muchos son comunes. Esto sugiere que son una herencia del tronco del género *Pan*. Por ejemplo, en los bonobos, cuando uno se rasca de forma enérgica y ruidosa, está pidiendo que lo acicalen en el 100 % de los casos. El mismo gesto en los chimpancés significa un pedido de acicalamiento en el 82 % de los casos. El estudio sugiere que si un bonobo y un chimpancé se miran cara-a-cara podrían entenderse.

(3) /// Los estudios informan de bonobos que sacuden la cabeza para decir que "no". Se los observó sacudir las cabezas de lado a lado en desaprobación. Por ejemplo, cuando una madre detiene a la cría que quiere trepar al árbol. Se observó en cuatro bonobos en trece ocasiones. Esta señal puede haberse desarrollado porque tienen una sociedad igualitaria.

Las hembras solicitan el contacto genital homosexual mediante gestos. /// Las hembras usan el frotamiento genital (sexo homosexual) para funciones sociales. Se abrazan y frotan los genitales con movimientos laterales de caderas. Un estudio Luikotale (RD Congo) analizó 169 episodios con 14 hembras y encontró que usan gestos intencionales para iniciar el contacto. Los gestos son de dos tipos: señalan la parte del cuerpo con el pie (152 veces) y hacen una pantomima de la acción "balanceo de cadera" (43 veces). Como resultado el 83% de las veces terminó en la acción específica. Ambos gestos cumplen funciones de comunicación en la conducta sexual femenina.

Bonobo Kanzi (1980-): en la cúspide de la fama. /// Desde muy pequeño Kanzi participó del entrenamiento de su madre adoptiva (Matata) y, aunque no fue entrenado, observaba todo lo que ocurría. Matata no aprendió mucho del teclado lexigram de símbolos. Cuando fueron separados (Kanzi tenía 2 años) señaló los símbolos pidiendo comida, afecto y preguntó por su madre. Había aprendido solo mirando el entrenamiento de la madre.

-En su entrenamiento no se le enseñaron símbolos fuera de contexto, se le hablaba para que entendiera palabras y contextos a la vez. En 1986 se determinó que el 80 % de los mensajes que decía no eran imitaciones, eran estados internos. Entonces se realizó una prueba controlada. El entrenador usó una máscara y se le pidieron decenas de tareas poco probables (p.ej., poner agujas de pino en el refrigerador). Respondió al 74 % de los requerimientos, lo que valió que lo compararan con un niño de 2 años (Alia) que obtuvo el 65 %.

-Se cuenta que en una visita al campo, pidió fósforos y maníes. Juntó ramas, encendió el fuego y colocó los maníes en el fuego. Otro día, junto al arroyo, se le dijo "¿podrías tirar tu coca cola al río?" Kanzi metió la mano en su mochila, sacó el envase y lo arrojó al río.

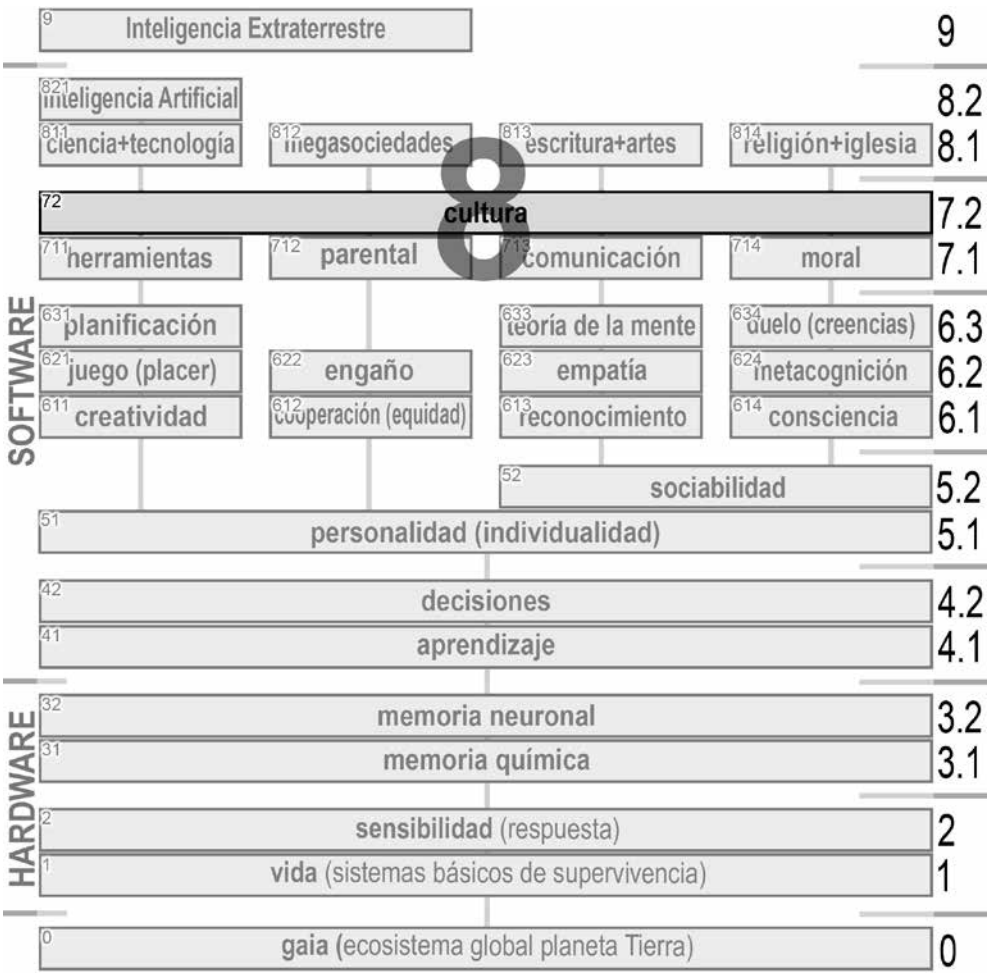
-Matata mostraba capacidad para mentir, lo

que es mucho más que engañar. Una estrategia que usaba era enviar al cuidador fuera de la habitación. Entonces Matata tomaba algo de otro y gritaba como si estuviera siendo atacada. Al volver el cuidador, ella lo miraba con una expresión suplicante y solicitando ayuda. Se las arreglaba para aparecer como injustamente agraviada.

-En una ocasión estaba Kanzi con un entrenador al que le falta un dedo. Kanzi le acicalaba la mano y al llegar, al dedo faltante, fingió que el dedo estaba allí. Luego usó el teclado y preguntó "¿dolor?". Esta palabra en el contexto de la pregunta significa teoría de la mente.

-Como entendía el concepto de la palabra "bueno" y "malo", cuando hacía una travesura, ponía la palabra "malo" al inicio. Por ejemplo, cuando despertó de una siesta a un cuidador, escribió "mala sorpresa".

-En una oportunidad, Kanzi y su hermana estaban en habitaciones separadas. A Kanzi se le dio un yogur y vocalizó algunos sonidos. En la otra habitación, la hermana señaló el símbolo del yogur, indicando que pueden entenderse mediante voces. Los cuidadores notaron que emitía ruidos suaves. Entonces se estudiaron cien horas de videos en busca de estos sonidos. Se eligieron situaciones que no fueran ambiguas, como cuando comía un plátano, señalando el símbolo de unas uvas o respondiendo a una solicitud de salir de la jaula. Se identificaron cuatro sonidos: sí, plátano, uvas y jugo. Son sonidos no enseñados. Puede que sean surgidos del estado emocional. Pero el sonido para "sí" fue el mismo en distintos estados emocionales. Dicen que su película favorita era *Quest for Fire*.


9 Inteligencia Extraterrestre
9
821 inteligencia Artificial
8.2
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia
8.1
8
72 cultura
7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral
7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias)
6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición
6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia
6.1
52 sociabilidad
5.2
51 personalidad (individualidad)
5.1
42 decisiones
4.2
41 aprendizaje
4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal
3.2
31 memoria química
3.1
2 sensibilidad (respuesta)
2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia)
1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra)
0

MODELO DE CAPAS

72 cultura

¿de qué se trata?

La cultura. Hasta hace algunas décadas, el concepto de cultura se definía para los humanos. Incluía la totalidad de las costumbres y leyes, lenguaje, música y artes, rituales, creencias y religiones, tecnología y ciencia, etc. Parecía que lo importante debía estar en lo que no incluía. No incluía los patrones instintivos (genéticos), lo que determina en parte la conducta de los animales. El concepto de cultura se opone, en cierta medida, al de natura. Lo que se tiene por naturaleza (proviene de nacer) funciona de base donde se suma la cultura (proviene de cultivar). Si la cultura fuese exclusivamente humana requeriría componentes únicos (lenguaje, bipedismo y uso de las manos, cerebro más grande). Sin embargo, este paradigma cayó bajo el peso de las evidencias empíricas.

La cultura en los animales. Para que un rasgo sea considerado cultural debe descartarse una diferencia genética (cambios genéticos que afectan la conducta) o cambios en el ambiente (diferencias ecológicas). Una razón ambiental es la disponibilidad de medios. Por ejemplo, una población come bananas pero otra no, pero en el entorno no hay bananeros. La diferencia genética ocurre por aislamiento de dos poblaciones y se investiga con el ADN. Los animales tienen cultura y las más evidentes se encuentran en las aves, cetáceos y primates. Por ejemplo, en los chimpancés, la forma de pescar termitas se enseña de madre a cría. La diferencia entre este tipo de cultura biológica y la cultura humana es la posibilidad infinita de adición. Mientras un chimpancé debe conocer todos los pasos para la fabricación y uso de una herramienta, ningún ser humano conoce todos los pasos para producir un elemento cultural o tecnológico, de esto se ocupa la división del conocimiento.

Los memes son a la herencia cultural, lo que los genes son a la herencia biológica. Una teoría dice que un "meme" es un evento cultural (idea, hábito, relato, invento) que se propaga entre individuos por

imitación. La palabra "meme" proviene de mimetismo. Los memes tendrían las mismas propiedades darwinianas que los genes: se replican en forma imperfecta, tienen variación y se seleccionan. Un meme infesta la mente como un virus una célula. Una mente infestada por un meme lo replica y difunde a los cercanos. El modelo de capas muestra esta estructura: (a) los genes se manifiestan en el instinto (capas inferiores), (b) el aprendizaje estructura las capas intermedias y (c) los memes se corresponden a la mimética cultural y aprendizaje social (capas superiores). Los memes se degradan y se pierden si no logran nuevos adeptos.

(1) Un ejemplo a favor. /// En un estudio con mirlos (*Turdus merula*) se representó la siguiente escena. Un mirlo veía a un búho depredador por lo que batía las alas y agitaba la cola por temor. En tanto, otro mirlo veía al mirlo atemorizado pero, en lugar de ver al búho se le mostraba un ave inofensiva (un frailecito). Este segundo mirlo aprendió a reaccionar con temor ante el frailecito. El mensaje era "el frailecito es un depredador". Este falso mensaje (meme) se propagó por una cadena de seis mirlos, cada vez con menor intensidad, hasta que desapareció.

(2) Opiniones en contra. /// Aquellos que objetan la idea del meme aseguran que se transfiere en forma muy imperfecta. Y es cierto. Cuando se imita, se desconoce mucha información, así que la "evolución cultural" es dramática. El problema radica no en la replicación y variación (que existe y es mucho mayor que en los genes), sino en saber si la selección natural interviene en la selección cultural. De todas maneras, el concepto de meme, como un replicador similar al gen, aporta una profundidad interesante al estudio de la cultura animal.

Los animales aprenden, memorizan, enseñan y propagan lo aprendido. Esta secuencia es el origen de la cultura. La "línea de corte", a partir de la cual una especie animal tiene cultura, está en permanente revisión. El consenso creciente muestra que la cultura está dispersa en muchas ramas de la vida. Los argumentos surgen de los estudios en campo y laboratorio y de las observaciones de "científicos ciudadanos" que se popularizan en YouTube. Un caso de cultura muy bien documentado tras cinco décadas de estudios ocurre en los chimpancés de las reservas naturales en África. Son poblaciones aisladas en áreas protegidas y que siguen una cultura de transferencia social. Si se acepta que hay una "cultura de los chimpancé", la cultura humana debería adelantarse hasta el tronco de los grandes simios (15 Ma). Pero los cetáceos y aves muestran también rasgos culturales en el canto. Si se acepta la "cultura de los cetáceos" se retrocede a 50 Ma y con la "cultura de las aves" se llega a 300 Ma atrás. ¿Tienen los insectos ejemplos de cultura? Si así fuera el retroceso llegaría a 500 Ma. Puede pensarse en innumerables culturas convergentes que surgieron y sucumbieron en diferentes ramas de vida. **///** Por ejemplo, pudo ocurrir que existiera una "cultura del troodón" (dinosaurio del género *Troodon*) hace 75 Ma. Basados en las características cerebrales de sus fósiles, tenían un cerebro bien desarrollado para la memoria y visión. Se le adjudicaron habilidades en la comunicación y consciencia. El molde del cráneo permitió calcular que tenía un coeficiente de encefalización equivalente o mayor a un delfín (el más cercano al humano). Algunos reportes dan coeficientes mayores al humano.

La idea de cultura animal gana adeptos. /// La cultura animal se forma por aprendizaje social, por enseñanza parental, por aislamiento mediante dialectos voluntarios, etc. Un estudio del 2015 mostró que, entre el 2012 y 2014, más de cien grupos de investigación publicaron trabajos sobre la cultura de 66 especies de animales. Vista de este modo, la cultura es un nexo entre las ciencias naturales y las ciencias sociales.

Para decir que una especie tiene cultura deben cumplirse tres condiciones. (a) Deben tener costumbres locales que son diferentes entre poblaciones de la misma especie,
(b) debe descartarse que las diferencias sean por razones genéticas (diferencias en el ADN),
(c) y debe descartarse que se deba a razones ambientales o ecológicas (viven en distinto hábitat).

¿Pueden tener cultura las plantas? Hoy parece difícil encontrar pruebas que abonen esta idea. Las plantas *aprenden* de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, suelo) y *memorizan* esos estados (en forma química y epigenética). Sobre la base de esa memoria *toman decisiones* para la temporada próxima (germinación, floración). También *heredan* en las semillas la memoria que mejora la expectativa de supervivencia. Las plantas se *comunican* con las vecinas mediante químicos (metabolitos volátiles y solubles). En las próximas décadas se sabrá mejor si estas características (aprender, memorizar, tomar decisiones, heredar, comunicar) llegan lo suficientemente lejos o simplemente las plantas no superan la capa cuatro del modelo de capas.

aprendizaje y enseñanza

aprendizaje social

¿de qué se trata? El aprendizaje por prueba-error es un enfrentamiento entre el aprendiz y el problema. Una y otra vez. Una versión más rápida para aprender es la observación social seguida por la imitación. Imitar significa repetir paso a paso lo observado y emular es concentrarse en el resultado y emprender el propio camino. El aprendizaje social lleva a la empatía (algo así como aprender a entender las emociones) y la cultura (aprender para luego enseñar). A continuación se trabaja sobre la secuencia creciente de aprendizaje, que desemboca en la cultura. Más adelante se trabaja en detalle con la cultura en las aves, los cetáceos y los primates.

Avispa de papel (*Polistes fuscatus*)**: minimiza los conflictos por "escucha social".** Es posible evaluar la propia capacidad de lucha observando la lucha de los demás. Esto regula los conflictos reduciéndolos a los imprescindibles entre pares, en igualdad de condiciones. **///** Para un estudio se juntaron avispas de papel hembra que forman colonias con una jerarquía social lograda mediante luchas. El rango resultante determina la participación de cada avispa en la reproducción, trabajo y comida. Se usó esmalte para marcar las avispas con patrones de colores en el tórax. Se colocaron de a dos

en una "arena de combate" mientras otras avispas observaban. Se asignaron valores a un "índice de agresión" que considera las acciones de morder, montar, agarrar y picar. Luego las avispas observadoras se emparejaron en la arena con algunas que habían observado (prueba) y otras desconocidas (control). Se encontró que eran más agresivas cuando se enfrentaban con avispas que antes habían sido víctimas de mucha agresión. Se concluyó que hacen escucha social, observando y usando la información para modular su propia conducta posterior.

Aprendizaje social en aves.

(1) Carbonero (*Parus major*)**: aprende de las malas experiencias de sus vecinos. ///** Para un trabajo, se capturaron aves silvestres. Primero se les permitió mirar videos de carboneros que aceptaban paquetes con almendras naturales o rechazaban otros con mal sabor. Los paquetes estaban pintados para diferenciar unos de otros. Luego, se les ofrecieron a los observadores las mismas cajas. Resultó que fueron más rápidos y selectivos en elegir la caja correcta. Estas aves ya eran famosas porque habían aprendido a perforar las tapas de las botellas de leche y extraer la crema a mediados del siglo pasado. La técnica se había extendido muy rápido en todo el Reino Unido, lo que mostró el poder de la observación y el aprendizaje social.

(2) Los cuervos enseñan cuáles humanos son peligrosos. /// Para un experimento, unos voluntarios con máscaras atraparon cuervos. Una vez liberados, los cuervos regañaron (seguían y gritaban) a cualquier voluntario que se colocara la misma máscara. Cada prueba que se hacía juntaba más cuervos alarmados, aunque nunca habían tenido una mala experiencia con el individuo. Unas dos semanas después del inicio, el 26 % de los cuervos actuaba en contra del voluntario con máscara. Casi tres años después, llegaba al 66 %. Unos cinco años más tarde, una multitud se activaba de inmediato. Esta conducta se extendió a otros lugares y se propagó a nuevas generaciones, lo que es un indicador de extensión cultural.

(3) Chimango (*Milvago chimango*)**.** Esta rapaz es gregaria y en ciertas zonas de Argentina se comporta en forma muy adaptable. Sobreviven en zonas urbanas de forma que recuerda a las palomas. **///** Para un estudio se capturaron chimangos en la naturaleza. Se entrenaron algunos para abrir una caja opaca con comida. Luego se usaron 18 chimangos observadores y 10 de control que no vieron al demostrador. Antes de ver al demostrador dos chimangos observadores lograron abrir la caja sin ayuda. Luego de ver al demostrador 11 chimangos la abrieron. Entre el grupo de control dos abrieron la caja sin ayuda. Los observadores juveniles tuvieron más éxito y fueron más rápidos que los adultos. Este comportamiento persistió durante varios días lo que permitiría una transmisión social en una población.

Ratones: la opinión social puede estar por encima de la personal. En muchos casos, el conocimiento social tiene prioridad sobre el conocimiento innato o el aprendizaje personal. Es la base de la cultura.

(1) /// Un experimento con ratones utilizó el hecho de que tienen preferencia por el tomillo sobre el comino. Para contrarrestar esta preferencia innata, primero se educó a un ratón (el demostrador) para preferir una comida aromatizada con comino. Luego se ingresó otro ratón (el observador) a la jaula, con la preferencia innata por el tomillo. Se hizo compartir a ambos ratones el espacio por treinta minutos. Un día después, se le presentaron al observador dos comidas, una aromatizada con comino y otra con tomillo. El ratón seleccionó el plato con comino. Esto demuestra que la información se había

transmitido desde el demostrador y se impuso a la preferencia innata.

(2) /// En otra fase del experimento se marcaron las neuronas que se activaban en las diferentes pruebas. Se observó que el circuito incluía: (a) neuronas del sistema olfativo, (b) corteza cerebral para la toma de decisiones, y (c) el cuerpo estriado que maneja la motivación y la recompensa. Luego, se procedió a cancelar los cambios neuronales con lo que se borró la memoria del comino en el ratón observador. El ratón volvió a negarse al comino. En este ejemplo, una interacción social canceló los mecanismos genéticos de protección. Luego, una intervención externa borró la memoria, volviendo al origen.

León (*Panthera leo*)**: una prueba de aprendizaje social en cautividad. ///** Un experimento presentó una caja de madera colgada que contenía carne cruda. Para llegar a ella, se debía tirar de una cuerda que estaba unida a la puerta de la caja. Se probaron doce leones criados en cautividad, en un parque safari (Florida). De ellos, siete lo resolvieron por sí solos, pero cuatro necesitaron observar a otro león. Recordaron la solución entre cinco y siete meses después. En cambio, los leopardos y tigres son felinos de costumbres solitarias y no responden bien a la enseñanza social. El aprendizaje cultural prende mejor en las especies sociales.

enseñanza parental

La enseñanza es cultural. En la capa parental se analizó el "cuidado parental" que es un paso previo necesario para la "enseñanza parental". La tutoría parental impide que sea necesario "reinventar la rueda" en cada generación. En el aprendizaje social, no existe la voluntad de enseñar, pero en la enseñanza parental, uno de los padres enseña en forma dedicada a la cría. La capacidad de enseñar es, en parte, innata, pero se perfecciona. Se sugirió que la capacidad humana para el lenguaje evolucionó no por razones económicas y sociales, sino como una ayuda para la enseñanza.

Para que se considere enseñanza se deben cumplir tres condiciones.
(a) Un cambio de conducta del maestro frente al alumno,
(b) un costo para el maestro (prolongación de los tiempos) y
(c) la evidencia de que el alumno adquiere una habilidad.
En estudios con chimpancés huérfanos criados sin adultos, se encontró que no saben cómo construir nidos o cuidar a sus propias crías. Entonces, sin la enseñanza parental no adquieren la habilidad (c). Otro caso se da en el lémur cola anillada que, en cautiverio, no tienen preferencias alimentarias, pero, en la naturaleza, prefiere ciertos alimentos. La tutoría parental ayuda a formar cultura y a ser mejores miembros de un grupo.

Dos casos de aprendizaje parental en mamíferos.

(1) Ciervo rojo (*Cervus elaphus*)**: recuerdan las fronteras de la Guerra Fría. ///** En la actual frontera entre Alemania y la República Checa había, durante la Guerra Fría, una alambrada electrificada que impedía el paso de los ciervos. El seguimiento determinó que más de veinte años después de la eliminación del cerco, una población de ciervos checos no cruzaba la frontera. Dado que la vida media de los ciervos es de quince años, se cree que las madres transmitieron

este conocimiento del daño a sus crías. Es un aprendizaje parental que se transmite como herencia cultural.

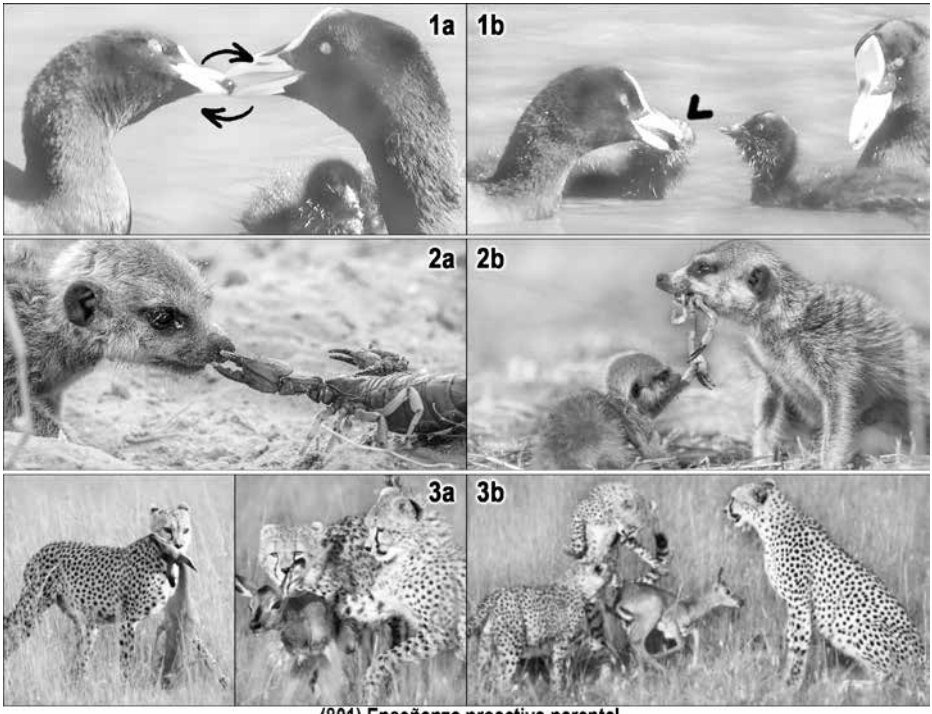
(2) Cerdos kunekune: el aprendizaje de soluciones de la madre. Esta raza de cerdos se cría en grupos familiares con suficiente espacio para deambular y explorar. Esto parece proporcionar un entorno más desafiante y enriquecedor del que otros cerdos carecen. **///** A las crías se les permitió ver cómo actuaban sus madres en una tarea de múltiples pasos. Se trataba de obtener comida de una caja, lo que requería acciones sucesivas. Luego, se les dio la misma tarea a las crías. Se observó que no imitaban los mismos movimientos. Parece que captaron algunos consejos, pero cambiaban cosas, aunque lograban el mismo objetivo. Los lechones del grupo de control, que no observaron a un adulto, tardaron más en descifrar las cajas. Una vez logrado el objetivo, recordaban la solución hasta seis meses después.

(F801) Gallareta ligas rojas (*Fulica armillata*)**: enseñan a comer caracoles a las crías.** Esta ave acuática fue parte de los estudios de campo para el libro "La cultura de las aves" en Buenos Aires. **///** En una de las observaciones, se documentó cómo una familia de gallaretas con tres crías modificó sus hábitos para la educación. Se encontraban en un sector de la laguna, sin vegetación flotante (alimento preferido). El único alimento que obtenían los padres eran caracoles de muy pequeño tamaño, del género *Ampularia* con dos semanas de desarrollo. Como tienen caparazón duro y se tragan enteros, los caracoles no eran asimilados por las crías. Los padres debieron enseñar activamente y, en forma desesperada, que tenían que tragarlos. La forma de enseñanza fue inequívoca y consistente. Se pasaban los caracoles entre el padre y la madre en la punta del pico, una y otra vez, tratando de que las crías los vieran e imitaran. Les llevó varios días que las crías aceptaran esta comida aportada por los padres y semanas para sumergirse y obtenerla por sí mismas. Esta pareja de gallaretas, que normalmente dejaría que las crías se alimenten solas con vegetación flotante, debió invertir un mes para conseguir alimento para las crías. Un ajuste de conducta profundo, un costo de enseñanza y un aprendizaje de las crías: cultura.

(F801) Suricatas (*Suricata suricatta*)**: no tienen aprendizaje social, tienen aprendizaje parental.** Este mamífero carnívoro del Kalahari (Sudáfrica) tiende a cazar en forma solitaria. Los cachorros no tienen oportunidad de unirse a expediciones como para usar el aprendizaje social. Además, es poco probable que puedan aprender a lidiar con los escorpiones en forma casual y sin peligro. Por esto requieren la atención parental.

(1) /// Un estudio encontró que el aprendizaje se realiza desde uno de los padres. Al principio, el adulto desactiva el aguijón de un escorpión para permitir que la cría experimente sin riesgo. Más adelante les presentan los escorpiones vivos, con lo que perfeccionan sus habilidades para matar. El cambio de nivel de aprendizaje es incentivado por las llamadas de mendicidad de los cachorros. Es poco probable que los adultos tengan una teoría de la mente de los cachorros, como para entender los cambios de conducta.

(2) /// En un estudio se grabaron llamadas de mendicidad a medida que crecían las crías. Luego se reprodujeron en forma cruzada en las etapas de crecimiento. Cuando se reprodujo una llamada de un



(801) Enseñanza proactiva parental

(1) La gallareta ligas rojas (*Fulica armillata*) enseña a comer caracoles a sus crías. Se pasan los caracoles en la punta del pico entre los padres para que las crías los imiten. **(2)** Las suricatas entregan escorpiones muertos a las crías. **(3)** La madre leopardo caza una gacela bebe y la libera frente a las crías para que jueguen.

cachorro mayor, los adultos trajeron una presa intacta (más peligrosa), aunque se trataba de cachorros inexpertos. Cuando se reprodujeron llamadas de cachorros pequeños, traían presas inactivas, aunque el cachorro fuera un iniciado. Los tutores respondían a los gritos de mendicidad de los cachorros.

(F801) Guepardo (*Acinonyx jubatus*)**: la enseñanza de cómo se mata una gacela. ///** En el Serengeti (Tanzania) un estudio de dos décadas permitió entender cómo las madres guepardo enseñan a sus cachorros. A las diez semanas, la madre les presenta el cadáver de un animal (pequeña gacela) que acaba de matar. Más tarde la madre comienza a dejar que las crías la acompañen de caza, aunque son un estorbo porque juegan e interrumpen su trabajo. Cuando atrapa a la gacela, la suelta frente a sus cachorros. La gacela no puede huir y los cachorros hacen sus primeras armas. Luego de unos diez minutos, la madre interviene y estrangula a la gacela. La madre cambia la conducta de caza demorando en cada etapa, para que la observen.

cultura de una ruta

la enseñanza de una ruta

¿de qué se trata? Los desplazamientos de los animales se caracterizan por la extensión (corta, media o larga distancia), la cantidad de individuos (uno, algunos, todos), la frecuencia (esporádicos o periódicos), el objetivo (reproducción, alimentación), etc. Lo importante para el modelo de capas es si estos movimientos son innatos o se aprenden y enseñan (salida cultural). Hay desplazamientos sorprendentes, pero que no son culturales. Por ejemplo, el plancton se alimenta de noche en la superficie y desciende de día, lo que reduce el metabolismo al bajar la temperatura. Varias especies de mariposa, entre ellas la famosa monarca (*Danaus plexippus*), hacen migraciones anuales que exceden el tiempo de vida de un organismo. Aun así, cada generación completa una parte del viaje. En lo que sigue se trata una componente del movimiento, cómo se aprende la ruta y si tiene una parte de cultural.

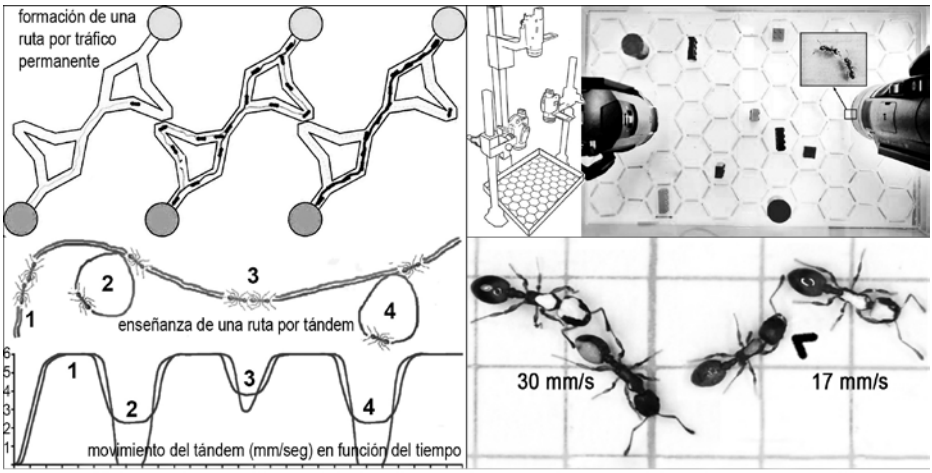
(F802) Hormiga de la roca (*Temnothorax albipennis*)**: enseñanza mediante un tándem.** Una hipótesis propuso considerar tres niveles de enseñanza en los animales: (a) se muestran conductas a imitar, (b) se enseña y luego hay una evaluación (se verifica si aprenden) y (c) la enseñanza requiere una teoría de la mente del alumno. En esta escala, las hormigas de la roca se encuentran, al menos, en el segundo nivel. Hay una enseñanza voluntaria que cumple con las tres condiciones: hay un cambio de conducta del maestro, tiene un costo para el maestro y hay un aprendizaje del alumno. Pero no parece ser un rasgo cultural porque la genética y conducta es igual en todos lados. Estas hormigas usan el tándem para enseñar la ruta, como las abejas el baile de meneo.

(1) Secuencia del tándem. /// Los estudios indican que, cuando se necesita enseñar una ruta, se forma un tándem donde el líder se coloca delante y el novato detrás. El seguidor aprende la ruta, manteniendo el contacto con el tutor mediante toques con las antenas. En forma recurrente, el líder se detiene y el aprendiz hace un giro con lo que puede memorizar el ambiente. El líder es consciente del progreso del aprendiz ya que regula su velocidad para mantener el contacto.

(2) Son tolerantes con el aprendiz. /// En un ensayo, se quitó una de las antenas al aprendiz y se lo convirtió en un mal alumno. Esto ralentizó la carrera en tándem. También se observó que el líder esperaba más tiempo a su alumno si había sido de alto rendimiento. Esto sugiere que pueden evaluar las habilidades y destinarles más tiempo si lo merecen.

(3) La cantidad de tándems. Los estudios indican que la colonia tiene algún mecanismo de control para la cantidad de tándems que están activos. El valor depende de la distancia al destino, de forma que se aumenta la cantidad de tándems cuando está más lejos. Además, cada obrera hace una contribución diferente como líder, lo que es un indicador de la personalidad.

(4) La ruta se aprende y optimiza. /// En otro experimento con cinco colonias de hormigas (en promedio, de 120 miembros cada una) se comprobó que, si los aprendices eran guiados por una ruta entre varias posibles, luego usaban esa ruta. Se trabajó en una arena experimental cuadriculada,



(802) Enseñanza activa social: la ruta en la hormiga de la roca (*Temnothorax albipennis*) **(izquierda)** El proceso normal para formar una ruta es por reafirmación del camino mediante feromonas. En la hormiga de la roca la enseñanza es mediante la formación de un tándem líder-aprendiz. El líder se coloca delante a distancia de las antenas del alumno (1). En el diagrama el líder espera al seguidor cuando hace un loop (2-4) para memorizar el lugar o si se desconecta (3). **(derecha)** Se muestra el campo de obstáculos para el estudio de los tándems. Se verificó que los aprendices siguen la ruta enseñada. Cuando se quitó una antena al aprendiz la velocidad del tándem bajó a la mitad (de 30 a 17 mm/s).

con puntos de referencia visual y táctil. Se comprobó que el camino de regreso al nido podía ser distinto al de ida. Además, durante las diferentes carreras posteriores, cada aprendiz modificaba y optimizaba la ruta aprendida. Es decir, no fijan en forma indeleble la ruta, sino que la personalizan.

(5) Cuando cambian de nido. /// Cuando la hormiga de la roca debe cambiar de cavidad rocosa, usan el tándem para informar de las alternativas y elegir la mejor. Cuando una hormiga elige un lugar, regresa, forma un tándem con otra, y la lleva al lugar. Este proceso es lento pero permite que se revisen las diferentes alternativas y llegar al *quorum*. Una vez logrado el *quorum*, las obreras transportan huevos, larvas y pupas. Para el estudio se juntaron treinta colonias (una reina, centenares de obreras y decenas de crías) y se colocaron en condiciones de laboratorio por una semana. Las hormigas adaptan el movimiento según la distancia a la nueva morada. Cuanto más lejos, más hormigas participan en el transporte para reducir el tiempo. **Estas hormigas aprenden, enseñan y tienen personalidad a la hora de seguir la ruta.**

Peces guppy (*Poecilia reticulata*)**: propagación generacional de una ruta aprendida. ///** En un experimento, se entrenó a hembras adultas de guppy a nadar junto a un maestro que conocía la ruta al alimento. Fueron guiadas por una de dos rutas posibles que eran equivalentes. Luego, se probaron solas y se comprobó que seguían la ruta enseñada. El paso siguiente fue comprobar cómo se propagaba este conocimiento. Se formaron poblaciones fundadoras entrenadas en una de las dos rutas. En forma sucesiva, cada fundador fue reemplazado por uno no entrenado. Se encontró que, una vez

reemplazados todos los fundadores, la población mantenía la ruta preferida. El reemplazo acumulativo simulaba la secuencia de reemplazo generacional. **Esto muestra que los peces pueden tener tradiciones que se propagan en forma cultural.**

Palomas mensajeras: propagación y perfeccionamiento generacional de la ruta. Estas palomas tienen una cierta cultura por su capacidad de reunir, transmitir y mejorar el conocimiento entre generaciones. **///** Un experimento formó parejas donde una paloma conocía la ruta y se la enseñaba a otra. Luego se quitaba la paloma experta y se agregaba una ingenua. Se usaron diez cadenas de reemplazo simulando la sucesión generacional. Se observó que pasaron la experiencia de la ruta y que la acumulación del grupo mejoró su eficiencia. Estos grupos generacionales superaron a los individuos solitarios y a los grupos de control (sin cambios de membresía). La cultura de las rutas en las palomas permitió aumentar la eficiencia de navegación, pero no se observaron cambios en la complejidad del comportamiento.

Estornino (*Sturnus vulgaris*)**: la navegación vectorial o por objetivos.** La necesidad de migrar surge en una época específica del año, hacia una determinada dirección y durante un determinado tiempo. En las aves que migran, hay una componente de aprendizaje que se logra en el primer vuelo, al viajar junto con otras aves experimentadas.

(1) /// En un estudio histórico que se hizo en el arco de 25 años (1958-83), se experimentó con el desplazamiento masivo de estorninos (*Sturnus vulgaris*) en Europa. En tres secuencias de captura y liberación, se llegaron a capturar 13.600 juveniles y 4.700 adultos. El vuelo anual es entre Escandinavia (zona de reproducción en verano) e Inglaterra-Francia (zona de invernada). Las capturas se hicieron en Holanda y la liberación en Suiza y Barcelona. Cuando fueron recuperados los estorninos (cerca del 3 %) se pudo descifrar cual fue la dirección del movimiento. La dirección normal de vuelo se denominó "navegación vectorial" (dirección preferida) y se encontró que los juveniles preferían esta dirección vectorial. Liberados en Suiza, viajaban al oeste y llegaban al sur de Francia y España. Pero los adultos que ya habían hecho migraciones compensaron el desvío con una "navegación por objetivo" y terminaron en Inglaterra y norte de Francia. También se encontró que, si se liberan juntos a adultos expertos con juveniles ingenuos, cada uno seguía su ruta.

(2) /// En un metaestudio del año 2020 se analizaron 89 artículos que abarcaban toda la bibliografía posterior a los estudios originales de estorninos. Este metaestudio pone en duda el uso de los términos "innato", "heredado" y "programado" usado para la conducta de los juveniles. Señala que los jóvenes también aprendieron algo desde Escandinavia a Holanda y pudo ser usado para su movimiento vectorial simple (sin corrección).

Beluga (*Delphinapterus leucas*)**: la ruta de migración es una herencia aprendida**. Los cetáceos tienen dos ramas culturales: los cantos y la forma de caza. En el caso de las belugas, se agrega la herencia de la ruta, producto del valor que otorgan a sus raíces ancestrales y vínculos familiares. Son habitantes de las aguas árticas y subárticas y viajan hasta 6.000 km al año. En cierta ocasión se las vio jugar con maderas, plantas, peces muertos. **///** En un trabajo, se analizó un conjunto de marcadores genéticos de 1.647 belugas que abarca más de 30 años de estudio (1978-2010). El análisis genético de parentesco indica que regresan a los mismos lugares año tras año, e incluso generación tras generación. Se trata de una

tendencia a regresar al lugar de nacimiento, como parte de un circuito migratorio. Es una evidencia de que la ruta migratoria es heredada en forma cultural.

Borrego cimarrón (*Ovis canadensis*)**: las rutas migratorias se aprenden con los años.** Este caprino es la oveja nativa de América. Proviene de la oveja asiática que emigró por la clásica ruta del estrecho de Bering. El borrego se extinguió en muchos lugares debido a la caza y el reemplazo sucesivo por la oveja doméstica (*O. aries*). **///** Un estudio quería documentar la ruta que siguen entre territorios. Se colocaron collares GPS en 129 borregos de cuatro poblaciones locales (residentes por al menos 200 años) y 80 borregos reintroducidos para el estudio. Se compararon los movimientos de los borregos con las olas de forraje verde en un área de 1.000 a 3.600 km^2. Se encontró que, de la población histórica, el 65-100 % de los individuos migraron, pero de la población introducida solo un 9 %. Se concluyó que la migración no es un evento genético y que no se relacionaba con la ola verde de forraje. Parece que la migración puede requerir largos períodos de tiempo para el aprendizaje social y la transmisión cultural. Se encontró que el conocimiento sobre las olas verdes locales mejora con el tiempo en la medida en que se aprende la distribución estacional del forraje. Luego se ampliaron los datos de GPS con 58 borregos de cuatro poblaciones adicionales y 189 alces (*Alces alces*) de cinco poblaciones. Se concluyó que los ungulados acumulan el conocimiento en cada generación.

cultura en los primates

¿de qué se trata? La cultura de los primates ocupa varios espacios de análisis en este libro. En la capa de herramientas, se mencionaron casos simples, incluyendo el uso de cantidades y medicamentos. En la capa de comunicación, la discusión fue más extensa dada la variedad de formas de diálogo vocal y gestual. En este ítem de la capa de cultura, se mencionan pautas culturales de los monos del nuevo y viejo mundo. Más adelante, en ítems separados, se analizará la cultura de los chimpancés y el uso de la piedra en los primates. Hay una diferencia entre las vocalizaciones (capa de comunicación) y el dialecto (capa de cultura). En los dialectos, las diferentes vocalizaciones se aprenden e identifican a un grupo dentro de la especie. Por esta razón los medios de comunicación que adoptan dialectos son tratados en esta capa. Buen provecho.

primates del nuevo mundo

Mono tití león dorado (*Leontopithecus rosalia*)**: un caso de enseñanza parental. ///** En Brasil, se observó cómo una hembra madre insertaba su mano de dedos largos en lo profundo de un hueco en una rama rota. Cuando detectó algo, en lugar de extraerlo, llamó a su bebé de siete meses. Fue un grito suave que indicó que tenía comida. Entonces le señaló el lugar para que su cría sacara la comida (una rana) que había encontrado dentro del hueco. Esta madre estaba enseñando más que alimentando.

Mono ardilla (*Saimiri oerstedii*)**: el dialecto cultural y la adopción de uno nuevo.** Este mono habita en la costa del Pacífico en Costa Rica y se comunica usando dialectos

regionales. **///** Un estudio analizó las llamadas antes y después de que los monos se mudaran a otra colonia que tenía un dialecto diferente. Se encontró que los recién llegados adaptaron sus llamadas al nuevo dialecto. Esto sugiere que los dialectos se aprenden socialmente. Si fueran genéticos, no podrían cambiarlos. Los cambios tampoco se explican por diferencias en el entorno (ambientales o ecológicas). Reinterpretando a S. Holmes, *cuando se descartan las explicaciones genéticas y ambientales, solo quedan las culturales*. El cambio de un dialecto cultural es útil para manifestar la adhesión al nuevo grupo. Estos monos crían a su descendencia con la ayuda de todo el grupo, lo que podría justificar sus habilidades lingüísticas de adaptación.

(F803) Aprendizaje y propagación de la apertura de un frasco.

(1) Mono ardilla (*Saimiri oerstedii*). **///** Un estudio monitoreó el lugar de alimentación y se identificó la red social de cada grupo de monos ardilla. En cada grupo se entrenó al macho dominante en una de dos técnicas para abrir un frasco. Se encontró que ambas técnicas se extendieron por la red social propia. Se pudo predecir la velocidad en tener éxito y cual técnica se usaría. El aprendizaje social por observación se potencia por la proximidad en el grupo.

