

# Ecología y ambiente

Leonardo Malacalza



Comité Medio Ambiente  
de la Asociación de  
Universidades Grupo  
Montevideo



Asociación de  
Universidades Grupo  
Montevideo

Serie de libros Electrónicos del CMA - AUGM  
Sociedad y Ambiente: reflexiones para una nueva América Latina



**LEONARDO MALACALZA**

EDITOR

# Ecología y ambiente

**AUGM**

Comité de Medio Ambiente

Serie Monográfica

Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una nueva América Latina

Monografía N° 2



UNLP



AUGM  
Comité de Medio Ambiente



Asociación de Universidades  
GRUPO MONTEVIDEO

Leonardo Malacalza, editor  
Ecología y ambiente

Primera edición electrónica, 2013  
AUGM-Comité de Medio Ambiente  
Serie Monográfica Sociedad y Ambiente: Reflexiones  
para una nueva América Latina  
ISBN 978-29821-0-2  
Monografía N° 2

Editor de la serie: Jorge L. Frangi – LISEA- Diagonal 113 N° 469, 2°  
Piso, 1900 La Plata, Argentina  
AUGM Asociación de Universidades Grupo Montevideo & UNLP  
Universidad Nacional de La Plata  
Publicado por: SEDICI  
(Servicio de Difusión de la Creación Intelectual), UNLP  
Calle 49 y 115, piso 1  
1900 La Plata, Argentina

Versión electrónica revisada de:  
Ecología y Ambiente, 2013. Segunda Edición impresa, revisada y ampliada.  
Publicación del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable de la Univer-  
sidad Nacional de Luján y de la Asociación Civil Instituto de Ecología de  
Luján, Luján, Provincia de Buenos Aires.  
ISBN 978-987-29821-0-2



**Foto de Tapa:** El impacto ambiental de algunos caminos humanos de nues-  
tro tiempo. Tomado de Google Earth en 2014.

**Diseño y maquetación:** Luciana V. Frangi



La autorización de uso de la información contenida en este libro se  
atiene a lo establecido por Creative Commons, licencia Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 2.5 (CC BY-NC-SA 2.5)

## **Prólogo de la Serie**

*La Serie de Monografías “Sociedad y Ambiente: reflexiones para una nueva América Latina”, editada en soporte electrónico, es un resultado de la actividad académica de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM) vinculada a la investigación, desarrollo, docencia, extensión y transferencia relacionadas con la sociedad y el entorno humano. En el contexto latinoamericano, su área de referencia especial es el cono sur de América, en el cual se ubican las universidades públicas que conforman dicha asociación universitaria. Su responsable editorial es el Comité de Medio Ambiente de la AUGM y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), su publicación y repositorio están a cargo del SEDICI (Servicio de Difusión de la Creación Intelectual) de la UNLP.*

*El propósito de la Serie es ofrecer a los miembros de la comunidad universitaria de AUGM, una oportunidad de publicar documentos de opinión de alcance nacional o regional sobre temas diversos relacionados a las problemáticas sociales y ambientales, dando lugar a la puesta en conocimiento público de ideas, análisis, interpretaciones y propuestas emergentes de la tarea y experiencia académica de los mismos. La complejidad y variedad de las relaciones entre el hombre y su entorno, en el área de interés, se expresa en distinta escala espacio-temporal, e incluye países, historias, grupos sociales, culturas, contextos ambientales (climas, geología, ecosistemas), usos de la tierra y problemas derivados, cuestiones transfronterizas, realidades socioeconómicas, políticas nacionales e internacionales, y otros aspectos con elementos e intereses comunes y contrastantes, complementarios y en pugna.*

*La vocación de la AUGM de desarrollar el espacio académico común entre las universidades del grupo, a través de sus Programas (Comités Académicos, Núcleos disciplinarios, Escala docente, Escala estudiantil, y demás) es una apuesta a avanzar conjuntamente en contribuir al bien común a partir de la creación de conocimiento y la educación, entendidas como bienes sociales que la universidad pública privilegia. Este objetivo*

*en el plano académico regional acompaña procesos de integración de los países de la región. La Serie se propone ayudar a canalizar el compromiso de la intelectualidad universitaria con aquellos fines y valores, constituirse de propuestas que trasciendan el plano de la actividad universitaria tradicional y ser garante de la libre expresión y diversidad de opiniones. Ellas deberían estar inspiradas en el deseo, experiencia y capacidad de sus miembros de ayudar a mejorar la calidad de vida humana, la equidad social, la economía y el respeto por toda forma de vida. Serán bienvenidos los productos del trabajo mancomunado de docentes de universidades de países de la región, que aporten a un futuro compartido sobre la base del respeto a las diferencias y a las cuestiones en común.*

**Jorge L. Frangi**  
Comité de Medio Ambiente de AUGM  
Universidad Nacional de La Plata, Argentina  
jfrangi@agro.unlp.edu.ar

## Prólogo de este libro

*Entrar en un libro (porque se entra en ellos) es asomarse a un mundo, y ese mundo tiene una historia. Este libro que alguien lee es el resultado de una aventura humana que empezó hace mucho tiempo y que tuvo protagonistas ilustres: la aventura de empezar a entender cómo funciona el mundo biológico, de empezar a comprenderse como parte de una biosfera en evolución, de vislumbrar la compleja red de interacciones que nos une a todo lo vivo y a su contexto.*

*Más acá en el tiempo, este libro es también el resultado de una aventura educativa y científica imaginada, iniciada y liderada por Leonardo Malacalza, quien, a su vez, obtuvo inspiración de muchos maestros cuya impronta se palpa en el libro.*

*Leonardo no sólo quiso formar un grupo de investigación en ecología, él fue un pionero en hacerse cargo de la importancia de incorporar la ecología como ciencia y la dimensión ambiental como problema a la cultura popular, a la formación de cualquier profesional universitario, al conocimiento de los docentes de todos los niveles. Cuando nadie pensaba todavía en eso, propuso el dictado de una ecología general en el primer año de todas las carreras de la Universidad Nacional de Luján. Debía ser una ecología que, sin faltar al rigor académico, fuese ampliamente comprensible, y que no fuese contemplativa, sino conocimiento en acción. La experiencia de cuarenta años de esa propuesta avala y nutre lo que este libro nos ofrece. Pero además, Leonardo comprendió inmediatamente la importancia de articular docencia e investigación; no se podía ofrecer conocimientos profundos, actualizados y creativos sin ser parte de la generación de esos conocimientos. Y así se fue conformando y consolidando el grupo de trabajo. Investigación, docencia y extensión amalgamadas en un contexto universitario no siempre favorable; un grupo involucrado con su comunidad, con los aspectos pedagógicos, con afán de innovación y talento en la tarea científica. Y mucha alegría, buen humor, compañerismo. Un grupo combativo y participante de la política universitaria, un grupo*

*incómodo para algunos sectores de poder y siempre dinámico y cambiante. Por ser el más viejo me toca escribir aquí, pero este es un trabajo comunitario, colectivo. Leonardo ha sido nuestro gran mentor, el provocador constante para sacar lo mejor de cada uno, el discutidor incansable, el corrector implacable hasta consigo mismo.*

*Este libro es un tesoro. Presenta una visión actual y moderna no sólo en lo informativo sino en lo conceptual de la ecología y los problemas ambientales cada vez más urgentes en nuestros tiempos. Como todo buen libro, requiere esfuerzo, pero como pocos, es accesible a cualquiera que esté dispuesto a hacer ese esfuerzo. No me siento cohibido al decir todo esto a pesar de participar como autor porque la obra es mejor que nosotros mismos, justamente porque hay un “nosotros”.*

*Me complace invitar al lector o la lectora a explorar este libro como quien se lanza a una caminata por un bosque desconocido pero no extraño.*

*Quizás lo hemos vislumbrado, imaginado o soñado. No nos asusta sino que nos fascina. Nos esperan intensos verdes y sonidos armoniosos; también experiencias dolorosas o preocupantes y voces de alarma; pero lo más importante es que en este bosque no seremos sólo espectadores, sino protagonistas. Definitivamente, la jornada es para quienes tengan ánimo, valentía, entusiasmo. Es sólo el comienzo del viaje, pero les aseguro que es un buen comienzo.*

**Fernando Roberto Momo**  
Luján, mayo de 2013.

## PRÓLOGO DEL AUTOR

*Ecología y Ambiente es un libro que hemos escrito para quienes comienzan estudios universitarios y también para todos los que estén interesados en iniciarse en temas del medio ambiente.*

*Los contenidos del libro están divididos en dos partes; en la primera estudiamos temas básicos de biología y los fundamentos de la teoría ecológica; en la segunda se describen y analizan algunos grandes temas directamente relacionados con el medio ambiente en que vivimos. Sobre tales temas hemos invitado a investigadores especialistas para escribir ensayos que son ejemplos de la teoría ecológica. Por ser especializados, algunos de estos ensayos pueden presentar dificultades para los que se inician; cosa que no debe desalentarlos porque habrá otros que sí comprendan y será provechoso seguir avanzando.*

*Aspiramos a que este libro contribuya no sólo a conocer cómo funcionan los ecosistemas, sino que también al leerlo se ejercite, recupere o adquiera la capacidad para observar a la naturaleza con espíritu inquisitivo. Quizá logremos que se despierten vocaciones para seguir indagando en alguno de los muchos campos de la ecología y el medio ambiente.*

*También aspiramos a que conociendo el enorme tiempo transcurrido desde el comienzo de la vida, y la diversidad y complejidad de los organismos vivientes -entre los cuales estamos- se incremente nuestra comprensión y aceptación de las diferencias; son éstas las que posibilitan y enriquecen la vida en el mundo que conocemos.*

*Cordialmente los invito a comenzar.*

**Leonardo Malacalza**  
Luján, mayo de 2013.

# CONTENIDO

## PRIMERA PARTE ELEMENTOS DE TEORÍA ECOLÓGICA

### CAPÍTULO I

#### LA VIDA Y LA ENERGÍA

¿Qué es la vida?.....	15
La materia, la energía y el orden.....	15
Leyes de la termodinámica.....	16
La célula y el consumo de energía.....	16
La clasificación de los seres vivos.....	17
Preguntas .....	19

### CAPÍTULO II

#### LA BIOSFERA Y SU EVOLUCIÓN

La biosfera .....	21
La organización de la naturaleza .....	21
La vida: ¿dónde, cómo y cuándo comenzó? .....	22
Evolución biológica: Carlos Darwin .....	23
Pruebas directas e indirectas de la evolución de la vida .....	24
Preguntas .....	26

### CAPÍTULO III

#### LA ECOLOGÍA Y LOS ECOSISTEMAS

La ecología.....	28
Sistemas y ecosistemas .....	28
Estructuras del ecosistema .....	30
Diversidad, riqueza y abundancia relativas de las especies .....	30
Funciones del ecosistema .....	31
La producción en los ecosistemas .....	32
Nicho ecológico .....	33
Estabilidad, conectividad, eficiencia .....	33
Preguntas .....	35

## **CAPÍTULO IV**

### **LAS POBLACIONES**

El tamaño y la densidad .....	37
Distribución espacial de las poblaciones .....	39
Estructura de edades de una población.....	39
Crecimiento poblacional.....	40
Regulación poblacional.....	42
Estrategias demográficas.....	43
Una relación entre especies de distinto nivel trófico: la depredación.....	44
Selección de estrategias .....	45
Una relación entre organismos del mismo nivel trófico: la competencia .....	46
Preguntas .....	47

## **CAPÍTULO V**

### **LOS CAMBIOS EN LOS ECOSISTEMAS**

La sucesión ecológica.....	49
Las perturbaciones en la sucesión .....	50
La explotación entre ecosistemas .....	52
Preguntas .....	55

## **SEGUNDA PARTE**

### **EL HOMBRE EN LA BIOSFERA**

## **CAPÍTULO VI**

### **LAS POBLACIONES HUMANAS**

Población en crecimiento .....	58
¿Está superpoblado el planeta?.....	59
¿Cuánto consume cada ser humano?.....	60
El origen del hombre .....	61
El crecimiento de la población.....	62
Los grandes saltos en el crecimiento de la población .....	63
Teorías sobre la población.....	64
Distribución de la población y concentraciones urbanas .....	65
Preguntas .....	67

#### **Ensayos**

VI.1. El <i>Homo sapiens</i> y sus antecesores .....	68
VI.2. Ciudad vulnerable: de la segregación urbana a la justicia ambiental.....	69
VI.3. Edificios ambientalmente sustentables y espacios urbanos a escala humana.....	75

## **CAPÍTULO VII**

### **EL AMBIENTE, LA ECOLOGÍA Y LA SALUD**

La salud y los cambios ambientales.....	83
Endemias, epidemias y pandemias.....	84
Agentes patógenos.....	84
Zoonosis y antropozoonosis.....	85
Esquistosomiasis.....	86
Enfermedad de Chagas.....	87
Paludismo.....	88
Dengue.....	89
Preguntas.....	91
<b>Ensayos y descripción de casos</b>	
VII.1. Enfermedades transmitidas por roedores.....	92
VII.2. Datos demográfico-epidemiológicos, su comentario y una propuesta.....	96

## **CAPITULO VIII**

### **LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y EL CAMBIO GLOBAL**

Qué es la contaminación.....	101
La contaminación como problema social.....	102
Efecto invernadero y cambio climático.....	103
El Protocolo de Kioto.....	105
El adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico.....	105
Contaminación del agua dulce.....	106
Contaminación por agrotóxicos y principio precautorio.....	106
Contaminación por metales pesados.....	111
Contaminación por hidrocarburos.....	112
Contaminación por elementos radiactivos.....	113
Preguntas.....	114
<b>Ensayos y descripción de casos</b>	
VIII.1. La acidificación del océano.....	115
VIII.2. Contaminantes ambientales emergentes.....	124
VIII.3. Estudios sobre el estado del río Reconquista.....	130
VIII.4. Bases ecológicas y económicas para la elección del sistema de.....	136
tratamiento de las aguas residuales.....	142
VIII.5. Costo de la contaminación del río Luján.....	145
VIII.6. Tratamientos por digestión anaeróbica de residuos derivados de actividades agropecuarias.....	148

## **CAPÍTULO IX**

### **LOS RECURSOS NATURALES**

¿Qué son los recursos naturales? .....	159
Un modelo de manejo de recursos naturales .....	161
Recursos naturales en América Latina .....	162
Los recursos de la biodiversidad .....	163
El recurso suelo, base de la producción agropecuaria .....	164
Degradación de suelos .....	165
Los sistemas agrícolas .....	166
Sobre la agricultura familiar y la agroecología.....	168
Los recursos de los bosques nativos y de los implantados.....	169
Plagas e invasiones biológicas .....	171
Control de plagas en la agricultura .....	172
El recurso agua dulce .....	173
Aguas superficiales .....	173
Aguas subterráneas .....	174
El turismo ecológico .....	175
Preguntas.....	176
<b>Ensayos y descripción de casos</b>	
IX.1. Recursos naturales y sustentabilidad .....	177
IX.2: La teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales .....	186
IX.3. La vicuña, conservación y manejo .....	192
IX.4. Recursos pesqueros y acuicultura mundial y nacional.....	200
IX.5. El pastizal pampeano .....	208
IX.6. La erosión del suelo como proceso condicionado por factores económicos y sociales .....	219
IX.7. Manejo forestal sustentable de los bosques nativos .....	221
IX.8. Especies forestales de crecimiento rápido con especial referencia a <i>Eucaliptus grandis</i> en la Mesopotamia argentina .....	226
IX.9. Cambios de uso de la tierra en los humedales del Bajo Delta del Paraná .....	233
IX.10. Invasiones biológicas .....	240
IX.11. Control biológico de plagas .....	244
IX.12. Control biológico y dinámica poblacional de una plaga en California .....	251
IX.13. Las macrófitas, ingenieras en sistemas acuáticos .....	256
IX.14. El turismo como objeto tecnológico .....	259
<b>Bibliografía</b> .....	265
<b>Glosario</b> .....	288

## **Agradecimientos**

*Agradezco a Fernando Momo, Carlos Coviella, Adonis Giorgi y Claudia Feijoó que han colaborado conmigo, no sólo en este libro, sino a lo largo de muchos años en la docencia y la investigación; a los estudiantes, que durante cuarenta años han sido parte del apasionante trabajo de la docencia universitaria; al Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable de la Universidad Nacional de Luján donde trabajo, por lo estimulante de sus proyectos en curso y por sus racionales sueños y esperanzas; a los integrantes de la Comisión directiva de la Asociación Civil Instituto de Ecología de Luján por su disposición permanente; y a los profesores e investigadores que respondiendo a mi invitación, escribieron los ensayos con los que se enriquece la lectura de este libro, en particular al doctor Jorge L. Frangi, quien además lo revisó e hizo buenas observaciones que ayudaron a mejorar esta edición.*

**Leonardo Malacalza**

# **PRIMERA PARTE**

## **ELEMENTOS DE TEORÍA ECOLÓGICA**

## CAPÍTULO I

# La vida y la energía

*Leonardo Malacalza y Fernando Momo*

## LA VIDA Y LA ENERGÍA

### ¿QUÉ ES LA VIDA?

Estamos vivos y nuestra vida transcurre entre objetos vivos y otros que consideramos inertes. Diferenciamos un organismo vivo, con vida, de uno muerto, sin vida. Observamos y estudiamos a los seres vivos, y quizá sin mayores dificultades hemos aprobado cursos de biología, de botánica o de zoología; y hasta ahora casi todos hablamos de vida y de seres vivos con cierta seguridad.

Comencemos preguntándonos ¿qué es la vida? ¿Cómo se originó? ¿Se originó sólo una vez?, y sigamos: ¿de dónde viene la enorme diversidad de plantas y animales que existe? ¿Siempre han sido los mismos desde que surgió la vida? ¿Por qué los seres vivos tienen estructuras y comportamientos más o menos complejos adaptados al medio ambiente?

Muchos científicos, que han tratado el tema, expresan las dificultades para definir qué es la vida y que, por ahora, no es posible una definición exacta, que incluya a todas las cosas vivas del pasado y del presente, y que excluya a todas las no vivientes. Cuando se trata de situaciones extremas es fácil ponerse de acuerdo respecto de que es un ser vivo –un hombre, un árbol- y un ser no viviente –un vidrio, un metal-. Ya no es tan fácil establecer el límite de separación entre un ser vivo y otro no vivo cuando se comparan sistemas tales como algunas macromoléculas orgánicas o los virus. Más simple que una macromolécula es una molécula y más que ésta, los átomos que la componen. Entonces átomos, moléculas y macromoléculas son algunos de los niveles de complejidad creciente de organización de la materia.

Para aproximarnos a una definición de la vida deberemos identificar los procesos que permiten la aparición y mantenimiento de estructuras químicas que, mediante flujos de energía, son capaces de reproducirse y sobrevivir en un ambiente del que pasan a ser parte.

Esos procesos o funciones de la materia que nos permiten referirnos a la materia viviente, o a la vida, son el automantenimiento, la autorreproducción y la autorregulación, que son, respectivamente, la posibilidad de mantener la estructura viva recibiendo, incorporando y transformando materia y energía, mediante la nutrición, la asimilación, la respiración y la fermentación; la posibilidad de propagarse mediante la reproducción; y la posibilidad de controlar su crecimiento y su relación con el ambiente. Estas tres funciones se observan en todos los seres vivos, desde las estructuras vivas más elementales: las células.

En este capítulo nos ocuparemos de la vida como un proceso que comenzó hace 3800 millones de años en el planeta Tierra, y no como el tiempo que transcurre entre el nacimiento y la muerte de cada ser viviente.

### LA MATERIA, LA ENERGÍA Y EL ORDEN

Los seres vivos están constituidos por materia y funcionan y se mantienen organizados por el aporte constante de energía. Materia es todo aquello que tiene masa y ocupa espacio. En tanto que la energía es una capacidad de la materia que, en parte, puede transformarse

en trabajo. La materia, aunque pueda combinarse y recombinarse, persiste, en tanto que la energía, que posibilita esos cambios, fluye y va perdiendo su capacidad de realizar trabajo, se va degradando en forma de calor no útil.

El agua de un embalse tiene energía potencial (energía capaz de realizar un trabajo dada por la fuerza de la gravedad) que puede transformarse en energía cinética (trabajo realizándose) si abrimos las compuertas y dejamos fluir el agua; una parte de esa energía cinética se transforma en trabajo al hacer girar las turbinas, y la energía cinética de las turbinas se transforma en energía eléctrica en la dinamo. En realidad es imposible que toda la energía de un sistema se transforme en trabajo: la fracción de dicha energía que efectivamente se convierte en trabajo es la energía libre, el resto se pierde como calor.

## LEYES DE LA TERMODINÁMICA

Esas propiedades de la energía están enunciadas y explicadas por las leyes de la termodinámica. La primera, la ley de la conservación de la energía, dice que la energía no puede crearse ni destruirse; puede transformarse y adoptar distintas formas -puede ser luz, calor, movimiento, estar en los enlaces entre átomos y moléculas, y otras-, pero siempre la energía de un sistema más su entorno, se conserva, no aumenta ni disminuye.

Todas esas formas de energía no tienen la misma capacidad de realizar trabajo, así el calor es la forma de energía que menos capacidad tiene de transformarse en trabajo y que tiende a desorganizar los sistemas. Esto se explica en la segunda ley de la termodinámica, que dice que en cada conversión de la energía, ésta va perdiendo capacidad de realizar trabajo, disipándose parcialmente en su entorno en forma de calor. Y como el calor tiene poca capacidad de realizar trabajo el desorden aumenta y decimos que aumenta la entropía. La entropía es, entonces, una medida del desorden de cualquier sistema y también es una medida de la “degradación” o desgaste de la energía.

Volviendo al ejemplo del embalse, estas leyes se ponen de manifiesto si observamos que la energía eléctrica máxima que podemos obtener en la dinamo es insuficiente para elevar toda el agua que movió las turbinas hasta el nivel en que se encontraba en el embalse. Esto no indica que la energía haya disminuido, es la capacidad de realizar trabajo lo que ha disminuido.

Los procesos espontáneos -como el flujo del agua del río- siempre tienden a desarrollarse en el sentido en que la energía libre del sistema disminuye y la entropía del universo -el conjunto del sistema y su entorno- aumenta. Podemos hablar de una tendencia natural al desorden que se da en los sistemas materiales inertes y en los sistemas vivos, como las células.

## LA CÉLULA Y EL CONSUMO DE ENERGÍA

La célula viva es una organización inestable y poco probable. Para mantener su estructura necesita del aporte constante de energía. Si esto no sucede la célula se desordena y muere. La capacidad de recibir, transformar y usar energía es lo que, como una característica fundamental de la vida, conocemos como autoconservación o automantenimiento.

La organización requiere energía, cuanto más organizado sea un sistema, mayor cantidad de energía requerirá para mantener su organización contra la tendencia natural al desorden. Para luchar contra esa tendencia al aumento de entropía y evitar la cantidad de desorden que representa la muerte, la célula requiere constantemente nueva energía del exterior. Por eso decimos que los sistemas vivos son sistemas disipativos, porque mantienen su organización a costa de un flujo de energía que los atraviesa. Esto explica por qué todo ser vivo, por

sencillo que sea, necesita energía en alguna de sus formas.

Pero los seres vivos necesitan energía no sólo para mantener sus estructuras organizadas sino también para desplazarse, relacionarse, reaccionar ante estímulos, pensar, agredir, huir, y muchas otras funciones.

Los seres humanos somos sistemas constituidos por células: somos organismos inestables, ya que, aún durmiendo, necesitamos el aporte de energía; y somos poco probables, en el sentido de que según transcurre el tiempo la probabilidad de desorganizarnos y morir aumenta.

La vida sobre la Tierra se mantiene con la energía proveniente del sol. El sol continuamente emite radiación que se propaga por el espacio en forma de ondas, cuyas longitudes y amplitudes determinan la cantidad de energía que contienen los fotones, que serían algo así como paquetes de energía. Cuanto menor es la longitud de onda de la radiación, mayor es la cantidad de energía del fotón. La luz visible es la porción de radiación comprendida entre los 370 y 750 nanómetros (nm) de longitud de onda (1 nm es la millonésima parte de 1 milímetro).

Las plantas verdes mediante moléculas especializadas (clorofila y otros pigmentos) son capaces de absorber y transformar la energía de la luz visible o radiación fotosintéticamente activa (PAR, su acrónimo en inglés). Esta transformación se efectúa a través de una serie de reacciones químicas intermedias y, en conjunto, el proceso se denomina fotosíntesis. Con esa energía construyen nuevas moléculas y en éstas, una parte, queda almacenada en forma de energía química. Una de las moléculas que se construye es la de glucosa: el primer combustible energético utilizado por los seres vivos.

Los animales necesitan comer para incorporar las moléculas orgánicas de donde obtener energía que les permita seguir viviendo. También las plantas en las partes que generalmente no fotosintetizan (raíces, tallos, frutos, flores), deben recibir moléculas orgánicas capaces de proveerles energía aportadas por las estructuras verdes, como las hojas, que mayoritariamente hacen fotosíntesis.

Unos y otros, todos los seres vivos obtienen energía libre, que permite realizar trabajo, por medio de la respiración, nombre con el que se conoce al proceso que se lleva a cabo dentro de las células, en organelas llamadas mitocondrias, y que consiste básicamente en la oxidación lenta de moléculas orgánicas ricas en energía.

A los organismos vegetales con clorofila se los denomina autótrofos, esto significa que son capaces de fabricar sus propios compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas y luz. En tanto que a los organismos carentes de clorofila se los denomina heterótrofos, o sea los microorganismos, los animales y las plantas no verdes que deben tomar los alimentos del medio en que viven.

## LA CLASIFICACIÓN DE LOS SERES VIVOS

En las primeras etapas de su existencia el hombre comenzó a observar los animales y las plantas que atrajeron su atención, o bien que le fueron útiles o perjudiciales. Una vez que estableció sus diferencias o semejanzas, les dio un nombre. Ese criterio de clasificación tenía un fin práctico inmediato; se podía aprender y transmitir con facilidad.

Las cosas se clasifican para ordenarlas, entenderlas y eliminar el aprendizaje repetido. En biología la tarea de clasificar y ordenar los organismos es muy grande; hace algunas décadas se estimaba la existencia de alrededor de cinco millones de especies; hoy se estima que son muchas más y quizá lleguen a unos diez de millones.

Cuando se trata de clasificar objetos no vivos la tarea es más simple. Pero cuando nos referimos a plantas y animales la clasificación se complica; debemos tener en cuenta que los seres vivos tienen una historia evolutiva, una historia en la que a partir de ancestros las especies fueron cambiando, a la que llamamos filogenia y también un porvenir con la posibilidad de cambiar en el futuro.

Las plantas y los animales tienen nombres vulgares vernáculos, como “algarrobo”, “churrinche”, “bagre”, “pino paraná”, “perro”, de uso más o menos amplio. Pero no es raro que el mismo organismo reciba distintos nombres en el mismo país o que cambie en países con el mismo idioma; o que por el contrario se dé igual nombre a diferentes organismos. Para evitar la confusión, se hizo necesario adoptar una nomenclatura generalizada. A mediados del siglo XVIII Linneo, un naturalista sueco, propuso la nomenclatura binomial para dar a cada especie un nombre con un epíteto genérico y otro específico que debían ser escritos en latín.

A partir de Linneo, la especie es la unidad básica de la clasificación jerárquica en taxonomía. Pero aún hoy no es fácil definir qué es una especie. En general, por ejemplo, si hablamos de animales como los mamíferos, podemos decir que una especie se compone con organismos capaces de aparearse entre sí y generar descendencia fértil, y también que está delimitada por similitudes en las características morfológicas de los individuos. Pero esta definición requiere otras descripciones para otros grupos de organismos con otras características, manteniendo en todos los casos, el propósito de identificarlos con la misma denominación por todos aquellos que los observen.

El sistema de Linneo consta de siete agrupamientos básicos o taxa, en plural, y taxón, en singular:

En nuestros ejemplos *Allium cepa* y *Homo sapiens* son los nombres de las especies que conocemos como cebolla y hombre. Esos nombres están compuestos por dos palabras, por eso la nomenclatura se llama binomial. *Allium* y *Homo* son los nombres de los géneros, y *cepa* y *sapiens* son los epítetos específicos, pero el nombre de las especies está formado por las dos palabras: *Allium cepa* y *Homo sapiens*.

Existe un orden jerárquico entre los siete taxa, es decir que cada agrupamiento incluye una variedad de características mayor que el inmediato inferior. Un género contiene comúnmente más de una especie, una familia varios géneros, un orden varias familias, y así sucesivamente.

TAXA	Ejemplos	
<b>REINO</b>	<i>Vegetal</i>	<i>Animal</i>
<b>DIVISIÓN (o Phylum)</b>	<i>Angiospermas</i>	<i>Cordados</i>
<b>CLASE</b>	<i>Monocotiledóneas</i>	<i>Mamíferos</i>
<b>ORDEN</b>	<i>Liliflorales</i>	<i>Primates</i>
<b>FAMILIA</b>	<i>Liliáceas</i>	<i>Homínidos</i>
<b>GÉNERO</b>	<i>Allium</i>	<i>Homo</i>
<b>ESPECIE</b>	<i>Allium cepa</i>	<i>Homo sapiens</i>

## **PREGUNTAS**

1. ¿Cuáles son las propiedades básicas que caracterizan a todos los seres vivos?
2. ¿Qué es materia y qué es energía?
3. ¿Puede dar ejemplos de distintas formas de energía?
4. ¿Puede interpretar el enunciado de las Leyes de la Termodinámica?
5. ¿Qué entiende por entropía? ¿Puede dar ejemplos de variaciones relativas a esta magnitud?
6. ¿Puede explicar por qué se dice que los seres vivos se oponen al aumento de entropía?
7. ¿Por qué la célula viva requiere el aporte constante de energía?
8. ¿Cuál es la principal fuente de energía que hace posible la vida?
9. ¿Puede explicar cómo obtiene la vida la energía y mediante qué procesos la transforma y la utiliza?
10. ¿Qué es un organismo autótrofo y qué es un organismo heterótrofo?
11. ¿En qué consiste básicamente la fotosíntesis y la respiración y en qué organelas se realizan?
12. ¿Qué es la luz y qué importancia tienen para la vida las distintas longitudes de onda?
13. ¿Puede explicar en qué consiste la nomenclatura binomial de las especies y dar algunos ejemplos?

## CAPÍTULO II

# La biosfera y su evolución

*Leonardo Malacalza, Fernando Momo y Carlos Coviella*

## LA BIOSFERA Y SU EVOLUCIÓN

### LA BIOSFERA

Biosfera es el nombre que se da al conjunto de seres vivos de todo el planeta que existen en un tiempo dado. Su aparición y desarrollo, y la modificación de su entorno ha ocurrido en el curso de un largo proceso que comenzó hace unos 3800 millones de años.

La biosfera no es una capa continua de materia viva sino que está cuantificada en individuos pertenecientes a una cantidad estimada de diez millones de especies. Tiene un espesor máximo de unos veinte kilómetros; diez hacia abajo en las fosas marinas y diez hacia arriba en las montañas. Se estima que la masa de todos los seres vivos distribuida homogéneamente sobre la superficie del planeta formaría una capa de sólo un centímetro de espesor. No obstante los efectos que produce son muy grandes, tanto en la atmósfera como en las aguas y los suelos.

Las interfases entre los estados líquido, sólido y gaseoso constituyen quizá los lugares más propicios para el desarrollo de la vida. Piénsese una planta arraigada en la orilla de una laguna, con sus raíces que pueden tomar los nutrientes del suelo, el agua que nunca ha de faltarle cubriendo parte de su cuerpo, y otra parte emergida expuesta al aire de donde puede obtener siempre dióxido de carbono y oxígeno. Pero la vida se desarrolla –al menos en nuestro planeta- en todo lugar donde haya agua líquida -aún donde es mínima y sólo está libre poco tiempo- y donde reciba energía de la luz o de alguna molécula capaz de suministrarla.

### LA ORGANIZACIÓN DE LA NATURALEZA

La materia viva o inerte es atravesada por un flujo constante de energía que le da movimiento. Esto es así tanto para los átomos como para los más complejos sistemas vivos. Esta característica, la del movimiento de la materia, es de gran importancia para poder entender el concepto de evolución; concepto aplicable para la evolución cósmica, la evolución biológica y la evolución social. Evolución significa cambio con continuidad, normalmente con cierta dirección.

La energía produjo la compleja organización de la materia. La materia del universo se organizó así en una larga escalera de complejidad creciente: partículas elementales, átomos, moléculas, células, organismos, poblaciones, comunidades. A veces se habla de niveles de organización para referirse a cada uno de los peldaños de esa imaginaria escalera.

Cada nivel de organización biológica posee propiedades heredadas del nivel anterior y propiedades nuevas, denominadas emergentes, a partir de las cuales se define o caracteriza el nivel siguiente. Por ejemplo, la sexualidad es una propiedad emergente de los sistemas biológicos; ningún átomo ni molécula tiene sexo, pero una célula, construida con moléculas y macromoléculas, sí puede tenerlo; las células aisladas no pueden emitir sonidos, pero sí un organismo animal que está constituido por células.

La clasificación por orden de complejidad se corresponde con una clasificación cronológica. En la primera etapa de la evolución de la Tierra, que duró alrededor de 600-800 millones de

años, los procesos que en ella se desarrollaban con partículas subatómicas, átomos y moléculas combinándose y recombinándose obedecían sólo a leyes físicas y químicas. Esta fue la etapa que denominamos de la evolución prebiológica. Mucho se ha investigado y se continúa investigando sobre esta etapa en la que se dieron las condiciones para que fuese posible algo tan improbable como la vida; se trata tanto de especulaciones teóricas y de explicaciones religiosas, como de observaciones de la naturaleza y de experimentos realizados en condiciones de laboratorio.

La vida como una expresión del movimiento de la materia aparece hace algo más de 3800 millones de años y comienza la evolución biológica. Es decir que la vida aparece como una propiedad emergente de un nivel sin vida donde sólo actuaban las que hoy conocemos como leyes físicas y químicas. Con la presencia de estructuras vivas, surgen nuevas reglas de juego, las leyes biológicas, en un planeta Tierra muy distinto del actual, con una atmósfera que tenía una proporción mínima de oxígeno, altas temperaturas y mucha radiación ultravioleta que haría imposible la vida tal cual la conocemos distribuida en toda la biosfera.

## LA VIDA: ¿DÓNDE, CÓMO Y CUÁNDO COMENZÓ?

Esta pregunta se la está haciendo desde hace miles de años una particular manifestación de la vida, un ser viviente, el hombre -la especie animal *Homo sapiens*- y en todo ese tiempo fue encontrando y desechando respuestas.

Fragmentos de historia antigua nos dicen que en Egipto, China, India, Grecia, nuestros antepasados, con no menos capacidad intelectual que nosotros, creían en la generación espontánea. Creían que los organismos podían surgir espontáneamente de la materia inerte: las moscas y los ratones de la basura, la polilla de la ropa vieja, los peces del agua, los sapos del barro. Así parece que lo creyó Aristóteles que vivió hace 2300 años. Y lo siguieron creyendo otros sin dudar hasta hace tan sólo 300 años. Al pensamiento de Aristóteles se fueron sumando grandes pensadores como San Agustín (354-430) o Santo Tomás de Aquino (1225-1274).

Fue en los últimos tiempos (Siglos XVI y XVII) cuando, desafiando los dogmas heredados, se manifestaron pensamientos críticos basados en el método experimental. Sin embargo, aunque se progresaba en el conocimiento de las ciencias exactas y naturales, se seguía creyendo en la generación espontánea de los organismos, hasta que Louis Pasteur, en 1862, demostró la existencia de microorganismos que están presentes en todos los ambientes donde pueda desarrollarse la vida. El uso del microscopio para observar un líquido nutritivo que fue esterilizado, parte del cual fue expuesto al aire y otra parte se conservó estéril, mostró que en la primera se desarrollaban microorganismos y en la otra no; eso fue suficiente para probar que no existía generación espontánea de organismos vivos, ni aun los más simples y pequeños, como las bacterias.

En esos años ya se hablaba de cambio y de evolución de las especies según transcurría el tiempo, y se decía que los seres vivos provenían de otros que habían existido en el pasado. Por ese camino, andando hacia atrás en el tiempo, tendríamos que llegar al origen de los primeros seres vivos, al origen de la vida en el planeta Tierra: o era creación sobrenatural -y no se hablaba más del tema- o había que buscar una explicación científica.

La vida podría haber llegado del espacio (teoría llamada de la panspermia), pero las formas vivas que conocemos no resistirían las condiciones extremas de la travesía: sólo la radiación ultravioleta del sol sería suficiente para destruir las complejas moléculas orgánicas, aún de los organismos más simples. Por otra parte, aun aceptando la panspermia como causa de aparición de la vida en nuestro planeta, no contestamos las preguntas fundamentales de cómo, cuándo y dónde fue que comenzó la vida.

## EVOLUCIÓN BIOLÓGICA: CARLOS DARWIN

Muchas evidencias, tanto directas como indirectas, muestran que los organismos vivientes han ido cambiando con el paso del tiempo. Pero no ha sido fácil explicar cómo cambian y evolucionan las especies. Aún existen muchos aspectos sin resolver.

En el año 1859 Carlos Darwin, un científico inglés, publicó un libro titulado *El origen de las especies*, en el que sostenía que las especies descienden de otras que existieron anteriormente y que el proceso fundamental según el cual esto ocurre en la naturaleza es la selección natural. Según Darwin el mundo no es estático sino que evoluciona; las especies cambian continuamente, unas se originan y otras se extinguen. En esto no fue el primero; ya otros como el zoólogo francés Lamarck, a principios del siglo XIX, dijeron que los seres vivos habían surgido por transformación de unas pocas especies primitivas. Lamarck no habló de “evolución de las especies”. Sí lo hizo Darwin, para quien el proceso de la evolución era gradual y continuo. Postuló también que los organismos estaban emparentados por un antepasado común, y que todos, incluido el hombre, podían remontarse hasta un origen único de la vida.

Hubo muchas protestas por la inclusión del hombre en la comunidad de descendencia de los mamíferos, pero la idea fue lentamente aceptada por los biólogos pero no por la mayoría de los que no lo eran.

Darwin observó que los individuos pertenecientes a una misma especie presentan variaciones entre ellos, son todos diferentes, aunque sea por muy poco. También notó que tanto animales como vegetales dejan, o pueden dejar, mayor número de descendientes que los que puede contener un espacio y tiempo limitados. Sin embargo en la naturaleza el número de individuos de cada especie se mantiene más o menos constante durante un tiempo más o menos largo, que puede ser de centenares de miles o millones de años. ¿Cuáles son los individuos que sobreviven en cada generación? Sobreviven los que, por esas diferencias individuales están, ya al nacer, mejor adaptados al ambiente en que crecerán y se reproducirán, transmitiendo a los descendientes sus características diferenciales ventajosas. En tanto que han de morir tempranamente los que, por las diferencias individuales, estén en peores condiciones para obtener del ambiente lo necesario para crecer y reproducirse; para que opere la selección es importante que las diferencias desventajosas produzcan la eliminación de tales individuos antes de alcanzar la edad reproductiva. En otras palabras, los individuos no se adaptan al ambiente, sino que algunos ya nacen con características que les otorgan mayores probabilidades de sobrevivir. Son las poblaciones las que, a lo largo del tiempo, resultan adaptadas por selección natural. Hablaba Darwin de la lucha por la existencia y de la selección natural. Cuanto más dura la lucha, más rápida será la evolución de las especies.

Lamarck había sostenido que las especies se transformaban según las necesidades que el ambiente le fuese creando, pues ya se estaba sabiendo que en el planeta se producían grandes cambios geofísicos a lo largo del tiempo. Para Lamarck los organismos vivos, las especies, *debían adaptarse para* poder sobrevivir si el ambiente cambiaba. El ambiente les creaba nuevas necesidades, y por consiguiente adoptaban nuevos comportamientos que originaban nuevas estructuras. A la larga, estos cambios de comportamientos y estructuras originaban nuevas especies. Lamarck daba como ejemplo de su teoría el caso de las aves zancudas, que tenían -decía él- las patas tan largas por el deseo de estar en el agua sin mojar sus cuerpos.

Una diferencia importante entre las teorías de Lamarck y de Darwin está en que mientras la primera sostiene que las variaciones en los individuos de las especies son la respuesta a una necesidad, la segunda las atribuye sólo al azar. Otra diferencia es que mientras Darwin creía

que el ambiente determinaba la evolución de las especies, Lamarck sostenía que los organismos elegían el ambiente en el que podrían transformarse según las necesidades que apareciesen.

En el siglo XX, con el avance de la genética, se supo que las diferencias individuales que observó Darwin se deben a *mutaciones*, cambios espontáneos o inducidos en el código genético. Por tanto la evolución y aparición de nuevas especies era consecuencia de la acumulación de pequeñas mutaciones favorables conservadas por la selección natural. Con esas bases nació el neodarwinismo o teoría sintética de la evolución que fue desarrollada por científicos tales como Simpson, Mayr, Huxley, Dobzhansky y otros.

Darwin dio gran importancia a la competencia entre los organismos en la evolución de las especies. Actualmente se considera que también la cooperación (simbiosis) entre especies ha tenido y tiene una importancia muy grande en la aparición de estructuras y funciones de los seres vivos. Nosotros mismos, organismos de la especie *Homo sapiens*, sólo podemos vivir por la asociación permanente con muchas especies de bacterias (Margulis & Sagán, 1995) estiman que alrededor del 10 % de nuestro peso seco pertenece al de nuestras bacterias. Más aún, cada una de nuestras células proviene filogenéticamente de asociaciones con bacterias (por ejemplo este parece ser el origen de las mitocondrias). Las bacterias de la flora intestinal pueden ser identificadas, no así las que dieron origen a varios de los componentes de nuestras células eucariotas. La estructura interna similar que tienen casi todos los cilios y flagelos de los seres vivos nos hablan de un origen común, desde el flagelo de las euglenas (algas unicelulares) hasta los cilios de nuestro tracto respiratorio o el flagelo de los espermatozoides: en un remoto pasado -hace unos 2000 millones de años- bacterias ciliadas, como las espiroquetas, se asociaron a otras células aportándoles las ventajas del movimiento.

## PRUEBAS DIRECTAS E INDIRECTAS DE LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA

La presencia de fósiles vegetales y animales en las rocas sedimentadas de la corteza terrestre constituye la más importante *evidencia directa* de los cambios experimentados por los seres vivientes a través del tiempo. La ciencia que estudia la vida del pasado a partir de los fósiles se llama paleontología.

También ha sido posible observar, a lo largo de los años, cambios significativos en poblaciones vegetales y animales. Entre estos cambios tenemos los provocados por acción del DDT sobre ciertas poblaciones de insectos. Cuando este insecticida se utilizó por primera vez eliminó rápidamente poblaciones de insectos considerados plaga, entre otros las moscas domésticas, pero al transcurrir el tiempo su efecto sobre las poblaciones decreció cada vez más. Esto indica que no habiendo cambiado el DDT, quienes cambiaron fueron las moscas. También ejemplos de cambios en microorganismos se podrían tomar a partir de 1945, fecha en que comenzaron a utilizarse, en amplia escala, los antibióticos.

Además de las pruebas directas de la evolución, hay también *evidencias indirectas*. Entre éstas tenemos las aportadas por la anatomía comparada, rama de la biología que establece semejanzas y diferencias en los rasgos anatómicos de diferentes seres vivos. Por ejemplo, al comparar los esqueletos de un mono y un hombre se pueden observar estructuras semejantes y además dispuestas de acuerdo a un modelo similar; estas estructuras se llaman homólogas.

El estudio comparado del desarrollo de los embriones también ha mostrado la presencia de modelos básicos que reafirman la idea de un origen común de animales que actualmente son distintos.

También a nivel celular existen semejanzas muy grandes y mecanismos similares de funcionamiento, hecho que se hace aún más evidente si nos acercamos al nivel molecular.

La gama de evidencia directas e indirectas es tan grande y consistente que hoy no existe hombre de ciencia que niegue la existencia del proceso de evolución de los seres vivientes.

Los momentos que consideramos importantes en la secuencia cronológica de la evolución biológica han sido:

- La aparición de la vida, probablemente en un ambiente acuático, hace unos 3800 millones de años. Su expresión pudo haber sido la aparición de moléculas replicantes, con propiedades de multiplicación y diferenciación, parecidas al ARN, y agrupadas, con capacidad de aislarse con algún tipo de membrana externa.
- La aparición de organismos fotosintéticos, cianobacterias y rodofíceas, hace 3700 millones de años.
- La aparición de células con núcleo, los eucariontes, hace 1500 millones de años.
- La aparición de los animales (esponjas, celenterados y artrópodos) hace 600 millones de años.
- La conquista de la tierra por los vegetales primitivos hace 450 millones de años.
- El pasaje de animales acuáticos a la vida terrestre hace 350 millones de años.
- La aparición de los ancestros humanos hace cerca de cuatro millones de años.
- La aparición del *Homo sapiens* en África hace unos 180.000 años.

## PREGUNTAS

1. ¿Puede usted describir un cambio ambiental extraordinario al que una especie animal podría estar expuesta? Utilice esta descripción como guía y aplique el concepto darwiniano de la “supervivencia del más apto”.
2. ¿Puede distinguir la selección artificial de la selección natural teniendo en cuenta los factores selectivos que operan en cada caso? ¿Cómo actúan probablemente hoy en el hombre, en la especie *Homo sapiens*, la selección artificial (es decir, cultural) y la selección natural?
3. ¿Qué es una mutación? Explique el concepto de variabilidad y dé ejemplos.
4. ¿Por qué a veces la especialización puede resultar perjudicial?
5. ¿Por qué en otros casos la especialización resulta beneficiosa?
6. ¿Por qué cree usted que se selecciona la inteligencia en la especie humana? (¿O sería más correcto preguntarnos por qué se seleccionó?). ¿Qué será más importante actualmente en nuestra especie: la evolución biológica o la evolución cultural?
7. ¿Cuáles son algunas de las causas que posibilitan que especies de insectos pueden evolucionar en pocos cientos de años, mientras que se necesitarían muchos miles de años para que evolucionen nuevas especies de mamíferos?

## CAPÍTULO III

# La ecología y los ecosistemas

*Leonardo Malacalza y Fernando Momo*

# LA ECOLOGÍA Y LOS ECOSISTEMAS

## LA ECOLOGÍA

En el capítulo anterior dijimos que la materia en el universo se organiza en una escalera de complejidad creciente, cada escalón constituye un nivel de organización cuyos componentes tienen propiedades heredadas de niveles anteriores más simples y propiedades nuevas emergentes de ese grado de complejidad. A cada nivel le corresponden las leyes de los niveles anteriores más las leyes de sus propiedades emergentes.

Así cada uno de esos niveles es estudiado por una ciencia: el de los átomos por la física, el de las moléculas por la química, el de los organismos por la biología. Pero los organismos también son estudiados por la ecología, ciencia que además estudia niveles de organización más complejos: poblaciones y comunidades. El nivel de población está formado por un conjunto de organismos de una especie que habitan en un lugar determinado; el de comunidad es el que surge de poblaciones superpuestas e interrelacionadas. Los ecólogos generalmente estudian relaciones estructurales y funcionales que se forman entre los niveles de poblaciones o de comunidades y el ambiente físico y químico. También estudian a los ecosistemas en su conjunto, es decir, a las comunidades dentro de su ambiente, los flujos de materia y energía, los balances de los elementos químicos en ese sistema complejo.

Y por supuesto, cada vez los ecólogos están más interesados en investigar qué sucede cuando cualquiera de los sistemas mencionados es modificado, perturbado o explotado por la actividad humana o por causas naturales. Así temas de investigación como los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, el impacto de las especies invasoras en una comunidad, la dinámica de las poblaciones de especies consideradas plagas o la de aquellas que se encuentran en riesgo de extinción, se han constituido en ramas de la ciencia ecológica con marcos teóricos y metodologías propias y particulares.

El vocablo ecología fue creado en 1866 por el biólogo alemán Ernest Haeckel, a partir del griego *oikos*, casa, y *-logos*, ciencia. Entonces podemos definir la ecología como *la ciencia que estudia las relaciones existentes entre los organismos vivos y el ambiente en que viven*.

## SISTEMAS Y ECOSISTEMAS

Un *sistema* es un conjunto de elementos que interactúan y están relacionados entre sí de manera tal que responden como un todo unificado; cualquier variación o cambio en alguno de los elementos, de algún modo, influye sobre el conjunto. Así visto, un conjunto de organismos de una o más especies que interactúan entre sí y con su entorno físico y químico intercambiando materia y energía, constituye un sistema ecológico, un ecosistema.

Pueden considerarse ecosistemas a un bosque, a un río, a una ciudad, a una bahía, al mar entero, a toda la biosfera y también a un recipiente como una pecera. Entonces delimitar un ecosistema no es simple, porque a veces la zona de transición con ecosistemas vecinos es

muy difusa y el intercambio de materiales entre uno y otro puede ser grande; la delimitación comúnmente se hace según el propósito de quienes lo estudian o de quienes lo usan, cosas que por lo general suelen ser arbitrarias.

En un ecosistema constituido por una comunidad y su ambiente, la energía unida a la materia fluye, es transportada, transferida, entre los organismos consumiéndose en ese camino. En tal camino pueden distinguirse una serie de niveles tróficos, el primero es el de los productores primarios, formado por los organismos que contienen clorofila. Este nivel es la puerta de entrada de energía solar al ecosistema. Con esa energía y con moléculas inorgánicas que se encuentran en el medio, se sintetiza materia orgánica dentro de las células autótrofas: es la *fotosíntesis*. La materia orgánica así formada en un área, se denomina *producción primaria*. Parte de esta producción es respirada por los mismos organismos autótrofos, los productores primarios, que son las plantas verdes, desde los formados por una sola célula como las algas del fitoplancton, hasta los grandes árboles. La producción que queda representa un aumento de la biomasa de los productores primarios y se la designa *producción primaria neta*, para distinguirla de la *producción primaria bruta* que incluye a la producción neta más la que se gasta en la respiración.

Una parte de la producción neta es ingerida por el nivel trófico siguiente: el de los herbívoros o fitófagos, dando origen a la *producción secundaria bruta*; restando la energía que se consume en ese nivel en respiración, queda la *producción secundaria neta* que, a su vez, es utilizada por el tercer nivel trófico, el de los carnívoros o zoófagos de primer grado. Así puede haber uno o dos niveles tróficos más. En tal orden cada nivel sería como un eslabón de una cadena: la cadena trófica, donde cada eslabón come del anterior y del cual come el siguiente.

Cadáveres, excrementos y otros restos producidos por diversos organismos son descompuestos por la actividad de los descomponedores (bacterias y hongos) que, mediante la respiración, los transforman en compuestos simples muy oxidados de los que ya no puede obtenerse energía aprovechable por los seres vivos. Pero estos compuestos simples sí pueden ser tomados nuevamente por los vegetales y con ellos, y nueva energía luminosa, construir moléculas orgánicas complejas, reiniciando el ciclo de la materia. Ha dicho el científico Luis Pasteur que *la vida y la muerte son cosas correlativas... la vida no podría existir sobre la Tierra si no hubiera al mismo tiempo, no sólo la muerte sino también la disolución*.

Dentro de los ecosistemas la materia puede reciclarse. Pero no sucede lo mismo con la energía que procede del sol: sabemos, por la segunda ley de la termodinámica, que en cada transformación la energía inexorablemente pierde parte de su capacidad de realizar trabajo, se va degradando. El mantenimiento del orden de un ecosistema lleva consigo un aumento de la entropía del medio. La energía no se recicla, fluye en un solo sentido. El flujo de energía impulsa el movimiento de la materia, que circula por momentos organizada y unida a ella (y por ella) formando los organismos, y conteniendo información. La estructura de los organismos se mantiene a costa de un intenso consumo de energía y producción de entropía, sobre todo, en los niveles tróficos más bajos, como las plantas y los herbívoros.

Pero tales cadenas rara vez son lineales: por lo general vemos *redes tróficas*: cuando un pez grande se come al pez chico también puede comer zooplancton, algún alevín de su mismo nivel, y otros. Además, no todos los organismos son comidos por otros: simplemente pueden morir y ser degradados por hongos y bacterias. Finalmente éstos descomponen toda la materia orgánica liberando las moléculas inorgánicas que son nutrientes con los que se puede sintetizar nueva materia orgánica y reiniciar el ciclo.

## ESTRUCTURAS DEL ECOSISTEMA

Dos grupos de rasgos característicos permiten describir de manera muy general los ecosistemas que se observan en la naturaleza, los rasgos estructurales y los rasgos funcionales. Los rasgos estructurales refieren a la disposición espacial de los componentes del sistema en un momento dado, que a nivel de ecosistema puede ser el tamaño, la forma y la densidad de las plantas o la distribución de los herbívoros. Forman estructuras del ecosistema los individuos de cada especie, la cantidad de éstas y sus biomásas, las reservas de biomasa y energía, la red de comunicaciones internas que permite el intercambio (flujo) de energía, materia e información entre las partes (ejemplos de estas últimas estructuras son nervios, venas, caminos, túneles, líneas eléctricas, oleoductos, etc.). Las estructuras a nivel de ecosistema le otorgan su fisonomía, por ejemplo los árboles en el bosque y las hierbas en las praderas, o el ecosistema formado por los organismos que viven en sobre fondo de las aguas o asociados a él y forman el bentos.

Las estructuras de los ecosistemas terrestres son más estables, tienen componentes poco móviles porque las plantas no se desplazan; en tanto en los sistemas acuáticos la estructura y el aspecto varían enormemente entre comunidades del fondo, bentónicas, y las de aguas abiertas, pelágicas. Entre estas últimas comunidades está la comunidad planctónica que posee estructuras, pero son muy poco estables porque dependen de los movimientos del agua.

Algunos aspectos de la estructura de un ecosistema son la biomasa (que designaremos B) y la diversidad específica, que también nos permite conocer el funcionamiento del sistema. La biomasa es la cantidad de materia viva por unidad de área horizontal o de volumen que hay en un lugar determinado. O sea el peso de los individuos vivos que hay en un lugar del ecosistema en un momento dado.

Para estimarla lo más simple es tomar muestras de la comunidad o de la población y pesárlas. El peso puede estimarse en peso fresco o en peso seco, y los resultados se expresan en mg/l, kg/m<sup>2</sup>, etc. La estimación en peso seco se realiza para estandarizar los resultados, eliminando el agua que varía mucho según el grado de hidratación de diferentes tejidos de diferentes organismos.

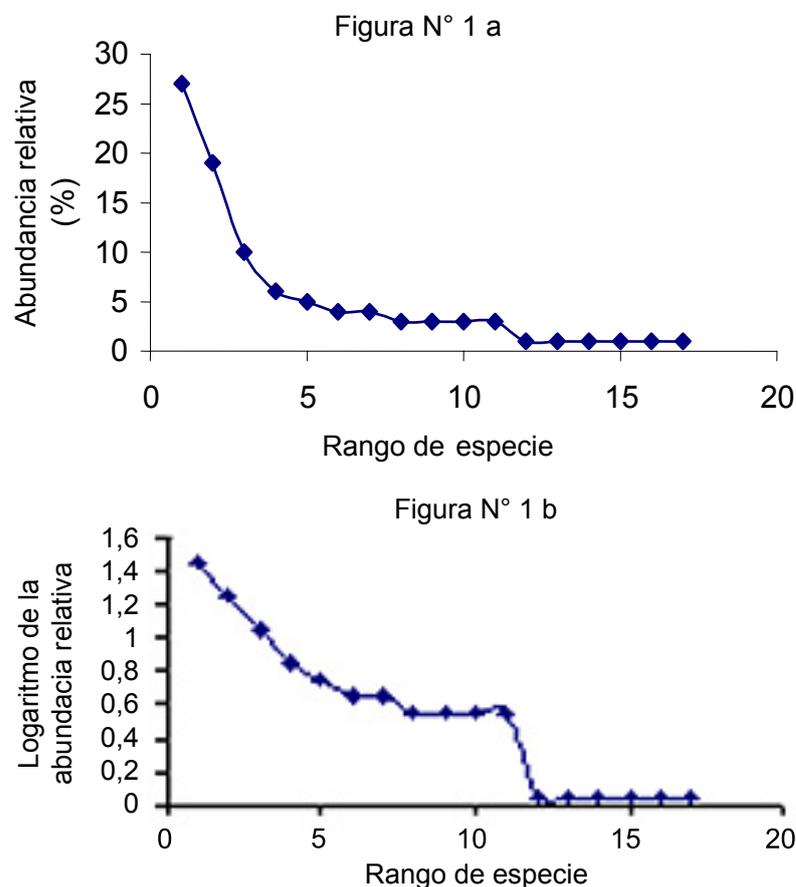
## DIVERSIDAD, RIQUEZA Y ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LAS ESPECIES

Por otro lado, para describir mejor la estructura del ecosistema y deducir algunas características de su funcionamiento, suele ser interesante observar cómo se distribuyen los organismos. Un ecosistema puede ser más o menos rico en especies, y cada una de éstas puede estar representada por un número más o menos constante de individuos, número que puede ser muy alto en unas pocas y bajo en muchas. Si logramos cuantificar este aspecto conocemos la diversidad. Ésta expresa tanto la riqueza de especies (número de especies presentes) como sus abundancias relativas. Cuanto más similares sean las abundancias relativas, más diverso será el sistema. La diversidad máxima teórica sería aquella en que cada uno de los individuos perteneciera a una especie diferente. Por el contrario sería mínima cuando todos los individuos pertenecieran a la misma especie. En general, en las comunidades naturales existen pocas especies representadas por muchos individuos y muchas especies representadas por pocos.

Ese fenómeno natural que aquí conocemos como diversidad, tiene similitudes en otros sistemas con otros elementos, que también presentan distribuciones determinadas por

procesos de automultiplicación y selección. Ha escrito Margalef (1974) “No debe extrañar demasiado que distribuciones semejantes a la de individuos de especies aparezcan en la distribución de la renta, en el número de publicaciones escritas por una serie de autores, en la extensión superficial de los países, en la distribución de los apellidos en una guía telefónica, en el número de especies en un conjunto de géneros, en la población de las ciudades, en la frecuencia de las distintas letras del alfabeto, en la distribución de las empresas de un ramo. En términos generales, hay muchas especies raras, muchos países pequeños y mucha gente pobre, que contrasta con unas pocas especies dominantes, unos pocos grandes en la arena internacional o unos pocos supercapitalistas”.

Si ordenamos las especies en una lista desde la más abundante a la menos abundante y graficamos el valor de importancia de cada especie (en número de individuos, en biomasa o en producción) en función de la secuencia de especies, desde la de mayor a la de menor valor de importancia, obtendremos un gráfico similar al de la figura III.1.



**Figura III.1.** Dos maneras de representar las abundancias relativas de las especies en función de su rango de importancia, en el gráfico N° 1.a se representan los datos numéricos obtenidos. En el N° 1.b se representa el logaritmo de los datos numéricos que es más cómodo cuando las abundancias son muy desparejas.

## LAS FUNCIONES DEL ECOSISTEMA

Las funciones que podemos observar y estudiar en un ecosistema son procesos, es decir, de fenómenos dependientes del tiempo. Una función es la secuencia temporal y ordenada de las estructuras que forman los componentes del sistema. Tales funciones de un ecosiste-

ma están relacionadas con el flujo de la energía, flujo que se expresa en cantidad por unidad de tiempo. Por ejemplo, la fotosíntesis y la respiración son funciones, es decir, procesos ordenados que posibilitan la obtención, transformación, almacenamiento y uso de la energía en los organismos, con la que incorporan y transforman materia. Y en los ecosistemas a través de las cadenas y redes tróficas esas funciones determinan el ciclo de materia, ciclo movido por la energía que se va consumiendo desde los productores primarios hasta los descomponedores, en tanto que la materia se mantiene, pasando por moléculas que contienen desde mucha a muy poca energía utilizable por los seres vivos. Recordemos que todas las funciones se producen de acuerdo a las leyes de la termodinámica.

## LA PRODUCCIÓN EN LOS ECOSISTEMAS

Algunos aspectos macroscópicos de las funciones o del funcionamiento del ecosistema son la producción (P); la tasa de renovación (P/B); el tiempo de renovación (B/P); el cociente P/R (donde R es la respiración); la estructura de nichos y la eficiencia.

La producción es una medida del flujo de energía por unidad de espacio y por unidad de tiempo. En otras palabras, es la energía transformada por unidad de tiempo; por ejemplo: g C. m<sup>-2</sup>. año<sup>-1</sup>. Ya hemos visto que la producción primaria bruta (PPB) es toda la biomasa sintetizada en la unidad de tiempo por los organismos autótrofos, y que la producción primaria neta (PPN) es lo que queda disponible para el siguiente nivel trófico después que los autótrofos respiraron lo necesario para mantenerse; así podemos expresar:

$$PPN = PPB - R \quad \text{o en forma más general: } PN = PB - R$$

donde la producción puede ser primaria o secundaria (la de los heterótrofos).

Si dividimos la producción neta por la biomasa media de un período considerado, tendremos una idea de qué cantidad de biomasa se renueva por unidad de tiempo; esta renovación es la tasa de renovación de la biomasa. Así  $P/B = 0,5$  indica que, en el lapso de medición (un año, un día, un mes) se renueva la mitad de la biomasa del sistema. Aquí la P es la producción neta. La función recíproca, B/P, nos da el tiempo de renovación de la biomasa, es decir, cuánto tarda la biomasa en renovarse totalmente, así un sistema con tasa de renovación  $P/B = 0,25 \text{ mes}^{-1}$ , tarda  $B/P = 4$  meses en renovar totalmente su biomasa. El tiempo de renovación puede ser del orden de unos pocos días e incluso horas (por ejemplo en bacterias y algas) hasta decenas de años en un bosque.

El cociente P/R nos da una idea de qué cantidad de la energía que entra se usa en mantener la estructura viva. Si P/R es mayor que 1 tendremos un sistema que está creciendo, produce más biomasa de la que consume y con el excedente puede incrementar sus estructuras y funciones, almacenarla y también cederla a otros sistemas, por ejemplo un pastizal en primavera que puede ser explotado por los herbívoros. Cuando el sistema, si es cerrado a la materia, se acerca a su máxima biomasa el cociente P/R tiende a hacerse igual a 1, es decir que toda la energía que entra se usa en el mantenimiento del sistema, no hay excedente de producción que permita hacer inversiones en nuevas estructuras. Esta tendencia general de los ecosistemas cerrados autotróficos, de cambiar el valor P/R mayor que 1 a un valor  $P/R = 1$ , se ve acompañada por una disminución del cociente P/B, como veremos más adelante (aquí la P es la producción bruta).

## EL NICHU ECOLÓGICO

Se dice en general que el nicho ecológico de una especie es la función que cumple dentro del ecosistema. Una definición algo más exacta es decir que el nicho es la posición que ocupa la especie en la red trófica del ecosistema. Pero es necesario incluir en este concepto otras variables (por ejemplo: a qué horas come el organismo, dónde obtiene su alimento, dónde y cómo construye sus refugios, si lo hace, etc.) de ahí que Hutchinson describiera al nicho ecológico como un “hiperespacio de n-dimensiones”. Cada una de las dimensiones sería una variable ambiental ante la cual el organismo tiene preferencia o un cierto espectro de respuestas; por ejemplo la temperatura ambiental, la cantidad de luz, la oferta de alimento, la distribución de depredadores, el espacio disponible para anidar o refugiarse, la salinidad, la humedad, etc. Cada especie tiene un “nicho ideal”, que es el espectro completo de todas las variables que podría aprovechar y un “nicho real” que es el espectro que efectivamente aprovecha. El nicho real es siempre menor que el ideal, ya sea porque la oferta del ambiente no es tan amplia o porque otros organismos compiten con ventaja en ciertos valores de los parámetros y por lo tanto desplazan al organismo en cuestión.

## ESTABILIDAD, CONECTIVIDAD, EFICIENCIA

La velocidad con que la energía fluye —el tiempo desde que entra hasta que se disipa— es menor en un sistema complejo que en uno simple. En los primeros existen muchas estructuras y funciones que retardan el momento en que la energía se gasta. Una comunidad con mayor diversidad específica tiene más estabilidad porque las interacciones amortiguan los cambios ambientales que puedan aparecer. La cantidad de esas interacciones o conexiones nos dan una idea de la conectividad del sistema. Muchas especies entre las que no hay conexiones, o hay muy pocas, como en un jardín, no aseguran la estabilidad del sistema. Un sistema, con muy pocas conexiones corre el riesgo de la fragmentación; por otra parte, un sistema con excesivas conexiones pierde flexibilidad y tampoco es viable. Las redes tróficas naturales se ubican dentro de ciertos límites en cuanto a las proporciones entre depredadores y presas, la conectividad y el número de niveles tróficos.

La eficiencia es un aspecto funcional cuantificable que nos ayuda a describir, comparar e interpretar distintos ecosistemas. En cualquier tipo de sistema, la eficiencia de un proceso es el cociente entre dos variables: la variable dependiente o de salida y la variable independiente o de entrada, o una de éstas en caso de ser varias. Por ejemplo, en un automóvil la eficiencia en el uso del combustible serán los kilómetros recorridos/litros consumidos, y en los animales la eficiencia de crecimiento neto puede calcularse como el cociente entre el crecimiento/alimento ingerido.

En condiciones normales, la eficiencia de uso de la energía del primer nivel trófico es muy baja: las plantas no aprovechan más del 1% de la luz utilizable que incide sobre ellas (energía química / energía luminosa).

En el cuadro III.1 vemos datos de la eficiencia de crecimiento neto de organismos de otros niveles, según Margalef (1974).

Se ha calculado la eficiencia, en cuanto al crecimiento y la reproducción en función del alimento ingerido, en distintos niveles tróficos y se ha visto que frecuentemente es mayor en los más altos, los más alejados de los productores primarios, y también que, en general, son más eficientes los organismos más especializados y de mayor tamaño. A estos organismos

es más probable encontrarlos en las comunidades en equilibrio relativo, donde cada nivel trófico extrae del anterior sólo la producción neta; si extrajera más podría llegar a agotar la biomasa productora.

Nivel alimentario y organismo	crecimiento/alimento ingerido (%)
-------------------------------	-----------------------------------

**Herbívoros** (segundo nivel trófico)

Rumiante silvestre	1.1
Ganado vacuno	5 a 7
Zooplancton	8.7 a 13.3
Gallinas selección	14

**Omnívoros**

Hombre	0.1
Cerdo	9 a 12

**Carnívoros** (tercer nivel trófico)

Arañas	10 a 25
Insectos	12
Peces	20 a 37
Cigüeña	22 a 30

---

**Cuadro III.1.** Eficiencia neta (crecimiento/alimento ingerido) de diversos animales.

## PREGUNTAS

1. ¿Qué se entiende en ecología cuando hablamos de comunidad, nivel trófico, descomponedores, nicho ecológico, diversidad específica, biomasa, producción primaria, producción primaria neta, producción primaria bruta, estabilidad, eficiencia y energía exosomática? Defina y trate de dar ejemplos.
2. ¿Puede nombrar tres organismos que ocupen el primer nivel trófico, dos que ocupen el segundo y uno que ocupe el tercero?
3. ¿A qué debe que en un ecosistema complejo la energía que ingresa tenga un flujo más lento que en uno simple, con pocas especies? ¿Cuál es más eficiente respecto del aprovechamiento de la energía?
4. ¿Qué parte de la biomasa que se produce en un ecosistema es la que puede extraer de modo sostenido en el tiempo sin correr el riesgo de provocar cambios en la producción del mismo?
5. Suponga que una planta convierte en materia vegetal el 10 % de la energía luminosa que recibe del sol, y que un animal almacena en su cuerpo el 10 % de la energía alimenticia que come. Empezando con 10.000 kilocalorías de energía luminosa, ¿de cuánta energía dispondrá un hombre si come maíz? ¿Si come carne vacuna? ¿Si come ranas las que comen insectos que se alimentan de hojas?
6. ¿Cuál ecosistema es más estable sin aporte de energía exosomática: un ecosistema agrícola o una selva tropical? Fundamente su respuesta.

## CAPÍTULO IV

# Las poblaciones

*Fernando Momo y Leonardo Malacalza*

## LAS POBLACIONES

La población es el nivel de organización fundamental de la ecología. Si bien abundan los estudios de comunidades y de ecosistemas, los trabajos sobre poblaciones le han dado a la ecología experimental algunos de sus resultados más rigurosos. Incluso, algunos ecólogos sostienen que es posible explicar la estructura y el funcionamiento de las comunidades a partir de las dinámicas poblacionales individuales.

Comencemos por la definición clásica de los libros de texto (Odum, 1972): una población es un conjunto de individuos de la misma especie, que viven en un mismo lugar en un mismo tiempo. Como vemos, en esta definición se ponen tres “condiciones” para considerar población a un conjunto de individuos: que sean de la misma especie, que habiten en el mismo sitio y que compartan ese sitio en el mismo tiempo.

La primera condición —que sean de la misma especie— implica que los individuos de la población pueden reproducirse entre sí (técnicamente diríamos que son interfértiles) o, por lo menos, que comparten una cierta cantidad de genes. Además, también quiere decir que son parecidos, que viven en los mismos hábitats, que se alimentan de las mismas cosas.

Así, hablamos de la población jabalíes (*Sus scrofa*) del palmar de Entre Ríos, de la población de pejerreyes (*Basilichthys bonaerensis*) de la laguna de Chascomús o de la población de cardos (*Carduus acanthoides*) de la isla Martín García.

Definir la población como objeto de estudio entraña problemas y complicaciones que examinaremos detalladamente más adelante. Por ahora supongamos que sabemos de qué hablamos al decir “población”. ¿Cómo la estudiaremos?

### EL TAMAÑO Y LA DENSIDAD

Cuando estudiamos una población desde el punto de vista científico y, en particular, desde el punto de vista de la ecología, nos interesa conocer ciertos atributos que la describan y que nos indiquen cómo funciona. La pregunta que nos estamos haciendo es ¿qué podemos decir de la población? y en especial ¿qué podemos medir?

Una de las primeras cosas que intentamos conocer es el tamaño de la población, es decir, cuántos individuos forman parte de la población. Este es un tema importante: imaginemos que queremos saber si en nuestra ciudad hay muchos individuos del mosquito que transmite el dengue (el mosquito *Aedes aegyptii*); de esta información depende la decisión de fumigar o no algunas zonas para disminuir el número de mosquitos y esa decisión tiene importancia sanitaria, política y económica (para fumigar hay que gastar dinero). Entonces tenemos que estimar de alguna manera el tamaño de la población de mosquitos en la ciudad, es decir, tenemos que tener algún método para “contar” los mosquitos. Por supuesto que la idea de

“muchos” o “pocos” mosquitos depende del área sobre la que estén distribuidos, así que, en general, dividimos el número de individuos (tamaño de la población) por la superficie y obtenemos así la densidad de la población que permite comparar poblaciones de tamaños distintos en distintos sitios. En los sistemas acuáticos, el tamaño poblacional se divide por el volumen de agua para obtener la densidad poblacional.

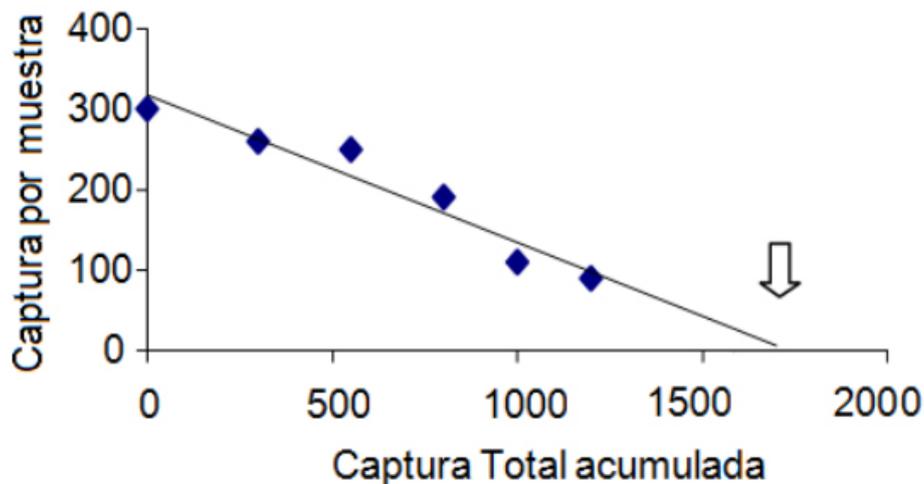
Las técnicas para estimar el tamaño de una población son variadas. En poblaciones de plantas o animales sésiles es muy común tomar un cierto número de muestras de igual superficie y contar el número de individuos (o medir la biomasa o la superficie cubierta) de la especie estudiada en cada muestra. Los valores obtenidos en las muestras se promedian para obtener la estimación de la densidad.

El método explicado no puede aplicarse a animales móviles, salvo que uno tenga un relevamiento fotográfico de los individuos; en tal caso se pueden usar trampas y calcular el tamaño poblacional conociendo el número de trampas, el número de organismos capturados y la eficiencia y área de influencia de cada trampa.

También se puede capturar un cierto número de animales  $m$  y marcarlos de alguna manera, soltarlos y dejarlos mezclar con la población original. Luego se hace una nueva captura y se cuenta el total de animales capturados,  $N_c$ ; y el total de marcados,  $n$ , entre ellos; el tamaño poblacional  $N$  se calcula entonces como

$$N = m N_c / n$$

Cuando se estudia una población confinada (por ejemplo peces de una laguna cerrada) se puede hacer una serie de muestreos sucesivos con igual esfuerzo de captura. Si el intervalo entre los muestreos es pequeño comparado con la frecuencia reproductiva de la población, el número de individuos capturados disminuirá en cada muestra como se muestra en la figura IV.1. El lugar en que la curva corta al eje horizontal corresponderá a una muestra sin captura, por lo tanto, es una estimación del tamaño de la población al comienzo del muestreo.



**Figura IV.1.** Estimación del tamaño poblacional por agotamiento de stock.

Existen muchos métodos de mayor o menor campo de aplicación que pueden encontrarse en libros de textos de ecología (Margalef, 1974; Colinviaux, 1980), pero es poca la información que nos puede dar el conocimiento del tamaño poblacional. Por ejemplo, no nos dice nada acerca de cómo se distribuye la población en el espacio..

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES

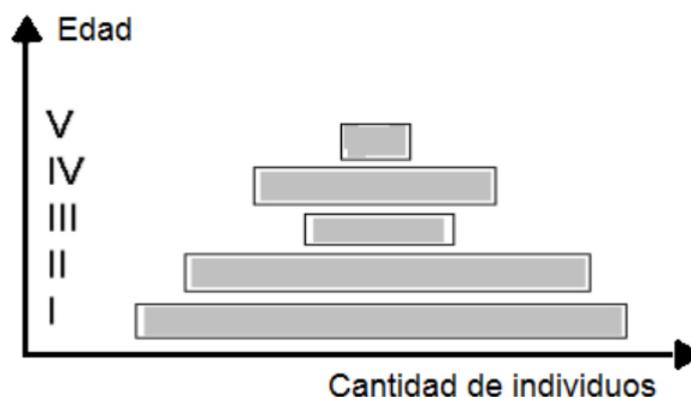
Para cualquiera que observe con detenimiento la naturaleza, resulta obvio que los organismos no se distribuyen siempre de la misma forma en el espacio que tienen disponible; así, algunos se agrupan en unidades de tamaño variable como cardúmenes de peces, manadas de diversos mamíferos, “manchones” de plantas; otros parecen guardar entre sí distancias casi iguales como los abetos en un bosque; por último, hay otros que están ubicados al azar en el terreno, por ejemplo, los cardos en un campo o los ciempiés bajo el mantillo de un bosque.

Estos ejemplos ilustran los tres tipos básicos de distribución espacial: agrupada, regular o uniforme y al azar. La distribución agrupada se caracteriza estadísticamente porque la variación de las distancias entre individuos es mucho mayor que el promedio de esas distancias; en la distribución regular sucede lo contrario, mientras que en una distribución espacial al azar la variación (varianza) y el promedio de distancias es aproximadamente igual.

## ESTRUCTURA DE EDADES DE UNA POBLACIÓN

Los individuos de una población no son todos iguales; tienen diferentes edades, pesos, tamaños, sexo. Las proporciones numéricas entre individuos de distinto tipo dan una idea de algunas características dinámicas de la población; por ejemplo, uno podría pensar que una población con gran número de organismos jóvenes es una población con más probabilidad de expansión en el futuro, con mayor capacidad de dispersión o con una mayor necesidad de recursos alimentarios.

El parámetro que más se usa para hablar de la estructura de la población es la edad. Se habla entonces de estructura de edades de la población estudiada, que no es más que la proporción entre diferentes clases de edad y puede visualizarse como una pirámide (figura IV.2) donde la longitud de cada escalón representa el número o porcentaje de individuos de la clase de edad que ese escalón representa, por convención y cierta lógica, las edades menores se representan en los escalones inferiores.



**Figura IV.2.** Representación piramidal de las clases de edades y el número de individuos de cada una de ellas. La longitud de cada escalón representa el número o porcentaje de individuos de la clase de edad que ese escalón

La estructura de una pirámide sólo nos informa acerca de las características que tiene la población en el instante en que fue observada. Para saber si la población está estable, en expansión o en decadencia, tenemos que observarla durante cierto tiempo.

## CRECIMIENTO POBLACIONAL

Las poblaciones no tienen un número constante de individuos; el tamaño poblacional varía mucho: a veces sube y baja periódicamente con épocas de abundancia y épocas de escasez que se alternan, a veces varían en forma aparentemente errática, sin ninguna regularidad, otras veces la población mantiene un tamaño más o menos constante y en un determinado momento sufre una “explosión” y aumenta de golpe (pudiendo constituir una plaga) o una disminución repentina que puede ponerla en riesgo de extinción.

En ecología, podemos contentarnos con describir estas variaciones, pero muchas veces nos interesa poder predecir qué le va a pasar a la población en el futuro; el estudio del crecimiento de las poblaciones desde este punto de vista está ligado al desarrollo teórico de modelos matemáticos que intentan explicar o describir tal crecimiento, es decir que podemos expresar el tamaño poblacional a lo largo del tiempo como una fórmula matemática en la que mostramos que el tamaño en un momento dado se puede calcular conociendo el valor de las variables que influyen en él.

Supongamos que se introduce una pequeña población en un sitio nuevo y adecuado para su crecimiento (por ejemplo, unas cuantas bacterias en un caldo de cultivo, o algunos gorgojos en un paquete de harina de maíz), el tamaño de la población aumentará a través del tiempo, ¿de qué manera? Podemos suponer que el tamaño de la población en cualquier instante variará a una determinada velocidad que dependerá del tamaño poblacional (es decir que la velocidad de crecimiento es función del tamaño de la población); podemos formalizar esto escribiendo:

$$dN / dt = f ( N )$$

que significa que la “velocidad instantánea” de crecimiento (variación del tamaño respecto del tiempo) es función del tamaño de la población.

Como no conocemos esta función, podemos suponer, en una primera aproximación, que la velocidad de crecimiento es una función lineal del tamaño poblacional.; es decir, es mayor cuanto más individuos tiene la población. Por ejemplo, porque la probabilidad de encontrar pareja y reproducirse es mayor. Esto se expresa como:

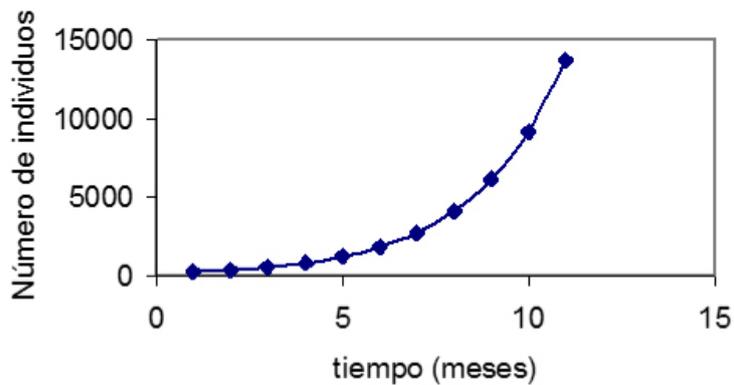
$$dN / dt = r N$$

y esto se llama modelo exponencial de crecimiento de la población (Hutchinson, 1981) y fue expuesto por primera vez por Thomas R. Malthus en el siglo XVIII refiriéndose a la población humana. El coeficiente de proporcionalidad  $r$  es la tasa de crecimiento de la población. En definitiva, lo que el modelo exponencial está diciendo es que la tasa de crecimiento de la población es constante.

El modelo se llama exponencial porque se puede deducir que:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

donde  $N_t$  es el tamaño poblacional en el tiempo  $t$ ,  $N_0$  es el tamaño inicial de la población y la curva de crecimiento obtenida al graficar  $N_t$  en función del tiempo es la que se representa en la figura IV.3.



**Figura IV.3.** Crecimiento exponencial de una población con  $r$  igual a 0,5 por mes.

Algunas poblaciones reales pueden crecer en forma aproximadamente exponencial durante períodos cortos, cuando invaden un hábitat adecuado y desocupado. Existen varios organismos que se alimentan de recursos que no están disponibles siempre en igual cantidad, estas especies suelen tener una gran capacidad de reproducción. Un ejemplo más o menos común son las moscas ¿Qué pasa cuando la oferta de alimento aumenta repentinamente, por ejemplo, por la instalación de un basurero de residuos domésticos? La población aprovecha esta oferta rápidamente, sufre una “explosión demográfica”, y crece en forma aproximadamente exponencial

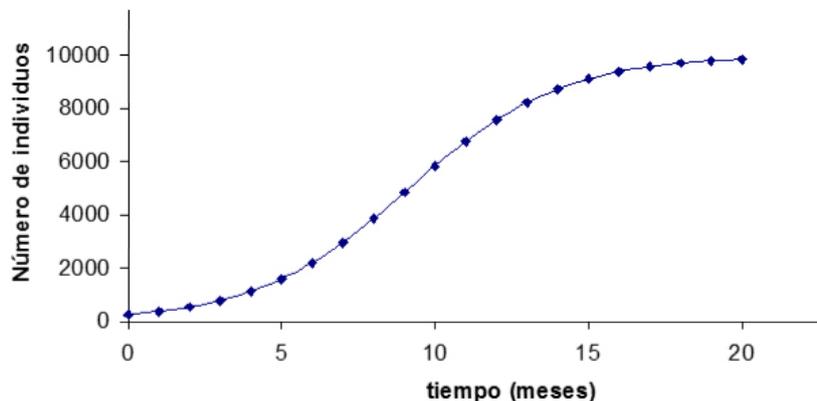
Sin embargo, en la naturaleza es más común que las poblaciones crezcan más despacio a tamaños más grandes, como si sufrieran una especie de “frenado”. Pareciera existir un tamaño máximo de la población en el cual la velocidad de crecimiento será igual a 0. Llamamos a ese tamaño máximo capacidad de carga del sistema y lo simbolizamos con la letra  $K$ .

Expresando simbólicamente este tipo de crecimiento se obtiene la siguiente fórmula:

$$dN / dt = r N ( K - N ) / K$$

que es lo que se conoce como modelo logístico de crecimiento poblacional o modelo de Verhulst (Hutchinson, 1981; Bhattacharjee & Khan, 1987). La interpretación es que la velocidad de crecimiento de la población es proporcional a su tamaño y a “cuanto le falta” para llegar a su tamaño máximo  $K$ . La tasa de crecimiento de la población ya no es constante.

La curva de  $N$  en función de  $t$  es la que se muestra en la figura IV.4. Por la forma que tiene, esta curva es llamada a veces sigmoidea (en forma de sigma o letra “S”), mientras que la del modelo exponencial fue llamada curva “en J”.



**Figura IV.4.** Crecimiento logístico de una población en la que  $K$  es 1000 y  $r$  es igual a 0,4 por mes.

La fórmula del tamaño poblacional en función del tiempo para el modelo logístico es:

$$N_t = \frac{K}{1 + \left( \frac{K - N_0}{N_0} \right) \times e^{-rt}}$$

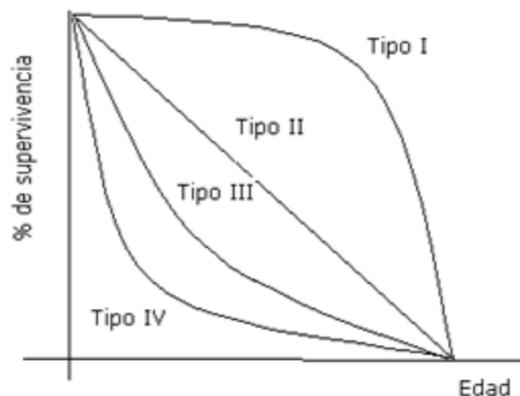
En algunos casos, el crecimiento poblacional puede representarse muy bien con una curva logística, aunque los datos reales no se ajusten “exactamente” al modelo. Más frecuentemente, las poblaciones naturales oscilan y no parecen seguir un “modelo de crecimiento” muy definido, pero siempre se pueden hacer modelos que se aproximen razonablemente bien a los datos.

## REGULACIÓN POBLACIONAL

Una característica funcional que es importante tener en cuenta en los estudios poblacionales es su mortalidad. Importa aquí estudiar fundamentalmente dos cosas: la curva de supervivencia que indica el porcentaje de supervivientes de una cohorte a través del tiempo, y los factores de mortalidad que nos pueden dar una indicación de cuál o cuáles son las causas principales de mortalidad en la población que estamos estudiando.

El tema de los factores de mortalidad es más interesante porque tiene efectos fundamentales en la regulación de la población, es decir en los mecanismos por los cuales la población mantiene su número dentro de ciertos límites.

Las curvas de supervivencia teóricas principales (según Slobodkin, 1966) son de cuatro tipos básicos como se muestra en la figura IV.5.



**Figura IV.5:** Cuatro tipos básicos de curvas de supervivencia teóricas principales (según Slobodkin, 1966). La de tipo I se produce cuando la mortalidad se concentra en los organismos viejos; la de tipo II cuando hay un número constante de muertes por unidad de tiempo, la de III cuando hay una tasa de mortalidad constante con la edad y la de tipo IV cuando la mortalidad se concentra en los estadios juveniles.

Para estudiar el efecto de los factores de mortalidad se grafica la mortalidad total y se la descompone según diferentes causas. Entonces se tiene una idea de cuál es el factor clave, es decir, aquel que explica el porcentaje mayor de la mortalidad total.

Pero esto no basta, ya que no todas las causas de mortalidad operan igual.

Algunos, como una enfermedad infecciosa, dependen en sus efectos del tamaño poblacional y se dice que son dependientes de la densidad; esto significa que la proporción de individuos que mueren por causa de ese factor es diferente según la densidad de la población.

Otros factores operan con igual intensidad en cualquier tamaño poblacional, por ejemplo la muerte de gramíneas por efecto de las heladas; a estos factores de mortalidad se los llama independientes de la densidad.

La cosa se complica cuando se observan las poblaciones reales. En algunas aves (gansos salvajes), la mortalidad de los pichones depende del número de huevos en el nido; demasiados huevos o muy pocos disminuyen la supervivencia de los pichones, esto es: hay un número óptimo de huevos que produce la máxima supervivencia. En salmones la mortalidad de adultos es mayor si la mortalidad de juveniles es menor (porque el alimento escasea) y se establece una especie de compensación entre las dos mortalidades que arroja un número aproximadamente constante de individuos cada año.

## ESTRATEGIAS DEMOGRÁFICAS

Los comentarios del párrafo anterior nos introducen a un tema muy importante en ecología, el de las estrategias demográficas. El estudio de las estrategias demográficas consiste en estudiar cómo las especies utilizan o distribuyen su energía entre las diferentes funciones vitales que tienen que cumplir: reproducción, crecimiento, defensa. Originalmente, estas ideas fueron planteadas por Mac Arthur y Wilson (1967) como un modelo ecológico de selección natural.

El concepto básico es la siguiente: si la mayoría de las especies siguen un crecimiento de tipo logístico como el ya expuesto, hay dos maneras principales a través de las cuales una población puede aumentar su número de descendientes; una es tener un mayor  $r$ , o sea, poner más energía en reproducirse; esto sería conveniente a densidades poblacionales bajas; otra posibilidad es tener un  $K$  alto, es decir, ocupar eficientemente el espacio y aprovechar los recursos para mantener más individuos; esto tiene mayor efecto a densidades poblacionales altas. Mac Arthur y Wilson expresaron esto diciendo que las especies que habitualmente tienen poblaciones pequeñas, están sometidas a una selección  $r$ , mientras que aquellas que, por vivir en medios con gran abundancia de recursos, tienen poblaciones habitualmente grandes, se ven sometidas a selección  $K$ .

Esto fue generalizado por investigadores como Margalef (1974) y Pianka (1982) quienes hablaron de “estrategia de la  $r$ ” para caracterizar a aquellas especies que sobreviven mejor en hábitat fluctuantes y que asignan una gran parte de la energía que reciben a la reproducción; y de “estrategia de la  $K$ ” para referirse a las especies que viven en ambientes más estables y asignan la mayor parte de su energía al crecimiento individual y la defensa.

Recientemente se han realizado algunos avances teóricos en estos aspectos. Por ejemplo Rapoport (1979), ha hecho notar que en una misma población es posible encontrar individuos con diferentes “tácticas” según su ubicación en el área de dispersión de la población. Por ejemplo, en el centro del área de dispersión predominarán las condiciones ambientales más benignas y las densidades poblacionales serán mayores, por lo tanto habrá allí “tácticos  $K$ ” que asignan poca energía a la reproducción y mucha al crecimiento individual; mientras que en los bordes del área de distribución, donde las condiciones son más fluctuantes y las densidades poblacionales menores, predominarán los “tácticos  $r$ ”; finalmente, habrá una tercera clase de individuos que aparecerán en zonas muy marginales, como testigos de momentos en los que el área de distribución fue mayor; estos organismos estarán sometidos a estrés y tendrán muy poca energía disponible, por lo tanto ni crecerán mucho ni se reproducirán mucho tampoco. Rapoport llama a estos organismos “tácticos SOS”.

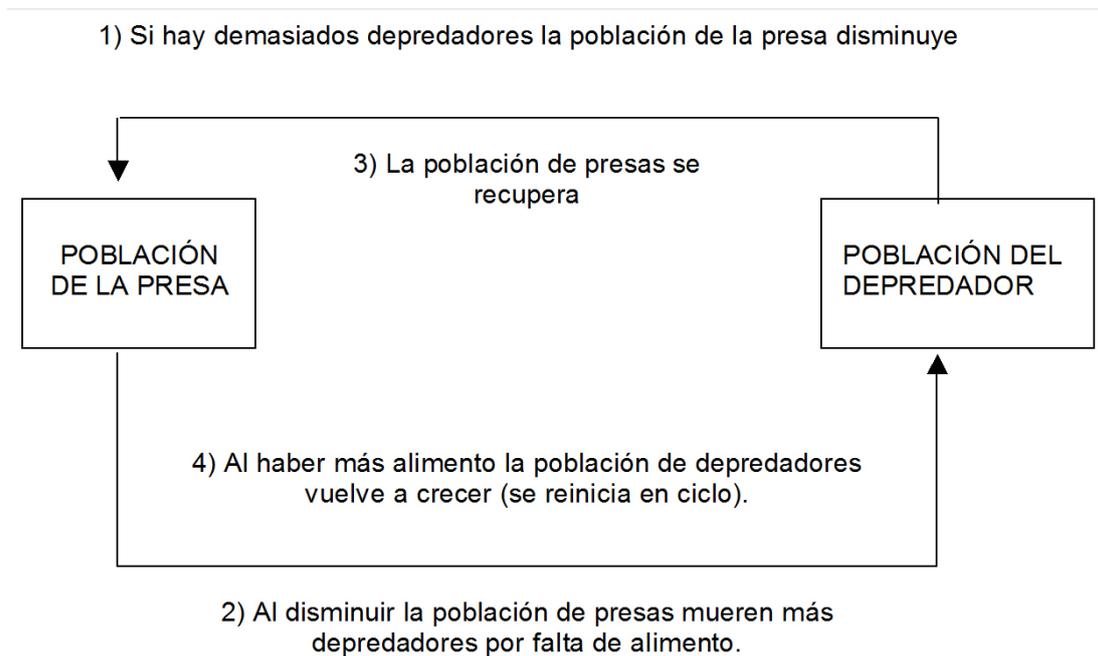
Siguiendo a Holm (1988) diremos que los efectos selectivos del ambiente estarán determinados por la abundancia de recursos, el grado de fluctuaciones de la oferta en tiempo o

espacio, lo predecible o impredecible que sean esas fluctuaciones, la competencia que haya, y también por la presencia de depredadores en el ecosistema. Estas variables estarán asociadas a diferentes características biológicas y adaptaciones ecológicas en los organismos.

## UNA RELACIÓN ENTRE ESPECIES DE DISTINTO NIVEL TRÓFICO: LA DEPREDACIÓN

Las poblaciones no están aisladas en la naturaleza; interaccionan unas con otras formando sistemas más complejos y estableciendo mecanismos mutuos de control. El primer tipo de interacción que estudiaremos es el que se produce entre un depredador (organismo que come a otro) y su presa (organismo que es comido). Cuando esto sucede decimos que hay organismos que se benefician individualmente con la interacción (depredadores) y otros que se perjudican (presas). Sin embargo, considerando las respectivas poblaciones, pueden ser beneficiadas las dos partes: los depredadores mantienen una población de un determinado tamaño sobre la base de la energía que aportan las presas y la población de presas tiene un regulador de tamaño (los depredadores) que mantienen el equilibrio entre la cantidad de individuos presa y los recursos (alimentos y espacio) que éstos explotan.

Podemos esquematizar dos poblaciones en equilibrio (depredador y una presa) con un circuito de retroalimentación negativa como el de la figura IV.6:



**Figura IV.6.** Esquema de poblaciones de depredador y una presa con un circuito de retroalimentación negativa.

Se puede percibir que este circuito recurrente tiende a estabilizar el tamaño de las dos poblaciones: cuando hay muchas presas disponibles la población de depredadores crece porque tiene mayor oferta alimenticia, pero eso aumenta la presión sobre la población de presas, cuyo tamaño disminuye; así, la población de depredadores también decae y esto permite un nuevo incremento del número de presas y el ciclo recomienza.

Un circuito del tipo descrito da lugar a oscilaciones periódicas en ambas poblaciones, estando las del depredador desplazadas en el tiempo (desfasadas) respecto a las de las presas.

Esto no siempre sucede en la realidad. Si el depredador es muy eficiente y puede variar su esfuerzo de captura y, por lo tanto, comer una cantidad constante de presas independientemente de la densidad de éstas, puede conducir a que las oscilaciones se amplifiquen con el tiempo y termine por extinguirse la presa y, tal vez, también el depredador si no tiene otra cosa que comer.

Un caso como el descrito constituye un callejón evolutivo sin salida; un depredador de esas características no prosperará y, por lo tanto, la selección natural habrá favorecido otro tipo de relación entre depredadores y presas. Cuando entre dos especies existe una relación trófica, cada especie es un factor de selección que actúa sobre la evolución de la otra. Al respecto Margalef (1974) ha dicho que las relaciones de tipo trófico constituyen el motor fundamental de la evolución. Es sobre este postulado de base que analizaremos el origen de las estrategias de vida de las poblaciones comentadas antes.

## SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS

Comer y ser comido podría sintetizar lo que sucede en cadenas y redes tróficas normales (sin tener en cuenta la producción neta que pasa directamente al nivel de los descomponedores que la oxidan). Es totalmente teórico considerar a cada especie como presa de otra ubicada en un nivel trófico superior, porque el número de éstos no es infinito. No obstante, puede resultar útil imaginar a todas las especies como presas.

La explotación continua de una especie (animal o vegetal) por determinado animal, o la vida en un ambiente sometido a continuas grandes fluctuaciones, da origen a una selección de los más prolíficos; los que no pueden multiplicarse al ritmo de la presión de consumo que ejerce el depredador o al ritmo de destrucción que ejerce el ambiente, se extinguen; se seleccionan los genotipos que más se reproducen. Ejemplos de especies muy explotadas son las algas del fitoplancton o los pastizales naturales. La población de la especie explotada, al ceder a la presión de consumo, ha conseguido una biomasa superior a la que hubiera alcanzado en otras situaciones. Estas especies son las que se han considerado como sometidas a selección  $r$ , es decir, las que superan a sus competidoras por la tasa de multiplicación y son seleccionadas en densidades poblacionales bajas.

Por otro lado, es frecuente que los efectos de la acción del depredador o de un explotador (por ejemplo, un herbívoro), favorezca la selección de las especies o de los genotipos que son menos consumidos (los que “logran escapar”). En estos casos, en la competencia entre especies que son explotadas, triunfan las que se defienden o escapan más eficientemente aunque tengan una tasa de crecimiento igual o menor que sus competidoras. Se dice entonces que están sometidas a selección  $K$ , o sea, que tienden a la persistencia de la máxima biomasa. Tanto depredador como presa sufren una selección: el depredador comerá sólo lo suficiente para comer, podrá atrapar sólo los individuos viejos, enfermos, lentos o con comportamiento de huida menos eficiente. Por otra parte, en el depredador se seleccionaran los individuos con más eficiencia energética (mejor asimilación del alimento) o mayor capacidad de búsqueda. Según Slobodkin, la selección tiende a lograr un “depredador prudente” y una “presa eficiente” desde el punto de vista energético. Las presas tendrán vida promedio más larga, y el tiempo medio de permanencia de la energía en el nivel trófico promedio será mayor. En conclusión, la selección natural conducirá a un retardo en el flujo de energía y a una amortización de las oscilaciones en el tamaño de las poblaciones del depredador y de la presa.

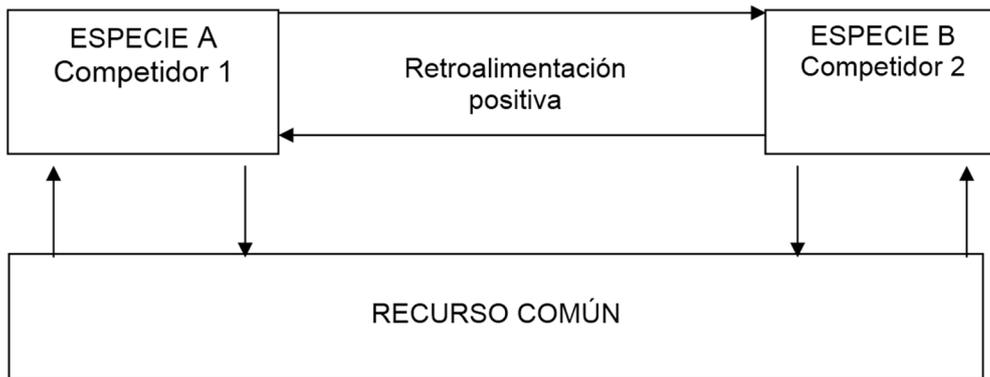
Todos estos razonamientos giran en torno a modelos simples. Si consideramos la heterogeneidad de los ambientes reales veremos que las presas no están disponibles todo el tiem-

po ni en todas partes, los depredadores deben usar parte de su energía en buscar o acechar, puede haber cooperación en la caza o la defensa, un depredador puede comer diversas presas y una presa ser comida por más de un depredador.

## UNA RELACIÓN ENTRE ORGANISMOS DEL MISMO NIVEL TRÓFICO: LA COMPETENCIA

Decimos que existe competencia cuando diferentes organismos explotan un recurso común que es escaso. Si los organismos pertenecen a la misma especie hablamos de competencia intraespecífica; si son de especies diferentes, de competencia interespecífica. Examinaremos brevemente el segundo caso.

Un principio ampliamente difundido en ecología es el “principio de exclusión competitiva” de Gause (1934). Una manera de enunciarlo es: “dos especies con idéntico nicho ecológico no pueden coexistir” ¿Por qué?, porque a través de la competencia, la especie más eficiente en el uso de los recursos terminaría reemplazando o llevando a la extinción a la menos eficiente. Esto puede representarse mediante un circuito de retroalimentación positiva como el representado en la figura IV.7.



**Figura IV.7.** Esquema de dos poblaciones que compiten por un recurso común originando un circuito recurrente de desestabilización o competencia.

Si la especie A es más eficiente que la B en la explotación del recurso, su tamaño poblacional aumentará; esto hará que la cantidad de recurso explotado por A sea mayor y lo que queda para B sea menor. Por lo tanto, el número de individuos de la especie B disminuirá y quedará más recurso para A que crecerá más. Este ciclo lleva a la extinción de B. Hay una retroalimentación positiva entre los tamaños poblacionales de A y B, si bien hay un circuito de retroalimentación negativa entre la cantidad de recursos y el tamaño poblacional de cada especie.

En la naturaleza puede darse el caso de que dos especies que compiten, coexistan. Esto es posible si, alcanzado cierto tamaño poblacional, para cada especie se vuelve más importante la competencia intraespecífica que la interespecífica y su población frena su crecimiento antes de desplazar a la otra. La inestabilidad ambiental también puede facilitar la coexistencia (Connell, 1975). En este caso, los factores de mortalidad independientes de la densidad hacen disminuir el tamaño de las poblaciones relajando la competencia.

Con los mismos elementos de análisis que se usaron hasta aquí, se pueden estudiar otros tipos de interacciones entre poblaciones: mutualismo, parasitismo, comensalismo, antibiosis. Estos modelos simples nos permiten predecir aproximadamente el comportamiento de los sistemas reales.

## PREGUNTAS

1. ¿Podría distinguir, explicar y representar en coordenadas los modelos más sencillos de crecimiento poblacional y graficar la tasa de crecimiento en función del tamaño poblacional?
2. ¿En qué casos cree usted que la tasa  $r$  puede ser menor que cero?
3. ¿Podría dar algunos ejemplos de factores dependientes de la densidad y otros independientes de la densidad que sean causas de mortandad en poblaciones que usted conozca?
4. ¿Podría definir competencia y explicar el principio de exclusión competitiva?
5. ¿Podría explicar qué relación existe entre el tipo de selección a que se hallan expuestas las especies con el tipo de explotación a que están sometidas?
6. ¿Puede dar por lo menos cinco ejemplos de especies  $r$ -seleccionadas (“ $r$ -estrategas”)?
7. ¿Por qué causas, según pasa el tiempo, las fluctuaciones numéricas en las poblaciones del depredador y de la presa deberían ser cada vez menores?
8. ¿Podría describir algún método para conocer el tamaño de una población?

## CAPÍTULO V

# Los cambios en los ecosistemas

*Leonardo Malacalza*

## LOS CAMBIOS EN LOS ECOSISTEMAS

*“Los senderos de la vida son intransitables a la inversa y, además, ningún segmento puede ser equivalente a otro ya recorrido, ni siquiera tomado en el mismo sentido”.*

Ramón Margalef

*“...la amistad del hombre y del agua. Más esencial, porque estamos hechos, no de carne y hueso, sino de tiempo, de fugacidad, cuya metáfora inmediata es el agua. Ya Heráclito lo dijo”.*

Jorge Luis Borges

### LA SUCESIÓN ECOLÓGICA

En los ecosistemas el equilibrio es dinámico. Los componentes, aunque perduren algún tiempo en cantidad y calidad, están en continuo movimiento, tanto los que forman los biotopos como las comunidades. En general, los organismos de las poblaciones que las integran son continuamente seleccionados por un ambiente físico que tampoco permanece inalterable. Aun en aquellos biotopos relativamente constantes, o que sólo cambian por efecto de las comunidades que los habitan, las comunidades están sometidas a incesantes procesos de reorganización, relativamente rápidos al comienzo y más lentos según pasan los años. Y es el tiempo lo que permite la aparición y selección de nuevas estructuras y funciones en las comunidades, el proceso que conduce a la aparición y desaparición de especies no se detiene. Entonces diremos que la composición de la comunidad de un cierto lugar, en un momento dado, refleja el carácter histórico y evolutivo de todo el ecosistema.

Los cambios en los ecosistemas pueden obedecer a situaciones que aparentemente se repiten a través de ciclos más o menos regulares, o bien que no se repitan y, en ambientes sin grandes perturbaciones, presenten una secuencia gradual y direccional de etapas que vayan condicionando las etapas siguientes. Entre los primeros están los cambios periódicos asociados a las estaciones del año, a la secuencia de los días y las noches, o bien de las temporadas secas y lluviosas. Entre los segundos está el caso de la sucesión ecológica, de los cambios que observamos en muchas comunidades debido a la sustitución de unas especies por otras según transcurre el tiempo. A esos cambios podemos asociarlos con cierta tendencia gradual y direccional, ya que no son siempre al azar. Es decir que existen coincidencias en cuanto a los cambios estructurales y funcionales; cierta tendencia común por la que

pueden llegar a alcanzar determinados valores (Fig.V.2). Llegar a conocer cuáles son esas coincidencias o regularidades, cuáles son esos valores, cuáles en general las funciones que tienden a maximizarse o minimizarse, podría permitirnos pronosticar algo del futuro de las comunidades y de los ecosistemas con alguna probabilidad de acierto. Esto puede llegar a tener un valor práctico por la aplicación de tales conocimientos en la protección, la restauración o la explotación de ecosistemas. Muchas prácticas agrícolas y de explotación de recursos naturales vegetales o animales, se basan en la aplicación de conocimientos acerca de los cambios que naturalmente se producen después que los manipulamos. No obstante la sucesión no es determinista, es decir no podemos esperar que siempre se haya de producir el mismo efecto después de la misma causa.

La sucesión que ocurre en un sitio donde no hay evidencias o legados de vida previa, como una duna o una colada volcánica, se denomina sucesión primaria. La roca desnuda de una colada volcánica es un área vacía de vida, colonizable por los organismos; y en ella podríamos observar esa colonización. Veríamos la invasión de los primeros organismos, de tamaño pequeño, bacterias capaces de fotosintetizar, líquenes y otros verdaderos pioneros de la ocupación de un terreno poco propicio para formas especializadas, complejas y de mayor tamaño. Estas últimas sólo podrían ingresar tras una serie de etapas en las que distintas especies fuesen cambiando el ambiente, de modo tal que otras, tras la lucha por el espacio, terminan por desplazar, aunque no siempre eliminar, a las primeras.

Cuando una comunidad alcanza un desarrollo e integración tal con el ambiente físico y químico que ya no hay cambios notables, estamos ante una etapa que se conoce como etapa clímax, correspondiente a la etapa de mayor madurez de esa comunidad. Así y todo, la etapa clímax no es una etapa en que ya nada cambia, porque se trata de comunidades formadas por seres vivos, que son sistemas abiertos alejados del equilibrio termodinámico, donde permanecen aquellas poblaciones que consiguen maximizar el uso de la materia y de la energía o, dicho de otro modo, mantener una biomasa mayor con igual o menor gasto energético, y donde el balance o estabilidad aparente es dinámico, con ingresos y egresos de materia, energía e información. En esta etapa las especies que resultan seleccionadas son *k* estrategias y las *r* estrategias van perdiendo terreno en la ocupación del espacio y la captación y retención de los nutrientes.

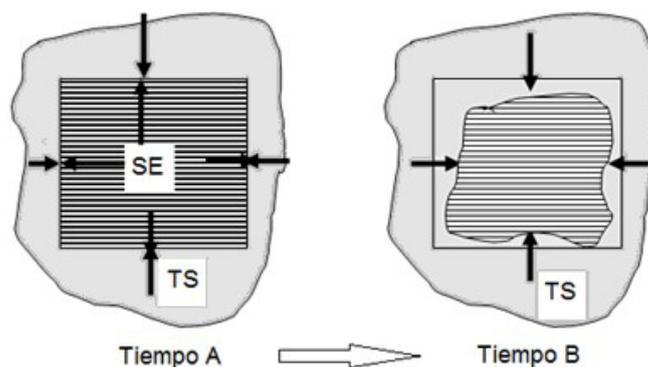
## **LAS PERTURBACIONES EN LA SUCESIÓN**

Hasta aquí hemos puesto el foco en cómo el ecosistema se autoorganiza y mantiene; sin embargo, se ha visto que muchos ecosistemas, tanto silvestres como antrópicos, están sujetos a perturbaciones ambientales de distinto origen y magnitud, las que impiden que las poblaciones alcancen un equilibrio que sea determinado por la cantidad de recursos o por los depredadores. Llamamos perturbación a cualquier cambio externo, asociado a una cierta entrada de energía, que destruya una parte de la biomasa del sistema. Eventuales perturbaciones de gran magnitud e irregulares, tales como incendios, inundaciones, o sequías prolongadas, afectan de modo diferente a distintas poblaciones, y los cambios que se observan en ellas no son regulados por las relaciones interespecíficas. En estas condiciones, las comunidades resultantes de las perturbaciones pueden tener características distintas a la de los estados maduros antes mencionados, con rasgos de etapas más tempranas. Caracterizamos a las perturbaciones según su intensidad, extensión, periodicidad y frecuencia; cuando describimos esas cualidades estamos definiendo un régimen de perturbaciones determinado. Habitualmente, un régimen de perturbaciones está asociado a un tipo particular de patrón

espacial de distribución de especies y etapas sucesionales.

Tradicionalmente se diferencia a las sucesiones primarias de las secundarias. Estas últimas son en general las que ocurren en lugares donde ya existió la comunidad y en la que se produjo alguna perturbación que causa la regresión o muerte de parte de la comunidad. Son ejemplos de sucesiones secundarias las que aparecen después de arar un pastizal, después del incendio o la extracción de parte de un bosque, las que se desarrollan sobre material muerto y también las que se observan después de una contaminación. Frangi (1993) señala que a veces la sucesión lleva a la comunidad a estados donde la acumulación de biomasa la hace más sensible a la acción de factores ambientales, como el fuego o el viento, cuya acción retrotrae al ecosistema a etapas a partir de las que se reinicia una sucesión ecológica, se trataría en estos casos de sucesiones secundarias, como la que ha observado en los bosques de Tierra del Fuego; y en algunos bosques de la provincia de Misiones el mismo autor ha observado la recuperación de propiedades físicas y químicas de los suelos y la disminución de la erosión con la sucesión secundaria progresiva.

Todos habremos podido observar la rápida aparición de vegetación invasora en un jardín, en una huerta, o en un campo de cultivo que han sido abandonados. Más difícil es que hayamos podido observar los cambios que se han producido después de muchos años desde el momento en que fueron abandonados, salvo que tengamos la posibilidad de acceder a algún tipo de registro temporal. Pero ¿quién no ha observado desde pequeñas a grandes plantas en las partes altas y cornisas de viejas casas construidas con ladrillos? Se pueden encontrar en esos lugares desde bonitas plantas anuales que florecen en primavera, originadas en semillas que desde algún jardín cercano llevaron el viento o los pájaros, hasta plantas de gran porte que con sus raíces han introducido y agrietado profundamente las paredes. La fecha del comienzo de esta sucesión podríamos averiguarla preguntando por el año de construcción de la casa. Por ese camino, el de la sucesión ecológica, desde caseríos hasta monumentos, abandonados por la población humana (como las ciudades de los Maya) son cubiertos por la vegetación, y con ella siempre asociada va la fauna.



**Figura V.1.** Representación de un área de pastizal donde se mantiene un cultivo con subsidio de energía (SE) en un tiempo A, y el mismo cultivo sin subsidio de energía en un tiempo B en el que el pastizal invade el área por la tendencia de la sucesión ecológica (TS).

En la figura V.1 se ha representado un área de un pastizal natural donde actúa la tendencia de la sucesión ecológica (TS) y en cuyo centro se ha realizado un cultivo monoespecífico con subsidio de energía (SE) proveniente de combustible fósil. Cuando se abandona el aporte de energía, el cultivo es invadido por las especies del pastizal natural y el área ocupada por la especie cultivada se contrae, comúnmente hasta desaparecer.

## EXPLOTACIÓN ENTRE ECOSISTEMAS

Cuando entre dos comunidades hay intercambio de materia y de energía las comunidades en etapas avanzadas de la sucesión, con mayor madurez, menos productivas, con mayor número de especies, algunas con organismos de mayor porte y complejidad, “explotan” a las menos maduras que tienen una alta tasa de renovación y son más productivas (alto valor de P/B) ejemplos: desde las comunidades de los pastizales naturales van los insectos y los roedores a alimentarse en los campos cultivados, como en el ejemplo de la figura V.1; las comunidades de las laderas de las montañas suelen ser más estables y explotar a las de los valles —que suelen ser más productivas pero más inestables; los cursos inferiores de los ríos reciben materia orgánica de las nacientes que son más productivas y son el lugar donde van a desovar los peces que, ya adultos, viven en las proximidades de la desembocadura al mar o en el mar mismo, como es el caso de muchos salmones; y las poblaciones urbanas —no solo las poblaciones humanas sino todas las que las acompañan, desde mascotas hasta sus plagas— reciben alimentos de las zonas rurales.

Si las comunidades de poca o mediana madurez, que tienen producción neta —es decir que producen más de lo que consumen— no fuesen explotadas, podrían invertir el excedente de producción en la incorporación de nuevas estructuras y funciones —tallos leñosos, tejidos de aislación y reserva, mimetismo, en general aumentarían las especies k-estrategas— pasarían a un estado de mayor madurez y estabilidad. Esto es lo que sucede en la sucesión ecológica. Los ecosistemas más explotados por el hombre, como los suelos de la pampa argentina, antes que él llegase ya eran explotados por otros animales que ahora son sus competidores, como las hormigas, las langostas o tucuras, las liebres, las cotorras, las palomas. Por eso también puede decirse que esos sistemas estaban preadaptados a la explotación humana: tenía diversidad relativamente baja, alta tasa de renovación, estaban expuestos a cambios bruscos —incendios, sequías, inundaciones. Y ahora el hombre cultiva vegetales seleccionados muy parecidos a los que había en el ecosistema primitivo: herbáceas anuales: soja, trigo, maíz. Lo opuesto a esta explotación es la que se realiza en regiones donde se elimina la vegetación boscosa —con alta diversidad— con el fin de usar el suelo para cultivos anuales de una o pocas especies, esos ecosistemas no están preadaptados a esta explotación y cuando se la abandona el ecosistema original ya no se recuperará, la sucesión llevará probablemente a comunidades como las que ocurrieron en el Chaco donde se instaló el vinal, una maleza leñosa.

¿Qué nos enseña estudiar los cambios en las comunidades? La teoría de la sucesión ha servido y sirve como un cuerpo teórico de referencia contra el cual comparar lo hallado en cada ecosistema. El error básico de la teoría fue suponer que los ecosistemas eran sistemas que se dirigían hacia el equilibrio, hoy se sabe que los ecosistemas son, al igual que los seres vivos, sistemas alejados del equilibrio donde sobreviven más tiempo aquellos que tienen poblaciones que consiguen minimizar la entropía del sistema, y las condiciones del ambiente circundante establecerán qué tipos de estrategias poblacionales serán seleccionadas. En un ambiente con perturbaciones fuertes pueden seleccionarse especies muy resistentes u otras que tengan alta tasa de reproducción, en ambientes con perturbaciones intermedias, la gama de poblaciones seleccionadas puede ser mucho mayor. Se seleccionarán las que se reproduzcan rápido pero también las que sean eficientes en la absorción y retención de nutrientes, o las que tengan un tamaño mínimo para resistir a la perturbación o las que tengan ciclos de vidas ajustados a las perturbaciones, etc., lo que dará amplias las posibilidades de que una especie determinada pueda sobrevivir en un ecosistema.

Como ha escrito Margalef (1991) refiriéndose al tema de la sucesión ecológica: “lo más

importante de la teoría de la sucesión es que ayuda a situar los fenómenos sobre un fondo histórico donde lo significativo no es una ascensión gradual hasta una situación final de equilibrio o clímax sino que define si el cambio se produce hacia adelante o hacia atrás”. El adelante o el atrás estaría dado por algunas regularidades indiscutibles tales como el aumento en la complejidad, en el número de especies y el aumento en el desarrollo vertical de los ecosistemas, el aumento en la sinuosidad de los límites entre los mismos y la capitalización de la producción, esto es el mantenimiento de cada vez más biomasa por unidad de energía. Por otro lado refiere a que las perturbaciones son una tendencia opuesta a la sucesión pero indisolublemente ligada a ella, de tal modo que las perturbaciones de mayor frecuencia y menor intensidad se han incorporado a la dinámica de los sistemas (Ej. día-noche, invierno-verano) en tanto las de menor frecuencia y/o mayor intensidad producen cambios impredecibles desde el estado en que se encuentra el sistema y pueden llevar a los sistemas a estados totalmente distintos a lo esperable en condiciones de ausencia de perturbaciones, tales como las grandes inundaciones.

En cualquier caso es indudable que cuando los seres humanos intervenimos sobre los ecosistemas tendemos a simplificarlos, a buscar una mayor producción neta y el crecimiento de sólo una o unas pocas poblaciones que nos interesan. Por ello eliminamos a sus posibles competidores mediante el uso de biocidas y otras labores agrícolas. La tendencia a la simplificación es la que se observa también en casos de contaminación. Por esta razón es que en ambos casos se habla de rejuvenecimiento, retroceso o regresión de la sucesión ecológica.

Dicho ecólogo ha señalado que a lo largo de la sucesión se produce una acumulación de información que permite disminuir el impacto de las variaciones ambientales; ha dicho que el conservatismo, la pereza, son una meta de la naturaleza.

Para ese ecólogo catalán las coincidencias o regularidades más notables en la sucesión ecológica son:

- Aumento de la biomasa total, principalmente de las porciones menos activas (como madera, corteza, espigas en los vegetales; y pelo, grasa, huesos en los animales).
- Disminución de la relación producción primaria / biomasa total, es decir, retardo en la tasa de renovación del conjunto del ecosistema.
- Reducción del tiempo de permanencia de los elementos químicos fuera de los organismos.
- Estructura más complicada de las comunidades (mayor diversidad) y mayor segregación entre las especies próximas.
- Desarrollo de toda clase de mecanismos de homeostasis.