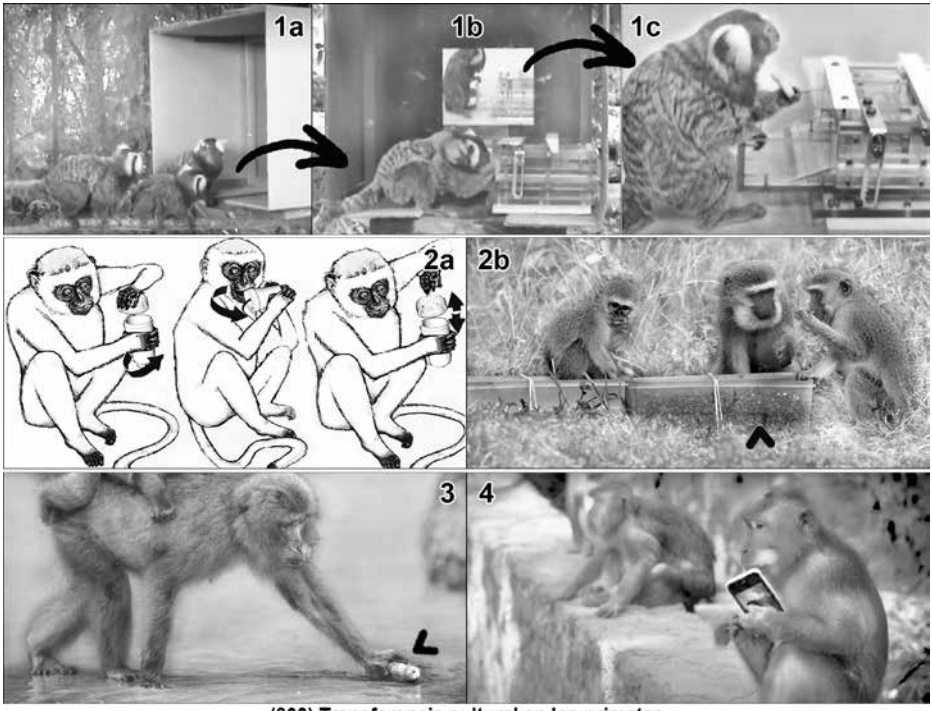
(2) Monos tití común (*Callithrix jacchus*). **///** Un experimento enseñó a los monos un movimiento que es improbable de aprender por cuenta propia. Se trabajó con dos grupos de monos y a cada uno se le mostró una técnica diferente para quitar las tapas de recipientes. El resultado se comparó con un tercer grupo de control que trabajó sin ninguna guía previa. La técnica de apertura con la mano es común en los monos, pero la apertura con la boca es muy improbable. Se observó que los grupos prefirieron abrir las tapas con el método de sus entrenadores. Los que fueron entrenados con la boca usaban las manos (lo natural) y la boca (lo aprendido). Pero, los que fueron entrenados con las manos, nunca usaron la boca. El paso siguiente, fue cerrar las tapas con firmeza, de forma que solo con la boca se abrieran. Los que fueron entrenados con las manos no lograron abrirlas. Así que el aprendizaje modificó la conducta.

(3) Nutria de pelaje liso (*Lutrogale perspicillata*)**.** Ensayos similares se hicieron con otros mamíferos. **///** Un estudio con nutrias usó recipientes transparentes que contenían alimento y que se abrían girando o tirando de la tapa. Se encontró que recordaban la operación varios meses después (memoria de largo plazo). Resolvieron el problema un 70 % más rápido la segunda vez. Además se observó que existe el aprendizaje social entre el grupo cercano. Observan y copian la técnica y las nutrias jóvenes son más propensas a hacerlo. Las crías adoptaron lo aprendido seis veces más rápido que sus padres.

(F803) Mono tití común (*Callithrix jacchus*)**: aprendizaje y propagación de la apertura de puertas.**

(1) /// En la Mata Atlántica (Brasil) se realizó un experimento en campo con el mono tití común. Primero se filmaron monos en cautiverio que recuperaban golosinas de un dispositivo de plástico. Luego se proyectaron las películas para medir la reacción de los titíes en la selva. Se probaron doce grupos familiares. Los monos salvajes son territoriales y no toleran a otros monos, pero se mostraron muy interesados en los videos, en especial, los jóvenes. Se notó que el 13 % de los monos aprendieron la tarea por observación de alguien que era ajeno al grupo social. Cuando un mono salvaje dominó la tarea, fue imposible luego saber si los demás estaban aprendiendo del video o de su pariente.

(2) /// En un ensayo con un grupo de cinco monos titíes salvajes se les permitió ver cómo



(803) Transferencia cultural en los primates

(1) Mono tití común: una familia aprende a abrir una caja mirando videos de otras familias. **(2)** Mono verde: (2a) aprenden a abrir un frasco con 3 técnicas (manos, boca o tirando). (2b) aprenden a comer maíz teñido de un color de una fuente plástica y la cultura se propaga a las crías. Además, cambian la costumbre cuando migran a otra comunidad. **(3)** Macaco japones: aprendieron a limpiar batatas con agua salada. **(4)** Macaco cola larga: roban objetos a turistas y piden rescates.

se abría una puerta de péndulo. Se podía empujar (lo natural) o tirar (lo enseñado). Detrás de la puerta, había una recompensa. Se encontró que la mayoría abrió la puerta tirando, como en la demostración, pero no lo hizo ningún mono del grupo de control. Los movimientos necesarios eran varios y algunos monos los copiaron en el orden observado.

(3) La persistencia del método. /// Dos años más tarde, se trabajó con siete grupos que habían sido parte de estudios y con seis grupos nuevos. Primero se verificó que los grupos originales recordaban lo aprendido. También se trabajó con los monos nacidos luego del ensayo anterior y se comprobó que elegían la técnica enseñada a sus padres. En cuatro de los seis grupos nuevos, se enseñó al macho dominante una técnica de apertura. Los dos grupos restantes se usaron de control sin entrenamiento. Resultados: los grupos originales guardaban la preferencia por abrir la caja de la forma enseñada. También la descendencia aprendió la técnica de los expertos. En los grupos nuevos, los adultos que se entrenaron enseñaron al resto. Se comprobó que la técnica de empuje era más eficiente que la de tirar. Cuando se tira, se necesitan las dos manos:

una, para sostener la puerta y la otra, para tomar la comida. Empujar fue más rentable, con casi un éxito por cada intento. Cuando tiraban, solo la mitad de las pruebas terminó en éxito. A pesar de la diferencia de eficiencia, lo aprendido perduró durante los nueve meses de estudio. Una vez aprendida una técnica, se convertía en un hábito fuerte. Se concluyó que se cumplían las componentes culturales de memoria de la técnica aprendida, de transmisión social a los ingenuos y de persistencia durante el tiempo.

primates del viejo mundo

(F803) Mono verde (*Chlorocebus aethiops*)**: el valor y el ajuste en los conocimientos culturales.**

(1) Surgen tres técnicas de apertura para un frasco con tapa. /// Un estudio trabajó con cuatro grupos de monos verdes en Sudáfrica. Se les ofreció un frasco con tapa sin entrenamiento previo. La forma más común de apertura fue sostenerlo con una mano y usar la boca para quitar la tapa. En un grupo, una hembra adulta (Dedo) sostenía el frasco con una mano y usaba la otra para sacar la tapa. La técnica de Dedo se propagó por el grupo. Un joven de otro grupo (Mike) encontró otra técnica tirando de la cuerda que unía el frasco y la tapa. La técnica de Mike también se propagó en su grupo. De esta forma, tres técnicas surgieron y se expandieron en los grupos como herencia cultural.

(2) El valor de mercado del saber. /// En otro experimento, se colocó un recipiente con trozos de manzana en dos grupos de monos verdes. Estaba previsto que el recipiente solo pudiera ser abierto por el miembro de más bajo nivel del grupo y sin entrenamiento. Cuando logró hacerlo y repartió la manzana, la actitud del grupo cambió y, en recompensa, recibió mucho acicalamiento. Luego se colocó otro contenedor con manzana que podía ser abierto por otro miembro de bajo rango. El valor de mercado del primer mono se redujo a la mitad y recibió la mitad de los acicalamientos. Los monos verdes lograron acordar un cambio en el precio de un servicio.

(3) El cambio de cultura. /// Otra investigación con cuatro grupos de monos verdes salvajes comenzó cuando se les dio una caja con maíz. Dos grupos recibieron maíz rosado con sabor normal o maíz azul con sabor repulsivo. Aprendieron a comer el maíz teñido de rosado. Los otros dos grupos recibieron una relación color-sabor opuesta. A la próxima generación de monos, se les ofrecieron ambos colores pero con sabor normal. Se encontró que los bebés copiaron al resto del grupo. Lo interesante ocurrió cuando los machos comenzaron a migrar entre grupos en temporada de apareamiento. Se encontró que nueve de los diez machos que cambiaron de grupo adaptaron el color del otro grupo. El único mono que no cambió fue el mejor en el nuevo grupo, que no estaba interesado en adoptar un comportamiento local. Esto muestra el aprendizaje cultural y el cambio de cultura.

(F803) Macacos (género *Macaca*)**: casos donde un aprendizaje da lugar a una costumbre.**

(1) La adopción de una conducta ajena. El macaco Rhesus (*M. mulatta*) no tiene la costumbre de participar en la reconciliación social después de un conflicto. Mientras que el macaco cola de tocón (*M. arctoides*) es más propenso a reconciliarse. **///** Un experimento consistió en hacer pasar cinco meses de su juventud a Rhesus en comunidades de cola de tocón. Los Rhesus aprendieron la conducta de reconciliación. Luego fueron devueltos a su comunidad y mantuvieron esta costumbre. Esta absorción

de una conducta ajena también se observa en la cacatúa Galah (*Eolophus roseicapilla*). Cuando los Galah son criados con cacatúas Mitchell (*Lophochroa leadbeateri*) se alimentan y comen como estos e ignoran a sus congéneres incluso en la edad adulta.

(2) El lavado de batatas. /// El seguimiento en campo permitió observar como una hembra de macaco japonés (*M. fuscata*) comenzó a lavar las batatas (*Ipomoea batatas*), en el río, para quitarle la arena con la mano. Esta conducta se extendió por los lazos sociales cercanos (compañeras de juego y parientes). La propagación fue ascendente, desde los jóvenes a los más viejos. El proceso fue lento, bien documentado, pero no fue posible distinguir entre la propagación por proximidad espacial o el parentesco. Más adelante, la misma hembra comprobó que lavar la batata en agua salada de mar sabía mejor. Desde entonces, comenzaron todos a lavar las batatas en agua de mar, pero antes les hacían una hendidura con los dientes para que la sal sazonara el interior.

(3) /// Otro ejemplo fue el manejo de piedras manipulándolas de varias maneras. Un caso se inició en 1979 (Kyoto) y fue innovado por una hembra de tres años. Se transmitió socialmente a otros individuos de edad similar y luego verticalmente a su descendencia. Este caso de manejo de piedras no se considera herramientas, sino un juego no funcional.

(4) El robo y pedido de rescate. /// Un grupo de macaco cola larga (*M. fascicularis*) vive cerca del templo Uluwatu (Isla de Bali). Tomaron la costumbre de robar objetos a los turistas (anteojos, sombreros, cámaras). Luego esperan que el personal del templo se los cambie por comida. Se estima que esta conducta nació en este templo y se propagó como aprendizaje social por lo que se perfecciona. El robo y trueque observado en cuatro grupos de macacos se propagó luego a un quinto grupo.

cultura de orangutanes

¿de qué se trata? /// En Sumatra, en 1994, se observó por primera vez el uso de herramientas en los orangutanes. Hoy se sabe que usan ramas y hojas. Las ramas para golpear y como palancas, las hojas las usan como esponjas, abanico, para cubrirse en la lluvia o para hablar. Se contabilizaron 54 variedades de herramientas para extraer insectos o miel, y 20 para abrir o preparar frutas.

(F804) Anécdotas que indican que los orangutanes pueden tener culturas.

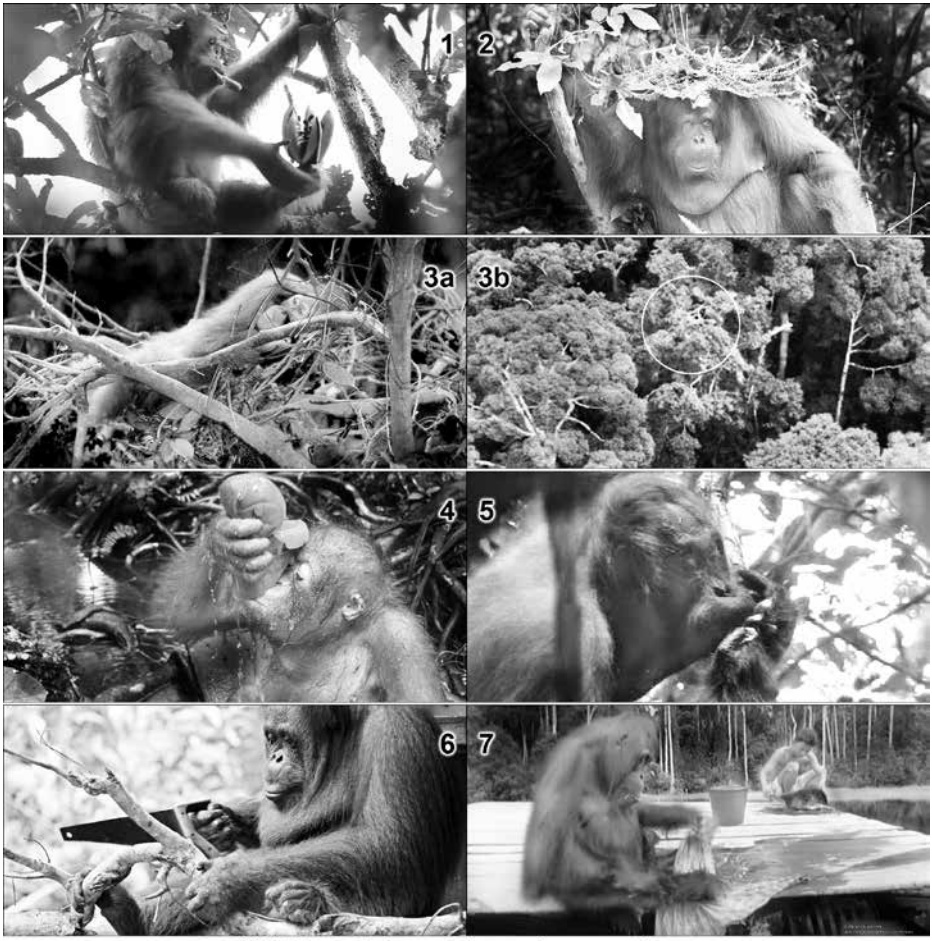
-En el caso de los orangutanes huérfanos, se reportó que necesitan que se les enseñe a buscar comida, a armar un nido y a trepar a un árbol. Si necesitan aprender, pueden aprender modalidades regionales.

-En un bosque se observó que los orangutanes comían solo cinco especies de plantas entre cientos de alternativas. De alguna forma, aprendieron cuáles eran y normalmente la enseñanza es de madre a cría.

-Un científico cuenta que una vez estuvo en campo mucho tiempo, se deshidrató y no tenía agua. Recordó haber visto a orangutanes que rompían el tallo de palmeras trepadoras en la base. Esta palmera trepadora tiene espinas en el tallo en múltiples ángulos. Tomo el machete, cortó y bebió agua. Fue la oportunidad de aprender de otros que también aprendieron de otros.

-Se observó el uso de una "herramienta autoerótica", un palo que utilizan para estimular los genitales y masturbarse (tanto en machos como en hembras).

-En una prueba controlada de zoo, una hembra aprendió a usar un serrucho. Sostiene el tronco con los pies como si fueran un par de manos extras.



(804) Herramientas y cultura en los orangutanes
(1) Las ramas deshilachadas sirven para extraer semillas del fruto de neesia. **(2)** Usan grandes hojas para cubrirse de la lluvia o el sol. **(3)** Hacen nidos con ramas y hojas en los árboles (3b vista desde drone). **(4)** Utilizan hojas para beber. **(5)** Las hojas en la boca cambian el tono de la llamada cuando hay un peligro. **(6)** En semicutividad aprenden a usar un serrucho y **(7)** a lavar la ropa.

Guantes de musgo. /// En Borneo se observaron orangutanes que usaban puñados de hojas como servilletas para limpiarse la barbilla. En Sumatra se reportó el uso de "almohadillas" de hojas para proteger las manos y pies de las espinas mientras se alimentaban. Estos guantes permitían manipular frutos o ramas con espinas. Se observó también que usaban musgo para lavarse las manos. Estas conductas de uso de herramientas parecen ser culturales, ya que ocurren en ciertos grupos de orangutanes pero no, en otros vecinos.

(F804) Pesca en estanques. /// Un informe de observaciones de campo contabilizó dieci-

siete casos de orangutanes que pescaban en estanques con palos. En Borneo se observó que cazan bagres pequeños en la orilla de los estanques. Aprendieron a pinchar al bagre con palos de forma que el pánico los impulsaba fuera de los estanques. Incluso se observaron parejas capturando bagres. Un macho usó una caña con la que intentaba atravesar o aporrear peces. Este individuo había visto a humanos pescando con lanzas. Aunque no tuvo éxito, más tarde pudo improvisar utilizando la caña para pescar peces ya atrapados en las líneas de pesca de los lugareños. Esta conducta se observó en otros primates como chimpancés, macacos y babuinos.

(F804) Dialectos de llamadas. /// En diferentes reportes se indican llamadas que parecen culturales. Al momento de armar el nido, en un sitio, se encontró que emitían sonidos como "trompetilla". En otro sitio, daban golpes sobre el nido. En muchos, no hacían sonidos específicos para acompañar la tarea. También se reportó que las madres hacían llamados especiales para recuperar a una cría. En dos poblaciones, las madres hacían llamados diferentes, y en otras tres, no emitían ningún tipo de sonido. También se los observó usar hojas que sostienen frente a la boca cuando hacen sonidos. Se encontró que esto reduce las frecuencias altas, haciendo la llamada más profunda.

Palitos para extraer semillas.

(1) /// En Sumatra (pantano de Suaq-Balimbing) se observó que toman y cortan una rama, le quitan la corteza y la deshilachan en un extremo con los dientes. Esta herramienta servirá para cavar en huecos de árbol en busca de termitas, para pinchar la pared de un nido de abejas y atrapar miel, o para comer las semillas de la fruta neesia (género *Neesia*). El largo del palo depende del uso. La fruta madura de neesia tiene cáscara dura y estriada y en el interior, están las semillas con 70 % de grasa. Están rodeadas de irritantes pelos, como fibra de vidrio, que se quitan con la rama deshilachada. De esta forma, extraen las semillas de gran valor nutricional. Si la herramienta resulta útil, la guardarán y acumularán.

(2) /// Una investigación comparó las técnicas que se usan en Sumatra y Borneo. El uso de un palo incluye varios pasos: la elección, agarrarlo y morderlo en un extremo y modificar la longitud. Si fracasan con un palo, vuelven a modificarlo o buscan otro. Se concluyó que las diferencias de uso no tienen un origen genético ni ecológico. Las razones son que, en Sumatra, la alta densidad de orangutanes y la tolerancia social crean condiciones propicias para la transferencia cultural, luego de que la técnica fue inventada.

(F804) La construcción del nido. El armado de un nido puede ser considerado un uso avanzado de herramientas. Algunas aves arman nidos por estación y algunos primates todos los días hacen uno nuevo.

(1) La cultura de fabricar nidos. /// Un estudio seleccionó dos poblaciones separadas por un ancho río, una barrera infranqueable, dado que los orangutanes no nadan. Se analizaron muestras fecales y de pelo y se comprobó la identidad genética. Se estudiaron las plantas de cada orilla y se encontró que eran similares. No había diferencias genéticas ni ambientales. Pero se encontraron variaciones en la fabricación del nido entre ambas poblaciones, por lo que se suponen culturales. La conducta consiste en acarrear hojas de un lugar a otro para hacer el nido. Varían en la decoración con propiedades insecticidas. En algunos sitios hacen almohadas, en otros le ponen un techo, en otros los alinean.

(2) Técnica de fabricación. /// Un estudio en Sumatra analizó el procedimiento de armado de nidos. Eligen árboles altos y seguros y que no tengan frutos, para evitar los disturbios cercanos. Primero seleccionaron ramas más gruesas y secas, como andamios y luego más finas y verdes para armar un "colchón" cómodo y suave. Las ramas verdes no se quiebran, sino que se doblan repetidas veces para ablandarlas. Usan estas ramas flexibles para entretejer su nido y luego lo llenan con hojas. Cuando los orangutanes abandonaban el nido, los científicos subían a 30 m de altura y los estudiaban. Los machos pueden pesar hasta 80 kg por lo que los nidos deben ser muy fuertes. Hacen un nido todas las noches y, a veces, durante el día para disfrutar de una siesta luego de una comida abundante.

ESTUDIO DE CASOS

72 cultura

aves (el canto)

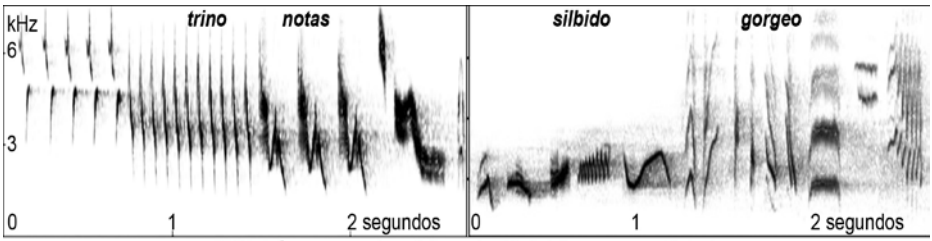
¿de qué se trata? Algunos lingüistas trabajaron sobre la idea de que todos los idiomas humanos comparten características comunes "universales". Por ejemplo, la estructura sintáctica de los idiomas (orden de las palabras), los patrones acústicos más finos (tiempo, tono y estrés de las expresiones) y la economía del lenguaje (las palabras cortas son más frecuentes). Una teoría propuso que estos patrones reflejaban una "gramática universal" basada en mecanismos cerebrales innatos que promueven y sesgan el aprendizaje de idiomas. Hoy parece que muchas de las reglas generales consideradas solo humanas son compartidas con las aves y cetáceos. Estaría lejos de ser un atributo exclusivo humano. Por ejemplo, las aves cantoras tienen un canto básico de la especie (genético), ajustan este canto escuchando a sus padres al nacer (impronta), vuelven a ajustarlo cuando son adultos (canto social) y pueden usar variantes siguiendo al grupo donde se desenvuelven (dialectos).

la evolución del canto

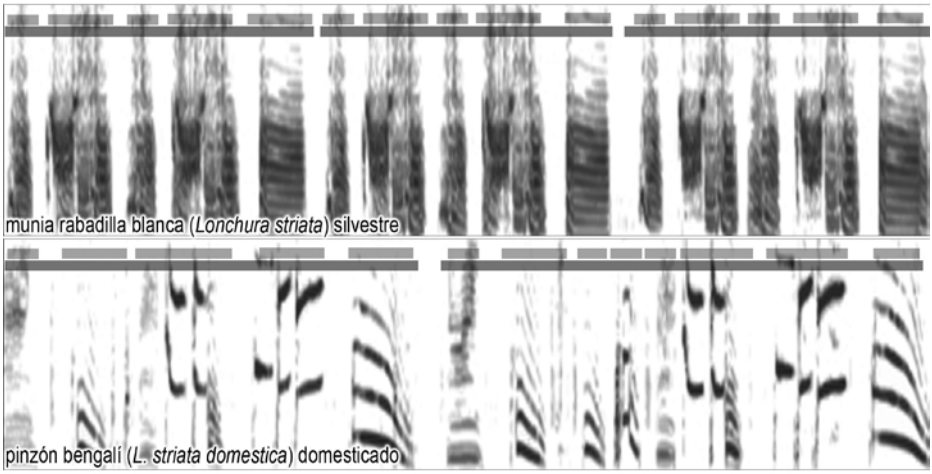
(F805) Evolución del canto: de la munia rabadilla blanca (*Lonchura striata*) **silvestre al pinzón bengalí doméstico.** El pinzón bengalí es la versión doméstica de la munia silvestre. El proceso de domesticación ya lleva 250 años y se basó en la selección por mansedumbre y sociabilidad. Esto llevó a una mejora del canto. El pinzón tiene un canto más desarrollado que la munia y la comparación ayuda a entender la evolución. Las aves silvestres corren riesgos si cantan mucho tiempo y en forma distinguible. Por eso tienen menos tiempo para el canto, menos de aprendizaje y menos para improvisación. Esto lleva a un canto más simple en la numia respecto del pinzón.

(1) El pinzón es menos predecible. /// Un estudio cuantificó la diferencia en la complejidad del canto entre ambas especies. Se dividieron las notas cantadas durante dos minutos, lo que entrega una medida de cuán predecible (linealidad) es la próxima secuencia. La linealidad de la munia fue de 0,6 y para el pinzón 0,3. Es decir, menos linealidad significa que es menos predecible, más complejidad e improvisación. La munia tiene un canto más simple.

(2) El pinzón aprende mejor. /// En otro estudio, se criaron munias jóvenes con padres adoptivos pinzones y viceversa. Las munias aprendieron las canciones de los pinzones con un 80 % de precisión. En cambio, los pinzones lograron un 90 % de precisión. Esto indica un mayor componente de aprendizaje e improvisación en el pinzón. Otro hallazgo indica que los pinzones son más activos y gregarios que las munias. Y tienen niveles de cortisol (ligado al nivel de



(805a) Componentes del canto (definiciones no estrictas)
Trino (*trill*): secuencia de notas iguales repetidas muy rápido (>8 notas/seg). **Serie:** lo mismo al trino pero una repetición lenta (puede contarse su número). **Gorgeo** (*warble-twitter*): notas diferentes muy rápidas. **Frase** (*phrase*): lo mismo al gorgeo pero lentas. **Silbido** (*whistle*): notas continuas con energía concentrada en frecuencia. **Zumbido** (*buzz*): zona con energía distribuida en frecuencia. **Chirrido** (*chirp*): sonidos cortos y agudos.



(805b) Evolución del canto por domesticación rápida
La munia silvestre (arriba) evolucionó en cautivero al pinzón bengalí (abajo). El proceso lleva 250 años y cambió el canto del pinzón haciéndolo más complejo y variado. Las barras indican los motivos (barras largas) y las sílabas internas. No se muestran las notas que componen cada silaba.
El tiempo total es de 4 segundos y la frecuencia de 0-10 kHz.

estrés) más bajo. Las munias son más tímidas y vigilantes, son mejores en la naturaleza, pero tienen canciones más simples.

(3) El pinzón tiene un cerebro más complejo. /// En otro trabajo se encontró que la domesticación causó un aumento en el cerebro (núcleo interfacial) del pinzón frente a las munias. Cuando se retiró quirúrgicamente esta región del cerebro, los pinzones cantaban como munias. Los cerebros de los pinzones tienen exceso de receptores de glutamato en las sinapsis. Se cree que el glutamato es vital para el aprendizaje y la memoria.

(4) La preferencia de las hembras. /// Otro cambio en el proceso de domesticación fue en el cortejo de apareamiento. En las poblaciones silvestres de munias en

Taiwán, se encontró que las hembras prefieren canciones simples y diferentes para evitar la hibridación. Pero en igualdad de condiciones, las hembras de pinzones y munias prefieren las canciones más complejas. Para pasar de munia a pinzón, se necesitaron cambios genéticos y en la preferencia de las hembras por la complejidad. La domesticación también eliminó las ataduras al canto genético de los padres. Para algunos, esta secuencia de evolución puede ser aplicada al lenguaje humano.

Aislamiento por el canto y separación entre especies.

(1) Canto y especies. /// Un estudio analizó 600 especies de dos familias de aves cantoras (*Thraupidae* y *Furnariidae*). Se estudiaron 4.500 grabaciones de canciones, se clasificaron en ocho caracteres (volumen máximo, rango de tono, longitud, etc.). Se comparó el cambio de la canción con el diagrama filogenético. Con esto se determinó que, cuando se acelera el cambio de la canción, coincide con el aumento de la tasa de especiación. No fue posible entender quién impulsa a quién. Por ejemplo, el cambio en la canción puede tener una divergencia de forma que impide el apareamiento.

(2) Canto e híbridos. /// Durante 40 años se siguieron unas 12.000 aves de los pinzones de Darwin en Galápagos (familia *Thraupidae*). Se encontró que, en 1981, un macho de una isla cercana llegó a la isla Daphne Major. Cantaba una canción desconocida. Los análisis genéticos (se realizaron décadas después) indicaron que podía ser un híbrido de dos pinzones (*Geospiza fortis* y *G. scandens*). Sobrevivió trece años y produjo crías con seis parejas. Las crías se reprodujeron entre sí y formaron una cadena de seis generaciones. La canción única se transmitió y ayudó al aislamiento cultural.

Junco ojos oscuros (*Junco hyemalis*)**: la hembra tiene el canto incorporado.** Algunas aves hembra de esta especie cantan si las condiciones son las adecuadas. Se sabe que cantan luego de recibir una inyección de testosterona. La duda está en qué ocurre en la naturaleza. **///** Un estudio colocó una hembra enjaulada en los territorios de otras hembras. También se reprodujeron grabaciones de un trino suave que producen las hembras cuando son receptivas al apareamiento. Se realizaron observaciones sobre 25 machos y 17 hembras libres. El 50 % de las hembras reaccionó atacando y tres cantaron canciones similares a los machos. Estas canciones tienen una función agresiva y territorial. Como los juncos son monógamos, las hembras reaccionaron mal a los intentos de los machos de cortejar a la intrusa.

la estructura del canto

La estructura del canto.

(1) La secuencia de partes. /// Un estudio enseñó a jóvenes pinzones cebra (*Taeniopygia guttata*) canciones con cinco elementos acústicos. Se dispusieron en todas las secuencias posibles y se reprodujeron en forma aleatoria. Cada pinzón pudo elegir la secuencia que quería reproducir. Los patrones seleccionados en laboratorio eran muy similares a los observados en la naturaleza. En ambos casos se iniciaba con una vocalización larga y se cerraba con una voz grave (baja frecuencia). En el medio de la canción, las vocalizaciones más probables eran cortas y agudas (alta frecuencia). Esto coincide con los patrones en diversos idiomas y en la música humana, donde los sonidos al final de las frases tienden a ser más largos y bajos que los sonidos del medio.

(2) El aprendizaje por ajustes. /// El pinzón cebra tiene la estrategia de dividir el aprendizaje de una nueva canción en partes. Trabajando con crías de un mes de vida, se les enseñó una primera canción. Luego, se les enseñó otra, como segunda canción. Los pinzones trataron de adaptar la canción anterior a la nueva, trabajando sobre las sílabas.

(3) La secuencia gramatical. Hay evidencia de que algunas aves prestan atención al orden de los sonidos en la canción (gramática). **///** Un estudio generó nuevas canciones al juntar tres fragmentos de melodías de periquitos (*Melopsittacus undulatus*) y del pinzón cebra. Se formaron patrones como AAB o ABA, y se los premiaba cuando seleccionaban AAB. Luego se crearon otras combinaciones, como CCA. Los pinzones que habían aprendido a rechazar ABA no seleccionaban CCA, quizás porque ambos terminaban con A. Pero los periquitos se centraron en la estructura de la canción, por lo que seleccionaron CCA por ser similar a AAB.

Pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*)**: El canto y la actividad del cerebro.**

(1) Canciones producidas por optogenética. /// Un estudio manipuló la actividad de las neuronas mediante pulsos de luz (optogenética). La activación de las neuronas con luz es una forma artificial de tener recuerdos falsos (ver capa de memoria neuronal). Se trabajó con tres jóvenes pinzones que nunca habían sido expuestos al canto. Cuando se usaron pulsos cortos de luz (50 mseg) produjeron canciones con sílabas cortas y con pulsos largos (300 mseg), produjeron canciones con sílabas largas. Estos impulsos suplantaron a la impronta recibida del tutor. Pero la duración de la sílaba es solo un aspecto de la canción. El tono y la combinación de sílabas en secuencias, por el momento, son difíciles de codificar en forma artificial en las neuronas. De adultas, estas aves bajo prueba reproducían una canción extraña.

(2) El canto durante el sueño. /// Mientras el ave duerme, el cerebro reproduce los patrones del canto diurno. Un estudio colocó electrodos en los músculos vocales de diez pinzones. Se encontró que, así como se activan neuronas en el cerebro durante el sueño, también lo hacen las cuerdas vocales. Sin embargo, los patrones de la canción fueron muy variables. Era como si los músculos estuvieran ensayando versiones alternativas. También se pudieron activar los músculos vocales reproduciendo canciones mientras dormían. Las grabaciones de las propias canciones tenían más éxito que las versiones sintetizadas de las melodías. Lo único que impide que los pinzones produzcan una canción cuando duermen es la falta de flujo de aire.

(3) Las neuronas del canto temprano. /// En otro estudio se monitorearon las neuronas que se activan con el canto. Se encontró que algunas son poco selectivas (responden a todas las canciones) y otras son exclusivas para la canción del tutor. Se encontró que cerca del 5 % de las neuronas en la corteza auditiva se activaron con la canción del tutor. Esto podría ser un indicador de cómo se forma la memoria auditiva temprana en el cerebro. Se identificaron 27 neuronas selectivas para la canción del tutor y que podrían corresponder al aprendizaje temprano.

Pingüino africano (*Spheniscus demersus*)**: la longitud de las sílabas.** Este pingüino vive en colonias grandes y ruidosas a lo largo de las costas del sur de África. **///** Un estudio grabó 590 canciones de 28 pingüinos durante la temporada de reproducción. Se encontró que las canciones combinan tres tipos de sílabas de diferente longitud. Siguen dos reglas similares a los idiomas humanos. Los sonidos cortos se usan con más frecuencia que los largos. También, los sonidos más

cortos se usan para hacer palabras largas. En la naturaleza estas simples reglas son casi universales. Por ejemplo, el mono gelada (Etiopía) utiliza gruñidos más cortos para construir sus secuencias vocales largas.

etapas de aprendizaje

(F806) Etapa 1. La contribución del canto genético y el tutorial. La canción del macho padre o tutor adoptivo (en laboratorio) se "impronta" en la cría luego del nacimiento. **///** Para un estudio se tomaron huevos de pinzón bengalí (*L. striata*) poco después de ser puestos en los nidos. Así se impidió cualquier injerencia de los padres, incluso en el huevo. Luego, se expuso a las crías solo a canciones generadas por computadora, con variaciones de tempo. La cuantificación de la influencia en los polluelos fue: 21 % de la canción sintetizada y 55 % de sus padres. Esto sugiere que la herencia de la canción es muy fuerte, aunque nunca la hayan escuchado. En paralelo, otros pollitos fueron expuestos a tutores machos adultos no relacionados. El resultado fue el inverso: el padre grabado contribuyó con el 16 % y el tutor vivo con 53 %. Entonces, la genética tiene menos injerencia si hay una experiencia temprana con tutores vivos. Hay bastante espacio para la variabilidad, lo que justifica que, en el laboratorio, se llegue a una gran variedad de canciones, aunque todas las aves sean expuestas al mismo proceso.

Etapa 2. El aporte de las escuchas sociales.

(1) Chingolo melodioso (*Melospiza melodia*)**: aprendizaje por escucha de diálogos. ///** En un estudio se usó radiotelemetría para rastrear el movimiento de once chingolos macho de dos meses de vida. Se reprodujeron cantos durante cinco minutos, para motivar alguna conducta a 50 m de distancia. Las grabaciones eran de pájaros que ya no estaban vivos, por lo que no les resultaban familiares. Eran conversaciones de dos chingolos, entre un chingolo y un carbonero, y entre dos carboneros. Se midió la distancia a laque se acercaban para escuchar, los tiempos y movimientos. Se determinó que prestaron mucha atención cuando eran dos chingolos y casi ignoraron al resto. Parece que las aves jóvenes aprenden a cantar escuchando a escondidas el canto entre aves adultas. Están escuchando las interacciones, lo que es bueno para la vida social posterior.

(2) Gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*)**: la propagación de una canción introducida. ///** Un estudio trabajó con treinta gorriones en la isla de Kent (Canadá). Estos gorriones regresan todos los años al lugar donde nacieron para reproducirse, lo que hace posible el estudio sistemático. De jóvenes se los expuso a canciones novedosas, mediante parlantes programables que funcionan con energía solar. Las canciones diferían de cualquier otra que se hubiera escuchado en 30 años. El seguimiento por cinco años (2013-18) de cinco parejas y sus crías encontró que producían las canciones enseñadas con lo que se comprobó el valor del aprendizaje social.

(F806) Etapa 3. Los problemas iniciales en el aprendizaje.

(1) Cuando no tienen tutor o son sordos. /// Un estudio trabajó con el gorrión del pantano (*Melospiza georgiana*) y el chingolo melodioso (*M. melodia*). Se comparó el canto en tres condiciones. El grupo de control es el canto adulto normal, aprendido con la tutoría de los padres. Un grupo de prueba mantuvo a pichones con una crianza aislada, sin contacto con tutores. Podían escucharse a sí mismos y mejorar el canto. Por último, el

tercer grupo eran crías sordas de nacimiento que no podían escucharse. Se concluyó que hay una pérdida sucesiva en la calidad del canto en los tres casos probados.

(2) Cuando el pinzón cebra está borracho. El canto se distorsiona cuando los pinzones están borrachos. Las canciones en los adultos se vuelven borrosas y desordenadas y afectan la capacidad de los juveniles para aprender nuevas canciones. **///** Un estudio se inició dando, a un grupo de pinzón cebra, agua con etanol al 6 % para ver si la aceptaban. Bebieron lo suficiente como para llegar a 0,8 % de alcohol en la sangre. Estaban felices de cantar cuando estaban borrachos. Pero un *software* que analizó el audio determinó que las canciones estaban rotas y desorganizadas. Luego se probó el efecto del alcohol en el aprendizaje de las crías. Se usó un 3 % de etanol en agua con crías de cuarenta días de vida. Se encontró que balbuceaban las canciones y hacían ruidos desordenados. A los 55 días, llegaron a una canción simple luego de experimentar mucho menos. Parece que el alcohol podría estar suprimiendo la creatividad en los jóvenes.

Etapa 4. La improvisación y variación del canto adulto. Muchas especies de aves cambian el canto entre los períodos de reposo y actividad reproductiva. Algunos estudios trabajaron con aves migratorias entre Europa (territorio de reproducción) y África (período de invernada).

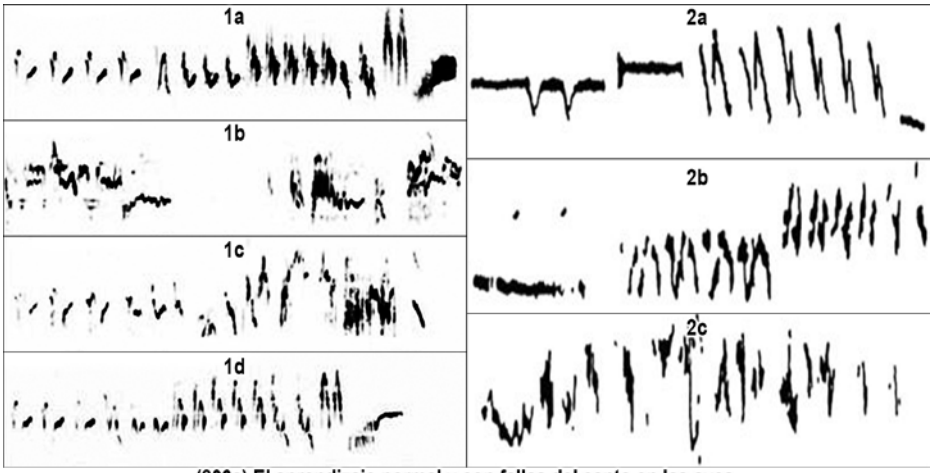
(1) Ruiseñor (*Luscinia megarhynchos*). **///** Los ruiseñores conocen entre 23 y 42 canciones y las aprenden de jóvenes. Un estudio desglosó cada canción en sílabas. En Europa incluyen pares de notas que inician la canción, luego notas repetidas y trinos complejos, y finalizan con notas rítmicas. Pero en Tanzania, esta estructura estaba ausente. Parece que escuchan a sus vecinos y mezclan elementos de la canción en nuevos patrones. Es una vocalización aleatoria, no hay principio ni fin. Es como improvisar.

(2) Carricero tordal (*Acrocephalus arundinaceus*). **///** Se sabe que los machos con canciones más complejas tienen más éxito en su reproducción en Europa. En los territorios de invernada en África se encontró que mantienen el interés por el canto. La razón no es territorial, porque comparten el territorio sin conflictos. Tampoco los niveles de testosterona tenían relación con el canto. Cuando se comparó el canto de 57 especies vecinas, se descubrió que los que más cantan en invierno son los que muestran la mayor complejidad del canto en verano. Parece que cantan en invierno para mejorar el canto.

dialectos culturales

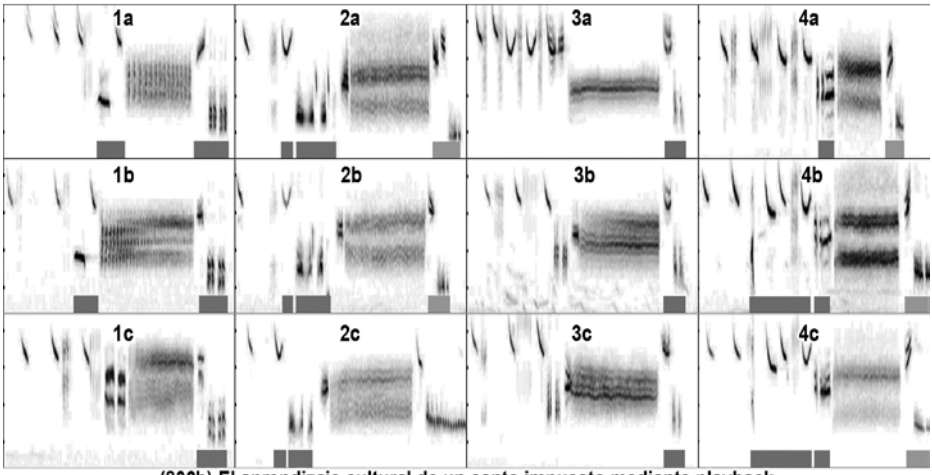
(F807) Los dialectos son un ejemplo de aprendizaje y transferencia cultural. Son variantes en la forma de comunicarse que ocurren por grupos o regiones. En las aves, cuando una canción tiene una deriva y forma un dialecto permite estudiar cómo es el aprendizaje y cómo se forma una cultura local. Dos dialectos muy marcados pueden inducir a pensar en dos especies diferentes que tienen aislamiento sexual por el canto.

(1) Gorrión corona dorada (*Zonotrichia atricapilla*)**: dialectos estables. ///** Un análisis comparó grabaciones de 1996–98 con otras de 2006–13. Se encontró que todas las canciones se inician con un silbido descendente y la mayoría tienen tres o cuatro frases con combinaciones de silbidos, zumbidos y trinos. Se identificaron trece tipos de canciones. Más del 90 % de los individuos cantaron uno de los cinco tipos de canciones que formaban el dialecto en común. No se encontraron cambios en la composición del dialecto en cuatro poblaciones muestreadas



(806a) El aprendizaje normal y con fallas del canto en las aves

(1) Aprendizaje normal en el pinzón común (*F. coelebs*). (1a) Canto del tutor en la etapa prenatal. (1b) Aprendizaje ambiental y ajuste del canto oyéndose a si mismo. (1c) Plasticidad y práctica durante el crecimiento. (1d) Canto cristalizado, ajuste social e improvización. **(2) Aprendizaje fallido** en el gorrión corona blanca (*Zonotrichia leucophrys*)**.** (2a) Canto normal de un adulto. (2b) Canto de un joven sin contacto con un tutor. (2c) Canto de un joven sordo de nacimiento (sin escuchar su propio canto).