Odum (1972) ha sintetizado las características de los ecosistemas maduros e inmaduros de la siguiente forma (FiguraV.2):

Atributos del ecosistema	Etapas inmaduras	Etapas maduras
Cociente P / R	mayor o menor que 1	aproximadamente 1
Cociente P / B	alto	bajo
Cadenas tróficas	lineales	en red
Diversidad de especies	baja	alta
Diversidad bioquímica	baja	alta
Nicho ecológico	amplio	estrecho
Tamaño promedio de los organismos	pequeño	grande
Ciclos biogeoquímicos	breves, simples	largos, complejos
Intensidad del intercambio de elementos nutritivos entre organismos y medio	alta, rápida	baja, lenta
Curvas de crecimiento	exponenciales	sigmoideas
Selección natural	tipo r	tipo K
Interrelaciones	pocas	muchas

**Figura V.2.** Características del ecosistema según la etapa del desarrollo de la sucesión. Interrelaciones pocas muchas.

## PREGUNTAS

1. ¿Qué sucede con el paso del tiempo en un jardín, huerto o explotación agrícola cuando son abandonados? ¿A qué se deben los cambios?
2. ¿Por qué será que las etapas muy avanzadas de las sucesiones de la llanura pampeana y de la Patagonia no podrían llegar a ser idénticas a las de la selva misionera si la tendencia de la sucesión ecológica en esas comunidades fuese la misma?
3. ¿Qué sentido práctico, que aplicación tiene conocer la tendencia de los cambios en las distintas comunidades?
4. ¿Cuál de las siguientes series de características corresponde a un ecosistema maduro, en su etapa clímax? (Sólo una es correcta).
  - a.- Baja diversidad específica; gran velocidad en el flujo de energía; pocas interrelaciones; poca productividad (P/B).
  - b.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; poca productividad; pocas interrelaciones
  - c.- Poca diversidad específica; alta velocidad en el flujo de energía; gran productividad; muchas interrelaciones.
  - d.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; baja tasa de renovación; muchas interrelaciones.
  - e.- Alta diversidad específica; baja velocidad en el flujo de energía; gran productividad; pocas interrelaciones.

**SEGUNDA PARTE**  
**EL HOMBRE EN LA BIOSFERA**

## CAPÍTULO VI

# Las poblaciones humanas

*Carlos E. Coviella y Leonardo Malacalza*

## LAS POBLACIONES HUMANAS

*“Un hombre que nace en un mundo ocupado, no halla cubierto en el gran banquete de la naturaleza.”*

*Thomas Malthus*

*“Un hombre que nace en un mundo ya ocupado, no halla cubierto en el gran banquete de la naturaleza porque hay otros que ocupan demasiado lugar.”*

*Juan B. Justo*

En estos tiempos la población humana presenta diferentes formas de crecimiento y de impacto sobre el ambiente según las regiones y culturas. En este capítulo estudiaremos ese crecimiento, las necesidades de alimentación básicas y el impacto ambiental que producen las distintas poblaciones.

### POBLACIÓN EN CRECIMIENTO

En algún momento a finales del año 2011, la población mundial llegó a los 7000 millones de seres humanos, número que hoy día tal vez no nos impresione demasiado. Lo que muestra claramente el aumento poblacional humano es ver cómo éste ha crecido a través del tiempo. Llegar a los primeros 1000 millones tomó toda la historia de la humanidad hasta el siglo XIX. En el siglo XX esa población se duplicó. Los últimos 1000 millones se agregaron en sólo 12 años, de 1999 a 2011, y se calcula que en el año 2050 la población mundial podría alcanzar los 12000 millones. Esto sí impresiona, preocupa y exige entender el fenómeno, sus causas y consecuencias.

La mayoría de los habitantes de todo el mundo vive hoy en ciudades gozando, por lo menos algunos, de las comodidades de la moderna tecnología en medios de comunicación, transporte, servicios de salud, y otros. Sin embargo también es realidad que una de cada seis personas, alrededor de mil millones, son muy pobres, pasan hambre y están desnutridas.

En este capítulo estudiaremos las poblaciones humanas para conocer sus ritmos de crecimiento. Pero sobre todo, porque nos interesa tener elementos que nos permitan visualizar su actual relación con el ambiente, la magnitud de los efectos que puede ocasionar en él, los riesgos que corre cuando contamina, cuando forma parte de los ciclos de vida de otras especies y se enferma, cuando explota al resto de la naturaleza para satisfacer sus necesida-

des o su codicia.

El modelo de crecimiento de los países más desarrollados no garantiza un crecimiento como el actual en forma sostenida. A pesar de esto, con una tasa de crecimiento poblacional promedio mundial de 1.2, se agregan 84 millones de seres humanos cada año, unos 154000 por día, o sea aproximadamente 2.67 bocas nuevas por segundo (<http://www.prb.org/pdf/12/2012>). Por otro lado los países industrializados, con menos del 25 % de la población mundial, consumen el 75 % de la energía que es usada, el 79 % de todos los combustibles, el 85 % de los productos forestales y el 72 % del acero producido. Según cifras de las Naciones Unidas, el 20% más rico de la población mundial goza de un ingreso 82 veces más alto que el 20% más pobre, y consume el 82% de los recursos mundiales. Es muy evidente también la desproporcionada distribución de la población humana en los hemisferios, con el norte mucho más poblado que el sur; con una superficie equivalente al 75 % de la tierra emergida, encierra el 90 % de la población mundial. En cambio, el hemisferio sur con el 25 % de superficie emergida sólo tiene el 10 % de los habitantes. Además, casi la totalidad de la población mundial se concentra en dos grandes sectores: la zona templada del Hemisferio Norte y la zona tropical comprendida entre los paralelos de 25° al N y S del ecuador.

## ¿ESTÁ SUPERPOBLADO EL PLANETA?

Para poder decidir si con 7000 millones de seres humanos la tierra está superpoblada, debemos primero calcular la “capacidad de carga” de la biosfera respecto de la población humana. Si bien el concepto de capacidad de carga es relativamente fácil de comprender, el cálculo puede resultar complicado y, especialmente respecto de la población humana, particularmente difícil. La razón, es que el número de habitantes no es importante en sí mismo, a menos que podamos calcular el impacto ambiental de una determinada población, el cual varía mucho en sociedades distintas. Así, siguiendo diferentes criterios, distintos autores llegan a cifras muy distintas (Figura VI.1).

Autor	Año	Estimación (millones)
Leeuwenhoek	1679	13.400
Knibs	1917	132.000
De Wit	1967	1.000.000 (máximo)
Ehrlich	1971	500 a 1.200
Wettenschapelijka	1994	11.000 a 44.000

**Figura VI.1.** Algunas estimaciones de Capacidad de Carga para la población humana. Nótese particularmente la enorme diferencia entre distintas estimaciones.

Como vemos, distintos autores llegan a cifras muy distintas. Esto se debe principalmente a distintas estimaciones acerca de la producción potencial de alimentos de la biosfera, pero sobre todo, a distintos puntos de vista respecto del nivel de vida (consumo) considerado “deseable”.

## ¿CUÁNTO CONSUME CADA SER HUMANO?

Wackernagel y otros (1996, 2002) calcularon que la suma de bienes y servicios que consume un ser humano promedio, puede ser producida por aproximadamente 1.8 hectáreas. A esta cifra de 1.8 ha / persona, la llamaron la “huella ecológica” de un ser humano. Ahora veamos las diferencias en el impacto ambiental del ser humano en distintos países (Figura VI.2).

Pais	hectárea/persona
Canadá	4.30
EEUU	5.10
Holanda	3.32
India	0.38
<b>Promedio mundial</b>	<b>1.80</b>

**Figura VI.2.** Impacto ambiental de un ser humano en distintos países.

Visto de otra manera, en comparación con lo que consume un hindú, un canadiense consume 11.31 veces más, un norteamericano 13.42 veces más, un holandés 8.73 y un habitante mundial promedio, unas 4.73 veces más. O sea que 88 millones de canadienses, o 75 millones de norteamericanos, o 114 millones de holandeses consumen tanto como la población de India, con más de 1000 millones de habitantes.

Intentemos ahora entonces, responder a la pregunta ¿está superpoblada la tierra? Con los recursos actuales, el planeta podría abastecer las necesidades de 28000 millones de habitantes con consumo de “estilo hindú”, pero sólo 2100 millones “estilo norteamericano” o 2500 millones “estilo canadiense”. Si la población mundial deseara un estándar de vida semejante al hindú, habría aún lugar para más de 20000 millones de personas más. Si en cambio el estándar deseado por todos es semejante al norteamericano promedio, entonces estamos ya consumiendo los recursos de casi 3 planetas Tierra.

## PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y ALIMENTACIÓN

La producción mundial de alimentos alcanza para alimentar a toda la población actual, como podemos observar en la figura VI.3. El promedio mundial de alimentos que suministran calorías disponibles es aproximadamente el 121% sobre el promedio diario recomendado en Kcal; en tanto que 78 gramos disponibles por persona de proteína diarias están por encima del consumo mínimo recomendado. En el año 2011, la Argentina produjo 98 millones de toneladas de cereales y oleaginosas (Calzada, 2012) y 3,15 millones de toneladas solamente de carne vacuna (Alvarado, 2011). Esto significa una producción anual de 6,7 Kg de cereales y oleaginosas y 215 gramos diarios de carne por día por persona. Así, aun sin tener en cuenta la producción de otras de carnes (aves, cerdos, ovejas, cabras, etc.), la Argentina produce suficiente alimento como para alimentar perfectamente a toda su población.

	Kcal disponibles (% del recomendado)	Proteínas disponibles (g/día)
EEUU	143	115
Holanda	127	106
India	105	57
Argentina	119	95
Promedio mundial	121	78

**Figura VI.3.** Producción de alimentos por habitante en el año 2012. Cifras de ONU – FAO para los años 2010-2012, <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/fs-data/ess-fadata/en/>.

Para estimar la capacidad de carga referida a los alimentos, han de tenerse en cuenta las tierras cultivables y lo que pueda obtenerse de las aguas continentales y de las aguas marinas. Hace alrededor de cincuenta años se creía que los mares podrían proveer muchos más alimentos de lo que hoy sabemos que podemos obtener sin excesivos costos. Los mares y océanos contienen el 97% de las aguas del planeta y cubren el 70.6% de su superficie. Algunas zonas, menos del 10% de la superficie oceánica, tienen una gran producción primaria, pero la mayor parte son muy pobres, comparables a los desiertos de los continentes. Los alimentos que provienen de mares y océanos no superan el 5% del total, pero la pesca aporta la mayor parte de las proteínas para unos mil millones de habitantes de tierras costeras.

Además del trigo, el maíz, el arroz, la papa, la mandioca y en los últimos años la soja -que son los cultivos que más volumen aportan a la alimentación humana- existen otras especies de vegetales que han permitido en el pasado alimentar a grandes poblaciones en lo que ahora es América Latina. Tanto, que permitieron el desarrollo de importantes poblaciones y culturas sedentarias: los aztecas, los mayas, los incas y otras. Tales especies vegetales siguen creciendo hoy y algunas son consideradas yuyos y malezas. Nos referimos a especies como la quínoa, el amaranto, la chía, el diente de león, la verdolaga y otras. Tienen composición nutricional muy completa y de alta calidad por sus contenidos de vitaminas, fitoquímicos antioxidantes y minerales. Están ecológicamente adaptados a las zonas donde crecen espontáneamente, y para que crezcan, recoger sus hojas, sus fruto o sus semillas, prácticamente no es necesario remover los suelos, ni fertilizarlos, ni regarlos (Rapoport, 2003). Además muchas de estas plantas crecen y se cultivan en zonas áridas y semiáridas donde no compiten con los cultivos industriales.

## EL ORIGEN DEL HOMBRE

Cuanto más descubren los paleontólogos y paleoantropólogos acerca de nuestro lejano pasado, más se hace evidente que -al menos en el origen- la aparición del Hombre no causó ninguna profunda e inmediata conmoción en el medio biológico del cual surgió. Por el contrario, todo indica que apareció exactamente igual que cualquier otra especie. Seguida hacia atrás en el tiempo, la línea evolutiva de los homínidos a la que pertenecemos se pierde entre innumerables otras líneas, más numerosas cuanto más nos extendemos. Y todas ellas salvo una, el *Homo sapiens*, están hoy extintas. La tarea de distinguir cuál de entre todas ellas

es la que conduce a nosotros -esto es, establecer nuestra filogenia- origina una de las discusiones más apasionantes de la antropología. Sobre los ancestros de nuestra especie *Homo sapiens*, se puede encontrar el breve ensayo VI.1, al final de este capítulo.

Podemos decir que en su origen el hombre entró sin ruido. Significa esto que -a pesar de su profunda originalidad- no hubo ninguna ruptura en lo que algunos antropólogos han denominado el paso a la hominización; fue sólo una rama más entre muchas otras emparentadas, en las que se dividió el grupo de los simios hominoideos. Y desde allí, una serie continuada de especies que forman una suerte de hilo conductor que llega hasta nosotros.

El tamaño de la población de nuestros antepasados, hace unos 200000 años, es estimado por algunos autores en 125000 individuos mientras que, en la actualidad somos más de 7000 millones. Esto significa, razonablemente, que en este lapso, por un lado eliminamos especies competidoras y por el otro explotamos los recursos naturales en forma mucho más intensa, pudiéndose decir que produjimos un impacto ambiental. Si antes hicimos poco ruido, sin duda hoy estamos haciendo mucho.

## EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN HUMANA

La persistencia de una especie en el tiempo indicaría que está bien adaptada a las condiciones del medio ambiente que ocupa. Si aumentara su tamaño en varios órdenes de magnitud podríamos, incluso, decir que es exitosa. De acuerdo con este criterio, la especie humana, está teniendo un éxito formidable. Veamos la figura VI.4:

Fecha	Población mundial (millones)	Tiempo estimado de duplicación * asumiendo crecimiento exponencial (años)
8000 a.C. +	5	1500
1650 d.C. ^	500	200
1850 d.C.	1000	80
1.930 d.C.	2.000	45
1.974 d.C.	4.000	35
1.987 d.C.	5.000	41
1.999 d.C.	6.000	50
2.011 d.C.	7.000	58
2.050 d.C.	12.000	¿?

+ a.C. = antes de Cristo

^ d.C. = después de Cristo

^ El tiempo de duplicación es el tiempo que tarda una población en duplicar su tamaño y se calcula a partir del modelo exponencial de crecimiento colocando:

$N_t = 2 \cdot N_0$  esto es  $N_t = N_0 e^{rt}$  y por lo tanto

$2 \cdot N_0 = N_0 e^{rt}$  y  $t = (\ln 2) / r$

(Nótese que si el crecimiento fuese logístico, los tiempos de duplicación serían considerablemente mayores).

**Figura VI.4.** Tiempo estimado de duplicación de la población mundial.

Podemos ver que mientras se mantuvo estable durante cientos de miles de años, el tiempo de duplicación se redujo 30 veces en los últimos 10000. Esto habla sin duda, del éxito de nuestra especie en los últimos años, sobre todo en los últimos cien. Sin embargo y a pesar de ello ¿puede seguir creciendo así la población?

## LOS GRANDES SALTOS EN EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

Sabemos que la aparición del hombre fue igual a la de otras especies. No obstante, ninguna especie anterior a *Homo sapiens* tuvo el poder de modificar la biosfera como lo está haciendo el hombre actual. Cuando un homínido talló por primera vez una piedra con la intención de convertirla en un instrumento útil, tal vez hace 2 millones de años, daba el primer paso que llevaría a que algún día una especie de algún género de la misma familia de los homínidos modificase profundamente la biosfera. El *Homo sapiens* alcanzó en nuestros días ese dominio.

En el Paleolítico inferior, hace alrededor de 1 millón de años, la difusión de nuevas técnicas era lenta, nuestros antecesores eran meros recolectores de los frutos de la tierra y necesitaban una amplia zona para obtener su sustento. Fue al final de este largo período que se produjeron tres grandes cambios culturales, aparte de la técnica de tallado de piedras: el arco, la domesticación de animales y la pintura y el modelado de imágenes. Últimamente en el Sur de Francia se han encontrado cuevas que fueron habitadas por hombres hace 32 a 40000 años en las que hay pinturas que corresponden a un avanzado grado cultural (cuevas de Chauvet y de Abri Castanet, <http://www.insu.cnrs.fr/terre-solide/terre-et-vie/la-grotte-chauvet-fermee-par-des-eboulements-depuis-21-500-ans>). En esos tiempos aún estaban con nosotros los hombres de Neanderthal.

Entre esos cambios, el más importante avance, considerado la primera gran revolución económica, fue la domesticación de especies animales y el cultivo de varios vegetales. Esto ocurrió alrededor del año 8000 a. C., en Asia, en la zona de tierras fértiles que abarcaba una parte de Asia menor meridional, del Irán, del Turkmenistán occidental, además de la Mesopotamia, Siria y Palestina: la llamada medialuna o creciente fértil.

La posibilidad de domesticar animales y cultivar la tierra significó la aparición de la selección artificial para especies en las que hasta entonces sólo actuaba la selección natural.

Esa etapa de la prehistoria, que denominamos “revolución agrícola” fue probablemente uno de los más importantes factores -sino el más importante- que dieron origen al pasaje de la vida nómada a sedentaria, porque a los cultivos hay que cuidarlos y esperar la cosecha: es necesario quedarse en el lugar; así comienza lentamente el proceso de urbanización. Precisamente uno de los asentamientos permanentes más antiguos que se conocen, es Jericó -en la actual Palestina- que data de hace unos 10000 años y está íntimamente relacionado con la domesticación de plantas y animales. Naturales de esa región crecían diversas especies de cereales, que producían muchas semillas, antes de que el hombre llegase a comerlas y después a cultivarlas (Campbell, 1985).

En general, tales actividades agrícolas comenzaron en ecosistemas que ya sufrían algún tipo de explotación más o menos intensa sobre la producción primaria antes de la llegada del hombre. Es el caso de las praderas que están sometidas a una fuerte presión por parte de herbívoros, a fuegos periódicos o a un clima fluctuante, con comunidades herbáceas capaces de resistir los cambios impuestos por el medio. Estos ecosistemas estaban, en cierta forma, preadaptados a la explotación humana (Margalef, 1980).

Con la mejor provisión de alimentos, la formación de aldeas permanentes y la urbanización, comenzaron a diferenciarse las funciones, aparecieron los oficios y la estructura de clases sociales. La obtención del alimento por una vía más efectiva que la recolección y la caza tuvo como consecuencia el primer gran incremento en el tamaño poblacional. Las aldeas incluían artesanos y desarrollaron un comercio incipiente, con el avance de las técnicas, este comercio entre aldeas se intensificó. Algunas ubicadas en puntos estratégicos para el intercambio de recursos aumentaron su tamaño y densidad hasta alcanzar la estructura de ciudades.

En el siglo XVIII se produjeron muy importantes cambios en la producción de bienes, lo que en la historia conocemos como la “revolución industrial”. Esto permitió al hombre controlar otras fuentes de energía, comienzan a utilizarse los combustibles fósiles y los logros tecnológicos fueron desde la máquina a vapor hasta los sistemas de producción en serie, que aplicados al campo agrícola lograron importantes aumentos en el rendimiento. También comenzó un proceso de explotación de los recursos naturales sin precedentes en toda la historia de la humanidad, tanto por su extensión como por su intensidad.

El crecimiento actual de la población humana está producido directa o indirectamente por esa revolución. La disminución de la tasa de mortalidad es producto de los avances de la medicina, y unida al mantenimiento de la tasa de fecundidad, condujo a un incremento en la tasa de crecimiento de la población mundial principalmente en los últimos 50 años.

Es indudable que la actual velocidad de crecimiento no puede mantenerse por tiempo indefinido. Pero un reciente informe de ONU indica que la tasa de crecimiento de la población humana alcanzó un máximo de 2.04 alrededor del año 1970 y desde entonces ha ido bajando hasta 1.2 en el año 2012. De seguir esa tendencia, el crecimiento de la población se detendría dentro de unos 100 años, estabilizándose entre los 9500 y los 12500 millones de habitantes.

Según el censo del año 2010, la población argentina tiene una tasa de crecimiento  $r$  de 1.12. Esta tasa es casi exactamente la tasa de reemplazo, con lo que desde el punto de vista demográfico la población argentina crece muy lentamente y a una tasa similar a la de los países desarrollados.

## TEORÍAS SOBRE LA POBLACIÓN

Las teorías sobre población siempre han estado más o menos influenciadas por el entorno político-social en que se desarrollaron, y siempre han provocando en las distintas sociedades reacciones a favor o en contra.

Es particularmente relevante la figura de Thomas Malthus, sacerdote y economista inglés de fines de siglo XVIII. Su teoría sobre la población parte de dos hipótesis principales; en la primera sostiene que la población aumenta en progresión geométrica, (en la que para similar intervalo de tiempo la tasa en un intervalo es el doble de la anterior, ej. 2 – 4 – 8 – 16 – 32- 64 ...) siguiendo una ley biológica, y en la segunda que los medios de producción crecen en progresión aritmética, (en la que las tasas de cada intervalo sucesivo van sumando una cantidad similar a la inicial, ej. 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 ...), suponiendo además el rendimiento decreciente de la tierra. Malthus sostenía que la capacidad del hombre de aumentar sus recursos es menor que su capacidad de reproducción; que las sociedades deben poner frenos a su multiplicación; que deben existir fuerzas internas que mantengan a las poblaciones dentro de los límites de la producción de alimentos. Estos frenos podrían ser preventivos, que son aquellos que disminuyen los nacimientos, o positivos, que actúan aumentando la mortalidad. Malthus propone las restricciones morales como medio para evitar el crecimiento de la población. Considera en su obra “Ensayo sobre el principio de población” (1798) a las

instituciones sociales de su tiempo como naturales e inevitables, y a la pobreza como una consecuencia del tamaño de la población. Las reacciones que suscitó entre sus contemporáneos no se debieron tanto a su “principio de población”, como a su visión estática de la sociedad y a su condena de las políticas que atenuaban los efectos de la miseria (particularmente las “leyes de pobres” imperantes en ese momento en Inglaterra).

El pensamiento actual en materia demográfica puede, básicamente, separarse en dos corrientes. Los neomalthusianos, antinatalistas que reivindican la teoría de Malthus y alertan sobre el peligro de la superpoblación. Por ejemplo Ehrlich (1975) sostiene que ya ha sido alcanzada la capacidad de carga del sistema que el calculó en aproximadamente 1200 millones, y que en consecuencia, estamos asistiendo al agotamiento de los recursos naturales. El hambre y la desnutrición que azotan a una importante porción del mundo serían entonces consecuencia de la superpoblación, la alternativa para evitarlos consiste en frenar el crecimiento. Los que se oponen a esa idea coinciden en sostener que la actual situación en el mundo subdesarrollado no es causada por el exceso de población, sino que es el resultado de la desigual distribución de los recursos, y que, por otra parte, nos encontramos alejados de la capacidad de carga de la biosfera (ver Cuadro 1).

## **DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y CONCENTRACIONES URBANAS**

Según se sabe, las primeras poblaciones urbanas se formaron hace unos 10000 años, con la revolución agrícola. Sin embargo la urbanización en el sentido moderno comenzó con la revolución industrial. En el año 1800 sólo el 3 % de la población residía en ciudades, esa proporción se acrecienta en el siglo XIX, y en el siglo XX surgen “naciones urbanizadas”. Según el grado de concentración, se acostumbra a dividir a la población en urbana y rural. La primera, concentrada en urbes o ciudades, tiene una mejor provisión de servicios, posee menos vínculos directos con la naturaleza y una mayor esperanza de vida. Según datos de Naciones Unidas, en el año 1950, de una población mundial de 2520 millones, sólo 750 millones (el 30%) era urbana y 1770 millones era rural. En el año 2000, de 6000 millones, 2850 millones, o sea casi la mitad (47%), vivían en áreas urbanas y 3210 millones en áreas rurales. Para el año 2010, el 50% de la población es urbana y se estima que para el año 2050, esta proporción llegará al 70%. El término “rural”, referido a los espacios cubiertos por ecosistemas naturales y áreas de uso agropecuario y forestal, con baja densidad de población humana, se asocia con aislamiento, pocos servicios y actividades ligadas a su mayor contacto con la naturaleza. Esa clasificación indudablemente no es estricta, ya que en zonas de contacto los rasgos se confunden. Con la finalidad de hacer comparaciones y buscar correlaciones a través de los años, actualmente se considera que la población es urbana cuando tiene más de 2000 habitantes y trazado de calles; y rural cuando tiene menos de ese valor. La densidad en áreas urbanas alcanza los 20000 habitantes/ km<sup>2</sup>, en tanto que en las áreas rurales no sobrepasa los 10 habitantes/ km<sup>2</sup>, excepto en las zonas de riego, donde es mayor. Es indudable que la densidad poblacional incidirá de diferente manera sobre el territorio, al afectar diferencialmente el uso de los recursos, la producción de residuos, los efectos de la contaminación y la dependencia de subsidios energéticos.

El crecimiento vegetativo es mayor en las áreas rurales, como resultado de una mayor natalidad, pero también en ellas se alcanza una mayor mortalidad, siendo menor la esperanza de vida. Sin embargo, la población rural no es la que más crece ni en los países desarrollados ni en los subdesarrollados, es la población urbana la que crece a expensas de la rural.

Como se dijo más arriba, la creciente concentración de la población humana traerá aparejado un mayor impacto ambiental que puede resultar negativo, localizado en las zonas urbanas de mayor densidad poblacional. Según el censo realizado en el año 2010, en la ciudad de Buenos Aires y el resto del área metropolitana, viven algo más de 14 millones de personas. Esta concentración de gente, por ejemplo, produce 1,1 kg de residuos sólidos urbanos (RSU) diarios por persona, o sea aproximadamente 15400 toneladas de RSU diariamente. El uso de agua y los efluentes cloacales e industriales de este conglomerado urbano se suman al impacto ambiental negativo de la población del Gran Buenos Aires. Sobre la vulnerabilidad de la vida y la segregación urbana en esa población de Argentina se encuentra el ensayo V.2 al final de este capítulo. Y sobre los espacios urbanos a escala humana y los edificios sostenibles está el ensayo VI.3.

## PREGUNTAS

1. Usted es un mamífero omnívoro social (no se sienta mal pero es así) y todos los integrantes de su familia y sus vecinos también lo son. Cada uno, para mantenerse y mantener funcionando la organización social a la que pertenece, consume energía que le llega en los alimentos (denominada energía endosomática), y en los servicios de electricidad, de agua, de salud, de transporte, de educación, de esparcimiento y otros (energía exosomática). ¿Cuál de estas dos energías cree que usted consume más a lo largo de su vida? ¿Por qué? ¿Existen algunas edades a lo largo de la vida en que haya mayor consumo de una que de la otra? ¿Es igual en todas las sociedades? ¿Es igual en todas las clases sociales? ¿Es igual en todos los individuos? Fundamente sus respuestas.

2. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de huella del ser humano? Dé ejemplos de las distintas “huellas” de los hombres según el grado de desarrollo económico del país y la cultura a que pertenecen.

3. ¿Cuáles son las causas culturales que, hasta donde sabemos, han sido impulsoras de grandes cambios en la tasa del crecimiento de la población a lo largo de la historia del ser humano? ¿Particularmente cuáles han sido las del crecimiento que acompañó a la Revolución Industrial?

3. ¿Cuál es actualmente el promedio mundial de la tasa de crecimiento de la población humana? ¿En qué regiones es más baja? ¿Cuáles cree usted que son las causas más probables de esas diferencias? ¿Cree usted que es posible que en algún tiempo (en este siglo o en otro) se igualen esos distintos valores?

4. ¿Cuáles son los impactos ambientales más evidentes que producen respectivamente las poblaciones desarrolladas, ricas, y las poblaciones subdesarrolladas, pobres?

5. ¿Quién era y qué sostenía Malthus respecto de la población? ¿Qué sostienen los que se oponen a él?

## ENSAYO VI.1

### ***El Homo sapiens y sus antecesores***

*Carlos Coviella*

El grupo de los primates dentro de los que se encuentra el hombre, se separó evolutivamente del resto de los mamíferos (o sea, comparten el último antecesor común) hace aproximadamente 80 millones de años (Ma). Hace unos 45 Ma, cuando África aún era una isla y el mundo era considerablemente más cálido que hoy -hasta 12 °C más en los trópicos- los monos del nuevo mundo se separan del resto de los primates. Por otra parte, el grupo de los homínidos se separó del resto de los monos hace alrededor de 30 Ma. En algún momento, hace entre 16 y 18 millones de años, África quedó unida a Asia y muchas especies se extendieron en ambas direcciones, con el consiguiente aumento de la competencia. Es este un período muy rico en cambios evolutivos, como se aprecia en el registro fósil. Además, hay evidencias de que el clima empezó a enfriarse por aquellas fechas y los ambientes selváticos en el que evolucionaron los primates dieron paso a sabanas.

Es en este ambiente que nuestros ancestros se separan del gorila y el orangután hace 15 Ma y luego el linaje humano se separó del último de los monos antropomorfos, cuando hace 7.5 Ma se separan los chimpancés.

Parece haber consenso entre los paleoantropólogos en que nuestra filogenia continúa con los Australopithecinos que, hace 4 millones de años estaban -como grupo- completamente extendidos por África. Por lo menos una de sus características, los coloca indudablemente en la línea humana: hace ya 3.75 millones de años, caminaban erguidos, tal como surge de unas huellas de pies de homínidos encontradas en Laetoli en la actual Tanzania. También en este caso, encontramos un grupo con varias especies. De ellos y probablemente hace unos 2,4 Ma apareció el género *Homo*, con la especie *Homo habilis*, que es la especie más antigua del género.

*Homo habilis* es, y de allí su nombre, la primera especie asociada claramente en el registro fósil a instrumentos líticos. Aparentemente es la que comenzó a desarrollar el conjunto de información no genética transmisible que llamamos “cultura”; presenta cerebro mayor y dientes más pequeños que el género *Australopithecus*. Además de nuestra propia especie *Homo sapiens*, dentro del género *Homo* se desarrollaron varias especies: *H. rudolfensis*, *H. ergaster*, *H. erectus*, *H. antecessor*, *H. heidelbergensis* y *H. neanderthalis*, todas ellas ahora extintas. *Homo neanderthalensis* aparece hace unos 230000 años, pero desaparece hace unos 30000, mientras que nuestra especie *Homo sapiens* aparece en África hace entre 150000 y 200000 años. El parentesco entre *H. neanderthalensis* y *H. sapiens* es tan cercano que durante algún tiempo se los consideró dos subespecies de la misma especie.

Las técnicas de biología molecular desarrolladas desde los principios de la década del 90, han permitido secuenciar ya el genoma completo no solo de nuestra propia especie sino también de *Homo neanderthalensis*. Hay evidencia considerada sólida de que el hombre de Neanderthal coexistió con el *Homo sapiens* hasta hace alrededor de 30000 años, tal como sugiere un esqueleto fósil encontrado en Portugal en 1998 y que algunos investigadores especulan que podría ser el resultado del cruzamiento entre ambas especies (Pérez, 2012).

## ENSAYO VI.2

# Ciudad vulnerable: de la segregación urbana a la justicia ambiental

*Cristina Carballo*

¿Nuestras ciudades latinoamericanas son vulnerables? En esta oportunidad desarrollaremos una interpretación crítica sobre el reciente crecimiento urbano del Área Metropolitana de Buenos Aires con el propósito de comprender que la segregación urbana y la inequidad ambiental son caras de una misma moneda.

Es frecuente escuchar, ver o leer noticias sobre los “desastres” que sufren algunas ciudades. Estas se presentan con enfoques o concepciones naturalizadas de los problemas ambientales urbanos. Es decir, una inundación y su impacto negativo a la población se producen tan solo porque llovió más que lo regular o porque el río creció sin aviso, teniendo como único protagonista el evento natural. En ocasiones no se tiene en cuenta los procesos pre-existentes como avance de la urbanización en áreas bajo cota de inundación aceleran los efectos nocivos por la crecida del río, o la proximidad a basurales o por los pasivos ambientales de alta toxicidad como el caso de contaminación por plomo (de una vieja zona industrial) en el barrio popular La Teja, en Montevideo. Los procesos de construcción histórica, económica, política y social conllevan a un tipo de construcción material de la ciudad. La sumatoria de procesos y factores naturales y sociales desde los años '70 y la crisis urbana ha producido un alto riesgo a potenciales desastres. Posiciones críticas a estas situaciones prefieren interpretar la realidad ambiental y urbana desde la “construcción social del riesgo”. La noción de la construcción social del riesgo incorpora en su lectura a los procesos urbanos y sus falencias como la falta de planificación de servicios, la localización de poblaciones expuestas a diversas amenazas; y también pone la atención sobre las nociones de percepción, imaginarios sociales y riesgo subjetivo. Sobre esto último, veremos que frente al deterioro urbano se generaran reacciones de movimientos sociales y ambientales reclamando justicia ambiental <sup>1</sup> y una gestión integral de los problemas-soluciones, de los recursos y de la ciudad.

Generalmente, la temática urbana y la ambiental se abordan a diario con explicaciones que

.....  
<sup>1</sup> Environmental Protection Agency, US (EPA) a fines de los años noventa, define a la Justicia Ambiental como: "...el trato justo a todos los individuos y su participación significativa, sin importar su raza, color de la piel, origen nacional o ingresos, en el desarrollo, ejecución y aplicación de las leyes, reglamentos y políticas ambientales. Trato justo significa que ningún grupo de personas; lo que incluye todos los grupos raciales, étnicos o socioeconómicos, debe sufrir una parte desproporcionada de las consecuencias ambientales negativas que resulten de las operaciones industriales, municipales y comerciales o de la ejecución de programas y políticas federales, estatales, locales y tribales." Desde ese entonces a la actualidad América Latina y otras regiones del planeta han manifestado la necesidad de una mayor eficacia del derecho constitucional. De esta manera, el concepto de Justicia Ambiental o de Acceso a la Justicia Ambiental ha adquirido otra connotación desde la economía ecológica y es dimensión política, por la necesidad de respuestas sociales más equitativas. Hoy, los movimientos sociales se suman en la construcción de los nuevos derechos ambientales y culturales en el proceso de globalización; y de esta manera intentan influir en la resolución extrajudicial y judicial de los conflictos ambientales y culturales vinculados con el ambiente y con el desarrollo sostenible. En estos años se han multiplicado los movimientos sociales urbanos que aspiran al ejercicio pleno de los derechos ambientales y las condiciones dignas de la población. En este sentido las luchas reivindicativas son frecuentes frente a planes de urbanización irregulares como Colony Park, o por la protección de humedales, o por el rescacimiento y mejora frente a la contaminación que provocan algunas industrias y los problemas que ocasionan en la salud de la población más vulnerable.

reducen la realidad a alguna de estas dimensiones. Pocos estudios han planteado la dimensión ambiental y urbana en forma compleja y no solo puntual o fragmentada. A principios de los '90 Nora Clichevsky hizo manifiesta esta relación social del ambiente y la urbanización con el estudio de los procesos de los loteos populares del Gran Buenos Aires, desde una mirada integral del fenómeno urbano. Desde los setenta las decisiones públicas o privadas fueron cada vez más fragmentadas y parciales, socialmente asimétricas o escasas; a pesar de los intentos de regulación ambiental y territorial que propuso la provincia de Buenos Aires con el decreto-ley 8912/77. Este instrumento, por un lado, regulará tardíamente la incorporación de suelo urbano, popular, bajo la cota de 5 metros, mientras que en el otro extremo social, dejó un vacío normativo para el proceso de emprendimientos privados de los años 1990.

El proceso de expansión urbana, sobre todo a partir de la década de los '70 ha sido suficientemente estudiado para insistir en la precariedad de las políticas de planificación del Estado, en sus diferentes escalas. Fase urbana que será la antesala desoladora de las políticas de privatización del suelo urbano y de sus formas de concebir la ciudad. En este contexto, la temática ambiental urbana es tratada de forma aislada, el análisis se centra en algunos factores sin un esquema de interpretación adecuada a la problemática urbana que la defina como un sistema complejo, dinámico y abierto.

La ciudad es un sistema, para bien o para mal, sistema que integra a sus relaciones con las condiciones del medio físico, con las formas culturales de intervención sobre los recursos vitales como el agua, con las necesidades de infraestructura sanitaria, sin olvidarnos de las actuaciones de los intereses inmobiliarios, entre los principales. Las palabras infraestructura y planificación integral parecieran borradas del diccionario, sobre todo en contextos neoliberales. Es decir, sin tener una imagen dinámica de la realidad social y a la vez sintética de la expansión material de la ciudad. La segregación ambiental, en otras palabras, es apenas una de las expresiones de la fragmentación urbana. Los resultados están a la vista, encontramos en el paisaje urbano una multiplicidad de territorios atravesados por realidades sociales y ambientales extremas. Por ejemplo, la conocida localidad de Dock Sud, en Avellaneda (Buenos Aires) que hoy deja de lado a sus antepasados inmigrantes europeos quinteros y a la vida portuaria de otrora. Hoy los vecinos se encuentran atrapados en una trama o trampa de contaminación de todo tipo, rodeada por un centro petroquímico, y por un crecimiento desde los '90 de los nuevos pobres en terrenos baldíos, en áreas bajas, anegables y con inseguridad. Paisaje urbano que se encuentra a pocos kilómetros de la Casa Rosada. La escena se reproduce con otros elementos en el Gran Buenos Aires. Esta resultante del tejido urbano en buena parte deberíamos abordarlo desde el comportamiento del mercado de tierras, tanto el mercado formal como el informal dado que son formas complementarias y no independientes. La reciente expansión urbana de Buenos Aires no solo se superpone a las matrices anteriores sino que genera una hibridación que adquiere diferentes matices según la valoración socio ambiental y/o del mercado del suelo urbano, tanto para las áreas rurales como para las suburbanas.

Desde hace 30 años estos fenómenos urbanos, en Argentina, toman resignificación regional con el intenso crecimiento de las urbanizaciones cerradas (UC): countries, countries náuticos, chacras, chacras náuticas, barrios cerrados, condominios, o pueblos y puertos privados para residencia permanente o secundaria. En este contexto, también se promovieron, los recientes procesos de privatización de las funciones y del espacio público como fue el abastecimiento del agua potable. Paralelamente se favorecieron las inversiones selectivas que convergen en la privatización urbana como la construcción de las autopistas en detrimento de la mejora del transporte público, bajo modelos económicos y sociales que conllevaron y

agudizaron la fragmentación del territorio y segregación socio ambiental.

El proceso y su matriz territorial de expansión física de las urbanizaciones cerradas (UC) sobre el espacio rural y periurbano tuvieron lugar en tan sólo diez años. Por ejemplo, en setiembre de 1999 las tierras afectadas para sus diversas formas de urbanización alcanzaron las siguientes cifras: los barrios cerrados llegaron a cubrir 4.400 has.; las chacras unas 15.700 has., los countries más de 9400 hectáreas y otros tipos unas 2000 has. Estas 31.500 hectáreas equivaldrían aproximadamente a 315 km<sup>2</sup>, superficie mayor de la que ocupa la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (200 km<sup>2</sup>) (Carballo, 2004) Cifras que en el término de diez años, según relevamiento de otros investigadores como Nora Clichevsky (2002) alcanzaron el consumo real de unos 270 km<sup>2</sup>, lo que representa una expansión física del área metropolitana de aproximadamente un 10% de su actual superficie. Es decir, se consume suelo productivo de uso rural u hortícola que empuja a los productores a buscar otros suelos o a desaparecer. Así, el avance de la frontera urbana no conoce límites impuestos, sino que estará supeditada al grado de conectividad. En otras palabras la expansión urbana cerrada dependerá del acceso directo o semi directo a las autopistas, las que conectan a las urbanizaciones con el centro del aglomerado de Buenos Aires.

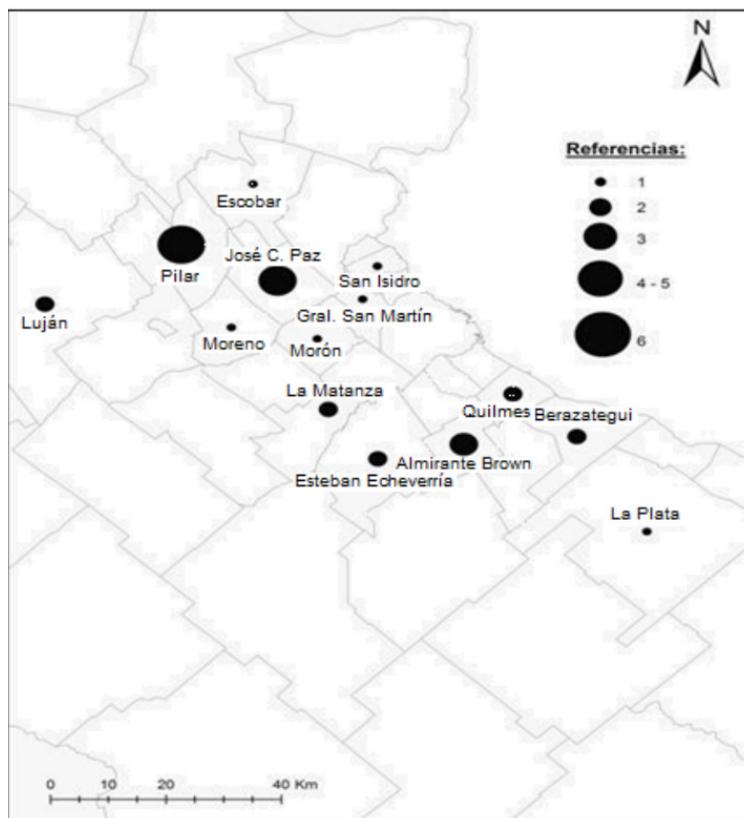
Se estima que en 1940 Buenos Aires y sus alrededores tenían 3.306.764 habitantes, asentados en una superficie de 1188 kilómetros cuadrados. La prosperidad de la expansión industrial trajo consigo la explosión metropolitana de Buenos Aires con la consolidación de nuevos distritos fabriles, barrios obreros, barrios dormitorio para la clase media, o villas de emergencia para los sectores pobres, y también quintas de fin de semana para los sectores sociales urbanos más acomodados. En los '70 y '80 las situaciones de enclave más paradigmáticas en Buenos Aires eran las villas de emergencia o villas miseria. En cambio en los años '90 las urbanizaciones cerradas constituyen los nuevos enclaves, pero esta vez para la clase media, media alta o alta. De este modo se construye un colage social caracterizado por la fragmentación urbana. La expansión llegará a los partidos contiguos del borde metropolitano, como el caso de Luján, Exaltación de la Cruz, Campana, y otros, según la llegada o no de las autopistas.

Junto con las urbanizaciones cerradas, este modelo urbano trae consigo los servicios privados: shoppings, complejos recreativos, cementerios privados, entre otros (Figura 1). Asimismo todos estos emprendimientos se dirigen a los mismos grupos sociales, los que dejan expresiones materiales y un nuevo mapa de segregación social y urbana. Otro aspecto común de los nuevos territorios urbanos, es el predominio de una ideología de intenso contenido espacial; ya sea tanto por la valoración paisajística-ambiental como por las estrategias comerciales que aplican en la promoción de los countries o barrios cerrados. Es frecuente encontrar un cuidadoso geomarketing -que el mercado planifica y aplica- en la producción del suelo urbano, en los estilos arquitectónicos, o en la creación o promoción de nuevas comunidades. En esta escala se puede inferir el papel central de las urbanizaciones cerradas del Área Metropolitana de Buenos Aires. Este será el escenario predilecto para el desarrollo de los cementerios privados. De esta manera los patrones territoriales y políticas urbanas de regulación pública se quiebran dando lugar a otras formas de gestión de los servicios, el privado. En este proceso se inscribe el auge y difusión de los cementerios parque, fenómeno que es reproducido en otros servicios como el abastecimiento de agua potable.

En el caso del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) las políticas en materia urbana de los municipios son laxas y vulnerables ante las presiones de los inversores nacionales o internacionales; y muchas veces, las gestiones locales carecen de una mirada compleja para interpretar de manera integral la gestión ambiental del sistema urbano. En algunos casos se aplicaron metodologías importadas de planificación estratégica dando como resultado una

mirada local de la consolidación urbana como de sus tendencias.

Se componen procesos en nuestras ciudades que conllevan a una construcción social del riesgo ambiental y urbano como resultante de los cambios sustantivos y fragmentados de la estructura urbana o suburbana, por ejemplo el crecimiento incontrolado de la Villa 31, frente a una de las áreas más prestigiosas de la ciudad como la avenida Libertador y de un centro de comunicaciones como es Retiro. En el caso de las ciudades o municipios próximos al Gran Buenos Aires se han dado casos extremos en que las comunidades locales son



**Figura 1.** Cantidad de Cementerios Parques Privados por partido del AMBA. Fuente: Carballo & Batalla (2012)

transformadas sin ningún tipo de políticas que atienda los impactos negativos, ya sea con acciones mitigadoras o remediadoras. Este es el caso del partido de Pilar. Se dejan instaladas tensiones ambientales y desigualdades sociales que en muchos casos se expresan con los conflictos de uso del suelo o el acceso al agua potable, o la contaminación industrial o por basurales, entre otros.

Paralelamente, en las últimas décadas, comienzan a adquirir relevancia social y política los efectos de los mal llamados “desastres naturales”, y a concebirse –entre otros pensamientos– como “problemas no resueltos del desarrollo” dejando en evidencia el olvido, la ausencia o la debilidad de políticas y medidas acordes a los crecimientos de población urbana.

## ¿QUÉ ES EL RIESGO AMBIENTAL?

La construcción definitiva del riesgo se relaciona con la creación, incremento y permanencia de condiciones de vulnerabilidad de los seres humanos y sus medios de vida en contextos de exposición. Esto mismo es producto y consecuencia de la forma en que una serie de factores y procesos políticos, sociales y económicos se interrelacionan en el entorno de grupos sociales particulares (Narvaéz *et al.*, 2009).

Como hemos visto, en ciudades expuestas a sismos, como el trágico suceso de Concepción en el 2010, no fue un desastre tan solo por los sismos sino por la incapacidad de prevención y crecimiento sin control de la ciudad. La exposición a un fenómeno extraordinario o regular -como podrían ser los hídricos o las precipitaciones intensas, huracanes o terremotos- ponen de manifiesto el colapso de alguna estructura urbana. Algunas áreas manifiestan segregación y problemas ambientales donde se conjugan las políticas urbanas y los

cambios ambientales en el uso o desuso de los recursos, como por ejemplo el ascenso de napas y su impacto negativo en las viviendas del conurbano. El rellenamiento en la desembocadura del río Luján y la falta de estudios integrales de estas modificaciones en la topografía, podrían consolidar futuras áreas vulnerables a inundaciones, entre otros efectos colaterales o externalidades. La falta de una gestión integral de los residuos o la contaminación del agua superficial como las del río Reconquista o del río Luján, son algunos ejemplos de la extensa lista de respuestas negativas de la reciente expansión urbana que desatiende a los diferentes grupos sociales y a su calidad ambiental, incluyendo a los que económicamente pueden encontrarse en una situación más ventajosa.

Uno de los elementos interesantes recogidos para enmarcar el fenómeno urbano, fue la de A. Maskrey (1994: 4), quien propone una aproximación al incorporar las relaciones y procesos entre las prácticas industriales y las urbanizaciones de América Latina. “...los desastres tienen un impacto social y económico serio en las economías regionales y sus centros urbanos; que este impacto está aumentado con el tiempo y que se concentra en forma desigual tanto en el territorio como en la sociedad”

El rápido crecimiento de asentamientos marginales en todas las ciudades en América Latina, de construcción precaria en terrenos muy propensos a amenazas, y la incapacidad de la actividad productiva implantada de generar un crecimiento económico sostenido y cubrir las necesidades sociales son factores claves que condujeron a la concentración de vulnerabilidades. El Gran Buenos Aires y las ciudades intermedias en Argentina, no han escapado a este proceso. La definición de degradación requiere revisar agudamente aspectos ecológicos, políticos, sociales, económicos, culturales y técnicos en la relación con la construcción de/ en la ciudad y el riesgo ambiental. Degradación urbana y desastre se relacionan en tanto los efectos sociales y ambientales dado que ambos fenómenos guardan una estrecha vinculación en la construcción del riesgo ambiental y la población vulnerable. Una catástrofe no es sólo un factor desencadenante, es decir, el fenómeno natural y político que determina el efecto final. La degradación selectiva y el deterioro urbano, también deben considerarse como factores intervinientes -activos o potenciales- que pueden provocar un desastre ambiental; concebido entonces como un problema eminentemente social. Los desastres y la degradación urbana no podrían pensarse como tales si no produjeran víctimas o tuvieran repercusión sobre las personas y no solo en los sectores sociales más vulnerables, sino sobre la economía y la vida urbana en forma integral. En síntesis, la realidad social y urbana en Argentina, y en América Latina, expresan la segregación socioeconómica en grados de vulnerabilidad ambiental. Lo urbano y lo ambiental es una forma específica de organización socio-territorial. Atendamos a las estadísticas y los hechos consumados, los últimos censos de población nos indican que alrededor del 80% de la población de América Latina vive, y como puede, en las ciudades. La pobreza latinoamericana cambió de escenario, del rural al urbano, dinámica perversa exacerbada por los procesos estructurales de pauperización de nuestras sociedades.

Estamos frente a un proceso silencioso de vulnerabilidad ambiental de nuestras ciudades. Las tendencias de fragmentación social en las que se enmarca el proceso urbano, y la inequidad social del siglo XXI son en definitiva, la otra cara de la moneda de la ilusión neoliberal. Esta urbanización y la crisis urbana no podrían comprenderse sin enmarcarlas en las mutaciones que contiene la acumulación territorial del capital. Para ello, echa mano de una realidad mediatizada a través de sofisticadas tecnologías de la comunicación, y de un paradigma cultural de impronta posmoderna estructurado alrededor de la crisis urbana moderna, sin comprender el por qué de la desintegración urbana. Con ello, va toda la ciudad, el hábitat,

la salud, la educación, las interacciones sociales, la calidad ambiental y de vida de la población.

Herramientas conceptuales y marcos teóricos no son fáciles de transferir y se hacen complejos a la hora de la gestión urbana del riesgo. Entre los temas que se han abordado se plantea la relación entre la degradación urbana y la construcción social de las condiciones de riesgo y del eventual desastre. Tarea de análisis y solución en términos conceptuales y empíricos, que correspondería a lo que se ha dado por conocer como gestión ambiental urbana. En la práctica la gestión urbana ambiental dependerá de la escala del espacio y población afectada; del modelo político, del tipo de decisiones de mitigación que se espera tomar; de la información disponible, de la participación de actores y decisores, y del tipo de planificación, instrumentos y acciones, del tipo de problemas o conflictos que se debe afrontar, entre otras.

Las zonas de alto riesgo ambiental, en general, coinciden con las áreas con condiciones de pobreza urbana. Aunque no son excluyentes, algunos grupos de mayor nivel socioeconómico por falta de información o estudios de impacto ambiental más exhaustivos se instalan por debajo de la cota de inundación como sucedió con varios emprendimientos, en el partido de Pilar (Buenos Aires), por nombrar un caso. Se reproducen acciones urbanas o industriales en el río Luján sin medir las futuras dinámicas de la cuenca. Estas áreas muchas veces se eligen por el valor del paisaje, la presencia del río o arroyo o por las condiciones ambientales ideales para un buscador urbano que idealiza el contacto con lo “verde” o lo “natural” de modo superficial, desconociendo la complejidad ambiental del área puesta en valor.

Tenemos así que las ciudades, en especial en el Aglomerado del Gran Buenos Aires ha generado y genera condiciones de vulnerabilidad no solo por restringir la diversidad de las condiciones urbanas sino de algo más preocupante que es la de consolidar una segregación social y urbana con inequidad ambiental. Pero los movimientos sociales son cada vez más activos, en especial aquellos que han surgido para denunciar la desigualdad ambiental como el ecologismo de los pobres de los años '90 (Martínez-Alier, 2011) y otros movimientos de resistencia a la globalización más actuales, como los indignados europeos. Por otro lado, las comunidades están cada vez más informadas y han generado estrategias de resiliencia social, como también han fortalecido la participación ciudadana en busca de respuestas políticas concretas. Además, se han consolidado movimientos ambientalistas y sociales, en diversas partes del planeta y en la misma ciudad, actuando no solo en defensa de recursos o del patrimonio ecológico sino actuando por las condiciones sociales y urbanas, para toda la sociedad, en definitiva, por una justicia ambiental.

## ENSAYO VI.3

# Edificios ambientalmente sustentables y espacios urbanos a escala humana

*Eduardo Yarke y Martha Fujol*

### LA RELACIÓN ARQUITECTURA, CULTURA E IDEOLOGÍA

La arquitectura es un hecho cultural que refleja en todo momento las condiciones y circunstancias bajo las cuales ha sido concebida y construida; de allí que los edificios son, en forma individual o de conjunto, emisores estáticos que transmiten el particular mensaje de las ideas con que fueron proyectados. Transmiten a su vez un sinnúmero de datos que, en relación con el ambiente cultural en el que están insertos, nos hablan de los valores que una determinada sociedad aceptó o acepta y promueve, y al mismo tiempo, congelan ese tiempo de su nacimiento perteneciendo al pasado desde el momento en que comienzan a ser construidos.

En lo que aún permanece de algunos espacios urbanos de la antigüedad, reconocemos los recintos que alguna vez estuvieron amurallados para la defensa, espacios destinados al comercio o al culto religioso, mercados y bibliotecas, templos o baños públicos separados por escasa distancia y también la infraestructura de cañerías para proveer agua y desagües, así como chimeneas para la calefacción o los hogares para la cocción de alimentos. Podemos reconocer el entorno cultivable y las fuentes de aprovisionamiento de agua, alimentos o materiales. Todo un mundo para ser interpretado y comprendido, que muestra una manera, un estilo en el que podemos reconocer y diferenciar lo fenicio o lo helenístico, lo romano o lo carolingio de la antigua Europa o Medio Oriente, así también como lo maya o lo inca en el continente americano.

En ciertos momentos históricos o en sociedades de cambio lento y paulatino, las sucesivas experiencias que se han ido sedimentando establecen la continuidad sobre la que se perfeccionan determinadas respuestas frente a un sitio, un paisaje o un clima, todo ello bajo una determinada escala de valores. Tal es el caso de las valiosas experiencias de algunas arquitecturas espontáneas, que mucho nos enseñan sobre la relación armónica entre entorno construido y ambiente natural.

Pero en etapas de veloz evolución, como el caso de la cultura Occidental en los últimos tres siglos, no queda tiempo para la sedimentación y son rápidamente reemplazadas determinadas ideas y experiencias por otras. Las nuevas búsquedas quedan en muchas oportunidades a medio verificar y los objetivos a alcanzar suelen ser difusos cuando no contradictorios con la realidad.

### LA ARQUITECTURA, EL ESPACIO URBANO Y LAS NECESIDADES BÁSICAS DE LOS SERES HUMANOS

La arquitectura es, por su propia naturaleza, una actividad y un producto destinado a satisfacer necesidades humanas en las escalas individual, grupal y social - El entorno urbano es también un condicionante de esta arquitectura y entre ambos y la interac-

ción humana se produce un proceso simbiótico en permanente evolución, con estados transitorios de equilibrio y tendencias a más largo plazo de desequilibrios y reacomodamiento.

*Como apoyo para la determinación de las necesidades humanas podemos acudir, en este caso, a la clasificación realizada por M. Max-Neef; A. Elizalde y M. Hopenhayn según la publicación “DESARROLLO A ESCALA HUMANA – Una opción para el futuro” – Cepaur – Fundación Dag Hammarsjold – 1986 – En el texto que sigue a continuación el listado de necesidades humanas según estos autores aparece destacado en letra cursiva.*

En relación con nuestras necesidades, los edificios nos brindan o deberían brindar en primer lugar *protección* (de la intemperie, de nuestra intimidad, de nuestros bienes materiales, de agresiones o ataques externos, de siniestros naturales o generados por la acción humana, etc.). Pero también deben cubrir nuestra necesidad de *identidad* ya que manifiestan lo que somos como personas, grupo o comunidad, en relación al ámbito cultural al que pertenecemos y en que clima y paisaje vivimos.

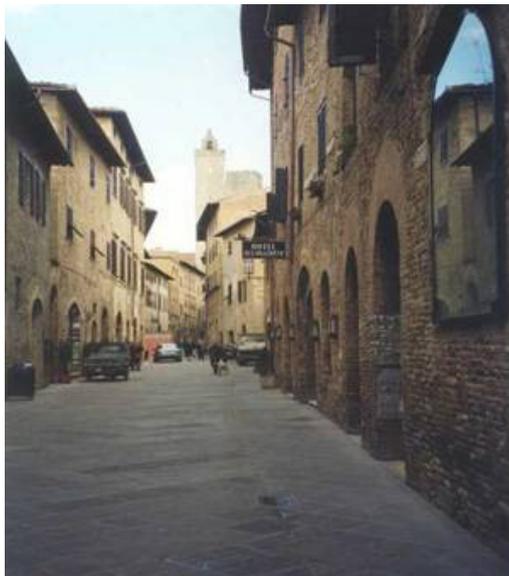
Son mensajeros de un tiempo histórico, ya que todo edificio se incorpora al pasado en el mismo momento en que es construido. Aquellos que sobreviven al tiempo dan testimonio de su época de origen, en cambio, los que se pierden por diferentes motivos constituyen la parte muda, y por lo tanto ignorada, de la historia de una comunidad en un lugar determinado.

Es entonces la historia la que nos enseña que allí donde lo urbano fue el resultado de una comunidad con tiempo, recursos y vocación como para resolver éstas y otras necesidades básicas, aparecen los espacios a escala humana, la valorización de los recorridos peatonales, la creación y la libertad puesta en juego en los encuentros de las calles y callejones o plazoletas, en los juegos volumétricos, en el empleo consciente de la luz, el sol y las sombras, en el juego de los materiales, sus colores y texturas.

Son numerosos los ejemplos de pequeños pueblos y ciudades o sectores de ciudades en los cuales podemos interpretar, por lo que expresan sus calles y edificios, que la mayoría de estas necesidades aparecían como satisfechas para sus habitantes. Muchos de estos pueblos o ciudades son medievales por el momento histórico de su consolidación, y están localizadas en regiones de la vieja Europa, aunque esto no es excluyente, ya que poblados a escala humana comunitaria también existen y han existido en América, u otros continentes.

Básicamente en el lugar y en el tiempo donde una comunidad encontró condiciones de subsistencia, se pudo auto-regular y generó manifestaciones auténticas de participación, el resultado no es otro que el de espacios urbanos a escala humana y edificios integrados con ese entorno, cargados muchas veces de un simbolismo que apela al *entendimiento* de sus habitantes y en el que queda implícita una profunda necesidad de *trascendencia*.