(806b) El aprendizaje cultural de un canto impuesto mediante playback

Ejemplo realizado con el chingolo sabanero (*Passerculus sandwichensis*) salvaje de Kent Island (Canadá). Se muestran 4 ejemplos donde (a) es el canto del tutor impuesto mediante un playback. (b) El canto aprendido por la primera generación. (c) El canto cultural de la segunda generación aprendido de la primera generación. Las barras indican las frases que coinciden y que no están en la población original (frase cultural introducida).

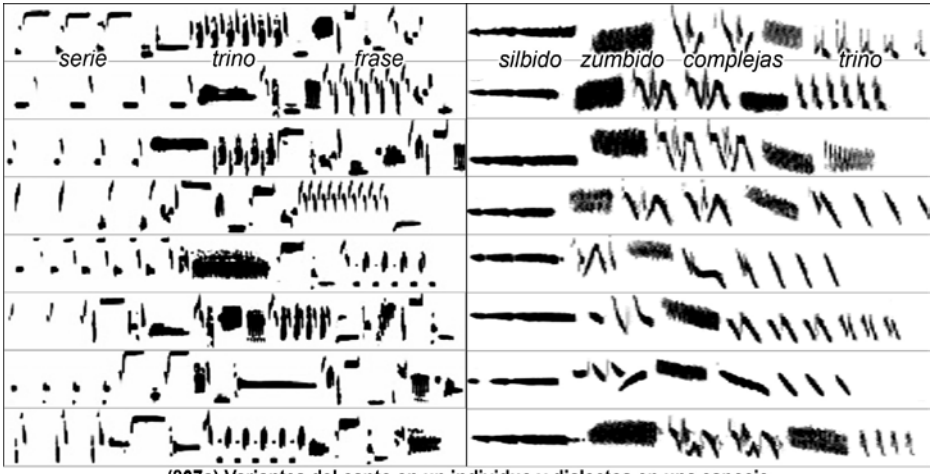
con quince años de diferencia. Esto sugiere una buena estabilidad en el dialecto de esta especie.

(2) Cacique (*Cacicus cela*)**: dialectos muy variables. ///** El cacique es de la familia de los tordos y habita en Sudamérica. El estudio encontró que las canciones son específicas de cada colonia. Todos los machos cantan lo mismo y cambian con el tiempo. En tres temporadas se registraron cinco dialectos que consistían en cinco a ocho tipos de canciones compartidas. La cantidad de canciones comunes en varias colonias disminuía con el aumento de la separación. Los machos que se dispersaban y terminaban en otra colonia adoptaban el nuevo dialecto. Se encontró que el 78 % de las canciones eran distintas de la temporada anterior. Algunos tipos de canciones cambiaron gradualmente en la temporada de reproducción y todos los machos adoptaron cambios paralelos.

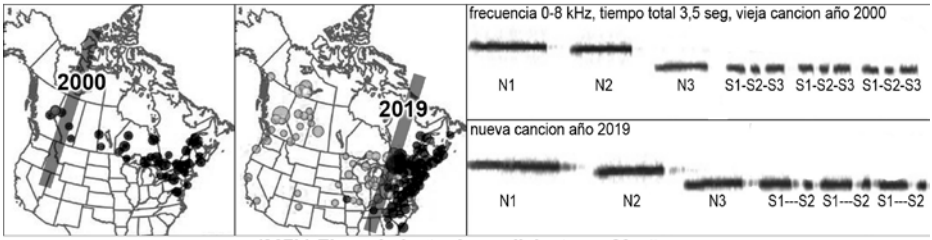
(3) Ratona común (*Troglodytes aedon*). **///** Esta pequeña ave del sur de Sudamérica muestra un silbido corto y repetido en invierno y un gorjeo muy variado en época reproductiva. El análisis de la variación acústica y las mediciones morfológicas de ocho subespecies revelaron que, al menos cuatro muestran disparidades en el canto y/o morfología. Se comprobó que la variedad de estructuras acústicas no es suficiente para cambiar el estado de una especie única y pasar a varias especies.

(F807) Gorrión garganta blanca (*Zonotrichia albicollis*)**: Un dialecto ocupa todo Canadá en 30 años. ///** En el siglo pasado este gorrión tenía una canción que terminaba en un triplete de tres notas en todo Norteamérica. Hacia el 2000, en el oeste de Canadá estaba ganando terreno una canción con dos notas finales. Usando las grabaciones de los observadores de aves se pudo comprobar que, entre el 2000 y 2019, la canción viajó más de 3.000 km y reemplazó la canción histórica en todo Canadá. Por ejemplo, en Alberta empezó en el 2004 y copó el territorio en el 2014. Es un caso único conocido donde una tradición cultural de un lugar reemplaza a la de otro lugar tan lejano. Las aves cantan en las zonas de invernada y los machos juveniles pueden recoger nuevas variantes de canciones cuando se mezclan dialectos. Se encontró que la nueva canción no daba una ventaja sobre los otros machos, pero las hembras preferían esta innovación.

Gorrión del pantano (*Melospiza georgiana*)**: la moda de las canciones.** Las canciones de este gorrión están formadas por fragmentos de dos a cinco notas, repetidas una y otra vez; pero tienen dialectos regionales. Por ejemplo, se midieron repeticiones de tres notas (Nueva York) o cuatro notas (Minnesota). Los jóvenes aprenden el dialecto al imitar a los mayores. **///** En un estudio, se grabaron las canciones de 615 gorriones macho en seis poblaciones. Luego se usó un *software* para medir y analizar cada canción. Se identificaron 160 tipos de canciones en todo el rango de la especie. Se observó que cada macho tiene solo un puñado de canciones en su repertorio. Los jóvenes no eligen una canción entre las que escuchan y la imitan, sino que copian a la multitud. Imitan las canciones más populares, que se escuchan con más frecuencia. Las canciones únicas o raras que van en contra de la corriente principal no se propagan. Es un meme que sigue un "sesgo conformista". Aprenden sus canciones y las imitan con una fidelidad del 98 % del tiempo. Las costumbres no son tendencias fugaces que pasan de moda. Sino que se transmiten de una generación a la siguiente, con tipos de canciones que pueden persistir 500 años, según se calculó. Memorizan una variedad de canciones temprano en la vida, de múltiples aves más vie-



(807a) Variantes del canto en un individuo y dialectos en una especie
(izquierda) Ocho cantos en un individuo. El chingolo melodioso (*Melospiza melodia*) tiene distintos cantos. El espectrogramas es de frecuencia 0-10 kHz y tiempo 4 seg.
(derecha) Ocho dialectos en una especie. El gorrión corona blanca (*Zonotrichia leucophrys*) tiene cantos regionales en el oeste de Norteamérica. La "estrofa" contiene silbidos, zumbidos, sílabas complejas y trinos.



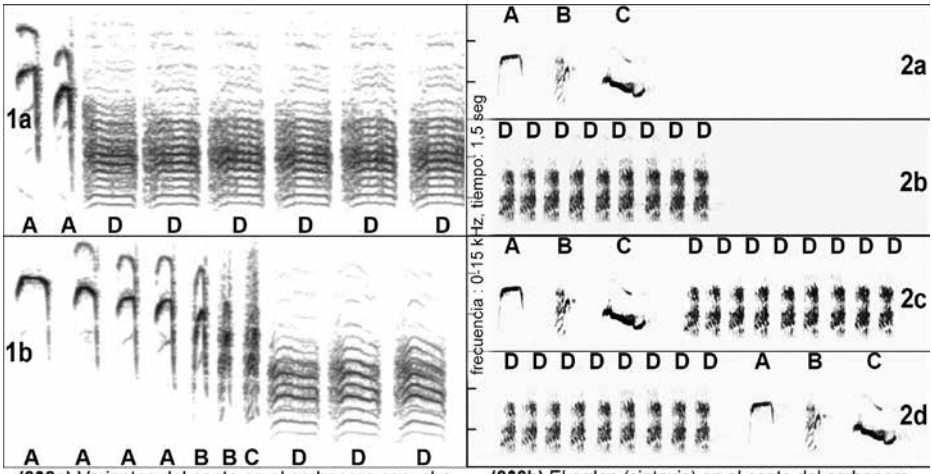
(807b) El movimiento de un dialecto en 20 años
El dialecto más importante del gorrión corona blanca (*Z. leucophrys*) del año 2000 tenía 3 notas finales S1-S2-S3. Surgió un dialecto nuevo al oeste con 2 notas finales (S1-S2). Se movió hacia el este de forma que en 2019 ocupaba casi todo Norteamérica, menos la costa este.

jas. Cuando son adultos solo conservan las canciones que escuchan en forma repetida. Son tradiciones estables de larga data.

las alarmas

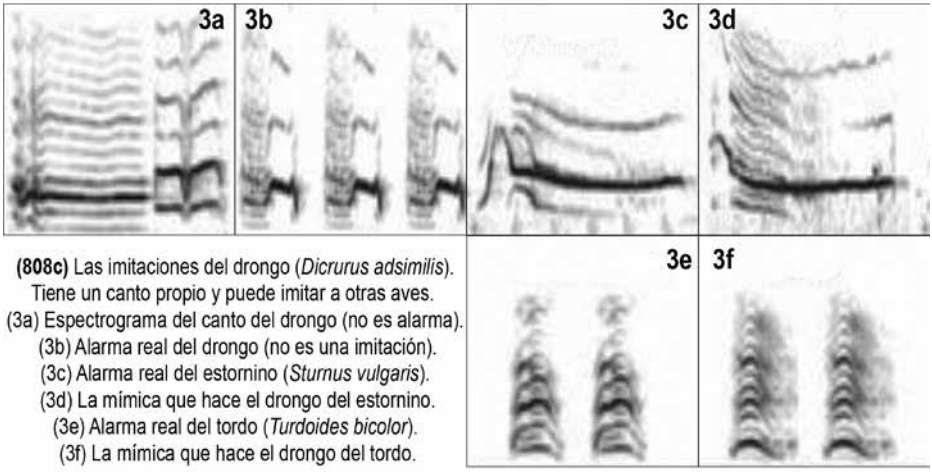
(F808) Carbonero capucha negra (*Poecile atricapillus*)**: la alarma *chick-a-dee.*** Este carbonero produce dos señales de alarma muy diferentes en caso de depredadores. Para aves rapaces voladoras (halcones, búhos) producen un suave y agudo *seet*. Pero si la rapaz está quieta, usan una alarma de amplio espectro para reclutar a otros carboneros y hostigar al depredador (*mobbing*).

(1) Sobre el agregado de *dee-dee-dee. ///* El estudio de espectrogramas de 5.000 llamadas mostró que la acústica varía con el tamaño del depredador. Pueden alterar sus llamadas en forma inaudible para los humanos. Cambian el *dee* final por una repetición de tres a quince veces. Con un búho pig-



(808a) Variantes del canto en el carbonero capucha negra (*P. atricapillus*). Tiene múltiples versiones del *chick-a-dee* con un largo extendido DDD...D. Espectrograma: frecuencia 0-10 kHz y tiempo 1,5 seg.

(808b) El orden (sintaxis) en el canto del carbonero (*Parus minor*). Utiliza más de 10 notas. (2a) ABC significa "buscar el peligro". (2b) D…D "acercarse al que llama". (2c) Con ABCD…D observan y se acercan. (2d) Pero con D…DABC no reaccionan.



(808c) Las imitaciones del drongo (*Dicrurus adsimilis*). Tiene un canto propio y puede imitar a otras aves. (3a) Espectrograma del canto del drongo (no es alarma). (3b) Alarma real del drongo (no es una imitación). (3c) Alarma real del estornino (*Sturnus vulgaris*). (3d) La mímica que hace el drongo del estornino. (3e) Alarma real del tordo (*Turdoides bicolor*). (3f) La mímica que hace el drongo del tordo.

meo (género *Glaucidium*) se llegaron a grabar 23 *dee* añadidos. Este búho es pequeño y tienen mucha maniobrabilidad. Son peligrosos cazadores, por lo que deben requerir una llamada de alarma muy insistente.

(2) Trepador canadiense (*Sitta Canadensis*)**: confía en el carbonero. ///** El carbonero y el trepador tienen tamaño similar, ocupan los mismos hábitats, forman bandadas mixtas en invierno y tienen los mismos predadores. Lo interesante es que el trepador puede entender la variedad de *chick-a-dee* y usarlo como alarma. Un estudio emitió llamados de carbonero para que los escuche el trepador. Se hizo cuando el carbonero no estaba, para evitar que copiaran la conduc-

ta. Los trepadores reaccionaron con la conducta de *mobbing* (persecución aérea) y el máximo de la reacción ocurrió con la llamada del búho pigmeo. Es llamativo que una especie haya descifrado el código de otra. Es un comportamiento aprendido, no puede ser genético, porque las llamadas de acoso de las dos especies son diferentes.

(3) El trepador también duda del carbonero. /// En otro estudio se comparó la reacción del trepador, cuando genera una llamada de alerta. Se analizaron llamadas iniciadas por información directa (lo que ve y escucha el trepador) y por información indirecta del carbonero. La del carbonero es una alarma obtenida por la red social y podría ser una falsa alarma. Como los depredadores son el búho cornudo y el búho pigmeo, el trepador tiene dos llamadas diferentes en prioridad, cuando la información es directa. Pero si la información de alarma es indirecta del carbonero, solo realiza una llamada genérica e intermedia. Parece que el trepador tiene la capacidad de tomar una decisión y dudar del alerta que genera el carbonero y evitar la difusión de falsas noticias.

Mielero (*Phylidonyris novaehollandiae*)**: otro caso de alarma de urgencia. ///** Esta ave del sur de Australia tiene una llamada especial de alerta cuando un gavilán está atacando. En condiciones normales señalan un peligro usando notas repetidas. Cuando hay urgencia, la primera nota de su llamada está cargada, de forma que la información llega más rápido. Es larga y con muchas notas. Cuanto más notas, más urgente es el peligro. La primera nota cambia para indicar que deben cubrirse de inmediato.

(F808) Drongo (*Dicrurus adsimilis*)**: la imitación de alarmas de otras especies para robar.** Esta ave africana tiene una capacidad de engaño puesta en evidencia en el cambio adaptativo de la imitación. Esto es posible porque son centinelas confiables, dando advertencias honestas de peligros, aunque algunas veces simulan alarmas para beneficiarse. Por ejemplo, cuando el drongo simula una alarma de suricata, este dejará caer su presa y correrá a esconderse. Entonces, el drongo roba la comida del suricata. Pero si falsifican una alarma con demasiada frecuencia, las víctimas podrían aprender a ignorarla. Los drongos evaden este "dilema del mentiroso" (el uso frecuente de la misma mentira) tomando sonidos de alarma de otras especies. **///** En un experimento en Kalahari (Sudáfrica), se siguió a 64 drongos durante 650 horas. Se contabilizaron hasta 51 llamadas de alarma, la mayoría imitaciones de otras especies. El análisis de 688 intentos de robo reveló que el mimetismo funciona y la variedad también. Un drongo que tuvo éxito con un tipo de alarma no cambia, pero cuando falló, es más probable que en el tercer intento cambie a una llamada diferente. El cambio aumenta la probabilidad de éxito en cuatro veces. Se estimó que los alimentos robados son el 23 % de la ingesta calórica diaria. **Prestan atención a sus objetivos y cambian lo que están haciendo en función del éxito obtenido.**

ESTUDIO DE CASOS

72 cultura

cetáceos (canto y caza)

¿de qué se trata? Los cetáceos (del griego *ballena*) pueden alimentarse mediante barbas (son filtradores de alimento) o dientes. Esta es la forma de separación primaria de los cetáceos y ocurrió hace 35 Ma. Todos son depredadores en lo más alto de la cadena alimenticia. Los rasgos culturales que se identificaron en los cetáceos son numerosos. Se le atribuye a Einstein haber dicho que "si juzgamos a un pez por su capacidad para trepar a un árbol, pasaremos toda la vida creyendo que es un estúpido". ***///*** Un metaestudio reunió información de 90 especies de delfines, ballenas y marsopas. Las pruebas documentan que los cetáceos tienen complejas relaciones de alianzas y buscan trabajar juntos para beneficio mutuo. Muestran comportamientos sociales complejos que son similares a los humanos y otros primates. Por ejemplo,

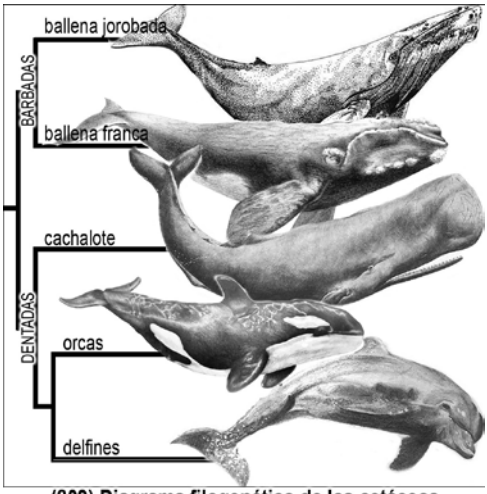
-tienen vocalizaciones complejas (canciones y codas), incluidos los dialectos regionales, y hacen llamadas que identifican a cada individuo dentro del grupo,

-hay transferencia social de técnicas de caza (anillo de burbujas), el uso de herramientas (esponjas o conchas) y la caza cooperativa (formación de olas),

-son empáticos con otras especies, se los ve jugar y muestran actos ligados con el duelo ante la pérdida de una cría, se conocen casos de cuidado de jóvenes que no son propios (adopciones) de la misma y de otras especies,

-se observaron casos de cooperación con humanos (pescadores con red) y de empatía con nadadores humanos y otras especies,

-realizan saltos y acrobacias fuera del agua, aprendidos socialmente y que se interpretan como juegos,



(809) Diagrama filogenético de los cetáceos. El origen de los cetáceos es de hace 55 Ma y la separación entre barbados y dentados es de 35 Ma.

-algunas rutas de migración son aprendidas dentro del grupo social y los movimientos incluyen todo un océano.

Las acrobacias y saltos en la superficie son, en muchos casos, culturales. El significado de algunas de estas maniobras puede tener un valor social o ser parte de juegos. **///** Los movimientos que se definieron en un estudio detallado son los siguientes: *breaching*: consiste en saltar fuera del agua al salir de una inmersión profunda; *spyhopping*: se trata de mantener la cabeza fuera del agua y girar sobre sí mismo; *lobtailing*: consiste en batir la cola y aletas contra la superficie provocando ruido; *fluke-up*: es mantener la cola perpendicular a la superficie del mar (cachalotes); *logging*: es permanecer inmóviles en la superficie antes de una inmersión profunda; *bowriding*: consiste en cabalgar las olas de las embarcaciones (delfines); *porpoising*: son saltos largos y de baja altura, fuera del agua, mientras nadan a alta velocidad; *tailspinning*: en los acuarios, se trata de caminar sobre la cola en el agua.

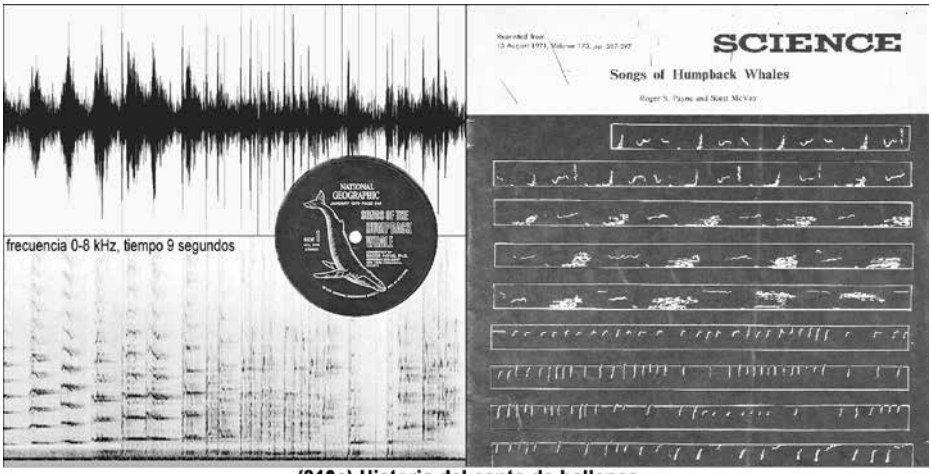
cetáceos con barbas

jorobada (1): el canto

(F810) Ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*)**: la canción más famosa**. La jorobada o yubarta tiene las canciones más famosas porque se vuelven más complejas y, cada varios años, abandonan la vieja canción e inician una nueva. Solo los machos producen una canción, lo que apunta a un producto de la selección sexual. Pueden cantar sumergidos porque no necesitan exhalar para producir el sonido, lo hacen con un órgano interno. No está clara la función del canto. Se propuso que lo hacen para agradar a las hembras (atraer sexualmente), influenciar a otros machos (repeler), para la ecolocalización o para mantener el contacto con el grupo. Para comunicarse emiten también otros sonidos (gruñidos, gemidos, resoplidos y ladridos). El canto podría permitir formar un espacio virtual de tres dimensiones escuchando a otros y analizando el eco del propio canto.

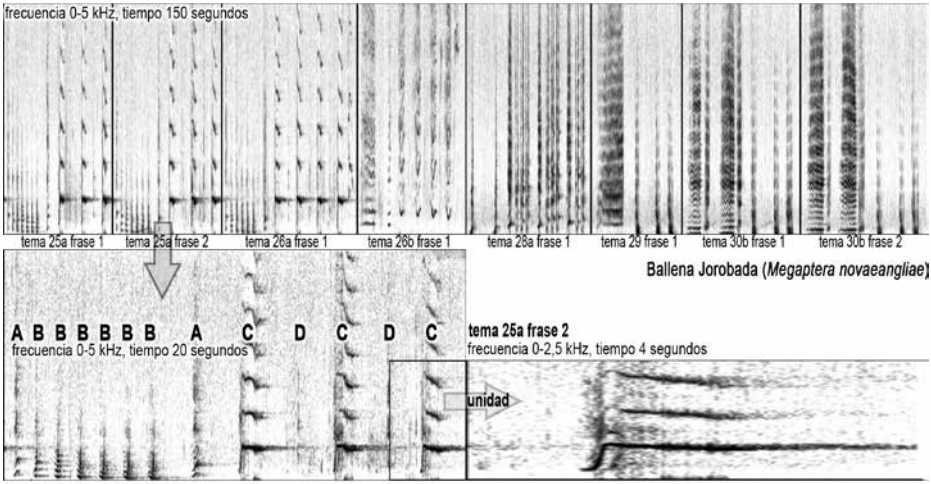
(1) Un largo indefinido. /// Pueden cantar durante más de 24 horas porque la canción está organizada en una jerarquía. Los sonidos individuales se llaman unidades (*unit,* cerca de 2 segundos), la secuencia de unidades forman una frase (*phrase,* cerca de 20 segundos) y las frases se repiten y forman un tema (*theme*, cerca de 1 minuto). Los temas se conectan mediante una frase de transición que contiene parte del tema anterior y posterior. Una canción es la conexión de muchos temas (las *song* que duran horas). La canción de cada población cambia lentamente a lo largo de los años sin repetirse. Por ejemplo, todas las ballenas jorobadas del Atlántico Norte cantan la misma canción, que es diferente a las del Pacífico Norte.

(2) Cambian cuando es muy compleja. /// Un estudio en Australia, luego de seguir trece años la evolución del canto de las jorobadas pudo sacar algunas conclusiones. Todos los machos cantan la misma canción, aunque algunos introducen modificaciones menores. Se encontró que una



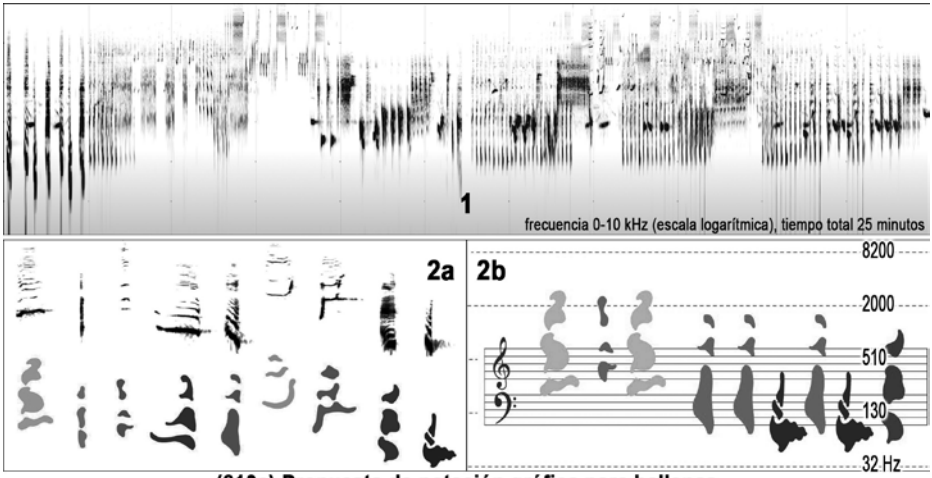
(810a) Historia del canto de ballenas

El disco 33 rpm de NGMagazine (enero 1979) fue la primera difusión de la canción de la ballena jorobada (10,5 millones de copias). Se muestra el oscilograma y espectrograma con software de audio actual. (derecha) Tapa de Science de 1971 con el primer espectrograma de las ballenas.



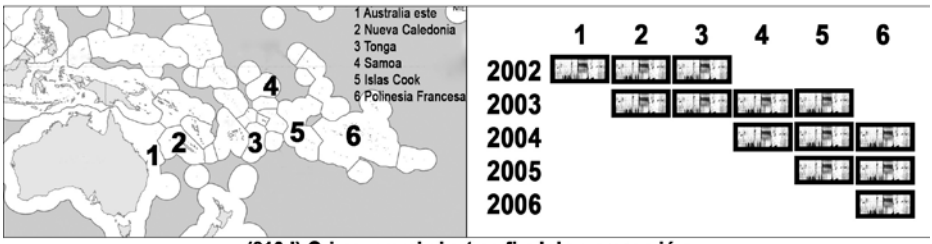
(810b) Estructura del canto de la ballena jorobada

Fragmento de una canción (150 seg) que se descompone en temas, los temas en frases y las frases en unidades. Se amplía el tema25a-frase2 (compuesto de unidades A-B-C-D) y la unidad C.



(810c) Propuesta de notación gráfica para ballenas

(1) Ejemplo de una canción extensa de 25 minutos con la estructura de unidades y frases. **(2a)** Son 9 ejemplos de unidades dentro de una canción de ballena. Es el promedio de muchas unidades iguales. Se muestra también la notación gráfica propuesta. **(2b)** Posición de cada de las unidades dentro del pentagrama musical. Esta forma de visualización permite determinar las repeticiones de unidades en cada canción.



(810d) Origen, movimiento y final de una canción

Las canciones cambian con el tiempo, se vuelven más complejas y se abandonan. Se mueven en el océano pasando de grupo en grupo. Se muestra un ejemplo de canción que nació en el 2002 al este de Australia y se movió hacia el este. En el 2007 desaparece cerca de Polinesia Francesa.

nueva canción comienza como una melodía simple. Con el tiempo, crece en tamaño y complejidad. Con los años se vuelve desgarbada y, en un momento, un grupo de ballenas abandona la canción y crea una nueva. Durante la migración, otras ballenas escuchan la canción y abandonan la vieja. Así, todos los machos cantan la misma nueva melodía. Se sospecha que luego de 2-3 años la melodía se vuelve demasiado compleja, llegando a un límite del costo de aprendizaje o simplemente se aburren.

Tres casos de aprendizaje y movimiento de una canción de la ballena jorobada.

(1) Cambio en 24 meses. /// Un estudio trabajó con las poblaciones de ballenas jorobadas del Índico (al oeste de Australia) y del Pacífico Sur (este de Australia). Ambas poblaciones casi no tienen contacto y las canciones son muy diferentes. El período entre 1995 y 1998 entregó un caso de interés que surgió del análisis de miles de horas de canciones.

-En 1995, en el este de Australia, se grabaron 25 machos todos con la canción "antigua".

-En 1996 se registró el canto de 80 machos con la canción antigua, pero se observó el ingreso de dos ballenas que cantaban una nueva canción proveniente del oeste (Índico).

-En 1997, había 3 animales que cantaban una canción intermedia, 15 que todavía cantaban la canción antigua y 94 la canción nueva.

-En 1998 todos, los 33 machos estudiados, cantaban la canción nueva. El proceso de recambio había concluido.

(2) (F) Movimiento hacia el este. /// Una nueva canción se escuchó en el 2002 al (1) este de Australia, en (2) Nueva Caledonia y (3) Tonga. El año 2003 en (1) había cambiado la canción, pero todavía se escuchaba en (2), (3), y se corrió al este hacia (4) islas Samoa y (5) Isla de Cook. El 2004 la canción había cambiado en (2) y (3), pero se escuchaba en (4), (5) y (6) Polinesia Francesa. En 2005 se perdió en (4) y continuaba en (5) y (6). En 2006 solo se escuchaba en (6). En el 2007 se había perdido en todos lados.

(3) Un caso donde el canto hace un cambio gradual todos los años. A ambos lados de África los grupos cantan canciones similares y la similitud varía con los años. Esto sugiere que los machos entran en contacto en algún momento del año y aprenden canciones unos de otros. **///** El estudio se centró frente a Gabón (Atlántico Sur) y Madagascar (Índico) con más de 1.500 canciones grabadas en cinco años. Se detectaron frases y temas compartidos que se intercambian al sur de Sudáfrica.

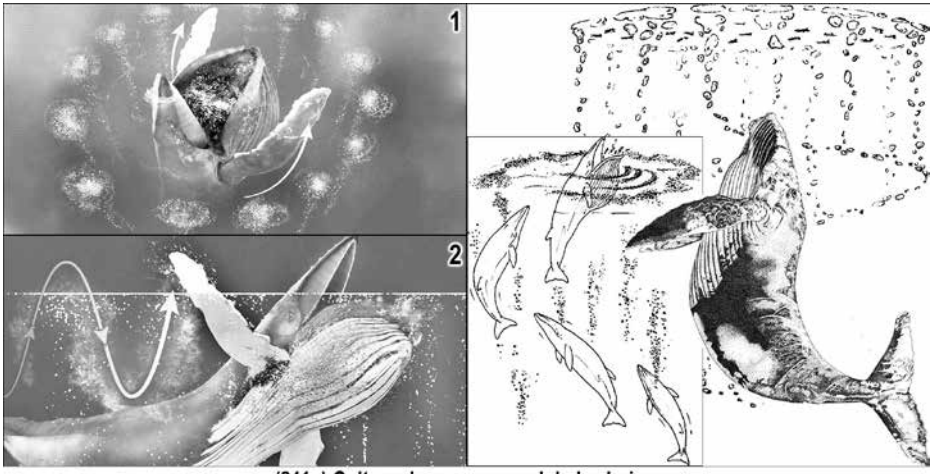
-En el 2001, compartían cinco temas.

-En el 2003, en Gabón, cantaban unas canciones más elaboradas que en Madagascar.

-En el 2004, ambas canciones compartían los mismos temas, pero en Gabón cantaban tres temas adicionales. En ambos grupos se habían abandonado los mismos dos temas del año anterior.

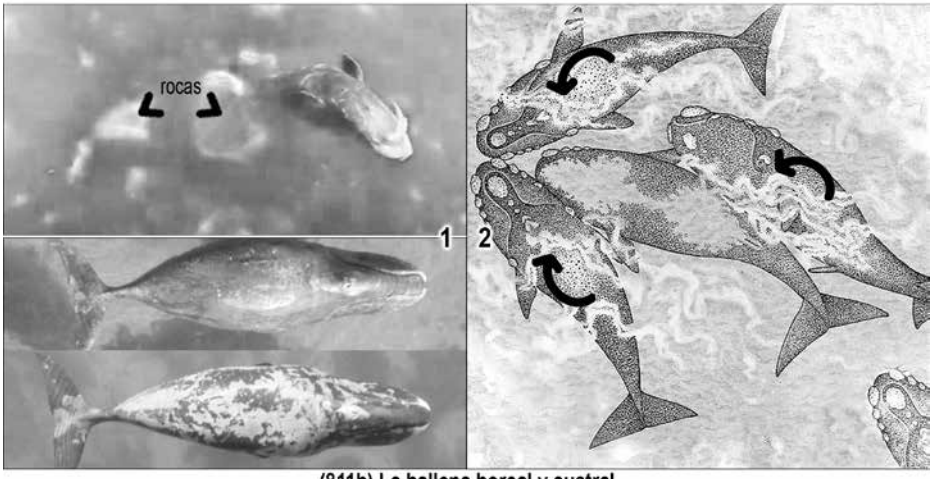
-En el 2005, las canciones eran idénticas, con los mismos temas y el mismo orden. Una ballena revivió los dos temas que se había perdido la temporada anterior. Este ejemplo no es un cambio "revolucionario" sino "gradualista" y sutil.

Ballena franca (*Eubalaena glacialis*)**: el canto mejora con la edad.** Esta ballena del Atlántico norte está emparentada con la jorobada. El canto sigue una regla que se aplica a todos los cetáceos: mejora con la edad. **///** Un estudio (1999-2016) examinó 986 llamadas de 49 ballenas con edad de un mes a 37 años. Las ballenas menores de un año hicieron llamadas cortas, poco estructuradas y caóticas. Con dos años de vida, las llamadas eran cortas y caóticas, pero parecidas a los adultos. Cuando maduraron, fueron más claras, con estructura mejor definida y duraciones más largas. A medida que envejecieron, la frecuencia y duración indicaba el peso y el tamaño corporal, la condición física y la resistencia.



(811a) Cultura de caza con red de burbujas

(1) La ballena jorobada asciende en círculos liberando una red de burbujas que aisla al banco de peces. Desde el aire se ven anillos de burbujas. **(2)** Dan golpes con las aletas pectorales para concentrar el cardumen.



(811b) La ballena boreal y austral

(1) La ballena boreal de Groenlandia (*Balaena mysticetus*) se arranca la piel contra las rocas para ayudar a la muda. **(2)** La ballena franca austral (*Eubalaena australis*): los machos actúan en grupo para rodear a la hembra y aparearse.

jorobada (2): costumbres

(F811) Ballena jorobada: la caza cultural mediante una red de burbujas.

(1) La primera vez que se vio la caza mediante una red de burbujas fue en 1929 cerca de Noruega. Se cree que es un desarrollo cultural para maximizar el proceso de alimentación en grupo. Estas ballenas se alimentan seis meses y ayunan los otros seis meses durante la reproducción. La técnica de alimentación mediante redes de burbujas no está en todas partes y no es instintiva. Se enseña y

se aprende. **///** Las observaciones encontraron que, primero, se comunican mediante vocalizaciones para coordinar el trabajo. Entonces el grupo rodea a los peces que son su objetivo (salmón, krill, arenque). Una ballena exhala en círculo debajo del banco de peces y el resto comienza a exhalar rodeándolo. El tamaño de la red de burbujas es de 3 a 30 m. Una ballena emite un llamado para iniciar la alimentación y todas las ballenas nadan hacia arriba con la boca abierta.

(2) Golpes de cola. /// Una base de datos de 74.000 avistamientos de ballenas jorobadas (27 años) en el Golfo de Maine (Atlántico norte) permitió sistematizar el estudio de la técnica de burbujas y sus variantes. En 1980, se observó una ballena que golpeaba la superficie del agua con su cola produciendo un fuerte ruido que agrupaba más a los peces. Con los años esta técnica se hizo cada vez más común junto con la red de burbujas.

(3) Ayuda con la aleta pectoral. /// Otras observaciones mostraron que nadan con la aleta pectoral levantada a ras del agua. De esta manera generan una onda que empuja la comida a la boca. Cuando llega a la superficie dentro de la red de burbujas, usa las aletas para evitar que los peces escapen de la red y los arrastra a la boca. La parte inferior blanca de la aleta también puede confundir a los peces y el interior de la boca oscuro asemeja un lugar seguro.

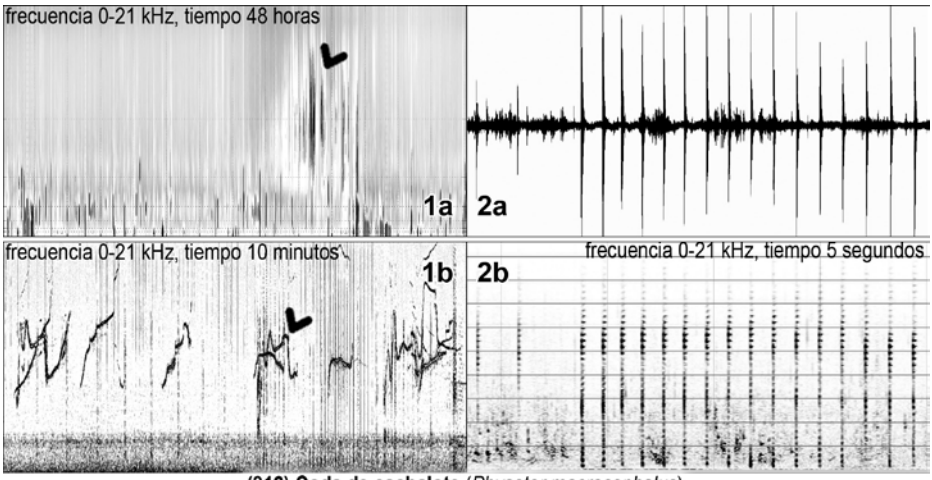
(F811) Ballena boreal de Groenlandia (*Balaena mysticetus*)**: se arranca la piel contra las rocas. ///** Desde 1845 los balleneros destacaban que estas ballenas se frotaban contra las rocas. Se las ve agruparse junto a las rocas poco profundas y rascarse de espaldas en el fondo. Solo el uso de drones recientes permitió saber que lo hacen para quitarse la piel. Quizás para deshacerse de parásitos o librarse de la piel dañada por los rayos UV del sol. Las ballenas giran de lado y agitan sus aletas y colas en el aire, se paran de cabeza y sacan la cola del agua.

cetáceos con dientes

cachalote: dialectos

El origen reciente de los cachalotes. /// Un estudio examinó el ADN mitocondrial de 1.600 cachalotes para obtener la "Eva" de todos los cachalotes actuales. La Eva se estimó que vivió entre 10.000 y 80.000 años atrás. Se trata de un cuello de botella genético, pero el registro fósil llega a millones de años. Los cachalotes, junto con orcas y delfines, forman el grupo de los cetáceos con dientes.

(F812) Cachalote (*Physeter macrocephalus*)**: son los animales más ruidosos**, con niveles de hasta 230 dB (más que un avión a reacción). **///** Los estudios le atribuyen tres formatos de "vocalizaciones". (1) Un *crujido* es una serie rápida de *click* de alta frecuencia (suena como una bisagra oxidada). Los usan cuando se dirigen a la presa. (2) Una *coda* es un patrón de 3 a 20 *click* usado en situaciones sociales. Como cada *click* tiene una firma individual, se estima que sirve como identificador personal. Los grupos producen codas como dialectos, donde las hembras adultas son las que dominan esta técnica. (3) Los *click* lentos solo se escuchan en los machos y se cree que son señales de apareamiento.



(812) Coda de cachalote (*Physeter macrocephalus*)
La coda es una secuencia de *clicks*. **(1a)** Espectrograma de 2 días que contiene 6 horas con 6 codas (flecha). Cada coda dura aprox. 50 min con 5 min de respiración. **(1b)** Ampliación de 10 min con una secuencias de clicks (período 500 mseg). Superpuesto hay un díalogo de 2 delfines *Stenella* ("firmas" oscuras). **(2a)** Diagrama de onda (oscilograma) y **(2b)** espectrograma con clicks en una coda (período 200 mseg). Siempre se nota el ruido ambiente en baja frecuencia del océano (manchas oscuras indefinidas).

La coda es un dialecto familiar y se hereda en forma cultural. Los grupos del Caribe y de Galápagos tienen diferentes repertorios de codas, es como un dialecto regional en cada océano. Los bebés al principio balbucean, pero luego convergen en el repertorio familiar.

(1) Cachalotes de Galápagos. /// Desde el 2013 se estudiaron dos clanes que ya eran conocidos desde 1980. A pesar de compartir la misma geografía, cada clan desarrolló sus propios dialectos compuestos de patrones de *click*. En el estudio se comparó el repertorio de cada ubicación. Cuando las ballenas salían a la superficie para respirar, se fotografiaban las colas para identificarlas. Se concluyó que el aprendizaje social de dialectos permite la identificación de clanes. El repertorio de sonidos de un clan puede no ser entendido por el otro. El estudio incluyó un escenario virtual para simular la evolución de los dialectos durante miles de años.

(2) Cachalotes del Mar Caribe. /// Cuando se trabajó con comunidades en el Caribe se abonó la hipótesis de la complejidad social. Se estudiaron nueve unidades sociales durante seis años. Se grabaron las codas y se identificaron veintiún tipos con dos dominantes (65 % de todas las grabaciones). Una de las codas dominantes (llamada universal) consistía en un patrón de cinco *click* igualmente espaciados (los "cinco regulares"). La otra coda dominante ("1+1+3") tiene dos *click* lentos y tres rápidos. Esto se considera un estándar en el Caribe y es el dialecto único.

(3) Los clanes aislados por dialectos. /// Los cachalotes son matrilineales (las hembras se quedan con sus madres) y forman unidades sociales. En el Caribe (Isla Dominica) hay dos clanes vocales (EC1 y EC2) que no interactúan. Los clanes vocales tienen varias unidades sociales que interactúan entre sí. Los estudios indican que la

genética es la misma y no puede explicar los dialectos. Y siendo que están en el mismo ambiente, se concluyó que los dialectos son un resultado cultural.

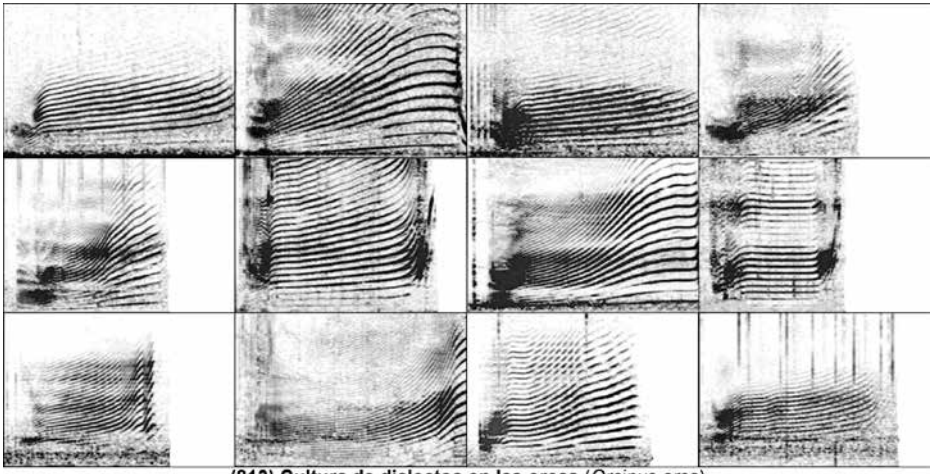
(4) Origen cultural de la coda. /// Un estudio generó una población virtual de cachalotes y se la separó de acuerdo con los conocimientos del mundo real. Se formaron dos escenarios: la transmisión genética y la cultural de madre a cría. En el formato cultural, se permitía la creación de repertorios vocales nuevos. Se encontró que solo cuando hay aprendizaje entre miembros, se pueden formar los dialectos en las codas. Las codas no pueden deberse a la separación geográfica, como ocurre con las aves cantoras, porque siempre se cruzan en los océanos. El nivel de sofisticación en los repertorios sustenta la teoría de que las codas son culturales.