Son estas circunstancias las que generan una fuerte relación de afecto entre cada habitante y su ciudad o su sitio. Es ese lugar tan particular donde se ha nacido, se ha criado, se ha interactuado oyendo desde pequeño historias propias de su entorno, historias de su familia o contadas por su familia; donde compartirá trabajos, penas y alegrías, haciendo del ocio una continuidad de su actividad cotidiana, donde seguramente se casará con alguien del lugar, donde tendrá hijos y nietos, será aquel que nunca emigrará a no ser por condiciones de necesidad extrema. Se trata, ni más ni menos, de un ser humano viviendo en un espacio a su escala, dentro de una sociedad a su escala con un economía a su escala



**Figura 1.** San Gimignano, ciudad medieval en la región Toscana, Italia. Uno de los tantos ejemplos de ciudades a escala humana.

Todavía superviven muchos espacios urbanos con estas características, a quienes la Sociedad Industrial no logró contaminar del todo. Espacios que admiten la energía eléctrica, el agua corriente, los desagües, los teléfonos, los cajeros automáticos y las redes de comunicación sin perder su esencia, pero que tienen en el automóvil a su gran enemigo. Espacios que necesitan ser conservados y protegidos, porque la comunidad que los habita ya no está en condiciones espirituales de cuidarlos por sí misma, tan absorbidos y fragmentados como suelen estar sus habitantes por el individualismo, el consumismo y la lucha por el status.

Son espacios donde queda la cáscara construida, pero aún así sus efectos reconfortantes todavía pueden percibirse.- Es que mientras se mantenga la **escala**, se mantiene la esencia. Mucho de lo urbano que el hombre construyó, incluso en etapas avanzadas de desarrollo industrial como los finales del siglo XVIII y en algunos casos, aún hasta finales incluso del siglo XIX, conservan esta esencia y su presencia actual así lo corrobora.

En una época, como la actual, donde es difícil encontrar puntos de apoyo para nuestras inquietudes y necesidades intelectuales y espirituales, o rumbos a los cuales dirigirse y en tiempos donde la construcción de nuevos paradigmas es más lenta que la destrucción de los existentes, no parece tarea inútil buscar en ciertos ejemplos del pasado inspiraciones para nuestros problemas actuales, no tanto para restaurar lo que ya no se puede, sino para comprender bajo qué circunstancias estos ejemplos significativos tuvieron lugar.

Es por esto útil analizar cómo algunas de las llamadas arquitecturas espontáneas pudieron ir sedimentando lentamente respuestas constructivas, funcionales y formales adaptadas al entorno propio de su lugar de implantación y también es útil verificar aquellos ejemplos y aquellos tiempos en donde lo urbano fue o es el resultado del esfuerzo participativo de una comunidad integrada por ideales y objetivos comunes.

## **LA SOCIEDAD INDUSTRIAL Y LA RUPTURA DEL EQUILIBRIO**

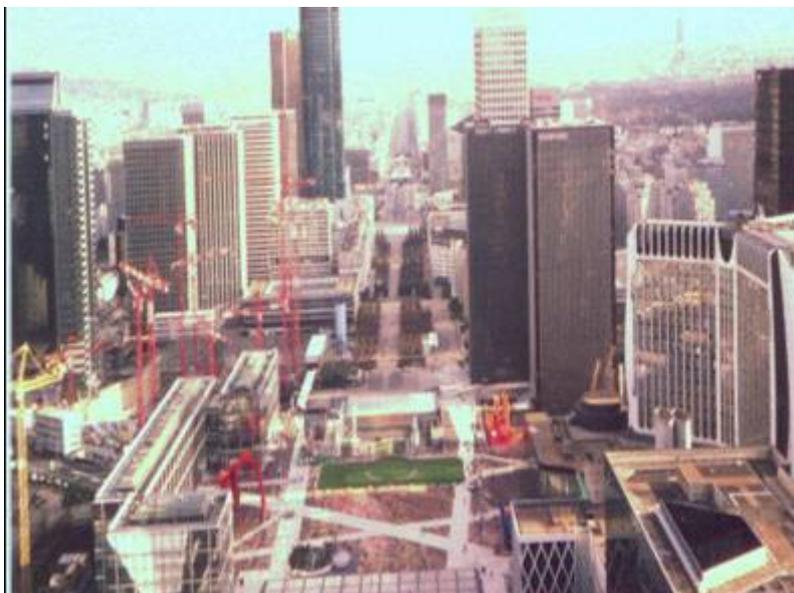
Es la Revolución producida por la Industria la que posibilita y consolida una Sociedad Industrial con vocación expansiva a escala planetaria y que pretende someter al medio natural a su exclusiva necesidad y conveniencia.

Iniciada en la Inglaterra del siglo XVIII, y desarrollándose con velocidad creciente, alcanza en la actualidad – con su escala de valores y su lógica de desarrollo – a la mayoría de las sociedades y países de nuestro tiempo y, con mayor ímpetu, a aquellas regiones del planeta que mayor sensibilidad presentan para dejarse influenciar por Occidente, hecho que sucede mas allá de diferencias políticas, religiosas o culturales.

Son características definitorias de la Sociedad Industrial tal cual la conocemos, el establecimiento de una cultura consumista, el fuerte impulso dado a la investigación científica y al desarrollo tecnológico para la creación de nuevos productos y una actitud expoliadora frente a la naturaleza. También es característico de la cultura por ella creada, un proceso acelerado de cambio en los usos, costumbres, ideales, objetivos, etc. que varían según modas o tendencias artificialmente creadas y que producen una sensación permanente de insatisfacción, angustia y estrés físico y mental que derivan en el vacío existencial personal y colectivo.

A este vacío existencial, tan propio de la época actual, se lo pretende llenar con entretenimiento banal, consumo compulsivo y sometimiento espiritual y de la voluntad de las personas a ciertas actitudes y comportamientos, mediante un proceso en el que intervienen grupos corporativos empresarios y financieros cuyo objetivo es el establecimiento de una sociedad cada vez mas autoritaria y discriminatoria, al solo efecto de aumentar su rentabilidad empresarial.

La rentabilidad empresarial es el valor dominante en la sociedad a cuya satisfacción todo los demás valores se subordinan, dejando de lado la sustentabilidad social, ambiental, productiva, cultural, etc. y también el derecho de las poblaciones a establecer sus propios objetivos de vida.



**Figura 2.** En la zona de La Defense, en Paris, se agrupan las sedes de las multinacionales. Allí los seres humanos son minúsculos transeúntes de un espacio urbano que no los tiene en cuenta. Espacios como este existen en muchas ciudades del mundo, incluida Buenos Aires.

Son consecuencias ineludibles de tales procesos, la división entre regiones desarrolladas y regiones “emergentes”, la discriminación social entre los que están dentro del mercado y los que quedan afuera, y la no sustentabilidad de todo el proceso productivo sobre la base de la limitada disponibilidad de los recursos naturales y su agotamiento por expoliación o por destrucción debida a la contaminación que los procesos industriales generan.

Acompañando este proceso, la arquitectura y la construcción de edificios fue mutando y de ser satisfactor grupal y/o social, pasó a convertirse en producto de consumo, con una envolvente exterior – interfase entre el espacio interior y el exterior – convertida en “packaging” representativo de una marca, una moda, convertido en mensaje publicitario, representativo de un estatus social, etc., con un clima interior mantenido artificialmente según supuestos niveles universales de confort higrotérmico -mas allá de las características climáticas propias del lugar de implantación- y empleando materiales cuya producción tiene generalmente fuerte impacto ambiental.

Los edificios se diseñan y construyen sin mayores consideraciones hacia el entorno en particular y el ambiente en general, actitud ésta que tiende a aumentar problemas tales como el “efecto invernadero” al que se atribuye el Cambio Climático y generando con ello alta dependencia de la prestación de los servicios por redes, fundamentalmente de la provisión de energía eléctrica sin la cual los edificios se convierten en inhabitables.

El siglo XX fue el primer siglo en la historia de la humanidad en que los edificios y el medio urbano dependieron en forma absoluta de la energía que le proveían las redes y que ellas fueron tan vitales para el sistema que la supervivencia de la Sociedad Industrial dependió y depende todavía de poder mantener la provisión continua de energía por las mismas.

Las guerras de la segunda mitad del siglo XX y sobre todo las que se hicieron en el presente siglo hasta el momento, fueron impulsadas por la voracidad de apropiación y de control de los recursos naturales -fundamentalmente energéticos- que permiten seguir alimentando esta carrera alocada para evitar el tan temido “oscurecimiento”

Frente a ello nos preguntamos: ¿Es lógico seguir manteniendo este nivel de vulnerabilidad, y falta de sustentabilidad, tendencia al sometimiento personal y grupal, en donde el caos urbano es cada vez más evidente, frecuente e inmanejable, para mantener un sistema del cual solo podemos esperar males cada vez mayores?

## **UNA PROPUESTA PARA EL SIGLO XXI: ARQUITECTURA, ENTORNOS URBANOS Y TERRITORIOS SUSTENTABLES**

En el siglo XXI y frente a una agudización de los procesos y efectos mencionados, propios de la sociedad industrial tal como está constituida en la actualidad, también se incrementan las búsquedas y propuestas tendientes a generar nuevos paradigmas, a iniciar nuevas experiencias y a organizarse para la concreción de cambios efectivos para lo cual surgen las llamadas “acciones de resistencia” que se realizan frente al avasallamiento de los derechos de las poblaciones por parte de las corporaciones empresariales y a la acción cada vez más destructiva de ciertas técnicas productivas de las cuales sobresalen por su nivel de impacto ambiental sobre el medio y las poblaciones, los cultivos transgénicos, la megaminería, el sistema de explotación de gas natural y petróleo denominado fractura hidráulica y las grandes represas.

Ciertos sectores de la población inician experiencias de vida acordes con el medio natural que denominan acciones de “transición” en el que se estimula la permacultura, el autoabastecimiento alimentario y energético y el establecimiento de una cultura volcada a lo orgánico-natural.

Otros sectores proponen el “decrecimiento” que tiende a desvincular el concepto de desarrollo con el del incremento del Producto Bruto Interno (PBI) mediante la aplicación de rescate de técnicas tradicionales de menor impacto ambiental y de menor consumo energético para todas las prácticas productivas y la adopción de formas de vida más austeras.

También se destacan las llamadas “organizaciones campesinas” que bregan por la “soberanía alimentaria” mediante el rechazo absoluto a toda forma agrícola productiva basada en los “agro-negocios” (que busca la explotación de enormes superficies mediante técnicas de cultivos transgénicos que desplaza poblaciones, envenena agua y suelos y destruye la biodiversidad – incluidos los seres humanos) y proponen una revalorización de la agricultura familiar como única manera de asegurar la subsistencia de la biodiversidad y de la agricultura orgánica.

Junto con esto, se revaloriza la cultura y la posición de los pueblos originarios frente a la naturaleza, los bienes comunes y el ambiente, y se establecen acciones tendientes a su defensa y permanencia en sus tierras ancestrales y en su cultura.

También surgen movimientos urbanos (con participación mayoritaria de jóvenes) que comienzan a definir cuáles son los “bienes comunes urbanos” (constituídos por los recursos naturales más las “construcciones” materiales, organizativas, jurídicas y culturales) a los que se quiere acceder y resguardar exigiendo del estado una acción comprometida a favor de la inclusión, la redistribución, el resguardo y la prestación de sus servicios y beneficios dentro de niveles óptimos de acceso y calidad.

Frente a la acción de las corporaciones que prefieren para beneficio de sus intereses, ciudades más densificadas, concentradas y controladas con sistemas de funcionamiento automatizados (disimuladas con intenciones de “economía verde” y mayor seguridad) surgen los movimientos de habitantes y vecinos que se oponen a la especulación urbana, a la privatización de los espacios comunes, al aumento del congestionamiento y la polución y que defienden el patrimonio construido como valor histórico y cultural y a los espacios verdes como espacios vitales.

Descentralizar las grandes ciudades, y reocupar los territorios con familias campesinas o con emprendimientos productivos industriales de pequeña escala o turísticos o culturales y el desdibujar los límites entre lo urbano y lo rural con miras a un mayor equilibrio y equidad, son tareas y objetivos que se vislumbran para esta segunda década del siglo y de aquí en más, y que podrían dar frutos bajo la forma de un desarrollo más sustentable y equitativo dentro de una democracia participativa profundamente arraigada y en pleno ejercicio.

La arquitectura, en su propia dinámica y limitaciones, acompañó parte de este proceso desde sus inicios en el siglo pasado, elaborando propuestas teóricas y consiguiendo algunas concreciones a manera de ensayo o alternativas.

Desde hace más de treinta años, y como una consecuencia directa de la Crisis Energética de 1973/74 surgieron propuestas paralelas a las corrientes arquitectónicas consumistas en boga. Estas propuestas apuntaban a una mejor relación de los edificios con el entorno de su lugar de implantación.

La necesidad de disminuir los consumos para la calefacción en algunos países nórdicos, dio origen a la Arquitectura Solar en la década del 70, que proponía cubrir las necesidades de calentamiento de los edificios con sistemas pasivos o activos que usaran como recurso energético a la radiación solar. Luego este concepto limitado al calefaccionamiento y nacido de las necesidades de los países más industrializados generalmente ubicados en climas fríos, fue ampliándose hacia la llamada Arquitectura Bioclimática – desarrollada en la década siguiente- que proponía utilizar técnicas particularizadas que se aplicaran tanto en los períodos o climas cálidos como en períodos o climas fríos, o sea construir edificios que respondieran a las características climáticas locales cualesquiera fueran y en todo momento del año.

El concepto de desarrollo sostenible, introduce en la década del 90 y se proyecta sobre el actual siglo XXI, una ampliación a las propuestas anteriores y es entonces cuando se busca, dentro de esta común denominación de Arquitectura Sustentable, diseñar y construir edifi-

cios “respetuosos” o “amigables” con el Ambiente dentro de una metodología que tenga en cuenta el Ciclo de Vida del mismo como conjunto de partes y el Ciclo de Vida de cada una de esas partes.

La Arquitectura Sustentable resulta entonces, una metodología flexible que incorpora la variable Ambiente en todo el proceso de diseño, construcción, utilización y mantenimiento de un edificio y que si bien pone énfasis en buscar una disminución de los consumos de energía, no se olvida de los otros problemas a resolver desde el enfoque de la “sustentabilidad ambiental” del mismo.

Desde este punto de vista, la Arquitectura Sustentable propone un punto de ruptura con valores establecidos desde el siglo XVIII y de allí la dificultad para su aceptación generalizada, aunque los problemas y las tendencias crecientes en el campo económico-social y en los temas ambientales, debería llevar a las sociedades a replantearse algunos conceptos todavía vigentes, para aceptar otros de contenido más acordes con la escala humana y en mayor armonía con la naturaleza y las necesidades humanas.

Pero esta decisión política no puede quedar en manos de las corporaciones por el hecho fundamental de incompatibilidad de intereses. Solo los pueblos y las naciones independientes pueden empezar a cambiar la historia. Para ello tienen que tomar con firmeza y decisión el futuro en sus manos.



**Figura 3.** Una propuesta de arquitectura Sustentable para una vivienda en las proximidades del Lago Puelo, Provincia de Chubut, Argentina. Fuente: Arqts. Yarke-Fujol.- dentro de las alternativas mencionadas, la intención de residir en áreas rurales, habitando viviendas autoconstruídas, diseñadas para aprovechar las mejores orientaciones, para tener buena iluminación natural y construida con materiales naturales y de bajo impacto, asegurando confort térmico, buena ventilación y expresiones formales agradables, fue el requerimiento de una familia que se radicó en la zona y dio origen a esta propuesta.

## CAPÍTULO VII

# El ambiente, la ecología y la salud

*Leonardo Malacalza y Fernando Momo*

## EL AMBIENTE, LA ECOLOGIA Y LA SALUD

Se sabe que casi todas las patologías se desarrollan a partir de una predisposición genética y un desencadenante ambiental y por eso para evitar algunas enfermedades se requieren conocimientos ecológicos. Entre estas enfermedades aquí nos ocuparemos de aquellas que afectan a más seres humanos y que tienen un alto riesgo de expansión, razón por la que interesa conocer y controlar los vectores.

### LA SALUD Y LOS CAMBIOS AMBIENTALES

La salud, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el estado completo de bienestar, tanto físico como psíquico y social. Es decir que la salud de un ser humano depende no sólo de las relaciones armónicas de sus órganos, sino también de su respuesta a los cambios en el ambiente; y en la medida en que los mecanismos de respuesta sean armónicos y adecuados a la naturaleza de los estímulos (físicos, químicos, biológicos, psicológicos, sociales), podemos considerar sano al individuo. Al definirla de este modo, la salud es algo más que la ausencia de enfermedad.

Con 3800 millones de años de evolución adaptándose al ambiente, la vida ha transmitido al ser humano una selección de adaptaciones muy ajustadas a determinadas condiciones ambientales. En sólo unos pocos miles de años, como producto de su cultura, el hombre se expandió a ambientes nuevos para él en los que se enfrentó con nuevas patologías. Y en los últimos 200 años está produciendo cambios tan grandes en el ambiente, ya por su presencia numerosa, ya por su cultura tecnológica, que el ambiente es cada vez más agresivo y generador de patologías. Ha aparecido una asimetría: la especie *Homo sapiens* fue evolucionando muy lentamente en un ambiente más o menos estable, pero actualmente ese ambiente está cambiando rápidamente por acción de la cultura humana y el *H. sapiens* no puede evolucionar biológicamente a ese ritmo. Surgen agresiones ambientales cada vez más extendidas, como la contaminación, que puede estar localizada, ser puntual, como en un alimento, en una fábrica, en una ciudad, o puede estar generalizada en todo el planeta, como en el aumento de los gases responsables del cambio climático mundial. Entonces debe recurrir a los remedios de la industria farmacéutica con la que la especie humana desarrolla una nueva dependencia para una parte muy grande de la población.

Relacionada con la ocupación de nuevos ambientes está la agriculturización, que aunque comenzó 10000 años atrás, particularmente en los últimos 50 tiene un avance muy pronunciado. Se eliminan bosques y pastizales naturales para realizar la producción agropecuaria, y allí el hombre se encuentra con organismos que los habitan y se resisten a ser desplazados. Entre esos organismos, algunos animales pueden ser reservorios de enfermedades que en muchos casos afectan a los hombres y también se enfrenta con los efectos perjudiciales de los agrotóxicos que usa para combatirlos.

## ENDEMIAS, EPIDEMIAS Y PANDEMIAS

Diversas son las circunstancias que concurren con la existencia de ciertas enfermedades. Desde la antigüedad se conocen enfermedades que afectan al hombre en determinadas regiones. Tales regiones tienen comunidades de seres vivos, y hábitats geológicos, climáticos y topográficos con características particulares, a tal punto que para el experto observador, por los aspectos generales del área o región, es fácil predecir si una determinada enfermedad puede estar presente o ausente. Es esto lo que se conoce como epidemiología del paisaje, siendo común referirse a enfermedades propias de sabanas, de montañas, de desiertos, de regiones tropicales, etc. Estas enfermedades son conocidas como endémicas, una endemia es enfermedad que se la encuentra siempre en una región determinada en un número de casos más o menos constante y que puede, bajo determinadas circunstancias, aumentar rápidamente su incidencia (número de casos) constituyendo entonces una epidemia. Algunas enfermedades infecciosas pueden extenderse por uno o más continentes y entonces estamos en presencia de una pandemia, como fue la peste bubónica en el siglo XIV y en estos tiempos el SIDA o la hepatitis B.

## AGENTES PATÓGENOS

Consideraremos tres grandes grupos de agentes patógenos: físicos, químicos y biológicos. Entre los agentes físicos, tenemos los las radiaciones producidas por los elementos radiactivos. Los elementos radiactivos que existen en la corteza terrestre son peligrosos particularmente para los mineros que los extraen, como es el caso del uranio. Pero en los últimos 70 años, como consecuencia de su uso con fines bélicos y para la obtención de energía eléctrica y usos medicinales, la radiación generada tecnológicamente que se puede encontrar en lugares que habitan los hombres, es mucho mayor que la de origen natural. La radiación nuclear puede matar directamente o indirectamente por daño en los ácidos nucleicos provocando mutaciones, y éstas no sólo pueden provocar cambios imprevisibles en los ecosistemas, sino que algunas son también responsables de la aparición de cáncer y otras enfermedades.

La radiación ultravioleta (RUV) proveniente del sol que no es absorbida por la capa de ozono llega a la tierra y puede destruir o alterar las funciones de las células de los seres vivos expuestos; particularmente en los humanos, puede ser causa de cáncer de piel. Pero estas radiaciones afectan a todas las especies causando patologías, cambios en la fertilidad de los huevos y semillas, y variaciones en las tasas fotosintéticas y respiratorias. También puede afectar procesos a nivel de ecosistema, como es el caso de la alteración en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y su consecuente efecto sobre los ciclos de los nutrientes.

El calor es causa directa de la patología conocida como golpe de calor. En el año 2003, según informó la OMS, en Europa el calor fue causa de 70000 muertes, de las cuales 15000 ocurrieron en Francia; casi todos personas mayores de 65 años. Pero es mucho más importante como causa de cambios en el clima de grandes regiones pobladas, a las que llegan patologías que antes sólo estaban en zonas tropicales, como la malaria o el dengue. El cambio climático puede agravar estas enfermedades donde ya son endémicas y también provocar su aparición en zonas donde aun no están presentes.

Los agentes químicos, ya como elementos químicos o como moléculas complejas, constituyen parte imprescindible de nuestro entorno, pero algunos son de importancia como

generadores de patologías, tanto por su presencia como por su ausencia.

Particularmente importantes como químicos ambientales patógenos, hay que considerar a aquellos metales que provienen de industrias alrededor de las cuales se asientan las poblaciones de quienes trabajan en ellas. El riesgo no sólo existe dentro de las fábricas, sino también en sus vecindades, por los efluentes que muchas veces no se tratan adecuadamente. Elementos como el cromo, plomo, arsénico, cadmio y mercurio, pueden encontrarse como componentes del agua que bebe la población circundante. Si bien muchos de ellos en bajas concentraciones no producen daño, sí pueden hacerlo en altas concentraciones o por incorporación crónica a los organismos (ver contaminación por metales pesados en el capítulo VIII de este libro). Otros productos químicos que generan patologías son los agrotóxicos, tanto los usados para combatir plantas como para combatir insectos, hongos u otros organismos. Los organismos no destinatarios, como el hombre, pueden sufrir patologías por incorporarlos accidentalmente o por ingerirlos alimentándose con productos agropecuarios que los contienen (ver contaminación por agrotóxicos en el capítulo VIII de este libro). En Argentina en la provincia de Chaco, en regiones donde se usan muchos agrotóxicos, en sólo una década los casos de cáncer en niños se triplicaron y las malformaciones en recién nacidos aumentaron 400 por ciento. Así se informó en un estudio oficial de la Comisión de Investigación de Contaminantes del Agua del Chaco, creada por el gobernador en 2009 ([http://www.gmwatch.org/files/Chaco\\_Government\\_Report\\_Spanish.pdf](http://www.gmwatch.org/files/Chaco_Government_Report_Spanish.pdf)). Según una investigación realizada con embriones de anfibios y pollos se demostró que el agroquímico más utilizado en Argentina, el glifosato, causaba malformaciones (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/tx1001749>).

Una patología endémica del noroeste de Argentina es el bocio, enfermedad producida por la ausencia de yodo en el agua y en los alimentos de esa zona. La ausencia de este elemento produce hipotiroidismo en los adultos, que se manifiesta como lentitud física y psíquica; en los niños produce retraso mental. El déficit de yodo en las zonas endémicas se puede solucionar incorporándolo en algún alimento. En Argentina toda la sal para consumo humano está enriquecida con yodo.

## ZONOSIS Y ANTROPOZONOSIS

Las enfermedades que ocurren en los animales se agrupan bajo la denominación general de zoonosis. Algunas en determinadas circunstancias son transmitidas de los animales al hombre, ya sea en forma directa o por intermedio de agentes biológicos a los que denominamos vectores. Se denomina vector al organismo que transmite un agente patógeno desde un organismo enfermo a uno sano que se enferma. Los vectores son generalmente artrópodos, en su mayoría insectos hematófagos, que pican tanto a los hombres como a los animales, ya estén sanos o enfermos. Estas enfermedades, causadas por agentes en cuyos ciclos de vida quedan al mismo tiempo involucrados los hombres y otros animales, se denominan antropozoonosis.

En general la distribución de los agentes patógenos en los ambientes naturales es independiente del hombre. Muchas especies de animales silvestres constituyen reservorios naturales de agentes patógenos de antropozoonosis y la epidemiología de esas enfermedades puede comprenderse sólo cuando se conocen bien las condiciones de existencia de tales reservorios. Reservorio se considera al organismo animal o vegetal dentro del cual el agente patógeno completa su ciclo de vida y no necesariamente pasa directamente al hospedador, sino que puede ser liberado al medio y de esa forma producirse el contagio, pero los animales o

vegetales reservorios de enfermedades no siempre las sufren.

Desde el punto de vista de los intereses del hombre, se tiende a centrar los efectos perjudiciales de las enfermedades sobre la población humana o sobre los animales domésticos. Sin embargo, en un enfoque más general, es importante tener en cuenta que las enfermedades producidas por un agente patógeno biológico no se pueden restringir sólo a este aspecto. ¿Pueden las enfermedades considerarse como factores importantes en la evolución biológica? Si bien la regulación de las poblaciones en la naturaleza es un tema controvertido en ecología, en general se acepta que sobre las poblaciones de animales silvestres, las enfermedades ejercen efectos reguladores que pueden considerarse similares a los producidos por los depredadores. Eliminar esa regulación podría ocasionar cambios imprevisibles a largo plazo. Se puede demostrar que la eliminación de los depredadores y parásitos de determinadas poblaciones de animales silvestres produce un incremento rápido en su densidad poblacional. En algunos casos la enfermedad producida por un agente parásito podría salvar la situación. Pero el incremento en la densidad de potenciales hospedadores podría aumentar la tasa de transmisión del agente patógeno y morirían más individuos por la enfermedad.

En ese contexto, las medidas de control de determinadas antropozoonosis, no deben necesariamente estar dirigidas a la erradicación de reservorios o de las poblaciones de parásitos -que en la mayor parte de los casos es muy difícil de llevar a cabo- sino más bien enfocar el problema hacia la creación de condiciones ambientales e implantación de medidas profilácticas que minimicen el contacto del hombre con los agentes patógenos.

Actualmente se conocen más de 150 antropozoonosis, de las cuales más de la mitad causan problemas importantes para la salud de la población humana, particularmente en países cercanos al Ecuador. A continuación aquí veremos algunas de las que afectan a más seres humanos.

## ESQUISTOSOMIASIS

Se trata de una enfermedad causada por un gusano plano, un platelminto. Durante las últimas décadas y paralelamente al aumento de los embalses de las aguas continentales, para obtener energía eléctrica o para regar, la cantidad de enfermos de esquistosomiasis también ha aumentado. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que en el año 2012 había alrededor de 200 millones de seres humanos que la padecían.

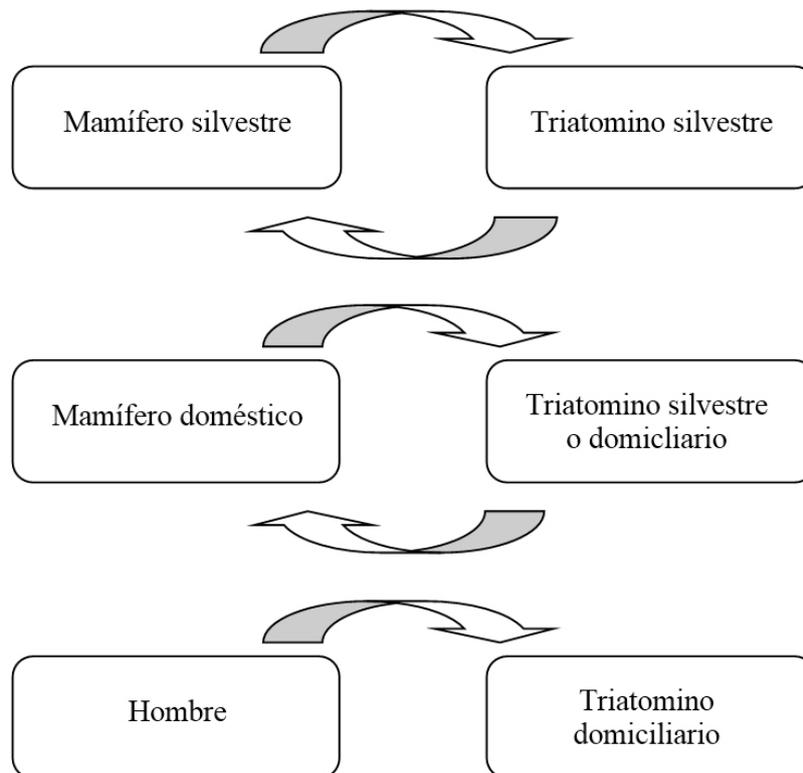
El ciclo de vida de este parásito tiene una etapa de reproducción sexual en un hospedador vertebrado terrestre, que puede ser el hombre, y una etapa de reproducción asexual en un caracol. Este molusco libera larvas acuáticas que infectan al hombre a través de la piel en contacto con el agua. Las larvas migran por los vasos sanguíneos hasta el hígado, donde maduran y se aparean, luego llegan al intestino donde durante años puede vivir, produciendo huevos que salen al exterior con las heces. Síntomas de la enfermedad son fiebre, anemia, debilidad, confusión mental, espasmos en las extremidades, y están vinculados con la acumulación de huevos en el hígado, la pared intestinal y los pulmones. La capacidad laboral del portador disminuye y por tanto sus posibilidades de comprar los medicamentos con los que podría curarse. Si además hay desnutrición, puede provocar la muerte.

Causada por el gusano *Schistosoma mansoni*, la enfermedad tiene un área de distribución que abarca, África, Japón, China, Filipinas, Egipto, en especial a lo largo del valle del río Nilo, y América del Sur. Según la Organización Panamericana de la Salud en el sur de Brasil hay alrededor de 3 millones de casos. En Argentina, en el NE, se encuentran dos de las tres especies de caracoles que pueden infectarse y ser los vectores; no existen datos de casos de humanos enfermos que la hayan contraído en el territorio argentino, pero existe alto riesgo

de que la endemia se extienda desde Brasil. Por ahora, la mejor medida de prevención es controlar la proliferación del caracol que la trasmite (Mirkin *et al.*, 2000).

## ENFERMEDAD DE CHAGAS

Esta enfermedad es la forma americana de la tripanosomiasis, cuyo agente causante es el protozoo flagelado *Trypanosoma cruzi*. Es un parásito intracelular (especialmente de células cardíacas, músculo estriado, sistema nervioso central y glandular) que es mantenido en la naturaleza por más de 100 especies y subespecies de triatomos (insectos hematofagos). Originalmente una zoonosis propia de la fauna silvestre (roedores, gatos, murciélagos, peludos, armadillos, marsupiales, etc.) la infección del hombre con *T. cruzi* se ha transformado en una enfermedad humana de gran importancia. En la naturaleza existen tres ciclos, uno silvestre, uno intermedio y uno doméstico, tal como se muestra en la Figura VII. I. El ciclo silvestre, que se desarrolla entre los insectos triatomos (vulgarmente conocidos por ej. como vinchucas y chipos) y los mamíferos silvestres. El ciclo intermedio o antrozoótico se produce entre triatomos silvestres y mamíferos domésticos (entre los cuales el perro juega un importante papel) en áreas peridomiciliarias, gallineros y corrales. El ciclo doméstico, que involucra al hombre, triatomos domiciliarios y mamíferos domésticos, es una antrozoosis, ya que afecta a los animales y al hombre.



**Figura VII. I.** Ciclos de vida de los triatomos (vinchucas) causantes de la enfermedad de Chagas

Las condiciones ecológicas del continente americano permiten una amplia distribución de esta enfermedad, que se extiende desde el sur de los EE.UU., en las proximidades de México, hasta el tercio austral de la Argentina y Chile. En esta extensa región hay unos 10 millones de infectados con Chagas, de los que mueren alrededor de 50.000 cada año. Pero la endemia tripanosómica está limitada a áreas rurales o urbanas poco desarrolladas, y en estas últimas el número de reservorios animales se reduce, al igual que el número de vectores. Por ejemplo, para nuestro país, de todas las especies de triatominos sólo *Triatoma infestans* (vinchuca) tiene real importancia desde el punto de vista sanitario epidemiológico, especialmente por poseer hábitat domésticos o peridomésticos. Cuando la vinchuca pica deja en sus deposiciones al agente infectante (*Trypanosoma cruzi*) que penetra al organismo cuando el hombre se rasca.

En Argentina, el Programa Nacional de Chagas del ministerio de Salud estima que existen alrededor de 1.600.000 infectados en este país. Las áreas chagásicas abarcan 19 provincias, ocupando una superficie que representa el 70 % del país. Investigaciones entomológicas realizadas por el Programa mencionado han permitido comprobar que en algunas localidades de zonas endémicas el 100 % de las viviendas rurales estaban infectadas, y se encontró *T. cruzi* en más del 50 % de los ejemplares de vinchuca estudiados.

El índice de infestación de las viviendas rurales, suburbanas y urbanas de bajo nivel socio-económico, difieren según las regiones; correspondiendo los valores más elevados de infestación domiciliarias a las provincias de Santiago de Estero, Formosa, norte de Córdoba, Chaco, La Rioja y Catamarca, comprendidas dentro de las provincias fitogeográficas Chaqueña, del Espinal y del Monte Xerófilo. Son regiones de clima cálido, en general seco y con estación lluviosa de corta duración, con oscilaciones térmicas estacionales amplias, al igual que diurnas y nocturnas. Estas condiciones climáticas son importantes para la vinchuca y la vivienda humana ofrece condiciones óptimas de refugio, con pocas variaciones y fuente alimenticia asegurada. La práctica sanitaria preventiva común es el uso de insecticidas en las viviendas para matar las vinchucas, pero el uso permanente de insecticidas trae aparejada la resistencia en numerosas especies de insectos, como moscas o mosquitos; ya en el Chaco se han encontrado vinchucas que también son resistentes.

Las causas de la endemia deben buscarse en factores socio-económico-culturales, ya que para que exista transmisión deben coexistir el vector, los reservorios y el hombre, lo que ocurre sólo en viviendas de gente pobre, con paredes agrietadas, techos de paja, etc.

## PALUDISMO

El paludismo, o malaria, es una enfermedad producida por una o más de cuatro especies del género *Plasmodium*, un protozooario parásito que es transmitido por mosquitos del género *Anopheles* quienes lo inyectan directamente en la sangre cuando pican al hombre. El parásito se multiplica en el hígado, luego pasa a los glóbulos rojos de la sangre de la que es otra vez ingerido por los mosquitos y el ciclo se completa. De los cuatro especies de *Plasmodium*, *P. falciparum* es la que produce la forma más grave de la enfermedad y puede causar la muerte en una semana.

El 40% de la población mundial vive en zonas donde puede contraer la enfermedad. Según la Organización Mundial de la Salud, causa unos 500 millones de casos cada año y más de un millón de muertes, principalmente niños y más de la mitad de los casos pertenecen a África sub-sahariana donde el porcentaje de enfermos llega a casi el 40 % en varios países. En América Latina, según la Organización Panamericana de la Salud en el año 2009, en zonas selvá-

ticas, se registraron medio millón de casos. En Argentina la zona endémica se encuentra en el noroeste, no habiéndose registrado nuevos casos en desde ese año hasta el 2011, aunque existe el mosquito transmisor en el noroeste y en el año 1986 hubo unos 2000 casos.

Los síntomas de esta enfermedad se presentan como episodios febriles recurrentes y debilidad progresiva. Existen tratamientos para atenuar los síntomas de esta patología, pero normalmente se hace crónica. Tanto las poblaciones del parásito como las del vector se han hecho resistentes, a los medicamentos unas y a los plaguicidas las otras. Así la enfermedad persiste por la persistencia del mosquito infectado. De ahí que la prevención se basa fundamentalmente en el control de los mosquitos, para los que habrá que perfeccionar métodos de control biológico, ya que, como hemos dicho, en muchos casos se han seleccionado los individuos resistentes a los insecticidas.

## DENGUE

Fue descrito por primera vez en el siglo XVIII. Se caracteriza por ciclos de infección en los que intervienen el hombre, los mosquitos y otros animales. Se extendió particularmente durante la Segunda Guerra Mundial, en el área del Pacífico y Asia. El agente causal es un virus con cepas de diferente virulencia; y los vectores son mosquitos del género *Aedes*, insectos que crecen en zonas tropicales y subtropicales, y que actualmente, con el aumento de la temperatura media, se han expandido a otras zonas propicias para su desarrollo, que antes no lo eran. La primera infección provoca una forma benigna de la enfermedad, pero la segunda produce el llamado dengue hemorrágico, de mayor tasa de mortalidad.

Esta enfermedad viral, como la fiebre amarilla y otras, en sus comienzos era sólo una zoonosis. En la mayoría de las enfermedades humanas más recientemente difundidas, los respectivos virus parecen haber existido por mucho tiempo antes en la naturaleza, en sus hospedadores. El aumento de la población humana que obligó a desarrollar actividades rurales en zonas antes deshabitadas, hizo más probable el contacto entre hombres y animales infectados, y así se facilitó el contagio viral. Se puede prevenir combatiendo al *Aedes aegypti*, ya que aun no hay vacunas ni drogas para curarla. Para combatirlo hay que eliminar tachos, baldes, neumáticos, floreros y todos los recipientes domiciliarios y peridomiciliarios que contengan agua estancada puesto que esos son sus criaderos.

La información actual nos indica que, en el mundo, afecta a unas 50-100 millones de personas por año que se infectan en áreas tropicales. Según la Organización Panamericana de la Salud, en el año 2010, en América Latina provocó la muerte de 1167 personas sobre un total de un millón ochocientos mil casos detectados en esa región. En Argentina el mosquito ingreso en 1986 y en el 2009, por primera vez, se produjeron múltiples brotes de dengue sobre casi la mitad del territorio nacional. La actividad de este vector es mayor durante los meses de abril y mayo (<http://exactas.uba.ar/download.php?id=899>).

Otras enfermedades que son transmitidas roedores con los que el hombre comparte el ambiente están descritas en el ensayo VII.1. Y sobre la expansión, distribución y organización social de la población humana relacionadas con las epidemias se puede leer el ensayo VII.2. Ambos ensayos se encuentran al final de este capítulo.

## LAS ENFERMEDADES AMBIENTALES Y LA POBREZA

*Frente a las enfermedades que genera la miseria, frente a la tristeza, la angustia y el infortunio social de los pueblos, los microbios como causas de enfermedades son unas pobres causas, Ramón Carrillo, ca. 1950.*

Las patologías de origen ambiental en las poblaciones pobres tienen como una de las causas más importantes la ingesta de aguas contaminadas. Según informes del Banco Mundial el 20% de la población del planeta no tiene agua potable, y el 30% no tiene servicios cloacales. Está claro que se trata de las poblaciones más pobres, como puede verse en otros informes del mismo origen, que nos dicen que las muertes por enfermedades parasitarias e infecciosas en los países subdesarrollados representan el 41% del total, mientras que sólo llegan al 5% en los desarrollados. Según la Organización Mundial de la Salud, en los primeros años del siglo XXI la diarrea causa la muerte de unos 1,6 millones de niños por año, principalmente debido al agua contaminada y a un saneamiento deficiente. La mortalidad y la morbilidad infantiles debidas a la pobreza y la malnutrición también son consecuencias de las modalidades insostenibles de desarrollo y de la degradación del ambiente urbano o rural.

## PREGUNTAS

1. ¿Qué es salud según la Organización Mundial de la Salud?
2. ¿Cuáles considera usted que son las enfermedades que en algunas regiones acompañan al *Homo sapiens* desde siempre, y cuáles las que se han incrementado o son consecuencias de la Revolución Industrial y tecnológica de nuestro tiempo?
3. ¿Por qué es perjudicial para la salud el adelgazamiento de la capa de ozono?
4. ¿Cuál es el agente causal y el vector de la antropozoonosis que más haya oído hablar? ¿Y de otra de la que se haya enterado por este texto? Describa los respectivos ciclos; algunas formas de prevención de las mismas y las regiones donde son más frecuentes.
5. ¿Cuáles son los organismos animales o vegetales a los que denominamos reservorios? ¿Qué importancia tiene en epidemiología saber cuáles son para cada enfermedad? ¿Qué es más importante: ¿lograr su exterminio o evitar su contacto con el hombre? Fundamente su respuesta.
6. ¿Qué enfermedades están relacionadas con la falta de agua potable y de cloacas en las poblaciones?

## ENSAYO VII.1

# Enfermedades transmitidas por roedores

*María Busch y María Victoria Vadell*

Los roedores están involucrados en la transmisión de una serie de enfermedades al hombre y a sus animales domésticos, ya que actúan como reservorios de numerosos patógenos (es decir, los mantienen y multiplican en la naturaleza). Entre ellas se incluyen la peste bubónica, distintos tipos de fiebres hemorrágicas, la salmonelosis, la triquinosis, la leptospirosis, la coriomeningitis linfocitaria, la fiebre por mordedura de rata y los síndromes pulmonar y renal por hantavirus. Algunas de estas enfermedades son transmitidas por la rata o la laucha doméstica, que por sus hábitos comensales (es decir, que viven en estrecho contacto con el hombre) revisten gran interés desde el punto de vista de la salud pública. Otras son transmitidas por roedores silvestres, en cuyos casos el riesgo de contagio al hombre va a estar vinculado con el tipo de actividad humana que se realice y con los cambios en el uso de la tierra que alteren las abundancias de roedores y/o modifiquen la probabilidad de contacto humano-roedor.

Entre las enfermedades transmitidas por los roedores comensales, la peste bubónica fue una de las que causó mayor número de muertes, entre 100 y 200 millones de personas a lo largo de la historia, tanto en el viejo como en el nuevo mundo (Rollins *et al.* 2003). Hubo dos grandes epidemias, una en el siglo XIV que afectó alrededor de un cuarto de la población Europea, mientras que en el siglo XIX una epidemia iniciada en China se propagó a través de las embarcaciones a 5 continentes<sup>1</sup>. La Organización Mundial de la Salud recibió reportes de 80 613 casos de peste y 6857 muertes en 38 países durante el período 1954- 1997. En Argentina, hubo epidemias de peste entre finales del siglo XIX y principios del XX en Rosario y Buenos Aires asociadas a la gran proliferación de ratas en los puertos (Uriarte *et al.* 1934), pero en los últimos 15 años no se han reportado casos, pese a que si lo fueron en otros países de Sud América, como Brasil y Perú. El agente etiológico de esta enfermedad es la bacteria *Yersinia pestis*, que es transmitida por las pulgas (el vector de la enfermedad) entre las ratas y al hombre. La peste bubónica (que, sin tratar, presenta un 50% de letalidad) puede avanzar hacia la peste septicémica y neumónica (que causan entre un 95-100% de muertes).

Otra zoonosis asociada a los roedores es la leptospirosis, cuyo agente etiológico es la bacteria *Leptospira interrogans*. El hombre se contagia por contacto de la piel o las mucosas con agua, suelo húmedo o vegetación contaminada con materia fecal u orina de animales infectados, o por la ingesta de agua o alimentos contaminados (Gloriani-Barzaga & Yanagihara 2008). Debido a la forma de contagio, la incidencia de esta enfermedad está asociada a inundaciones y otros desastres naturales. Muchos mamíferos son hospedadores de *L. interrogans*, pero por su vínculo con el hombre, los roedores, los perros y el ganado vacuno son los de mayor importancia. Los principales síntomas son decaimiento, fiebre, dolor de cabeza, dolor de músculos, pudiendo llegar a causar la muerte por hemorragia pulmonar (Rao *et al.* 2003).

.....  
1 [http://whqlibdoc.who.int/hq/2000/WHO\\_CDS\\_CSR\\_ISR\\_2000.1.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2000/WHO_CDS_CSR_ISR_2000.1.pdf)

La vacunación de ganado y animales domésticos es frecuente en todo el mundo, mientras que la vacunación en seres humanos sólo se promueve para grupos de riesgo en ciertos países (por ejemplo, Japón, China y Vietnam) debido a su eficacia limitada (Izurietta *et al.*, 2008).

La triquinosis es una enfermedad de origen parasitario, causada por distintas especies del género *Trichinella*, en particular *T. spiralis*, un gusano nematodo de 1 a 3 mm de diámetro que forma quistes en los músculos de numerosos mamíferos. El hombre se contagia por la ingesta de carne, frecuentemente de cerdo, mal cocida. La infección humana se caracteriza por presentar gastroenteritis, fiebre, mialgias, debilidad, infección conjuntival y edemas, seguida de hemorragias en ojos y debajo de las uñas, aunque los síntomas dependen de la carga parasitaria ingerida (Murrell & Pozio, 2011). Algunas especies de ratas comensales son hospedadoras de este parásito y, si bien no son los transmisores principales de esta enfermedad, se las considera responsables de favorecer la transmisión a animales domésticos de ciertos genotipos de *Trichinella* presentes en animales silvestres, y viceversa (Pozio 2000). Además, cumplen el papel de reservorio de la enfermedad en ambientes domésticos (Ribicich *et al.*, 2005).

La salmonelosis es una enfermedad en la que también actúan los roedores como reservorios naturales y es producida por las bacterias del género *Salmonella*. Esta bacteria afecta a cerdos y aves de criadero y también produce enfermedad en el hombre, que se contagia a través de la ingesta de carnes y huevos, o de verdura contaminada por heces de animales infectados. Los principales síntomas en el hombre son gastroenteritis aguda, dolores abdominales, náuseas y vómitos. La muerte es poco frecuente (Meerburg & Kijlstra 2007).

Los roedores también son el principal reservorio de dos grupos de virus de importancia médica, los de las familias *Arenaviridae* y *Bunyaviridae*. Estos virus se transmiten al hombre principalmente a través de la inhalación de partículas (aerosoles) eliminadas en las heces y orina de roedores infectados. Entre las enfermedades que producen los arenavirus se encuentran la coriomeningitis linfocitaria y la Fiebre Hemorrágica Argentina. El principal reservorio del agente etiológico (el causante de la enfermedad) de la Coriomeningitis Linfocitaria es el ratón doméstico *Mus musculus*. Sus síntomas son semejantes a los de la gripe o influenza, con síntomas meníngeos o meningoencefalomielíticos. Rara vez resulta mortal (Hjelle & Torres-Pérez 2009).

La Fiebre Hemorrágica Argentina es una enfermedad endémica de la región pampeana cuyo agente etiológico es el virus Junín (familia *Arenaviridae*) y cuyo reservorio natural es el roedor *Calomys musculinus*, especie común en los agroecosistemas de esta zona (Kravetz *et al.*, 1986). Esta enfermedad fue identificada en 1958 por casos ocurridos en Junín, Provincia de Buenos Aires. Luego el área se expandió cubriendo gran parte de la provincia de Buenos Aires, sur de Córdoba y Santa Fe (Maiztegui, 1975). Su alta incidencia fue asociada al aumento del área sembrada respecto a los pastizales naturales, que llevó a un cambio en las comunidades de roedores con un aumento en la densidad de las especies del género *Calomys* (Mills *et al.*, 1992). La población de riesgo estaba constituida principalmente por trabajadores rurales, especialmente hombres adultos; la mayoría de los casos se producía entre otoño e invierno, época de gran abundancia de roedores en los campos. El reemplazo de la cosecha manual del maíz por la mecanización contribuyó a disminuir el número de personas afectadas. Actualmente se ha desarrollado una vacuna que se aplica principalmente a la población en riesgo por sus ocupaciones, que ha contribuido a una disminución de los casos reportados; actualmente la incidencia fluctúa entre 1 y 140 casos cada 100.000 habitantes.

Otros virus que afectan al hombre a nivel mundial son los hantavirus (familia *Bunyaviridae*), responsables de los síndromes renal y pulmonar por hantavirus (SRH y SPH). Existe una diversidad de hantavirus asociados a distintas especies de roedores, de los cuales sólo algunos han sido identificados como causantes de enfermedad en humanos. Debido a la evolución

conjunta entre las distintas especies de virus y de roedores, cada hantavirus está asociado casi exclusivamente a una sola especie de roedor y no causan síntomas en éstos. Los hantavirus del Viejo Mundo, los linajes Hantaan, Seoul, Dobrava, Puumala, Saaremaa, Amur y Far East, son agentes causales de fiebres hemorrágicas con síndrome renal, cuya mortalidad oscila entre el 3 y el 12% (Bi *et al.*, 2008). Los roedores reservorios del virus Seoul son las ratas domésticas (*Rattus norvegicus* y *Rattus rattus*), de distribución universal, lo que ha posibilitado la llegada de esta enfermedad a América del Norte. En Argentina se ha confirmado la presencia del virus Seoul en ratas de la ciudad de Buenos Aires, no habiéndose registrado hasta el momento casos humanos de SRH (Cueto *et al.*, 2008).

En 1993, en América del Norte, la infección por hantavirus fue por primera vez asociada al SPH, caracterizado por presentar un cuadro febril, mialgias, cefalea, tos y vómitos, y que puede evolucionar en pocos días hacia una dificultad respiratoria grave seguida de muerte. Esta enfermedad es causada por distintos tipos de hantavirus distribuidos en toda América: Virus Sin Nombre (Estados Unidos), Choclo (Panamá), Caño Delgadito (Venezuela), Laguna Negra (Bolivia, Paraguay y Argentina), Jujutiba (Brasil) y Andes (Chile y Argentina), entre otros (Bi *et al.*, 2008). El mantenimiento del virus del SPH en la naturaleza se produce por la infección crónica de poblaciones de roedores silvestres de la familia *Muridae*, subfamilia *Sigmodontinae*. Los roedores no son afectados por el virus, y la transmisión al ser humano se produce principalmente a través de la inhalación de aerosoles liberados en las heces y orina de animales infectados, o por contacto directo con estos (mordeduras). Fuera de las células vivas los hantavirus no permanecen vivos durante mucho tiempo, y son sensibles a la mayoría de los desinfectantes (ej: lavandina y detergente) y a la radiación ultravioleta (Kraus *et al.*, 2005).

En Argentina, el SPH cobró notoriedad en la primavera de 1996, a raíz de una serie de casos con alta tasa de mortalidad ocurridos en las localidades de El Bolsón y San Carlos de Bariloche, en la provincia de Río Negro (Lázaro *et al.*, 2000). Entre 1995 y 2009 más de 1000 casos de SPH fueron registrados en el país, con una letalidad de alrededor del 30% (Bellomo *et al.*, 2009). Actualmente, se reconocen 4 regiones de importancia epidemiológica: Noroeste (49,7% del total de casos humanos), Noreste (0,9%), Central (32,9%) y Patagonia (16,5%). Dentro de cada región epidemiológica los casos no se distribuyen homogéneamente sino que se encuentran agregados en pequeñas áreas. En la región noroeste, la de mayor número de casos humanos, estos se concentran en la zona boscosa (las yungas) de Salta, Jujuy y Tucumán. En la región central, la mayoría de los casos se concentran en Buenos Aires, mientras que en la Patagonia, la región epidemiológica de mayor extensión, los casos se limitan únicamente a la región boscosa de la cordillera de los Andes de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut. Por último, en el noreste los casos se concentran mayoritariamente en áreas de selva paranaense de la provincia de Misiones (Martínez *et al.*, 2010). El contagio entre personas no es frecuente, sin embargo, su ocurrencia ya ha sido confirmada para dos genotipos de hantavirus presentes en el país (Lázaro *et al.*, 2007).

Los primeros hantavirus caracterizados en Argentina y Chile y asociados a enfermedad en humanos correspondieron a un nuevo tipo llamado Andes, emparentado con los hantavirus causantes de SPH en Estados Unidos. Hasta el momento se han identificado en nuestro país 6 linajes del virus Andes, cada uno asociado a una especie de roedor y a una región particular: Andes-Oran (*Oligoryzomys longicaudatus*), Andes-Bermejo (*O. chacoensis*), Andes-Bs.As. (*O. flavescens*), Andes-Lechiguanas (*O. flavescens*), Andes-Plata (*O. flavescens*) y Andes-South (*O. longicaudatus*). Además se encuentran en nuestro país los genotipos Jujutiba (*O. nigripes*) y Laguna Negra (*Calomys callosus*), responsables del SPH en las regiones noreste y noroeste respectivamente (Martínez *et al.*, 2010). Otros hantavirus, como el virus Pergamino y el Maciel (cuyos reser-vo-

rios son los roedores sigmodontinos *Akodon azarae* y *Necromys benefactus*, respectivamente) no han sido asociados hasta el momento con la enfermedad en humanos (Puerta *et al.* 2006).

La ocurrencia de casos de SPH en una determinada zona está determinada por diversos factores tales como la abundancia de la especies reservorios de hantavirus, la presencia del virus en las poblaciones de reservorios, el uso de la tierra y la estructura de la vegetación, las características de los asentamientos humanos y su densidad poblacional, entre otros (Muñoz Pedreros *et al.*, 2007). Los grupos de riesgo de contagio de SPH incluyen aquellas personas que por motivos laborales o recreacionales tienen una mayor probabilidad de contacto con ratones infectados. El contagio comúnmente se produce dentro de galpones o casas poco ventiladas donde el virus liberado con las heces u orina se mantiene concentrado y activo por más tiempo. En nuestro país, el grupo de riesgo lo conforman principalmente trabajadores y pobladores rurales que muchas veces viven y trabajan en condiciones que favorecen el contagio (tales como galpones poco ventilados y viviendas precarias donde conviven humanos y roedores). La mayor incidencia de SPH se da en hombres (70- 80%) y en adultos con promedio de edad alrededor de 30 años

En la región noroeste, la mayoría de los casos ocurre en otoño y verano. Para la zona centro, el verano es la estación con mayor incidencia de SPH, mientras que para la Patagonia, lo es la primavera (Martinez *et al.*, 2010). Sin embargo, hasta el año 2011 no se ha encontrado una relación clara entre la abundancia de roedores, la proporción de roedores infectados y el número de casos humanos de SPH que explique las diferencias observadas según la época del año en nuestro país.

Como hemos visto, la probabilidad de la aparición de casos humanos de enfermedades asociadas a roedores está estrechamente asociada a la ecología de los roedores reservorios, y su relación con el hombre y el medio ambiente. Las principales medidas de prevención involucran el saneamiento ambiental, evitando las condiciones que favorezcan que los roedores sean abundantes y el contacto del hombre con ellos, ya sea directo o con elementos contaminados con orina o heces. La prevención también incluye acciones de desratización previa a la eliminación de focos de infección, a fin de evitar el desplazamiento de roedores hacia áreas pobladas. El monitoreo de poblaciones de roedores y de la prevalencia de las enfermedades en sus poblaciones también pueden contribuir a tomar medidas para prevenir el contagio al hombre. En el caso de la leptospirosis, por ejemplo, el monitoreo de los perros es de particular importancia debido a su estrecho contacto con el hombre y a que en muchos casos, especialmente en áreas peri urbanas y rurales, tienen hábitos callejeros.

La determinación de áreas de mayor o menor riesgo es también una herramienta que contribuye a la planificación para la prevención de enfermedades asociadas a roedores. Esto puede realizarse a partir de modelos que pueden estimar la probabilidad de casos humanos, o la presencia y/o abundancia del reservorio. Estos modelos se basan en distintos tipos de datos: distribución de casos humanos previos, distribución de los reservorios y de la prevalencia de infección en sus poblaciones, así como en variables climáticas o ambientales asociadas a la distribución y/o abundancia de los reservorios o al riesgo de transmisión. Como ejemplos, podemos citar los mapas de distribución de reservorios de distintas zoonosis en Sud América basados en datos ambientales, el modelado de la distribución geográfica del síndrome pulmonar por hantavirus en base a datos ambientales y de demografía humana en Argentina (Carbajo *et al.*, 2007) y en la Provincia de Buenos Aires (Busch *et al.*, 2004), y los modelos predictivos para la distribución del ratón colilargo, *O. longicaudatus* (Carbajo & Pardiñas, 2007).

## ENSAYO VII.2

# Datos demográfico-epidemiológicos, su comentario y una propuesta

*José Carlos Escudero*

Los *Homo sapiens* nos hemos convertido en la especie hegemónica de un planeta que compartimos con millones de otras. En los cientos de miles de años de nuestra existencia, hemos desarrollado poderes para modificar, y en algunos casos erradicar, otras especies, inclusive la nuestra; lo que hace que el “sapiens” que califica la primera palabra de nuestro nombre suene un poco irónica. El propósito de este breve texto es comentar algunos datos demográficos y epidemiológicos sobre nosotros.

El número de nuestra población ha venido aumentando casi ininterrumpidamente desde que existimos como especie. La más significativa reducción de nuestro número parece haber sido la que diezmó la población americana tras la invasión europea a este continente a partir de 1492. Parte de esto se debió a los incontables genocidios militares perpetrados por los invasores y a la reducción a la esclavitud de la mayoría de los sobrevivientes, pero jugó un papel aun mayor un fenómeno histórico-ecológico-epidemiológico: la domesticación de plantas y animales, y el consecuente sedentarismo, fueron mucho más tardíos en el “Nuevo Mundo” que en las regiones más evolucionadas del “Viejo Mundo”, y en éstas la adaptación a las nuevas enfermedades que eran causadas por el hacinamiento humano y el estrecho contacto con animales domésticos fue mucho más prolongada, lo que resultó en un perfil inmunitario mucho más variado para sus habitantes. En tanto que los *Homo sapiens* del Nuevo Mundo no tuvieron esa adaptación que debió durar muchos siglos. El brusco contacto entre la sofisticación y la virginidad epidemiológicas fue deletéreo para los americanos. En los cien años posteriores a las sucesivas invasiones europeas las poblaciones nativas se redujeron aproximadamente a la décima parte.

Dos hechos calificados de “revoluciones” están asociados a los aumentos más significativos de nuestra población. La “Revolución agrícola” - domesticación y cultivo de plantas y animales- apareció en focos multicéntricos en varios continentes y épocas, y la gran masa continental contigua europeo-asiático-africana ayudó a su difusión. La capacidad de carga para el *Homo sapiens* aumentó significativamente, y apareció la posibilidad de atesoramiento del alimento. La “Revolución industrial” comenzó en un foco en Gran Bretaña a fines del S 18; parte de su perfil incluía una agricultura más productiva y un gran adelanto en las comunicaciones mediante el uso de combustibles fósiles. Se difundió esta revolución con mucha rapidez por el continente europeo y por Estados Unidos. Para el aumento de población en este caso fue fundamental un descenso en la mortalidad. El excedente de nacimientos sobre muertes llevó a un aumento geométrico del número de habitantes, configurando una primera “explosión demográfica”, fenómeno este que luego desapareció en los países que se industrializaban cuando la fecundidad en ellos se redujo a su vez, pero que sigue siendo impactante hoy en muchos otros países, lo que ha determinado que el número actual de *H. sapiens* sea el más alto jamás registrado, con un ritmo de aumento que se pronostica llegará al crecimiento cero dentro de algunas décadas. Resulta irónico que los países cen-

trales que fueron los primeros en registrar explosiones demográficas no les hicieron frente a través de una mayor justicia distributiva doméstica, sino a través de la válvula de escape de la emigración de la población “excedente” al modelo sociopolítico entonces vigente. Estos emigrantes hallaron cobijo en países del ultramar europeo, mediante avances en las fronteras agrícolas de ellos, conseguidos todos tras el exterminio de las poblaciones nativas de cazadores recolectores que habitaban la tierra invadida. Así en Canadá, Estados Unidos, Rusia, Brasil, Argentina, Uruguay, Chile, Australia, y algunos países más.

Con respecto a las “pirámides de población” humanas, - una representación gráfica del número de *H. sapiens* por edad detallada y sexo, se observa que, en situaciones de alta fecundidad y natalidad, se configura una pirámide de base ancha y baja altura. A medida que se van reduciendo la mortalidad y sobretodo la fecundidad, estas pirámides tienen una base más pequeña que en los peldaños de población de más edad, que incluyen las edades adultas que son las económicamente productivas, lo que da argumentos a posiciones políticas reaccionarias que entonces asignan como causas de la pobreza existente al excesivo número de niños y viejos, que no trabajan. Este simplismo, como tantos otros que provienen del mismo sector ideológico, excluye análisis de tipo socio-histórico-político sobre sociedades desiguales e injustas, donde el poder real está en manos de minorías para las cuales el bienestar humano generalizado es una consideración secundaria o irrelevante.

Con respecto a la salud del *Homo sapiens* el problema se complica, ya que trasciende al conteo de variables cuantificables, y entra, en el caso de la salud mental, en un campo valorativo. Inclusive el conteo es difícil. El número de enfermos suele contabilizarse sobre la base de pacientes atendidos, registrando sus diagnósticos. Entonces, los países que reducen sus servicios sanitarios, como está sucediendo en varios países europeos en este momento, dan la idea que las enfermedades disminuyen y no que se están cerrando servicios de atención. Los estudios de prevalencia de enfermedades en la población por muestreo son caros, y suelen tener altos niveles de error muestral. Las estadísticas de crecimiento corporal y desarrollo psicomotor de niños serían importantísimas - anotemos que las diferencias de estatura, peso, hemoglobinemias, esperanza de vida y desarrollo psíquico entre diferentes estratos sociales son inapelables denunciantes de la injusticia social - pero la escasez y la baja cobertura de estos estudios suele ser un obstáculo mayúsculo. A falta de algo mejor, para medir nivel de salud colectiva terminamos midiendo mortalidad, indicador reduccionista de una realidad mucho más compleja, pero que provee datos más o menos sólidos. La esperanza de vida humana parece haber venido aumentando desde el comienzo del sedentarismo, pero con altibajos provistos por epidemias y guerras; aunque su ritmo neto de aumento ha sido mucho más lento que el aumento de población. Ha habido grandes retrocesos por pandemias - la más importante y extendida que la historia registra fue la Peste Negra del S 14 en Europa -, y por guerras, con las hambrunas y disrupciones que provocan, no tanto por la mortalidad en los campos de batalla. Tan recientemente como mediados del S 19, dos tercios de los 600000 muertos en la guerra civil de EEUU murieron por epidemias, solamente un tercio en combate. En Europa y en algunas de sus colonias o ex colonias se comenzó en el S 19 a medir una disminución de la mortalidad primero y de la fecundidad después, causado lo primero por mejorías en la alimentación y las comunicaciones, por una creciente combatividad política de los explotados y por mejoras en el saneamiento y el alojamiento, no por la aplicación de adelantos en la atención médica; y lo segundo por el uso masivo de procedimientos anticonceptivos rudimentarios. La contrapartida de estas mejorías fundamentalmente europeas, fue lo que sucedió en los “pueblos sin historia” que recibieron el embate de los imperialismos de los “pueblos con historia”, en invasiones que no han cesado

al día de hoy. Ya hablamos de los cazadores recolectores expulsados y masacrados por el avance de las fronteras agrícolas en varios países. En la India e Indonesia, los imperios británico y holandés, al destruir un sistema económico vigente para crear otro para su beneficio produjeron una situación de hambrunas crónicas, con agudizaciones periódicas.

De cualquier forma, actualmente los aumentos en las esperanzas de vida al nacer son rutinarios, y los retrocesos en esto llaman la atención – por ejemplo una reducción a finales del S 20 en la Rusia del cese del marxismo leninismo y el comienzo del capitalismo financiero. Las rápidas mejoras en países muy poblados que en la segunda mitad del S 20 lograron su independencia “de facto” o “de jure” – India, China Pakistán Indonesia- hace que la esperanza de vida planetaria hoy es, lejos, la mejor jamás registrada.

Un estudio de las mortalidades por país revela que unos pocos de ellos – aproximadamente el 15% de la población mundial- han llegado a la envidiable situación de lograr esperanzas de vida por encima de los 80 años, y la virtual erradicación de las mortalidades infantil, preescolar y materna. Estos países están situados en el occidente de Europa, en algunas ex colonias de Gran Bretaña y en el Lejano Oriente. Son casi todos países “industrializados”; se excluye de esta lista a Estados Unidos, cuyas cifras en los rubros mencionados son mediocres y se encuentran en deterioro relativo. Se incluye en los márgenes de la lista a Cuba, país enfáticamente no industrializado y además pobre y bloqueado desde hace medio siglo. Analizando los mecanismos para llegar a esta envidiable baja mortalidad, se observa un histórico desarrollo del “Estado de Bienestar” en los países de raigambre occidental y un industrialismo modernizador, proteccionista y a veces autoritario en Japón, Singapur, Hong Kong y Corea del Sur. El caso cubano que nos toca de cerca como latinoamericanos, parece dejar claro que la pobreza y el permanente hostigamiento internacional no son incompatibles con una salud colectiva muy buena si ésta es una prioridad máxima de un Estado-nación.

## UNA PROPUESTA

Intentemos enumerar los principales problemas que están afectando la supervivencia y el bienestar actual del *Homo sapiens*, y que pueden amenazar o facilitar su futuro como especie. El primero es el calentamiento global, que ya no puede ser cuestionado científicamente, siendo una de sus consecuencias el aumento de fenómenos climáticos extremos. En los últimos años se ha observado una aceleración de este calentamiento, a la vez que su saliencia como problema que demanda acción ha tendido a desaparecer de las agendas políticas o mediáticas.

El segundo es la posibilidad de un “invierno nuclear”, consecuencia extrema pero factible de cierto tipo de guerra nuclear, que era totalmente posible cuando los arsenales de armas nucleares de las grandes potencias no se habían reducido mediante pactos de desarme. Esta meta se consiguió, los arsenales son ahora comparativamente pequeños, y el reciente rebrote de conflictos internacionales no ha incluido hasta ahora la posibilidad de un desvío hacia el uso de armas nucleares.

El tercero es el aumento de la desnutrición humana en el planeta, mediante un triple mecanismo: el agravamiento de una crisis económica que empobrece a gran parte de la población de los países, lo que los lleva a comprar cantidades menores y calidades peores del alimento que necesitan si este es una mercancía; la expansión de tipos de agricultura muy energía- y capital- intensivas, y cuyo producto final es un alimento caro y/o de baja prioridad (salmones y camarones de cultivo, frutos de contraestación, soja como insumo de alimento balanceado para animales que se encuentran en un eslabón ulterior de la cadena trófica)

o cuyo destino final no sea la biología del ser humano (biocombustibles). La recíproca de todo esto es el desestímulo de la agricultura familiar mano de obra intensiva que produce alimentos para el consumo humano directo. Y la tercera causa es el desplazamiento de capitales financieros especulativos a los mercados de “commodities”, algunas de las cuales son alimentos de consumo humano, lo que aumenta su precio. No se mencionan en esta tríada otras causas menos importantes de aumento de la desnutrición humana, que también dificultan el acceso al alimento de la población más pobre, con lo cual la magnitud del flagelo aumenta pese a que la producción de alimento por habitante del planeta nunca ha sido tan grande como ahora. Los *Homo sapiens* desnutridos tienen sistemas inmunitarios deficientes, y la perversa dialéctica desnutrición- infección oportunista es, lejos, la principal causa de muerte evitable en el planeta, siendo, con igual perversión, una causa que puede solucionarse con insumos baratos y cero “knowhow” de punta.

Para solucionar los problemas mencionados es necesario analizar su causalidad, con el objeto de intervenir selectivamente en los puntos más factibles de una cadena de causalidad compleja. Esta búsqueda de causas podría continuarse hasta el infinito, excepto que el grado de sufrimiento humano actual que algunos de ellos causan es inaceptable éticamente.

## CAPÍTULO VIII

# La contaminación ambiental y el cambio climático

*Leonardo Malacalza y Carlos Coviella*

## LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

En este capítulo se desarrolla el concepto de contaminación ambiental y su relación con el tipo de sociedad en el tiempo y el espacio; se describen distintos tipos de contaminantes y sus efectos sobre los ecosistemas y la salud humana. También se describen algunos comportamientos y tecnologías con los que se puede disminuir nuestro aporte a la contaminación y a su vez protegernos.

### QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN

Consideramos contaminación a toda perturbación del medio ambiente que resulte perjudicial para los seres humanos u otros organismos vivos. El agente causal puede ser de origen químico, físico o biológico y afectar al aire, al agua o a los suelos.

El concepto de contaminación, o polución, es subjetivo porque en muchos casos aquello que resulta contaminante para algunas culturas puede no serlo para otras. Pero en general, en estos tiempos, en todas las sociedades existen problemas ambientales causados por contaminantes y la ecología, como ciencia, se encuentra involucrada e interesada; la contaminación está muy relacionada con el flujo de energía y la circulación de la materia en los ecosistemas y los ecólogos pueden aportar los conocimientos existentes o desarrollar otros nuevos referidos a ese tema.

En general, los contaminantes actúan simplificando los ecosistemas, retornando a las comunidades a etapas más inestables, con organismos característicos de alta tasa de crecimiento. Pero en otras ocasiones puede cambiar tanto las condiciones del ambiente que la comunidad original desaparece.

Desde el punto de vista de la teoría ecológica la contaminación es una circulación deficiente, o interrumpida, de algún material de los ecosistemas. Para Margalef (1981) la contaminación es una “enfermedad” del transporte, es una utilización incompleta de alimentos, otros materiales y también energía que la organización social transporta desde lugares más o menos distantes hasta otros sitios donde son requeridos. Aquellos materiales que sobran, que no son utilizados o que fueron transformados y ya no sirven, no son devueltos al lugar de procedencia, no se paga el costo del transporte. Aunque muchas veces el retorno resulte prácticamente imposible, porque el hombre es capaz de fabricar sustancias sintéticas que no existían en la naturaleza, como el caso de muchos biocidas y también otros derivados de la industria petroquímica.

La contaminación que más ha molestado o preocupado a la mayoría de los humanos es la que nos afecta directamente, desde cerca: la contaminación del agua que bebemos, de los ali-

mentos, del suelo, o del aire que nos rodea. Se trata de contaminaciones localizadas, generalmente circunscritas a un lugar o región, cuya importancia depende del agente contaminante y del tiempo de duración. Pero hay otra contaminación que por dispersa y global ha tardado en llegar a ser evidente: la contaminación de la atmósfera por los gases causantes del efecto invernadero.

## LA CONTAMINACIÓN COMO PROBLEMA SOCIAL

En la primera etapa del *Homo sapiens*, que duró unos 150.000 años, las poblaciones humanas cazadoras-recolectoras y nómades, deben haber tenido una relación con el medio ambiente muy parecida a la de otras poblaciones de primates: explotar un área y migrar a otra cuando los recursos escaseaban. En la segunda etapa, que se inicia cuando el hombre comienza a cultivar la tierra y se hace sedentario, la densidad de las poblaciones aumenta, aparecen las ciudades y caminos y por éstos se transportan alimentos y otros materiales que demanda el cambio cultural. La tercera etapa, de la revolución científico-tecnológica, se inició hace unos 200 años con la industria subsidiada con mucha energía de alto costo y bajo precio: los hidrocarburos ya mencionados. Es la civilización a la que pertenecemos (aunque algunos pertenecen mucho más que otros) que se caracteriza por la gran generación de bienes y servicios. Pero no sólo ha producido bienes en cantidad, también ha introducido “disturbios” a toda la biosfera. Estos son disturbios cuyos costos no son incorporados al precio del bien producido, los costos ambientales derivados de la producción industrial no se transfieren al consumidor del producto mediante el precio, sino que son cargados a toda la población, sea o no consumidora. Los no consumidores no sólo no acceden a los beneficios sino que pagan parte de los perjuicios. Se habla entonces de un pasivo ambiental, de deuda ambiental que paga el conjunto de la sociedad y especialmente los más desprotegidos quienes no pueden migrar o pagar para protegerse.

En el sistema descrito aún no han actuado globalmente los mecanismos de retroalimentación que regulen o eviten los perjuicios señalados. Cuando el costo de éstos superase a los beneficios, dentro del mismo sistema se irían produciendo las correcciones. Así sería si todos los beneficios y los perjuicios se distribuyeran más o menos equitativamente en la población. Pero no siempre es así ya que la contaminación pasó a ser un perjuicio severo, crónico o agudo, para los sectores humanos más pobres o con pocas defensas. Mientras que los sectores con mayor poder económico buscan alejarse de la contaminación viviendo en zonas residenciales muy reguladas, los sectores más pobres quedan en zonas contaminadas. A la propiedad privada de la tierra se suman ahora la propiedad privada del agua potable, del aire y el clima en general.

Puede ser interesante reflexionar y pensar que las poblaciones humanas, particularmente las industrializadas, no han innovado mucho como seres vivientes produciendo sustancias que, liberadas al ambiente, introducen cambios a los cuales deberían adaptarse: ya lo han hecho diversas formas de vida primitiva tras la aparición de las bacterias fotosintetizadoras, en las que fueron seleccionándose funciones metabólicas que -por ejemplo extremo - les posibilitaron, en largos períodos de tiempo, poder vivir en una atmósfera con abundante oxígeno, como la actual, cuando antes lo hacían en otra que tenía muy poco.

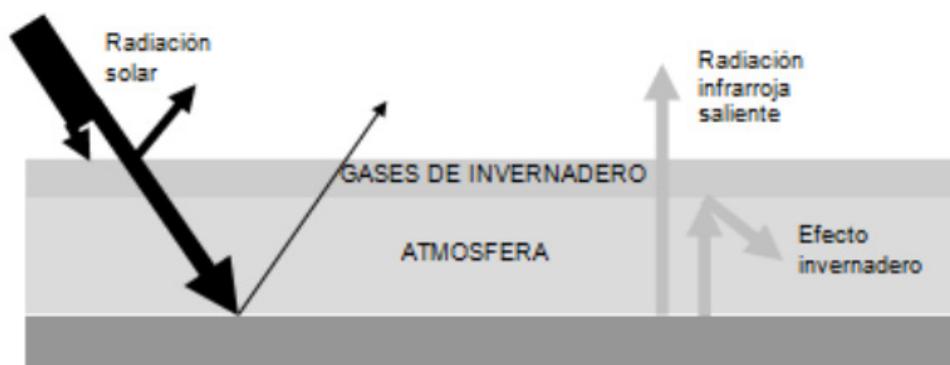
En el primer párrafo de este capítulo decimos que el agente causal de la contaminación puede ser de origen químico, físico o biológico, debemos agregar ahora la pobreza. Es la pobreza otra clara causa de contaminación y degradación ambiental: cuando las poblaciones humanas en busca de trabajo, techo o libertad no tienen otra posibilidad que hacinarse en

terrenos de bajo precio, inundables o escarpados, sin agua potable ni cloacas; ellas son los que sufren su propia contaminación por agentes biológicos -virus, bacterias, parásitos- y químicos, que son los residuos del consumo de tecnología. Entonces la contaminación más que un problema ecológico, técnico o económico es un problema social y, como tal, la solución requiere el aporte de la educación, la ética y la solidaridad. En América Latina las contaminaciones más comunes se originan por el mal uso de productos y tecnologías importadas de los países desarrollados.

## EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Sabemos que los ecosistemas tienden a mantenerse en equilibrio dinámico, en el que las perturbaciones menores son automáticamente compensadas. Se observa tal estado-estable en la presencia y tamaño de las poblaciones, y también en el entorno físico y químico que las contiene. Pero puede suceder que las actividades de la población humana originen cambios en ese estado-estable, y lleven al sistema a un punto de gran inestabilidad y aumento de la velocidad del flujo de energía. En efecto, el ser humano puede provocar involuntariamente esos cambios por usar combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) para obtener energía para la industria, el transporte, la calefacción y refrigeración; también para realizar agricultura y explotación forestal. Con esas actividades la población humana puede beneficiarse, pero también puede recibir algunos perjuicios de los que no podrá escapar fácilmente, como de aquellos originados por el calentamiento global del planeta.

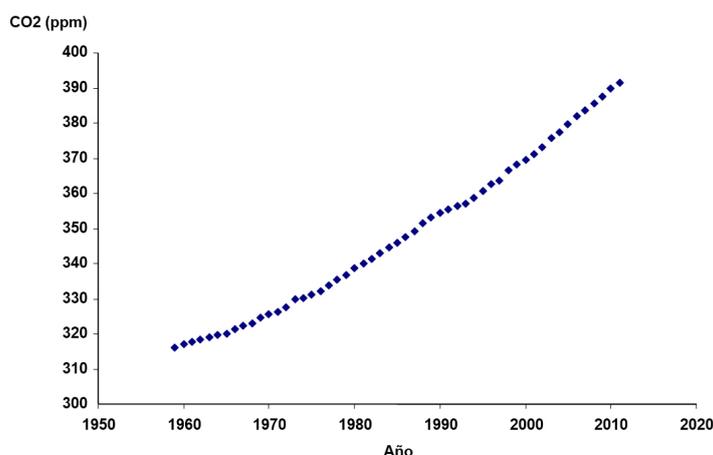
El sistema climático del planeta depende de una serie de factores íntimamente entrelazados. Uno de los elementos más importantes, es el balance energético entre la energía recibida del sol y la irradiada de vuelta al espacio. En ausencia de atmósfera, la temperatura promedio de la tierra debería ser de aproximadamente  $-16^{\circ}\text{C}$  (2550 Kelvin). Pero la temperatura promedio real de  $+15^{\circ}\text{C}$  (2880 Kelvin), debido a que distintos gases de la atmósfera absorben la radiación emitida por la tierra. Entre estos gases, los más importantes son el vapor de agua, el  $\text{CO}_2$ , el metano, los CFC (clorofluorocarbonos) y los óxidos de nitrógeno, los que por esa razón, son llamados “gases de efecto invernadero”, los GEI. Todos estos gases son liberados a la atmósfera por procesos naturales, pero las actividades humanas de los últimos 100 años están influyendo mucho en la velocidad de esa liberación.



**Figura VIII.1.** De la radiación solar que llega a la alta atmósfera alrededor del 25 % es reflejada y otro 25 % es absorbido por ella.; en tanto que la Tierra absorbe un 45% y refleja un 5%. La Tierra emite radiación de onda larga, parte de la cual sale de la atmósfera y parte es reflejada por los gases de efecto invernadero.

Así es que el  $\text{CO}_2$  está aumentando muy rápidamente y es el gas que más impacto está teniendo en el cambio climático (Figura VIII.1). De acuerdo con muestras de aire atrapado en hielos de la Antártida y de Groenlandia, el nivel actual de  $\text{CO}_2$  atmosférico de 370 ppm (partes por millón) de aire es el más alto de, al menos, los últimos 420.000 años y posiblemente el más alto de los últimos 20 millones. La tasa actual de aumento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera desde el año 1900 es de aproximadamente de 1.7 % anual, que es la tasa más alta de los últimos 20.000 años por lo menos (Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), Naciones Unidas, [www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/) ; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2013. <http://www.unep.org/spanish/>)

Según proyecciones también realizadas por las Naciones Unidas (IPCC), la temperatura en la tierra aumentó aproximadamente  $0.6^\circ\text{C}$  en el último siglo. Este aumento de más de medio grado por siglo es el cambio más rápido en al menos los últimos 1000 años. Según información de <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>, once de los últimos doce años (1995–2006) se encuentran entre los doce años más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura global en superficie (desde 1850). Y el aumento total de la temperatura de 1850–1899 hasta 2001–2005 fue  $0.76^\circ\text{C}$  ( $0.57^\circ\text{C}$  a  $0.95^\circ\text{C}$ ). Con datos de esa misma fuente podemos construir la figura VIII.2 que nos permite relacionar la probable influencia del aumento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico en la retención de la radiación de onda larga, produciendo el efecto invernadero:



**Figura VIII.2.** Aumento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico medido en el Observatorio Mauna Loa (Hawai) de 1969 a 2011.

Las consecuencias de ese aumento en el efecto invernadero debido a las actividades humanas son considerables. El deshielo en las regiones polares y el aumento del volumen de los océanos debido a la expansión térmica, tendrían el efecto combinado de elevar el nivel promedio de los océanos entre 20 y 110 cm para la misma fecha. De hecho, el nivel promedio ya ha aumentado al menos unos 17 cm en el último siglo. Aproximadamente un 10% de las zonas más pobladas del planeta están por debajo de 110 cm, con lo cual quedaría inundada una gran parte de las regiones costeras. Algunas islas del Pacífico -países enteros algunas de ellas- no tienen parte alguna por encima de ese nivel y quedarían completamente bajo las aguas en menos de 100 años. Aun deteniendo el aumento del  $\text{CO}_2$  atmosférico, la expansión térmica de los océanos es un proceso lento que continuaría por unos 500 años.

En la historia del planeta las bacterias fotosintetizadoras fueron las que cambiaron el clima, y ahora una sola especie -la especie humana- tiene un impacto suficientemente grande

como para cambiar otra vez el clima en forma importante.

Para conocer más sobre los cambios que están ocurriendo en los océanos puede leerse el ensayo VIII.I sobre acidificación del océano que está al final de éste capítulo.

## EL PROTOCOLO DE KIOTO

Tomando conciencia de las serias consecuencias del cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático creada en Río de Janeiro en 1992, concertó una serie de reuniones internacionales que culminaron en la adopción del Protocolo de Kioto (Japón) en 1997 pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. El Protocolo sigue los pasos del Protocolo de Montreal relativo a los Clorofluorocarbonos que afectan la capa de ozono y es un pacto internacional que podría entrar en vigencia en cuanto fuera ratificado por los gobiernos respectivos, a través del cual los países más desarrollados se comprometían a reducir para el año 2012 sus niveles de producción de  $\text{CO}_2$  en algo más de un 5% con respecto a los niveles de producción que cada país tenía en 1990. En agosto de 2012, eran casi 200 estados los que ratificaron el protocolo, pero Estados Unidos de Norte América, ni Japón, Rusia, Canadá y Nueva Zelanda que son los mayores emisores de gases de invernadero mundial, aun no habían ratificado el protocolo. En ese año no se habían cumplido prácticamente ninguna de las provisiones del Protocolo de Kioto.

## ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO ESTRATOSFÉRICO

Otro cambio que, en mayor o menor grado afecta a toda la humanidad, es el adelgazamiento de la capa de ozono de la atmósfera, que está entre unos 15 a 30 Km de altura, en la parte baja de la estratósfera. Esta capa se formó cuando en los organismos vivos se seleccionó -hace unos 3700 millones de años- un proceso metabólico muy eficaz de transformación de energía luminosa en energía química: la fotosíntesis, reacción que tiene como productos químicos finales agua y oxígeno, los que son liberados al ambiente. Así fue que de una atmósfera casi sin oxígeno se fue pasando a otra donde una quinta parte la constituye ese gas. Entonces ese oxígeno, cuya molécula tiene dos átomos ( $\text{O}_2$ ), por acción de la radiación ultravioleta (RUV) se transforma en ozono, una molécula que tiene tres átomos de oxígeno ( $\text{O}_3$ ) y queda concentrado mayoritariamente en la "capa de ozono". Esta capa absorbe la mayor parte de la RUV de onda más corta que, sin ella, llegaría desde el sol a la Tierra.

En 1985, se observó que en la Antártida, durante la primavera, la capa de ozono se adelgazaba quedando el "agujero de ozono", hecho que se siguió observando desde entonces y que es atribuido a los clorofluocarbonos, los CFC. Éstos son hidrocarburos no tóxicos que se encuentran en la naturaleza en estado líquido y que se evaporan fácilmente. Estos compuestos son usados desde hace unos 70 años por la industria, en equipos de refrigeración como heladeras, acondicionadores de aire, en los rociadores (spray) y en muchos otros productos.

El fenómeno se explica porque, después del invierno polar, el sol llega y su RUV destruye las moléculas de cloro provenientes de los CFC liberando átomos de cloro que reacciona a gran velocidad con las moléculas de el ozono que pasan a moléculas de oxígeno, las que también por la RUV vuelven a pasar a moléculas de ozono pero a una velocidad mucho menor.

En el año 2013 las mediciones de la NASA (<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/ozone-hole-2012.html>) y de la National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.noaa.gov/>) indican que el agujero de ozono se está reduciendo en los últimos años.

## CONTAMINACIÓN DEL AGUA DULCE

En todas las culturas se ha usado al agua no solo para riego y bebida, sino también para eliminar la suciedad, transportarla, degradarla o esparcirla. Las ciudades y también otras poblaciones menores, generalmente se desarrollan próximas a lagos, lagunas o ríos, de los que toman agua para sus necesidades y también a los que arrojan sus residuos. Estos residuos se descomponen, consumen oxígeno y liberan elementos nutritivos. Con estos elementos el fitoplancton se desarrolla y a veces prolifera excesivamente y las aguas se ponen verdes y turbias, fenómeno que se conoce como *eutrofización*. La eutrofización de los ambientes acuáticos se produce por el enriquecimiento con elementos nutritivos, provenientes de la degradación y mineralización de residuos orgánicos domésticos, de granjas y de suelos agrícolas que son fertilizados y que las lluvias lavan y arrastran. La intensa producción de materia orgánica por el fitoplancton se incorpora al ciclo del ambiente acuático, se decanta y descompone consumiendo oxígeno. Si los movimientos del agua no difunden hacia la profundidad suficiente cantidad de oxígeno, éste se agota; parte de la materia orgánica se va acumulando en el fondo, y parte se oxida con azufre que libera ácido sulfhídrico de muy mal olor.

El agua que abastece a las poblaciones humanas también puede contaminarse con bacterias, virus, protozoos y gusanos que en los países subdesarrollados son la principal causa de enfermedades humanas. La fiebre tifoidea, el cólera, la enteritis, la hepatitis infecciosa, la amebiasis, la esquistosomiasis, entre otras, son las enfermedades con mayor número de afectados en las regiones donde no hay agua potable y tampoco servicios cloacales. A esas contaminaciones hay que agregar en estos tiempos nuevas sustancias y moléculas complejas producidas industrialmente con distintos fines, particularmente con fines medicinales, que como residuos, se incorporan a los ambientes acuáticos. Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor del 40% de la población mundial en el año 2012, aun carecía de servicios de agua potable y de servicios cloacales. Por tanto, mantener ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas libres de contaminantes es de vital importancia para la población, tanto en los países industrializados como en los subdesarrollados.

Al final de este capítulo podemos encontrar ensayos y estudios de casos aplicados al tema de la contaminación y protección y saneamiento de ambientes acuáticos. Uno sobre la contaminación de la cuenca del río Reconquista en la provincia de Buenos Aires, ensayo VIII.2, otro sobre los contaminantes de la industria farmacéutica, ensayo VIII.3, otro donde se describen algunos sistemas de tratamiento de residuos cloacales, ensayo VIII.4; y un quinto en el que nos muestran una estimación teórica del ahorro de dinero que significa el trabajo del río Luján para reducir la contaminación orgánica.

## CONTAMINACIÓN POR AGROTÓXICOS Y PRINCIPIO PRECAUTORIO

En la agricultura moderna las sustancias tóxicas más usadas son los plaguicidas, en particular los insecticidas y los herbicidas; son compuestos químicos que el hombre usa para controlar las poblaciones de animales y plantas que interfieren con sus intereses productivos. Grandes cantidades de estos productos, mayoritariamente de amplio espectro, son frecuentemente aplicados en los diferentes cultivos. En el caso de los insecticidas -usados para insectos plagas- el hombre intenta evitar que la injuria causada por las plagas cause un daño económico en el cultivo, disminuyendo su rendimiento. Con los herbicidas pretende

controlar las malezas que compiten con las plantas cultivadas por el espacio, la luz, el agua y los nutrientes minerales, también afectando negativamente su rendimiento.

Los agrotóxicos no sólo afectan negativamente a las plantas y animales que el hombre considera perjudiciales a sus intereses. También lo hacen, en forma directa o indirecta, con otros organismos vegetales y animales, llamados “no blanco”, disminuyendo la biodiversidad y disturbando la trama trófica de las comunidades terrestres y acuáticas. Muchos de estos organismos pueden cumplir roles funcionales importantes dentro de los agroecosistemas, como por ejemplo los polinizadores, los enemigos naturales de plagas y malezas, las plantas que aportan nutrientes y protección al suelo, y refugio y sitios de nidificación para la fauna.

La toxicidad y la especificidad de los plaguicidas depende del modo de acción de los ingredientes activos, mientras que los efectos dependen de la dosis a que están expuestos los organismos (Sánchez-Bayo, 2011). La contaminación por agrotóxicos para la mayoría de los animales es por la exposición directa a las fumigaciones o por la inhalación de los mismos, en cuyo caso, los ingredientes activos pasan directamente a los pulmones y al torrente sanguíneo de los vertebrados terrestres. Sin embargo, es muy difícil saber cuál fue la causa, cuando se encuentra un animal paralizado o muerto en el campo. La mayoría de las veces la causa de las muertes observadas resulta de la combinación de varias rutas de exposición. Los agrotóxicos más persistentes pueden, además, acumularse en el suelo y concentrarse a lo largo de la trama trófica. Sus efectos perjudiciales trascienden al medio terrestre, ya que debido a procesos de escorrentía, pueden contaminar arroyos, ríos, lagos y el agua subterránea. Las moléculas que los componen, una vez que se incorporan al ambiente, pueden transformarse o combinarse con otras; en algunos casos pierden su poder residual rápidamente y en otros puede potenciarse, conociéndose relativamente poco, hasta ahora, acerca de los caminos que pueden seguir en el ecosistema y los daños que sucesivamente pueden causar.

El efecto nocivo sobre la salud humana de muchos de estos compuestos es muy grande, y una vez afectadas, las víctimas deben enfrentar su enfermedad y al mismo tiempo, en muchos casos demandar judicialmente a los diversos culpables de la pérdida de su salud, en busca de lograr una reparación por el daño y también evitar que otros puedan también sufrir esa contaminación. Como ejemplo de lo anterior se sabe que el 7 de junio de 2010, el tribunal de la República de la India que juzgó a los responsables del desastre por contaminación producido el 2 de diciembre del año 1984 por una industria de agrotóxicos que produjo varios miles de muertes en la ciudad de Bophal, condenó a ocho directivos de la industria a dos años de prisión y a abonar 500.000 rupias (10.600 dólares) a la delegación de la empresa en India. En recuerdo de esta tragedia se celebra en todo el mundo cada 3 de diciembre el *Día Mundial del No Uso de Plaguicidas*.

En la Argentina, en el barrio Ituzaingó de la provincia de Córdoba, lindero a cultivos de soja habitualmente fumigados en forma aérea con agrotóxicos, el 80 % de los 142 niños analizados en el año 2010 tenían entre dos y seis agroquímicos en la sangre, pero también la mitad de los niños de otro grupo que vivía fuera del barrio tenía hasta dos agroquímicos en la sangre, hechos que dieron origen a un juicio que duró diez años y que concluyó en el año 2012 condenando a dos responsables por contaminación reiterada, el productor agropecuario y el piloto que realizó la fumigación aérea. La condena fue por delito de contaminación ambiental penado por la Ley de Residuos Peligrosos. En tanto que en la provincia de Santa Fe en el 2011 tras tres años de juicio iniciado por modestos pobladores, invocando el *principio precautorio*, y en base a un informe de especialistas de la Universidad Nacional del Litoral, la justicia prohibió las fumigaciones por tierra a menos de 500 metros de la urbanización y a menos de 1500 en caso de que sean por aire. El principio precautorio, es el que obliga a

suspender o cancelar actividades que amenacen el medio ambiente pese a que no existan pruebas científicas suficientes que vinculen tales actividades con el deterioro de aquél. Este principio es uno de los resultados de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo del año 1992 de las Naciones Unidas en la que participó Argentina, y la Ley General del Ambiente de este país (ley 25.675) establece que: “Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”.

### I. Insecticidas

Los grupos más importantes de insecticidas que se han fabricado son, por orden cronológico, los organoclorados, los organofosforados, los carbamatos, los piretroides y últimamente los incluidos en el grupo de los plaguicidas botánicos. Todos ellos son neurotóxicos, generando una alteración de la transmisión del impulso nervioso.

*Organoclorados:* Además de ser los primeros, fueron los que más se popularizaron por el uso del DDT (dicloro-difenil-triclorohexano) durante la Segunda Guerra Mundial para proteger de insectos parásitos y transmisores de otras enfermedades a los soldados de las fuerzas aliadas. Su implementación para el control de plagas de cultivos y granos cosechados se propagó por su gran eficacia, su bajo costo, y su alta persistencia en el ambiente, lo que hace innecesaria la aplicación repetida en poco tiempo. Las conocidas pastillas de gammexane usadas hasta hace no mucho tiempo para combatir la vinchuca estaban compuestas por un organoclorado (el isómero gama del hexaclorociclohexano). Son muy poco selectivos, por lo cual matan tanto a las plagas como a otros organismos “no blanco”. Debido a que estos insecticidas son solubles en aceites y grasas quedan retenidos y se acumulan en aceites vegetales y de allí pasan a la grasa de los herbívoros y de éstos a la de los carnívoros y al hombre, al comer desde vegetales hasta carne y lácteos. Gran cantidad de especies plaga han creado resistencia en forma bastante rápida a estos productos. Un insecticida organoclorado que ha sido clasificado por la Organización Mundial de la Salud como “altamente tóxico” para el hombre es el endosulfán. A pesar de estar prohibido en numerosos países de la Unión Europea, África y Asia, en la Argentina se continúa usándolo para controlar los insectos en cultivos de algodón, maíz y soja, entre otros. El endosulfán es el insecticida más utilizado de Argentina para controlar los insectos en los cultivos de algodón, maíz y soja, entre otros. Pero la Organización Mundial de la Salud lo ha clasificado como “altamente tóxico” para los hombres y ya fue prohibido en muchos países. En Argentina, el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Vegetal y Calidad Agroalimentaria de Argentina) publicó en el mes de junio 2011 una Resolución anunciando que a partir de julio de 2012 se prohibiría la importación del principio activo Endosulfán y sus productos formulados, y a partir de julio 2013 se prohibirá la elaboración, formulación, comercialización y uso de productos que lo contengan. Como estaba previsto, a partir de julio de 2011 fue prohibido importarlo, pero lo ya importado se podrá vender y usar hasta julio del 2013 (Resolución 511/2011 de SENASA). En 2012, en Argentina el Ministerio de Salud de la Nación respondiendo a una consulta del Defensor del Pueblo de la Nación sobre la toxicidad del Endosulfán, le informó “que tiene propiedades carcinogénicas para los seres humanos, especialmente en los casos de exposición crónica. Que “además, provoca alteraciones neurológicas que pueden asociarse con daños cerebrales permanentes, manifestándose con deterioro cognitivo y emocional, daños en la memoria y afeción

visual. También afecta el sistema inmunológico; tiene efectos adversos sobre el sistema reproductivo masculino, los riñones y el hígado; puede provocar hipotiroidismo y daña los glóbulos rojos sanguíneos”.

*Organofosforados:* En parte remplazaron a los organoclorados luego de que éstos fueran prohibidos. Su mecanismo de acción es la inhibición irreversible de la enzima colinesterasa. Los más conocidos son el paratión, el malatión, el metamidofós y el clorpirifós. Tienen amplio espectro y son tóxicos para el hombre y otros mamíferos; son persistentes y bioacumulables en organismos y sedimentos del medio acuático.

*Los organofosforados* comenzaron a ser usados en la segunda mitad del siglo XX después de haber sido fabricados y usados con fines bélicos militares (gases neurotóxicos) en la segunda guerra mundial, que trajo aparejada una gran revolución de la industria química. Por todo esto, son contaminantes ambientales y su uso debe ser muy controlado. En Argentina en los comienzos del siglo XXI están siendo prohibidos o de uso muy limitado.

*Carbamatos:* Su mecanismo de acción es la inhibición reversible de la enzima acetilcolinesterasa, produciendo síntomas similares a los de los organofosforados. Tienen menor persistencia que los organoclorados y más baja toxicidad que los organofosforados. Se los puede usar hasta poco tiempo antes de la cosecha ya que se degradan y descomponen por acción de la luz y de la humedad, en pocos días. Son de amplio espectro y algunos, además de insectos, controlan hongos, ácaros y nematodos. Su producción puede ser muy peligrosa, como en el caso del accidente del que hablamos más arriba, ocurrido en 1984 en Bhopal, India, que provocó la muerte de muchos miles de personas por una falla en el proceso de producción de un carbamato, dejando más de medio millón de afectados. Uno de los más conocidos es el carbaryl.

*Plaguicidas botánicos:* Integran este grupo las piretrinas que son compuestos naturales provenientes del extracto de piretro presente en las flores del crisantemo. El uso de la piretrinas se remonta al siglo XIX, las mismas provocan una rápida parálisis de los insectos (poder de volteo) y baja toxicidad para los mamíferos. No obstante su utilización en las actividades agrícolas ha sido limitada por ser rápidamente degradadas por el calor y la luz solar.

Los piretroides son los insecticidas más modernos y potentes que se conocen. Derivan, en forma sintética, de los extractos de piretro, pero con modificaciones en su estructura química que les confieren una elevada actividad insecticida y una notable fotoestabilidad. Son lipofílicos e insolubles en agua, de allí que su aplicación se ha difundido en el control de plagas que afectan tanto la actividad agrícola como la salud humana (control de la vinchuca, *Triatoma infestans*) y en medicina veterinaria. Además, son muy usados en la vida doméstica, ya que se emplean en lociones para combatir los piojos, en aerosoles y pastillas antimosquitos, etc. Los más conocidos son la cipermetrina y la permectrina. Son muy tóxicos en el medio acuático donde produce mortandad de peces, por ejemplo cuando las aguas son contaminadas tras el uso agrícola de esas sustancias en los terrenos aledaños.

Los plaguicidas botánicos incluyen, además, a la nicotina y a la rotenona. La nicotina es un alcaloide derivado de las plantas de tabaco. Es básicamente un insecticida de contacto no persistente. En la actualidad, se producen los plaguicidas neonicotinoides, derivados de la nicotina, que parecen ser, por su modo de acción, bastante selectivos para insectos, fundamentalmente para áfidos, lepidópteros y coleópteros. El de uso más

extendido es el imidacloprid. La rotenona es aislada de las raíces de algunas especies de leguminosas tropicales y resultan tóxicas para los animales de sangre fría e inofensivas para mamíferos y el hombre. Es biodegradable y se descompone fácilmente en presencia de luz y aire.

## 2. Herbicidas

Según su modo de uso los herbicidas pueden ser selectivos y no selectivos, y según su composición química se denominan orgánicos (Diuron, Atrazina) e inorgánicos (sales de diversos metales). Los herbicidas son tóxicos para las plantas, ya que alteran procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis. No obstante, también pueden interferir con procesos metabólicos y reproductivos de los animales que no necesariamente están relacionados con su modo de acción en las plantas (Sánchez-Bayo, 2011).

Algunos son muy tóxicos, como la mezcla de dos herbicidas sistémicos para especies de hoja ancha (el 2,4-D y 2,4,5-T) que aplicaron los norteamericanos en la guerra contra Vietnam como defoliante de los bosques y, entre otros males, produjo cáncer y malformaciones en los embriones humanos; fue conocido como Agente Naranja.

El glifosato (N- fosfometil glicina) merece una referencia particular ya que es el herbicida más utilizado en la Argentina. Sólo en el cultivo de soja en la campaña 2010/2011 se utilizaron 200 millones de litros de este herbicida, provisto por unas pocas compañías multinacionales. Pero, además, el glifosato se utiliza en otros cultivos como maíz, algodón, canola y frutales de pepita, entre otros. Es un herbicida fosforado, sistémico, y de amplio espectro que se usa para eliminar gramíneas anuales y perennes, hierbas de hoja ancha y hasta plantas leñosas, pero el uso reiterado durante más de 20 años ya ha generado la aparición de alrededor de 15 especies que son resistentes al mismo.

El modo de acción del glifosato es a través de la inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos en la planta mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintetasa (EPSPS). Esta enzima participa dentro del cloroplasto en la ruta metabólica del ácido shikímico, lo cual reduce la síntesis de aminoácidos esenciales para la vida de las plantas, causándoles la muerte. Debido a que la ruta metabólica se encuentra sólo en bacterias, hongos y plantas, la toxicidad aguda del glifosato para los animales es baja, y si bien puede interferir con algunas funciones enzimáticas, los síntomas de envenenamiento sólo ocurren con dosis muy altas (Villalba, 2009).

El glifosato puro es degradable en el suelo y de baja persistencia biológica; sin embargo, no ocurre lo mismo con las formulaciones comerciales de este producto y en la Argentina se han registrado no menos de 90 formulaciones comerciales con glifosato como principio activo. El Roundup, una de las formulaciones de glifosato más conocida, comercializada por la empresa Monsanto, que posee un surfactante llamado POEA (polioxietilamina), producto químico que facilita la absorción del glifosato por parte de la planta. El POEA le confiere una toxicidad mucho mayor que el glifosato puro, a lo cual se suma el efecto altamente contaminante del AMPA (ácido aminometilfosónico), principal metabolito de la degradación microbiana del glifosato en ambientes terrestres.

Existen numerosas evidencias de los efectos letales y subletales de este herbicida en invertebrados (Schneider *et al.*, 2009, Benamú *et al.*, 2010), en vertebrados (Lajmanovich *et al.*, 2003, Cauble, 2005) y en mamíferos (Gluszczak *et al.*, 2006). También se han observado efectos letales en células de embriones, placenta y cordón umbilical humanos (Richard *et al.*, 2005; Benachour, 2009); y desde la década del '90 se comenzaron a detectar niños con malformaciones, mortalidad fetal y abortos espontáneos, entre otros

efectos nocivos, en localidades donde se hacía un uso masivo de agrotóxicos, entre ellos el glifosato.

Los efectos de estos herbicidas impactan sobre la biodiversidad de los ecosistemas, contaminan el suelo (Piccolo, 1994) y disturban la estructura, funcionamiento y calidad de los cuerpos de agua dulce (Pérez *et al.*, 2007; Vera *et al.*, 2010).

Otras contaminaciones en ambientes agropecuarios son las derivadas de la cría intensiva de animales en recintos estrechos como aves o cerdos; el engorde de vacunos en feedlot, la producción de leche en grandes tambos, en todos los cuales se originan grandes cantidades de estiércol, materia orgánica que se puede utilizar para obtener biogás y residuo seco para fertilizar suelos, como se describe en el ensayo VIII.6 que está al final de este capítulo.

## CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

A Paracelso, un médico y alquimista suizo de finales de la edad media, le atribuyen haber dicho que la dosis hace al veneno, una expresión que sintetiza la idea de contaminación por un elemento o sustancia química.

En la naturaleza numerosos metales se encuentran en baja concentración (menos de 1000 ppm). A estos metales se los denomina metales traza y entre éstos están los metales pesados. Los organismos han evolucionado en ambientes con pequeñas concentraciones de estos metales, motivo por el cual la presencia en altas concentraciones puede causarles graves trastornos. Algunos de estos metales son esenciales, necesarios para la actividad biológica (como el cobre, el cinc o el níquel) y no perjudiciales cuando están en el ambiente en bajas concentraciones, pero son tóxicos en altas concentraciones. Hay otros metales pesados, como el plomo, el mercurio, la plata o el cadmio, que no tienen ninguna actividad biológica y su presencia es generalmente tóxica para los seres vivos. En las cadenas y redes tróficas, las algas y las plantas superiores son las principales vías de ingreso de esos metales a los animales, incluido el hombre.

*Mercurio:* Se lo puede encontrar formando compuestos orgánicos o inorgánicos. Los primeros son de gran toxicidad porque se adsorben fácilmente y una vez incorporados son transformados a compuestos inorgánicos que tienen gran afinidad por el tejido nervioso, donde se acumulan y causan grandes daños; además producen roturas de cromosomas y afectan la división celular en tejidos en desarrollo. Si bien la actividad industrial libera mercurio en forma de compuestos inorgánicos, en el ambiente existen microorganismos que lo transforman en derivados orgánicos. La bioacumulación de mercurio contribuye a aumentar el efecto tóxico; los peces pueden acumular hasta 5000 veces la concentración presente en el agua. En la década de 1950, en Minamata (Japón) alrededor de 120 personas murieron por envenenamiento con mercurio. Fue por la descarga, desde una fábrica de productos químicos, de mercurio inorgánico que fue transformado en mercurio orgánico (metil mercurio) en los sedimentos de la bahía de Minamata, después se acumuló en moluscos y peces, principales integrantes de la dieta de la población de esa región.

*Plomo:* Es liberado al ambiente durante la fabricación de pinturas, vidrios y baterías; también por el uso de combustibles que tienen aditivos de plomo. En los ecosistemas, el plomo produce acumulación de materia orgánica porque afecta el metabolismo de microorganismos descomponedores. El plomo proveniente de la combustión de nafta en el aire de ciudades como Buenos Aires supera los límites de riesgo (Caridi *et al.*, 1988). La intoxicación

crónica con plomo produce saturnismo, enfermedad que puede afectar no sólo a los operarios que trabajan en establecimientos que tienen entre sus insumos al plomo, sino también a su entorno familiar, porque la ropa es un vehículo del metal. Esta enfermedad produce disfunciones renales, del sistema productor de glóbulos rojos y del sistema nervioso.

*Cromo:* Metal utilizado principalmente en curtiembres. En estado de mayor oxidación es cancerígeno. Su gran movilidad y capacidad de asociación con otras moléculas lo tornan más peligroso porque puede ingresar a las redes tróficas con gran facilidad.

*Cadmio:* Es liberado al ambiente en la fabricación de baterías y semiconductores para la industria electrónica y el galvanizado de piezas metálicas. En los organismos se asocia con proteínas y se acumula en el hígado, riñones y órganos reproductores, produciendo graves trastornos. En dosis agudas causa hipertensión, disfunción renal y muerte prematura. En dosis pequeñas causa vómitos, diarrea y puede originar tumores cancerosos. Debido a la facilidad con que se acumula en los tejidos resulta muy peligroso, por la biomagnificación, para depredadores de tercer y cuarto orden.

Los vegetales son una fuente de ingreso de metales pesados a los seres humanos, y entre esos vegetales está el tabaco: cada cigarrillo aporta al ambiente 1-2 microgramos de cadmio, 1.4 de cromo, 2 a 6 de níquel y 21 a 84 de plomo.

## **CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS Y CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LAS CIUDADES**

Los derrames de petróleo durante su extracción y tráfico son frecuentes y en gran escala, y afectan a ecosistemas terrestres y acuáticos, especialmente al mar y ríos navegables. Generalmente el petróleo, una vez derramado en el mar, se acumula en la superficie originando las denominadas mareas negras. Producido el derrame, para mitigar los perjuicios se usan medios mecánicos para recuperar lo que se pueda. Algunas veces se suele recurrir a quemar el petróleo de la superficie, pero los compuestos tóxicos que se volatilizan pueden afectar negativamente el aire de una zona muy extensa. Otras técnicas utilizan bacterias con capacidad de biodegradar el petróleo (Zlaltar, 1994). Algunos petróleos muy densos forman con el agua marina una emulsión difícil de desintegrar y dispersarse; con el tiempo –meses o varios años– el petróleo se hunde y sus componentes aromáticos como el benceno o el tolueno, que son muy tóxicos, se solubilizan y disuelven en el agua y los primeros afectados son los organismos planctónicos.

Por otra parte la industrialización del petróleo genera muchos residuos de muy difícil o costosa eliminación. Se trata en general de sustancias que contienen mezclas de hidrocarburos con elementos como el cloro o con metales pesados. Son muy estables en el ambiente y para su eliminación se requieren grandes inversiones de dinero, espacio y tiempo. Las técnicas van desde la incineración a altas temperaturas, hasta la biodegradación aeróbica en piletas convenientemente aisladas del suelo o, incluso, mezclando directamente los residuos con el suelo, arrojándolos en terrenos que después dejarán de ser aptos para producir alimentos. Ésta última práctica es denominada “land-farming”, una técnica con la que se suele enmascarar un verdadero delito ambiental cuando es usada para dispersar esos residuos industriales. Esta técnica sólo se podría aceptar en casos de vuelcos accidentales de hidrocarburos y con una técnica conocida como biorremediación, que sirve para acelerar la biodegradación natural, sembrando bacterias que utilizan los hidrocarburos como fuente de carbono y de energía y estimulando su desarrollo con el agregado de nitrógeno y fósforo (Mac Cormack & Ruberto, 2003).

Un párrafo especial merecen los bifenilos policlorados, los PCB, que son hidrocarburos clorados producidos industrialmente desde la década de 1930 para su uso como aislantes en los transformadores eléctricos de alta tensión; en aditivos de pinturas; en el papel carbónico. Son muy estables y poco biodegradables, se acumulan en los tejidos grasos y pueden originar cáncer de piel, escroto y pulmón (Koch *et al.*, 1993). Su uso está prohibido en los países desarrollados pero no en muchos otros. Se estima que de los dos millones de toneladas que se habían producido hasta 1982, más de la mitad se continuaron usando (Ponting, 1992). Para su eliminación son necesarios incineradores que alcancen los 1200° C, pero aún así pueden dejar residuos tóxicos en el aire.

Los principales contaminantes del aire de las ciudades que provienen de los hidrocarburos son el *monóxido de carbono*, generado principalmente por la combustión de los automóviles (y también por la oxidación atmosférica del metano por descomposición de residuos orgánicos), cuya toxicidad se debe a su alta tendencia a asociarse a la hemoglobina, compitiendo con el oxígeno y, por lo tanto, reduciendo la capacidad de la sangre para transportar ese elemento; *los óxidos de azufre y de nitrógeno*, que son liberados a la atmósfera por la combustión de naftas, de carbón y de fuel-oil. En la atmósfera de algunas ciudades o de zonas industriales los óxidos de azufre que contengan son transformados principalmente en ácido sulfúrico, que se disuelve en el agua de las precipitaciones produciendo la lluvia ácida. Esta lluvia afecta a los microorganismos del suelo y a los organismos de ecosistemas acuáticos por disminuir los valores del pH; también es nociva para las estatuas y edificios debido a que afecta al mármol (en varias ciudades europeas se debió cubrir monumentos o trasladar a museos estatuas que estaban en plazas). Por otra parte, los óxidos de azufre afectan a los organismos de respiración pulmonar produciendo taponamientos alveolares y alterando el epitelio respiratorio. La lluvia ácida también contiene ácido nítrico. También son importantes contaminantes del aire de las ciudades los aerosoles que forman *el smog*, que son gotitas líquidas en suspensión contaminadas con partículas de hollín (producto este de la mala combustión de hidrocarburos) y son tóxicos en las vías respiratorias. Cuando las pequeñas partículas de hollín entran en los alvéolos pueden permanecer varios años allí; esto puede causar trastornos en el intercambio gaseoso, y en la eliminación de sustancias dañinas debido a que dichas partículas pueden alterar el movimiento de los cilios que tapizan el tracto respiratorio. Algunas enfermedades respiratorias y alérgicas en las ciudades se deben al smog (Aramendía *et al.*, 1995). El hollín, que es un hidrocarburo aromático policíclico, es cancerígeno; lavanderas que lavaban la ropa sucia de los obreros del polo petroquímico de La Plata enfermaban de cáncer (José Catoggio, comunicación personal).

## ELEMENTOS RADIATIVOS

Los elementos radiactivos se encuentran de forma natural en el medio ambiente, pero con las centrales nucleares ha aumentado su proporción en los lugares donde están emplazadas; en Europa ha aumentado la radiación a causa de la nube radiactiva producida por el desastre de la central de Chernobyl en 1986 y en Japón tras el maremoto que afectó la central atómica de Fukushima en marzo de 2011.

El aumento de la radiactividad en el medio ambiente también puede ser causado por fugas en el procesamiento industrial de material radiactivo natural para uso comercial en la tecnología nuclear y por las explosiones atómicas para armas de guerra. El efecto tóxico de los elementos radiactivos se debe a que las radiaciones de alta energía provocan alteraciones cromosómicas. También actúan reduciendo el metabolismo y deprimiendo el sistema inmunológico.

## PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los tipos de contaminación que usted percibe en su ambiente? Escriba una lista, ordénelos según las molestias que le ocasionan. Señale las causas que podrían tener y proponga soluciones -o probables soluciones- a su alcance.
2. ¿Cuáles son las causas más conocidas del fenómeno climático conocido como efecto invernadero? ¿Cuáles son algunas de las consecuencias que ya se perciben en el ambiente?
3. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de bioacumulación y de biomagnificación? ¿Qué sustancias o elementos son los que pueden bioacumularse en nuestro organismo y qué perjuicios podrían producirnos? ¿Qué organismos de los cuales nos alimentamos podrían contener elementos que se hubieran bioacumulado en ellos?
4. Las poblaciones de especies animales y vegetales que tienen más probabilidades de sobrevivir en un ambiente contaminado ¿pertenecen a organismos especializados, k-seleccionados? ¿O a organismos más simples poco especializados, r-seleccionados? Mencione algunos ejemplos que usted conozca.
5. ¿Sería conveniente y posible incorporar al precio de los productos industriales el costo ambiental según el criterio de que el que contamina paga?
6. ¿Qué significa que la contaminación es una “enfermedad” del transporte, como dice Margalef. Explique con ejemplos de casos que usted conozca
7. Haga una lista de por lo menos cinco enfermedades que son consecuencia directa o indirecta de algún tipo de contaminación (recuerde que casi todas las patologías tienen por lo menos una componente genética y un desencadenante ambiental).

# ENSAYO VIII.1

## La acidificación del océano, “el otro problema” del CO<sub>2</sub>

*Gustavo A. Ferreyra e Irene R. Schloss*

### LOS FLUJOS DE CARBONO ENTRE LA ATMÓSFERA Y EL OCÉANO.

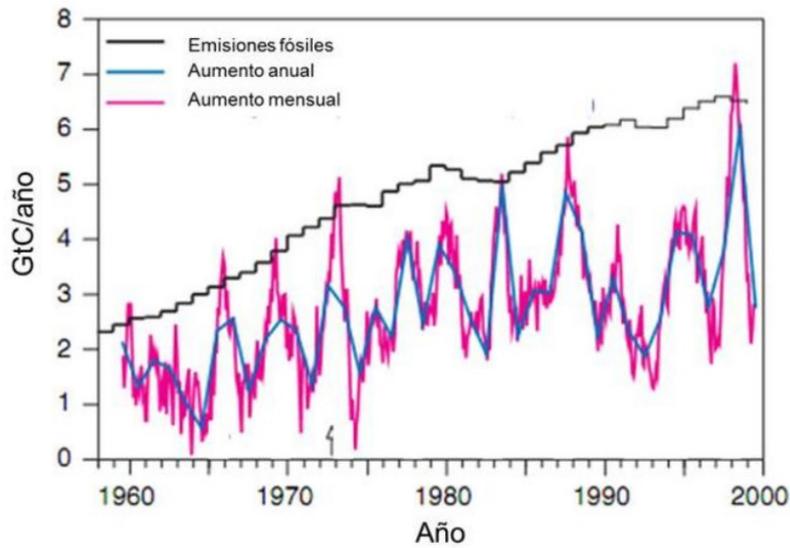
Existe un amplio consenso en el seno de la comunidad científica en el sentido de que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y, en particular, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) han influido significativamente sobre el clima de la Tierra desde los comienzos de la era industrial, provocando lo que ha dado en denominarse “calentamiento global” (IPCC, 2007) (Figura 1).



**Figura 1.** Concentraciones pasadas y presentes de CO<sub>2</sub> según los resultados de diferentes modelos. Fuente: [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/slides/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/slides/index.htm)

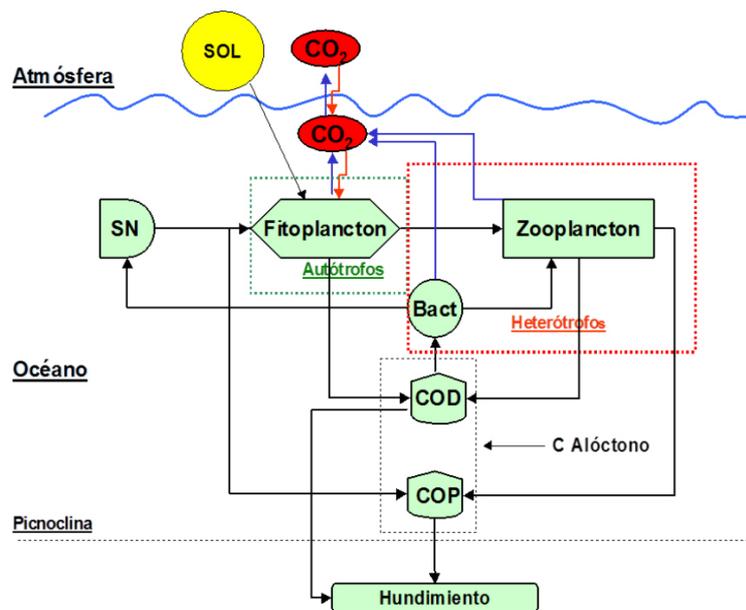
Debe notarse que la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en 1860 era de ~280 ppm (ppm = partes por millón, equivalente a  $\mu\text{molCO}_2/\text{mol}$  de aire seco), alcanzando un valor de ~390 ppm en 2011. Incluso durante los últimos 50 años la producción anual de este gas aumentó de manera considerable (1,4 ppm/año) en contraste con el período 1860-1958 (0,16 ppm/año). Cabe destacar que el mayor productor de CO<sub>2</sub> en relación al número de habitantes es América del Norte: Cada ciudadano norteamericano agrega 20 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, el equivalente al peso de cuatro elefantes adultos!

Sin embargo, una parte del CO<sub>2</sub>, tanto del que ha sido producido en forma natural hasta el presente como de aquel originado a partir de la actividad humana, no se encuentran en la atmósfera (Figura 2).