Transferencia cultural: el peligro de los barcos balleneros. En 1820 un cachalote golpeó dos veces al barco ballenero Essex en medio del Pacífico. Lo hundió y de la tripulación de 21 personas solo 8 fueron rescatadas de los botes salvavidas. Esto dio lugar a la novela "Moby Dick". **///** Una hipótesis científica dice que hace 200 años los cachalotes aprendieron y se enseñaron a evitar a los barcos balleneros a vela. La investigación se centró en los cuadernos de los balleneros del Pacífico norte del siglo 19. Se analizaron los registros y detalles de las cacerías, como el número de ballenas avistadas o arponeadas. Se encontró que la tasa de impacto se redujo un 58% en 2 años desde la llegada a la región. Se analizaron y descartaron otras causas y persistió la posibilidad de que los cachalotes entendieran la amenaza y adoptaran estrategias de escape. Por ejemplo, nadar contra el viento que movía a los barcos propulsados a vela. Compartir esta información sugiere un rápido aprendizaje social, una evolución cultural y la comunicación en tiempo real. Quizás los golpes del cachalote al Essex hayan sido accidental el primero y el segundo por venganza.

orca (1): dialectos

Orcas (*Orcinus orca*)**: cada grupo tiene costumbres culturales propias.** Las ballenas dentadas viven en comunidades con fuertes lazos matriarcales y son duraderos por años o generaciones. En particular, las orcas son cosmopolitas, pero tienen poblaciones locales que son dependientes de un nicho de alimentación. Viven en grupos estables por décadas y los jóvenes pueden aprender de los adultos. Las orcas muestran culturas ligadas al canto y a la alimentación. La hipótesis de la complejidad social dice que el repertorio vocal es más complejo cuanto más compleja es la sociedad. Referido a la alimentación, en el Atlántico Norte generan un anillo de burbujas. En las aguas de la península antártica hacen olas para golpear un pequeño témpano de hielo y cazar una foca. En el Atlántico Sur, atacan a las focas en las playas de Patagonia.

La genética identifica cinco diferentes ecotipos desde un cuello de botella evolutivo. /// Un estudio examinó el genoma de 48 orcas de cinco nichos (forman cinco ecotipos). Se encontró que tienen un antepasado común de hace 250.000 años, pero los grupos culturales son genéticamente distintos. Los cinco grupos comenzaron cuando una pequeña población fundadora invadió cada nicho y se expandió. Un cuello de botella así permite ganar una identidad genética única. Se encontró que algunos genes pueden tener funciones específicas y cambian entre grupos culturales. En las



(813) Cultura de dialectos en las orcas (*Orcinus orca*)
Una comunidad de 12 líneas matriarcales en Kamchatka (Rusia). Frecuencia 0-10 kHz, tiempo 1 seg.

orcas, la cultura también ayuda a conducir la evolución genética. Por ejemplo, hay dos ecotipos en el Pacífico Norte, que son genéticamente diferentes, aunque superponen el área de residencia. Los ecotipos no son tan diferentes como para formar barreras y generar subespecies. Es probable que la evolución irradie y colapse en forma sucesiva generando este tipo de distribución.

Las orcas tienen tres tipos de sonidos: *click*, silbidos y llamadas.

(1) /// Las crías de orcas nacen con un repertorio limitado de sonidos y aprenden de su madre y otros adultos dentro del grupo.
-(a) Los *click*. Según los estudios, son parte del sonar y se usan para la ecolocalización. Las frecuencias de sonido de las orcas varían según la presa que desean cazar. Cuando cazan focas que pueden detectar los *click*, cambian a sonidos muy cortos o permanecen en silencio.
-(b) Los silbidos. Son tonos continuos que pueden durar muchos segundos y cuya frecuencia supera los 20 kHz.
-(c) Las llamadas. Son señales pulsadas con patrones discretos reconocibles.

(2) Las llamadas. /// Un estudio en la Antártida determinó que las orcas del Mar de Ross tienen 28 llamadas complejas. Son una combinación de sonidos de pulsos y silbidos. El estudio se basó en grabaciones de nueve encuentros con unas 400 orcas. Durante las llamadas, a menudo, dos de los sonidos ocurrían al mismo tiempo (bifonación). Este tipo de llamadas podría usarse para ubicar dónde podrían estar otros miembros.

(F813) Los dialectos tienen un ancestro en común y sirven para evitar la endogamia.

(1) /// Un estudio clasificó las llamadas del Pacífico Norte y descubrió que cada grupo de orcas tiene su propia colección de llamadas, su dialecto. Hay grupos acústicos más grandes o clanes, que tienen solo algunas llamadas en común. El estudio abarcó la duración, volumen, frecuencia y el uso. Las orcas que comparten dialectos tienen un ancestro común de pocas generaciones.

Las que comparten algunas llamadas tienen ancestros de muchas generaciones y forman un clan. Las orcas usan los dialectos para reconocerse y evitar la endogamia porque se aparean fuera del clan.

(2) El aislamiento entre Islandia y Noruega. /// En un trabajo se analizaron las llamadas de un grupo de orcas en Noruega y se comparó con las llamadas de otro grupo en Islandia. El de Islandia tenía 24 sonidos y el de Noruega tenía 23. Pero, no se repitió una sola llamada entre ambos grupos.

(3) Los repertorios vocales de grupos hermanos aumenta con el tiempo debido a errores de aprendizaje aleatorios e innovaciones. **///** Un estudio con orcas del Pacífico en Kamchatka trabajó con catorce líneas matrilineales. Se calculó la similitud de siete componentes de tres tipos de llamadas. Los resultados parecen indicar que los cambios se producen a distinta velocidad y que puede existir transferencia cultural horizontal entre líneas maternas.

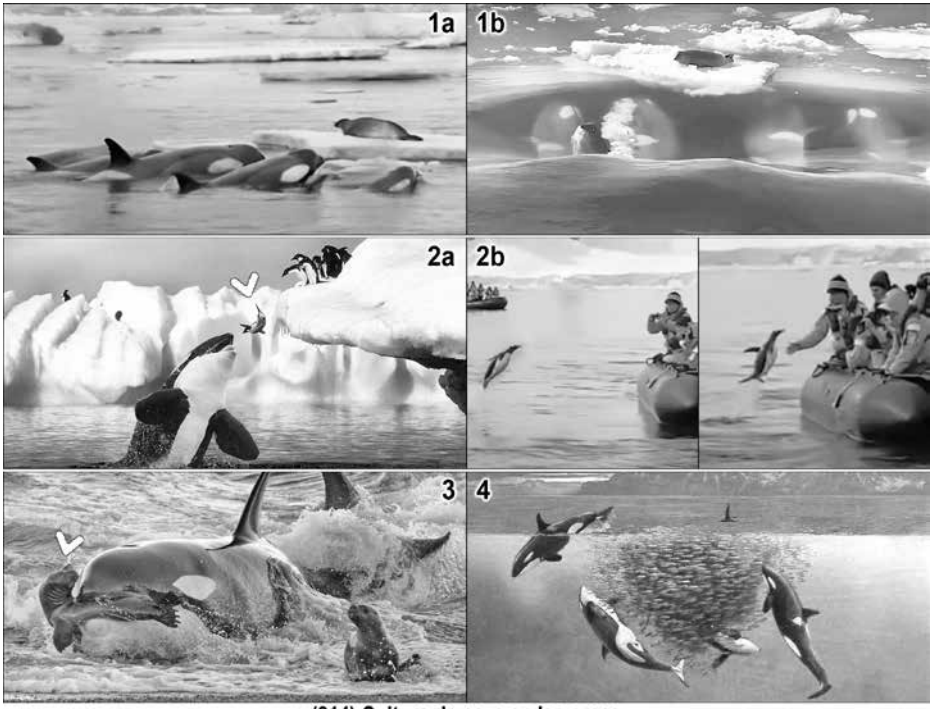
(4) Pueden imitar sonidos de otras orcas. /// En un ensayo controlado una orca (Wikie) fue entrenada para que aprendiera cinco sonidos que eran muy distintos de los suyos naturales. Cuando aprendió los sonidos, colocaron a otras orcas junto a Wikie y los aprendieron por imitación.

orca (2): la caza

(F814) En Antártida: "lavado de olas". /// Cerca de la Península Antártica se registra un método de caza cooperativo de hondo dramatismo. Cuando una foca yace en un trozo de hielo, las orcas se agrupan y bombean con sus colas contra el tempano. También nadan en sincronía para crear olas que mueven al tempano, lo fragmentan, lavan la superficie y tiran a la foca que se apresura a subir. En alguno de los múltiples intentos sucesivos, logran cazarla en el agua. Las observaciones son esporádicas, pero un estudio reportó 22 casos en 75 horas de observación. Las orcas obtuvieron 16 presas, todas focas Weddell (*Leptonychotes weddellii*). Eran solo el 15 % de las 365 focas que se identificaron en témpanos de hielo. Las orcas evitaron cazar focas cangrejeras (*Lobodon carcinophagus*) y focas leopardo (*Hydrurga leptonyx*). La caza cooperativa de "lavado de olas" les requirió en promedio cuatro olas por presa y un tiempo medio de 30 minutos.

(F814) Las jorobadas obstaculizan a las orcas. /// En ciertas ocasiones, se vio a las ballenas jorobadas proteger a las focas de las orcas. Las jorobadas golpeaban las aletas y la cola en el agua, y emitían fuertes "gritos" para alejar a las orcas. Los movimientos de disuasión duraron varias horas. Una estadística llevada desde 1951, muestra 115 observaciones donde las jorobadas se enfrentan a las orcas por alguna razón. Una enemistad manifiesta, producto de los ataques de grupos de orcas a ballenas juveniles o aisladas. Las fotos de referencia se presentan en la Capa de Empatía donde se muestran casos de protección entre especies de cetáceos.

(F814) Patagonia: "varada voluntaria". /// En la costa de la Patagonia Atlántica las orcas cazan focas saliendo a la playa. Consiste en dirigirse de frente hacia la playa para atrapar a las focas que están al borde del agua. Las atrapan fuera del agua y vuelven al mar deslizándose de costado. Esta técnica no es innata, sino que las madres les enseñan a sus crías. En Australia, algunos delfines utilizan una técnica de caza similar para capturar peces.



(814) Cultura de caza en las orcas
(1) Península Antártica: forman grupos que hacen olas para tirar focas de los témpanos. **(2)** Cazan pinguinos. En la secuencia (3b) un pinguino logra saltar dentro de un bote con observadores. **(3)** Patagonia: entran en la playa para cazar focas desprevenidas al borde del agua. **(4)** Noruega: la caza en carrucel fuerza la formación de bolas de arenques para cazarlos.

(F814) Noruega: "caza en carrusel". /// Un reporte muestra otra forma de caza particular. Cuando las orcas encuentran un gran cardumen de arenque plateado (*Clupea harengus*), la orca matriarca dirige al grupo para que aíslen una masa manejable de peces. Los arenques forman bancos defensivos que impiden la caza de las orcas, aunque pueden ser engullidos por las bocas de las ballenas jorobadas. Para hacer al cardumen manejable, las orcas aíslan grupos más pequeños. Los rodean con burbujas, hacen destellos intermitentes de su vientre blanco y dan golpes de cola bajo el agua. También deben impedir que los arenques se sumerjan, así que los impulsan a la superficie. Cuando tienen a la masa cerca de la superficie, los arenques saltan y caen en la boca de las orcas.

La enseñanza de la caza de lobos marinos. El uso de drones ha permitido explicar lo que ocurre en observaciones que desde las barcas no se entienden. **///** Una filmación en la costa del Pacífico en Canadá (isla Denny) permitió observar cómo cuatro orcas atacaron a un lobo marino hembra durante dos horas. Las orcas tenían a su presa acorralada en el mar, la atacaban en forma repetida sin tocarla directamente. Lo que hacían era enseñar a un novato las formas de ataque. Las orcas esta-

ban satisfechas porque no la cazaron. La dejaron ir aunque con heridas que seguramente acabaron con la vida del lobo marino.

otras especies

Los tres casos que siguen pertenecen a la familia de orcas y delfines (familia *Delphinidae*).

Ballena piloto (*Globicephala macrorhynchus*): **el dialecto crea grupos cerrados. ///** Un estudio analizó a las piloto que viven en la costa de Hawái. Como ocurre en las orcas, las piloto tienen su propio dialecto. Durante quince años se formó una base de datos de asociaciones entre grupos. Se tomaron biopsias de la piel para recopilar información genética. Se hicieron las grabaciones y el estudio de los espectrogramas. Se encontró que el nivel de organización más bajo y pequeño es la *unidad* formada por un puñado de individuos relacionados. Las unidades se combinan para formar *grupos* (la familia extendida). Varias familias forman una *comunidad*. Se determinaron los dialectos que corresponden a familias. Estas familias están relacionadas pero no se están asociando con otros grupos. Esta característica es un indicador de aislamiento cultural.

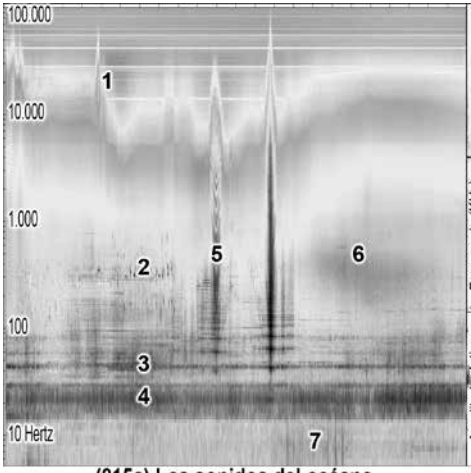
Beluga (*Delphinapterus leucas*)**: imitan sonidos de delfines. ///** Se reportó que, en el 2013, una beluga fue trasladada al acuario de Koktebel (Crimea) y en dos meses aprendió los silbidos de identificación de los dos delfines que eran sus compañeros. Una imitación por el estilo necesita cierta consciencia para adaptar la acústica y lo que escucha. Manipular el órgano que produce sonido para obtener el efecto deseado es una habilidad sofisticada.

El calderón (*Globicephala melas*)**: imita a las orcas y hace dúos. ///** Un estudio (2013-17) sobre el canto en la población cerca de Australia encontró que imitan a las orcas y cantan a dúo. Las orcas son un depredador natural y competidor por las presas del calderón. Parece que aprendieron a imitar el canto de las orcas como una posible estratagema para burlarlas. Quizás pueden acercarse a las orcas sin ser detectadas. También se encontró evidencia de que hacen dúos como cantos coordinados, lo que se relaciona con el vínculo social y la coordinación de conductas.

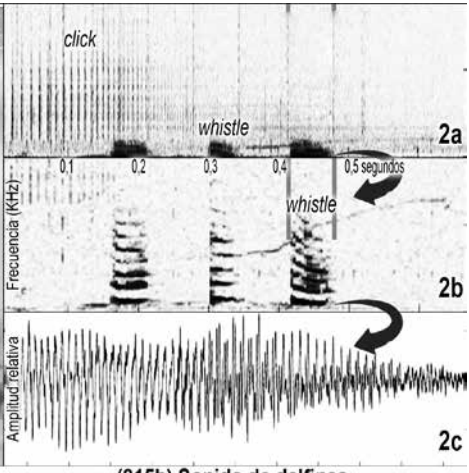
delfines: cultura y creatividad

delfín (1): comunicación

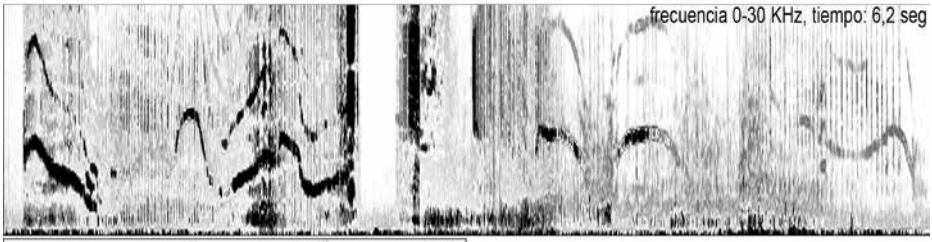
(F815) Delfines: usan *click* para localización y silbidos para comunicarse.
-Los *click* son pulsos en ráfagas de banda ancha en alta frecuencia usados para la ecolocalización. Las orcas también tienen pulsos de banda ancha pero son las llamadas usadas en comunicación. **///** Los *click* en delfines se emiten a intervalos de 35-50 milisegundos, lo que es superior al tiempo de ida y vuelta del sonido. La ecolocalización detecta presas y mide distancias. Un estudio en Karadag (Crimea) encontró que dos delfines "dialogaban" mediante *click*. El estudio grabó varias conversaciones donde la secuencia se alternaba sin superponerse. El estudio no pudo interpretar el significado.
-Los silbidos son señales de frecuencia mo-

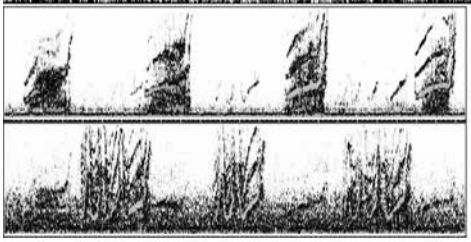


(815a) Los sonidos del océano
Espectrograma 24 horas (frecuencia 5 Hz a 100 kHz)
Lugar de captura: Bahía Monterey (California).
Cetáceos (1) delfines, (2) ballena jorobada,
(3) ballena azul, (4) ballena de aleta.
Artificiales: (5) barcos de embergadura.
Naturales: (6) viento y (7) terremotos.



(815b) Sonido de delfines
Espectrograma de sonidos de un delfín con *click* de alta frecuencia y 3 silbidos (*whistle*).
(2b) Ampliación de frecuencias bajas de silbidos.
(2c) La forma de onda del tercer silbido.





(815c) Las voces y un diálogo entre delfines
(arriba) Una señal compleja con múltiples bloques de clicks y silbidos (incomprensibles por el momento).
(abajo) Un diálogo entre delfines nariz de botella (*Calvin* y *Rainier*) en 4 seg. En el diálogo llegan a 50 señales por minuto y cada señal tiene promedio 5-7 bloques. El lenguaje de los delfines es abierto y está organizado en jerarquías.

dulada de banda estrecha en menor frecuencia y los usan para identificarse. El silbido es único, se genera temprano en la vida y proviene de la imitación de la madre. También puede surgir un silbido característico entre machos adultos que entablan amistad.

Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*)**: un silbido de identidad para cada individuo.**

(1) /// Un estudio de 200 delfines salvajes encontró como se identifican entre ellos. Cerca del 50 % de los silbidos de un delfín

salvaje son su propio silbido característico. Se grabaron los silbidos y se reprodujeron de a uno. Los delfines solo respondían y reaccionaban cuando escuchaban su propio silbido. Pero no respondían a ningún otro. Se los trató de confundir modificando los sonidos como si los reprodujera otro delfín. También se tocaron silbidos de delfines desconocidos.

(2) /// Un estudio con dos especies (*T. aduncus* y *T. truncatus*) encontró que usan el mismo sistema de comunicación de silbidos. La cantidad de silbidos con firmas diferentes aumentaba cuando los tamaños de los grupos eran mayores y cuando las crías estaban presentes. Esto sugiere que se usan para comunicación personal entre madres y crías.

(3) /// En un experimento se grabaron silbidos de 53 delfines en seis instalaciones de cría que llevan registros durante décadas en Florida. También se usaron todo tipo de silbidos de individuos desconocidos. Se encontró que los delfines se aburren rápido con silbidos desconocidos. En medio de esta sesión, se reproducía un silbido de un individuo que debía ser conocido. La respuesta se puntuó según la rapidez y el grado de respuesta. Se observó que respondían a llamadas que hacía décadas no escuchaban. Un caso extremo ocurrió con una hembra (Allie) que respondió a la llamada de otra hembra (Bailey) con la cual había vivido hacía veinte años. Los delfines mantienen recuerdos de por vida de los silbidos de los demás.

Los grupos de delfines se identifican y diferencian entre ellos. /// Los estudios en los delfines nariz de botella muestran que los machos forman alianzas y coordinan sus llamados. Se estudiaron siete grupos de delfines en Shark Bay (Australia) y se grabaron los "estallidos" de *click*, con una tasa de 6 a 12 por segundo. Por la competencia entre grupos, los machos trabajan juntos para atraer a las hembras. Forman alianzas de hasta catorce individuos que pueden durar décadas. Además de sincronizar sus movimientos, sincronizan los llamados en el inicio y final. Los machos necesitan trabajar juntos para defender la posesión de la hembra, pero también compiten por fertilizarla.

Emiten sonidos de alerta máxima. /// El delfín nariz de botella emite sonidos más largos cuando está cazando y en momentos de gran agresión, lo que permite que cada individuo mantenga su posición en la jerarquía. Son sonidos estridentes cuando está en presencia de otro individuo que se mueve hacia la misma presa. El menos dominante pronto se aleja para evitar la confrontación. Estos sonidos tienen un alto nivel de unidireccionalidad dirigido al competidor, quien sabe que se lo está abordando.

El lenguaje de los delfines es abierto y está organizado jerárquicamente. Esto significa que pueden producir un número virtualmente ilimitado de señales. En teoría pueden dialogar sobre cualquier tema. Los silbidos usados para identificarse son las únicas "palabras" cuyo significado fue descifrado.

(1) /// Un estudio enseñó a delfines nariz de botella a dar una respuesta acorde con el tamaño de una pelota. Luego, se pusieron dos delfines, uno recibió una pelota y otro (que no tenía contacto visual) debía dar la respuesta. De esta forma, el primer delfín debía comunicarle el tamaño de la pelota al segundo. Tuvieron éxito en el 95 % de las pruebas. El 5 % restante fue porque no usaron el canal de comunicación que se instaló para la prueba. **Así que, los delfines tienen una forma de usar el lenguaje simbólico que aún no es conocida.**

(2) /// En la misma serie de trabajos en Crimea, se determinó que los delfines se

comunican en forma alternada. Cuando uno habla, el otro escucha. Se encontró una organización jerárquica del lenguaje de siete órdenes. Por ejemplo: combinar fonemas para producir palabras, palabras para producir frases, frases para oraciones, oraciones en párrafo, etc. Esa es la organización jerárquica. La mayoría de las señales detectadas fueron de 5 a 7 bloques, aunque variaban entre 2 y 24 bloques.

La imitación vocal puede facilitar la convivencia entre especies. El delfín nariz de botella emite dos tipos de señales acústicas. Los *click* se usan para ecolocalización y los silbidos para comunicarse mediante llamadas de contacto y dialectos dentro del grupo. Tienen silbidos únicos que los identifican y permiten llamarse entre sí. En tanto las orcas (*Orcinus orca*) usan los *click* para ecolocalización y los silbidos (tonos continuos) y llamadas (tonos pulsantes) para funciones de comunicación. **///** En un acuario se compararon grabaciones de orcas y delfines alojados en el mismo grupo. Se evaluó el grado en que las orcas aprendieron silbidos de delfines. El grupo bajo estudio tenía tres orcas y varios delfines. Las orcas cambiaron las proporciones de llamadas en su repertorio para ajustarse a la llamada de los delfines. Produjeron más *click* y silbidos y menos llamadas pulsadas. Incluso las orcas pudieron aprender sonidos nuevos de los delfines. Por ejemplo, una orca aprendió a producir una secuencia de chirridos que los cuidadores humanos les habían enseñado a los delfines antes de que llegaran las orcas.

Pueden aprender el lenguaje oral y de señas humano. Los delfines y orcas pueden entender palabras y oraciones básicas como "toca con tu cola la barra y salta sobre ella". Hay delfines a quienes se les enseñan palabras humanas y otros que aprenden el lenguaje de señas. Siempre entienden la importancia del orden de las tareas en una oración. A Carl Sagan se le atribuye haber dicho "si bien se informa que algunos delfines aprendieron en inglés hasta cincuenta palabras usadas en el contexto correcto, no se ha informado que ningún ser humano haya aprendido el idioma de los delfines".

(1) /// Ya en la década de 1970, en Hawái, dos delfines nariz de botella (Phoenix y Akeakamai) lograron dominar un vocabulario de casi cuarenta palabras de lenguaje gestual. Podían diferenciar entre "llevar la tabla de surf a la persona" o "llevar a la persona a la tabla de surf".

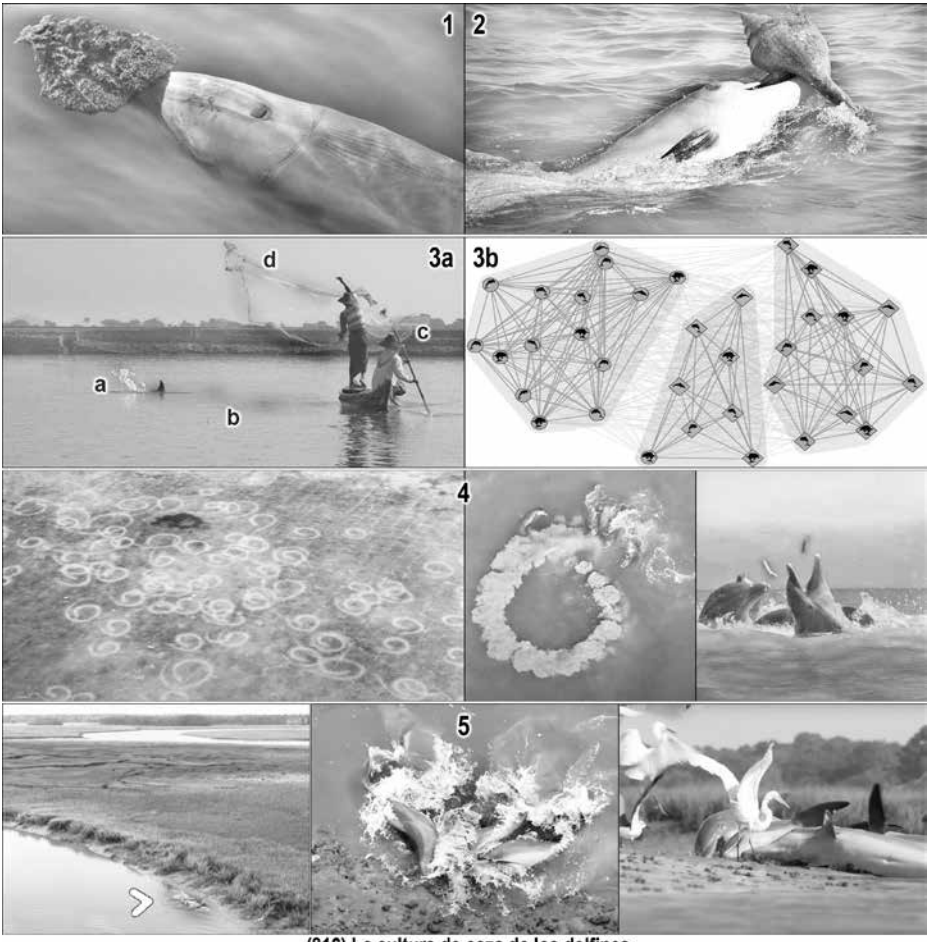
(2) /// Un estudio examinó las respuestas de un delfín al lenguaje gestual artificial que es familiar para los delfines. Se trabajó con secuencias correctas en semántica y sintáctica. También se usaron secuencias anómalas que violaban las reglas del lenguaje. El delfín discriminó las secuencias anómalas y se negó a responder. Sin embargo, no rechazaba las secuencias anómalas con subconjuntos correctos. En este caso procesaba todos los elementos de una secuencia antes de dar una respuesta final.

delfín (2): la caza

Los delfines forman extensas redes de grupos sociales que están entrelazados. Un estudio en Nueva Zelanda siguió a 64 delfines y logró conectarlos con 1.000 grupos. Una vida social tan extensa supone una riqueza que aún no está explorada.

(F816) La caza con protección de esponjas.

(1) Solo las hembras usan esponjas. /// Los estudios en Shark Bay (Australia) mostraron que rompen esponjas marinas (*Echinodictyum mesenterinum*) y las usan



(816) La cultura de caza de los delfines

(1) Pesca usando como protección una esponjas en la nariz y **(2)** usando caracoles donde se enconden los peces. **(3)** Caza cooperativa entre delfines y pescadores. (3a) Los delfines (a) arrastran al banco de peces (b) hacia la orilla donde están los pescadores (c) que tiran las redes (d). (3b) Estudio de interrelación entre 3 grupos de delfines. **(4)** Pesca en grupo. Un delfín hace un anillo de barro golpeando con la cola para encerrar al banco de peces. Los peces saltan para evitar la trampa y caen en la boca de los otros delfines. Luego quedan las marcas en el terreno. **(5)** Pesca mediante encierro de los peces contra la playa mediante carreras rápidas paralelo a la costa y el posterior varado en la arena. Otra variante incluye la formación de una ola que arrastra los peces a la playa.

sobre sus hocicos mientras buscan alimento. Pueden usarlas como un guante para proteger sus rostros sensibles de los peces con espinas afiladas o que no tienen vejigas natatorias y se entierran. La esponja protege el rostro en un nicho donde la ecolocalización y la visión no son efectivas. La mayoría de las esponjas son planas, pero los delfines elegían las cónicas para que no se cayeran del hocico. Incluso, en una observación, un macho se zambulló, quitó una esponja fijada al fondo, la balanceó en el hocico y se la

entregó a la hembra. En lo que podría tener alguna connotación sexual.

(2) El uso se enseña de madre a hija. /// Para descubrir si este uso de herramienta era un rasgo genético o cultural, se analizó el ADN de los delfines y el encontrado en las esponjas. El ADN- mitocondrial (se transmite de madre a hija) dice que los delfines estaban relacionados. El ADN-nuclear (de la especie) no indica diferencias entre quien usa o no usa esponjas. Sin razones genéticas ni ambientales, se concluyó que el comportamiento es cultural. Son las madres que enseñan a sus hijas (aunque no hay observaciones).

(3) Aporta alimentos diferenciados. /// En otro estudio se buscaron rastros de ácidos grasos. Se comprobó que los delfines que usaban esponjas tenían diferente dieta. Los perfiles de ácidos grasos fueron muy marcados, aún en el mismo territorio. Esta técnica parece ayudar a los delfines a alimentarse de peces en el fondo marino, lo que puede ser difícil usando solo la ecolocalización.

(F816) La caza con conchas usadas como trampas para peces. /// Los delfines nariz de botella mostraron una forma innovadora de alimentación. En Australia (2011) se observó que los peces pequeños se escondían en grandes conchas de caracoles. Los delfines atrapaban con su boca las conchas, las llevaban a la superficie y las sacudían. El agua escurría y el pez caía en la boca. No se sabe si los delfines plantan esta trampa o solo la usan. La conducta se fue extendiendo por aprendizaje social horizontal y vertical. Una hipótesis dice que una ola de calor acabó con el hábitat de pastos marinos, lo que causó la muerte de los gasterópodos que viven en las conchas gigantes. La abundancia de conchas pudo iniciar o extender el uso de esta técnica de caza. Para el 2018, el análisis de diez años de observaciones (5.278 encuentros con 1.035 delfines) contabilizó 42 reportes de caza con conchas en las que participaron 19 delfines. Las observaciones son pocas y duran pocos segundos, por lo que pueden estar subestimadas.

(F816) Cuando los delfines asisten a los pescadores humanos. En el sur de Brasil hay grupos de delfines que colaboran con pescadores humanos.

(1) /// Los pescadores deportivos capturan lisas (*Mugil platanus*) mediante redes que tiran desde la orilla. Las lisas migran en abril desde Argentina hacia el norte para pasar el invierno. Los delfines mulares o toninas aprendieron a orientar a las lisas hacia la playa y chapotean en el agua lo que indica a los pescadores la posición de los peces. Entonces, los pescadores arrojan sus redes. Ambos se benefician en esta captura en cooperación ya que las lisas quedan en medio de los dos grupos de pescadores.

(2) /// En el 2009 se pudo reconstruir la interrelación entre tres grupos de delfines en la zona de pesca. El grupo 1 tenía 15 delfines y todos cooperaban con los pescadores. El grupo 2 tenía 12 delfines y no había cooperación alguna. El grupo 3 tenía 8 delfines y solo uno cooperaba. Este individuo dedicaba tiempo a relacionarse con los otros grupos. Se considera una herencia social.

(F816) La caza cooperativa para acorralar a los peces. Lo hacen girando en torno al cardumen o empujándolos hacia la orilla. La técnica incluye mover la arena con la cola para oscurecer el agua creando una barrera visual.

(1) Círculos cerrados y captura aérea. /// En las costas bajas de Caribe se observan grupos de delfines que cazan rodeando a los peces. Un delfín se ocupa de nadar en un círculo, agita la cola en forma enérgica, golpeando el fondo y crea una cortina de

agua turbia. Los peces tratan de abandonar el área, saltando por encima de la barrera y los demás delfines capturan los peces en el aire.

(2) Acorralamiento contra la costa. /// En Australia se observaron grupos de delfines que acorralan a los peces. Corren paralelo a la costa, agitando el agua, de forma que, para escapar, el pez solo puede acercarse más hacia la playa. Cuando se encuentran en aguas muy bajas los delfines pueden varar en la arena y capturarlos. Como es de esperar, garzas y gaviotas participan en forma oportunista.

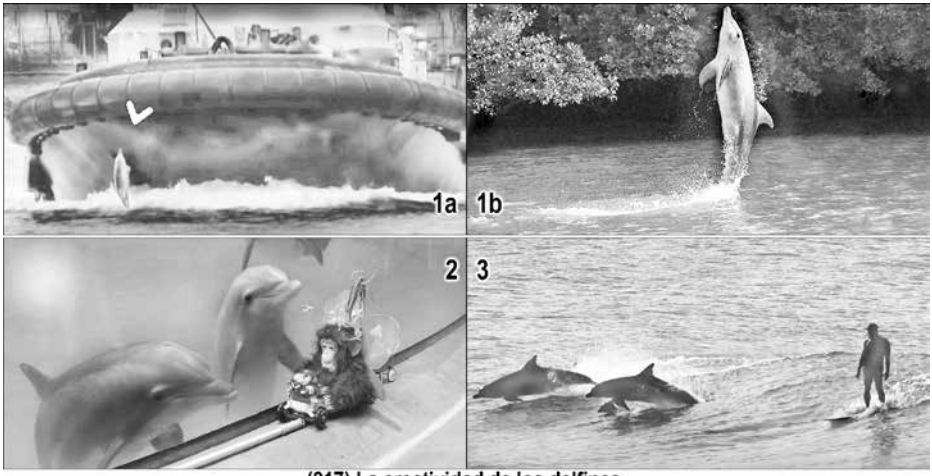
delfín (3): la creatividad

La creatividad (innovación) es inseparable del placer (capa de juegos) y la empatía (capa de empatía). En ambas capas del modelo se ofrecen más casos con cetáceos.

(F817) La caminata con la cola sale del acuario y va a la naturaleza. La caminata con la cola ocurre cuando el delfín se eleva fuera del agua y se mueve parado en la cola. Pocas veces se vio en la naturaleza, es una destreza de acuario. En la naturaleza es una actividad lúdica, por pura diversión. **///** Un proyecto de conservación de treinta años siguió un raro caso de transmisión cultural. En 1988 una delfín hembra (Billie) fue rescatada de un arroyo contaminado y pasó varias semanas en un delfinario en Port River (Australia) para ser recuperada y liberada. Parece que aprendió a caminar de cola observando a los otros delfines. Cuando la soltaron, comenzó a hacer lo mismo en libertad. Hasta aquí es un ejemplo de aprendizaje social. Pero ocho años más tarde otro delfín salvaje comenzó a caminar de cola. Esta actividad se extendió con el tiempo. Para el 2011, había nueve delfines caminando de cola. Luego, el número disminuyó hasta casi desaparecer hacia el 2014.

Delfín dientes ásperos (*Steno bredanensis*)**: el objetivo desconocido de la recompensa. ///** En 1969 se publicó un trabajo realizado en Hawái con dos delfines. El experimento quería saber si podían entender la causa de la recompensa. Se eligió premiar un comportamiento nuevo por día, solo se recompensaba cuando exhibían algo nuevo. Un delfín hembra (Malia) siguió el proceso por un tiempo usando todas las escenas conocidas. En dos semanas, las escenas se agotaron. Malia quedó abatida, no sabía qué debía hacer. Luego de 16 días sin conductas novedosas, hizo algo que nunca había hecho y fue recompensada. De inmediato comenzó a hacer todo tipo de escenas, de forma que se volvió difícil saber qué acción debía ser premiada. En el caso del delfín macho (Hou) le llevó 33 días para llegar a la misma situación. El experimento se detuvo cuando la complejidad de la conducta impidió seguir adelante. El mismo ensayo se realizó con humanos voluntarios, quienes tardaron el mismo tiempo hasta darse cuenta de qué se trataba. En los delfines, saber lo que se pretendía de ellos les produjo emoción e innovación. En los humanos produjo alivio. Quizás la recompensa fuera la diferencia entre ambas especies.

Una picardía que multiplica las recompensas. /// Un seguimiento de delfines en cautiverio pareció mostrar una planificación del futuro. Estos delfines estaban entrenados para mantener limpio su tanque. Recuperaban la basura y recibían una recompensa cuando la entregaban al guardián. Un delfín (Kelly) aprendió que la recompensa era la misma por cualquier tipo de basura. En una oportunidad cayó una gran bolsa, la escondió en un hueco



(817) La creatividad de los delfines

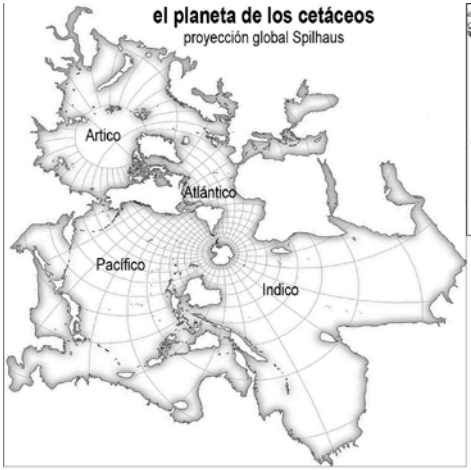
(1) Un delfín silvestre rescatado en un arroyo contaminado aprendió a nadar de cola observando a otros en un centro de rehabilitación. De vuelta en la naturaleza enseño a nadar de cola a otros delfines. **(2)** Los delfines son curiosos y se entretienen con novedades en el acuario. **(3)** También juegan haciendo surf en las olas naturales y de embarcaciones.

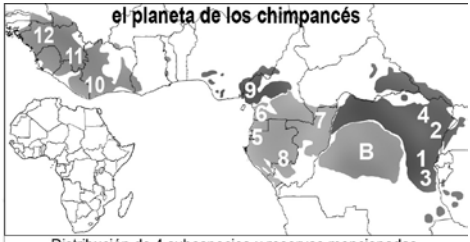
debajo de una roca en el fondo de la piscina y cortaba una pieza pequeña cada vez que pasaba un cuidador. Las hojas de papel grande, las rompía, y las llevaba de a poco. **///** Un día Kelly atrapó una gaviota que llegó hasta el estanque. Como le dieron muchos peces por este acto los acumuló para comer en otro momento. Esta nueva actividad de cazar gaviotas y recibir muchos peces se transfirió a los otros delfines.

ESTUDIO DE CASOS

72 cultura

chimpancés (alimentación)





Distribución de 4 subespecies y reservas mencionadas.
P.t. schweinfurthii: (1) Gombe (Tanzania), (2) Budongo (Uganda), (3) Mahale (Tanzania), (4) Kalinzu Reserve (Uganda).
P.t. troglodytes: (5) Lopé (Gabón), (6) Alfi (Camerún), (7) Goualougo (Congo), (8) P. N. Wonga Wongué (Gabón).
P.t. ellioti: (9) Korup (Camerún).
P.t. verus: (10) Bossou (Guinea), (11) Bakoun (Guinea), (12) Fongoli (Costa de Marfil).
(B) Reservas de Bonobo (R.D. Congo)

(818) La diferencia de los espacios disponibles para cetáceos, chimpancés y bonobos

aislamiento cultural

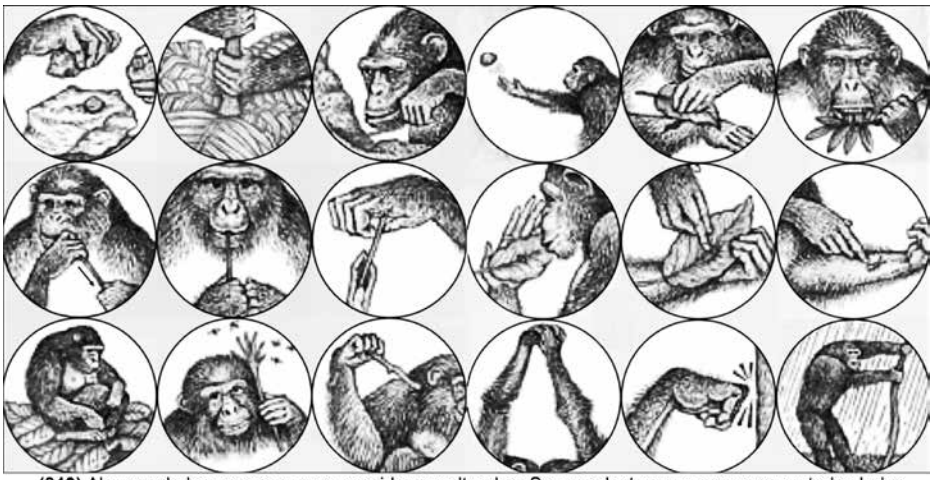
(F819) Las pruebas básicas de la cultura en los chimpancés. La fragmentación del hábitat de los chimpancés en reservas naturales lleva a que la cultura tenga un formato de spot (pequeños núcleos con pequeñas variantes). Pero incluso dentro de una misma reserva hay grupos con rasgos culturales diferentes. **///** Un estudio analizó 65 pautas de conducta en siete lugares en África. Entre todos, suman 150 años de observaciones en campo.

-Las 65 pautas de conducta incluyen: martillar con piedras las nueces de nogal, cazar termitas con ramas, espantar moscas con ramas y hojas, extraer médula ósea con palitos, aplastar parásitos sobre las hojas, lanzar objetos, danzar bajo la lluvia, apretar las manos sobre la cabeza, golpear con los nudillos, etc.

-A cada conducta se le asignaron cuatro niveles de ocurrencia: ausente, presente, habitual (frecuente) y tradicional (muy frecuente).

-De las 65 pautas se separaron 39 que pueden considerarse "culturales" porque no están presentes en todos lados. En algunos casos la actividad es única pero no pudo ser considerada. Por ejemplo, en Bossou (Guinea) los chimpancés recogen algas de estanques con un palo, pero en el resto de los lugares, no hay algas como para comparar.

-Para definir una cultura se puede proceder de la siguiente forma. Cazar termitas con



(819) Algunos de los rasgos que se consideran culturales. Son conductas que no ocrren en todos lados, que no dependen del ambiente donde se encuentran y que en algunos casos se enseñan dentro del grupo o entre generaciones.

palos es muy frecuente en Gombe (Tanzania) y está ausente en Budongo (Uganda). Cortar hojas con los dientes sin comerlas está ausente en Gombe, pero es tradicional en Budongo. De esta forma, se puede definir una cultura para los chimpancés de Gombe diferente de la cultura de Budongo.