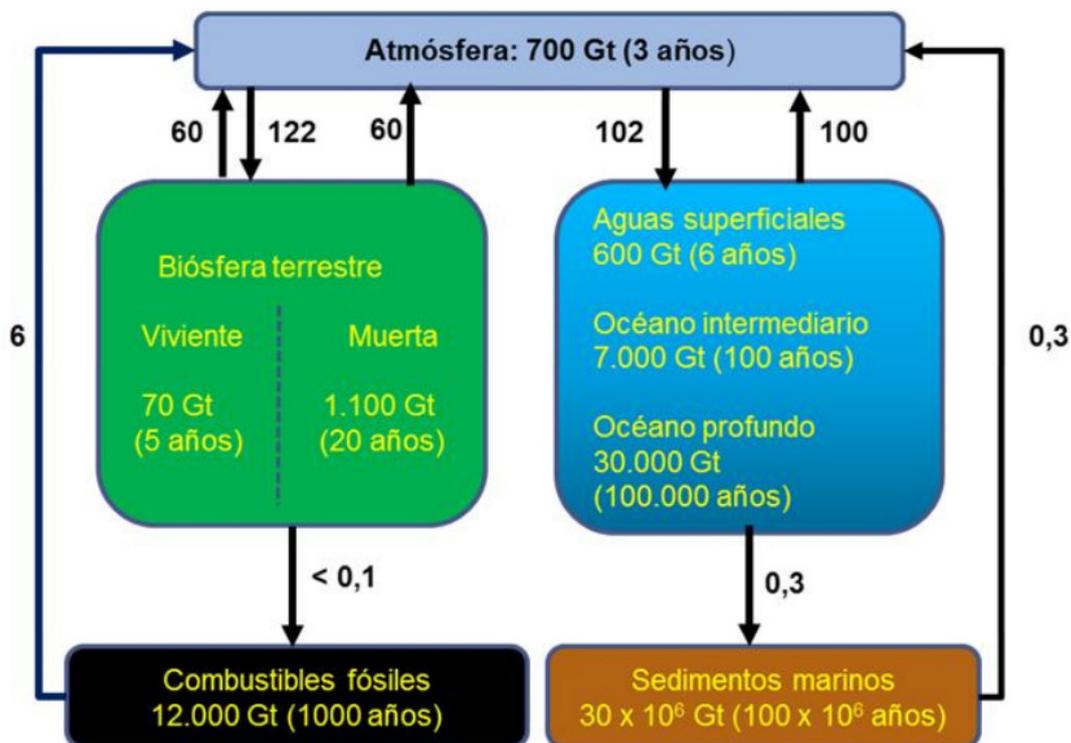
**Figura 2.** Emisiones fósiles totales ocurridas entre los años 1960 y 2000, y concentraciones anuales y mensuales de CO<sub>2</sub> medidas en la atmósfera en Gigatoneladas de carbono por año (1Gt = 10<sup>15</sup> gramos). Fuente: Houghton JT [edit.]. 2001. *Climate change 2000, the scientific basis: contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp 183-237. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10067/381670151162165141>

Aproximadamente el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (1-3 Gt de carbono por año) son transferidas e inmovilizadas en el fondo del océano por procesos físicos, químicos y biológicos. La contribución biológica a esta dinámica, conocida como la “bomba biológica de CO<sub>2</sub>” (Figura 3), juega un rol fundamental dentro de los ciclos biogeoquímicos del océano, siendo el fitoplancton, el conjunto de microorganismos fotosintéticos que viven dispersos en el agua, la principal compuerta de entrada de carbono al sistema.



**Figura 3.** Representación esquemática de la llamada “bomba biológica”. SN: sales nutritivas, necesarias para el crecimiento del fitoplancton. Bact: bacterias. COD: carbono orgánico disuelto; COP: carbono orgánico particulado. El hundimiento del COP implica el transporte de carbono a profundidades por debajo de la pycnoclina (línea de máximo gradiente de densidad).

De esta manera, el océano contribuye al balance global del carbono del planeta, actuando como un mecanismo de control del aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Como consecuencia, el océano contribuye a la regulación del clima, en conjunto con los ecosistemas terrestres y de aguas continentales. Esto se ha esquematizado en la Figura 4, donde se representan los 5 reservorios más importantes de carbono de la Tierra, así como los flujos entre los mismos y el tiempo de residencia de este compuesto en cada uno de ellos.



**Figura 4.** Las flechas indican flujos de carbono en Gt/año, los valores en los diferentes compartimentos representan el contenido de cada reservorio y los valores entre paréntesis representan el tiempo de residencia en cada reservorio. Fuente: Holmen, 2000. *Ocean Acidification Report*. The Royal Society.

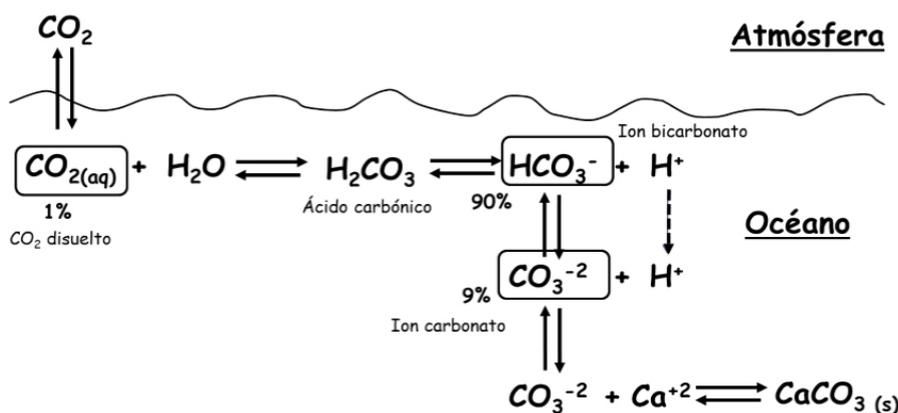
Como puede verse en la figura, existe un flujo neto de 4 Gt/año entre la atmósfera y los reservorios terrestre y oceánico, siendo este último aquel en el cual el tiempo de residencia del carbono es mayor. Sin embargo, el retorno de carbono a la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles es de 6 Gt/año, lo cual representa un aumento neto en la atmósfera de 2 Gt/año. Esto explica en buena parte el aumento del efecto invernadero, a pesar de que los sumideros de carbono terrestre y oceánico incorporan anualmente una cantidad significativa de CO<sub>2</sub> y lo inmovilizan por largos períodos (IPCC 2007).

## LA QUÍMICA DEL CARBONO INORGÁNICO Y LA ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO.

### a) El equilibrio del sistema de carbonatos

A diferencia de otros gases que se disuelven sin reaccionar luego de entrar en contacto con el agua de mar (tal como por ejemplo el oxígeno), el CO<sub>2</sub> reacciona químicamente con el agua y con el carbonato de calcio. Es, además incorporado mediante el metabolismo de algunos

organismos para formar compuestos orgánicos y carbonáceos. De hecho, sólo una pequeña fracción del  $\text{CO}_2$  se encuentra como tal en solución ( $\text{CO}_{2\text{aq}}$ ), reaccionando inmediatamente con el agua para formar ácido carbónico (que es un ácido débil), el que a su vez se disocia para producir el ion bicarbonato con la liberación de un protón hidrógeno ( $\text{H}^+$ ; Figura 5). Luego de la transformación del ion bicarbonato en carbonato (con liberación de otro  $\text{H}^+$ ), otra reacción clave involucra la formación y disolución de carbonato del calcio sólido ( $\text{CaCO}_{3(s)}$ ) (Figura 5).



**Figura 5.** Sistema de los carbonatos-bicarbonatos en el océano.

Debe notarse que el aumento en la concentración de iones  $\text{H}^+$  provoca la reducción del pH, que en el océano actual es  $\sim 8,1$ . Estas reacciones son muy rápidas: en la escala de segundos para el caso de la hidratación del  $\text{CO}_{2\text{aq}}$  y de microsegundos para el resto de las reacciones ácido-base (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001; Dickson et al., 2007). En situaciones normales, en las aguas superficiales del océano las diferentes especies químicas del carbono inorgánico disuelto (CID) se encuentran en equilibrio, correspondiendo el 1%, el 90% y el 9% al  $\text{CO}_2$ , a los iones bicarbonato y carbonato, respectivamente (Feely et al. 2009).

*b) La profundidad de compensación de los carbonatos*

Un punto crítico por su importancia en ciertos procesos biológicos, es la relación entre los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) en el medio ambiente natural, y un valor teórico: el producto de solubilidad aparente cuando el sistema se halla en equilibrio

$$(K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}]).$$

Esta relación se define como el “estado de saturación del carbonato de calcio”:

$$\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{ps}$$

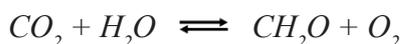
Como consecuencia, la formación de carbonato de calcio ocurrirá para valores de  $\Omega$  superiores a 1, mientras que para valores inferiores a 1 prevalecerá la disolución de ese compuesto. En contraste con las aguas superficiales, el proceso biológico dominante en el océano profundo es la respiración, la cual aporta cantidades significativas de  $\text{CO}_2$ . En consecuencia, la disolución de los carbonatos aumentará en forma natural a mayores profundidades. La profundidad a la cual comienza la disolución de los carbonatos debido a la disminución del pH se denomina horizonte de saturación o “lisoiclina”. Los organismos con

estructuras calcáreas que se encuentren por debajo de la lisoclina poseen mecanismos especiales para minimizar la disolución de los carbonatos. A mayores profundidades se encuentra la profundidad de compensación de los carbonatos (PCC), que es aquella a la cual la totalidad de los carbonatos se halla disuelta. En síntesis, las aguas superficiales estén sobresaturadas en  $\text{CaCO}_3$  y las profundas, subsaturadas. Por otro lado, la fracción de los organismos calcáreos que mueren y sedimentan hacia el fondo en las zonas menos profundas, las cuales se encuentran por debajo de la profundidad de la PCC, se acumula en los sedimentos de manera que este tipo de carbono es inmovilizado en el fondo durante miles de años. En la naturaleza estos procesos tienen como consecuencia que el pH del océano se mantenga aproximadamente constante por largos períodos ( $> 1.000$  años), gracias a la capacidad reguladora (“buffer” o “tampón”) ejercida por el sistema de equilibrio de los carbonatos (los aumentos del  $\text{CO}_2$  y la consecuente reducción del pH son compensados por la disolución de una parte de los carbonatos).

El valor de  $K_{ps}$  descrito más arriba depende asimismo de la temperatura, de la salinidad, de la presión y de la naturaleza química de los carbonatos en cuestión (fundamentalmente calcita y aragonita). En este sentido, debe notarse que la calcita y la aragonita son las formas del carbonato de calcio presentes en los organismos calcáreos marinos. Ambos minerales poseen la misma composición química, pero difieren en su estructura (simetría y forma de los cristales): la ortorrómbica para el caso de la aragonita y romboédrica en la calcita. Estos estados de cristalización les confieren diferentes solubilidades, siendo la aragonita la más soluble. Como fuera mencionado, la calcificación prevalecerá sobre la disolución si el agua está sobresaturada en calcita o aragonita ( $\Omega > 1$ ) y viceversa. En consecuencia, las profundidades donde  $\Omega = \sim 1$  corresponden a las respectivas lisoclinas, siendo la más profunda la de aragonita.

### c) La fotosíntesis y la respiración

La respiración no es el único factor biológico que actúa sobre la dinámica del  $\text{CO}_2$ . Otra serie de reacciones de importancia dentro del contexto de la química del carbono inorgánico corresponde a los procesos de fotosíntesis/respiración (F/R):

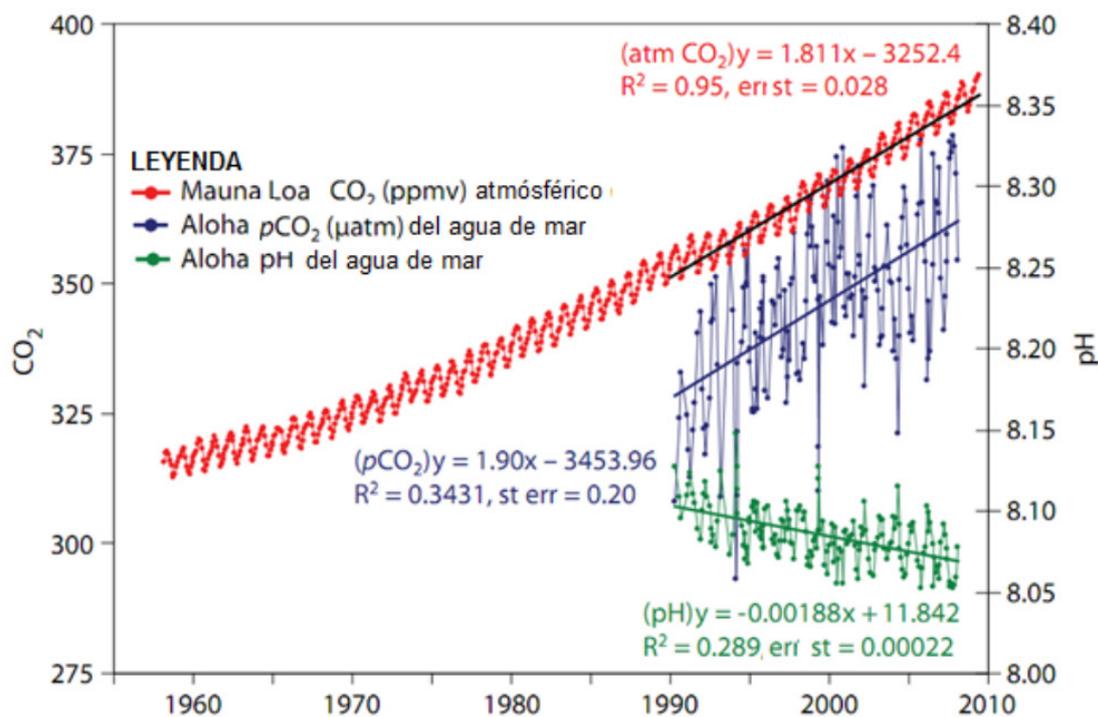


Como puede verse en la ecuación precedente, el equilibrio se hallará desplazado hacia la derecha dentro de la fracción de la columna de agua denominada “zona eufótica” (profundidad correspondiente a aproximadamente el 1% de la luz incidente en superficie, donde  $F/R > 1$ ) y hacia la izquierda por debajo de la misma ( $F/R < 1$ ). En principio, la tasa  $F/R$  definiría zonas de potencial sumidero (para  $F/R < 1$ ) o fuente (donde  $F/R > 1$ ) de  $\text{CO}_2$  desde el océano hacia la atmósfera gracias a la actividad biológica. Pero esto significa además que el balance entre la fotosíntesis y la respiración tendrá a su vez un efecto significativo sobre el equilibrio del sistema carbonatos-bicarbonatos.

### d) La acidificación del océano

El conjunto de los diversos factores físicos, químicos y biológicos presentados precedentemente determinan la dinámica del carbono orgánico disuelto en el océano en condiciones naturales. Sin embargo, desde comienzos de la era industrial se ha producido un aumento dramático en las concentraciones de  $\text{CO}_2$  atmosférico, lo que ha dado como resultado un

incremento de la cantidad de  $\text{CO}_{2\text{aq}}$ . Éste, tal como fuera descrito, reacciona con el agua formando ácido carbónico, el que al disociarse forma bicarbonato liberando iones hidrógeno (ver Figura 5). En este caso, una buena parte de estos protones reacciona a su vez con el carbonato para producir más bicarbonato. Como consecuencia, por un lado el consumo mayor de carbonato disminuye la disponibilidad de este ion para los organismos calcáreos y, por el otro, aumenta la concentración de  $\text{H}^+$ , disminuyendo el pH del agua de mar. Este proceso de acidificación está directamente relacionado con la tasa de incorporación de  $\text{CO}_2$  por las aguas superficiales del océano que ha tenido lugar desde comienzos de la era industrial hasta el presente, la que es unas 100 veces mayor que durante los últimos 420.000 años (Raven *et al.* 2005). La Figura 6 muestra la evolución de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  y del pH en las aguas de superficie de la estación de monitoreo ALOHA para una escala temporal mucho más corta ( $22^\circ 45' \text{N}$ ,  $158^\circ 00' \text{W}$ , programa HOT), entre octubre de 1988 y diciembre de 2009. En la misma pueden apreciarse tendencias muy claras y opuestas entre ambas variables, incluso para ese corto período, de tan sólo 21 años.



**Figura 6.** Evolución temporal de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  (línea azul) y del pH (línea verde) en las aguas de superficie de la estación de monitoreo ALOHA ( $22^\circ 45' \text{N}$ ,  $158^\circ 00' \text{W}$ , programa HOT), entre octubre de 1988 y diciembre de 2009. En rojo se muestran las concentraciones del  $\text{CO}_2$  atmosférico desde 1960.

Este fenómeno se ve asimismo magnificado por la presencia de una estratificación más intensa de las aguas superficiales debido al aumento de la temperatura global, las precipitaciones y el deshielo (Sarmiento *et al.*, 2004; Raven *et al.*, 2005), lo cual reduce los intercambios gaseosos entre la atmósfera y las aguas superficiales y entre estas y el océano profundo. De hecho, para el largo plazo (año 2100) se prevé una disminución dentro del rango de  $\sim 0.3$ - $0.5$  unidades de pH de los océanos (Caldeira & Wickett, 2005). Estos procesos tienen dos consecuencias mayores. La primera es que este ecosistema está disminuyendo gradualmente su capacidad de regulación de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico. Por lo tanto,

su contribución como factor de control del efecto invernadero y, por lo tanto, del cambio climático global, se debilita. La segunda es que la sobresaturación con  $\text{CO}_2$  está dando como resultado una disminución de la profundidad de la lisoclina, disolviendo el carbonato de Ca de los sedimentos en zonas poco profundas así como el de los organismos marinos que habitan en dichas profundidades. Por ejemplo, se ha observado que las profundidades de la lisoclina de la aragonita y de la calcita son entre 50 y 200 m menos profundas que alrededor del año 1.800 (Frequently Asked Questions about Ocean Acidification, [www.whoi.edu/OCB-OA/FAQs](http://www.whoi.edu/OCB-OA/FAQs)).

La reducción del pH en el océano no afecta solamente a los organismos que poseen esqueletos calcáreos. Sus efectos se hacen sentir en diversos niveles de organización, abarcando desde la fisiología hasta la estructura y función del ecosistema, siendo al mismo tiempo un factor potencial de extinción de especies y nuevas adaptaciones. Esto se debe a que la tasa de cambio en la acidificación del océano es mucho más rápida que la que ocurriría en condiciones naturales, es decir, sin los aportes provenientes de la actividad humana. Por esta razón, la problemática de la acidificación del océano se ha definido internacionalmente como “el otro problema del  $\text{CO}_2$ ”, para diferenciarla de aquella relacionada con la contribución de este gas al efecto invernadero.

## EFFECTOS DE LA ACIDIFICACIÓN SOBRE LOS ORGANISMOS MARINOS

Si se consideran los cambios que han ocurrido desde comienzos de la era industrial hasta el presente en términos de acidificación del océano, así como también los escenarios futuros previstos mediante ejercicios de modelización, resulta claro que dichas modificaciones afectarán de una manera u otra a los organismos y a los ecosistemas. Para poner en perspectiva la importancia de la biota marina en términos del ciclo del carbono, puede citarse que los autótrofos marinos fijan por año la mitad del  $\text{CO}_2$  que es fijado a la escala planetaria, constituyendo parte de lo que se denomina carbono particulado. Una parte significativa de ese carbono es transferido al medio bajo la forma de carbono orgánico disuelto y coloidal. El fitoplancton es el responsable de la mayor parte del carbono fijado, mientras que los organismos que habitan en zonas poco profundas (esencialmente macroalgas, fanerógamas marinas y simbiontes de los corales) solo fijan 1 Gt por año (Field *et al.*, 1998). Sin embargo, éstos últimos son parte esencial de los ecosistemas costeros de las regiones tropicales, templadas y frías, albergando algunas de las comunidades más complejas del planeta. Las respuestas al incremento en la concentración de  $\text{CO}_2$  (o la disminución del pH) están siendo estudiadas en gran medida experimentalmente, simulando escenarios actuales y futuros. Los efectos más severos hasta el presente se observan en los organismos que poseen estructuras calcáreas, debido a la reducción en la disponibilidad de  $\text{CaCO}_3$ , aunque su fisiología es también impactada. Como referencia, en la Figura 7 se muestran los principales grupos de organismos presentes en el océano que poseen estructuras calcáreas, la forma de carbonato de las cuales éstas están constituidas, el rol trófico y los respectivos hábitats.

Organismos	Fotosintéticos o no Fotosintéticos	Forma del carbonato de calcio	Hábitat
Foraminíferos	Fotosintéticos y no fotosintéticos	Calcita	Bentónico y planctónico
Cocolitofóridos	Fotosintéticos	Calcita	Planctónico
Macroalgas calcáreas	Fotosintéticos	Calcita	Bentónico
Corales	Fotosintéticos y no fotosintéticos	Aragonita	Bentónico
Moluscos pterópodos	No fotosintéticos	Aragonita	Bentónico y planctónico
Otros moluscos	No fotosintéticos	Aragonita + Calcita	Bentónico y planctónico
Crustáceos	No fotosintéticos	Calcita	Bentónico y planctónico
Equinodermos	No fotosintéticos	Calcita	Bentónico

**Figura 7.** Grupos de organismos calcáreos ordenados según su capacidad para fotosintetizar, la forma del  $\text{CaCO}_3$  de la cual están constituidos, y el hábitat. Fuente: Raven *et al.* (2005).

Como puede observarse, dentro de esta lista se encuentran animales y vegetales que cumplen funciones relevantes dentro del ecosistema marino. Sin embargo, buena parte de los resultados precedentes proviene de estudios experimentales y de campo realizados con un número reducido de especies, y las respuestas presentan una gran variabilidad. Por ejemplo, en muchas especies se ha observado la presencia de efectos negativos en lo que respecta a la calcificación, el metabolismo, la reproducción y el desarrollo, mientras que la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno parecen ser favorecidas por un aumento de la acidificación (Doney *et al.*, 2009; Tabla 2).

## INICIATIVAS INTERNACIONALES EN RELACIÓN AL “OTRO PROBLEMA DEL $\text{CO}_2$ ”

Debe notarse que si bien teóricamente se esperan cambios dramáticos en la estructura y la función de los ecosistemas marinos como respuesta a la acidificación, en el presente nuestro conocimiento acerca de los efectos de este tipo de perturbación sobre los organismos es muy limitado. Esto pone en evidencia la urgente necesidad de intensificar las investigaciones acerca del problema. En este sentido, varios países han iniciado programas estratégicos para el monitoreo y el estudio de la acidificación del océano y sus efectos sobre los ecosistemas y sus servicios, tales como los Estados Unidos, Inglaterra, China, Corea del Sur, Australia, Japón, y particularmente una red de naciones de la Unión Europea. Estas iniciativas se generaron principalmente a partir de la publicación en 2005 del informe de la Royal Society de Londres (Reino Unido), titulado “Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide” y de la “Declaración de Mónaco” en octubre de 2008, producida en el marco del segundo simposio internacional denominado “The Ocean in a High- $\text{CO}_2$  World”. En esta reunión participaron 155 destacados científicos de 26 países. La Declaración de Mónaco establece una serie de recomendaciones dirigidas a la comunidad científica, al gran público y a los decisores políticos, solicitando el establecimiento de políticas internacionales para hacer frente a este complejo problema. Más específicamente, se propone el lanzamiento de las cuatro iniciativas siguientes:

1) “Ayudar a mejorar la comprensión de los impactos de la acidificación en los océanos mediante la promoción de la investigación en este campo, que se encuentra todavía en su infancia”.

2) “Ayudar a construir vínculos entre los economistas y los científicos, los cuales son necesarios para evaluar el alcance socioeconómico de los impactos y costos para la acción frente a la inacción”.

3) “Ayudar a mejorar la comunicación entre políticos y científicos, para que las nuevas políticas estén basadas en resultados reales, y para que los estudios científicos puedan ser ampliados para incluir la mayoría de las preguntas de importancia política”.

4) “Evitar daños graves a causa de la acidificación del océano mediante el desarrollo de planes ambiciosos y urgentes para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> drásticamente”.

A pesar de que estas iniciativas son importantes, las mismas son pequeñas en relación a la magnitud del problema. Por lo tanto, los esfuerzos internacionales orientados a la comprensión de las implicancias de este fenómeno, así como la producción de recomendaciones para su manejo, deberían incrementarse rápidamente.

## ENSAYO VIII.2

# Contaminantes ambientales emergentes: Los fármacos como contaminantes del medio acuático

*Alfredo Salibián*

### INTRODUCCIÓN

Estamos habituados a reconocer que el agua, la que consumimos o la que hallamos en el ambiente, puede estar contaminada. Sabemos que una variedad de sustancias pueden ser contaminantes ambientales; algunas de ellas son “naturales” pero que entran en aquella categoría cuando, como consecuencia de las actividades antrópicas, sus concentraciones se elevan más allá de ciertos límites (por ejemplo los nitritos, los metales pesados); otras son “artificiales” (pesticidas, herbicidas, detergentes no biodegradables) o están ligadas a ciertas actividades productivas (el cromo de las curtiembres, los herbicidas de la soja, aditivos industriales, colorantes, plastificantes, etc.).

Los avances tecnológicos contribuyen a que la lista de contaminantes ambientales esté en permanente expansión. Recientemente se ha incorporado a ella un grupo de productos conocidos como *contaminantes emergentes*; entre ellos están los fármacos. Se los encuentra prácticamente en todos los residuos sólidos y efluentes urbanos (domésticos, municipales, industriales) o agropecuarios. Cuando llegan a los cuerpos de agua, pueden provocar diferentes efectos adversos tanto en lo referente a su calidad como a los impactos que pueden registrarse en diferentes organismos que lo habitan.

Dentro de los contaminantes emergentes se halla el grupo de sustancias utilizadas en el cuidado y aseo de las personas (cosméticos, fragancias, antitranspirantes, protectores solares, etc.), una clase que ha adquirido importancia en la última década por su sostenido uso, que también exhibe potenciales efectos perjudiciales cuando se vierten al ambiente.

El conjunto de esas dos clases de productos son reconocidos genéricamente como PPCPs (por la expresión en inglés: *pharmaceuticals and personal care products*). No se conocen PPCPs naturales; se trata de sustancias de síntesis. Cabe señalar que la Agencia de Protección Ambiental norteamericana (US EPA, por sus siglas en inglés) tiene disponible una página web (<http://www.epa.gov/ppcp/lit.html>) donde se puede consultar una completa y actualizada base de datos referidos a diferentes aspectos concernientes a los PPCPs.

La calificación de *emergentes* no debe inducir erróneamente a la conclusión de que la presencia y detección en los ecosistemas acuáticos de estos contaminantes es un hecho reciente o novedoso. Por el contrario, históricamente esas sustancias han sido vertidas a los diferentes compartimentos ambientales por décadas. Lo que preocupa en la actualidad es que su número y cantidad así como su variedad y complejidad química se han incrementado notablemente en los últimos años. Diremos, también, que lo “emergente” también incluye el interés científico por sus impactos ambientales adversos (o toxicidad y ecotoxicidad) que se suman a la de contaminantes preexistentes.

Sabemos que el medio acuático es el receptor último de muchos productos generados en las diversas actividades humanas. En el caso de los contaminantes emergentes, por tratarse de moléculas biológicamente muy activas aún en bajas concentraciones - algunos las denominan *microcontaminantes*- pueden provocar efectos perjudiciales sobre la biota cuando al final de su “trayectoria” llegan a los ambientes acuáticos. Dichos efectos pueden ser directos, sobre individuos, poblaciones o comunidades, o indirectos; estos últimos como consecuencia de procesos naturales bien conocidos como la bioconcentración y la biomagnificación que ocurren en las redes tróficas de los ecosistemas, contribuyendo de esa forma a la “amplificación” ambiental de su distribución y de sus impactos. Además, deben considerarse otros efectos que se añaden a los ecológicos; tal el caso del contacto continuado, uso o ingesta de alimentos y bebida de aguas contaminadas con contaminantes emergentes que implican también riesgos para la salud humana.

Hay evidencias que muestran que esta clase de contaminantes, merced a procesos como la percolación o escorrentía secundaria a una tormenta, puede migrar rápidamente desde los medios terrestres o acuáticos superficiales, y acumularse en otros compartimentos ambientales como los acuíferos o los sedimentos. Se los halló en otras matrices (como biosólidos-rellenos sanitarios, efluentes de plantas depuradoras, unidades de producción ganadera intensiva, acuicultura, etc.). Los basurales de residuos urbanos sólidos a cielo abierto pueden contener importantes cargas de contaminantes emergentes; se los reconoce como sitios críticos para la dispersión y amplificación ambiental de los fármacos.

## LOS FÁRMACOS COMO CONTAMINANTES EMERGENTES DEL MEDIO ACUÁTICO

En lo que sigue nos referiremos a ciertos aspectos ambientales referidos a los fármacos, utilizados en terapéutica humana y a sus productos de degradación (metabólica, fisicoquímica) que han sido detectados en ecosistemas acuáticos. Son pocas las referencias a fármacos utilizados exclusivamente en la práctica terapéutica veterinaria; como algunos de ellos orientados a intervenir en el metabolismo de los animales con el objetivo de aumentar la eficiencia nutricional de sus alimentos, o las tasas de aumento de la masa corporal y el crecimiento, especialmente en especies destinadas al consumo humano (aves, ganado).

En rigor deberíamos hablar de mezclas de fármacos ya que lo habitual es hallar en los vertidos mezclas de un número más o menos elevado de diferentes productos usados con diversos propósitos terapéuticos: antibióticos, antiinflamatorios, analgésicos, hormonas, tranquilizantes, psicotrópicos, reguladores del metabolismo lipídico, bloqueadores cardiológicos, medios de contraste, etc. Aunque no son considerados como fármacos, hay evidencias científicas que documentan la presencia en el medio acuático de cantidades mensurables de drogas ilícitas o de abuso (cocaína, opioides, anfetaminas, derivados de la marihuana). Por otra parte, no se debe olvidar que después de ser administrados, los fármacos son excretados por la orina y/o las heces, intactos o degradados en diversa magnitud (según el producto y la maquinaria metabólica del organismo particular), constituyendo de esa forma mezclas de diversa complejidad química y efectos biológicos. En todos los casos, el destino final de esas mezclas es el medio acuático.

Aún antes de ser utilizados para lo que fueron fabricados, los fármacos pueden convertirse en contaminantes. Es el caso de los no consumidos o vencidos; es costumbre generalizada desprenderse de ellos echándolos al inodoro o a las bolsas de residuos domiciliarios y, desde allí, pueden llegar, en plazos variables, a los sitios que mencionamos antes. Actualmente crece la opinión de que los impactos sanitarios y ecológicos de los fármacos pueden

reducirse si se adoptan medidas de control en todas las etapas de su *ciclo de vida* (producción, prescripción, uso, eliminación-descarte).

Si bien se trata de un fenómeno mundial, la problemática que nos ocupa es más grave en los países industrializados-desarrollados. Posiblemente ello explique el hecho de que no dispongamos aún de resultados de mediciones sistemáticas de contaminantes emergentes realizadas en ambientes de Argentina. No es un dato menor que en aquellos países el estudio científico del estado de los cuerpos de agua en cuanto a la presencia en ellos de fármacos con sus impactos ambientales se empezó a considerar recién a fines de la década del 90.

La información acerca de las concentraciones de esos productos en diferentes ambientes de nuestra región, su destino y *comportamiento ambiental* es, por ahora, fragmentaria. Hace poco tiempo se han conocido los resultados de estudios llevados a cabo en algunos países de América Latina, incluido el nuestro. Más aún, los Organismos regulatorios locales que determinan las concentraciones máximas permisibles de contaminantes en agua, considerando la protección de la biota que albergan o sus diferentes usos o destinos, no han definido aún esos parámetros para ningún fármaco. Una carencia que se aprecia por igual tanto a nivel nacional como provincial-municipal.

En relación a lo antedicho, cabe señalar que para cubrir la falencia mencionada se requiere un programa de monitoreo regular, específicamente orientado a la detección de fármacos en los medios acuáticos superficiales (ríos, arroyos, lagos, lagunas, represas). Esta carencia puede ser atribuida también a otras razones (además de la inexistencia de un programa de monitoreo específico) como las limitaciones tecnológicas, especialmente las referidas al equipamiento instrumental (analítico) requerido para su cuantificación en los diferentes medios. Además, las estadísticas de producción y consumo de fármacos son incompletas o poco confiables.

## VÍAS DE INGRESO DE LOS FÁRMACOS AL AMBIENTE

Las más importantes son las aguas residuales sin tratamiento de origen doméstico, que pueden tener diferentes fuentes y ser vertidas directamente a los cuerpos de agua (arroyo, río, lago o laguna) desde los sistemas de redes cloacales públicas; también pueden llegar desde, pozos ciegos, como aguas servidas crudas (cámaras sépticas), o arrojadas directamente sobre la tierra. Algo similar puede ocurrir en el caso de hospitales y laboratorios que fabrican o manipulan productos farmacéuticos si no disponen de plantas receptoras para el tratamiento y depuración adecuadas de sus efluentes, antes de su vertido en algún cuerpo receptor mayor. Para un vertido que contiene fármacos siempre es aconsejable disponer de una planta de depuración; no obstante, se sabe también que su eficiencia como técnica para modificar las concentraciones originales es, en algunos casos, muy limitada.

En relación a los tipos de desagüe del inodoro disponibles en los hogares de Luján son interesantes los datos aportados por el último Censo Nacional (INDEC, 2010). Del total de hogares (32.524), menos de la mitad (39,6 %) disponía de desagüe a red pública (cloaca), 32,4 % a cámara séptica y pozo ciego, y el 26,6 % sólo a pozo ciego; el 0,3 % de los hogares desagotaba sus desechos a un hoyo excavado en la tierra mientras que el 1,1 % de ellos no disponían de baño o letrina.

Es necesario aclarar que, comparadas con las de otros contaminantes, las cantidades de los fármacos en los ambientes acuáticos son relativamente bajas, mucho menores, por ejemplo, que las de ciertos contaminantes de origen industrial; esto es un impedimento importante ya que su detección y análisis, son costosos y requieren equipos y técnicas analíticas de alta sensibilidad. La concentración de los fármacos en los efluentes primarios está, gene-

ralmente, en el rango de los  $\mu\text{g/L}$  (microgramos = milésima de miligramo) -  $\text{ng/L}$  (nanogramo = milésima de microgramo), pero en ciertos casos como en los biosólidos que se exportan desde ámbitos ganaderos (tambos y feedlot) a espacios agrícolas como fertilizantes, pueden ser hasta 1000 veces mayores.

Por otra parte, no debemos olvidar que la composición química y concentración de los fármacos que pueden encontrarse en los vertidos iniciales u originales pueden ser diferentes de los que finalmente llegan y se detectan en los ecosistemas acuáticos. Un vuelco directo, sin tratamiento previo, no es comparable con el de otro efluente sometido previamente a un proceso o sistema de depuración o degradación de los fármacos que contiene. No es de menor relevancia recordar que tanto las moléculas originales de los fármacos como sus productos de degradación biológica, física o química pueden ser farmacológicamente muy activos, aún a concentraciones muy bajas. En otras palabras, la degradación de un fármaco no necesariamente genera productos inactivos o inocuos.

Pensemos, por ejemplo, en un efluente conteniendo elevadas cantidades de antibióticos (por ejemplo, el de un hospital o de un laboratorio de productos químico-farmacéuticos) que es vertido a un dispositivo que lo conducirá a un cuerpo de agua: la consecuencia de ese vuelco directo será, entre otras, la reducción (y aún la muerte) de las poblaciones de bacterias, componentes normales y críticos que sirven para la degradación y el reciclado de la materia, o puede aumentar la población de bacterias resistentes. Los efectos serán, obviamente, diferentes si un vertido del mismo origen y composición, ha sido previamente sometido a procesos de inactivación. Además, los tratamientos convencionales de los efluentes están diseñados para remover agentes patógenos y nutrientes antes que fármacos.

La dinámica descrita hasta aquí no excluye la posibilidad, comprobada, de que cantidades no despreciables de ciertos fármacos puedan persistir a pesar de los procesos tecnológicos de depuración o potabilización, y ser hallados en el agua potable, solos o en mezclas con efectos aditivos; esos efectos pueden ser tóxicos o, sin serlo, exponen a las personas a un consumo de lo que podríamos caratular como *fármacos ambientales*, esto es, de medicamentos no prescritos por un médico o simplemente innecesarios, que pueden ser incorporados desde los sistemas de agua corriente o desde el agua extraída de las napas subterráneas contaminadas.

Bajas concentraciones de algún fármaco pueden ser inofensivas para los animales que viven en el río donde han sido volcados o para las personas que consumen animales o utilizan agua de esos ambientes; pero las mismas cantidades de otras sustancias que pueden coexistir con aquéllas, farmacológicamente muy activas (por ejemplo: hormonas, antibióticos, anticonceptivos, cafeína, cardioactivos, psicotrópicos) pueden significar serias perturbaciones en las personas que beben esa agua o consumen peces capturados en esos sitios.

Sólo con el propósito de ilustrar los riesgos de los fármacos (intactos o sus productos de degradación metabólica o fisicoquímica) podemos enumerar algunos efectos que están documentados científicamente para el caso de peces dulceacuícolas: feminización de machos y masculinización de hembras, cambios en la expresión génica, genotoxicidad, alteración de los mecanismos de defensa inmunológica, cambios en el metabolismo nitrogenado, acumulación en tejidos críticos, modificación en la *performance* natatoria y en la conducta de escape de predadores o inhibición de la función ovárica.

## LOS FÁRMACOS SE HALLAN NO SÓLO EN LA FARMACIA

Obviamente la cantidad de fármacos que pueden llegar a los diferentes ambientes depende de varios factores; entre ellos destacamos las cantidades globales producidas y las

consumidas de cada comunidad. La literatura registra algunos datos interesantes tanto por las cantidades involucradas como por su notable variabilidad al comparar los valores de diferentes países. Veamos algunos ejemplos: el consumo total de aspirina en Suiza en el año 2004 fue de 44 toneladas, mientras que en Dinamarca (con un número de habitantes comparable) se había registrado (en 1997) un consumo de sólo un cuarto de tonelada. En Inglaterra (año 2000), el consumo de ibuprofeno fue de 162 toneladas, que contrastó con el de Italia (2 toneladas en 2001).

Las cifras del mismo Censo Nacional antes mencionado, indicaron para el Partido de Luján, provincia de Buenos Aires, una población de 106.899 habitantes; si suponemos que la mitad de esa población ingiere (en promedio) un comprimido diario de 0,5 g de aspirina por día, el total del consumo anual de dicho fármaco, sería de ... ¡10.690 Kilogramos!. Si efectuamos el mismo cálculo para el ibuprofeno (comprimidos de 400 mg), el consumo global de los mismos lujanenses, alcanzaría a poco más de 7803 Kilogramos por año; obviamente, el cuadro se complica si hacemos el mismo cálculo para distritos más poblados como Pilar o Escobar o si nos aproximamos a la realidad con mayor precisión, esto es, considerando el total de los fármacos (recetados o de venta libre) que la misma población consumió (mas los que descartó) en un año.

## MÁS CARENCIAS

Los fármacos como contaminantes emergentes tienen múltiples áreas oscuras. Una de ellas es la virtual ignorancia que se tiene acerca de sus tasas de degradación ambiental en medios de diferente perfil fisicoquímico, información que es crítica para configurar un esquema integral de la dinámica de sus comportamientos ambientales.

A la hora de diseñar estrategias de protección ambiental para estos productos es necesario también establecer la eficiencia de las plantas de depuración para reducir la carga de fármacos vertida al medio. No todos ellos pueden ser removidos con igual eficacia: uno de los que es de difícil remoción es el diclofenac. La aspirina o el paracetamol, en cambio, pueden ser significativamente reducidos de los efluentes (y hasta eliminados). Además, hay que tener en cuenta los efectos adversos de los mismos fármacos que se quieren eliminar sobre la eficiencia misma del sistema de depuración: los antibióticos contenidos en los vertidos pueden matar la flora bacteriana de la planta depuradora, anulando en pocas horas su funcionamiento.

Por otra parte, bajas concentraciones de un fármaco pueden ser inofensivas para los animales que viven en un río donde han sido volcados pero las mismas concentraciones de sustancias muy activas (por ejemplo: hormonas, antibióticos, anticonceptivos, cafeína, anticonceptivos orales, antihistamínicos, cardioactivos, psicotrópicos) pueden desencadenar serias perturbaciones en las personas que bebiendo esa agua, están incorporando “por la fuerza” —como dijimos más arriba— sin su conocimiento, un fármaco que no fue prescripto por su médico.

Es razonable suponer que esos efectos indeseados se pueden atenuar o hasta ser eliminados si el producto es degradado después de llegar a un ambiente particular que se caracterice por exhibir condiciones físicas y químicas incompatibles con la estabilidad del fármaco. Sin embargo, eso no ocurre en todos los casos y en la misma proporción.

Aún en bajas concentraciones, los fármacos pueden alterar en forma significativa el sistema endocrino o perturbar las funciones hormonales asociadas a la reproducción de las

especies que entren en contacto con ellos. Se carece por ahora de información suficiente referida a los riesgos humanos reales de los fármacos hallados en el ambiente acuático.

## **OTROS EFECTOS DE LOS PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**

Lo que no conocemos a ciencia cierta es cuáles son los efectos de una exposición crónica (esto es, continua o permanente) a los fármacos como la que pueden padecer los organismos presentes en el ambiente acuático. Tampoco podemos saber con certeza cuáles son las interacciones entre varios fármacos que se encuentren en un mismo sitio; en ese caso puede ocurrir que los riesgos de esas mezclas sean mayores que los correspondientes a cada integrante de la mezcla, por separado.

En algunos ámbitos científicos de Europa y Estados Unidos hay consenso de que la presencia de fármacos en los medios acuáticos posiblemente sea inevitable; pero también hay acuerdo de que sus cantidades y concentraciones pueden limitarse o ser controlados y sus efectos mitigados con técnicas apropiadas.

## **PAPEL DE LAS ORGANIZACIONES GUBERNAMENTALES Y ONGS**

Terminamos estas líneas expresando que los problemas, provocados por los contaminantes emergentes y en particular por los fármacos y sus derivados en el ambiente, merece ser incorporado por igual a la agenda de los Organismos gubernamentales (por ejemplo, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, Municipalidades) y de las ONGs así como en los Programas de Investigación las Universidades; el problema pronto golpeará las puertas de nuestros despachos, hospitales y hogares. Obviamente los fármacos no serán prohibidos (ni ello debiera ocurrir); lo que necesitamos es disponer de un sistema de monitoreo ambiental permanente, eficaz, así como de alternativas remediativas, de marcos legales regulatorios (para la población, la industria) de los aspectos que, brevemente, acabamos de exponer.

Por último, podemos anticipar que la contaminación ambiental por fármacos aumentará en el futuro: los datos de 75 empresas que constituyen el núcleo de la industria farmacéutica en Argentina mostraron que la facturación de su producción (sólo para el mercado interno) aumentó 56 % entre 2004 y 2007 (INDEC)

## ENSAYO VIII.3

# Estudios sobre el estado del río reconquista

*Alfredo Salibián*

### IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PROCESOS DE URBANIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

Es sabido que la migración urbana, acentuada paulatinamente desde mediados del siglo pasado, estuvo asociada a la implantación de modelos económicos globalizadores a los que se superpuso, en fecha reciente, en nuestro país, la expansión de la frontera agrícola. Este último acentuó la tendencia pre-existente de “expulsión” de las poblaciones humanas ocupadas en actividades agropecuarias, las que se desplazaron, en casi todos los casos, hacia la periferia de los grandes centros urbano-industriales, generando aglomeraciones espontáneas, en un proceso que afectó a pueblos y ciudades menores. Los migrantes, ahora desarraigados y precarios, afrontan situaciones de vulnerabilidad social y ambiental. Confirmando lo antedicho podemos citar datos referidos a la población residente en villas de emergencia y asentamientos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires: 107.422 habitantes en 2001 y 163.587 en 2010, sobre una población total de 2.776.138 (en 2001) y 2.891.082 (en 2010), respectivamente. Es conocido que en esos nuevos asentamientos -en contextos de severo y creciente deterioro ambiental- se generen situaciones de alto riesgo, especialmente las vinculadas a los aspectos sanitarios.

Se puede afirmar que el AMBA (Área Metropolitana Buenos Aires, que reúne a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 24 Partidos circundantes) es una de las regiones más afectadas por la urbanización: sus cursos de agua exhiben un elevado grado de antropización y sobre su territorio ocurren rápidos y significativos cambios en las estrategias de uso del recurso suelo. Es el caso, por ejemplo, del paralelo incremento ocurrido en las urbanizaciones privadas (conocidas como “barrios cerrados” o countries), que está asociada a ciertas acciones que inciden sobre el ambiente, tales como relleno de terrenos, desvíos de los cursos originales de los cuerpos de agua, construcción de canales y compuertas, etc.

El desarrollo de la urbanización en Argentina se acentuará en el futuro próximo; las proyecciones disponibles permiten anticipar que en el año 2025 el 92.7 % de la población del país será urbana. Otro tanto ocurrirá en el resto de los países de la región (Chile: 92.8; Uruguay: 91.7; Brasil 87.7 %). Para ese mismo año está previsto que la población mundial alcance 7827 millones de habitantes, 709 de los cuales (9.1 %) se hallarán en América Latina.

Esos porcentajes son próximos y aún superiores a los de muchos países industrializados; en éstos casi el 100 % de la población urbana tiene servicios cloacales, drenaje urbano y abastecimiento de agua potable de alta calidad sanitaria. La situación de la población radicada en la Cuenca del río Reconquista es, en cambio, particularmente crítica; en el año 2010 la Cuenca albergaba a 15 % de la población total del país (de los cuales 16 % eran habitantes que correspondían a la categoría de personas con “necesidades básicas insatisfechas) y a 32 % de la de la ciudad de Buenos Aires y su Conurbano.

Una proporción importante de esta población ocupó los espacios de manera espontánea, al margen de cualquier planificación; vive en condiciones de aguda-extrema precariedad económica y sanitaria, sin acceder a los servicios sanitarios básicos: baste señalar que ese año el 62 % de los habitantes de la Cuenca carecía de cloacas y el 39 % no tenía agua potable de red.

El desarrollo de la actividad productiva de Argentina también ha sido desproporcionado y no planificado y debe ser analizado en el contexto físico particular de la Cuenca. En ella se han radicado no menos de 12.000 establecimientos industriales de pequeña y mediana escala, de los cuales unos 300 eran de Tercera Categoría (las de mayor riesgo ambiental). Las industrias utilizan el recurso agua en sus procesos, volcando al río desechos con escaso o nulo tratamiento previo, aportando carga orgánica y diversas sustancias entre las cuales no pocas son de alto riesgo toxicológico y ecotoxicológico. Diversos autores estimaron que en nuestro país sólo el 10 % de los efluentes industriales son tratados antes de su vuelco a los ríos. A lo antedicho debe añadirse el impacto asociado a la disposición en terrenos de la cuenca del río de los residuos sólidos urbanos.

Además, la insuficiencia y desactualización de los mecanismos de control y regulación sobre las emisiones y desechos volcados a los cursos de agua contribuyeron a la intensificación de la contaminación, modificando el funcionamiento ecosistémico tanto de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, como el de los ambientes circundantes con los cuales interaccionan.

En suma, podemos concluir que las evidencias disponibles confirman que las cuencas hídricas de la región pampeana sufren las consecuencias de numerosos factores adversos, persistentes y simultáneos en el tiempo, secundarios a la contaminación industrial y de la urbanización. De allí que el monitoreo permanente de la calidad de las aguas de los cuerpos periurbanos se visualiza como una necesidad impostergable al igual que la adopción simultánea de medidas adecuadas de vigilancia, remediación o mitigación que correspondan.

## **ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO RECONQUISTA**

En la región NE-NO de la Provincia de Buenos Aires, en el ámbito del AMBA, conocida como la Llanura Bonaerense, se hallan las cuencas de los ríos Matanza-Riachuelo y Reconquista; poco más al N se encuentra la del río Luján, cuyas aguas superficiales y subterráneas, aunque en grado menor, presentan igualmente signos de estrés asociado a la contaminación antrópica. Los tres confluyen en el estuario del río de la Plata. El cauce del Matanza-Riachuelo marca el límite de la pampa ondulada y el inicio de la pampa deprimida. El último Censo Nacional indicó que el conjunto de las tres cuencas alberga al 32.9 % de la población total del país.

El Reconquista es un típico río de llanura que se origina de la confluencia de tres arroyos principales: La Chozza, Durazno y La Horqueta. Desemboca en el río Luján, ingresando así al estuario del río de la Plata. Tiene una longitud de unos 55 Km, su profundidad y ancho son muy variables. La cuenca cubre 1670 Km<sup>2</sup>, que territorialmente se integran con la superficie, total o parcial, de 18 Partidos. A lo largo de su curso recibe unos 130 tributarios; sumando al cauce principal con la de los afluentes, se alcanza una longitud de aproximadamente 600 Km.

En la cuenca alta, predominantemente agropecuaria, a la altura de la unión de los arroyos, se ha emplazado la represa Ing. Carlos Francisco Roggero (inaugurada en 1971), que regula el escurrimiento del río y ha servido para controlar la recurrencia de las inundaciones que en el pasado afectaban severamente a la Cuenca; la Represa presenta un embalse o lago

artificial (Lago San Francisco) de unas 400 Has de superficie. Posteriormente se realizaron, aguas abajo, obras de ingeniería hidráulica (canal aliviador, canalización, construcción de puentes, terraplenes, estaciones de bombeo, etc.) que intentaron complementar mismo objetivo de controlar las inundaciones y paliar sus efectos ambientales y sociales adversos. Los vertederos de la Represa permiten el escurrimiento del agua del Lago para conformar el nacimiento del río.

La cuenca media involucra el cauce principal del río en una zona fuertemente urbanizada, industrializada y de alta densidad poblacional. La cuenca baja se vincula al río Luján; allí drenan dos tributarios importantes: los arroyos Las Catonas y Morón, asociados a su impacto ambiental adverso que se ha demostrado, atribuido a sus cargas de contaminantes químicos y materia orgánica; la confluencia del Morón establece un punto de inflexión en la calidad de las aguas del río: desde allí en adelante su deterioro se agudiza notablemente.

## ESTUDIOS DEL AGUA DEL RÍO RECONQUISTA: BREVE RESEÑA

Los estudios en el Río Reconquista referentes en particular a la contaminación de su agua superficial, han sido objeto de numerosos proyectos. Entre ellos, uno de los más ambiciosos por la metodología utilizada, el área y el tiempo cubiertos por sus monitoreos, fue el emprendido por investigadores y técnicos del Programa de Ecofisiología Aplicada, (PRODEAI) del Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Programa en cuya dirección ha participado quien escribió este ensayo.

Sus primeras evaluaciones se iniciaron a mediados de la década del 80, con el relevamiento de un número de parámetros fisicoquímicos y biológicos de muestras, tomadas en sitios del curso principal del río, desde sus nacientes hasta las proximidades de su desembocadura.

Posteriormente, en el marco de Proyectos posteriores, las investigaciones continuaron incorporando diferentes sub-sectores de la cuenca; se llevaron a cabo estudios en muestras de la cuenca alta donde se hallan los arroyos afluentes que le dan origen, hasta conformar el Lago originado luego de la construcción de la Represa Roggero, que marca desde entonces el inicio del río propiamente dicho. Además, se incorporaron nuevas metodologías, que permitieron abordar el estudio de otros parámetros adicionales y el análisis de otros compartimientos ambientales, además del agua, como los sedimentos de fondo.

Así, se emprendieron una serie de trabajos tendientes a la estimación de la dinámica de una eventual acción depuradora de la Represa, posiblemente por su contribución a la sedimentación de los materiales y flora bacteriana que desembocan en él; complementariamente se efectuó una evaluación integral del impacto de las actividades agropecuarias en los arroyos del cauce superior o cabecera del río, como fuente de contaminación difusa que puede afectar las características de los suelos y del agua (subterránea y superficial) así como la biodiversidad de las comunidades acuáticas residentes en los arroyos. Para estos objetivos se estimaron, entre otros, las cargas de entrada y salida de los materiales transportados y se determinó la estructuración física del embalse.

Un listado somero de las principales determinaciones y análisis efectuados en las muestras es el siguiente:

**Parámetros abióticos:** físicos, químicos (nutrientes, metales pesados, insecticidas, oxígeno disuelto, demanda química y biológica de oxígeno, alcalinidad, cálculo de Índices de calidad del agua, etc.).

**Parámetros bióticos:** diversidad y estructura de comunidades de fitoplancton y zooplancton, perfil microbiológico.

**Biomarcadores de toxicidad:** impactos sobre la actividad de enzimas clave en los mecanismos de desintoxicación, de protección para los efectos de estrés oxidativo y de funcionamiento hepático, utilizando especies nativas y estandarizadas como organismos test (larvas de anfibio, peces), en condiciones de laboratorio e in situ,

**Bioensayos de toxicidad:** estas técnicas, con especies sensibles, son una herramienta útil para la cuantificación integrada del grado de toxicidad de mezclas complejas como lo son las aguas naturales contaminadas. Se realizaron ensayos agudos (de letalidad) y crónicos subletales, in situ y en laboratorio (mediante indicadores tempranos de contaminación como la actividad de algunas enzimas branquiales, hepáticas y cerebrales biomarcadoras de toxicidad), utilizando larvas de anfibio, y alevinos y juveniles de peces; también se efectuaron análisis del impacto de las muestras ambientales sobre la actividad natatoria de peces y larvas de anfibio.

También se realizaron bioensayos con algas, de dos tipos: multiespecíficos-prolongados, y uniespecíficos (con especies conspicuas de las diferentes comunidades algales del río). Las algas exhibieron una respuesta inmediata en su tasa de crecimiento (estimulación o inhibición) por efecto combinado de los nutrientes y contaminantes presentes en cada una de las muestras. Cabe mencionar que en casi todos los casos estos ensayos se llevaron a cabo utilizando técnicas originales creadas por los investigadores del PRODEA.

**Genotoxicidad:** determinación de efectos sobre el aparato genético de eritrocitos de larvas de batracio.

## RESULTADOS

Los protocolos utilizados en los muestreos permitieron una precisa evaluación de las variaciones espaciales de los parámetros analizados; al mismo tiempo, la regularidad de la secuencia de los muestreos brindó información adicional en cuanto a las variaciones temporales de los mismos parámetros.

A continuación se detallan en forma sumaria algunos de los resultados que se consideran más significativos:

### *Parámetros Abióticos:*

Comparados con los valores hallados en las nacientes, algunos de los contaminantes críticos (por ejemplo, metales pesados e insecticidas organoclorados) estuvieron presentes en casi todos los sitios y muestreos; sus concentraciones aumentaron notablemente en las proximidades de la desembocadura, superando casi siempre, por mucho, los niveles guía de calidad estipulados por la legislación nacional y provincial para la protección de vida acuática. Los insecticidas detectados seguramente son consecuencia de las escorrentías desde las áreas cultivadas de las márgenes.

Las concentraciones de oxígeno confirmaron ese deterioro; en algunos sitios las condiciones fueron de virtual anoxia permanente. En el mismo sentido, especialmente en la cuenca media, se apreciaron los cambios en otros parámetros indicadores de contaminación domiciliar y municipal (formas inorgánicas de N, cloruros, fosfatos y fenoles). Los valores de la DQO y de la DBO5 fueron muy altos, con aumentos aguas abajo, indicando la presencia

de importantes cargas de materia orgánica no biodegradable.

La calificación de la calidad del agua del río sobre la base de cuatro Índices coincidió con las conclusiones precedentes oscilando entre moderadamente tóxico y semejante a cloacal crudo séptico-excesivamente contaminado.

#### *Parámetros Bióticos:*

- Fitoplancton: A lo largo del río se registró un máximo de 160 especies de algas. La densidad del fitoplancton fue extremadamente fluctuante tanto espacial como temporalmente. Es interesante que las comunidades de cada sitio presentaran una estructura típica y diferencial respecto a los otros.

- Zooplancton: La densidad media de la mayor parte de los grupos del zooplancton mostró una tendencia clara a disminuir aguas abajo.

#### *Bioensayos de Toxicidad:*

En general, los resultados de los bioensayos mostraron una excelente correlación con el perfil fisicoquímico de las muestras ensayadas.

#### *Genotoxicidad:*

Se apreciaron respuestas positivas aún en sitios en los cuales el perfil fisicoquímico no delataba condiciones de extrema contaminación.

#### *Microbiología:*

La polución bacteriana del agua fue alarmante; como era de esperar la misma fue espacial y temporalmente fluctuante. Los resultados fueron fluctuantes temporal y espacialmente, e indican una importante contaminación fecal que es de doble origen: descargas cloacales sin tratamiento y vertidos clandestinos de tanques sépticos. La intensidad de esta contaminación se acentuó en los tramos finales del río. Todos los valores calculados para expresar cuantitativamente el grado de contaminación resultaron muy superiores a los máximos permitidos por la legislación vigente.

## **ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES**

El Reconquista es un río cuyas aguas superficiales presentan una importante contaminación química y bacteriológica. Se puede afirmar que en la actualidad ninguna parte del río es realmente "limpio" o prístino. Cuando se analizan todos los resultados en su conjunto y en forma integrada, se alcanza la conclusión de que la calidad del agua superficial del río presenta un deterioro progresivo y sostenido aguas abajo; el punto crítico que marca una clara diferenciación es la desembocadura del arroyo Morón, después del cual el deterioro se agudiza de manera notable.

Por otra parte, la poca velocidad del río es un factor negativo ya que los efectos de los vertidos provenientes de sus márgenes no pueden ser autodepurados o amortiguados por dilución como ocurre en otros cuerpos de agua de mayor caudal.

Se puede afirmar que el río Reconquista es una sucesión de varios ríos, cada uno con aguas de características químicas y biológicas diferenciadas. Por otra parte, si la información se ordena y analiza desde la perspectiva temporal, apreciamos que el deterioro ha ido aumentando, especialmente en los últimos 20 años. Los resultados muestran que el agua del río no es apta para usos humanos, y que afecta la preservación de la biodiversidad.

Varios autores han calificado al Reconquista como un “río muerto”. Sin embargo, sobre la base de los resultados logrados en los estudios de nuestro equipo, podemos afirmar que la calidad del agua se puede mejorar si se dispusieran medidas apropiadas de remediación. Para tales efectos consideramos que ya se dispone de una masa de información suficiente, la que debería complementarse con monitoreos integrados permanentes, sobre la base de un abordaje interdisciplinario. El listado de las citas correspondientes a las publicaciones conteniendo la información generada desde el PRODEA puede solicitarse por correo electrónico al autor: [salibian@mail.unlu.edu.ar](mailto:salibian@mail.unlu.edu.ar).

## ENSAYO VIII.4

# Bases ecológicas y económicas para la elección del sistema de tratamiento de las aguas residuales

*Julia Toja*

Actualmente la mayoría de los ríos están deteriorados por la actividad humana. El caso más tradicional es la contaminación por materia orgánica, materia que los ecosistemas acuáticos tienen cierta capacidad de neutralización (autodepuración), debido a que siempre han recibido, de forma natural, un aporte de materia orgánica procedente de los ecosistemas terrestres adyacentes (hojarasca, sustancias orgánicas del suelo lavadas por la lluvia, cadáveres de animales, etc). Otros tipos de contaminación, como el industrial, con sustancias tóxicas de diversa clase, son más difícilmente neutralizables e, incluso, pueden llegar a frenar la autodepuración de la materia orgánica. Por ello es preciso depurar las aguas residuales hasta un nivel suficiente para que la contaminación sea asimilable por los ecosistemas acuáticos receptores. La construcción de depuradoras puede implicar un gran esfuerzo inversor, que puede no ser el mayor problema, sí puede llegar a serlo el mantener en funcionamiento correcto esas instalaciones.

En los años setenta se realizó en España una inversión importante en la construcción de plantas de oxidación total en pequeños y medianos municipios. Dichas instalaciones, en principio, eran técnicamente adecuadas para depurar las aguas residuales urbanas, pero los gastos de funcionamiento excedían a la capacidad económica de los municipios. Por esta razón muchas de ellas funcionaron hasta que a la municipalidad correspondiente llegó el primer recibo de la electricidad. En otros casos funcionaron durante un periodo algo más largo, pero los gastos de operación y mantenimiento hicieron que dichas plantas se cerraran antes de un año. En los restantes no llegaron nunca a funcionar (Díaz Lázaro-Carrasco, 1988).

Por lo tanto si la construcción de depuradoras se realiza sin criterios adecuados, tanto técnicos como económicos, lo más probable es que los resultados sean igualmente desastrosos. Para la elección del sistema de tratamiento primero ha de tenerse en cuenta la calidad del agua residual, después las características del cauce receptor y su capacidad de autodepuración y, finalmente, la viabilidad económica del proceso.

Se podrían considerar varios tipos de aguas residuales: 1. Aguas residuales urbanas; 2. Aguas residuales industriales que pueden ser inorgánicas u orgánicas y dentro de éstas últimas están las naturales y las sintéticas y 3. Aguas residuales mixtas

Esta clasificación supone poner fronteras en un conjunto que, por ser continuo, se presta poco a ello. En un extremo tendríamos las aguas residuales domésticas, en el otro las aguas de cualquier industria, por ejemplo las refinerías de petróleo. La gradación corresponde a la mayor o menor proporción de materia orgánica asimilable por los ecosistemas naturales. Gradación que es continua: a medida que a las aguas residuales domésticas (en principio sólo fecales) se van incorporando, las procedentes de lavados con sus detergentes, suavizantes, abrillantadores, etc., van tomando características que les hacen más extrañas al

medio natural. En el alcantarillado se pueden unir aguas procedentes de pequeños talleres, escorrentía de la calle, etc., que cada vez las van acercando más a las aguas industriales. En núcleos urbanos más importantes se incorporan residuos de fábricas, incluso de polígonos industriales, y terminan resultando unas aguas mixtas que presentan características muy distintas y, de ordinario, con muchos tóxicos.

Por otro lado, las industrias agropecuarias se parecen en su composición a las domésticas pero, en general, con una carga mucho mayor por unidad de volumen de vertido. Los productos orgánicos sintéticos (por ejemplo, plaguicidas) son totalmente extraños a la naturaleza, y casi todos inhiben la vida de los sistemas naturales en mayor o menor grado.

Los cauces receptores de los vertidos tienen un mayor o menor poder autodepurador que está en función de su caudal, pendiente, turbulencia, etc. En general está en función de su capacidad para captar oxígeno de la atmósfera. Para que sus características naturales no se modifiquen, sólo admiten una determinada carga orgánica, y el sistema de depuración debe conseguir que el agua que finalmente llegue al cauce no exceda de ese límite. Esto es interesante desde el punto de vista económico, ya que el sistema de tratamiento debe ser lo suficientemente severo para cumplir esta premisa, pero no más.

Después de una contaminación con materia orgánica, hay un cambio catastrófico para las comunidades naturales (Masson, 1984, Pesson, 1979): las especies propias de los ríos desaparecen, siendo sustituidas por una comunidad constituida, básicamente, por bacterias descomponedoras de materia orgánica (que consumen una gran cantidad de oxígeno a expensas del que puede ingresar a partir de la atmósfera), por algunos protozoos y por algunos animales muy resistentes a las bajas tensiones de oxígeno (Figura 1). A medida que la materia orgánica va degradándose, pueden empezar a aparecer algas, en primer lugar aquellas capaces de sobrevivir con una vida

parcialmente heterótrofa. La fotosíntesis de estas algas aumenta la concentración de oxígeno en el agua, por lo que el proceso bacteriano de descomposición de la materia orgánica se acelera, y poco a poco se van restableciendo las condiciones primitivas.

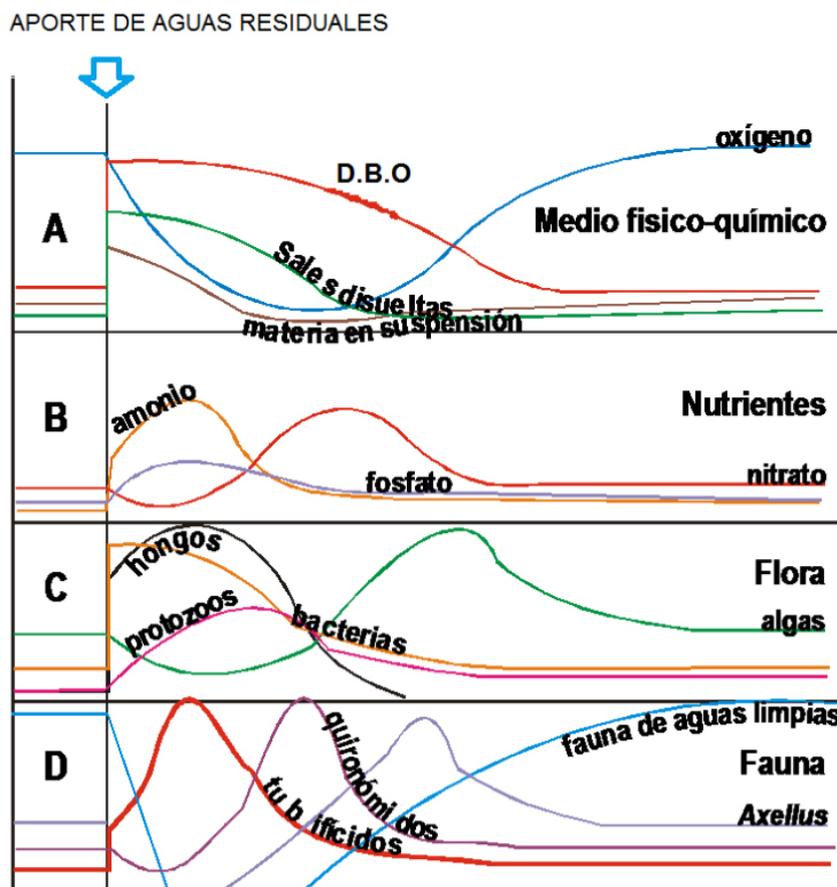


Figura 1. Proceso de Autodepuración. Evolución en el tiempo de diversas variables tras una contaminación orgánica.

Es decir, el poder autodepurador de un cauce está determinado por la velocidad de recuperación del oxígeno según la expresión:

$$O = A + F - Q - B$$

siendo  $O$  la velocidad de intercambio de oxígeno;  $A$  la velocidad de ingreso de oxígeno atmosférico (que depende del caudal y la turbulencia, por lo tanto, de la pendiente del cauce);  $F$  la velocidad de producción de oxígeno por fotosíntesis;  $Q$  la velocidad de consumo por reacciones químicas;  $B$  la velocidad de consumo por reacciones bioquímicas.

Estas variables hay que tenerlas en cuenta también en la depuración, ya que muchos de los sistemas son biológicos, basados en el proceso de autodepuración. Se pueden diferenciar dos tipos tecnología: Convencional (Degremont, 1979) y Blanda o de bajo costo (Díaz Lázaro-Carrasco, 1988). Cada una de ellas tiene su aplicación según las características del vertido a depurar.

Los sistemas convencionales biológicos se basan en acelerar el proceso de autodepuración suministrando al agua grandes cantidades de oxígeno suficientes para que, en poco tiempo (unas horas), las bacterias degraden toda la materia orgánica. Tiene la ventaja de requerir muy poco espacio para la instalación, pero el inconveniente de tener gastos de mantenimiento elevadísimos, tanto por la energía eléctrica que precisan como por la necesidad de estar asistidas por mucho personal que, además, debe ser especialista. Actualmente los gastos sobrepasan los 0,25 U\$/m<sup>3</sup>. Son sistemas idóneos para poblaciones de más de 100.000 habitantes en las que las arcas municipales pueden asimilar el gasto y, además, el coste del terreno es muy elevado, por lo que deben construir sistemas compactos.

Los tratamientos convencionales se suelen realizar en varias fases. La mayor o menor complejidad vendrá determinada por las exigencias en la calidad del efluente. La mayoría de los sistemas constan de un tratamiento primario, que normalmente consiste en una simple decantación del agua y un tratamiento secundario que es el que se basa en la autodepuración (Figura 2). Hay dos sistemas: de lechos bacterianos y de fangos activados (más efectivo pero más caro). En determinadas ocasiones es necesario realizar un tratamiento terciario que generalmente es químico, aunque en algunos casos se pueden utilizar tratamientos biológicos (desnitrificación, eliminación bacteriana de fósforo, etc.).

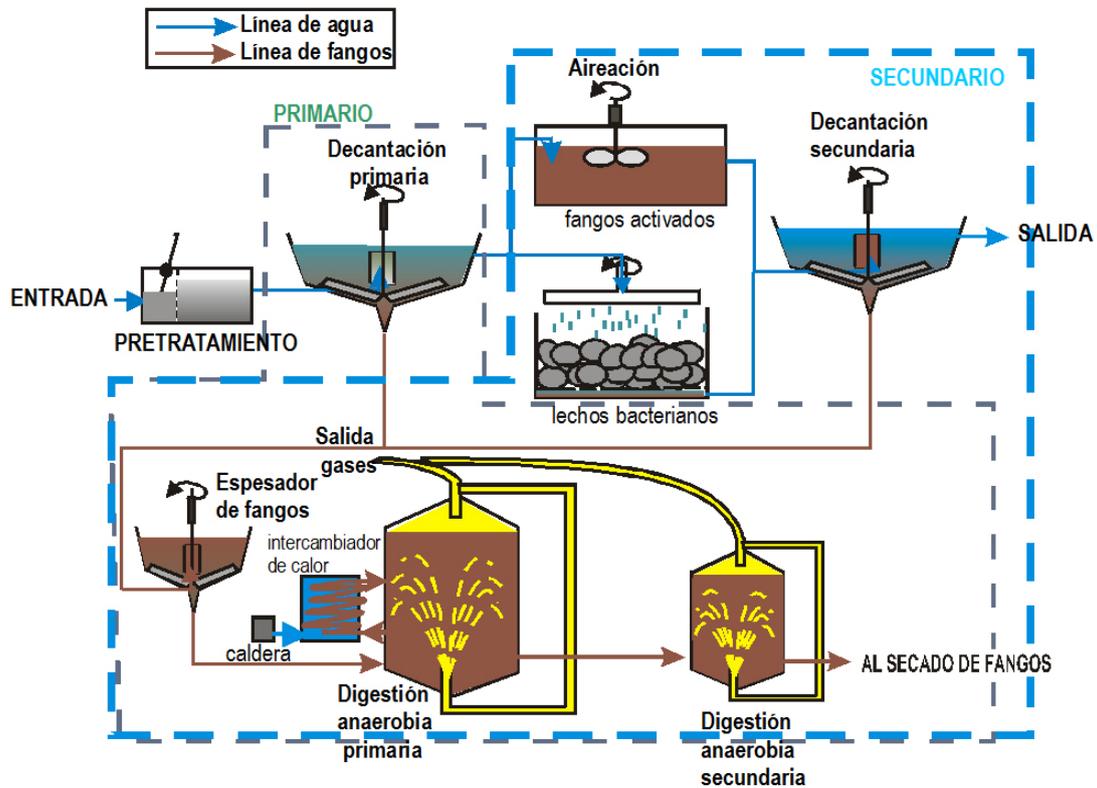


Figura 2. Esquema de un sistema de depuración convencional de aguas residuales.

Los sistemas “blandos” se basan en suministrar al agua el tiempo suficiente para que la autodepuración se produzca antes de llegar al cauce receptor. Puede hacerse aprovechando la capacidad autodepuradora del agua, donde el oxígeno que necesitan las bacterias procede de la atmósfera y de la fotosíntesis de algas en distintos tipos de lagunado (Figura 3): anaerobio, facultativo, aerobio, canales de macrófitos, pequeños embalses, etc. o el poder autodepurador del suelo (filtros verdes, Figura 4) o de otros materiales (lechos de turba).

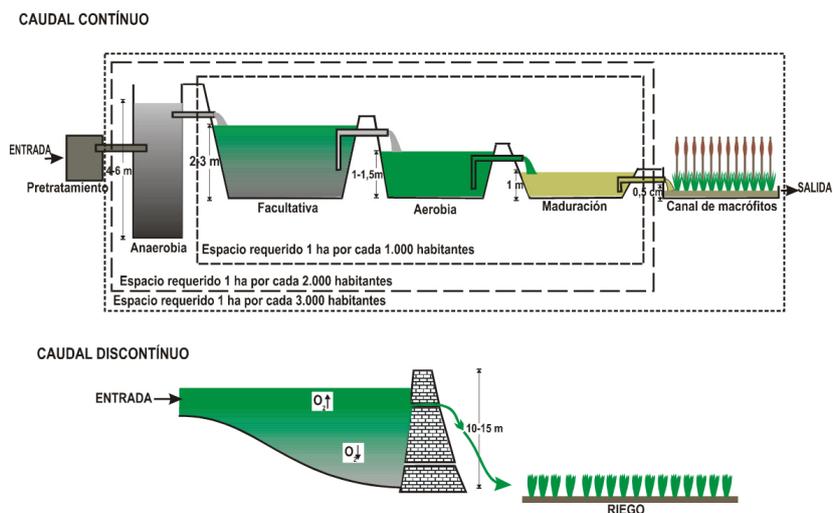
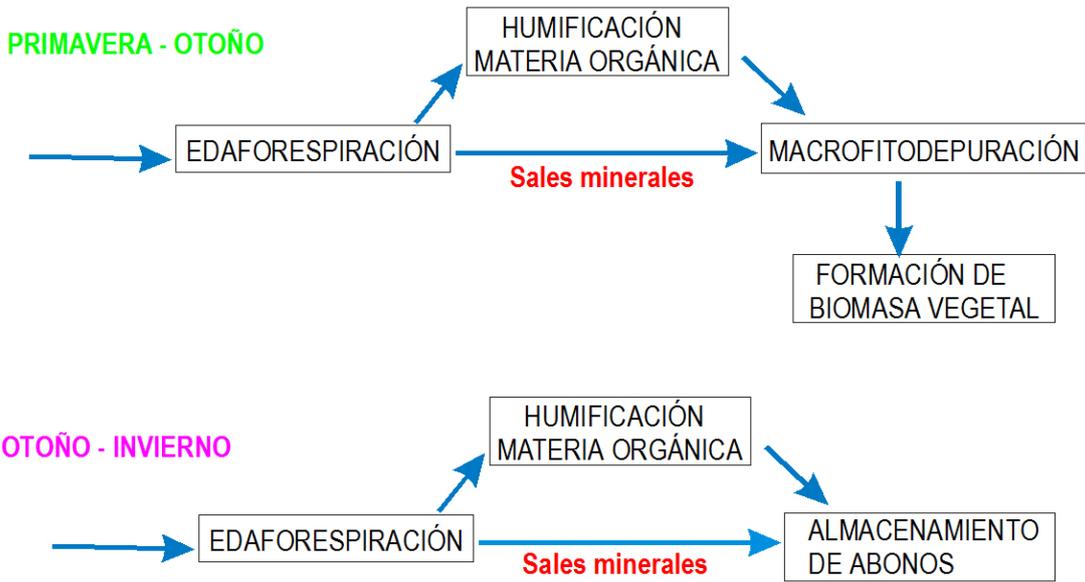
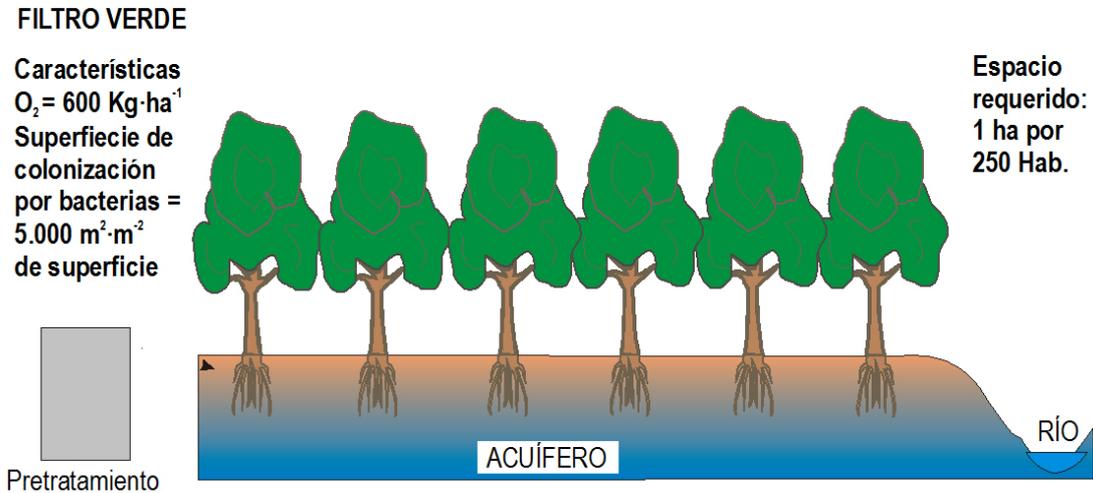


Figura 3. Esquema de diversos sistemas de depuración que aprovechan el poder autodepurador de agua. Se pueden instalar por separado o combinando dos o más de ellos. Cuantos más sistemas se pongan en serie, menor será la superficie de terreno necesaria.



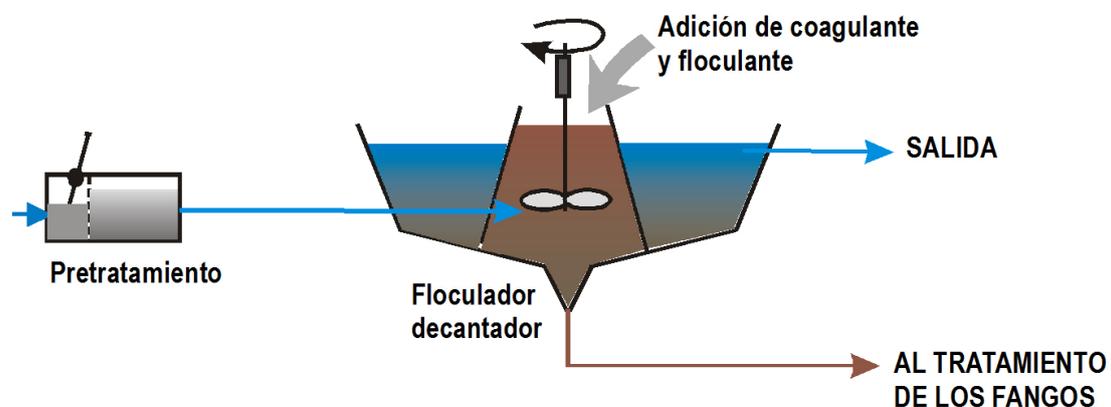
**Figura 4.** Esquema de un filtro verde y de su funcionamiento en diferentes situaciones climáticas.

Tienen el inconveniente de precisar mucho espacio: 1 hectárea por cada 1.000 -1.300 habitantes en el caso del lagunado y 4 veces más en el caso de filtros verdes, aunque el diseño de sistemas combinados puede reducir la extensión aumentando la efectividad de la depuración. Tienen la ventaja de los bajos costes de construcción y, sobre todo, de mantenimiento (menos de 0.05 U\$/m<sup>3</sup>), ya que no requieren energía eléctrica (la energía procede del sol o de la gravedad) y necesitan poco personal que, además, no requiere especialización. En Europa son sistemas idóneos para poblaciones de menos de 20.000 habitantes. En poblaciones superiores el precio del terreno, en general, hace inviables estos sistemas.

Existen algunos sistemas intermedios que, aunque requieren una cierta cantidad de energía, ésta es mucho menor que la de los sistemas convencionales (contactores rotatorios, vulgarmente denominados biodiscos y biocilindros). Estos son adecuados para pequeñas colectividades (menos de 500 habitantes/equivalentes) o para zonas montañosas escarpadas, sobre todo si hace frío, ya que pueden cubrirse.

Por lo tanto, los núcleos urbanos con poblaciones entre 20.000 y 100.000 habitantes son los que plantearían mayores problemas. En estos casos posiblemente la única solución sea el establecimiento de sistemas compartidos por dos o más poblaciones.

Si la contaminación es eminentemente industrial, los sistemas biológicos del tipo que sea pueden no ser efectivos. En algunos casos en los que hay grandes diferencias en el caudal del vertido a depurar, como en los grandes núcleos turísticos, bien de verano bien de invierno, los sistemas anteriormente descritos no funcionan bien, ya que una condición indispensable es la continuidad en el tiempo. En estos casos hay que decantar por sistema de tratamiento fisicoquímico (Figura 5), mucho más caro (de 0,50 U\$/m<sup>3</sup>), pero en los que el gasto está perfectamente justificado y puede ser asumido por el beneficio que supone el funcionamiento de la actividad industrial o turística.



**Figura 5.** Esquema de un tratamiento convencional fisicoquímico.

En conclusión, la primera premisa para la instalación de cualquier sistema de depuración es la realización de un estudio previo (técnico y económico) de cada caso particular. El diseño de cualquier depuradora realizado según datos obtenidos en otros lugares, en general, conduce al fracaso del sistema.

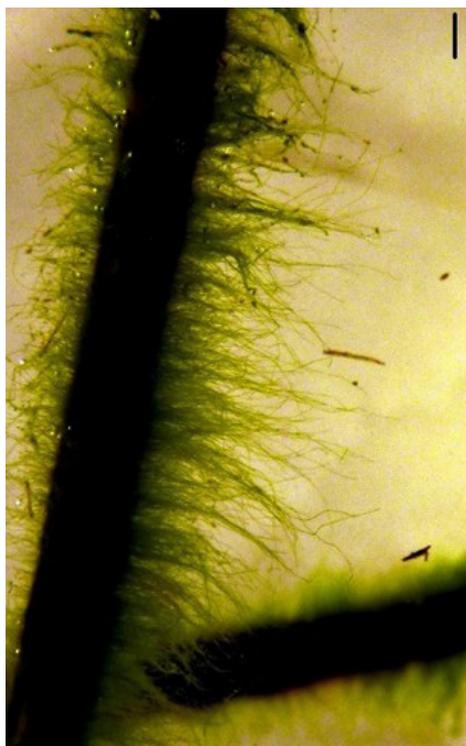
Pero, independientemente del sistema que se elija, siempre existe un gasto. La conciencia ciudadana debe comprender esto y aceptar que debemos hacer un esfuerzo económico (que si se hacen cuentas tampoco es tan grande por habitante y año) para devolver limpia a los ríos y lagos un agua que tomamos limpia de ellos. Se calcula que para el año 2.025 la necesidad de agua por habitante/día sería de unos 10.000 litros. La agricultura consume ya varios miles de litros; en el gasto urbano utilizamos de 150 a 500 litros según el nivel de vida; en la actividad industrial hasta unos 1.000 litros. Una gran parte del agua disponible se encuentra ya en condiciones que la hacen prácticamente inservible para la mayor parte de los usos y, además, la distribución del agua en el mundo es muy irregular. Por lo tanto, mantener los sistemas acuáticos en buenas condiciones es la única posibilidad que tenemos de poder disponer en el futuro de un recurso escaso. Esto debe hacernos comprender la necesidad de realizar el gasto necesario para depurar el agua, incluso, aunque no tuviéramos en cuenta a los seres vivos que habitan en las aguas, lo que sí debe ser también objeto de nuestra preocupación.

## ENSAYO VIII.5

### El perifiton: una comunidad que pocos conocen

*Adonis Giorgi*

Si hiciéramos una encuesta sobre qué es el perifiton, probablemente la mayoría no sabría responder. Algunos, que tuvieran conocimiento de griego podrían acercarse a su significado a través de su origen etimológico; *peri*: alrededor y *phyton*: planta. En su origen el término designaba precisamente al conjunto de organismos vegetales y animales que se encontraban adheridos o envolviendo a las plantas acuáticas. Después este término sirvió para designar a la comunidad de organismos adherida o relacionada con cualquier objeto sumergido (Figura 1).



**Figura 1** . Perifiton creciendo sobre tallos sumergidos. Escala de referencia en el ángulo superior derecho corresponde a 1 cm.

De todos modos, luego de conocer su significado, lo más probable es que se siga desconociendo su interés tanto desde el punto de vista teórico como práctico, y de sus vínculos no sólo con la ecología sino con disciplinas como la piscicultura, la bioingeniería y la medicina y también con la vida cotidiana.

El perifiton, es una comunidad con un conjunto de poblaciones que interaccionan entre sí. Como toda comunidad, está integrado por productores, consumidores y descomponedores. Los productores generalmente son algas microscópicas y otras de algunos centímetros, los

consumidores son pequeños moluscos, crustáceos y larvas de insectos, y los descomponedores, bacterias y hongos. El grado de desarrollo del perifiton tiene que ver con el tiempo que ha tenido para crecer. En los primeros momentos crecen bacterias, que en algunos casos extraen nutrientes del mismo sustrato sobre el que se fijan y en otros del agua circundante. Entre medio de ellas comúnmente comienzan a adherirse algas microscópicas denominadas diatomeas, que pueden fijar la energía proveniente del sol. Algunos tipos de estas algas tienen la capacidad de pegarse al sustrato directamente, y otros mediante estructuras mucilaginosas que les permiten tener una especie de pie, que las eleva por encima de las demás y acceden así a mayor cantidad de luz, que es un factor por el que se compete dentro del agua. A su vez estos pies mucilaginosos, al morir las algas que portan, facilitan la fijación de algas de mayor tamaño como las algas verdes filamentosas. Su mayor porte les permite una mejor captación de la luz a la vez que una mayor relación superficie / volumen que facilita la absorción de nutrientes. Todo esto les ayuda a crecer más rápido. En ocasiones estas algas filamentosas crecen tanto que las bacterias y diatomeas que aparecían al comienzo las utilizan como sustrato y están así más cerca de la superficie de agua y por tanto de la luz. La presencia de filamentosas, genera en su entorno un ambiente más protegido con un cierto aislamiento del resto del cuerpo de agua. Es el lugar ideal para que habiten pequeños crustáceos y moluscos y para que muchos insectos coloquen sus huevos allí, donde sus larvas encontrarán comida abundante entre las algas microscópicas que se pegan a las algas filamentosas. Todos estos organismos se encontrarán en un ambiente protegido de muchos depredadores, como pequeños peces, y de movimientos bruscos del agua, que serán atenuados por el conjunto de filamentos. Si uno pudiera hacerse muy pequeño e introducirse en esta comunidad vería que se parece a un bosque. Tiene pequeñas algas fijas al sustrato inicial igual que la hierba que crece sobre la tierra; presenta algas pedunculadas que se asemejan a los arbustos del bosque y algas de mayor tamaño y numerosas ramificaciones que portan a otras pequeñas de las que se alimentan los herbívoros, como lo hacen aves y pequeños mamíferos que suelen desplazarse en las copas de los árboles. Cuando un alga o un animal se desprende o muere puede ser arrastrado fuera de la comunidad o caer sobre el sustrato original donde es degradado por bacterias y también por los hongos que durante su desarrollo han creado una estructura muy eficiente de captación y descomposición de todas las partículas orgánicas que llegan allí, transformándolas en nutrientes que, si bien no son captados por una raíz, son absorbidos con mucha eficiencia por casi todas las algas y muy especialmente por las filamentosas.

El proceso que ha dado origen a la comunidad madura de perifiton de la que hablamos se llama sucesión, igual que la que se estudia en ecosistemas terrestres. Sin embargo, en el perifiton este proceso se produce con mucha mayor rapidez, alcanzando entre 30 y 60 días un estado comparable al que se alcanza en un bosque natural luego de 50 o 100 años. Esta característica le otorga al perifiton un importante interés teórico ya que, podemos medir la diversidad, la equitabilidad, la producción y la respiración de la comunidad perifítica en distintas etapas y de ese modo podremos inferir algunas cosas sobre comunidades que necesitan mayor tiempo de desarrollo como un bosque o un pastizal.

Esto nos permite experimentar o simular con el perifiton fenómenos que nos costaría años simular con otros sistemas. Así, podemos evaluar el efecto que tiene una sobreexplotación con moluscos herbívoros sobre el perifiton y compararla con el efecto del sobrepastoreo en un pastizal. Podemos simular el efecto de la fertilización y compararlo con lo que ocurriría en un ambiente natural donde llegasen muchos nutrientes. Podemos simular perturbaciones y compararnos con las que se generan por el incendio o por la tala de un

bosque. En todos los casos hay que tener en claro que sólo pueden compararse los efectos sobre algunos de los parámetros de dichas comunidades pero no de todos ellos y que en estos experimentos los cambios registrados deben extrapolarse con mucha prudencia a ecosistemas diferentes.

El perifiton ha sido muy usado también para estudiar los cambios que se producen en esta comunidad en ambientes que están contaminados. Es decir se lo utiliza como una comunidad indicadora ya que, por ejemplo, una contaminación por materia orgánica generalmente provocará disminución de la diversidad, cambios en las especies que la integran, disminución del índice P/R. También se han estudiado los efectos que sobre esta comunidad tienen distintos metales pesados y biocidas, y esto permite suponer el efecto que se produce en la red trófica de una comunidad.

Las posibilidades de analogías y comparaciones con otras comunidades son muy grandes y han sido muy estudiadas. Pero el perifiton además, por tener la ventaja de que puede cultivarse en el laboratorio para utilizarlo en alimento de peces, aves de corral y aún en la alimentación de seres humanos.

El perifiton, al estar constituido por especies con una alta capacidad de absorción de nutrientes, también puede utilizarse en plantas depuradoras de agua como tratamiento terciario para extraer fósforo y nitrógeno y evitar la eutrofización. El procedimiento que ha sido bastante estudiado a pequeña y mediana escala en países de Europa del Este, consiste en colocar láminas de acrílico en la última parte de plantas depuradoras de líquidos cloacales donde arriban aguas con bajo contenido de materia orgánica y altos contenidos de nutrientes. Con buenas condiciones de iluminación, se realiza una rápida colonización del sustrato aunque sea inerte. Como la comunidad necesita nutrientes para crecer, los extrae del agua y los transforma en biomasa de algas que debe ser extraída periódicamente limpiando el acrílico. El mismo procedimiento se ha ensayado para reducir la carga de metales pesados de los efluentes de algunas industrias con resultados muy alentadores.

Finalmente el perifiton es el “verdín” que aparece en las piletas de natación. Conocer algo de su ecología nos permitirá controlarlo de manera adecuada y evitar resbalones indeseables a la hora de intentar zambullidas artísticas o simplemente tomar un baño.

## ENSAYO VIII.6

### Costo de la contaminación del Río Luján

*Adonis Giorgi*

#### **¿PUEDE CALCULARSE EL VALOR ECONÓMICO DE UN RÍO?**

Es muy difícil, pero a modo de aproximación se calcula el valor económico de un río comparando su capacidad natural de depuración con el costo que tendría depurar artificialmente un tramo del río. En esta nota se analizan tal costo y la capacidad de depuración del tramo del río Luján que atraviesa el partido del mismo nombre, de acuerdo a la calidad del agua entre 1997 y 1999.

Los datos de oxígeno disuelto, DQO y DBO (Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno) se tomaron en el tramo medio del río durante 22 meses, por otra parte se consideraron los caudales estimados de los efluentes de las industrias y de la ciudad de Luján.

#### **¿CUÁNTO VALE EL TRABAJO DEL RÍO?**

El oxígeno disuelto que aporta el río puede calcularse teniendo en cuenta su caudal medio (5 m<sup>3</sup>/s) multiplicado por una concentración promedio de 5 mg/l de oxígeno. Haciendo los cambios de unidades correspondientes, el oxígeno transportado se estima en 2160 Tn/día. Si consideramos que un aireador puede tener una eficiencia de 2Kg de oxígeno por cada Kilowatt consumido y el costo industrial por Kilowatt es de 0,15 dólar, el valor promedio de un día de trabajo del río en su curso medio, teniendo en cuenta el oxígeno que transporta y el costo energético, sería de 162.000 dólares.

#### **¿CUÁNTO DEBERÍA DEPURAR EL RÍO?**

Sumando los caudales de los efluentes de las principales industrias de Luján y del efluente cloacal de Luján tenemos un total de aguas residuales que llegan al río de 20.903 m<sup>3</sup>/día. Suponiendo que se cumple la ley provincial 5965 de Protección y Conservación de las Fuentes de Provisión de Agua, que exige en su reglamentación un máximo de 50 mg/l en la DBO del agua descargada y de 250 mg/l en la DQO, puede comprobarse que la necesidad de oxígeno sería de 1395 Tn de oxígeno/día para cubrir la DBO, y de 6975,75 Tn de oxígeno/día para la DQO.

Tomando los caudales promedios del río y de los efluentes registrados en el ingreso de éste al partido de Luján (localidad de Olivera), en el tramo Jáuregui-Luján y en el tramo Luján-Pilar obtenemos los resultados que se presentan en la Tabla I.

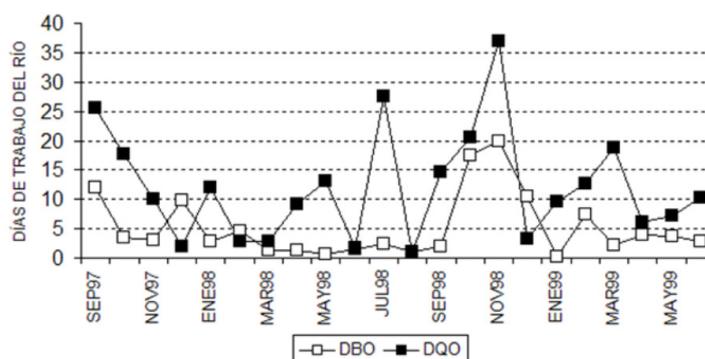
Tramo del río	Oxígeno cedido	Oxígeno necesario	Excedente de Oxígeno	Oxígeno necesario	Déficit de Oxígeno
	(Oxígeno disuelto)	(DBO)	(DBO)	(DQO)	(DQO)
	(Tn O <sub>2</sub> / día)				
Olivera -Jáuregui	691,2	330,2	361	1651	-963
Jáuregui- Luján	1339,2	121,2	1218	606	733
Luján - Pilar	648	943,75	-395	4718,75	-4070,75
Total	2678,4	1395,15	1184	6975,75	-4300,75

**Tabla 1.** Relación entre el oxígeno cedido por el río y la demanda de oxígeno producida por actividad humana en el curso medio del río Luján.

Según esta estimación el oxígeno transportado por el río sería suficiente para cubrir la DBO aunque no para satisfacer la DQO. ¿Sucedo realmente eso en el río? Para investigarlo, se tomaron los valores de DBO, DQO y oxígeno disuelto registrados en el curso medio del río entre 1997 y 1999, con lo que se realizaron los cocientes DBO/Oxígeno y DQO/Oxígeno. El resultado de cada cociente nos indica la cantidad de días que necesita el río para satisfacer la demanda registrada. Si el valor es igual a uno indica que la demanda de oxígeno se satisface en el curso del día, si es mayor a uno indica que quedará una demanda remanente que el río no podrá cubrir y que se irá acumulando diariamente (Figuras 1 y 2). Puede observarse que la mayoría de los valores tanto de DBO/Oxígeno como de DQO/Oxígeno son mayores a 1. Es decir que serían necesarios varios días de trabajo del río para degradar los residuos que recibe en un solo día. Sin embargo esto no es posible dado que cada día son vertidos nuevos residuos al cuerpo de agua.

### ¿EN CUÁNTO SE SUPERA LA CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DEL RÍO?

Los resultados indican que si bien el río tiene capacidad suficiente para satisfacer la Demanda Biológica de Oxígeno de los efluentes, el “trabajo” que debe realizar el río cada día, en las condiciones en que actualmente se reciben los efluentes, suele ser entre 3 y 10 veces mayor a su capacidad real, aunque en algunas oportunidades alcanza a ser 26 veces mayor. En el caso de la Demanda Química de Oxígeno, casi siempre es mayor que el oxígeno que puede brindar el río y se llega en un mes a superar en 38 veces la capacidad de depuración del río.



**Figura 1.** Esta figura muestra cuántos días tendría que “trabajar” el río Luján en el proceso de depuración, para degradar los compuestos orgánicos degradables biológicamente (DBO) o aquellos compuestos orgánicos solo degradables químicamente (DQO).

## ¿CUÁNTO COSTARÍA DEPURAR EL RÍO?

Se puede obtener un cálculo monetario del costo de depuración multiplicando el valor medio de un día de trabajo del río por la cantidad de días de depuración necesarios por mes. Esto suma aproximadamente 150 millones de dólares en un año para satisfacer la DBO y de 400 millones de dólares al año para satisfacer la DQO, que significa eliminar la mayor parte de los contaminantes.

## ¿CUÁL ES LA SOLUCIÓN?

Los costos de recuperación son demasiado altos para que puedan ser enfrentados por un municipio, sin embargo si bien no es posible hacer que el río pase varias veces por el mismo lugar para completar su tarea de limpieza, hay maneras de “alargarlo” y esto se logra con la función de las plantas depuradoras, ya que las mismas realizan en un pequeño trayecto el trabajo que un río hace en un trayecto mayor. De esa manera se reducirían la DQO y la DBO a niveles que puedan ser procesados por el río y se evitaría que el costo de la contaminación siga creciendo.

## ¿PUEDE CALCULARSE REALMENTE LA CAPACIDAD DEPURADORA DE UN RÍO?

En primer lugar hay que tener en cuenta que los cálculos realizados son simplemente estimaciones, que de ninguna manera representan los costos reales de recuperar un río, ya que la variedad de organismos, las conexiones tróficas, y la diversidad de hábitat no se recuperan tan rápido como el oxígeno disuelto.

En segundo lugar, en un río no sólo entran sustancias degradables, también entran metales pesados y pesticidas persistentes.

En tercer lugar, ¿no sería posible calcular la capacidad depuradora de un río antes de introducirle contaminantes? Si nos referimos a capacidad depuradora de las sustancias realmente biodegradables, esta podría ser calculada simulando vertido de sustancias orgánicas (glucosa) o de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y evaluando a distintas distancias en un tramo de entre 100 y 200 metros, cuál es la capacidad que tiene ese ambiente de absorber esas sustancias adicionadas. Esta capacidad tendrá relación con el caudal, con las características físicas del río (que impondrán un flujo más o menos turbulento) y con el tipo de organismos que lo habiten. Un río más caudaloso y de flujo más turbulento tendrá mayor capacidad de intercambio de oxígeno con la atmósfera y por tanto mayor capacidad de depuración. Un río con una biomasa mayor de productores podrá procesar más rápidamente los nutrientes que ingresen al cuerpo de agua y uno con mayor cantidad de consumidores podrá degradar en menos tiempo la materia orgánica. Tanto el caudal, como el tipo de flujo, como la biomasa de productores primarios y consumidores pueden cuantificarse para estimar una capacidad teórica de depuración.

Por todo lo dicho podríamos calcular la capacidad depuradora de un río antes de comenzar a usarlo como vehículo para degradar y no solamente alejar nuestros residuos. Este cálculo nunca fue hecho en los cuerpos de agua de Argentina pero hoy se cuenta con la tecnología y los conocimientos para realizarlo. Sería necesario posteriormente introducirlo en la legislación para que se tenga en cuenta al otorgar a las fábricas los permisos de vuelco de los efluentes líquidos.

## ENSAYO VIII.7

# Tratamientos por digestión anaeróbica de residuos derivados de actividades agropecuarias

*Roberto R. Diaz, Aida Rolando y Mónica Tysko*

La necesidad de recurrir a fuentes de energía económicas, que estén fácilmente disponibles y no impliquen el consumo de recursos no renovables es una demanda importante para los productores rurales, así como el mejoramiento de las condiciones de vida y de trabajo.

La utilización de biogás obtenido por fermentación anaeróbica de los materiales orgánicos representa una solución aceptable para cubrir demandas surgidas del proceso productivo y de la vivienda rural.

La utilización de esta tecnología permite a la vez efectuar un proceso de depuración de los residuos generados en las producciones, especialmente en aquellas de carácter intensivo: tambos, criaderos de cerdos, aves etc.

Si bien el biogás obtenido por este procedimiento puede ser empleado en múltiples usos, aparece como más racional su empleo en motores de combustión interna tanto para la obtención de energía motriz como para generar energía eléctrica. Asimismo, el residuo tratado tiene propiedades químicas y microbiológicas que lo hacen apto para su utilización como biofertilizante.

### INTRODUCCIÓN

Los productores rurales de la pampa húmeda a nivel de explotaciones pequeñas a medianas experimentan problemas de rentabilidad, originados en muchos casos, en la dificultad de acceder a los insumos y servicios que requieren, en condiciones accesibles.

Dos de estos requerimientos están referidos a la energía, imprescindible no sólo para mejorar las condiciones de vida del productor y su grupo familiar, sino también para optimizar el sistema de producción a través de la tecnificación y el empleo de máquinas y equipos demandantes de energía.

El otro está relacionado con la necesidad de preservar el recurso suelo a través de la utilización de fertilizantes orgánicos que restablezcan el ciclo natural de la materia.

Existen además otras consecuencias indeseables del proceso productivo como:

- La falta de prácticas adecuadas de tratamiento o disposición de los residuos los que, al adoptarse técnicas de explotación intensivas, se transforman en un problema cada vez más grave debido a la contaminación de los cursos de agua superficiales y subterráneos
- Las necesidades energéticas derivadas de las demandas propias de la actividad productiva y el consumo familiar,

- Los requerimientos de usos y prácticas conservacionistas que coadyuven a la utilización racional del recurso suelo a través del empleo de fertilizantes orgánicos que, no sólo reintegren al mismo los nutrientes remanentes de la explotación agrícola, sino también mejoren la textura del suelo mediante el reciclado de la materia orgánica estabilizada.

Estas son tres cuestiones que pueden ser atendidas a través de un proceso de tratamiento de los residuos agrícolas denominado digestión anaeróbica.

Este proceso, la digestión anaeróbica, consiste en la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, transformándose en productos de naturaleza sencilla tales como metano y dióxido de carbono y un remanente de materia orgánica estabilizada.

Los productos finales del proceso son tres: una mezcla de gases denominada biogás (formado por dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , metano,  $\text{CH}_4$ , y vestigios de otros gases) que posee un poder calorífico interesante: 22.6 MJ/m<sup>3</sup>, un efluente líquido que contiene disueltos nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio que valorizan su empleo como fertilizante y un lodo remanente conformado por materia orgánica estabilizada y residuos de la actividad celular de las bacterias con un contenido importante de nitrógeno y alto valor proteico. No obstante, debe considerarse que estas soluciones tecnológicas que se ofrezcan deben ser de naturaleza sencilla, con un fuerte componente de autogestión y baja inversión.

## DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Este tratamiento fue utilizado desde principios del siglo pasado, en China (FAO, 1984) para tratar a los residuos agropecuarios y ganaderos. La finalidad del uso de esta tecnología para los chinos era obtener energía no convencional, el biogás, ya que China no cuenta con combustibles fósiles. Con el pasar de los años, esta tecnología fue adoptada no sólo para el tratamiento de los residuos y el aprovechamiento energético en el área rural, sino también para el tratamiento de cualquier efluente líquido o semilíquido de alta carga orgánica contaminante.

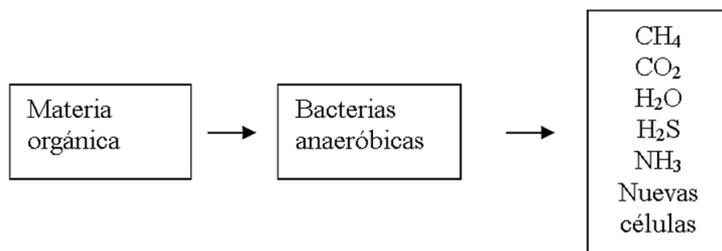
La digestión anaeróbica es un proceso natural, enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono (Soube, 1994), por el cual en ausencia de oxígeno, se puede transformar la sustancia orgánica en un gas rico en metano, llamado biogás y un residuo que tiene valor como fertilizante, como lo muestra la abundante bibliografía existente.

“Los ecosistemas naturales donde se produce el biogás son por ejemplo el fondo de lagunas y pantanos, el fondo del mar donde hay sedimentos orgánicos, el tracto gastrointestinal del hombre y animales carnívoros, el rumen de los herbívoros..., y aguas termales tanto en la superficie de la tierra como en el fondo del mar.

A su vez existen ecosistemas artificiales como los rellenos sanitarios, los digestores rurales, y los digestores anaerobios ya sea de efluentes industriales como de aguas servidas.” (Soube, 1994)

En cuanto al biogás, el rendimiento energético es inferior a otros combustibles no convencionales pero presenta la ventaja de permitir una valorización energética de productos húmedos y de conservar su poder fertilizante.

El biogás está formado principalmente por los siguientes gases: metano, dióxido de carbono, agua, sulfuro de hidrógeno y amoníaco (Figura 1).



**Figura 1.** Formación de biogás.

Un primer grupo está compuesto por *bacterias fermentativas*, que poseen enzimas que transforman por hidrólisis los polímeros naturales en monómeros, y éstos en acetato, hidrógeno, dióxido de carbono, ácidos orgánicos de cadena corta, aminoácidos y otros productos.

Un segundo grupo formado por *bacterias acetogénicas* productoras de hidrógeno, las cuales convierten los productos generados por el primer grupo (aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes) en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.

Los productos finales del segundo grupo son los sustratos para el tercer grupo, que a su vez están constituidos por dos diferentes grupos de *bacterias metanogénicas*. Un grupo usa al acetato transformándolo en metano y dióxido de carbono, en cuanto al otro produce metano, a través de la reducción de dióxido de carbono.

## HIDRÓLISIS

Como las bacterias no son capaces de asimilar la materia orgánica particulada, una primera fase del proceso de digestión anaeróbica consiste en la hidrólisis del material particulado complejo (polímeros) en sustancias solubles más simples (moléculas menores), las cuales pueden atravesar las paredes celulares de las bacterias fermentativas. Esta conversión de material particulado en sustancias solubles, se consigue por la acción de enzimas excretadas por las *bacterias fermentativas hidrolíticas*. En anaerobiosis la hidrólisis de los polímeros generalmente ocurre en forma lenta, siendo varios los factores que pueden afectar la tasa en que el sustrato es hidrolizado:

- ◆ Temperatura operacional del reactor
- ◆ Tiempo de residencia del sustrato
- ◆ Composición del sustrato
- ◆ Tamaño de las partículas
- ◆ pH del medio
- ◆ Concentración de  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$
- ◆ Concentración de los productos de hidrólisis

Los polímeros que son degradados en la etapa de hidrólisis son:

- ◆ Proteínas
- ◆ Lípidos
- ◆ Hidratos de carbono

La degradación se produce de la siguiente forma: La degradación se produce de la siguiente forma:

Proteínas → Péptidos → Aminoácidos  
 Lípidos → Ácidos grasos  
 Hidratos de carbono → Azúcares solubles (mono y disacáridos) → Alcoholes

## Acidogénesis

Los productos solubles provenientes de la fase de hidrólisis son metabolizados en el interior de las células de bacterias fermentativas, siendo convertidos en distintos compuestos más simples los cuales son excretados por las células. Los compuestos producidos incluyen ácidos grasos volátiles (A.G.V.), alcoholes, ácido láctico y compuestos minerales tales como dióxido de carbono, hidrógeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, como así también nuevas células bacterianas. Como los ácidos grasos volátiles son los principales productos de los organismos fermentativos, estos son generalmente llamados *bacterias fermentativas acidogénicas*. La fermentación acidogénica es realizada por un grupo diversificado de bacterias de las cuales la mayoría son anaeróbicas estrictas.

## ACETOGÉNESIS

Las *bacterias acetogénicas* son responsables de la oxidación de los productos generados en la fase acidogénica en sustratos apropiados para las bacterias metanogénicas. De esta forma, las bacterias acetogénicas forman parte de un grupo metabólico intermediario que produce sustrato para las metanogénicas.

Este proceso convierte los productos de la etapa anterior (acidogénesis) en compuestos que actúan como sustratos para la producción de: metano, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.

Durante la formación de los ácidos acéticos y propanoico, se forma una gran cantidad de hidrógeno, como se dijo más arriba, haciendo que el valor del pH en el medio acuoso, decaiga. Hay dos maneras por las cuales el hidrógeno es consumido por el medio:

- ◆ A través de las bacterias metanogénicas, que utilizan el hidrógeno y dióxido de carbono para producir metano.
- ◆ A través de la formación de ácidos orgánicos, tales como el propanoico y butanoico, ácidos estos formados por la reacción del hidrógeno con el dióxido de carbono y el ácido acético.

De todos los productos metabolizados por las bacterias acidogénicas, solamente el hidrógeno y el acetato pueden ser utilizados directamente por las metanogénicas.

## METANOGÉNESIS

Esta etapa aparece como limitante del proceso global de digestión, aunque a temperaturas menores de 20° C la hidrólisis resulta ser la etapa limitante.

La metanogénesis es la etapa final del proceso de degradación anaeróbica de compuestos orgánicos en metano y dióxido de carbono por *bacterias metanogénicas*. Las metanogénicas

utilizan solamente un limitado número de sustratos, comprendiendo ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono, ácido fórmico, metano, metilaminas y monóxido de carbono. En función de sus afinidades por el sustrato y por la producción de metano, las bacterias metanogénicas son divididas en grupos principales, una que forma metano a partir de ácido acético o metanol, y un segundo grupo que produce metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono:

- ◆ *Bacterias acetotróficas*. A partir de la reducción del ácido acético para dar metano.
- ◆ *Bacterias hidrogenotróficas*. A partir de la reducción del dióxido de carbono para dar metano.

Las bacterias acetotróficas que son capaces de producir metano a partir de acetato son los microorganismos predominantes de la digestión anaeróbica. Son los responsables de la producción del 60 al 70 % de la producción de metano, a partir del grupo metilo del ácido acético:



Al contrario de las bacterias acetotróficas, prácticamente todas las especies conocidas de bacterias metanogénicas son capaces de producir metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono.



Los diferentes grupos de bacterias que transforman la materia orgánica del afluente poseen, todas, acción catabólica y anabólica. De este modo, simultáneamente con la formación de los diferentes productos de la fermentación, se producen nuevas células.

Tanto las bacterias acetotróficas como las hidrogenotróficas son muy importantes en el mantenimiento de la digestión anaeróbica, ya que son responsables de consumir el hidrógeno producido en las fases anteriores.

Además de las cuatro fases descritas anteriormente, un proceso de digestión anaeróbica puede incluir además una quinta fase, dependiendo de la composición química de los residuos que son tratados. Los residuos que contienen compuestos de azufre son sometidos a una fase de sulfatogénesis: reducción del sulfato y formación de sulfuro de hidrógeno.

## SULFATOGÉNESIS

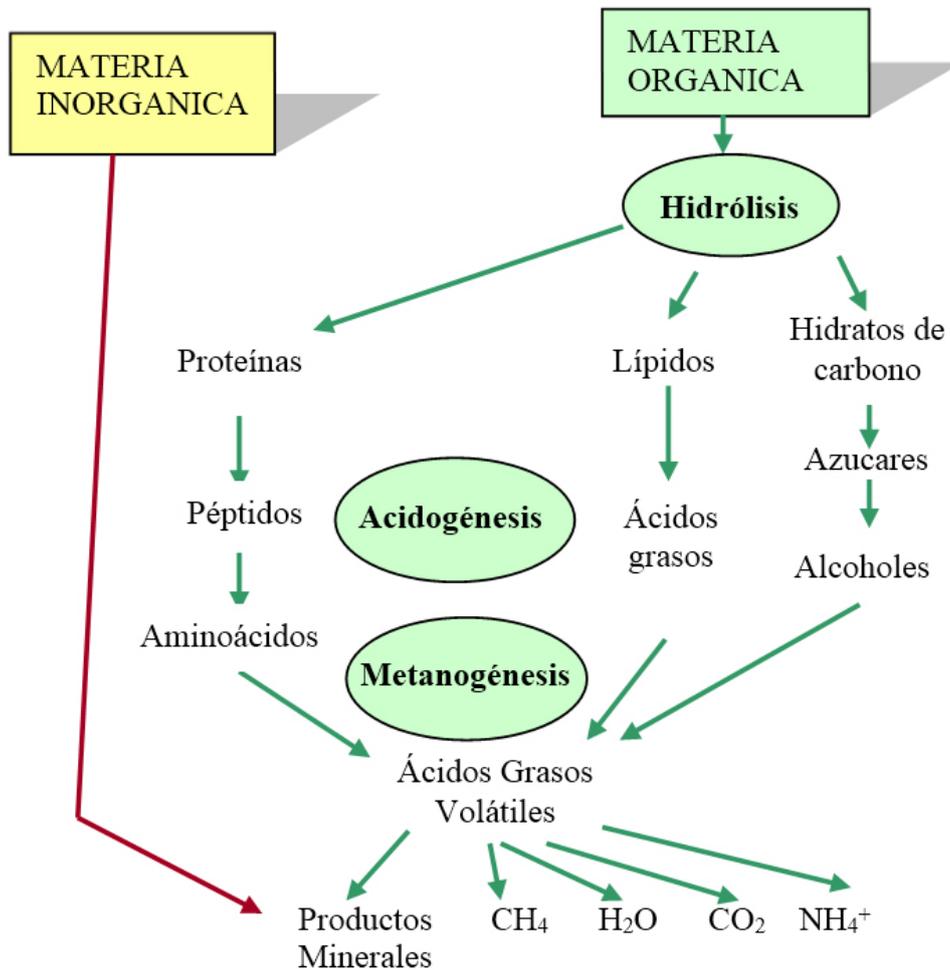
En esta etapa, el sulfato y otros compuestos conteniendo azufre son utilizados como aceptores de electrones durante la oxidación de los compuestos orgánicos. Durante este proceso, sulfatos, sulfitos y otros compuestos azufrados, son reducidos a sulfuros, a través de un grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, denominadas *bacterias reductoras de sulfato* o *bacterias sulforreductoras*.

Las bacterias sulforreductoras son consideradas un grupo muy versátil de microorganismos, capaces de utilizar una amplia gama de sustratos, incluido toda una serie de ácidos grasos volátiles, diversos ácidos aromáticos, hidrógeno, metanol, etanol, glicerina, azúcares, aminoácidos y varios grupos fenólicos.

Las bacterias sulforreductoras se dividen en dos grandes grupos: bacterias sulforreductoras que oxidan los sustratos de forma incompleta hasta acetato, y bacterias sulforreductoras

que oxidan los sustratos completamente hasta gas carbónico.

La secuencia de pasos descritos hasta aquí se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Secuencia metabólica y grupos microbianos involucrados en la digestión anaeróbica.

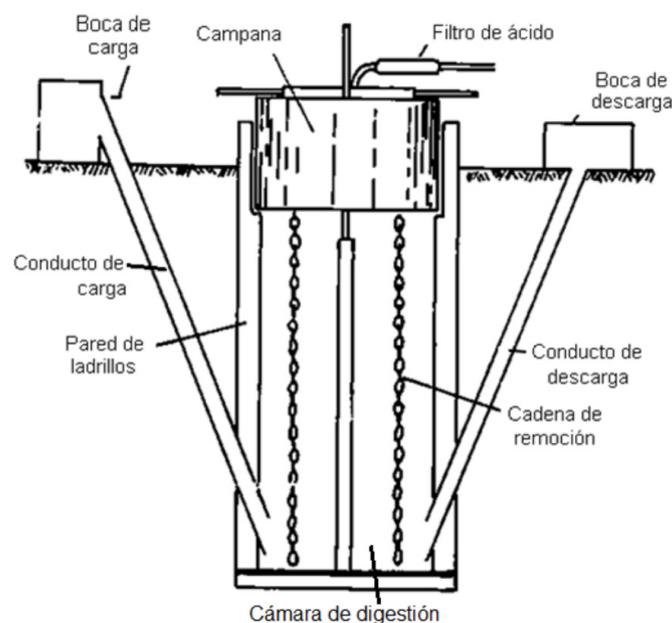
## DIGESTORES

Los digestores son tanques cerrados donde la materia orgánica y agua se transforma por acción de los microorganismos en un efluente no contaminante, biogás y un bioabono.

Los digestores se clasifican de distintas formas:

- Según el tipo de mezcla
  1. Manual
  2. Mecánico
- Según la calefacción
  1. Con calefacción: solar, serpentines, etc.

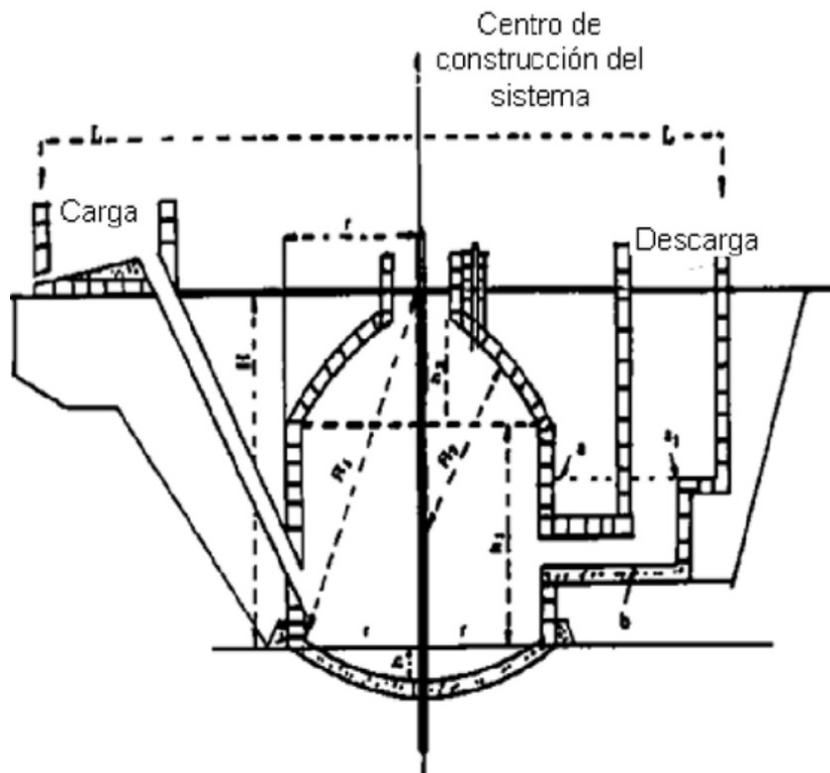
2. Sin calefacción
- Según el número de cámaras de digestión
    1. Monofásico
    2. Bifásico
  - Según el sistema de alimentación
    1. Continuo: se alimenta casi diariamente.
    2. Discontinuo: se carga una sola vez realizada la producción.
  - Según su diseño
    3. Tipo hindú: campana gasométrica flotante. Es de tipo vertical y cuenta con una campana que permite acumular el biogás y darle presión. En este caso es más caro ya que la campana metálica lo hace más costo. Ver Figuras 3 y 4.
    4. Tipo chino o de cúpula fija, mezcla vertical. Su construcción es muy sencilla y económica, puede realizarse enteramente en material, no posee cámara gasométrica. Ver Figura 5.
    5. Tipo horizontal, mezcla horizontal.
  - Según el material de construcción
    1. Mampostería
    2. Plástico
    3. Fibra de vidrio
    4. Chapa galvanizada, etc.