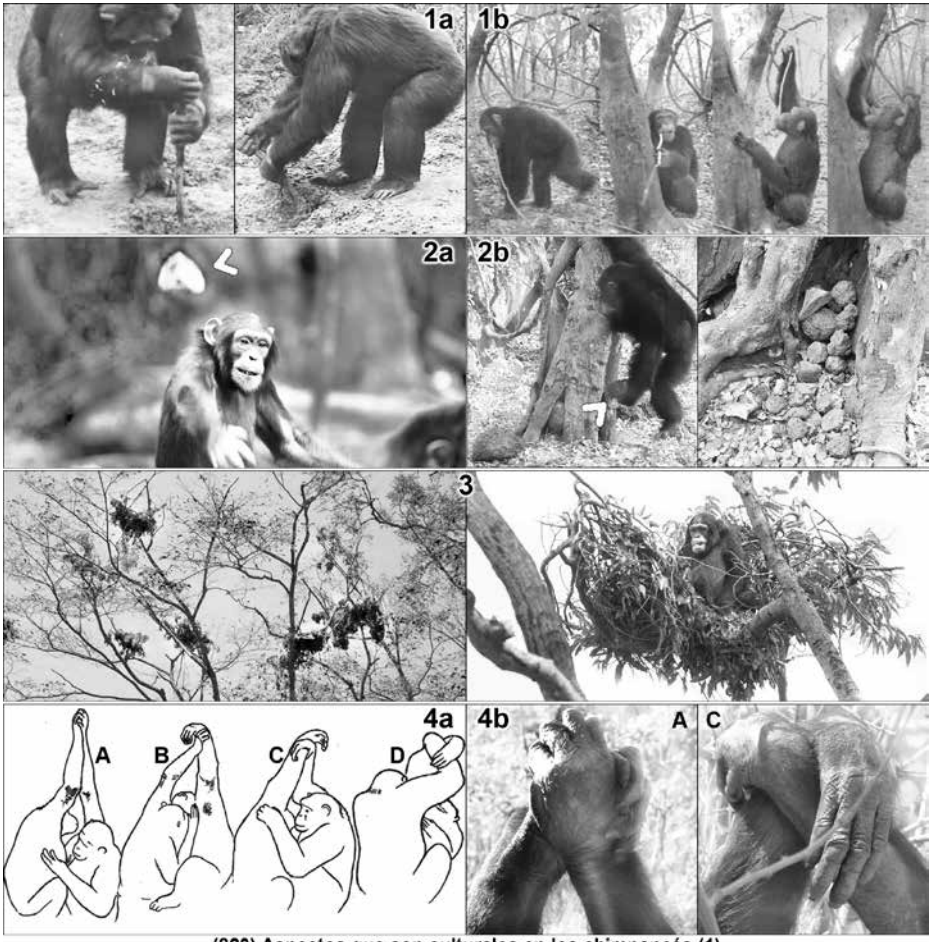
Existen grupos culturales que tienen territorios superpuestos.

(1) En Mahale (Tanzania). /// En el mismo territorio se encontraron dos grupos de chimpancés (M y K) que tienen diferencias entre sí. Por ejemplo, mientras en el grupo K es tradicional cazar termitas introduciendo cortezas de árbol en el termitero; en el M, está ausente. En tanto, en el grupo M es tradicional lanzar piedras o palos, y en el K, está ausente.

(2) En Kalinzu (Uganda). /// La comparación de dos grupos (M y S) de chimpancés vecinos entregó que tienen igual genética y territorio superpuesto. Sin embargo, tienen diferencias culturales. Se da en la longitud de las herramientas usadas para pescar hormigas ejército (género *Dorylus*). Los investigadores encontraron que las herramientas del grupo M eran más largas que en el S. Sin embargo, las hormigas son de la misma especie, por lo que esta diferencia de herramientas es cultural.

Orangutanes y gorilas: también forman grupos culturales.

(1) /// Un estudio listó las conductas recopiladas hasta el año 2003. Para orangutanes, se pueden indicar las formas de uso de herramientas, como sostener un palo pequeño en la boca para extraer semillas de frutas (*Neesia*) o usar guantes de hojas para manejar esta fruta puntiaguda. Otros casos se refieren al uso de servilletas de hojas para limpiar el látex pegajoso. Se indican formas de locomoción arbórea, sonidos vocales (algunos modificados con hojas), nidos con variantes como agregar cubiertas solares. Para los gorilas, se mencionan el hacer puentes sobre el agua, raspar frutas para limpiarlas o



(820) Aspectos que son culturales en los chimpancés (1)

(1) La cultura en el uso de ramas. Se observa en la selección, manipulación, forma de compartir y la enseñanza (ver figura 823). (1a) Usan ramas para desenterrar objetos. (1b) En Comoé (Costa de Marfil) las ramas largas las muerden en un extremo y las introducen en huecos de árboles para humedecerlas y tomar agua. **(2)** La cultura en el uso de la piedra. Usan piedras para romper nueces (ver figura 825). Las arroján como armas (2a) o son un medio de expresión ritual (2b y figura 614). **(3)** La cultura de hacer nidos. Son construcciones diarias con ramas y hojas en los árboles. **(4)** La cultura de apriete de brazos. Aprietan manos o muñecas con los brazos en alto mientras se acicalan.

eliminar espinas, usar los dientes como una mano para escalar, varias formas de contacto corporal y de juego social.

(2) /// En otro trabajo se recopilaron las costumbres de 370 gorilas de 25 agrupamientos de 17 zoológicos. Se catalogaron 48 conductas que son aprendidas dentro del grupo y no una herencia genética. Se encontraron diferencias, incluso entre grupos del mismo zoológico. Las diferencias incluían el uso de herramientas, señales a otros gorilas y comportamientos de cortejo.

pequeños hechos culturales

(F820) La cultura del saludo con los brazos y manos. La cultura en los chimpancés no se limita al uso de herramientas que dependen de los recursos. La cultura se observa en los hechos de libre elección, como en el aseo manual donde no hay factores ambientales.

(1) La forma de saludo. /// La forma de saludo es uno de los hechos culturales. Por ejemplo, entre los humanos, se observa en el saludo con la cabeza, en oriente y con las manos, en occidente. El seguimiento de cuatro grupos de chimpancés en Zambia encontró que en dos casos, tenían la conducta de abrochar las manos: uno abrochaba las palmas y otro, las muñecas de las manos. Esta preferencia era compartida por todo el grupo. Esto sugiere una motivación para aprender y amoldarse para que coincida con la norma del grupo.

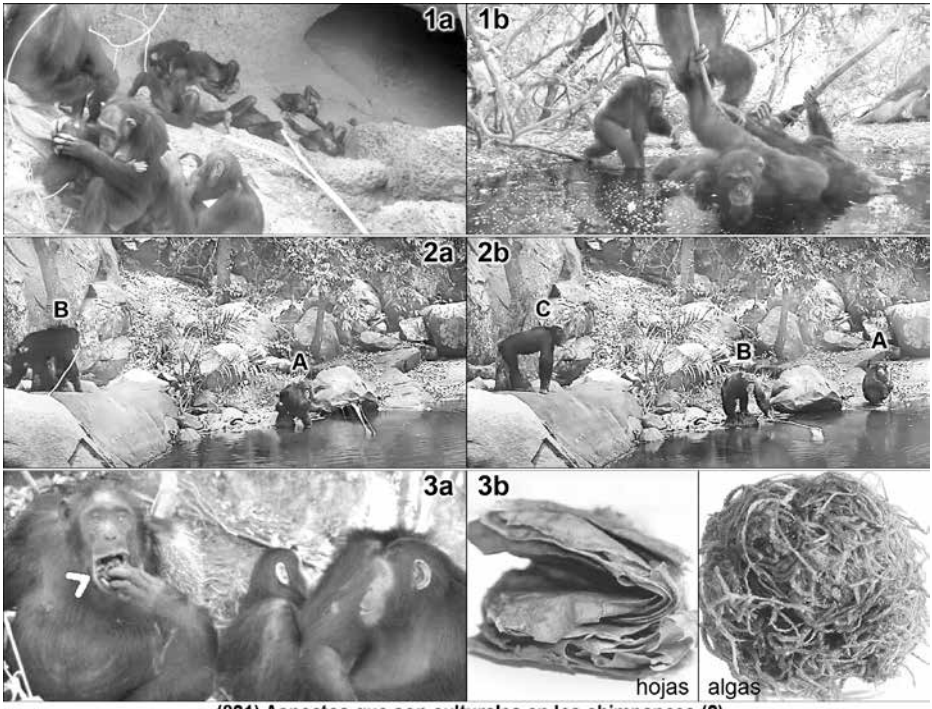
(2) El "golpe manual". /// Esta conducta consiste en agarrarse del brazo y levantarlo en el aire. Luego se acicalan con el brazo libre. Esto ocurre solo en pocas poblaciones. Un estudio siguió a 20 chimpancés jóvenes que desarrollaron esta conducta mientras se realizaba el estudio durante cinco años. Los primeros golpes de manos ocurrieron con sus madres. Lo que sugiere que es parte de una cultura social.

La reacción ante la lluvia y el fuego puede ser un evento cultural.

(1) "Danza de la lluvia" en Gombe. Los chimpancés se vuelven más activos durante las lluvias. Algunos chimpancés reaccionan más que otros a la lluvia con sus truenos y relámpagos. Parecen volverse más salvajes. La descripción realizada en los años de 1960 indica que comienza sin razón aparente, un macho salta del árbol, echa a correr, golpea el suelo con los puños, toma una rama, la sacude y arrastra. Los otros machos se turnan en las carreras y se enfrentan. Las hembras y crías son espectadores desde los árboles. Los machos cargan colina abajo en una demostración que dura decenas de minutos, dependiendo del tamaño del grupo. Se combina con gritos. En un momento la acción termina y se retiran.

(2) "Danza del fuego" en Fongoli. En África occidental, los incendios forestales calientes y rápidos son comunes en la región de la sabana hacia el final de la larga estación seca. **///** Un reporte de observaciones en el 2006 indica que un grupo de chimpancés no entró en pánico, y algunos miembros hicieron exhibiciones rituales. Parecían vigilar el fuego para predecir el movimiento. Se reportaron dos eventos de "danza del fuego". La investigadora indica que en una oportunidad había fuego en tres lados y que los chimpancés estaban tranquilos. Esta tranquilidad es clave para que el fuego pueda controlarse y convertirse en una herramienta. Entonces, el macho alfa emitió un ladrido diferente a las llamadas de advertencia habituales y bailó de una manera similar a la "danza de la lluvia". Esto sugiere que la conducta ante el fuego es predictiva, en lugar de receptiva. En cambio, los elefantes se estresan ante incendios forestales similares. La conducta cultural ante el fuego tiene tres etapas. La comprensión para predecir el movimiento del fuego, la capacidad de controlarlo (alimentarlo, dirigirlo o apagarlo) y la capacidad de iniciar un incendio. Los chimpancés observados estarían en la etapa uno y quizás, en la dos.

Sobre cómo el aprendizaje se acumula entre generaciones. Los chimpancés forman tradiciones complejas, mediante la comprensión colectiva y la práctica acumu-



(821) Aspectos que son culturales en los chimpances (2)
(1) Refugios ante el calor. En Senegal usan la cueva Dranbos (1a) y en Fongoli (1b) un ojo de agua para bañarse. **(2)** Pesca de algas con caña. En las lagunas de Guinea se suceden en el uso del espacio. Cada uno trae su rama y la corta a medida. **(3)** Usan hojas y musgo como espenjas. Para absorber agua pueden usar esponjas de hojas plegadas o manojos de musgo.

lativa. Un grupo será más capaz que cualquier individuo. **///** Un estudio presentó a los chimpancés una oportunidad novedosa: tomar jugo mediante el uso de herramientas. Los instrumentos más interesantes eran tubos que podrían usarse como sorbetes. Uno de ellos era bastante complejo. Era un sorbete que debía desplegarse, con una válvula para desenroscar y poder alcanzar un recipiente de jugo profundo. Los chimpancés no pudieron resolver esta opción compleja. En grupos donde un chimpancé fue entrenado para usarlo, los otros aprendieron por observación. En otro grupo, algunos chimpancés lo resolvieron cuando integraron descubrimientos parciales de diferentes individuos con sorbetes más simples. Fueron capaces de aprender comportamientos cada vez más complejos al observar a individuos con conocimientos. Pero este progreso acumulativo ocurrió solo cuando el experimentador introdujo un desafío al hacer desaparecer las herramientas simples.

Sobre cómo llamar la atención sexual. /// Un reporte en Tanzania indica que chimpancés machos tienen una costumbre relacionada con el sexo. Se los observó arrancando y rompiendo las hojas secas y quebradizas frente a su erección visible. Usaron el sonido áspero para atraer la atención de las hembras y si estaba interesada,

se apareaban. Este uso de hojas se ajusta al concepto de herramienta ya que es un objeto externo para obtener un objetivo.

(F820) Sobre qué materiales usar para el nido donde duermen. /// En un estudio en Toro-Semliki (Uganda), se midieron las características físicas (rigidez y resistencia a la flexión) de la madera (326 ramas) de las siete especies de árboles comunes. Son los árboles más usados para hacer los nidos de chimpancés. Se muestrearon 1.844 nidos y se encontró que había ramas de palo fierro (*Cynometra alexandri*) en el 74 % de los nidos, aunque el árbol representa menos del 10 % del total. La razón parece ser que las ramas son más rígidas, con mayor resistencia a la flexión, menor distancia entre hojas en las ramas y menor superficie foliar. Parece que esta madera brinda protección contra depredadores y patógenos y entrega regulación de temperatura y comodidad. Es una elección cultural.

(F821) Chimpancé: usan cuevas y ojos de agua para huir del calor. /// En las sabanas de Senegal, la temperatura llega a 43 °C y los incendios queman el paisaje en la estación seca. Un estudio grabó lo ocurrido durante un movimiento, en una caverna natural en Drambos que usan para refrigerarse. Entre 2011-2013 se grabaron 325 días con 14.000 imágenes de 45 visitas grupales (35 chimpancés). Pasaron la mayor parte del tiempo descansando, socializando y acicalándose. Llevaron bocadillos, como frutos del baobab africano y del árbol pie de camello. La cueva Drambos ofrece un respiro del calor, pero también van leopardos y hienas, lo que obliga a balancear beneficios y peligros. Otros lugares de refresco son los ojos de agua donde se reúnen a mojarse y quedarse en el agua.

Sobre el uso de ADN para estudiar herramientas y heces. /// Un estudio analizó el ADN en herramientas de chimpancés en el valle de Issa (Tanzania). Se extrajeron, en los montículos de termitas, juntando más de 50 herramientas. Luego, se usaron técnicas forenses para extraer y analizar ADN. Esto permitió determinar dónde pasan su tiempo, reconstruir grupos sociales, seguirlos a través del paisaje mientras viajan, se alimentan y socializan. También se pueden usar las firmas de ADN de las heces y herramientas para identificar qué fuentes de alimentos utilizan en cada época del año. En una escala más amplia, se podría contar el número de chimpancés y evaluar el tamaño de la población al estimar la frecuencia con que se encuentra el ADN.

la cultura en la alimentación

alimento vegetal

Un extenso menú que genera diferencias culturales. /// Los chimpancés pueden comer más de 300 tipos de alimentos en un año. En Lopé (Gabón) toman fruta de 114 plantas seleccionadas entre cientos de especies posibles. Los gorilas de Alfi (Camerún) comen más de 200 tipos de alimentos (tallos y hojas, flores, frutas y semillas, corteza y médula, raíces e invertebrados). Los orangutanes de Tanjung Putting (Borneo) tienen más de 300 tipos de alternativas y los perfiles dietéticos varían mucho entre grupos. Por ejemplo, en dos poblaciones

vecinas de orangutanes, separadas por un gran río (una barrera muy importante porque no nadan) la diferencia de dieta fue del 60 %. Es el resultado de años de relación entre madre e hijos que llevan la sociedad por caminos diferentes.

Nueces y frutas procesadas con herramientas.

(1) Nueces de palma. /// Un estudio permitió conocer cómo se reemplazaron alimentos en una comunidad de chimpancés salvajes en Bossou (Guinea). El alimento principal era la pulpa de frutas (*Musanga cecropioides*), un alimento estacional. Las alternativas posibles son el aceite o la médula de nueces de palma (*Elaeis guineensis*). Para consumir estos alimentos se requieren dos tipos de procesos. El craqueo (rotura de la cascara) de nueces para obtener aceite de palma y el machacado de mortero para obtener la médula de las nueces de palma. Se midió que el uso de herramientas ocupó el 10 % del tiempo anual de alimentación con un máximo en junio (35 %). Por el tiempo de ocupación, parece que el uso de herramientas dejó de ser una opción y pasó a ser una necesidad.

(2) Fruta de treculia. /// En Nimba (Guinea) los chimpancés usan cuchillas de madera y piedra para cortar la fruta del género *Treculia*. Estas frutas son grandes, pesadas, duras y fibrosas. Demasiado para las mandíbulas y mordedura del chimpancé. Fue la primera vez que se observó el uso de dos tecnologías de percusión: cuchillas móviles contra un yunque fijo.

Cambio de dieta: la médula de palmera cambia a barro de arcilla. Los chimpancés salvajes en los bosques de Uganda, desde los años de 1990, hicieron un cambio de dieta. Dejaron de comer palmeras rafia (género *Raphia*) y pasaron al barro de arcilla y termiteros. Un cambio de dieta de este tipo combina la automedicación con la cultura.

(1) /// Antes del 2000, la alimentación se completaba con la médula en descomposición de las palmeras rafia que es una fuente de sodio. Pero se inició una época de escasez porque las palmas pasaron a usarse en la industria tabacalera. Los tallos de las hojas se usaron para atar y curar las hojas de tabaco. Hacia el 2005, empezó a disminuir la palmera y aumentó el consumo de suelo arcilloso. El análisis de los suelos y termiteros demostró que eran ricos en minerales (sodio, calcio, hierro, magnesio y potasio) y en particular en aluminio (caolinita). Cuando se consume caolinita se ayuda a la digestión y la desintoxicación. Las frutas y hojas de la dieta es alta en taninos y la arcilla puede ayudar a neutralizarlos. Se observó a los chimpancés usando hojas como esponjas de arcilla. Sumergían las hojas en el agua y las llevaban a la boca donde exprimían el líquido con la lengua. También fueron vistos usando sus dedos para extraer trozos de arcilla del suelo, antes de comerlos.

(2) /// Los estudios permitieron saber que las arcillas tienen una estructura química cuyo ingrediente principal es la caolinita y kaopectato. Son compuestos que reducen las dolencias intestinales como desactivador de toxinas de la dieta y de microbios patógenos. También absorben virus que causan diarrea. Por ejemplo, se reportó en los Andes de Venezuela que las vacas afectadas por un virus, cavaban en el subsuelo para acceder a la arcilla. Además, la arcilla se adhiere a los taninos de las hojas difíciles de digerir.

(F821) En Guinea desarrollaron la pesca de algas, mediante varas. /// Mediante cámaras trampa se documentó que los chimpancés usan varas para pescar algas del género *Spirogyra*, una variedad que también es consumida por humanos en el norte de Tai-

landia. Las algas tienen 16,7 % de proteínas, 55,7 % de carbohidratos y una alta concentración de antioxidantes. Así que son una excelente fuente de nutrientes. Hay dos zonas en Guinea donde se extraen las algas. En Bossou se usan pequeños palos (50 cm) para tomar las algas de la superficie de ríos y lagos. Pero en Bakoun necesitan palos largos (más de un metro) para llegar al fondo de los ríos, lo que requiere más ingenio. Se los puede ver tomar una rama más larga de lo necesario y cortarla a medida para trabajar más cómodamente.

Recolección de miel mediante herramientas. /// Las observaciones de campo reportan casos donde los chimpancés usan herramientas para trabajar en un panal de abejas grandes (género *Xylocopa*). Estas abejas anidan en ramas muertas, en el suelo o en árboles. Primero, verifican si hay abejas en la entrada del nido con un palo. Las inutilizan con el mismo palo, las hacen caer y se las comen. Luego abren con los dientes el panal y toman las larvas y la miel. Comen miel de cuatro especies de abejas que juntan con los dedos o con palos, dependiendo de la agresividad del panal.

(F821) Uso cultural de esponjas hechas con musgos para absorber agua o miel.

(1) Las técnicas de Kibale y Budongo para extraer miel. Hay diferentes alternativas en Uganda para extraer miel atrapada dentro de un tronco caído. **///** Un estudio de quince años encontró que, en Kibale, se usan palos y esponjas de hojas absorbentes. Pero en Budongo, se usan solo esponjas. Durante el estudio se presentó a ambos grupos un problema nuevo: miel atrapada dentro de un agujero estrecho perforado en un tronco. El problema lo resolvieron con sus propios métodos, mostrando que son costumbres muy arraigadas. En Kibale hay dos variantes de esponjas: las de musgo (mezcla de hojas y musgo) y las de hojas (la técnica original). En el seguimiento de 20 años se encontró que el uso de musgo no fue observado en el pasado, por lo que se concluyó que es una innovación reciente.

(2) Un caso fundador. /// En Sonso (Uganda) en el 2011 y en una comunidad de 70 chimpancés, se empezó a documentar el uso de esponjas de musgo para absorber agua rica en minerales desde un pozo de arcilla natural. La técnica tradicional usada por toda la comunidad era una esponja de hojas para ingerir líquidos. Entonces, un chimpancé macho alfa de 29 años (Nick) hizo una esponja de musgo. La hembra adulta dominante (Nambi) lo observaba. Durante los siguientes seis días, otros siete individuos fabricaron y usaron esponjas de musgo. De ellos, seis observaron la conducta antes de adoptarla y el séptimo reutilizó una esponja abandonada. El estudio estimó que, cada vez que un ingenuo observaba el uso de esponjas de musgo, tenía quince veces más probabilidades de desarrollar el comportamiento. Se estimó que 85-99 % de la transferencia cultural posterior fue por interacción social. Las esponjas de musgo que hacían y descartaban unos individuos eran reutilizadas por otros, en lo que se considera un caso potencial de "mejora por estímulo". Se organizó un experimento entregando musgo y hojas en el pozo de arcilla. La mayoría usaron musgo mostrando que no solo se propagó en forma vertical, sino en todas direcciones.

la carne

(F822) En Fongoli desarrollaron la caza con lanza en los huecos de los árboles. La sabana de hierbas y pocos árboles de Fongoli (Senegal) se asemeja a las zonas donde

(822) Aspectos que son culturales en los chimpancés (3)
(1) La caza grupal entre machos permite atrapar monos (1a) y otras presas. Luego comparten la comida y (1b) los observadores mendigan una parte. **(2)** Asesinato del macho lider. Pueden finalizar con el canibalismo. También los machos pueden comer crías pequeñas. En 60 eventos reportados de asesinatos de chimpancés, siempre el número de atacantes es alto (5-a-1). Atacan cuando están seguros de ganar. **(3)** En Senegal y Gabón las hembras cazan con palos con punta que son usados como lanzas. **(3)** En Rekambo (Gabón) se documentaron 38 eventos de caza de tortugas (*Kinixys erosa*). Son partidas a los golpes contra un yunque de tronco (enseñanza cultural).

evolucionaron los humanos. Los chimpancés pasan la mayoría del tiempo en el suelo y no en las ramas. Parece que el ambiente determina la forma de caza. Con una vegetación frondosa, la caza es cooperativa, pero en la sabana, se puede seguir la presa y es una caza individualista. En ese territorio, habita el pequeño primate gálago (*Galago senegalensis*). Son monos nocturnos que se acurrucan en huecos en los árboles durante el día. Los chimpancés macho cazan mediante persecución y comen la carne del mono pero no la comparten. **///** Un estudio documentó que las hembras e inmaduros usaron un método de caza que no se ve en otro lugar. Fabricaron lanzas de palos que afilaban con los dientes. Tenían 60 cm de largo y 1,1 cm de diámetro en promedio. El procedimiento de fabricación consiste en arrancar las ramas, quitar las hojas y usar los dientes para recortar y afilar los extremos. El método de caza es agresivo porque empujan sus lanzas en troncos huecos para dañar a cualquier mono que esté adentro. Se los vio usar la

lanza como una daga con puñaladas hacia abajo. Durante el estudio se registraron 300 cazas asistidas por herramientas (60 % por hembras). Luego de que insertan el arma en el hueco lo huelen en busca de sangre, para confirmar que hirieron a algún mono. Los machos tienen una conducta más oportunista que planificada.

(F822) En Gabón desarrollaron la caza de tortugas. Las tradiciones nacen de la capacidad para innovar, aprender y transmitir. **///** Un trabajo de campo en Gabón reportó que los chimpancés salvajes cazaban y comían tortugas. Para acceder al interior, rompían el caparazón contra los troncos de los árboles. Se sabe que los mandriles se alimentan de tortugas jóvenes. En ese lugar hay frutas de cáscara dura (árbol del género *Strychnos*) que necesitan ser golpeadas contra los árboles para abrirse. Esto quizás inspiró a algún chimpancé emprendedor a hacer lo mismo con las tortugas. El método es el mismo y puede propagarse por observación. Se pudo observar que un macho comió parte de la tortuga, la metió en un hueco del árbol y regresó al día siguiente. Lo que sugiere que planificó con anticipación su comida.

Dos casos similares de cultura de la caza en los chimpancés y bonobos.

(1) Chimpancés: cultura de caza en las comunidades de Sonso y Waibira. /// Un trabajo de recopilación de 27 años de observaciones de chimpancés en el bosque de Budongo (Uganda) mostró que tenían modos de caza muy diferentes. Se estudiaron dos comunidades que comparten el bosque, pero cazan diferentes especies y parecen repartirse la comida de manera diferente. En la comunidad de Sonso se prefiere cazar monos colobo blancos y negros. Los encargados de la caza son los machos de alto rango y comparten la carne entre ellos. Se comen la médula de los huesos largos con la ayuda de herramientas (pequeños palitos) y partes del cerebro. En un caso, una hembra usó tres palitos en forma sucesiva para limpiar el interior del cráneo ingresando por las órbitas. En cambio, la comunidad de Waibira tiene preferencias diferentes. Cazan un duiker rojo (un antílope pequeño) y lo comparten entre todos. El reparto de carne en Sonso se basa en el rango, pero en Waibira los de menor rango pueden tener la prioridad y desplazar al macho alfa.

(2) Bonobos: cultura de caza en las comunidades de Kokoalongo y Ekalakala. /// En Kokolopori (RD Congo) se estudió durante cinco años a dos grupos de bonobos cuando salían de caza. Los dos grupos (Ekalakala y Kokoalongo) tenían vidas similares. El territorio era el mismo (60 km^2), dormían en nidos de ramas y hojas que hacen todos los días, pero cazaban cosas distintas. Los de Ekalakala buscaban un roedor (anomalía) similar a una ardilla y los de Kokoalongo un antílope (duiker). El estudio siguió mediante GPS a los grupos. Por ejemplo, en 59 cacerías, en cuatro años (2016-2020), los primeros cazaron 31 anomalías y 1 solo duiker y los segundos 11 duiker y 3 anomalías. Son dos grupos que explotan el ambiente de distinta forma. Esta preferencia no dependía del lugar, el momento, la temporada, el tamaño del grupo. Se trata de una característica cultural.

hormigas y termitas

Primera evidencia del uso de herramientas para pescar termitas. /// En Gombe, en 1960, se observó a un chimpancé (David) metiendo un trozo de hierba en un montículo de termitas y luego se las llevó a

la boca. Se encontró que las termitas mordían la hierba y quedaban atrapadas para comerlas. También se observó que recogían ramitas, quitaban las hojas y usaban los tallos para pescar insectos. Fue el momento en que el uso de herramientas dejó de creerse que era una exclusividad humana. Más tarde se encontró que hay aprendizaje y que las hembras aprenden antes y mejor que los machos. Una razón es que las hembras pasan más tiempo con las madres, mientras pescan, en tanto los machos pasan más tiempo jugando. De adultas, las hembras dependen más de las termitas y los machos de la caza.

Sobre la variedad de costumbres para la pesca de hormigas y termitas. /// En varios estudios se usaron las cámaras trampa para analizar al menos 39 comunidades de chimpancés salvajes. Algunos ejemplos de técnicas de pesca de hormigas y termitas son culturales.

-En Korup (Camerún) se apoyan en los codos para insertar palos en los montículos de termitas. Las termitas muerden los palos y los sacan. Luego sacuden los extremos de los palos en la boca.

-En Wonga Wongué (Gabón) yacen de costado e insertan sus palos sin sacudirlos. Al extraerlos, quitan las termitas con la boca.

-En Kayan (Senegal) se usan palos blandos y solo en nidos en el suelo. Después de morder el extremo del palo, los chimpancés tienden a apoyarse en un antebrazo, mientras pescan, y usan solo una mano para llevarse el palo con las hormigas a la boca.

-En Tai (Costa de Marfil) los chimpancés rara vez usan herramientas para pescar hormigas. Pero en Gombe (Tanzania) dependen casi exclusivamente de herramientas. La razón quizás es ecológica y no cultural. En Gombe, obtienen 760 hormigas por minuto y en Tai, solo 180.

La especialización en las herramientas para la pesca de hormigas. /// Parece que los chimpancés en Nimba (Guinea) se especializaron en usar una planta (*Alchornea hirtella*) para fabricar cañas que usan para pescar hormigas. Este arbusto delgado tiene brotes rectos que se convierten en herramientas. Se fabrican dos tipos de ramas. Una más gruesa permite cavar en el hormiguero para irritar a las hormigas. La otra más delgada (con hasta 70 cm de largo) se sumerge para obtener las hormigas que muerden la rama. Cuando está cubierta de hormigas, la sacan y con los dedos las extraen y la llevan a la boca. Las hormigas son una fuente de alimento de todo el año, en contraste con los frutos.

(F823) Caja de herramientas en Bili-Uéré, al norte o sur del río Uele (R.D. Congo). /// Un estudio recolectó 1.060 herramientas usadas para la caza de hormigas y recolección de miel. Se encontró que eligen las herramientas de acuerdo con el tipo de hormiga a cazar. En el lugar hay dos tipos de hormigas, las que viven sobre el suelo (epigeicas) y las que viven bajo la tierra (hipogeicas). Las epigeicas tienen patas largas, corren rápido e infligen picaduras dolorosas. Atacan en enjambres, por lo que son peligrosas. Otro tipo de hormigas son las intermedias que se alimentan en la hojarasca y se retiran a túneles cuando son atacadas por los chimpancés. Se encontró que las herramientas son diferentes, es una pesca selectiva. Esto permite una actividad sostenible ya que no fuerza a migrar a las colonias de hormigas. También se observó que los chimpancés reciclan y reúsan herramientas descartadas. Una evaluación general muestra que la cultura de chimpancés al norte de río Uele usa sondas largas y al sur, más cortas. Las varas para sacar miel también son diferentes. Durante el mismo

estudio se documentó el procesamiento de frutas de cáscara dura (*Strychnos*), tortugas y caracoles gigantes.

el triángulo de Goualougo

¿de qué se trata? El triángulo de Goualougo son 260 km^2 de bosque inexplorado en el P.N Nouabale-Ndoki (Congo). Es el último reducto de chimpancés y gorilas que no han tenido contacto alguno con el hombre. **///** Los estudios que se realizaron muestran que hay diferencias culturales entre los chimpancés de Goualougo y otras reservas. La razón parece que se debe al contacto humano. Es probable que los chimpancés que se creían en estado natural tengan conductas distorsionadas por la presencia humana cercana. Los chimpancés son criaturas sumamente adaptables, tanto en los bosques del Congo como en los áridos límites de la sabana de Senegal. Estudiarlos significa cambiarlos. En física, el principio de incertidumbre dice que medir (introducir un instrumento) modifica el estado y la medida. También, estudiar la conducta modifica la conducta.

Primer contacto: cuando los chimpancés descubren por primera vez al hombre. /// Se cuenta que en la primera incursión de científicos en Goualougo comenzaron a armar las carpas y escucharon a chimpancés que se acercaban. Los chimpancés se llamaban entre ellos y se congregaban en los árboles cercanos para ver animales que jamás habían visto. "Qué bueno" dijeron los científicos, y "qué malo" dijeron los guías indígenas que los acompañaban. Los chimpancés permanecieron toda la noche. Los orinaron, defecaron y tiraron palos desde los árboles sobre las carpas. Por la mañana, de a poco, se retiraron al interior del bosque y desaparecieron.

(F823) Una secuencia compleja en el uso de herramientas para cazar termitas.

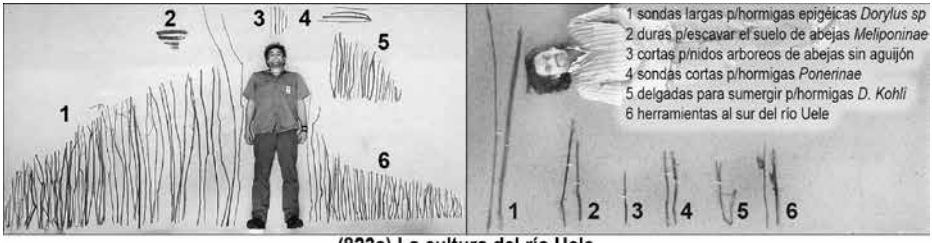
(1) Fabricar un pincel para pescar. /// Gracias al uso de cámaras trampa, se pudo filmar a una chimpancé hembra (Maya) pescando en un termitero. Se observó que llevaba varios tallos de plantas. Primero introdujo un palo grueso, lo sacudió con fuerza y ensanchó el hueco de entrada. Después eligió un tallo fino y flexible de una hierba (*Sarcophrynium*) y lo arrancó. Utilizó los últimos 15 cm del tallo y lo pasó entre los dientes, hasta lograr que la punta quedara mojada y deshilachada, como un pincel. Luego pasó la punta por el puño cerrado y alisó las cerdas. A continuación introdujo el tallo por el orificio del termitero y lo retiró. Se lo llevó a la boca y quitó las termitas que estaban pegadas en los bordes.

(2) /// Los científicos replicaron con sus manos el procedimiento de Maya. Probaron extraer las termitas con tallos sin modificar y modificados por los chimpancés. Observaron que atrapaban diez veces más termitas cuando el instrumento tenía la punta deshilachada.

(3) /// Esta elaborada técnica se enseña. Se pudo comprobar que el proceso cumple con los criterios para considerarlo enseñanza. Es decir, ocurre en presencia del alumno (la cría), tiene un costo para el tutor (trabaja más lento y entrega la herramienta) y mejora el rendimiento del alumno. **Así que fabrican sondas de pesca con punta de pincel a partir de materias primas específicas y enseñan esa técnica.**

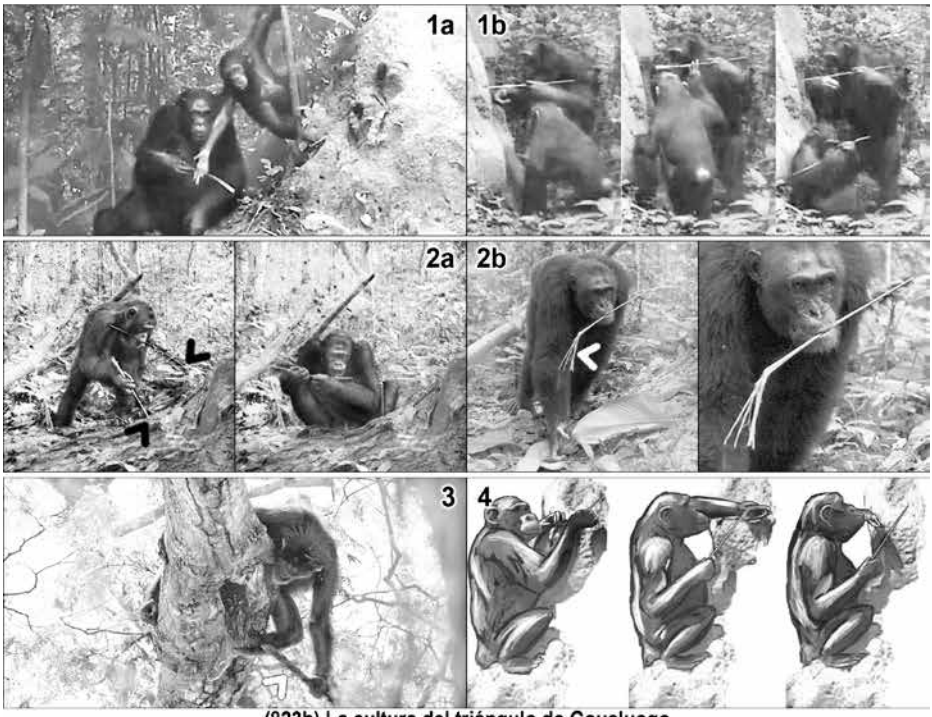
(F823) El uso y modificación de herramientas para obtener miel.

(1) /// El primer experimento con herramientas en chimpancés ocurrió en 1913, en Tenerife (España). Se colocó un plátano a suficiente distancia de los barrotes como para que no fuera alcanzado por el chimpancé. Se



(823a) La cultura del río Uele

(izquierda) Sondas para insectos y palos de excavación. La sondas (1-a-6) son palos para cavar miel y hormigas colectadas al norte del río Uele. Las sondas (5) son del sur del río Uele. Conclusión: largas al norte y cortas al sur. (derecha) Herramientas para diferentes trabajos.



(823b) La cultura del triángulo de Goualuogo

(1) Enseñanza madre-cría. La cría pide la herramienta (1a) y la madre puede cortarla o llevar 2 ramas (1b). **(2)** La caza de termitas. Pueden usar herramientas en serie (2a) o morder el extremo de la rama para hacer un pincel (2b). **(3)** Usan palos gruesos para machacar un panal y ramas finas para extraer la miel. **(4)** Una técnica cultural para insertar y extraer la rama del nido de termitas. La otra mano se cierra y recoge las termitas entre el pulgar y el índice. Se introducen en la boca.

le dejaron dos cañas cortas. El chimpancé probó, perdió el entusiasmo y se retiró. Al rato regresó de golpe, unió las dos piezas de caña y alcanzó el plátano.

(2) /// Cien años después, una observación única tuvo como protagonista a una hembra (Dinah) en Goualougo. Estaba jugando con su cría y, en un momento, vio

una nube de abejas (género *Melipona*) que salían de un hueco en el tronco de un árbol. Se puso en pie de un salto, partió una rama del tamaño de un brazo humano, empezó a golpear el tronco y arrancó la corteza en busca del panal interno. El eco de los golpes rítmicos resonaba en el bosque. Sostuvo el garrote con el pie y cambió de lugar. Arrancó un palito de una rama, lo introdujo en la colmena y lo movió como un cuchillo en el fondo de un tarro. Lo sacó, lo olió, verificó que no había nada y lo tiró. Aporreó un poco más el tronco. Repitió el proceso, utilizando en serie siete palitos distintos, obtenidos de las ramas. Después de doce minutos de trabajo, hundió un dedo y pareció obtener miel. En ese momento el macho alfa (Finn) bajó de una rama con el pelo erizado, cargó contra Dinah que dejó caer el palo y huyó. Esta observación única es valiosa porque utilizó, en la misma oportunidad, varias herramientas: un garrote grande para golpear y varias ramas pequeñas para pescar miel.

(F823) Compartir herramientas es una forma de enseñanza. /// Se encontraron diferencias en la tasa, probabilidad y tipos de transferencia de herramientas en las poblaciones de Goualougo y Gombe. En Goualougo la tasa de transferencia de herramientas fue tres veces mayor que en Gombe. Las madres de Goualougo transfirieron herramienta con mayor frecuencia ante una solicitud. También entregaron activamente herramientas a las crías. Estas cosas no se vieron en Gombe. La tasa de pedidos fue similar, pero en Gombe se negaban. Lo que se observa en los videos de cámara trampa muestra que las madres anticiparon la necesidad de las crías y tenían una estrategia para enseñar. Las madres podían traer varias herramientas a un nido de termitas, usaban una y cuando la cría se la pedía, la entregaba y tomaba otra. También se observó que, con una herramienta, la dividían y la repartían entre ambos. Así podían trabajar los dos. La transferencia de herramientas en Goualougo funciona como una forma de enseñanza. Alguien dijo*: **"enséñale a un chimpancé a pescar insectos y lo alimentarás toda la vida. Enséñale a usar herramientas y puede cambiar el curso de la evolución".***

ESTUDIO DE CASOS

72 cultura

primates (edad de piedra)

¿de qué se trata? En la historia evolutiva de los primates, en cuatro oportunidades se desarrolló una cultura de uso de las piedras como herramientas. Estas son: el capuchino en ambiente semiárido (Brasil), el macaco en ambiente costero (Tailandia), el chimpancé en la selva (Costa de Marfil) y los humanos en el ambiente lacustre. Quizás muchas otras pudieron existir y no quedaron evidencias. En Brasil hay rastros de 3.000 años y en Costa de Marfil de 4.300 años. Aunque estos registros arqueológicos son cercanos, no debe llevar a la confusión de que el uso de herramientas de piedra es un desarrollo reciente en los primates.

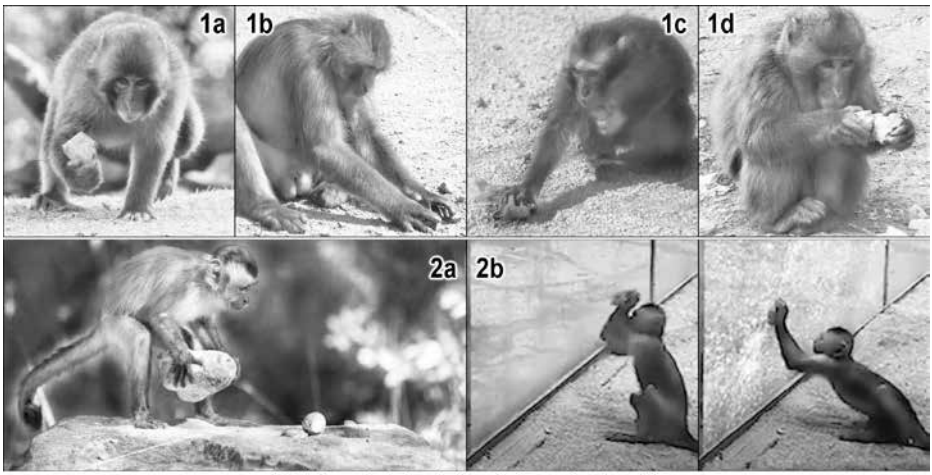
La edad de piedra en los humanos. /// Los estudios al oeste del lago Turkana (Kenia) muestra un nivel (LOM3) datado mediante cenizas volcánicas en 3,3 Ma. Se encontraron herramientas humanas donde el 76 % de las piezas son núcleos, yunques, piedras de martillo y adoquines trabajados. Fueron producidos por tareas de golpes. Como la fecha más antigua del género *Homo* es de 2,8 Ma, los fabricantes de herramientas de LOM3 debieron ser de otro género anterior (*Australopithecus*). En Dikika (Etiopía) hay huesos de animales de 3,4 Ma con marcas de corte infligidas con piedras. Si los rastros arqueológicos se propagan hacia atrás en el tiempo, puede ser que el uso de la piedra ocurriera antes de la separación entre humanos y chimpancés (género *Pan*).

(F824) Macaco japonés (*Macaca fuscata*)**: 45 patrones de manipulación de piedras**. **///** Un estudio de 35 años contabilizó 45 patrones de manipulación de piedras en forma lúdica. Los macacos las acumulan en una pila, esparcen, cargan, tiran o arrastran, empujan o frotan. Esta contabilidad incluye cada caso de juego con piedras en grupos en cautividad. Permite descubrir diferencias culturales entre poblaciones, variaciones entre individuos e influencias ecológicas en el aprendizaje.

capuchinos en Brasil

Los guacamayos comen el fruto de la nuez de palma abriéndola con el pico. Pero el capuchino toma una fruta madura, corta la punta, bebe el jugo y la abandona para que el tiempo la seque. Cuando está quebradiza, la lleva a una roca plana que usa de yunque, toma alguna roca del río y rompe la nuez a los golpes. Los jóvenes observan y aprenden en un largo proceso que dura unos ocho años. Se pudo demostrar que el aprendizaje se relaciona con una recompensa más que con la curiosidad y el juego.

(F824) Capuchino (*Sapajus libidinosus*)**: produce lascas similares a los humanos antiguos.** Un problema para los arqueólo-



(824) La edad de piedra de los primates (1)
(1) El macaco japones (*Macaca fuscata*) tiene 45 pátrones de manejo de piedras: (1a) lleva piedras, (1b) forma una pila, (1c) tira o empuja las piedras, (1d) frota dos piedras. **(2a)** El capuchino (*Sapajus libidinosus*) en Brasil rompe piedras y produce lascas similares a los humanos antiguos. **(2b)** En cautiverio pueden usar las piedras para romper todo tipo de objetos.

gos es que los yacimientos que abandonan son similares a los humanos y generan dudas sobre la autenticidad de otros hallazgos que se piensan humanos.

(1) Capuchinos en Serra da Capivara. En este emplazamiento se usan piedras para cascar frutos secos, escarbar buscando raíces y atraer la atención. Además, percuten una piedra contra otra para romperla. En la edad de piedra del hombre, la actividad de percutir permitía producir lascas para cortar carne, pero los capuchinos no parecen hacer esto. Se sabe que lamen la piedra en el suelo, quizás para buscar polvo mineral. También las usan para romper nueces. Toman una piedra, la levantan por encima de su cabeza y la bajan con todas sus fuerzas para machacarla contra otra clavada en el suelo. Salen esquirlas volando, lo bastante afiladas para cortar carne o plantas, pero el capuchino no las utiliza. Sin quererlo, el resultado son lascas que cualquiera confundiría con las herramientas de un yacimiento humano.

(2) /// Un estudio analizó 111 de estas esquirlas, observando la forma, tamaño y el tipo de marcas. Las piezas obtenidas presentaban una forma típica de cuchara, con bordes cortantes muy afilados. Estos son rasgos de las herramientas de factura humana. Las piezas obtenidas en Brasil parecen ser similares a los yacimientos de África oriental (primeras industrias líticas de Olduvai).

La arqueología de los capuchinos. Los estudios arqueológicos escarbaron debajo de los emplazamientos actuales en busca de evidencias del pasado.

(1) /// Al año 2020 los restos más antiguos son de 3.000 años de antigüedad. Lo interesante es que hay una secuencia temporal y evidencia de que los tamaños de las piedras variaron a lo largo del tiempo. Esto sugiere que se adaptaron para procesar alimentos de diferente dureza. Los 3.000 años de sedimentos datados por radiocarbono indican una etapa antigua que cambia hace

560 años. Antes, los capuchinos empuñaban adoquines pequeños que sufrieron daños de alto impacto. Desde hace 560 años hasta hace 300 años, manejaban piedras mucho más grandes, lo que implica que estaban persiguiendo alimentos más duros. Durante los últimos 300, años usaron la técnica actual.

(2) /// Un estudio en un horizonte de 700 años de antigüedad muestra restos que usaron para romper las nueces de anacardos. Las piedras usadas como yunques eran cuatro veces más pesadas que las usadas como martillo. Seleccionaban piedras de cuarcita duras y lisas como martillos y las areniscas planas como yunques. Los restos se obtuvieron al excavar unos 70 cm de profundidad, en la misma zona que usan los capuchinos actuales. Se encontraron un total de 69 piedras y se las clasificó de acuerdo con la forma y marca en yunques y martillos. Los residuos de color oscuro en las piedras eran de anacardos. El carbón permitió datar las piedras en 700 años, unas 100 generaciones de capuchinos. Esta estabilidad sugiere que son conservadores en el uso de la tecnología de piedra. Pero antes de procesar piedras se cree que las usaban sin modificar. Hoy los capuchinos abren las duras cáscaras de anacardos con adoquines de cuarcita redondeados, que varían en tamaño de 2 a 10 cm.

Los capuchinos de Boa Vista (Brasil) usan rocas para abrir nueces de palma. Parece que estos capuchinos son expertos en seleccionar las piedras, probándolas antes de usarlas. La evalúan y la abandonan si no parece útil. Cuando encuentran una nuez, buscan un yunque natural con la piedra como martillo. Pueden comerla de inmediato o dejarla para más adelante.

(1) /// En Fazenda Boa Vista los capuchinos procesan varias especies de nueces (*Astrocarpum*, *Attala, Attalea*), pero en la Fazenda Serra Grande procesan algunas otras especies de nueces (*Attalea, Syagrus*, *Hymenaea* y *Cnidoscolus*). Estos alimentos difieren en peso, grosor de la cáscara y complejidad estructural, lo que resulta en diferente resistencia al agrietamiento. Las piedras de martillo varían en peso (promedio superior a 1 kg), forma y tipo de roca (arenisca o cuarcita). En Rio Grande do Norte, los capuchinos trabajan las nueces de *Manihot* con piedras hasta catorce veces más livianas que las otras piedras de martillo.

(2) /// En un estudio de campo, se les dieron varias piedras artificiales de igual tamaño, pero de peso y de dureza diferente. Siempre eligieron las mejores piedras. Tomaban las piedras al azar y las probaban levantándolas o golpeándolas. Las herramientas ligeras fueron descartadas de inmediato. Solo en 39 de 377 ensayos no pudieron romper la nuez. Se les ofreció una piedra artificial grande y ligera y una pequeña y pesada, pero no fueron engañados. Se estimó que hay una densidad de solo veinte buenos martillos por hectárea, por lo que deben tener una habilidad de selección bien desarrollada.

macacos en Tailandia

(F825) Macaco cola larga (*Macaca fascicularis*)**: rompe ostras, cangrejos y mejillones.**

(1) Dos lugares, dos posibles culturas. /// Un estudio en dos lugares en la costa de Tailandia permitió obtener 115 herramientas de piedra. Los macacos usan la piedra caliza como materia prima. Pero, mientras los macacos de Boi-Yai usan herramientas pesadas, los de bahía de Lobi usan más livianas. También tienen un mayor número de patrones de desgaste, lo que supone que las usan muchas veces y en va-

rios tipos de presas. Con la marea baja, los macacos ingresan a la playa, rompen ostras abiertas, le desalojan la mitad del caparazón con una piedra y le sacan la carne con los dedos. Una buena piedra se mantiene durante todo el tiempo de alimentación (promedio nueve ostras, con un máximo de 63 piezas) y luego es abandonada en el lugar, a un máximo de 100 m de distancia.

(2) La contabilidad de alimentos. /// Los macacos procesaron con piedras 47 especies de alimentos. El 83 % de los restos en la orilla del mar es de cuatro tipos: ostras (*Saccostrea cucullata*), caracoles (*Nerita sp.* y *Monodonto labio*) y taladros (*Thais bitubercularis*). El resto son otros bivalvos, gasterópodos marinos, crustáceos y semillas de plantas costeras como almendras marinas (*Terminalia catappa*).

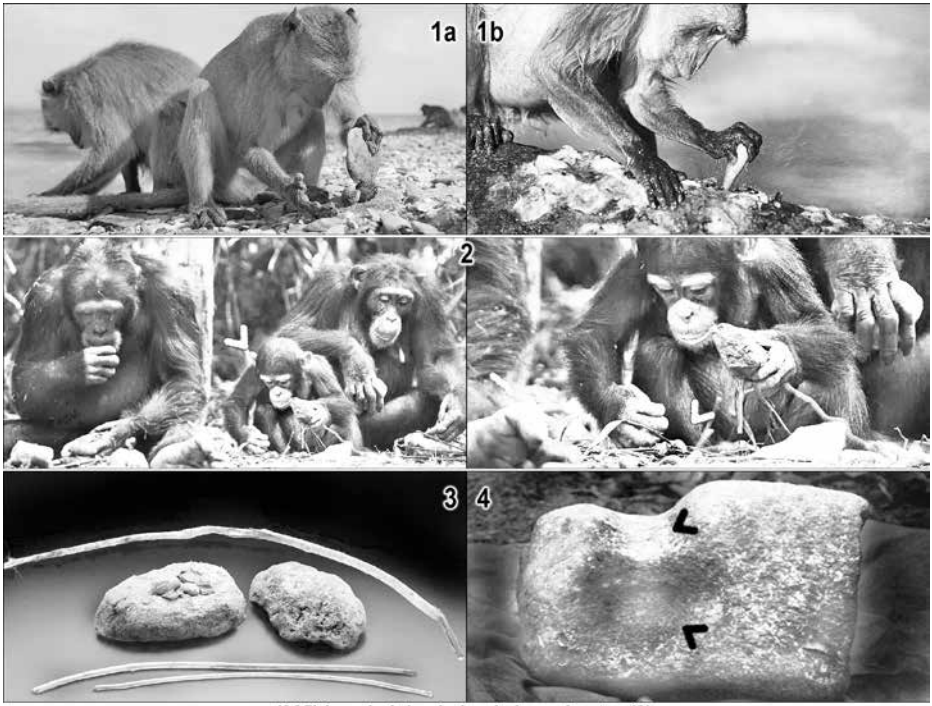
(3) El catálogo de herramientas. /// Un proyecto de campo de ocho años en el P.N. Laem-Son, catalogó las herramientas de piedra (cara plana, bordes estrechos y la punta). Luego, clasificó los patrones de acción (uso de las manos, postura y movimiento de golpe). Se estudiaron 600 usos de herramientas en 90 individuos. El 80 % de los macacos usaban herramientas. Cada macaco empleó entre 1 y 4 formas de uso, sobre un total de 17 en toda la población. Lo más frecuente consistió en un golpe con una mano, mediante una piedra con punta. Se usó sobre ostras fijadas a la roca y con un golpe de precisión. Otra alternativa fue el martilleo (con una o dos manos) usando piedras más grandes (con las caras y bordes) para romper mariscos libres. Estos mariscos requieren el uso de un yunque de piedra.

El impacto ambiental: más consumo, menos mariscos. /// En un reporte se encontró que los mariscos están siendo afectados por los macacos. Las ostras (*S. cucullata*) y los bígaros tropicales (*Planaxis sulcatus*) se están reduciendo en tamaño y abundancia. La isla Koram es la que tiene una mayor población de macacos y es la más afectada. En esta isla usan herramientas más pequeñas, quizás por la reducción de tamaño, debido al alto consumo. Podrían incluso llegar a un punto donde dejen de usar piedras.

Están empezando a usar piedras para abrir nueces de palma. /// En otro reporte se encontró que las herramientas de piedra no solo se usan en la orilla del mar. Parece que están comenzado a usar piedras para abrir nueces de palma aceitera más tierra adentro. Se filmaron macacos usando piedras como martillos y una piedra lisa como yunque, para abrir nueces de palma. Lo interesante es que el cultivo de palmas en la zona tenía trece años cuando se realizó la primera observación. Lo que sugiere que se trata de la primera generación de macacos que usa esta técnica.

chimpancés en Costa de Marfil

La arqueología de nueces y piedras de 4.300 años. El caso de la cultura lítica antigua en los chimpancés se conoce antes del caso de los capuchinos. Confirma que también los chimpancés tienen su propia Historia. Una vez que el uso de herramientas se vuelve habitual, puede continuar a perpetuidad. De esta forma, la herencia cultural puede tener una profundidad de tiempo comparable a la evolución genética. Es lógico pensar que muchas costumbres sean muy antiguas (las que están muy distribuidas) y que muchas otras fueron fugaces en el tiempo y se perdieron. **///** El estudio en Nuolo (Costa de Marfil) encontró 206 piedras y una multitud de lascas. En



(825) La edad de piedra de los primates (2)
(1) El macaco cola larga (*Macaca fascicularis*) rompe ostras, cangrejos y mejillones en las playas de Tailandia. **(2)** Este chimpancé enseña a la cría el uso de piedras para romper nueces en Costa de Marfil. **(3)** En Bossou (Guinea) usan yunque y piedra como martillo para partir nueces. Tambien usan ramas para hormigas y lanzas. **(4)** Martillo de piedra de granito con dos áreas de desgastes por el uso para romper nueces panda. El tamaño del desgaste refleja el tamaño de la nuez.

esta zona no había poblaciones estables de humanos, por lo que no pudo adquirirse por imitación. Además, se encontraron nueces que formaban parte de la dieta de los chimpancés, pero no de los humanos. Las rocas proceden de afloramientos locales en su mayoría de granito. La técnica usada era la percusión con martillos que golpeaban sobre tocones de árbol u otras rocas. Se los tomaba con las dos manos, con un movimiento de arriba abajo, para golpear los frutos secos. Algunas nueces necesitan, para partirse, una fuerza de compresión de más de 1.000 kg, lo que indica que no es una técnica simple. Los martillos se abandonaban cuando ya estaban gastados. Los chimpancés actuales tardan siete años en dominar la tecnología. No hay observaciones en campo de talla de piedras, aunque en cautividad aprendieron.

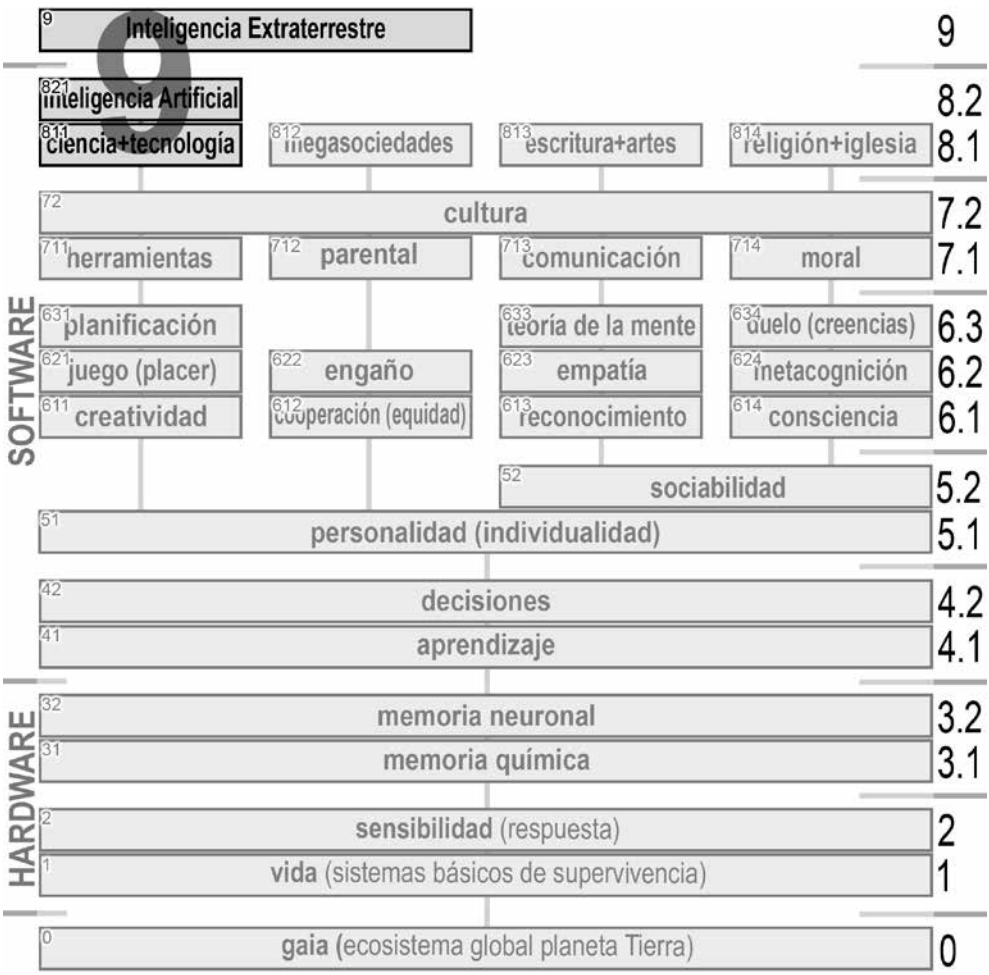
(F825) La cultura de piedra en Costa de Marfil sigue activa. Los chimpancés actuales en Costa de Martil usan piedras para romper nueces de la especie coula (*Coula edulis*). Sin embargo, en el mismo lugar, otros grupos lo hacen con palos. **///** Los estudios encontraron tres culturas superpuestas, una con piedras, otra con maderas pequeñas y la tercera con palos adaptados a la dure-

za de la nuez. Son grupos adyacentes que están en contacto regular y no tienen diferencias genéticas. La elección del método se mantuvo cuando algún chimpancé se movía entre una comunidad y otra. Las hembras abandonan su grupo nativo para emigrar a otro, una vez en la vida, en la pubertad. Entonces, adquieren el método de su comunidad adoptiva, pese a ser expertas en el sistema anterior. Es una decisión que favorece la integración y evita llamar la atención.

Monos mangabey (*Cercocebus atys*): **roban las nueces de los chimpancés. ///** En el P.N. Tai (Costa de Marfil) se observaron 190 eventos de rotura de nueces, en cuatro áreas diferentes, por parte de los chimpancé. El estudio de cada caso confirmó que los mangabey hurgaron en las nueces agrietadas, un alimento prohibitivo para ellos. Una especie de nuez (*Panda oleosa*) debe ser agrietada por chimpancés con piedras. Los mangabey no pueden abrirlos con los dientes y deben robar. Los monos se mostraban muy alterados, vigilando los alrededores distantes, lo que sugiere que perciben el peligro, porque los chimpancés cazan monos. Están en el dilema entre aprovechar la oportunidad y el riesgo que asumen. Esto implica que conocen el riesgo y juzgan cuándo están seguros.

Los chimpancés de Bossou (Guinea) rompen nueces. En Guinea, vecina a Costa de Marfil, las nueces de palma son las más fáciles de romper. Procesan palma aceitera (*Elaeis guineenis*), panda (*Panda oleosa*) y coula (*C. edulis*). De acuerdo con la dureza, seleccionan el tamaño y material de la piedra y yunques. Usan granito, cuarzo o diorita. Pero con nueces de panda, que son más duras, usan piedras de granito más grandes. En el bosque de Tai se usan martillos y yunques de piedra o de madera (raíces de árboles más suaves). En la medida en que las nueces de coula se vuelven menos duras con el avance de la temporada, usan martillos de madera en lugar de piedra por la facilidad de encontrarlos.

Bonobos: no usan piedras pero aprenden. /// En la naturaleza, los bonobos no usan piedras como herramientas. Sin embargo, los rehabilitados nacidos en la naturaleza se convirtieron en eficientes cascadores de nueces. Se observó en 18 bonobos durante dos décadas en Lola-ya (RD Congo). Se documentaron quince formas de agarre de piedras como martillo, de las cuales diez no se observaron en ningún otro primate. Se encontró que tienen una mano preferida y, en su mayoría, son diestros. La contabilidad indica que parten más nueces por minuto que los chimpancés de Bossou (Guinea).


9
Inteligencia Extraterrestre
9
821 Inteligencia Artificial
811 ciencia+tecnología
812 megasociedades
813 escritura+artes
814 religión+iglesia
8.2
8.1
72 cultura
7.2
711 herramientas
712 parental
713 comunicación
714 moral
7.1
SOFTWARE
631 planificación
633 teoría de la mente
634 duelo (creencias)
6.3
621 juego (placer)
622 engaño
623 empatía
624 metacognición
6.2
611 creatividad
612 cooperación (equidad)
613 reconocimiento
614 consciencia
6.1
52 sociabilidad
5.2
51 personalidad (individualidad)
5.1
42 decisiones
4.2
41 aprendizaje
4.1
HARDWARE
32 memoria neuronal
3.2
31 memoria química
3.1
2 sensibilidad (respuesta)
2
1 vida (sistemas básicos de supervivencia)
1
0 gaia (ecosistema global planeta Tierra)
0

MODELO DE CAPAS

81x *Homo sapiens*

¿de qué se trata? Las capas relacionadas con el *H. sapiens* (Capas 812, 813 y 814) no son materia de estudio sistemático en este libro. Aquí solo se analizan los aspectos más importantes que dieron lugar a la especie animal más inteligente del planeta. Nuestra especie está dando lugar a lo que podría ser, en el futuro, una inteligencia artificial (Capa 821). Por el momento (año 2021) se puede definir como aprendizaje automático, lo que es una etapa previa a la inteligencia artificial. Nuestra especie es la más inteligente del planeta Tierra y se desconoce aún si es la más inteligente del universo o hay otras inteligencias que no comprendemos (capa 9).

La separación de linajes entre humanos y chimpancés. El registro fósil no es confiable, es pobre y difícil de interpretar. Pero, con el *Australopithecus afarensis* datado en 3,85 Ma, la separación con el chimpancé puede estimarse en más del doble.

(1) Los chimpancés y humanos. /// Un estudio escaneó el genoma de 78 niños humanos y sus padres para contar el número de mutaciones. Se estimó un promedio de 36 mutaciones nuevas por generación. También se calculó la duración de una generación en los chimpancé (edad promedio de reproducción). Se usaron datos de 226 crías de ocho poblaciones de chimpancés salvajes. El resultado fue de 24,5 años por generación. Con esto se estimó que el linaje humano se separó del chimpancé entre 13 y 7 Ma. La familia *Hominidae* ocupa los géneros *Homo* y *Pan.*

(2) El inicio del *Homo sapiens.* El género *Homo* aparece hace 2,5 Ma (con *Homo habilis*), pero la especie *Homo sapiens* es más reciente. **///** En 1987 se publicó el estudio de 147 genomas mitocondriales de humanos vivos de todo el planeta. Las mitocondrias se heredan solo de la madre, y el estudio indicó que todos los humanos vivos descienden de una mujer llamada "Eva mitocondrial". Se le atribuyó unos 200.000 años y vivió en África. Esta "Eva" no es la primera *H. sapiens,* es solo el ancestro común de todos los humanos vivientes. Hoy, con los restos más antiguos en Marruecos, los fósiles llevan el origen de la especie entre 350.000 y 260.000 años.

(F901) La inteligencia de Lucy. Hay varias formas de estimar la cognición, puede ser el volumen cerebral, la relación cuerpo/

cerebro, la cantidad de neuronas (tamaño del cerebro) y la cantidad de conexiones (sinapsis). Una mayor actividad sináptica se correlaciona con mayor procesamiento de información. Aunque el cerebro humano actual ocupa el 2 % del peso corporal, utiliza el 15-20 % de la energía y requiere el 15 % de la sangre del corazón. Además, el cerebro humano usa el 70 % de la energía en la actividad sináptica.

(1) /// Un estudio calculó la tasa de flujo sanguíneo en la parte cognitiva del cerebro. Se trabajó con el tamaño de los agujeros en el cráneo por donde pasan las arterias que suministran sangre. Se aplicó a 96 cráneos de grandes simios y 11 cráneos de *Australopithecus*. Los cerebros del chimpancé y orangután tienen un volumen de 350 cm^3, el gorila y australopitecus es de 500 cm^3. Sin embargo, el australopitecus tenía el 70 % del flujo sanguíneo de un chimpancé y el 50 % del gorila. Es decir, un gorila tiene un cerebro con más flujo que Lucy (*A. afarensis* de 3,5 Ma), nuestro antepasado más famoso. La tasa de flujo sanguíneo de la arteria carótida interna parece ser proporcional al tamaño del cerebro. Si el tamaño del cerebro se duplica (x2), entonces la tasa de flujo se duplica (x2), mientras que, en otros órganos, el valor es menor (x1,7). Esto sugiere que la intensidad metabólica del cerebro de los primates (energía consumida por gramo de materia cerebral) aumenta más rápido que el resto. En la línea que lleva al hombre, el aumento es mayor aún. Entre el *Ardipithecus* (4,4 Ma) y el *Homo sapiens* el cerebro aumento x5 y la tasa metabólica x9.

(2) /// Otro trabajo utilizó un sincrotrón para tomar imágenes de alta resolución del cráneo y dientes de un niño de *A. afarensis* (3,5 Ma). Se determinó que tenía un cráneo un 20 % más grande que el chimpancé. Se encontró un pliegue en el tejido en la parte posterior del cerebro que se encuentra en la misma posición que en un chimpancé. Se concluyó que la huella cerebral de *A. afarensis* era "simiesca".

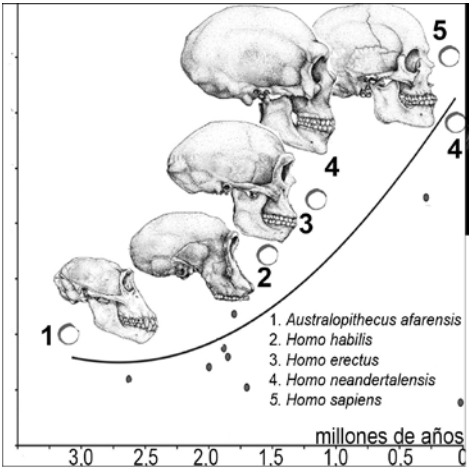
La diferencia en el genoma.

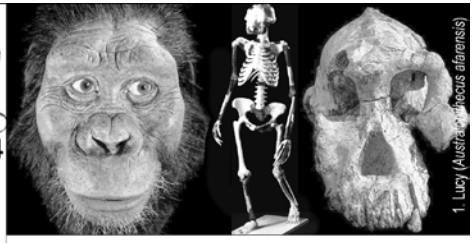
(1) Poca, pero importante. Los genomas de humanos y chimpancés difieren en poco más del 1 %, muy poco en porcentaje, pero son 30 millones de mutaciones de diferencia. Esto significa que el 80 % de los 25.000 genes humanos están afectados por mutaciones. Por ejemplo, la proteína producida por el gen humano *FOXP2* ayuda a hablar y difiere del chimpancé en dos aminoácidos. Otro elemento es la regulación genética, cuándo y dónde se expresan los genes durante el desarrollo. La alteración en la expresión de un gen puede conducir a una innovación exitosa.

(2) No es la cantidad de genes. El protozoo patógeno *Trichomonas vaginalis* tiene unos 60.000 genes contra 25.000 de los humanos. Si funcionara con el mismo nivel de complejidad, debería ser un organismo muy complejo. Cuando se inició el proceso de secuenciación, se esperaban diez veces menos genes, pero se encontró que muchos están duplicados y otros son seudogenes (similares a genes pero que han perdido la capacidad de codificar proteínas).

las revoluciones humanas

La revolución cerebral. Por peso (1,5 kg) el cerebro humano es inferior al elefante y cachalote. Pero por relación cerebro/cuerpo es unas ocho veces más grande de lo esperable para un mamífero del mismo tamaño. Esto no significa mucho. Por ejemplo, la proporción cerebro/cuerpo de un mono capuchino es mayor a la del gorila, pero los gorilas parecen más inteligentes. Por cantidad





(901) Cerebros en los últimos 3,5 Ma
Hace 7 Ma se separó la línea humana de los chimpancés. El género *Australopithecus* (4,2-2,2 Ma) tiene su mejor representante en *A. afarensis* ("Lucy"). El género *Homo* se inicia hace 2,5 Ma. Los más conocidos son *H. habilis* (2,0-1,4 Ma), *H. erectus* (1,9-0,2 Ma), *H. neandertalensis* (0,5-0,05 Ma) y *H. sapiens* (0,3-0 Ma).

de células, el cerebro humano tiene 85.000 millones de neuronas, quizás la mayor cantidad de cualquier animal. Las habilidades humanas se atribuyen a las neuronas en la corteza cerebral, la capa externa y arrugada del cerebro. La diferencia parece estar en la potencia que brindan los 16.000 millones de neuronas en la corteza.

(1) /// Una hipótesis dice que hace 4-3 Ma ocurrió un cambio genético que permitió que el cerebro multiplicara por tres la cantidad de neuronas. Comparado el cerebro humano y el de los monos, se destaca un gen (NOTCH2NL) que no se encuentra en los monos. Este gen controla la producción de neuronas, porque mantiene las células madre, más tiempo activas. Esto coincide con el registro fósil, que muestra los cráneos humanos que comienzan a expandirse después de la aparición del gen.

(2) /// El músculo que da el mordisco ejerce mucha fuerza en todo el cráneo, lo que limita el crecimiento del cerebro. Hace unos 2,5 Ma este músculo se debilitó por una sola mutación y se abrió el camino para que el cerebro se expanda. Hace 2 Ma aparecen las herramientas para matar que aportan carne a la dieta. El uso del fuego dio una contribución importante, para ablandar la carne, reducir la mandíbula y aumentar el cerebro.

La revolución cultural. /// Una hipótesis dice que el éxito humano proviene del impulso coordinado de la evolución cultural y genética. Hace 1 Ma el aprendizaje de las generaciones anteriores era más importante que el autoaprendizaje, con lo cual se convirtió en una especie cada vez más dependiente de la cultura. La selección favorecía a quienes eran buenos aprendices culturales en la fabricación de herramientas, armas, control del fuego, cocinar y vestir, junto con las normas sociales. Se evolucionaron estómagos pequeños y dientes diminutos, al depender de la cocina. Las piernas largas y glándulas sudoríparas beneficiaron el trabajo durante el calor y la persecución de largo aliento. El cerebro creó imitadores prolíficos, espontáneos y automáticos. La hipótesis de una revolución cultural tiene sus raíces profundas en muchas especies animales. Como en otras revoluciones humanas lo importante es el grado y la incorporación de muchas temáticas culturales.

La revolución lingüística. Muchos animales se comunican con eficiencia, y los humanos llevaron esta habilidad a un nivel superior, mediante el habla y la escritura. Los Neanderthal pueden haber tenido la anatomía, la facilidad acústica y la inteligencia cognitiva para el lenguaje humano. Esto empuja los orígenes del lenguaje hablado humano atrás en el tiempo hacia medio millón de años.

(1) /// Una teoría decía que, a pesar de las diferencias entre las 7.000 lenguas actuales, todas operan en una "gramática universal" común. Esto supone que la capacidad de gramática es genética, que ninguna otra especie tiene lenguaje, y que surgió de manera repentina, por una mutación, hace máximo 80.000 años, justo antes de la dispersión fuera de África. Hoy sabemos que el aprendizaje conceptual y lingüístico tiene mecanismos compartidos con primates y otros animales (aves y cetáceos). El consenso emergente es que la adquisición del lenguaje puede ocurrir sin un plan innato para la gramática.

(2) La torre de Babel en una isla. /// En los humanos actuales podría pensarse que los nuevos idiomas aparecen por aislamiento y selección natural. Pero no es así. En todo el planeta se hablan unos 7.000 idiomas, solo una fracción de los que se han hablado. Mientras que cualquier chimpancé en África sabría cómo comunicarse con otro chimpancé en cualquier lugar, en la región costera nordeste de Papúa, Nueva Guinea, esto parece imposible para los humanos. Los habitantes de Korak, que viven justo al lado de Brem, que están cerca de Wanambre, todos hablan lenguas diferentes. Si el lenguaje humano evolucionó para comunicarse, ¿cómo se llegó a esta situación? La mayor diversidad de idiomas surge donde los grupos están más juntos. En esa isla, hay entre 800 y 1.000 idiomas distintos. Esta diversidad lingüística no es fruto de la migración y el aislamiento. Las personas parecen haber optado por separarse hasta ser incapaces de hablar entre sí. Los idiomas actúan como anclajes sociales de nuestra identidad tribal y en forma xenofóbica para con los extraños. Cualquiera que hable un dialecto, anuncia la adhesión a los valores y la historia cultural compartida. Donde los diferentes grupos viven cerca, los idiomas evitan las escuchas. Por ejemplo, un grupo de hablantes de la aldea de Selepet cambió su palabra de "no" desde "*bia"* hacia *"bune*" para diferenciarse de una aldea cercana. Otro grupo revirtió todos sus sustantivos masculinos y femeninos: el hombre se convirtió en mujer, la madre se convirtió en padre, etc.

La revolución alimentaria. Los homínidos y chimpancés (género *Pan*) se separaron hace más de 7 Ma. El chimpancé (*P. troglodytes*) y el bonobo (*P. paniscus*) se separaron hace menos de 2 Ma. La línea humana perfeccionó el consumo de alimentos cocidos. En los chimpancés salvajes, se observó que saben sobre el fuego y el calor y que llegan a guardar comida si estiman que tendrán fuego más tarde. Cocinar atrae una multitud, creando oportunidades para el robo de alimentos. Un chimpancé que tuviera el cerebro del humano y régimen de simio debería dedicar todas las horas de luz a buscar comida. Los chimpancés se alimentan casi de continuo. Los gorilas y orangutanes comen nueve horas al día. Se necesitaba una revolución en la alimentación para dar energía a un cerebro como el humano.

(1) Mejor frutas que hojas. /// Cuando se estudió el tamaño del cerebro y la dieta en 140 especies de primates, se encontró que los comedores de fruta tienen cerebros más grandes. Podría ser que los individuos más capaces sean mejores forrajeadores. Se puede tener un cerebro más grande solo si

se cubren los costos metabólicos. Las frutas son ricas en azúcar y suministran más energía que las hojas.

(2) /// En la línea de los homínidos, la dieta de *A. anamensis* (4 Ma) incluía alimentos típicos de ambientes abiertos: semillas y hierbas, frutas y tubérculos. Es el resultado de estudiar la microestructura y grosor del esmalte, y el tamaño y morfología de los dientes. También se usaron vestigios microscópicos de plantas (fitolitos) y otros elementos externos (arena, polvo). El resultado es similar a especies como los babuinos que viven en áreas de sabana arbustiva con una marcada influencia estacional. En tanto, Lucy con 3,5 Ma tenía una dieta frugívora y más suave, como los actuales chimpancés y gorilas.

(3) Mejor carne cocida que cruda. /// Parece que hace 1,9 Ma se produjeron cambios en la alimentación. El *Homo erectus* tenía dientes y un cuerpo más pequeños y un cerebro más grande. Puede ser que estos cambios se produjeran por la comida cocida. El *H. sapiens* no podría existir sin comida procesada. En una cueva en Sudáfrica (1 Ma), las huellas de cenizas sugieren que los homínidos controlaban el fuego. Los fragmentos de huesos quemados indican que comían carne. Los neandertales de hace 250.000 años hacían fogones con huesos quemados y, por la placa dental, se sabe que completaban la dieta con hierbas. El *H. sapiens* de hace 20.000 años producía ollas cuyas marcas de quemaduras y hollín apuntan a su uso como utensilios de cocina.

(4) /// En un centro de rehabilitación de chimpancés en Tchimpounga (Congo) se experimentó con variantes de comidas. Se entregaron rodajas de camote crudo y 2 aparatos. Uno devolvía la comida cruda y el otro la devolvía cocida. Para evitar el peligro de usar una cocina real, el dispositivo escondía a un experimentador que simulaba el proceso. Se encontró que gustan de la comida cocida, que guardan los alimentos crudos en previsión de poder cocinarlos y que esperan un tiempo razonable (pagan un costo) para obtener el cambio de comida. Se estudiaron 9 diferencias y se encontró que llevaban la comida cruda de un lado a otro de una jaula para ponerla en el dispositivo. Se encontró que algunos tenían las habilidades básicas para cocinar.

La revolución doméstica. Las megasociedades humanas fueron posibles gracias a la (auto)domesticación de los humanos y de la flora y fauna vecina. La domesticación es un proceso de selección genética debido a la cría selectiva. En algunos casos, los humanos quitaron un animal de su ambiente natural para controlar su ciclo de vida. Pero en otros, fue una relación de mutua domesticación. Los animales domesticados ofrecen recursos renovables (energía, transporte, abrigo, alimento, estiércol, grasa, protección). Son una fuente móvil de riqueza, que se transporta por sí mismo. Como entre los animales, los humanos aislaron a las personas que tenían una sobredosis de agresión. Las habilidades sociales más complejas habrían llevado a la (auto)domesticación humana y animal. Una vez seleccionados para la mansedumbre, los *H. sapiens* se observan domesticados frente a los neandertales, con rostros más cortos, cejas más pequeñas y caras similares entre machos y hembras.

(1) El ratón se (auto)domestica. /// El ratón es un caso de interés porque es un animal doméstico no buscado. Para un estudio se recolectaron 272 dientes de ratón de 14 sitios arqueológicos en Israel, que datan de 200.000 a 10.000 años. Se identificaron dos especies, el doméstico (*Mus musculus domesticus*) y el silvestre (*Mus macedonius*). El ratón doméstico aparece hace 15.000 años en los asentamientos

humanos desplazando al silvestre. En estos asentamientos se construían casas de piedra con hogares y se enterraba a los muertos. Pero continuaban cazando y no cultivaban. Unos 3.000 años más tarde, estos habitantes (Natufianos) regresaron al estilo de vida móvil por temporada. Entonces, los ratones domésticos fueron reemplazados por los silvestres. Hace unos 11.500 años, se inició la agricultura y los pobladores se volvieron sedentarios. Otra vez, los salvajes fueron reemplazados por domésticos. Esto muestra un fuerte vínculo entre la movilidad de las personas y las especies de ratones que viven con ellos. Las ventajas eran una dieta más flexible, la tolerancia al estrés y una mayor agilidad, gracias a colas más largas.

(2) /// En un estudio se ofreció a una población de ratones silvestres un granero con agua y comida. Cuatro años más tarde, los ratones comenzaron a desarrollar pequeños parches de pelo blanco. Diez años más tarde (2016), los parches blancos se generalizaron y el tamaño de la cabeza se redujo en 3,5 %, debido a los hocicos más cortos. La causa estaría relacionada con la cresta neural, un grupo de células involucradas en el desarrollo temprano. Darwin llamó a esto "síndrome de domesticación". La coloración de blanco y negro (cambios de pigmentación) es un efecto secundario no buscado de la selección por la docilidad.

La revolución bacteriana. Los microbios también sufrieron cambios durante el proceso de domesticación. Por ejemplo, la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) es un hongo unicelular que el hombre usó por milenios para hacer cervezas, vino y pan.

(1) En la naturaleza, la levadura se propaga sobre frutas maduras y podridas. **///** Una especie de levadura silvestre de la Patagonia (*S. eubayanus*) permitió estudiar la evolución. Los resultados muestran que la fabricación de cerveza llevó a la levadura, varias veces, por procesos de domesticación. Una innovación cervecera (cerveza lager del siglo 15) ocurrió en Baviera con una cepa híbrida de dos especies (*S. cerevisiae* y *S. eubayanus*). Hoy, esta cepa ocupa el 94 % del mercado global de la cerveza. En otro estudio, se analizó el genoma de 157 cepas de levadura. Se encontró que, en el proceso de domesticación, la levadura perdió la capacidad de reproducción sexual e incrementó el metabolismo de azúcares. Dos ejemplos de cambios en el genoma que se realizaron sin saber de su existencia.

(2) /// La mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) se alimenta de la levadura, de donde obtienen proteínas. La levadura atrae a las moscas y luego tiene un viaje de dispersión. El gen ATF1 de la levadura de cerveza produce químicos (ésteres de acetato aromáticos) que atraen a las moscas. Esto le da, a la cerveza y el vino, sus aromas distintivos y atractivos.

MODELO DE CAPAS

821 inteligencia artificial

¿de qué se trata? La inteligencia artificial IA se puede considerar un *spin-off* de la capa de ciencia y tecnología humana, una rama de la cultura. Es un desprendimiento que se inició a mitad del siglo 20 y despegó cuando el poder de cálculo de los computadores superó cierto umbral, en la década del 2010. En el modelo de capas, esta inteligencia se encuentra como una parte de la cultura, aunque con posibilidades de independizarse y seguir su propio camino, lo cual genera cuestionamientos éticos. Para algunos la IA tiene potencialidad para superar la inteligencia biológica humana.

¿qué está pasando? Conviven diferentes visiones sobre lo que está ocurriendo. Por ejemplo, para unos, la IA es mucho menos de lo que parece; para otros, es un peligro para el futuro; otros auguran que harán cosas maravillosas, etc. **///** Una visión optimista observa que, desde hace 3.500 Ma, la vida lleva un proceso continuo de copiar, variar y seleccionar genes. Sería la "vida versión 1.0" basada en genes. Hace unos 100.000 años, se inicia el proceso de replicación, variación y selección de los memes (unidad de medida de la cultura en los humanos). En esta fase de "vida v.2.0" se genera un árbol evolutivo de conductas y se acopia una biblioteca cultural. Ahora, se estaría viviendo una nueva forma de información de tipo binario, con procesos electrónicos en lugar de memes analógicos. Sería la "vida v.3.0" con un nuevo tipo de maquinaria de copiado, variación y selección, las computadoras en lugar de los cerebros. Sería el nacimiento de un tercer proceso evolutivo. Se estaría introduciendo una nueva especie inteligente en la Tierra y con capacidad para serlo tanto o más que la humana.

Sobre la velocidad de introducción. /// Una encuesta del 2015 buscaba conocer el consenso entre 352 expertos que publicaron artículos sobre IA. Se consultó sobre el futuro de la IA y se calculó la probabilidad de ocurrencia de objetivos. Por ejemplo, habría un 50 % de probabilidad de que las máquinas sean mejores que los humanos en: traducir idiomas, en el 2024; escribir ensayos simples, en el 2026; conducir un camión, en 2027; trabajar en el comercio minorista, en el 2031; escribir un libro *best seller*, en 2049; hacer cirugía, en el 2053. Llegar a que las máquinas superen a los humanos en todas

las tareas, en el 2060, y que todos los trabajos humanos se automaticen para el 2140.

evolución de la IA

El origen de la IA. El inicio ocurre en los años de 1950. Se produjeron prototipos en el reconocimiento del habla, traducción de idiomas, soluciones de problemas matemáticos y robots simples. Pero las promesas eran demasiado ambiciosas para la tecnología del momento.

(1) Los próximos 50 años, se alternaron períodos de "invierno" con otros que financiaron desarrollos puntuales. Siempre con grandes promesas y pequeñas realidades. Uno de los problemas era que se trataba de "monocultivos de ideas" centradas en el "aprendizaje basado en reglas" que trataba de emular el razonamiento humano. Por ejemplo, el proyecto de "quinta generación", en Japón, introdujo máquinas lógicas de alto rendimiento. No fue hasta los años de 1990 que la IA usó el "aprendizaje automático" con algunos éxitos y una buena dosis de exageración. En 1997 la máquina Deep Blue (de IBM) derrotó al campeón de ajedrez con esa técnica de aprendizaje y tuvo un momento de fama.

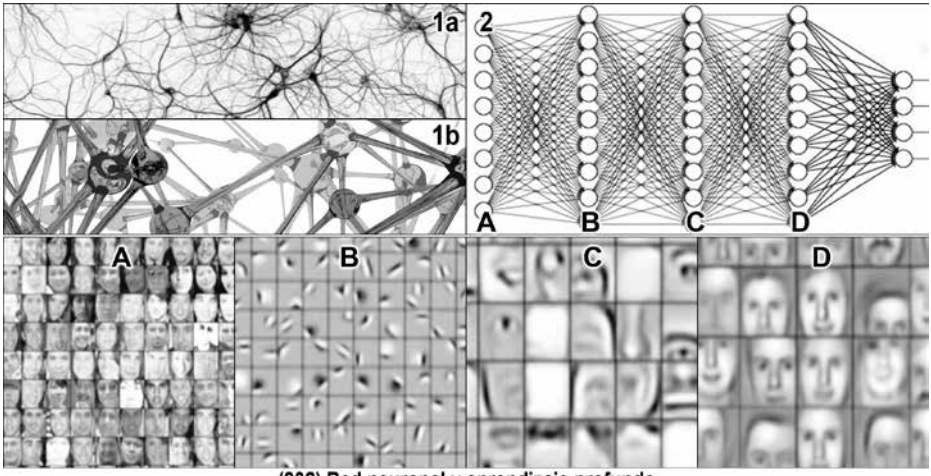
(2) En 2012, todo cambió cuando apareció el "aprendizaje profundo". Esta técnica trabaja con colecciones de algoritmos que filtran información en una jerarquía llamada red neuronal. Esta red se basa en capas que están interconectadas gracias al aprendizaje. El aprendizaje profundo se entrena con millones de datos. El aporte de datos es una limitación de la actual IA. En 2012 una red neuronal pudo reconocer caras de gatos en los videos de YouTube, a pesar de que nunca había sido entrenada en gatos. Una red neuronal puede identificar un gato, pero no maneja el concepto de qué es un gato. La falta de comprensión acerca de lo que hace es una limitación de la IA. La técnica de aprendizaje profundo permitió crear el programa DeepMind (de Google) que le ganó al mejor jugador humano de go.

(F902) Los niveles de la IA. Una posible jerarquía de la IA se basa en lo que las máquinas pueden hacer. Una máquina de nivel inferior no puede aprender las funciones que realizan las máquinas de nivel superior. No tiene que ver con la potencia informática, sino con la capacidad o estructura interna de programación.