**Figura 3.** Digestor tipo Hindú. Sistema de remoción con cadenas. Fuente: Planta piloto de biogás, INTA Castelar



**Figura 4.** Vista de la construcción del digester tipo Hindú de la Escuela Inchausti, realizado por el Proyecto de Extensión seleccionado en el Concurso de Proyectos por el Gobierno de la Provincia de Buenos Aires y el Ministerio de Cultura y Educación de la Nación – UNLu.



**Figura 5.** Digester chino. Fuente: Manual INTA.

Hoy en nuestro país y en especial en la UNLu se está estudiando la implementación de un biodigestor horizontal construido con silo-bolsa semienterrado. Este tipo de reactores está bastante difundido en los países centro americanos donde la temperatura media es alta y no necesita calefaccionarlo. Por otra parte el costo del mismo es más bajo que los anteriores.

## PARTES DE UN DIGESTOR

1) *Cámara de carga*: Tiene distintas formas de acuerdo al diseño del digestor. En ella se introduce el material a digerir, se lo mezcla en las proporciones adecuadas de agua y se lo homogeneiza. Una vez terminado estos pasos, se introduce el material al digestor. Puede utilizarse agua caliente en la mezcla, sobre todo en la época de invierno, para evitar la introducción de material frío en la biomasa. Recordar que la temperatura de trabajo del digestor es de aproximadamente 37° C.

2) *Conducto de carga*: Conecta la cámara de carga con la cámara de digestión. En nuestro caso el material cae por gravedad desde la cámara de carga a la de digestión.

3) *Cámara de digestión*. En este lugar, el material permanece un determinado tiempo en el cual ocurre la digestión de los residuos y la liberación del biogás.

4) *Conducto de descarga*. Comunica la cámara de digestión con el exterior evitando la entrada de aire, y como te podrás imaginar de oxígeno, del exterior al interior del digestor.

5) *Cámara de descarga*. Aquí se acumula el material degradado. De allí se retira de distintas maneras.

## PARÁMETROS DE CONTROL DE LOS DIGESTORES

Para trabajar con bacterias, que son organismos vivos delicados, se deben controlar algunos parámetros de trabajo del digestor para que esos organismos no se mueran y el digestor deje de funcionar. Entre los factores que hay que tener en cuenta para un buen funcionamiento del digestor son los siguientes:

*Temperatura*: La gama de temperatura de la digestión anaeróbica puede variar entre 10° y 60° C. Sin embargo las temperaturas óptimas son las que están entre 30 – 40° C y 45 – 60° C. A pesar de ello todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas entre 30 – 40° C y la óptima es de 35° C. Las bacterias son sumamente sensibles a los cambios de temperatura, una disminución repentina de solo unos pocos grados puede detener la producción de metano (CH<sub>4</sub>) sin afectar a las bacterias productoras de ácido y esto conducirá a una acumulación excesiva de ácidos y luego una falla en el digestor.

*pH*: El pH óptimo para la digestión está entre 7 y 8. La digestión se inhibe a pH menores de 6.5 y se detiene a pH menores de 4.5.

Estos controles se deben hacer diariamente, sobre todo la temperatura

*Otros controles*: Periódicamente se debe medir el contenido de *Sólidos totales*, *Sólidos volátiles*, *Sólidos fijos*, *DQO* y *Ácidos grasos volátiles*.

## COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

El biogás está compuesto por Metano (CH<sub>4</sub>) 55- 70%; Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) 30 – 45%; Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S) menos del 1%; Hidrógeno (H<sub>2</sub>) 1 – 3%.

La densidad del biogás es de  $0,54 - 056 \text{ g/cm}^3$  a  $0^\circ\text{C}$ , es decir que es más liviano que el aire. El poder calorífico es de  $21 - 23 \text{ Kj/m}^3$ .

## **EQUIVALENCIAS DEL BIOGÁS CON OTROS COMBUSTIBLES**

Un  $\text{m}^3$  de biogás equivale en cuanto a su contenido energético a 0.730 l de nafta, 1.100 l de alcohol, 0.650 l de gas oil, 6.25 kwh de electricidad, 0.45 kg de gas envasado.

## **BIOFERTILIZANTES Y ENMIENDAS ORGÁNICAS**

Tanto el efluente como el lodo, subproductos de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos derivados de producciones agropecuarias y agroindustriales, presentan propiedades químicas y microbiológicas que permiten su utilización como fertilizantes o enmiendas.

Cuando se desea utilizar estos subproductos como fertilizantes se debe valorar su contenido nutricional, teniendo en cuenta los elementos de mayor valor agronómico o limitantes para la producción en la cual van a ser aplicados. Estos compuestos contiene además sustancias fitoreguladoras que estimulan el crecimiento de las plantas (Zubillaga, 2012,).

Por otra parte, la incorporación de lodo como enmienda ayuda a mejorar la capacidad de retención de agua del suelo y nutrientes así como la capacidad de intercambio catiónico, debido a su alto contenido de materia orgánica estabilizada. Además se ha observado que mejora la estructura del suelo, ya que contiene una serie de compuestos que son segregados por la flora microbiana participante de la digestión, que actúa como aglomerante de las partículas del suelo confiriéndole una mayor porosidad.

Actualmente existen líneas de investigación que trabajan en la evaluación de los efectos detoxificantes de estos compuestos por su capacidad de acomplejar metales traza o pesados.

El adecuado manejo del lodo y efluente como biofertilizantes o enmiendas permite el ahorro de recursos minerales, y mitigar el impacto ambiental que produce la acumulación de los mismos y la consecuente contaminación de cursos de agua y suelos, así como conducir a un sistema sustentable de producción (Kuroki, 2011).

Un uso alternativo de los efluentes derivados de la digestión anaeróbica es su reutilización dentro de la misma explotación como agua de lavado de las instalaciones permitiendo a si reducir el consumo de agua potable y el consumo energético.

## CAPÍTULO IX

# Los recursos naturales

*Leonardo Malacalza, Adonis Giorgi, Fernando  
Momo, Carlos Coviella y Claudia Feijoó*

## LOS RECURSOS NATURALES

En este capítulo se describe qué son los recursos naturales, se analizan aspectos de la renovabilidad y de la estabilidad de los ecosistemas explotados por el hombre; también se hacen consideraciones acerca de cómo se los puede aprovechar y cómo se degradan o se pierden por el mal uso, circunstancias donde la historia, la economía y la cultura tienen gran importancia. Se describen algunos métodos y técnicas para su reconocimiento, evaluación y manejo. Se analiza y discute el concepto de desarrollo sustentable y en los ensayos que están al final hay ejemplos de manejo de recursos naturales de Argentina.

### ¿QUÉ SON LOS RECURSOS NATURALES?

Recursos naturales son aquellos elementos que el hombre encuentra en la naturaleza y que aprovecha o podría aprovechar tanto para sus necesidades básicas como para satisfacer deseos de otro tipo, como la recreación. Entonces son recursos naturales el agua, el aire, el sol, el suelo, la flora, la fauna, los minerales, el petróleo, los paisajes, la energía del viento y otros.

Para aprovecharlos eficientemente y que no se agoten, es conveniente saber si los recursos naturales pueden ser considerados renovables o no renovables. En muchos casos, que pertenezcan a una u otra categoría depende de cómo los explotemos. Desde la perspectiva humana, la energía solar y el calor y los vientos que genera, son recursos renovables por más que los usemos. También la energía que proviene del movimiento del agua de ríos y de mareas. Y, en general, son recursos renovables los seres vivos que tienen una alta tasa de renovación.

En otros casos la distinción no es tan clara: el agua para beber que sacamos del subsuelo, de los lagos o de los ríos, no sólo puede faltar por uso excesivo, sino que puede contaminarse. Los árboles de los bosques que nos proveen madera pueden agotarse si los explotamos a un ritmo mayor que el de su crecimiento. Los suelos en que realizamos cultivos pueden degradarse hasta desaparecer. Estos son tres ejemplos de recursos renovables que pueden dejar de serlo por uso inadecuado. Podemos decir que un recurso de la flora o de la fauna es renovable, siempre que la tasa de explotación sea menor o igual a la tasa de reposición natural del mismo. El agua o los suelos degradados dejan de ser recursos renovables cuando los costos para poder reutilizarlos superan las expectativas o posibilidades humanas.

Son recursos no renovables los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y los minerales de los que extraemos metales, porque si bien después de usados los metales quedan dispersos en el planeta en concentraciones muy bajas, el costo energético para reutilizarlos puede ser mucho más alto que el costo de extraerlos de las minas. Lo que determina su condición de renovables o no es el costo de la energía necesaria para volver a concentrarlos y reutilizarlos ya que disponiendo de mucha energía de bajo costo no existirían minerales no renovables.

Toda vez que sea nuestra intención explotar un recurso natural, muy especialmente si el recurso proviene de la flora o de la fauna, tendremos que tener en cuenta que mientras nosotros buscamos productividad, la tendencia natural de la sucesión ecológica selecciona la eficiencia, maximizando la cantidad de biomasa por unidad de energía; que nuestra explotación acelera la velocidad con la que la materia y la energía entran y salen de los sistemas vivientes, en tanto que la naturaleza la retarda. Nosotros simplificamos las comunidades disminuyendo la diversidad específica, en tanto que la naturaleza tiende a aumentarla. Y los sistemas naturales son más estables que los sistemas que el hombre explota. Existe, entonces, una oposición entre nuestras explotaciones y la tendencia de la sucesión ecológica. Así es si nosotros nos consideramos extraños al ecosistema. Pero no si nos consideramos parte del mismo, como una especie más, aunque dominante. Conociendo la trama de las relaciones ambientales y su funcionamiento podríamos salvar tal oposición, ya que cuando fuese necesario mantendríamos la estabilidad con subsidios de materia y de energía (fertilizantes, petróleo, control de especies competidoras, etc.). Pero actualmente usamos mucha más energía de la que efectivamente necesitaríamos si conociésemos mejor las estructuras y dinámicas de los ecosistemas que explotamos.

La explotación de los recursos ha de hacerse tratando de conciliar nuestros intereses con la persistencia de la mayor cantidad de estructuras y funciones de los sistemas naturales; es necesario entonces conocer sus dinámicas. En el caso de un ecosistema, explotado o no, las tres funciones de estado que definen su dinámica son: resistencia, elasticidad y resiliencia, definidas respectivamente como: la capacidad para resistir fluctuaciones o explotación sin que haya cambios en su estructura y su funcionamiento; la capacidad de recuperar el estado estacionario inicial después de una explotación o perturbación; y la velocidad con la que se recupera el sistema después de un cambio.

Respecto de la estabilidad podemos observar que existen ecosistemas frágiles y ecosistemas resistentes. Ecosistemas frágiles son los que pueden ser desplazados con relativa facilidad de su estado de equilibrio dinámico. Este es el caso de la selva nublada donde hay muchas especies interactuando con relaciones muy delicadas entre ellas. Donde, si por la caída de un árbol se genera un claro, éste es rápidamente "cicatrizado" por el crecimiento de nuevos árboles o aún de árboles ya adultos pero que permanecían con pequeño tamaño. Sin embargo, si para explotarla se realizara una tala total de la especie dominante, lo más probable es que, aunque pase mucho tiempo, esa especie ya no volvería a crecer porque se degradaría el suelo, y además después desaparecerían especies asociadas a la que explotamos (por ejemplo, epífitas, aves que se alimentan o nidifican en sus copas, pequeños mamíferos, etc.). Este tipo de ecosistemas son estables mientras no reciban una perturbación importante como puede ser una gran explotación de sus recursos.

Un ecosistema resistente será el que conserve sus características aún después de una explotación relativamente intensa. Según Margalef (1974) puede decirse que son ecosistemas preadaptados a la explotación humana. Un ejemplo podría ser el pastizal pampeano. Allí, aunque se eliminen las gramíneas autóctonas dominantes y sean reemplazadas por cultivos de otras plantas herbáceas, y aunque se críen herbívoros domesticados de gran tamaño como vacas o caballos, el sistema sigue manteniendo las características de pastizal y tenderá a ocupar la fisonomía original cuando se abandonen los cultivos y se retiren los herbívoros domesticados -que en el pastizal pampeano ocupan el lugar de herbívoros nativos como las hormigas, pequeños mamíferos y en algunas zonas otros de mayor tamaño como ciervos y guanacos-. Sólo un sobrepastoreo prolongado, o el agregado de biocidas para mantener un monocultivo, pueden desplazarlo de las condiciones características de la estabilidad original.

Ambos ecosistemas son estables pero la selva nublada puede dejar de serlo más fácilmente que el pastizal porque es más frágil. Aquel sistema que se recupere más rápido luego de una perturbación será un sistema más elástico y aquél que resista mayor intensidad de perturbaciones será más resiliente. Normalmente los ecosistemas con estabilidad dinámicamente frágil son muy elásticos pero poco resilientes, como sucede con los bosques que son eliminados para hacer agricultura, si se abandonan los cultivos el bosque no se repone porque la perturbación es demasiado grande. En cambio, si las perturbaciones son pequeñas como en la agricultura de algunos pueblos indígenas, los ecosistemas no pierden sus características.

Los recursos naturales, en principio, son explotados para satisfacer necesidades de las poblaciones humanas buscando con los beneficios alcanzar un desarrollo compatible con la preservación del recurso, que el desarrollo sea sustentable en el tiempo. Sobre la sustentabilidad del desarrollo está el ensayo IX.1 al final de este capítulo.

Todos esos aspectos de la dinámica de los ecosistemas deberían ser estudiados y conocidos antes de emprender una explotación a gran escala de un recurso natural para saber evitar, controlar o mitigar el impacto ambiental que ha de producir. Para estudiar los diversos ecosistemas son necesarios especialistas de muchas áreas del conocimiento, porque hay que saber qué recursos naturales tenemos, con qué contamos, y entonces necesitamos, entre otros profesionales, botánicos que estudien y realicen censos de la flora existente, zoólogos que hagan lo mismo con la fauna, geólogos que estudien las rocas sobre las que se desarrolla la vida, tecnólogos especialistas en aplicar técnicas como la del análisis de imágenes satelitales y ecólogos que en los distintos ambientes integren e interpreten la información existente a medida que se va obteniendo, ya que en ecología no es necesario contar con todos los datos de un ecosistema, comunidad o población para saber cómo funciona.

En Argentina se vienen realizando estos estudios y trabajos desde hace muchos años, con especial planificación e inversión estatal a partir de la segunda mitad del Siglo XX. Las Universidades Nacionales, el Consejo Nacional de Investigaciones y Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y las provincias han realizado y realizan importantes aportes a esos objetivos. Se cuenta ya con mucha información pero es necesario que se la use, se la tenga en cuenta y haya mayor intervención de los que conocen cómo son y cómo funcionan los diferentes ecosistemas para asesorar y tomar decisiones antes, durante y después de su eventual explotación. Sobre la teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales puede leerse el ensayo IX.2 al final de este capítulo.

## **UN MODELO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Un ejemplo de modelo de manejo de recursos naturales es el del rendimiento máximo sostenido (RMS) que nos explica cuál es “la máxima extracción de la producción excedente de una población animal o vegetal que puede ser explotada teóricamente de manera indefinida, es decir, sin afectar su capacidad de reposición. En general las poblaciones animales y vegetales tienen diversos rendimientos sostenidos a diferentes niveles de densidad poblacional, pero sólo uno de esos niveles es el que permite la extracción máxima” (Rabinovich, 2002).

Veamos cual es ese nivel que permite la extracción máxima. Sabemos que en un modelo de crecimiento sigmoideo, por debajo de la capacidad de carga  $K$ , la población tiene una velocidad de crecimiento que es mayor que cero. Entonces se produce un excedente de individuos que es posible extraer sin que el tamaño poblacional  $N$  varíe a largo plazo, y

el RMS se obtiene cuando la velocidad de crecimiento es máxima, es decir, en el punto de inflexión de la curva sigmoidea, donde  $N=K/2$ . Si ese excedente no se extrae la población seguirá creciendo hasta alcanzar la capacidad de carga, donde la velocidad de crecimiento es cero y ya no hay excedente.

Pese a su utilidad, el modelo de RMS tiene algunas objeciones: no resulta adecuado para el caso de recursos multispecíficos, en los cuales se explotan varias especies a la vez (por ejemplo la pesca), donde es imposible lograr el RMS para todas las poblaciones. Tampoco considera adecuadamente las fluctuaciones que sufren las poblaciones, ya sea por variaciones en su capacidad de carga, o cambios climáticos. No obstante ajustando la estimación de la capacidad de carga de la población cada año, el empleo del modelo puede dar buenos resultados de manejo.

Un ejemplo simple de la aplicación de este modelo podría ser el de la explotación de una población de mamíferos herbívoros silvestres. Si suponemos una población con una capacidad de carga  $K$  de 150000 individuos, el Rendimiento Máximo Sostenido se obtendría cuando hubiera 75000 individuos, y si suponemos que una tasa de extracción que permitiera mantener el tamaño poblacional constante fuera de 2000 individuos al año, la aplicación de este modelo serviría además para calcular el costo de oportunidad. Así por ejemplo, si por cada adulto que cazáramos pudiéramos obtener 1000 pesos, aplicando RMS obtendríamos 2 millones de pesos al año. Pero si en lugar de hacer eso cazásemos todos los individuos de la población, es decir los 150000, podríamos obtener 150 millones de pesos, y si los depositamos en un banco con una tasa de interés del 5 % anual obtendríamos una renta de 3750000 pesos. Comparando esta ganancia con la anterior vemos que aunque se agotase completamente la población se ganaría 1750000 pesos más por año, es decir que su eliminación sería más beneficiosa económicamente que la conservación mediante una explotación sostenible. La decisión de hacer una cosa o la otra, como en todos los temas de nuestra relación con la naturaleza y con nuestros semejantes, debería estar controlada por principios y conocimientos que tengan en cuenta los efectos a mediano y largo plazo para la sociedad involucrada, y no quedar librada a decisiones individuales.

Un ejemplo de explotación sostenible de mamíferos silvestres se encuentra en el ensayo IX.3 sobre la conservación y manejo de la vicuña que está al final de este capítulo, allí se explica cómo se logra la extracción de la lana de la vicuña en la puna altoandina. Y una descripción de los recursos pesqueros del mundo y del mar argentino y de su explotación se encuentra en el ensayo IX.4 que también se encuentra al final de este capítulo.

## RECURSOS NATURALES EN AMÉRICA LATINA

La percepción que el hombre tiene de la naturaleza siempre ha influido en su relación con ella. “El hombre contempla el mundo que le rodea a través de las gafas de la cultura y, de esta forma, la naturaleza queda transformada en recursos. Los elementos de valores, conducta y tecnología que se funden para dar lugar a la cultura son enormemente variados y la mezcla resultante es distinta para cada tiempo y lugar (.....). Asimismo, en torno al conocimiento y explotación de los recursos naturales gira la historia de muchas, sino todas, las civilizaciones, incluida la actual” (Simmons, 1982).

Antes de la llegada de los europeos a América, las poblaciones indígenas habían desarrollado buenas técnicas para la explotación de los recursos. El imperio Inca tenía conocimientos que les permitían predecir el clima; tratar semillas para evitar su infección o para obtener una mayor cosecha, usar fertilizantes, regar, etc. El sistema de cultivo chinampa desarrollado

por los aztecas para el riego en la región que ahora es México era muy eficiente. Consiste en una serie de canales separados entre sí por terraplenes de tierra en los que se implantan una serie de cultivos. De los canales se obtiene agua, vegetación acuática y pescado; de los terraplenes se obtiene maíz, frijol y madera (Gligo & Morello, 1980). Pero es necesario decir que los incas y los aztecas tenían esclavos, principalmente de otros pueblos, y con el aporte del trabajo de los esclavos esos imperios podían tener sistemas altamente productivos.

Cuando los europeos llegaron a América se encontraron con ecosistemas que les eran desconocidos y que ofrecían una gran variedad de recursos. A los españoles les interesaba especialmente la minería; en ella concentraron sus esfuerzos y en algunos casos otros recursos fueron degradados para permitir la explotación minera. Así, grandes superficies forestales cercanas a las minas fueron taladas para alimentar a las calderas de fundición (Gligo & Morello, 1980). También muchas poblaciones fueron perseguidas y desplazadas para poder arrasar sus ecosistemas e implantar monocultivos como caña de azúcar, algodón, café, como ocurrió con los indígenas del norte de América. Nos dice Eduardo Galeano (1979): "... los cronistas de otros tiempos decían que podía recorrerse Cuba, a todo lo largo, a la sombra de las palmas gigantes y los bosques frondosos, en los que abundaban la caoba y el cedro, el ébano y los dagames. Se puede todavía admirar las maderas preciosas de Cuba en las mesas y en las ventanas del Escorial o en las puertas del palacio real de Madrid, pero la invasión cañera hizo arder, en Cuba, con varios fuegos sucesivos, los mejores bosques vírgenes de cuantos antes cubrían su suelo. En los mismos años en que arrasaba su propia floresta, Cuba se convertía en la principal compradora de madera de los Estados Unidos. El cultivo extensivo de caña, cultivo de rapiña, no sólo implicó la muerte del bosque sino también, a largo plazo, la muerte de la fabulosa fertilidad de la isla."

Al producirse la independencia, las nuevas naciones ingresaron en el mercado internacional ofreciendo sus materias primas. Pero las fluctuaciones del mercado se tradujeron en una mayor inestabilidad en la explotación de los recursos naturales. En América Latina el poder político y económico se estructuró en torno a la agricultura, y la tenencia de la tierra se consolidó bajo la forma de latifundios. Argentina no fue una excepción, y basó su economía en la ganadería y el cultivo del trigo y del maíz. El pastoreo excesivo y la introducción de especies exóticas produjeron una transformación en las comunidades vegetales de la pampa. El ganado introducido desplazó las especies autóctonas como el guanaco, el ñandú y el ciervo (Gligo & Morello, 1980).

## LOS RECURSOS DE LA BIODIVERSIDAD

Desde hace algunos años se habla mucho de que es necesario preservar la biodiversidad. Pero la biodiversidad no es algo material, es sólo un dato que refiere a la variedad y variabilidad contenida en los seres vivos, desde las sustancias químicas, hasta los genes, los individuos, las especies, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas. Todo esto es lo que hay que preservar.

Las especies hasta ahora identificadas se aproximan al millón y medio. Pero son muchas más: se calcula que existirían actualmente unos 10 millones y algunas estimaciones hablan hasta de 30 millones. Y las especies actuales sólo representarían el 0.001 % de las especies que han existido desde que existen los seres vivos. Así es, tarde o temprano, todas las especies se extinguen (Margalef, 1974). Pero la extinción actual de las especies es acelerada por los cambios introducidos en el ambiente por la especie *Homo sapiens*. La última gran extinción en masa se produjo hace 65 millones de años cuando les tocó el turno, entre otros

grupos de especies, al grupo de los dinosaurios.

Jorge Crisci (2000) ha escrito “Todos los seres vivos que existen y han existido están hermanados en el origen. Cada una de las especies, incluyendo al hombre, contiene en su memoria genética el sonido de los truenos que acunaron la vida y comparte esa memoria con el resto de la diversidad biológica. Pero, al mismo tiempo, cada una de las especies es un ensayo único y precioso de la naturaleza, donde se cruzan los fenómenos del universo, sólo una vez de ese modo, y nunca más. Y así cada especie, con su singularidad y universalidad, es un espejo secreto del inconcebible universo.”

La población humana para mantener su biomasa elimina, de manera voluntaria o involuntaria, la biomasa de otras especies que compiten con ella, ya por los alimentos, ya por el espacio. Al eliminar directamente algunas especies y acelerar involuntariamente la extinción de otras, el hombre está cerrando posibilidades para el presente y el futuro. La diversidad biológica puede ser valorada desde un punto de vista utilitario: muchas especies que no llegamos a conocer podrían ser fuente de recursos medicinales o alimenticios; en la actualidad más del 40% de los medicamentos humanos provienen de los vegetales (Marder *et al.*, 2001). También porque sabemos que, como recursos naturales, los ecosistemas con alta diversidad bien manejados son energéticamente más eficientes; y, más aún, pueden tener valor estético y recreacional; una selva tropical o un bosque templado o frío, pueden ser muy atractivos y placenteros para el hombre. Hay otra visión no utilitaria que nos habla del respeto por la naturaleza de la que somos indisolublemente una parte. Y este es un serio problema ético. En la Constitución de la república de Ecuador en el año 2008 se ha explicitado que la naturaleza tiene derechos, entre ellos el de la protección de los ecosistemas y la biodiversidad.

En estos tiempos la biodiversidad está amenazada por el despilfarro de la minoría rica de la humanidad y por las necesidades de la mayoría pobre. Frecuentemente los pobres, para sobrevivir, se ven forzados a explotar los recursos naturales hasta puntos de no retorno (Halffter *et al.*, 1999).

El número de especies que los hombres explotan en estos tiempos y que se consideran valiosas en la civilización capitalista es muy bajo frente a la gran diversidad de especies domesticadas a lo largo de 10000 años. Poco interés existe por las especies que no tienen una utilidad evidente e inmediata, sólo interesa preservar las plantas o animales “que sirven para algo”.

Las listas de los catálogos de especies en peligro de extinción se ocupan de los animales con pelo o con plumas. Pero la mayor cantidad de especies que existen, y que se están extinguiendo por la alteración antrópica de los ambientes, no están al alcance del ojo humano, son de pequeño tamaño.

## **EL RECURSO SUELO, BASE DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

El suelo es un componente todo ecosistema terrestre que se forma y desarrolla en la zona de contacto de la litosfera con la atmósfera por la acción del agua, el aire y los organismos vivos y muertos. El resultado es un subsistema con un equilibrio dinámico y estable, con propiedades físicas y químicas dadas principalmente por la naturaleza de la roca madre, el relieve, el clima, la biota y el tiempo transcurrido.

La profundidad del suelo depende de las características de la roca, del clima y del tiempo en que se inició el proceso. Puede haber suelos de varios metros de profundidad en las llanuras y otros de unos pocos centímetros en las de relieve escarpado.

El tiempo de formación del suelo depende básicamente del clima, pero siempre se trata de

tiempos extremadamente largos si lo comparamos con el tiempo en que puede destruirse por la acción humana. Un suelo que tardó 100000 años en formarse puede desaparecer en pocos días por la erosión eólica o hídrica cuando se hace un uso inadecuado de este recurso natural.

Los usos de los suelos como recursos naturales, varían en el tiempo y el espacio. Algunos usos, los más convenientes para su sostenimiento en el tiempo, son los que se basan en aprovechar las funciones que cumplen en la naturaleza. A saber, la función biológica: son el soporte de una biodiversidad muy grande de microorganismos responsables, entre otras cosas, de reciclar la materia orgánica, intervenir en la nutrición de las plantas superiores y mantener la agregación de partículas; la función alimentaria: es el substrato y fuente de numerosos nutrientes para la vegetación terrestre, natural o cultivada, que provee la mayor parte de los alimentos para el hombre y los otros animales; la función de filtro: su porosidad permite la circulación de agua y gases, aptitud que aprovecha el hombre para depurar aguas sucias; la función soporte: sobre los suelos se construyen las viviendas y caminos del hombre. Esta función debe tener muy en cuenta que como soporte deja de ser un recurso para obtener alimentos (Hurtado, 1993; Morello *et al.*, 2000).

Aproximadamente sólo el 11 % de la superficie del planeta tiene suelos cultivables; si agregamos los suelos de zonas áridas o anegables y que podrían ser utilizados, alcanzaríamos sólo un 22 % de tierras cultivables, o sea unos 3000 millones de hectáreas. De esa tierra el 76 % ya es explotado en los países desarrollados y el 36 % en los países subdesarrollados.

El uso de los suelos para agricultura en Argentina comenzó en la región andina, y en el siglo XIX, con la inmigración europea y el proyecto político agroexportador, comenzó a hacerse en las llanuras. Argentina, Uruguay y Brasil tienen en la región de los pastizales pampeanos un recurso natural de gran riqueza ecológica y económica. El aprovechamiento de los servicios ambientales que tiene, al mismo tiempo que en esa extensa región realizamos agricultura y ganadería sin degradarla, es una oportunidad que aun seguimos teniendo. Pero en una parte importante de esa región ya se han degradado muchos de los servicios que tenía, principalmente por la erosión eólica. En el ensayo IX.5, "El Pastizal Pampeano", que se encuentra al final del este capítulo se describen las características de este recurso natural.

## DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos se encuentran amenazados principalmente por la pérdida de fertilidad y por la erosión. El primer caso es consecuencia de la explotación intensiva de cultivos, que con la extracción de su biomasa, tanto de forraje, fibras y semillas, se llevan minerales del suelo que no son devueltos a la tierra del cultivo.

La erosión es causada por el viento o por el agua. Un suelo de zonas áridas puede ser destruido fácilmente por erosión eólica si este suelo está reseco y sin cobertura vegetal. La erosión hídrica, en general, afecta tierras de pendientes abruptas, con mala cobertura vegetal y también a las llanuras de inundación de los grandes ríos.

Por otro lado un suelo de zonas húmedas que tenga poco drenaje probablemente se verá afectado por anegamiento y posterior salinización.

El 20 % de la superficie de Argentina, es decir unos 50 millones de hectáreas se hallan afectadas por erosión. Hay provincias más afectadas como San Juan (47% de su superficie), La Rioja (45 %) y Formosa (44 %). Sin embargo, es muy grave también la situación en Buenos Aires donde casi un 30 % de su superficie, unos 8.5 millones de hectáreas, se ha visto afectado por la erosión (PROSA, 1988). En muchas zonas selváticas o boscosas de Argentina

se extrae la madera y, en lugar de reforestar, se realizan actividades agrícolas, por lo general monocultivos, como algodón en Chaco, caña de azúcar y cítricos en Tucumán, yerba mate y té en Misiones y soja en casi todas. En otros lugares las especies y ecosistemas nativos, sean bosques o pastizales, son reemplazadas por árboles de crecimiento rápido. En Argentina se pueden ver ejemplos como éstos en las plantaciones de pinos en Misiones y en la faja más húmeda del borde entre el bosque subantártico y la estepa patagónica; y de eucaliptos en Entre Ríos, Corrientes, Misiones y Santa Fe. Si bien esto no favorece tanto la erosión como el caso anterior, crea problemas de reducción de la diversidad biológica y cambios en las características físico-químicas y funcionales de los suelos. Un caso histórico que produjo la degradación del suelo y generó la emigración de las poblaciones humanas fue la explotación durante 50 años del quebracho colorado en la región chaqueña de Argentina por la empresa inglesa La Forestal.

Hay suelos que son muy frágiles como los suelos de montaña o de los trópicos; si se los utiliza para agricultura o para un pastoreo intensivo es probable que esos suelos sean “volados” por el viento en zonas montañosas, semidesérticas ó desérticas, o lavados por lluvias y escorrentía en zonas tropicales de abundantes precipitaciones.

La erosión puede evitarse dejando al suelo con cobertura vegetal viva y muerta, la que impide que el agua escurra rápidamente arrastrando la parte superficial. No arando nunca en el sentido de la pendiente para lograr una mayor retención del agua en los surcos. Poniendo cortinas de árboles en zonas muy ventosas y en suelos arenosos realizando un laboreo mínimo para que no pierdan su estructura, es decir, que los terrones no se disgreguen en partículas pequeñas transportables por el viento. Estas medidas de control no implican grandes costos. Existen otras medidas como la construcción de terrazas o de presas, que son costosas y exigen acuerdos y una amplia participación por parte de todas las personas afectadas. Sobre la erosión del suelo como proceso condicionado por factores económicos y sociales se puede leer el ensayo IX.6 que está al final de este capítulo.

## LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

En el siglo XX se desarrollan los sistemas agrícolas modernos, los lugares donde intervenimos intensamente en el ambiente eliminando las especies que no nos son útiles y que compiten con nosotros por los mismos recursos. Lo hacemos con energía proveniente del carbón y del petróleo, la que nos permitió el cambio de una agricultura de subsistencia y de bajo impacto ambiental, a la actual agricultura de carácter casi industrial y con un impacto que ha contribuido a generar las causas de la actual crisis ambiental.

Desde hace miles de años los hombres hemos realizado la selección artificial con diversos fines en algunas especies, pero particularmente durante los cien últimos hemos mejorado unas pocas especies vegetales que aportan la mayor parte de nuestra alimentación: maíz, trigo, arroz, papa, mandioca, soja, cebada y batata. También hemos realizado esa selección en gallinas, cerdos, cabras, ovejas y vacas, que son las escasas cinco especies que aportan la mayor cantidad de alimentos de origen animal. Y como normalmente las especies que han sido seleccionadas y domesticadas pierden la capacidad de crecer y desarrollarse en la vida silvestre, para mantenerlas no sólo hay que suministrarles alimentos y nutrientes sino que también es necesario invertir en ellas más energía: luz, temperatura, medicamentos, techos, etc., energía que también, casi toda, es de los hidrocarburos del pasado.

Entonces, estamos hablando de sistemas agrícolas que requieren importantes aportes de energía para funcionar, la que puede ser aportada por mayor o menor mano de obra. Según

esa mano de obra ocupada en función de la superficie cultivada, podemos considerar que existen dos tipos de agricultura, por un lado está la realizada con mucha mano de obra, que es la agricultura de campesinos, colonos, minifundistas, pequeños productores, artesanos y de varias formas más donde casi toda la familia participa en el trabajo; y por otro la agricultura industrial, que ocupa mano de obra especializada -pero poca- explota grandes superficies y usa mucha tecnología y energía externa.

La primera, la agricultura familiar realizada por los campesinos produce el 70% de los alimentos que se consumen en todo el mundo y ocupa entre el 50 y el 70% de la mano de obra de la población rural. Esa ocupación de mano de obra y producción son importantes cuando se tiene en cuenta que el 49% de la población mundial vive en zonas rurales, produce los alimentos que ella consume y tiene un excedente que exporta a las zonas urbanas ([http://www.etcgroup.org/upload/publication/pdf\\_file/Comm102WhoWillFeeSpa.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/Comm102WhoWillFeeSpa.pdf)).

En Argentina esa agricultura de campesinos ocupa el 53% del empleo rural, que asciende al 70% si se considera la mano de obra familiar y constituyen el 71% del total de los productores del sector agropecuario, que tienen menos del 15% de las tierras explotadas de acuerdo al censo realizado en 2011 por el Registro Nacional de Agricultura Nacional ([www.renaf.minagri.gob.ar/](http://www.renaf.minagri.gob.ar/)).

La característica de la agricultura industrial es la dependencia casi absoluta de los combustibles fósiles y de los insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. Se produce en grandes superficies con monocultivos, que aunque económicamente son más rentables, requieren más agroquímicos y por la extrema simplificación los agrosistemas pierden el efecto estabilizador de la biodiversidad; también es consecuencia de esta agricultura la pérdida de variedad de especies cultivadas durante milenios y la pérdida de culturas rurales; a lo que hay que agregar la degradación de los suelos por pérdida de nutrientes, debido a que comúnmente se extrae más de lo que se repone (Sarandón, 2002). Se usan los mejores suelos y se trabaja a gran escala, poca mano de obra, mucha tecnología y gran capital, el pequeño y mediano campesino no puede competir y tarde o temprano termina abandonando su trabajo en la tierra. Para expandir las fronteras de esta agricultura se eliminan bosques y todas las comunidades que los integran, incluidas las humanas, pierden sus hábitats. Además la expansión de las fronteras también expande los efectos secundarios como el despoblamiento rural.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en los países subdesarrollados fueron introducidas semillas de nuevas variedades muy productivas de cereales, como el trigo y el arroz, especialmente en la década de 1960. Se buscaba lograr altos rendimientos con variedades de madurez temprana y homogénea y uso de grandes cantidades de fertilizantes y de pesticidas. Esas nuevas variedades al tiempo que muy productivas eran muy sensibles al ataque de insectos y de hongos. A esa etapa de la agricultura mundial se la denomina "revolución verde". Este fue un nombre irónicamente muy apropiado porque en los países destinatarios se creó una nueva dependencia para producir alimentos, no sólo de las empresas transnacionales productoras de las semillas sino también de las productoras de los fertilizantes y agrotóxicos, que en muchos casos son las mismas. Se incorporaron más tierras y tecnología, y en algunos países se han alcanzado los altos rendimientos, como en India, donde desde 1968 la producción de trigo se ha triplicado, en tanto que en ese mismo período la población se ha duplicado; lo mismo pasó con el arroz en toda Asia. Pero transcurridos más de 50 años, pese al uso de plaguicidas, los insectos destruyen alrededor de un tercio de los cultivos del mundo.

Con esa agricultura de altos insumos en monocultivos de maíz, trigo, arroz y soja, en el año 2011, la producción mundial alcanzaba alrededor de 2200 millones de toneladas, cifra que a los argentinos puede decirnos algo si la comparamos con los 90 millones de toneladas

que se produjeron en nuestro país ese mismo año con igual tecnología. Parte de esa producción se usa para producir carne de porcinos, vacunos y aves y, parte, para obtener energía como biocombustibles usando, particularmente para eso, maíz y soja.

En USA en el 2009 se destinó el 30% de su producción de granos para fabricar etanol, en tanto que en 2012 la sequía en ese país llevó a que la FAO le pida que no fabrique más etanol a partir de maíz y otros granos para que queden para la alimentación; pero si así lo hacen bajarían los precios del maíz y no se sembrará en lugares donde es un cultivo para alternar con la soja en busca de la protección del suelo. Esto nos ilustra sobre la fragilidad de los modelos basados en la agricultura industrial. En el mundo en el año 2011 se produjeron alrededor de 314 Kg de granos por habitante ( $2200 \times 10^9 / 7 \times 10^9$ ) pero sólo en USA fueron 800 Kg/habitante. Según esta producción se hacen cálculos que influyen en los precios en función de la existencia o no de déficit en el stock mundial remanente de granos; en el año 2011 el déficit es de 60 millones de toneladas. Ese stock son los granos en depósitos cuando se inicia la cosecha y es una medida de la seguridad alimentaria (se dice que “existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana”). En las últimas cuatro décadas ese stock alcanzaba para 89 días de demanda pero en el 2011 se redujo a 79 días por la mayor demanda de los países emergentes y por el uso de granos para producir energía de biocombustibles. En un intento de explicación sin consideraciones éticas ni de otro tipo, podemos decir que según lo que se observa en la naturaleza, a los organismos vivos el almacenamiento, el stock permanente, las reservas, les permiten algún control sobre el futuro, ya se trate de alimentos, energía o elementos minerales, cosa que a las poblaciones les posibilita evitar cambios bruscos.

## **SOBRE LA AGRICULTURA FAMILIAR Y LA AGROECOLOGÍA**

La agricultura familiar genera más variedad, diversidad y estabilidad, mientras que la agricultura industrial produce paisajes monótonos e inestables pero de alta productividad. Antes era común, y aun se puede encontrar en algunas regiones, un paisaje dominado por pequeños productores con alternancia de grupos de consumidores: familias que viven donde cultivan y producen, y pequeñas poblaciones que reciben alimentos que aquellas les suministran (esto se observa también en comunidades naturales). En cambio ahora hay un paisaje dominado por grandes ciudades (que son como organismos heterótrofos) que se abastecen mediante la agricultura industrial de grandes extensiones con organismos autótrofos que tienen a su alrededor y no sólo con la agricultura, puesto que también se produce carne y leche a gran escala.

Sin embargo también en la agricultura familiar, aunque en menor escala, se trabaja con técnicas que son propias de la agricultura tradicional e industrial puesto que también se usan agroquímicos y semillas con cambios genéticos. Es esta una base desde la que lentamente se desarrolla la agroecología.

La agroecología trabaja por el desarrollo de los conocimientos ecológicos para aplicarlos al diseño de agrosistemas apuntando a lograr una actividad sustentable, basada en la productividad económica, la equidad social y la salud ambiental. Se trata de un cambio de paradigma de la economía para que sea compatible con la sustentabilidad de todas las actividades productivas de la sociedad. Entonces para ayudar a lograr esa transición desde la agricultura tradicional (de altos insumos de energía y agroquímicos) hacia la agricultura ecológica, trabaja tanto

con la dimensión técnico-ecológica como con la dimensión socio-cultural. Considera como tema central estudiar la matriz comunitaria en que se inserta el agricultor (Sarandón, 2002).

Ante la declinación de las bases naturales (particularmente nutrientes) que permitieron los cultivos intensivos y prolongados sobre los suelos; los perjuicios de todo tipo por el uso de agrotóxicos para el control de la salud de las plantas; y el consiguiente aumento de los subsidios de energía (Viglizzo, 2011), en estos tiempos se está proponiendo diseñar agroecosistemas basados en procesos que aumenten el reciclado de biomasa y optimicen la disponibilidad y el flujo equilibrado de nutrientes; aumenten la actividad biótica del suelo; minimicen las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del suelo a través de la cobertura; diversifiquen específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio; aumenten las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad (Reinjtjes *et al.*, en Altieri, 2002; Sánchez, en Carrasco *et al.*, 2012).

## LOS RECURSOS DE LOS BOSQUES NATIVOS Y DE LOS IMPLANTADOS

Los bosques nativos son aquellos que han crecido naturalmente, que no los ha plantado el hombre, que son producto de miles de años de interacción con los factores climáticos y edáficos de cada región en la que se encuentran. Son ecosistemas con gran diversidad de especies de plantas y animales, muchas de las cuales están tan especialmente adaptadas a ellos que normalmente no pueden sobrevivir en otros ecosistemas. Los servicios que ofrecen van desde ser refugio de miles de especies que viven en esos lugares, regular el ciclo y calidad del agua y fijar mucho más dióxido de carbono que la vegetación de herbáceas. También determinan el clima en regiones próximas y lejanas incidiendo sobre la distribución de la nubosidad y las precipitaciones. Al *Homo sapiens* los bosques le han provisto de alimento, medicinas y fundamentalmente madera desde muchos miles de años atrás, por lo menos desde que comenzó a usar sus manos para hacer fuego, construir refugios, fabricar armas, embarcaciones, etc.

Se ha estimado que Argentina a principios del siglo XX habría tenido entre 60 y 100 millones de hectáreas de bosques nativos, pero durante ese siglo y hasta el presente, en muchos de ellos, la explotación ha consistido en el desmonte para agricultura y ganadería, no habiéndole asignado ningún valor a la continuidad de los servicios de la vegetación y la fauna originales. La explotación de estos recursos naturales ha consistido en la extracción de madera para leña, para los durmientes de los ferrocarriles y para construcciones de todo tipo, sin tener en cuenta ningún plan que tendiese a la protección del recurso, básicamente al mantenimiento del mismo en el tiempo. Se talaban árboles de centenares de años sin reponer no ya ejemplares de la misma especie sino de ninguna, dejando los suelos en ciertos casos expuestos a la erosión o a la invasión de malezas, cuyo ingreso al interior del bosque se ve facilitado por la mayor luminosidad; y este ingreso de malezas muchas veces también facilita el ingreso del fuego.

En los comienzos del siglo XXI a Argentina le quedan alrededor de 31 millones de hectáreas de bosques nativos distribuidos entre los bosques patagónicos, ubicados en las laderas montañosas a lo largo de la cordillera patagónica; en el bosque chaqueño, en las provincias de Chaco, Formosa, Salta, Santiago del Estero, Santa Fe y Córdoba; en la selva paranaense, de la provincia de Misiones; en las yungas en las laderas húmedas de las Sierras Subandinas del noroeste de Argentina (Salta, Jujuy, Tucumán) entre los 400 y 2500 m snm; y en el espinal, que son bosques de pequeñas superficies discontinuos en un paisaje que va desde el sur de La Pampa y Buenos

Aires hasta Corrientes, pasando por San Luis, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos.

De los bosques nativos, además de los productos tradicionales basados en la producción de los árboles, en muchos casos, con un manejo adecuado también se obtiene carne de bovinos, caprinos y ovinos en explotaciones silvopastoriles. El turismo es otra importante fuente de ingresos porque el paisaje de los bosques es un gran atractivo para el hombre de la ciudad, particularmente aquellos que se vinculan con bellezas escénicas (cataratas, lagos, montañas).

“Un comentario aparte merece la situación de los pueblos originarios o aborígenes en relación a los bosques nativos argentinos. Se estima una población aborigen de alrededor de un millón de personas, 50% de las cuales viven en relación directa con el bosque, es decir alrededor de 500000 personas pertenecientes a unas diez etnias. Con el reconocimiento constitucional de los derechos pre-existentes sobre la tierra de estas comunidades, previsto en la reforma de la Constitución Nacional del '94, hoy existe un reclamo generalizado de reconocimiento de la tenencia de la tierra sobre vastas superficies forestales de la Argentina, tema no menor que deberá resolverse próximamente para tener claridad sobre el destino de nuestros bosques nativos y sus poblaciones ancestrales” (Brown, 2009).

Para conocer un caso de manejo forestal sustentable de un bosque nativo de Argentina se puede leer el ensayo IX.8 que está al final de este capítulo.

En Argentina también existen bosques implantados que cubren una superficie de 1,2 millones de hectáreas. Las especies cultivadas son básicamente pinos en Misiones, eucaliptos en Entre Ríos, y álamos y sauces en el Delta de río Paraná. En estos casos los suelos son objeto de estudios que realizan especialistas con el fin de conocer la sostenibilidad de esas explotaciones en contraposición con usos alternativos de los mismos suelos.

Quien quiera saber sobre plantaciones en el Delta del Paraná y sobre cultivo de eucaliptos en Entre Ríos, podrá leer los ensayos IX.9 y IX.10, que se encuentran al final de este capítulo. También puede estudiar el libro online de libre acceso “Ecología y manejo de los bosques de Argentina” (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>)

En estos tiempos muchas regiones boscosas están siendo desmontadas para hacer cultivos de herbáceas anuales, como el maíz y la soja. Siendo la soja una planta de gran rusticidad, alta producción de granos y que se adapta a muchos climas, su cultivo está dando origen a la ocupación no sólo de los suelos agrícolas de la llanura pampeana sino también a los de bosques que se eliminan, particularmente en la ecorregión chaqueña (70% de la deforestación en la última década). Esto significa – sin una adecuada planificación y zonificación- perder para siempre animales, plantas, suelos y servicios que tienen los bosques, que son patrimonio de Argentina y de los que toda la sociedad siempre podría recibir beneficios, directa o indirectamente, a cambio de altas ganancias de corto plazo y muy probablemente escasa duración.

Ha dicho el ecólogo doctor Jorge Morello “En este milenio tenemos totalmente claro que los bosques son valiosos por muchas razones más que la producción de madera. Cualquiera que haya convivido cierto tiempo con los tobas, y los Wichi en el Chaco ha aprendido que los bosques son “farmacias vivientes”, “mercados de alimentos vivientes”, “fábricas de tinturas, resinas, gomo-resinas y látex”, “mercerías de fibras vegetales”. Ya sabemos que algunos bosques tropicales manejados para producción de frutos y látex rinden económicamente el doble que si se dedicaran a plantaciones intensivas o conversión para ganadería, y los bosques de clima templado-frío son más valiosos para conservar agua, suelo y hábitats para recreación que si se manejan solamente para producción de madera” (Morello, 2004).

El tema es muy serio y profundo, y para revertirlo son necesarios planes que aborden lo social y lo educativo ya que se trata de la escasa valoración de los recursos forestales y tam-

bién de la escasa capacidad técnica para lograr que los bosques generen recursos tangibles que permitan que la sociedad los perciba de una manera diferente. En muchas partes de Argentina en el año 2012 una hectárea con bosque valía menos que una hectárea sin bosque.

## PLAGAS E INVASIONES BIOLÓGICAS

Comúnmente se considera plaga a toda especie que por su tamaño poblacional en un determinado lugar, provoca daños o perjuicios considerables para la salud o la economía del hombre. Desde el comienzo de las civilizaciones numerosas plagas se han sucedido afectando cultivos y perjudicando a diferentes poblaciones humanas. Referencias de ello pueden encontrarse en crónicas sumerias y egipcias, en la Biblia, en la historia de Arabia, de China y de otros pueblos de la antigüedad y de la Edad Media (Brailovsky, 2005).

Las condiciones para que se desarrolle una plaga pueden darse cuando las poblaciones humanas se expanden ocupando nuevas áreas en busca de recursos alimenticios o de otros recursos naturales. Cuando el hombre explota los ecosistemas tiende a simplificarlos para eliminar competidores (a los que entonces llama precisamente plagas) y tener así mayor producción neta a su disposición. En el sistema habrá una mayor disponibilidad de recursos que intentarán aprovechar, no sólo el hombre, sino también algunas de las especies naturales de ese sistema desplazadas por la intervención humana. Entre ellos, los que tengan una alta tasa de reproducción -selección de tipo "r"- serán los más difíciles de controlar y podrán ser considerados plagas. En la naturaleza no existen las plagas, sólo existen las especies que pueden llegar a serlo como resultado de algún cambio ambiental, ya sea producido por el hombre o por fenómenos naturales en zonas que el hombre habita. Así, una especie a la que se le han eliminado sus controles naturales puede constituirse en plaga, como sucedió a principios de siglo XX con la población de vizcachas en la llanura pampeana que era controlada por pumas y zorros, y que, al ser éstos perseguidos, incrementó su número.

Desde siempre el hombre en sus desplazamientos, voluntaria o involuntariamente, lleva consigo otras especies animales o vegetales, que en los nuevos ambientes pueden encontrar condiciones adecuadas para su desarrollo. Puede suceder que la especie exótica establezca una relación de equilibrio con la comunidad preexistente, pero también es posible que, si la especie introducida tiene una alta tasa de crecimiento y carece de enemigos naturales, se convierta en invasora y puede también llegar a ser una plaga. Se habla en estos casos de invasión biológica o contaminación por especies.

Son muchas las plagas que conocemos: la liebre europea en las pampas de América del Sur, el conejo europeo y el castor norteamericano en Tierra del Fuego. Este último fue introducido en 1946, y más de 60 años después la descendencia invadió todo el archipiélago y ya es prácticamente imposible controlarlo. Los castores comen las ramas, las hojas y hasta la corteza de diferentes árboles y producen su muerte (Lizarralde, 2000). En la localidad de Jáuregui, en el partido de Luján en la provincia de Buenos Aires, en los comienzos de la década de 1970 un señor que las tenía enjauladas, liberó unas diez ardillas de la especie *Callosciurus erythraeus*, roedora oriunda del sudeste asiático. Desde aquellos años ya se han reproducido tanto que en el año 2010 se las pudo encontrar en varias localidades próximas a Luján, también en la provincia de Córdoba (La Cumbrecita) y en la provincia de Santa Fe (Cañada de Gómez) donde llegaron trasladadas por otros hombres que la consideraron agradable para tener en sus pueblos. La expansión se debe a su propia reproducción y también a la captura y liberación intencional. Constituyen una plaga que ocasiona diversos daños, como estropear los árboles frutales y comerse las frutas, roer cables eléctricos, de teléfono,

mangueras de riego, etc. y competir por los alimentos con especies nativas de esta zona que tienen nicho ecológico parecido; o alimentarse de huevos de algunas aves; también podrían ser transmisores de enfermedades. Sobre la invasión por ardillas puede leerse el ensayo IX.11 que está al final de este capítulo.

En el Río de la Plata, en el año 1991 se observó la presencia de un molusco, el mejillón dorado, *Limnoperna fortunei*, originario de China y el sureste asiático, y en el año 2012 ya había invadido amplias zonas de la Cuenca del Plata, hasta Paraguay y Brasil. Es una especie que compite con las nativas desplazándolas, llegan a encontrarse hasta 150000 individuos por metro cuadrado (Darrigran *et al.*, 2001). Un caso inverso al anterior es el de *Pomacea caniculata*, conocida como 'ampularia', un caracol común en ambientes acuáticos de Argentina, que fue llevado hacia 1979 al sudeste asiático con el fin de criarlo para comer y hoy ha invadido esa región, donde ya constituye una plaga de los cultivos de arroz, principal fuente de alimento de la población de esos países (Damborenea, 2002).

También hay invasiones en ambientes marinos como ocurre en el caso de *Undaria pinnatifida* que es un alga macroscópica de color pardo proveniente de Japón. Aparentemente los barcos pesqueros y comerciales al liberar en el puerto el agua que traen de lastre habrían liberado también esporas de este organismo que está colonizando la costa de Puerto Madryn y ya se ha dispersado por otras zonas de la costa patagónica compitiendo con especies autóctonas como *Macrocystis pyrifera* (Casas & Schwindt, 2008).

En el año 2012, en Argentina, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación ha declarado a la especie *Didymosphenia geminata* como exótica invasora en todo el país. Se trata de una diatomea de agua dulce, un alga microscópica que crece formando masas mucilaginosas conocidas como moco de rocas, y se la encuentra en las rocas y otras superficies sólidas del fondo de arroyos y ríos de zonas frías.

## CONTROL DE PLAGAS EN LA AGRICULTURA

El control de una plaga consiste en limitar su abundancia para que no alcance a producir daños económicos. Con ese objetivo se utilizan métodos mecánicos, químicos y biológicos. Los métodos de tipo mecánico son los más primitivos y no siempre eficaces, como usar espantapájaros, arrancar malas hierbas con las manos, producir ruidos, cazar, etc. Los métodos químicos son los más usados en la actualidad, con el empleo de herbicidas e insecticidas. Estos métodos, si bien pueden ser muy efectivos, causan diversos problemas; por un lado su incorrecta o excesiva utilización puede producir intoxicaciones y contaminación; por otro lado habitualmente matan además de las especies consideradas plagas a otras que son beneficiosas para el hombre, inclusive en ciertos casos a los mismos controles naturales de la plaga. En los últimos años estos biocidas han sido muy perfeccionados logrando mayor efectividad y selectividad, aunque no han sido eliminados sus efectos residuales es poco conocido el efecto que éstos y sus productos de degradación causan sobre los organismos no destinatarios. Los métodos biológicos son diversos: 1- Introducción o reintroducción en el ecosistema de los controles naturales de la especie plaga; hay que asegurarse que el depredador de la plaga sea consumidor exclusivo de ésta pues de lo contrario el organismo que controla podría después transformarse en plaga. Esto ocurrió en Jamaica donde se introdujo la mangosta (un mamífero carnívoro) para controlar poblaciones de ratones, cuando el número de éstos se redujo comenzaron a comer todo lo que encontraban a su paso, aves de corral, huevos, etc. 2- Esterilizar individuos de la especie plaga, mediante radiaciones a machos y hembras criados en laboratorio, y liberarlos en la zona donde se encuentra la

plaga; esto, en especies cuyas hembras se aparean sólo una vez y los machos varias, disminuye drásticamente la progenie, la población se reduce y puede llegar a eliminarse localmente. 3- Rociar la zona con hormonas juveniles propias de la especie plaga que impedirán que sus individuos lleguen a la edad reproductiva. 4- Emplear feromonas: estas son hormonas sexuales que atraen a los machos y permiten cazarlos con trampas o evitar el apareamiento. 5- Utilización de organismos resistentes a la plaga: se emplean híbridos y transgénicos inmunes al ataque de las plagas o de los depredadores más comunes. 6- Realización de policultivos, con lo que se logra aumentar la diversidad de las plantaciones y se reduce el efecto de la plaga (Lugo & Morris, 1982).

Actualmente todos los esfuerzos empleados en el control de plagas se dirigen hacia el control integrado que implica utilizar todos los métodos conocidos de control en los momentos más adecuados en lugar de utilizar solamente medios de control químico.

Acerca de investigaciones realizadas sobre el control biológico de plagas, al final de este capítulo está el ensayo IX.12, que describe el caso de una arañuela que es plaga de la frutilla y que puede ser controlada por el ácaro depredador *Neoseiulus californicus*, y el ensayo IX.13, que a su vez describe una investigación sobre el control biológico y dinámica poblacional de una plaga en California.

## EL RECURSO AGUA DULCE

El agua dulce es sólo un 3% del agua que hay en el planeta. De ese porcentaje, el 75 % se encuentra almacenado en los glaciares y más del 24 % conforma el agua subterránea. Menos del 1 % del agua dulce del planeta conforma los cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos, embalses y arroyos. Muchas de las civilizaciones también se edificaron cerca de cuerpos de agua dulce porque podían tomarla, la usaban para riego, para transporte, o para obtener recursos como la pesca. Con el tiempo, esos cuerpos de agua superficiales pasaron a ser los receptores de los desechos de la sociedad civilizada. Es así que ríos como el Támesis ya se hallaban contaminados en el siglo XV. El desarrollo de la tecnología permitió el tratamiento de los efluentes y la recuperación de muchos residuos de modo que muchos cuerpos de agua, pudieron recuperarse. Sin embargo, día a día, el desarrollo industrial y tecnológico genera nuevas sustancias contaminantes que tarde o temprano van a parar a las aguas superficiales y en muchos casos llegan a napas profundas. Este es el caso de los fertilizantes, metales pesados, los hidrocarburos, muchos biocidas y aún muchos medicamentos que son evacuados a los cursos de agua superficiales alterando el funcionamiento de estos ecosistemas.

La cultura a la que pertenecemos, sobre todo a partir de la revolución industrial hace un uso creciente del recurso agua dulce que, como siempre es más o menos la misma cantidad dentro del ciclo del agua, hace que la demanda y competencia la ha convertido en una mercancía más, y así en estos tiempos, sobre todo en las sociedades con más dinero, el agua potable se vende y se compra.

## AGUAS SUPERFICIALES

En la actualidad los arroyos, ríos y lagos siguen cumpliendo funciones diversas relacionadas con la pesca, el transporte fluvial y la recreación. También como comentamos son receptores de residuos. Pero además estos ecosistemas cumplen la función de transporte y refugio de biodiversidad. Se ha comprobado que las aguas dulces y sus zonas vecinas son “puntos

calientes” de biodiversidad en el planeta ya que son utilizados tanto por organismos acuáticos como por muchos terrestres como lugares de alimentación y nidificación. Pero por otro lado, los organismos que habitan en estos cuerpos de agua cumplen una función de depuración de las aguas degradando gran cantidad de sustancias que son liberadas a los mismos. La magnitud de los servicios ecológicos brindados por las aguas superficiales pese a su escasa representación sólo comienza a ser tenida en