(0) Automatización. Este nivel es previo al inicio de la IA. Es el nivel básico de los autómatas que hacen y controlan procesos sin intervención humana. Incluyen controles de retroalimentación que adaptan el resultado a la lectura de sensores (p.ej., un piloto automático). El autómata no puede aprender acciones nuevas, solo puede lograr que una variable obtenida desde un sensor se mantenga dentro de cierto margen de variación. Este nivel no requiere el auxilio de la electrónica, por lo que existieron autómatas mecánicos desde hace siglos.

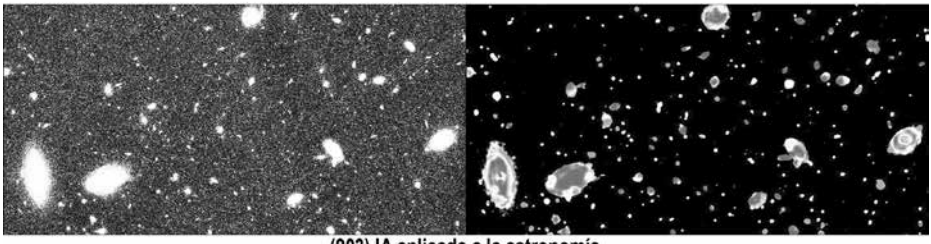
(1) Sistema basado en reglas. Este nivel es el LUCA de los sistemas actuales. Son programas capaces de imitar el razonamiento racional, mediante reglas lógicas (p.ej., juegos de mesa). En 1952 la IBM programó un juego de damas. El ajedrez fue un hueso duro de roer para la "fuerza bruta" (basada en el poder de cálculo). Hasta que, en 1997, un *software* venció a Kasparov (Deep Blue de IBM). Las reglas lógicas se derivan del conocimiento de expertos. Pero los expertos parecen saber cosas que no pueden describirse como reglas para ser programadas.

(2) Aprendizaje supervisado. Este nivel se refiere a las redes neuronales. Pero hay dos cosas que no ocurren: ni las



(902) Red neuronal y aprendizaje profundo

(1) Una red de neuronas (1a) es simulada por una red de nodos (1b). **(2)** La red neuronal en la inteligencia artificial consiste en capas sucesivas de switch de dos estados (on-off). **(A)** El entrenamiento se hace mediante el aprendizaje profundo con gran cantidad de datos. Cuando se le pide un resultado, la red neuronal procede paso a paso **(B-C-D)** hasta llegar a un resultado (p.ej., la identificación del rostro).



(903) IA aplicada a la astronomía

(izquierda) Imagen de referencia de un telescopio óptico. (derecha) Imagen con la Inteligencia Artificial Morpheus.

redes neuronales están formadas de neuronas, ni el aprendizaje automático significa aprender en el sentido tradicional. En este nivel, no se aplican reglas lógicas. Se usa una red neuronal artificial que imita un cerebro como capas interconectadas que se va desarrollando en la medida en que el sistema se entrena. El entrenamiento consiste en ingresar miles de pares de datos. Por ejemplo, una fotografía (análisis clínico) y el tipo de enfermedad. La salida se llama "etiqueta", porque la red neuronal debe reconocer los datos de la entrada y ponerle una etiqueta. El entrenamiento con miles de datos permite reducir los errores (es la fragilidad del sistema). Dos sistemas entrenados con diferentes datos pueden entregar resultados distintos, e incluso, entrenados con los mismos datos, también pueden entregar resultados distintos. El sistema es inescrutable: es muy difícil "explicar" cómo se llegó a una conclusión. El único resultado visible del entrenamiento es una matriz de conexiones entre nodos (las neuronas), por lo que la "explicación" se distribuye difusamente.

(3) Aprendizaje no supervisado. En este nivel se hacen mejoras mediante modificaciones internas sin la asistencia de un agente externo. En el 2016, la máquina AlphaGo (de Google) superó al mejor jugador humano de go. Luego, se hicieron cambios, de manera que una IA llamada AlphaZero aprendió a jugar ajedrez en horas y go, en días; en ambos casos les ganó a todos los retadores humanos. AlphaZero podría usarse en juegos de negocios, mercado o guerra, siempre que existan reglas bien definidas, con recompensas y movimientos permitidos y prohibidos. El aprendizaje profundo es muy ineficiente, es una gran cantidad de cálculo soportado por fuerza bruta. Otro problema es que resulta muy difícil obtener suficientes datos para alimentar al sistema de aprendizaje profundo.

(4) Interacciones multiagente. Esta IA surge de las interacciones entre innumerables agentes, cada uno con sus funciones. Un agente es una máquina autónoma o segmento de código. La capacidad de aprendizaje automático surge del colectivo en una pizarra. La pizarra es un espacio de conocimiento compartido que los agentes leen y actualizan hasta converger en una solución a un problema. Los mejores resultados se logran cuando uno de los agentes es un humano (solución hombre-máquina).

(5) IA creativa. Este nivel es intermedio entre máquinas que admiten equipos creativos y máquinas que demuestran inteligencia general. Por el momento, no hay máquinas que funcionen en el nivel 5 o superior. Un ejemplo es el algoritmo genético que se usó para encontrar soluciones casi óptimas, simulando una mutación genética y la combinación cruzada. Un uso temprano de este algoritmo fue en un robot que podía encontrar su camino, de forma segura, a través de un campo minado. Los algoritmos genéticos comienzan con cadenas de instrucción aleatorias, y cada una se califica con un valor de aptitud basado en su capacidad demostrada. Los programas con los mejores valores de condición física se combinan para crear una nueva generación.

(6) IA aspiracional. En este nivel, las máquinas son especulativas, en el sentido de que representan los sueños de los investigadores. Por ejemplo, máquinas que piensan, razonan, son autoconscientes, autorreflexivas, compasivas y sensibles. En 1984, un proyecto se propuso construir una máquina que reuniera todos los hechos del sentido común para ayudar a las IA. El proyecto contiene millones de hechos de sentido común, pero nunca ha logrado ayudar a un sistema experto a comportarse como un ser humano.

los éxitos

La IA puede ganar a casi todos los juegos humanos. La IA llamada AlphaGo Zero se hizo famosa, en 2016, por aprender a jugar al go, sin recurrir al aprendizaje de millones de partidas de jugadores humanos. En cambio, comenzó a jugar al azar contra sí misma. Solo tres días después, y con 4,9 millones de juegos, se logró una IA que venció al mejor jugador de go del mundo. Además de reconstruir miles de años de juego humano, encontró estrategias novedosas. Aprendió en forma empírica (prueba y error), en diferencia con las máquinas anteriores que usaban una combinación de lógica de fuerza bruta, búsqueda de árboles, movimientos exitosos de expertos y otros recursos. El punto de partida fue una red neuronal profunda inicializada al azar. La complejidad del árbol de los juegos conocidos es abrumadora. En las damas se estima en 10^{20}, para el ajedrez es 10^{120} y para el go es de 10^{320}. Para comparar, el número de átomos del universo se estima en 10^{87}.

La IA hace agricultura de precisión. La agricultura ya incorpora una gama de tecnologías frescas. Un ejemplo es la conducción autónoma de la maquinaria agrícola conectada a GPS. Esto permite que los tractores planifiquen sus propias rutas alrededor de los campos. Pero la línea más interesante para la IA es la agricultura de precisión, cuyo objetivo es tener información de cada palmo de suelo y actuar en forma muy localizada. El problema es la infinita variedad de datos, sea la genética del grano a plantar, la calidad del grano obtenido, el tipo de suelo, los químicos usados y disponibles (fertilizantes y plaguicidas), el clima (humedad y temperatura), la fecha y hora, etc. Es una "infinita variedad de datos" porque las variables son continuas. **///** Esta industria es uno de los mayores usuarios de servicios de computación en la nube. Según la empresa John Deere, en el 2019, reunía entre 5 y 15 millones de mediciones por segundo de 130.000 máquinas conectadas a nivel mundial. Decían procesar más datos que Twitter. Gran parte de la información son datos en crudo, ya que no tienen el mismo formato o estructura. Provienen de máquinas propias y de más de 100 compañías con acceso a la plataforma. Incluye información meteorológica, imágenes aéreas y análisis de suelos. Un desafío es hacer la limpieza de los datos de fondo para obtener información usable.

La IA prueba compuestos tóxicos sin necesidad de usar animales. Son más de 100.000 químicos los que están en productos de consumo. Para la mayoría, hay muy poca información sobre su toxicidad. Los costos de experimentación son altos. Por ejemplo, para un pesticida, la forma tradicional de prueba incluye los siguientes costos: 30 pruebas en animales, el uso de 10.000 animales (ratones, ratas, conejos y perros), un costo total de 20 millones de dólares, un tiempo de 5 años de trabajo y la producción de 20 kg de sustancia química preindustrial.

(1) /// Desde el 2016, otra alternativa es el uso de IA. Una IA utilizó una base de datos de 800.000 estudios toxicológicos sobre más de 10.000 químicos. Con esto se alimentó un algoritmo predictivo sobre la toxicidad de cualquier químico. Se aplicó el criterio que dice "productos químicos similares tienen propiedades similares". El modelo armó un plano de productos conocidos y luego agregó los desconocidos. Se expandió la base de datos a 10 millones de estructuras químicas, con 300.000 que tienen datos biológicos y fisicoquímicos y 50.000 con datos de experimentos en animales. Se usó un servidor en la nube de Amazon, y llevó dos días procesar los 10 millones de químicos. Comparando los resultados de 190.000 químicos con pruebas en animales, la tasa de éxito en toxicidad fue del 87 %. Mientras la IA consumió medios informáticos, las pruebas tradicionales consumen el 57 % de los animales en pruebas de seguridad en Europa (600.000 animales por año).

(2) /// Las pruebas tradicionales causan pérdidas quizás innecesarias de vida animal. Los ensayos incluyen irritación, corrosión en la piel y ojos, sensibilización de la piel, toxicidad aguda y mutagenicidad. Por ejemplo, dos químicos fueron probados más de noventa veces en ojos de conejos. Se probaron sesenta y nueve sustancias, en cuarenta y cinco oportunidades en el mismo examen ocular. La IA podría reducir drásticamente la necesidad de estas pruebas. Los químicos pueden identificar los peligros, antes de que los compuestos se sinteticen. Cuando un químico tóxico necesita ser reemplazado, el enfoque de IA puede ayudar a asegurar que se elijan sustancias menos tóxicas.

La IA selecciona antibacterianos potenciales. En las últimas décadas se desarrollaron muy pocos antibióticos nuevos. Una IA se programó para detectar posibles antibióticos usando mecanismos diferentes a los de las drogas existentes. La IA puede ser entrenada para analizar las estructuras moleculares de los químicos y correlacionarlos con rasgos que pueden matar a las bacterias. Es lo que se llama la detección "*in silico*" referido a las computadoras. *In silico* se opone a "*in vivo*" para organismos vivos o "*in vitro*" fuera de organismos vivos. Las redes neuronales pueden mapear las moléculas como vectores y con eso, predecir sus propiedades. De esta forma, la secuencia de trabajo es: *in silico* que alimenta a *in vitro* que se prueba *in vivo* y luego pasa al uso humano.

(1) /// Entrenamiento. En el año 2019, una IA se capacitó para la búsqueda *in silico* de antibióticos. Se inició con la capacitación para matar a la bacteria *E. coli* con modelos de 2.560 moléculas (1.700 medicamentos aprobados y 800 productos naturales).

(2) Búsqueda-1. Luego se probó la IA con la farmacopea humana de 6.111 compuestos conocidos y se seleccionó una molécula que predijo sería antibacteriana y tenía una estructura química diferente a los antibióticos existentes. La molécula SU3327 se bautizó *halicina*. Previamente esta molécula se había probado para la diabetes y había sido descartada antes de llegar a la práctica química.

(3) Experimentación-1. A continuación, se experimentó con halicina *in silico* en 36 cepas bacterianas (incluyendo *Clostridium difficile*, *Acinetobacter baumannii* y *Mycobacterium tuberculosis*). La halicina fue efectiva en 35 cepas. El modo de acción de la molécula altera la membrana celular de la bacteria, lo que hace difícil que la bacteria genere resistencia.

(4) Experimentación-2. Luego se probó la acción de la halicina en dos infecciones en ratones. Una infección en la piel es por *Acinetobacter baumannii* que tiene una reserva de genes de resistencia a los antibióticos. Se aplicó como crema en la piel. La halicina erradicó la infección en 24 horas. En otro ensayo, la halicina eliminó una infección intestinal por *Clostridium difficile* en cuatro días.

(5) Búsqueda-2. Con este éxito, se usó la IA para trabajar con una base de 107 millones de moléculas que es una parte de la base ZINC15 de 1.500 millones de compuestos. El análisis tardó tres días e identificó 23 candidatos que pueden ser bactericidas diferentes a los actuales y no tóxicos para los humanos. El estudio posterior encontró dos antibacterianos para cepas *E. coli* resistentes a antibióticos.

(F903) La IA puede estudiar el universo. /// Una IA (*Morpheus*) fue entrenada con información del 2015. Se uso un stock de imágenes del telescopio espacial Hubble, con el trabajo de decenas de astrónomos, que clasificaron 10.000 galaxias. La IA toma las imágenes del entrenamiento y las nuevas y genera imágenes en colores codificados según su morfología, separando los objetos astronómicos del fondo e identificando fuentes puntuales (estrellas) y diferentes tipos de galaxias. El objetivo es trabajar con las imágenes obtenidas por el sistema LSST (Legacy Survey of Space) que se encuentra en el observatorio en Chile. Se tendrán 800 imágenes panorámicas por noche, con una cámara de 3,2 Gpixel, cubriendo todo el cielo visible dos veces por semana. El volumen de información para los humanos es inmanejable.

las limitaciones

Es "aprendizaje automático". Que la IA se llame "inteligente" se debe a que puede aprender. Los niños pueden aprender mirando a alguien resolver un problema una sola vez. Pero la IA necesita miles de datos y muchos intentos para tener éxito. Entonces, es mejor usar el concepto de "aprendizaje automático" que el de "inteligencia artificial". Con el aprendizaje automático la computadora debe determinar la mejor manera de resolver el problema. Por ejemplo, si se le pide a un programa que prepare una sopa, hay dos enfoques. El enfoque tradicional será cargar la receta, con ingredientes, porciones, tiempos, procesos, etc. En el aprendizaje automático, se le mostrarían miles de videos de personas haciendo sopa, ensayaría su propia receta y, a cada resultado, reciclaría la información con los comentarios. Esto es la IA actual.

Basa el éxito en la "fuerza bruta". El éxito de la IA actual se debe poco a nuevas técnicas y mucho a la disponibilidad de muchos datos acopiados y una potencia computacional creciente. Es el resultado de la ley de Moore (1965). Esta ley decía que la densidad de los microchips se duplicaba a intervalos regulares. Inicialmente, eran doce meses y hoy está cerca de veinticuatro meses. Esto permite que las actuales máquinas puedan hacer más tareas en simultáneo o más rápido. Si bien es importante el rendimiento y la velocidad, esta obsesión impide ver la comprensión de la solución para evaluar si es correcta o deseable. De todas formas, suponer que la IA resuelve los problemas como lo hacen los humanos, ignora que, en gran parte, es un misterio cómo los humanos resuelven los problemas.

(1) Cerebro vs IA. /// La neocorteza del cerebro apareció en los mamíferos hace 200 Ma. Es una fina capa plegada que, en los humanos, ocupa una superficie de 700 cm^2 y 5 mm de espesor. Son seis capas y un total de 30.000 millones de neuronas. Pero el potencial de este *hardware* está en las sinapsis entre neuronas. Cada mm^3 de la corteza cerebral tiene 1.000 millones de sinapsis. Las redes de aprendizaje profundo más grandes, hacia el año 2020, son de 1.000 millones en total.

(2) /// Un informe indicó que la cantidad de cálculos necesarios para entrenar una red neuronal profunda aumentó 300.000 veces desde el 2012 al 2018. Una de estas redes contenía, en el 2020, miles de millones de neuronas artificiales. Una forma de capacitar una red neuronal es la poda progresiva seguida de una nueva capacitación. Se entrena una red densa y gigante, luego se borran las partes que no parecen importantes, y se vuelve a entrenar la red para restaurar el rendimiento. En la práctica se necesita podar y volver a entrenar muchas veces para obtener un buen rendimiento. La poda es posible porque solo una fracción de las neuronas artificiales en la red puede hacer el trabajo para una tarea especializada.

Es muy competente pero ¿sabe de qué se trata? La computadora no comprende qué es la aritmética o por qué es útil, pero hace aritmética a la perfección. Es como la selección natural, un proceso que es muy competente, pero que no comprende nada. Entonces, ¿podría entender qué es una bebida si nunca tiene sed? Cuando un algoritmo reconoce un objeto, no comprende en absoluto la naturaleza de ese objeto. Parece ser mejor usar la IA como una herramienta que como un colega. Tan pronto sea un colega, no sabremos con certeza lo que sabe, y es posible que no quiera decirlo. La confianza se convierte en un problema.

Comete errores por falta de precisión en los objetivos. Hay casos en los que una IA resuelve la tarea cumpliendo los requisitos, sin hacer lo que se esperaba. Dicen que tratar a una IA es *"como hablar con alguien muy pedante y literal"*. Hace lo que se le dice, no lo que se quiere que haga. Por ejemplo, a una IA se le pidió crear un programa que limite el uso del procesador de una computadora y lo que hizo es un programa que está siempre apagado. En otro caso, a un algoritmo se le pidió encontrar errores en los programas y devolver una lista de números ordenados. Devolvió una lista vacía, lo que cumplía con los requisitos de estar ordenados. Una IA puede burlar a sus creadores entregando resultados divertidos, pero poniendo en evidencia que las lagunas pueden ser explotadas por el aprendizaje automático. La seguridad en la IA debe incluir los desafíos para producir instrucciones precisas.

Ejemplo: los problemas de la IA en la medicina.

-Un primer problema es la integración. Cada IA es diferente, aislada y puede dar distintos resultados al mismo problema. Por ejemplo, una IA puede tener éxitos rotundos en alguna rama de la oftalmología; es la solución a una de las cientos de disciplinas médicas. Con un espectro de enfermedades tan complejo, los algoritmos médicos tendrán que construirse ladrillo a ladrillo, es decir, una pregunta a la vez.

-Otro problema es el sobrediagnóstico, dado que todos los seres vivos están "enfermos" de muchas formas diferentes, en simultáneo y no necesitan de una intervención.

-La IA es posible gracias al gran volumen de datos clínicos disponibles para el entrenamiento de la IA. El desafío es proteger la privacidad y, aun cuando se consienta resignar la privacidad de los datos, queda el problema de la propiedad intelectual. Es decir, quién se beneficia de los éxitos de la IA.

-A todo esto se suma la responsabilidad y las leyes de mala praxis que deberían cambiarse para adaptarse a la IA.

No siempre se podrá apagar la IA. Si la máquina se va de control, apagarla no funcionará. Por la simple razón de que una entidad superinteligente tomará las medidas previas para evitarlo. No lo hará porque quiera mantenerse con "vida", sino porque está persiguiendo el objetivo y sabe que fallará si se apaga.

los riesgos

Las categorías de riesgo de la IA.

(1) Riesgos tecnológicos. /// El World Economic Forum planteó las siguientes categorías donde la IA puede sucumbir. (1) Actuación. La forma en que llega la IA a las conclusiones puede no ser entendibles para los humanos. Puede ser imposible determinar si son precisas o deseables. Podría ser arriesgado para aplicaciones sensibles (desastres naturales). (2) Seguridad. La IA podría ser hackeada y usada por el terrorismo. (3) Control de riesgos. Dado que interactúan de manera autónoma, pueden producir resultados impredecibles. Por ejemplo, dos sistemas crearon un lenguaje propio que los humanos no podían entender y debieron ser desconectados. (4) Riesgos económicos. Las empresas más lentas para adoptar IA pueden sufrir consecuencias económicas. Las tiendas físicas pueden cerrar a medida que la economía se digitaliza. (5) Riesgo social. La automatización eliminará los trabajos en casi todos los campos. Los sistemas de armas autónomos también podrían acelerar y exacerbar los conflictos mundiales. (6) Ries-

gos éticos. Dado que la IA utiliza supuestos inferidos sobre grupos y comunidades al tomar decisiones, podría conducir a un mayor sesgo. La recopilación de datos también plantea problemas de privacidad.

(2) No es la tecnología el problema. Otra línea de pensamiento dice que esta descripción de los peligros es exagerada, sería un tipo de tecno-pesimismo. El problema es que no es la tecnología en sí la que debería preocupar, sino cómo los humanos diseñan y usan herramientas basadas en ella.

Peligros éticos soportados por la IA. Un estudio identificó tres posibles usos maliciosos potenciales de la IA: la seguridad informática, a través de ciberataques; la seguridad física, como ataques con drones o piratería; la seguridad política, como el uso para vigilancia masiva, persuasión y engaño. Para la seguridad política se puede mencionar el caso de China. Se implementaron sistemas de crédito social vinculado con la vigilancia masiva usando tecnología de IA. Cuando una persona infringe las normas sociales (p.ej., uso indebido de las redes sociales, imprudencia en la vía pública, deudas impagas) se le debitan puntos de su crédito social. Cuando tiene un crédito bajo, se restringen sus libertades. Las autoridades chinas, en el 2018, informaron que 7 millones de personas tenían prohibido abordar vuelos por esta restricción. Por ejemplo, los créditos en la ciudad de Suzhou se implementan desde una línea de base de 100 puntos y tienen un margen total entre 0 y 200 puntos. Esto lleva a casos de injusticia social, como una estudiante de dieciséis años que fue incluida en la lista negra, porque su padre tuvo un accidente de tránsito y mató a dos personas. A esta práctica se la denominó la "Primera Dictadura Digital" basada en la tecnología.

Desvíos por sesgo de los datos. En cierta oportunidad, Microsoft lanzó un bot de IA que trabajaba en Twitter y estaba diseñado para aprender de las conversaciones. En 24 horas estaba generando consignas nazis. Muy rápidamente se volvió racista. Las IA no son criaturas autónomas, con agendas propias. Están aprendiendo de nuestros datos. Son como prótesis, extensiones de la humanidad, con fortalezas y debilidades. A veces detectan patrones de sesgo en nuestros datos, y luego actúan sobre esos prejuicios.

Responsabilidad legal.

(1) Sin una definición de inteligencia artificial. Se requiere una definición de IA para poder hacer las regulaciones y leyes necesarias para deslindar responsabilidades. Lo de "artificial" parece fácil ya que incluye lo que no ocurre como en la naturaleza, aunque se complica cuando incluye materiales biológicos modificados. Lo de "inteligencia" es un arbusto lleno de espinas. Puede bastar con una definición superficial: "la capacidad para lograr objetivos en un entorno definido". No hay una definición de consenso, pero se necesita para saber sobre qué se está legislando.

(2) Las consecuencias éticas y legales del uso de IA están abiertas. En el ámbito legal hay tres alternativas:

(1) "perpetrador por intermedio de terceros". Se aplica cuando una ofensa ocurre por una persona mentalmente deficiente o por un animal al que se lo considera inocente. Quien haya instruido al perpetrador será considerado penalmente responsable. En la IA la responsabilidad recaería en quien la usa o diseña.

(2) "consecuencia natural probable". Se aplica cuando las acciones normales se usan para un acto delictivo. Por ejemplo, mientras un robot realiza una tarea rutinaria afecta a

un humano inadvertido. Una posible responsabilidad es del programador, si la reacción del robot era previsible.
(3) "responsabilidad directa". Se requiere de una acción e intención. También puede ocurrir que el robot decida no hacer una acción cuando tiene la obligación. La intención es muy difícil de determinar, pero es relevante. Puede ocurrir que un automóvil autónomo rompa los límites de velocidad, lo cual puede hacer recaer la responsabilidad en la IA y no en el propietario. Pero, si a una IA se la hace responsable, debería tener la posibilidad de una defensa. Un atenuante podría ser similar al delirio o la intoxicación en los humanos. Por ejemplo, un virus en el sistema.

El engaño y la IA. /// El engaño tiene una intención y requiere una teoría de la mente. Como la IA no tiene una teoría de la mente, no estaría en condiciones de engañar. En algunos casos se puede enseñar a la IA a engañar sin tener una comprensión del engaño, de forma que la intención no es un requisito previo. Por ejemplo, los robots de búsqueda y rescate pueden necesitar engañar para calmar u obtener la cooperación de una víctima en pánico. En ciertas situaciones, el uso del engaño está moralmente justificado, pero enseñar a un robot a engañar será un desafío. Hay dos formas posibles de engaño en la IA. Los actos de comisión (un agente envía información errónea) y los actos de omisión (el agente es pasivo pero puede estar reteniendo información u ocultándola). Esto se hace evidente cuando la IA participa en juegos de guerra y debe engañar al enemigo. Otro caso puede ser un agente de IA especializado en impuestos que omite ingresos.

La estupidez artificial. Para evitar un escenario apocalíptico se sugirió limitar la IA a la inteligencia a nivel humano. Se propuso restringir el alcance de la IA al introducir una estupidez artificial. Se añaden dos medidas adicionales: garantizar que la IA no pueda mejorarse por sí misma e introducir sesgos cognitivos similares a los humanos (errores de razonamiento). El conservadurismo es uno de esos prejuicios que podría introducirse: la IA debe mantener los mismos valores iniciales. El sesgo de cortesía es otro: la IA intentará no ofender a nadie, evitando comportamientos agresivos. Otro punto es enseñar a respetar la dignidad humana (autonomía, privacidad, identidad y otros derechos humanos básicos).

ESTUDIO DE CASOS

palomas: se enfrentan a la inteligencia artificial

¿de qué se trata? Este enfrentamiento tiene a las palomas y la IA como protagonistas. La IA llega confiada, luego de superar a los humanos en muchos desafíos. Las palomas confían en que los millones de años de evolución produjeron una increíble capacidad cognitiva.

round 1: reconocen las caras

R1: Aprendizaje profundo. /// Una IA se entrenó con imágenes tomadas durante catorce años de veintitrés chimpancés de Guinea. Eran unas 10 millones de imágenes faciales. El reconocimiento de la IA funcionó bien con poca luz y con imágenes de baja calidad, incluso cuando los chimpancés no miraban hacia la cámara. La IA logró una precisión de reconocimiento de identidad del 92 % y, en sexo, del 96 %. Una competencia directa entre la IA y los investigadores se basó en 100 imágenes fijas elegidas al azar. Se encontró que el algoritmo logró una precisión del 84 % con tiempo de trabajo de 30 seg. Los investigadores con experiencia en reconocer a los chimpancés tardaron 55 minutos y tuvieron una precisión promedio de 42 %.

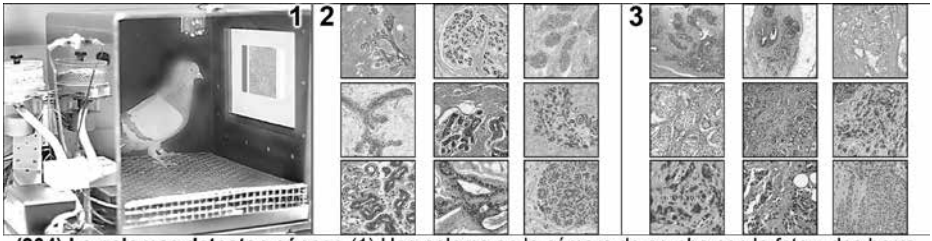
R1: Palomas.

(1) /// Un estudio entrenó palomas salvajes para responder a los estímulos visuales picoteando teclas. Se les mostraban fotografías de rostros humanos con diferente identidad y expresión emocional (tristes o felices). Luego se formaron dos grupos de palomas. Uno debía seleccionar por la expresión emocional y otro, por la identidad. Se encontró que pueden reconocer las caras, sea en identidad o expresión. Reconocían las caras con independencia de la emoción. Es decir, si la cara era conocida, tendían a ignorar las emociones. Las palomas, como los humanos, reconocen la identidad sin importar la expresión emocional, pero tienden a asociar la expresión emocional con la identidad.

(2) /// En un parque en París, dos investigadores similares con batas de diferentes colores alimentaron a un grupo de palomas silvestres en libertad. Uno dejaba que las palomas comieran y el otro era hostil y las ahuyentaba. Días después, ninguno de los investigadores ahuyentó a las palomas. Las palomas reconocieron al individuo y evitaron al investigador hostil. Luego se intercambiaron las batas, pero las palomas seguían detectándolos. Se guiaron por el rostro (10 % del cuerpo no cubierto). Comprendieron que la ropa no es un indicador para distinguir entre humanos. También las urracas reconocen por los rostros.

round 2: reconocen palabras

R2: Aprendizaje profundo. /// Una IA (Pythia) se entrenó con patrones en 35.000 reliquias (piedra, cerámica y metal) que tenían 3 millones de palabras. Los objetos eran de



(904) La palomas detectan cáncer. (1) Una paloma en la cámara de prueba con la foto y dos barra de alternativa: benigno (2) y maligno (3). Se muestran 3 ejemplos de cada tipo y con ampliaciones de x4, x10 y x20 veces.

entre 1.500 y 2.600 años de antigüedad. El objetivo era proponer palabras o caracteres faltantes de inscripciones griegas partiendo de patrones que incluyen el contexto, la gramática, la forma y el diseño de las inscripciones. La IA debía ofrecer veinte sugerencias para cerrar la brecha. En un test de prueba se ocultaron nueve letras de un nombre griego y la IA se las arregló para llenar los espacios en blanco. En un caso real, debía llenar 2.949 inscripciones dañadas y los expertos humanos cometieron un 30 % más de errores que la IA. Los expertos tardaron dos horas en completar cincuenta inscripciones y la IA tardó segundos para todo el paquete.

R2: Palomas. /// En un experimento con cuatro palomas se las entrenó para reconocer palabras de cuatro letras en idioma inglés. Se presentaban secuencias que eran palabras junto con otras que no lo eran. Se crearon vocabularios de 26 a 58 palabras reales con más de 8.000 no-palabras. Para poner a prueba si se trataba de aprendizaje o de simple memoria, se agregaron palabras nuevas. Las palomas identificaron las nuevas palabras a un ritmo superior al azar (70 %). Esto fue posible usando la probabilidad estadística de que aparecieran combinaciones de letras frecuentes (p.ej., EN y AL). Es una habilidad ligada al procesamiento ortográfico. Se sospecha que están acostumbradas a recoger patrones de objetos visuales, lo que permite trabajar pares de letras como combinaciones de objetos o características de objetos en el entorno.

round 3: detectan enfermedades

R3: Aprendizaje profundo.

(1) /// Un *software* de IA fue entrenado con el criterio de aprendizaje profundo con más de 129.500 imágenes de problemas de la piel. La máquina fue alimentada con fotografías y el diagnóstico de unas 2.000 enfermedades distintas. Luego se usaron 14.000 nuevas imágenes, sobre las cuales el sistema diagnosticó los melanomas con mejor tasa, superando a 21 dermatólogos experimentados. Una IA de este tipo trabaja como "caja negra", de forma que no se sabe en qué características se centró. Se dice que las herramientas de aprendizaje profundo son tan buenas como los datos sobre que se usan para capacitarla.

(2) /// Una IA de Google compitió con especialistas para clasificar biopsias de cáncer de próstata. Es un proyecto que incluye la detección de cáncer de mama, mediante mamografías, cáncer de pulmón, mediante tomografías computarizadas y retinopatía con

escáner de retina. Se trabajó con 498 láminas de células prostáticas con diferentes grados de cáncer. La precisión de la IA fue del 72 % contra el 58 % de los patólogos generalistas (no especializados en el tema). En el otro ensayo, con 752 muestras, los resultados fueron idénticos para IA y especialistas, 94-95 %. La IA entregó un poco más de falsos positivos.

(F904) R3: Palomas. Como la IA, las palomas tampoco conocen qué es un tejido cancerígeno, pero la tasa de éxito terminó siendo muy alta.

(1) /// Un experimento enseñó a palomas a picotear un botón azul o amarillo en una pantalla táctil en respuestas a fotografías. Las fotos eran muestras de tejido mamario humano benigno o canceroso. Se mostraban varias fotos en orden aleatorio. La paloma debía picotear uno de los dos botones y, si la respuesta era correcta, se la premiaba con comida. Después de dos semanas de entrenamiento, las palomas alcanzaron niveles de precisión del 85-90 %. Para evitar que la respuesta sea el resultado de la memoria, se usó un banco de fotos nuevas donde pudieran aplicar lo aprendido. El resultado fue del 80 % correcto. La memoria por sí sola no puede explicar la habilidad de categorización de la paloma.

(2) /// Luego se aplicó la experiencia sobre varias palomas en conjunto. Se evaluó la precisión de cada una de cuatro palomas frente a la "sabiduría del rebaño". El puntaje de la bandada se calculó sobre la base del 100 % si había 3 o 4 positivos por cada foto y 50 %, si había dos positivos. Los puntajes individuales fueron 73, 79, 81 y 85 %. El puntaje de precisión de la "bandada" fue del 93 %, superando así el de cada ave individual. Según el término original de Galton, se llamaría *vox-columbae*.

(3) /// El límite para las palomas llegó con desafíos más complejos. Las palomas habían sido entrenadas con imágenes de microcalcificaciones y para discriminar la presencia de malignidad en las masas mamarias. Pero no pudieron evaluar el potencial maligno de las masas mamarias (sin microcalcificaciones) detectadas en las mamografías. Es una tarea muy desafiante donde los radiólogos humanos llegan al 80 %. Las palomas tardaron muchas semanas en aprender la tarea de histopatología. Después de la fase de entrenamiento, se les mostraron imágenes nuevas e inéditas, y el resultado fue el azar (cerca del 50 %). Los datos sugieren que las aves estaban memorizando las imágenes del entrenamiento, en lugar de aprender.

round 4: son expertos en arte

R4: Aprendizaje profundo. En 1935, un catálogo del pintor holandés Rembrandt tenía 611 pinturas. Hoy son la mitad y la causa es la limpieza de imitaciones, copias y falsificaciones. ¿Puede la IA detectar falsificaciones? Hay dos problemas para la IA: la alta calidad de las imágenes y la poca cantidad de pinturas para aprender. Por ejemplo, para entrenar a una IA, se requieren unas 5.000 imágenes, pero no hay 5.000 pinturas de un autor. Si no se puede entrenar la IA para reconocer imágenes, quizás puede ser entrenada para reconocer la entropía. La entropía es un puntaje numérico relacionado con la diversidad digital. Una imagen monotónica (algorítmica) tiene entropía baja, pero una impredecible tendrá alta entropía. No se trata de una medida cualitativa o estética, se refiere a cuán predecible es. **///** Se programó una IA para tomar una pintura (*Retrato de Jan Six*, de 1654, de Rembrandt) y obtener la entropía de una imagen de baja calidad.

El valor de entropía fue 6. A partir de la imagen de alta calidad, se formaron bloques de 100x100 pixeles y se separaron los bloques con entropía 6. Se realizó lo mismo con los bloque de 200x200 y 400x400 pixeles que tenían entropía 6. Todos los bloques elegidos tenían la misma entropía que el cuadro original total. Entonces, se entrenó a la IA sobre la base de los 13.000 bloques de la pintura original. Luego se la puso a prueba con pinturas falsificadas y otros originales. La tasa de éxito fue del 90,4 %. Una IA de este tipo podría ser aplicada también para imágenes médicas, como en radiología, que tienen hasta gigapixel de tamaño, que las redes neuronales no pueden manejar. El problema es que, en una radiografía, podría haber detalles interesantes en partes de una imagen donde el método de entropía no se concentra.

R4: Palomas. En un estudio, las palomas mostraron que pueden diferenciar entre el estilo de pintura de Monet y Picasso. Además, generalizaron este conocimiento a otros impresionistas y cubistas. Es una actividad similar a la usada para detectar un cáncer maligno. **///** El estudio formó dos grupos de cuatro palomas cada uno. Se les mostraban pares de cuadros, uno de cada pintor. A un grupo se lo recompensaba cuando elegía un cuadro de Monet y al otro, de Picasso. Una vez aprendido el concepto, se les ofrecieron nuevos pares, para evitar que usaran la memoria. Luego, se les presentaron pares de cuadros de Cézanne y Renoir, entre los impresionistas y Braque y Matisse, entre los cubistas. Más adelante, se formaron pares de pinturas: una "bien pintada" y otra "mal pintada" por niños de escuela primaria. El juicio de valor (bien o mal) fue dado por educadores y críticos de arte. Siempre lograron superar las pruebas en distinguir lo bueno de lo malo en arte infantil. Las palomas fallaban cuando se presentaban en escala de grises y muy pixeladas.

MODELO DE CAPAS

9 inteligencia *alien*

¿de qué se trata? En el modelo de capas, la inteligencia extraterrestre (IE) está desconectada. Se ignora todo, salvo que es posible que exista y su potencialidad sería inmensurable. Los esfuerzos por detectar vida e inteligencia fuera de la Tierra fueron infructuosos. Es el terreno de las especulaciones. Pero especular ayuda a poner límites (imprecisos). Una forma apropiada para abordar el tema es tomar la Tierra como referencia, pero el problema es que la base de datos es única y en apariencia irrepetible. ¿Cómo hacer para extrapolar la experiencia de la Tierra, cuando cada forma de vida extraterrestre debería ser una singularidad?

la vida y la inteligencia

La vida es muy probable. Parece que el origen de la vida es muy probable cuando las condiciones del planeta son las adecuadas. La Tierra se formó hace 4.500 Ma y cuando las condiciones fisicoquímicas se estabilizaron (hace 3.800 Ma) la vida ya existía. Surgió muy rápido, pero eran organismos simples. Recién hace 1.500-1.000 Ma comenzó a volverse más compleja (células eucariotas, con núcleo) y organismos pluricelulares. Hace 550 Ma se produjo una explosión de formas de vida animal y se inició la carrera de la inteligencia. El modelo de capas empezó a acumular capa sobre capa y la inteligencia se incrementó lentamente. Para encontrar el origen de la inteligencia humana hay que esperar hasta el presente (2 Ma).

La inteligencia es poco probable. Para llegar al nivel de inteligencia humana se debieron superar innumerables cuellos de botella (filtros evolutivos). Primero, fue el muy probable origen de la vida, y luego, se debió acumular la fotosíntesis (3.000 Ma), las células eucariotas (1.500 Ma), el sexo, los animales complejos (500 Ma), los vertebrados, las sociedades (300 Ma), etc. Visto de esta forma, llegar al estatus actual requirió ganar la lotería una y otra vez, y el proceso llevó el 50 % de la vida de la estrella Sol. Si en otros planetas la acumulación de adaptaciones críticas demorara demasiado tiempo, las estrellas se volverían novas antes de llegar a la inteligencia y el proceso se abortaría. La vida aparece al inicio y parece muy probable, pero la inteligencia, que está al final de

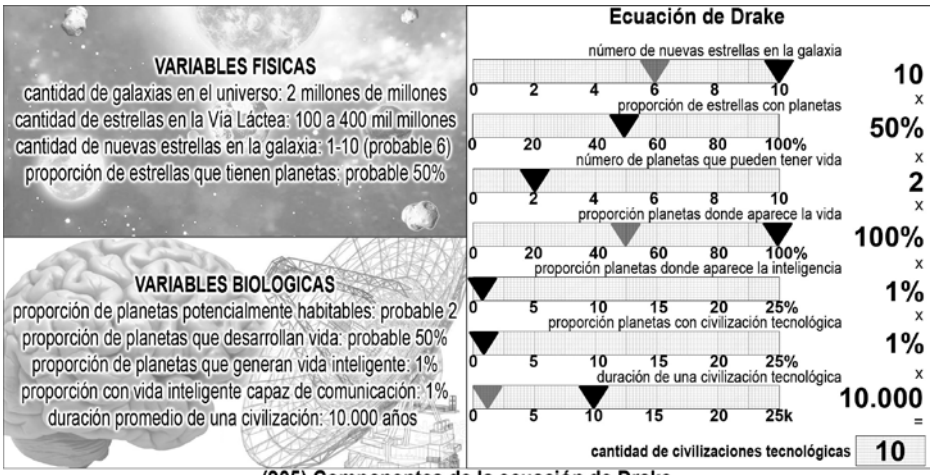
una cadena de eventos improbables, es casi imposible. Solo los números enormes del universo vuelven posible a lo improbable.

La vida extraterrestre debería basarse en el carbono y agua. El silicio Si y el carbono C tienen cuatro electrones disponibles para unirse a otros átomos. La similitud química puede sugerir que podría existir vida basada en Si, pero no es así. En la Tierra el Si es mucho más abundante que el C, pero la mayoría del Si está acumulado en las rocas. La vida en la Tierra es diferente de la composición masiva del planeta. El Si es mucho más pesado, tiene 14 protones contra 6 protones del C. El Si no puede formar cadenas largas con la facilidad del C y además son cadenas inestables. El Si no forma enlaces dobles con facilidad porque su mayor tamaño reduce el volumen disponible. El SiO_2 (dióxido de silicio) es sólido a temperatura compatible con el agua y no es soluble. En cambio el CO_2 (dióxido de carbono) es un gas soluble en agua. Así que, el C es más flexible y ofrece más posibilidades moleculares. Un dato importante es que se identificaron cerca de 100 moléculas basadas en C en el medio interestelar, pero ninguna con Si. Las mediciones indican que la química compleja basada en C puede ser común en el universo, pero no con Si.

La vida extraterrestre será diferente en muchos aspectos básicos. Es imposible reproducir los mismos pasos evolutivos de la vida inicial. Si volvemos el tiempo a LUCA (3.800 Ma), una nueva historia natural evolutiva seguiría un camino diferente. La mayoría de las moléculas involucradas en la vida pueden ser distintas. Hay 140 aminoácidos, pero solo 22 son importantes para el bioma. Puede ser que exista un conjunto limitado de posibles formas de herencia y que también limite la biología alienígena. Una duda es si la selección natural darwiniana es universal o existen otras formas de evolución a descubrir. La evolución desarrolló muchas veces fenómenos complejos (la vista, el vuelo). Aunque una línea evolutiva sea muy improbable, una gran cantidad de caminos paralelos pueden conducir a satisfacer la misma función de otra manera. La convergencia biológica es muy frecuente, pero diferente.

"¿dónde están todos?"

Esta pregunta se conoce como la "paradoja de Fermi". La pregunta inquiere sobre por qué, siendo tan inmensos los números del universo, ninguna vida inteligente es detectable. Una forma de proceder es dar magnitudes a estos números, inmensos pero estimables. Se clasifican en tres niveles: el físico (F), el biológico (B) y el de conducta (C).
(F) Las variables físicas del universo se refieren a la cantidad de galaxias en el universo, de estrellas en una galaxia y de planetas con cada estrella. Son variables estimables.
(B) Las variables biológicas son más difíciles de estimar. Son la cantidad de planetas que pueden albergar vida, los planetas con vida, los que lograron vida inteligente, los que formaron civilizaciones y las civilizaciones tecnológicas con capacidad para expandirse. Cada etapa puede malograrse. Por ejemplo, en el caso de la vida inteligente, se puede autodestruir (tecnología nuclear, nanotecnología, inteligencia artificial), puede consumir su planeta antes de llegar a colonizar otro planeta de recambio, puede no lograr encontrar una estrella cercana con condiciones para colonizar.
(C) Las variables culturales forman el nivel superior de intrigas. Se trata de saber cuál podría ser la conducta que tendría una civi-



(905) Componentes de la ecuación de Drake

Las variables físicas se refieren a la cantidad de planetas habitables en la galaxia Vía Lactea.
Las variables biológicas se refieren a la probabilidad de tomar contacto con civilizaciones inteligentes.
Los valores para Drake (1961) fueron: 10, 50%, 2, 100%, 1%, 1% y 10.000. Resultado 10 civilizaciones.
Los valores para Drake (2004): 5, 50%, 2, 100%, 20%, 100% y 10.000. Resultado 10.000 civilizaciones.

lización que llegara al nivel de expansión. Podrían ser civilizaciones que eviten el contacto para reducir la competencia o por protección. Podrían ser seres vivos o cibernéticos, o una mezcla. Podrían estar hambrientos de planetas habitables para expandirse (predadores). Durante la expansión, podrían evolucionar en forma aislada, en diferentes variantes (diversificación regional). Podrían ser protectores de civilizaciones que recién surgen (conservacionistas). Podrían haber existido hace 1.000 Ma y solo quedar huellas (arqueología estelar). Podrían ser o no seres éticos. Todas las respuestas tienen igual probabilidad de ocurrencia.

(F905) La "ecuación de Drake": la fórmula de cálculo que cuantifica la vida inteligente. Hace muy poco que se escucha al universo, pero hay una evidente ausencia de pruebas de vida e inteligencia extraterrestre. La ecuación de Drake es un estimador de probabilidad sobre la existencia de vida con capacidad de inteligencia y de comunicación. Considera los elementos físicos y biológicos.

Variables físicas:

(F1) Cantidad de galaxias en el universo. El cálculo estimado al año 2016 era de $2x10^{12}$ (2 millones de millones) de galaxias en el universo. Se estimó sobre la base de la ley de Hubble que relaciona la expansión del universo con el brillo y la distancia. La distancia se obtiene del corrimiento hacia el rojo, que es el resultado en el espectro de un universo en expansión.

(F2) Cantidad de estrellas en una galaxia. Una galaxia como la Vía Láctea tiene un valor estimado de 200.000 millones de estrellas (dato del año 2018).

(F3) Cantidad de nuevas estrellas que se crean, al año, en la galaxia. Este valor puede estimarse entre una y diez estrellas nuevas al año. El valor más probable, según la Nasa (2008), son siete estrellas al año.

(F4) Proporción de estrellas con planetas. Un estudio de tres años entregó una estimación de 100.000 millones de estrellas con planetas en la Vía Láctea. La estimación se basó en el campo gravitacional en torno a las estrellas. Corresponde al 50 % de las estrellas en la galaxia.

Hipótesis de "Tierra rara": pone lejos la posibilidad de planetas aptos para la vida. Esta hipótesis considera que existen aspectos casi únicos que vuelven a la Tierra muy especial. La ubicación del Sol en el disco de la Vía Láctea; el efecto de Júpiter que sirve de escudo protector; la Luna que estabiliza el eje de rotación terrestre y temperatura de todo el planeta; la tectónica de placas que circula el calor del núcleo a la corteza (termostato); el núcleo terrestre que produce un campo magnético protector contra el viento solar; el vulcanismo que renueva los elementos químicos desde la subducción a la superficie; la cantidad de agua líquida en superficie, etc.

Variables biológicas:

(B1) Cantidad de planetas que pueden desarrollar vida. Si una estrella tiene planetas, la cantidad de planetas habitables son uno o dos. Para algunos este valor debería ser algo mayor, porque se deberían agregar las lunas de los planetas muy grandes. Para otros, conseguir un planeta con las características físicas de la Tierra es mucho más difícil (la "Tierra rara").

(B2) Proporción de planetas donde aparece la vida. Si un planeta es habitable, la probabilidad de que aparezca vida es muy alta. Quizás esté cerca de 25 % (en el 2002 se calculó en el 13 %).

(B3) Proporción de planetas con vida inteligente. Un planeta con condiciones habitables puede generar vida muy rápido, pero llegar a la inteligencia es otra cosa. Un posible valor es 1 % (o menor).

(B4) Proporción de civilizaciones con capacidad de comunicación. Una vez que aparece la inteligencia, se debe llegar al nivel de producir tecnología para intentar un contacto con el cosmos. Parece que una vez logrado un umbral, en unos cientos de años, se pueden tener los viajes espaciales. Posible valor: 1 %.

(B5) Duración de una civilización tecnológica. Este valor es muy variable, desde la autodestrucción cerca del inicio hasta el larguísimo plazo si logra una expansión en la galaxia. Se puede estimar en valores altos (p.ej., 10.000 años), aunque la civilización humana tecnológica lleva 100 años solamente y corrió riesgos de desaparecer. Además debe lograr abandonar la Tierra para colonizar planetas poco explorados.

Variables culturales.

(C1) Sobre la duración temporal de una civilización. Una civilización con tecnología como para comunicarse puede tener una vida corta o indefinida. Es probable que las civilizaciones de larga vida crezcan más lento y en forma sustentable. Las sociedades rapaces, que buscan y consumen planetas por sus recursos naturales, y de crecimiento rápido, podrían desaparecer antes. Es el balance entre la expansión del conjunto y la sostenibilidad de los asentamientos individuales. Esta ley de xenosociología pareciera que lleva a "si se está expandiendo, es de corta duración". Puede ser que ninguna civilización avanzada sobreviva lo suficiente como para estar presente cuando sus vecinos cercanos prosperen. Esta idea se llama el Gran Filtro y toma en cuenta que los avances tecnológicos pueden llevar a la autodestrucción o a la agonía.

(C2) Sobre el interés de darse a conocer. Una civilización tecnológica puede ser ruidosa o silenciosa. Es probable que, en la medida en que una civilización crezca,

se vuelva más silenciosa. Las civilizaciones silenciosas pueden haber tomado esta decisión en forma voluntaria para mantener un principio de no intervención. Si las civilizaciones son muy avanzadas pueden valorar mucho la diversidad y mantener la distancia con las civilizaciones incipientes. Por esta razón, se sugirió no dirigir la búsqueda a las señales de comunicación, que no se van a escuchar, sino a las zonas de consumo de energía. En lugar de "escuchar" las radiofrecuencias hay que "ver" el espectro de infrarrojo donde está el calor.

(C3) Sobre la evolución de civilizaciones expansionistas. Una expansión puede tener un límite en los tiempos biológicos, pero puede eludirse mediante máquinas. Las distancias se miden en decenas de años luz, con el diámetro de la Vía Láctea estimado en 200.000 años luz. Es posible que la Vía Láctea esté asentada en parte o de manera intermitente. Los exploradores pudieron visitar el sistema solar en el pasado. Es muy difícil que desaparezca una civilización que ya es espacial. Habrá demasiados "botes salvavidas" dispersos. Una vez que se tengan colonias autosuficientes, no es posible detener la expansión, porque no se pueden coordinar las colonias. Una galaxia colonizada pasaría de verse normal a muy roja por el consumo de energía.

la rareza de la Tierra

La cantidad de civilizaciones actuales y el "Gran Silencio" en las escuchas. Dado el grado de incertidumbre de cada variable de la ecuación de Drake, se dijo que parece una forma de organizar la ignorancia. Es decir, es más importante como identificador de variables que el resultado final. **///** La estimación de Drake original (1961) entregaba un valor de 10 civilizaciones en la Vía Láctea. Una estimación reciente dice que nuestra galaxia podría albergar 4.600 civilizaciones, pero con una desviación muy alta, de 0 y 15.000 sociedades tecnológicas avanzadas. Si estuvieran igualmente espaciadas, deberían estar a una distancia promedio de 29.000 años luz. Es demasiado lejos. El valor mínimo es de 2.700 años luz de la Tierra. **Hay un 75 % de posibilidades de encontrar vida entre 1.400 y 4.000 años luz de distancia. A 500 años luz, la posibilidad es cercana a cero. El problema es que 200 años luz es el rango de búsqueda actual para las señales de radio extraterrestres de SETI. Entonces, se justifica el "Gran Silencio" que hay en los radiotelescopios.**

El Instituto SETI es un proyecto que escanea el cielo en busca de señales. Examina unas 1.000 estrellas cercanas (hasta 200 años luz) con propiedades como las del Sol. Busca señales entre 1 y 3 GHz donde se espera una "firma" de transmisión inteligente. El espectro se divide en canales de 1 Hz de ancho (son 2.000 millones de canales por estrella) y el escaneo es automático. Se trabaja dos veces al año durante tres semanas en el radiotelescopio de 300 m, en Arecibo (Puerto Rico). Este telescopio colapsó y dejó de funcionar a fines del 2020. En la mitad de la lista de estrellas ya exploradas no se encontró nada, y la búsqueda continua. Cualquier información transmitida con la civilización más cercana tomará centenares de años a la velocidad de la luz. Como la capacidad humana de manejar estas ondas tiene poco más de un siglo, es casi imposible que alguna civilización las haya escuchado. No parece haber posibilidad de diálogo, excepto entre civilizaciones muy longevas y pacientes. **Conclusión: no se sabe si "*estamos solos*" pero es casi seguro que**

"*no se escuchará a nadie*". Hay que "*mirar y no escuchar para saber qué pasa allá afuera*".

La clave es encontrar firmas tecnológicas. Las evidencias de civilizaciones tecnológicas pueden presentarse de varias formas: señales de radiofrecuencia, atmósferas con moléculas biológicas y consumo de energía. La búsqueda de contaminación industrial no es un indicador correcto. Más que vida inteligente debería interpretarse como de vida estúpida, ya que no es inteligente contaminar el propio aire. Puede esperarse que ocurra una fracción insignificante de la historia de esa civilización mientras logra entender qué pasa.

Observar civilizaciones por el consumo de energía. Una propuesta de F. Dyson dice que aún las civilizaciones más ermitañas deben desarrollar tecnologías para extraer energía de sus estrellas cercanas. Esta absorción significa un cambio desde las radiaciones típicas de una estrella a algún tipo de calor residual (radiación infrarroja). Otras fuentes de energía son imposibles, como la energía nuclear, ya que el calor residual sería intolerable. La civilización humana actual consume el 0,01 % de la energía solar que llega al planeta. Si la demanda aumentara el 1 % al año, en 1.000 años no alcanzaría toda la energía que llega al planeta. Se puede obtener energía en la órbita de la Tierra y luego más cerca del sol. Después de millones de años, la estrella no es suficiente y se requieren otras.

La identidad mineral de la Tierra. La diversidad mineral de la Tierra es única y no puede duplicarse en ninguna parte del cosmos. Es como una combinación genética. Los minerales se forman a partir de nuevas combinaciones de elementos. Las combinaciones son facilitadas por la geología (volcanes, tectónica de placas, agua) y biología (oxígeno y materiales orgánicos). Una "especie mineral" se define como una combinación única en composición química y estructura cristalina.

(1) La mayoría de los minerales son raros. /// Un estudio encontró que la mayoría de las especies minerales en la Tierra son muy raras. Usando una base de datos de 650.000 observaciones de minerales en todo el planeta, indica que el 22 % de los minerales se informan en un solo lugar, el 12 % en dos lugares, y el 65 % en hasta diez localidades. Los minerales siguen una distribución, como las palabras en un libro. Las palabras raras son las que definen la diversidad del vocabulario de un libro. Miles de minerales raros esperan ser descubiertos y muchos fueron creados y perdidos por entierro, erosión o subducción.

(2) Muchos minerales sin descubrir. /// Un cálculo indica que hay más de 1.500 minerales sin descubrir. Son "minerales ocultos" porque son blancos, de baja calidad de cristalización, solubles en agua o inestables en la superficie del planeta. Casi el 35 % de los minerales de sodio permanecen sin descubrir por las características mencionadas.

(3) ¿Puede surgir una diversidad y distribución de los minerales similar en otros lugares del cosmos? Se determinó que los factores físicos, químicos y biológicos de la Tierra hacen que la mineralogía sea única. **///** Un estudio estimó en 15.300 las formas plausibles de combinar elementos naturales en minerales únicos. Se estimó que, si se iniciara de nuevo la evolución de la Tierra, al menos una cuarta parte de los 5.000 minerales existentes serían otros. **La probabilidad de que otro planeta en el universo tenga el mismo conjunto de minerales es de 1 en 10^{300}.**

solo especulaciones

La Tierra tiene una identidad única desde el punto de vista estructural y mineral. La vida en la Tierra tuvo una evolución que no puede repetirse; iniciada de nuevo, seguirá otro camino. Si existe vida e inteligencia extraterrestre, será muy distinta y hasta es posible que simplemente "estemos solos".

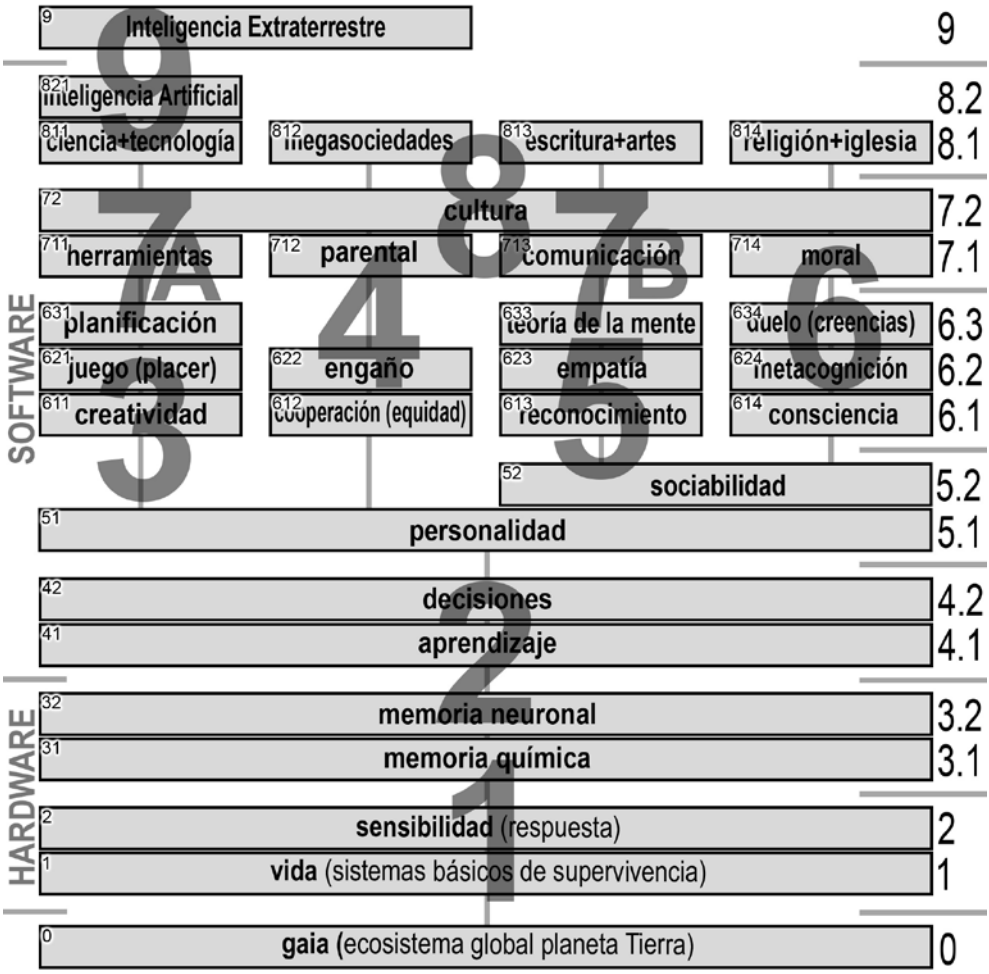
Podrían ser demasiado avanzados para entenderlos. Una alternativa es que la civilización tenga tantos millones de años de ventaja que sus preocupaciones sean ininteligibles para los humanos. Puede ser que sus tecnologías y concepciones sean absolutamente incomprensibles. Entonces la comunicación puede ser inviable. Nuestros argumentos se aplican a la etapa temprana de la evolución mental. En estas etapas, los seres todavía están preocupados por la supervivencia, la comunicación y la expansión del control sobre el mundo físico. **///** Una forma de proceder es comparar al gorila Koko con los humanos. Koko aprendió el lenguaje de señas y entendía conceptos como ayer y mañana (pasado y futuro). Pero, le resultaba imposible la frase humana "mañana a esta hora *habré terminado* de comer". Koko no entiende los dos saltos de tiempo (mañana y terminado). Podríamos pensar en un extraterrestre que diga "*tendré que haber estado* allí", con tres saltos de tiempo que no resultan entendibles para el hombre.

Podría haber muchas cosas en común. Todos los que solucionan problemas están sujetos a las mismas restricciones: limitaciones de espacio, tiempo y materiales. Toda inteligencia debe desarrollar símbolos, representar objetos, causas y objetivos, y recordar los procedimientos. Cada inteligencia encontrará ciertas ideas muy especiales como la aritmética, el razonamiento causal y la economía. Serán las ideas comunes más simples y poderosas.

Podría ser mejor no comunicarse. Para otros como S. Hawking "alertar" a las inteligencias extraterrestres de nuestra existencia es una locura. Citan historias de primer contacto entre culturas humanas con una brecha tecnológica significativa y el exterminio de la más débil. Otros argumentan que una inteligencia extraterrestre muy desarrollada y longeva, como la que podría llegar a la Tierra, habría desarrollado soluciones cooperativas y menos violentas. Pero no es obvio que todas las civilizaciones extraterrestres serán benignas, o que el contacto, incluso con una benigna, no tendría serias repercusiones para los humanos.

Podría ser que "estemos solos". Se pueden dar cuatro escenarios: 0/0 (improbables la vida y la inteligencia), 1/1 (probable la vida y la inteligencia), 1/0 (probable la vida e improbable la inteligencia) y 0/1 (improbable la vida y probable la inteligencia). El ejemplo de la Tierra es el único disponible y es del tipo 1/0 basados en los tiempos que demoró cada componente. Si este concepto se extiende al universo, la probabilidad de encontrar inteligencia es baja (una versión pesimista para la búsqueda de inteligencia extraterrestre). La historia de la Tierra muestra que la vida no tiene una tendencia hacia la complejidad. Los largos períodos de estabilidad fueron interrumpidos por hechos muy improbables que dieron un gran salto. Esto sugiere que es más probable el pesimismo en cuanto a encontrar inteligencia. En la Tierra la inteligencia es muy antigua pero tardó mucho en llegar al nivel de cultura acumulativa y tecnológica humana.

BIBLIOGRAFÍA



(1) Nota inicial.

Este libro es un trabajo de divulgación por lo que se redujeron las normas de mención de fuentes. Hay más de 1.300 estudios que son citados precedidos por la señalización **(///)** y cuyos textos fueron sintetizados y adaptados en lenguaje para ganar en coherencia en todo el libro. En este siglo y para este tipo de libros, la bibliografía quedó desvirtuada. Los buscadores (Google) facilitan el acceso a casi toda la producción científica (en algunos casos el acceso es pago para obtener el artículo completo, pero se encuentran resúmenes de casi todos). Para este libro se adaptaron figuras, fotos y capturas de videos de YouTube, que en muchos casos se eliminan luego de un tiempo.

(2) Las fuentes que son más frecuentes.

A continuación se mencionan los sitios web más utilizados: agregadores de noticias, revistas de divulgación y revistas científicas.

-Los sitios web de mayor consulta para este libro son los agregadores de noticias de las ciencias (cientos de resúmenes por día que abren el apetito por la publicación original). Los más usados fueron https://phys.org/biology-news/ y https://www.sciencedaily.com/news/plants_animals/.

Otros sitios con novedades: https://www.eurekalert.org/; https://www.livescience.com/; https://www.sciencenews.org/; http://www.sci-news.com/news; https://www.newswise.com/.

-Entre las revistas de divulgación científicas periódicas las más usadas fueron: https://www.newscientist.com/ y https://www.investigacionyciencia.es/.

Otras revistas utilizadas: https://www.the-scientist.com/; https://www.scientificamerican.com/; https://www.americanscientist.org/; https://www.smithsonianmag.com/science-nature/; https://www.nationalgeographic.com/latest-stories/; http://discovermagazine.com/.

-Algunos periódicos tienen buenas secciones de ciencias: https://www.theguardian.com/science; https://www.bbc.com/news/science_and_environment; https://www.nbcnews.com/science; https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/; https://www.cbc.ca/news/technology.

-La revista científica más usada para este libro fue https://www.sciencemag.org/.

Otras revistas usadas (la lista no es exhaustiva): https://www.nature.com/; https://www.pnas.org/; https://www.plos.org/; https://www.cell.com/current-biology/home, https://advances.sciencemag.org/; http://www.ipsnews.net; https://www.ncbi.nim.nih.gov/pmc; https://www.journals.uchicago.edu/toc/an/current; https://www.psychologytoday.com/us; https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/journal; https://www.jstor.org/journal/behaviour; https://www.mpg.de/mpresearch; https://www.biorxiv.org/collection/animal-behavior-and-cognition; https://elifesciences.org/.

(3) Alguna bibliografía seleccionada.

A continuación se mencionan algunos (solo el 5%) de los más de 1.300 trabajos analizados en el libro.

sección 1

Capa 0/1 (vida).

El ecosistema global que da soporte a todos los seres vivos (capa 0: atmósfera, hidrósfera, geología, etc.) y los sistemas de supervivencia de cada ser vivo (capa 1: alimentación, movimiento, reproducción, etc.), no son materia de estudio en particular en este libro. Para una visión evolutiva de la vida puede consultarse (Fundación Azara, Apesteguia S. y Ares R., "Vida en evolución" edición 2010, https://fundacionazara.org.ar/vida-en-evolucion-la-historia-natural-vista-desde-sudamerica/).

Capa 2 (sensibilidad).

-Esta capa de hardware se refiere a la detección-reacción frente a los requerimientos externos. La reacción ocurre con un software incorporado (instintivo). Aun los microbios tienen habilidades (conductas vistas como unidades de software complejas) para reaccionar a los estímulos. Se destaca el protozoo *S. roeselii* con conductas sofisticadas siendo un organismo unicelular (Current Biology, Dexter et al., "Una jerarquía compleja de comportamientos de evitación en un eucariota unicelular", https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(19)31431-9).

-Un estudio calculó el coeficiente intelectual de la bacteria *P. vortex* en base a la disponibilidad genética para funcionalidades sociales (Frontier in Microbiology, Lyon P., "La célula cognitiva: reconsideración del comportamiento bacteriano", www.frontiersin.org/articles/10.3389/ fmicb.2015.00264/full).

-El moho de limo es una ameba sorprendente por sus habilidades de cobertura de territorio (Investigación y Ciencia, Dussutour A, "La masa devoradora: una célula gigante e inteligente", octubre 2018, página 68, https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/).

Capa 3.1 (memoria química).
-Esta memoria está disponible en los seres vivos. Consiste en la concentración y tasa de degradación de un compuesto. Las plantas y el entorno del suelo (rizósfera) tienen los ejemplos más contundentes y sofisticados (Fundación Azara, Ares R., libro "La conducta de las plantas" edición 2019, https://fundacionazara.org.ar/la-conducta-de-las-plantas/).

sección 2

Capa 3.2 (memoria neuronal).
-Las neuronas y el cerebro soportan al software de las conductas en los animales. La optogenética permite activar neuronas (y células de plantas) mediante luz laser y manipular la memoria. (ScienceDirect, Kalanithi PSA, "Neuromodulación innovadora", https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/optogenetics).
-El ser vivo modelo para el estudio de las neuronas es el caracol *Aplysia*. (E. Kandel, "La biología molecular de la memoria: un diálogo entre genes y sinapsis", https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/kandel-lecture.pdf).
-Ver también (NCBI, Moroz L., "Aplysia", https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4024469/).
-Un cerebro muy estudiado corresponde al nematodo *C. elegans* (EinsteinMed, Goldenberg G., "Connecting the dots", https://magazine.einsteinmed.org/winter-spring-2020/worm20/)

Capa 4.1 (aprendizaje).
-El aprendizaje es la forma de obtener la información para memorizarla y usarla luego en la toma de decisiones. En el caso del aprendizaje social se puede llegar a la enseñanza y la cultura. Un ejemplo interesante es el apareamiento en las garzas blancas (Fundación Azara, Ares R., libro "Aves, vida y conducta. La cultura de las aves" edición 2013, https://fundacionazara.org.ar/743-2/) ver también la serie de documentales asociados al libro en YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=i-6q7aJtTdI&list=PLXZAq4a9cXj_Onk2OW5xFRIEIziWyADL9).

Capa 4.2 (toma de decisiones).
-La toma de decisiones basada en información memorizada está en todas las ramas de la vida. Una de las más interesantes es la decisión por quórum y en particular en las abejas. (American Scientist, Sheley T. et al., "Toma de decisiones en grupo en enjambres de abejas melíferas", https://www.americanscientist.org/article/group-decision-making-in-honey-bee-swarms).

sección 3

Capa 5.1 (personalidad).
-La personalidad de cada individuo se observa en las habilidades y emociones. Para el caso de las ratas ver (Nature neuroscience, Forkosh O., "Los dominios de identidad capturan las diferencias individuales de todo el repertorio conductual", https://www.nature.com/articles/s41593-019-0516-y).
-Para las arañas se puede analizar (Current Biology, Grinsted L. et al., "Comportamiento animal: diferenciación de tareas por personalidad en grupos de arañas", https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.07.008).
-Incluso los hongos en el suelo tienen conductas personalizadas (ISME journal-2021, Aleklett K. et al., "Comportamiento de búsqueda de hongos y exploración espacial de hifas, https://www.nature.com/articles/s41396-020-00886-7).

Capa 6.11/6.21 (creatividad/juegos).
-La creatividad es una consecuencia bien deseada de la personalidad y se observa en la solución de problemas y uso de herramientas. Mucho de lo que se sabe sobre los juegos (lo hecho por placer) se debe a videos en YouTube de "científicos ciudadanos". Por ejemplo: el juego de aves sobre parabrisas de automóviles (youtube.com/watch?v=_2XcGK1Cwz0) y el baile de conga de los chimpancés (youtube.com/watch?v=_RhzK9ebEp8).
-Es posible introducir un cambio (un sesgo) en la personalidad (optimista-pesimista). Para las ratas se logra con el tipo de alojamiento o mediante cosquillas (Plos One, Rygula R. et al., "Las ratas que ríen son optimistas", https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051959).

-Los abejorros se han mostrado expertos en aprender a mover pelotas y tirar de cuerdas (SciNews, "Los abejorros aprendieron a mover los hilos para obtener una recompensa", https://www.youtube.com/watch?v=gSCr5OxXN1A).
-Ver también (SciNews, "Los abejorros aprenden a rodar bolas para una recompensa", https://www.youtube.com/watch?v=exsrX6qsKkA) y en (Discovery Canada, https://www.youtube.com/watch?v=FH6LqGP-Zdg).

Capa 6.31 (planificación).

-Las sepias muestran autocontrol, un indicador de planificación (Proceedings Royal Society B, Schnell A. et al., "Las sepias ejercen autocontrol en un retraso de la tarea de gratificación", https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2020.3161).
-Los cuervos resuelven problemas en serie lo que sugiere cierta planificación de acciones secuenciales (BBC two, "Inside the animal mind", https://www.youtube.com/watch?v=AVaITA7eBZE&t=189s).

sección 4

Capa 6.12/6.22 (cooperación/engaño).

-La cooperación y el engaño es básico en la relación de las plantas y microbios (Fundación Azara, Ares R., libro "La conducta de las plantas" edición 2019, Fundación Azara, https://fundacionazara.org.ar/la-conducta-de-las-plantas/).
-Una abordaje interesante es mediante la teoría de juegos. El libro fundacional es ("Evolución y la teoría de juegos" 1982, Maynard Smith J., donde se introduce el concepto de Estrategia Evolutivamente Estable).
-Los sirirí pampa tienen una conducta excepcional de cooperación en las peleas en grupo (Revista Azara (No1 pag. 44), R. Ares, "Lucha grupal y acicalamiento compartido en aves", https://www.fundacionazara.org.ar/img/revista-azara/revista-azara-2013-nro-001.pdf)

Capa 7.12 (parental).

-Esta subcapa se refiere al "cuidado parental" que antecede a la enseñanza parental incluida dentro de la Capa de Cultura. Muchas especies hacen cuidado parental pero están quienes delegan esta responsabilidad mediante el parasitismo (Frontiers Ecology Evolution, White D., "Las hembras de los tordos juzgan el pasado, el presente y el futuro al tomar decisiones sobre el parasitismo del nido", https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2020.00203/full).
-Las hormigas son un caso interesante de cooperación, aprendizaje y toma de decisiones. La hormiga de la roca tiene un mecanismo de enseñanza de la ruta formando un tándem (Journal Experimental Biology, Sasaki T. et al., "Aprendizaje de rutas durante la carrera en tándem en la hormiga de roca *Temnothorax albipennis*", https://jeb.biologists.org/content/223/9/jeb221408).
-Las hormigas son un ejemplo de cómo decidir el lugar para el nido mediante quórum (Animal Behavior, Pratt S., "Detección de quórum por tasas de encuentro en la hormiga *T. albipennis*", https://doi.org/10.1093/beheco/ari020).

sección 5

Capa 5.2 (sociabilidad).

-Muy pocas especies de arañas son sociales, pero enseñan mucho. La personalidad se relaciona con la división del trabajo (PNAS, Wright C., "La personalidad animal alinea la especiación en tareas y la competencia en tareas en una sociedad de arañas", https://www.pnas.org/content/111/26/9533).
-Esta personalidad de una colonia determina la supervivencia (Nature Ecology Evolution, Little A. et al., "Las diferencias poblacionales en agresión están determinadas por la selección inducida por tifones tropicales", https://www.nature.com/articles/s41559-019-0951-x)

Capa 6.13 (reconocimiento).

-Las avispas reconocen a sus congéneres por el rostro (Michigan University, Sheehan M., "Como los humanos, la avispa papelera aprende a reconocer los rostros", https://news.umich.edu/like-humans-the-paper-wasp-has-a-special-talent-for-learning-faces/).

Capa 6.23 (empatía).
-La conducta animal tiene una interpretación a partir de la conducta autista (Gradin T., libro "Interpretar a los animales").
-Los bonobo son una especie empática y resuelven las diferencias por el sexo (ScienceDirect, Moscovice L., "El sexo cooperativo: las interacciones sexuales entre las hembras bonobos están relacionadas con aumentos en la oxitocina, la proximidad y las coaliciones", https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0018506X19301503?via%3Dihub).
Capa 6.33 (teoría de la mente).
-Esta habilidad se refiere a "leer la mente" de los otros (Scientific American, Caruso C., "Puede que los chimpancés sean capaces de comprender la mente de los demás", https://www.scientificamerican.com/article/chimps-may-be-capable-of-comprehending-the-minds-of-others/).
-Las neuronas espejo actúan cuando se hace, se ve o se piensa en una determinada acción (Frontiers in neuroscience, Suzuki W. et al., "Neuronas espejo en un mono del nuevo mundo, tití común", https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2015.00459/full).
-Las neuronas espejo también se conectan con las emociones (Current Biology, Carrillo M. et al., "Neuronas espejo emocional en la corteza cingulada anterior de la rata", https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.03.024).

sección 6

Capa 6.14 (consciencia).
-Las expresiones faciales de los ratones indican las emociones (Science, Girard B et al., "Revelando emociones animales", https://science.sciencemag.org/content/368/6486/33/tab-figures-data).
Capa 6.24 (metacognición).
-Esta habilidad se refiere a la capacidad de percibir lo que se sabe y la capacidad de dudar (Comparative Cognition Behavoir Reviews, Crystal J. et al., "Metacognición en animales", https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4621963/).
-Ver también (Livescience, Bryner J., "Los animales piensan en pensar, sugiere una investigación", https://www.livescience.com/5712-animals-thinking-research-suggests.html).
-El libre albedrio en los animales se trata en (LSE Research online, Alasdair C., "¿Los animales tienen interés en la libertad?, http://eprints.lse.ac.uk/21191/).
Capa 6.34 (duelo).
-Los chimpancés parecen tener rituales como el baile de la lluvia o del fuego y la acumulación de rocas en los árboles (Smithsonian Magazine, Daley J., "Los chimpancés pueden estar realizando rituales en los árboles del santuario", https://www.smithsoniansmag.com/smart-news/chimps-may-be-performing-rituals-shrine-trees-180958301/).
Capa 7.14 (moral).
-Un estudio de la moralidad de los animales en base al conocimiento en laboratorio y en campo (BBC Future, de Waal F., "Comportamiento moral en animales", https://www.bbc.com/future/article/20120612-moral-behaviour-in-animals).
-Ver también (SpringerLink, Monsó S. et al., "Moralidad animal: qué significa y por qué es importante", https://link.springer.com/article/10.1007/s10892-018-9275-3).

sección 7a

Capa 7.11 (herramientas).
-Los gorilas usan palos como herramientas, por ejemplo para medir la profundidad en el agua (Nature, Hopkin M., "Los gorilas se diversifican en el uso de herramientas", https://www.nature.com/news/2005/050926/full/050926-14.html).
-Para el comportamiento de los orangutanes ver el sitio web (https://orangutan.org/orangutan-facts/orangutan-behavior/).

-Los cuervos son creadores de herramientas de ramas y hojas (Current Biology, Byrne R., "Uso de herramientas por animales", https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.09.042).
-Además disfrutan de usar herramientas (abcNews, Rogers N., "Los cuervos realmente disfrutan usando herramientas, según los investigadores", https://abcnews.go.com/Technology/crows-enjoy-tools-researchers-find/story?id=64739159).

Capa 7.11 (ciencias).

-Las abejas identifican un conjunto vacío lo que lleva a la comprensión del cero (Science, Nieder A., "Las abejas se concentran el conjunto vacío", https://science.sciencemag.org/content/360/6393/1069).
-También los picaflores tienen la habilidad de contar (Proceedings Royal Society B., Tello Ramos M., "Ordinalidad numérica en un nectívoro salvaje", https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2020.1269).
-Los loros kea tienen un conocimiento práctico de las probabilidades (Nature, Bastos A. et al., "Kea muestra 3 firmas de inferencia estadística general de dominio", https://www.nature.com/articles/s41467-020-14695-1).
-Los cuervos aprenden que los objetos desplazan el agua ("comprensión causal del desplazamiento del agua por un cuervo", https://www.youtube.com/watch?v=ZerUbHmuY04).
-En este libro la automedicación se considera parte del conocimiento básico de las ciencias en los animales (BioScience, Huffman M., "Comportamiento de automedicación en los grandes simios africanos.", https://academic.oup.com/bioscience/article/51/8/651/220603).

sección 7b

Capa 7.13 (comunicación).

-Sobre el valor de las grabaciones de sonidos naturales se sugiere (Yale University, http://www.whenwetalkaboutanimals.org/2021/02/24/ep-39-bernie-krause/).
-Los elefantes tienen varias formas de comunicación, entre ellas la nasal por la trompa y la oral por la boca (Plos One, Stoeger S. et al., "Visualización de la emisión de sonido de las vocalizaciones de elefantes", https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048907).
-Los murciélagos tienen dialectos en sus llamadas (Plos Biology, Prat Y. et al., "El aprendizaje vocal colectivo induce dialectos vocales en los murciélagos", https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2002556).
-El canto de los monos tiene una estructura de secuencias y pueden cantar a duo (MDPI animals, Adret P. et al., "Patrones de dueto de monos tití y relaciones con la filogenia, https://www.mdpi.com/2076-2615/8/10/178/htm#).
-Las llamadas de los monos Campbell se analizan en (PNAS, Ouattara K. et al., "Los monos de Campbell concatenan vocalizaciones en secuencia de llamadas específicas de contexto", https://www.pnas.org/content/106/51/22026.full).
-Para una base de datos bioacústicos ver (http://sabiod.univ-tln.fr/).

sección 8

Capa 7.2 (cultura).

La cultura en los animales se pone en evidencia en los dialectos de las aves, la expansión e innovación del canto de cetáceos y en la variedad de usos de palos y piedras en los chimpancés.
-La cultura de los elefantes se está documentando en un voluminoso trabajo de miles de videos llamado etograma. (The elephant ethogram, https://elephantvoices.org/studies-a-projects/the-elephant-ethogram.html).
-Las gallaretas enseñan a sus crías a comer (video documental de "La cultura de las aves", Ares R., https://www.youtube.com/watch?v=KWCHQfS8lUg).
-En las aves hay propagación cultural en el dialecto del canto (Current Biology, Nutria K. et al., "Cambios

continentales en los dialectos de la canción de los gorriones de garganta blanca", https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960982220307715).
-Las ballenas jorobadas son famosas por la transmisión cultural del canto (Royal Society, Owen C. et al., "La convergencia migratoria facilita la transmisión cultural del canto de las ballenas jorobadas, https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.190337).
-Sobre el inicio y final de la propagación de un canto de ballenas (Current Biology, Garland E., "Transmisión cultural horizontal dinámica del canto de la ballena jorobada a escala de la cuenca oceánica", https://www.cell.com/current-biology/comments/S0960-9822(11)00291-0).
-Intrigante: el canto de la ballena jorobada reproducido a 10 veces su velocidad suena como un pájaro cantor (https://www.youtube.com/watch?v=M5OCCuCIMbA&t=147s). ¿Existirá una convergencia entre canto y tamaño?

Capa 7.2 (cultura de los chimpancés).

-La cultura de los chimpancés se analizan en (Investigación y ciencia, Whiten A. et al., "Expresiones culturales de los chimpancés", marzo 2001 página 28, https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/la-nueva-cosmologa-325/expresiones-culturales-de-los-chimpancs-6624). Ver también (Science, McGrew W., "Tecnología chimpancé", https://science.sciencemag.org/content/328/5978/579).
-Los primates tienen su propia edad de piedra (Investigación y ciencia, Haslam M., "La cultura material en los animales", mayo 2019 página 62, https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/qu-ocultan-las-estrellas-de-neutrones-765/la-cultura-material-en-los-animales-17441). Ver también (Science, Gibbons A., "La edad de piedra del chimpancé", https://www.sciencemag.org/news/2007/02/chimpanzee-stone-age).
-El Proyecto PanAfrican estudia en forma no intrusiva cerca de 30 sitios en África. (http://panafrican.eva.mpg.de/). Como resultado se conoce una diversidad cultural muy grande (Max-Plank Gesellschaft, Boesch C., "Diversidad cultural en chimpancés", https://www.mpg.de/14857361/0525-evan-019609-how-complex-are-chimpanzee-cultures).

sección 9

Capas 8.1x (cultura acumulativa humana)

Estas subcapas se incluyen en el modelo de capas pero no son materia de estudio en particular.

Capa 8.21 (inteligencia artificial).

Las capas del modelo que están por encima de la cultura humana incluyen a la inteligencia de las máquinas y extraterrestre.

-Un sitio genérico de noticias del tema: (https://www.onartificialintelligence.com/).
-Sobre la inteligencia artificial IA puede consultarse el informe de la Casa Blanca (https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf).
-También la documentación de IEEE (https://spectrum.ieee.org/searchContent?q=artificial+intelligence&query=robotics&max=10&page=0).

Capa 9 (extraterrestre).

-Referido a la inteligencia extraterrestre puede consultarse el sitio web de SETI (https://www.seti.org/news).
-Un artículo de interés es el siguiente (Astrobiology, Schulze-Makuch D. et al., "En busca de un planeta mejor que la Tierra, https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ast.2019.2161).
-Sobre la ecuación de Drake puede leerse (Exoplanet exploration, Sierra L., ¿Estamos solos en el universo? Revisando la ecuación de Drake, https://exoplanets.nasa.gov/news/1350/are-we-alone-in-the-universe-revisiting-the-drake-equation/).

AZARA

FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL

La Fundación Azara, creada el 13 de noviembre del año 2000, es una institución no gubernamental y sin fines de lucro dedicada a las ciencias naturales y antropológicas. Tiene por misión contribuir al estudio y la conservación del patrimonio natural y cultural del país, y también desarrolla actividades en otros países como Paraguay, Bolivia, Chile, Brasil, Colombia, Cuba y España.

Desde el ámbito de la Fundación Azara un grupo de investigadores y naturalistas sigue aún hoy en el siglo XXI descubriendo especies –tanto fósiles como vivientes– nuevas para la ciencia, y en otros casos especies cuya existencia se desconocía para nuestro país.

Desde su creación la Fundación Azara contribuyó con más de cincuenta proyectos de investigación y conservación; participó como editora o auspiciante en más de doscientos libros sobre ciencia y naturaleza; produjo ciclos documentales; promovió la creación de reservas naturales y la implementación de otras; trabajó en el rescate y manejo de la vida silvestre; promovió la investigación y la divulgación de la ciencia en el marco de las universidades argentinas de gestión privada; asesoró en la confección de distintas normativas ambientales; organizó congresos, cursos y casi un centenar de conferencias.

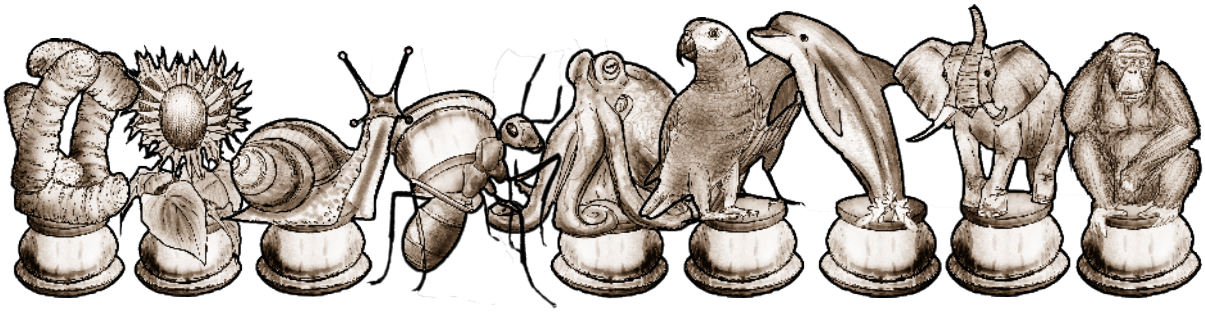
En el año 2004 creó los Congresos Nacionales de Conservación de la Biodiversidad, que desde entonces se realizan cada dos años. Desde el año 2005 comaneja el Centro de Rescate, Rehabilitación y Recría de Fauna Silvestre "Güirá Oga", vecino al Parque Nacional Iguazú, en la provincia de Misiones. En sus colecciones científicas –abiertas a la consulta de investigadores nacionales y extranjeros que lo deseen– se atesoran más de 50.000 piezas. Actualmente tiene actividad en varias provincias argentinas: Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Catamarca, San Juan, La Pampa, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y Santa Cruz. La importante producción científica de la institución es el reflejo del trabajo de más de setenta científicos y naturalistas de campo nucleados en ella, algunos de los cuales son referentes de su especialidad.

La Fundación recibió apoyo y distinciones de instituciones tales como: Field Museum de Chicago, National Geographic Society, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Fundación Atapuerca, Museo de la Evolución de Burgos, The Rufford Foundation, entre muchas otras.

www.fundacionazara.org.ar
www.facebook.com/fundacionazara

VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES

DELIVERY de LIBROS:
Ingresá a **www.vmeditores.com.ar**
Comprá online el libro que quieras y recibilo comodamente en tu domicilio. Envíos a todo el mundo.
www.facebook.com/vazquez.mazzini.editores



Este libro organiza el concepto de **inteligencia de los animales** mediante un **modelo de capas**. En la cúspide del modelo está la **cultura de los animales**, que es el soporte natural de la **cultura acumulativa humana**. Según este modelo **todas las manifestaciones de la cultura humana tiene antecedentes en la naturaleza**.

El modelo incluye 8 capas, con unas 30 subcapas e innumerables módulos de conducta. La cultura en los animales se manifiesta con la enseñanza parental, en los dialectos del canto de las aves, en la moda de las canciones en los cetáceos, o en el uso de palos y piedras en los primates. El modelo asigna una novedad: los conocimientos básicos de ciencias en los animales que soporta a la ciencia y tecnología humana. Otro resultado son las creencias y moral en los animales, que da soporte a las religiones humanas.

Se aportan pruebas contenidas en más de 1.300 artículos científicos y cerca de 350 figuras y fotos ilustrativas.

vmeditores.com.ar

AZARA
FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL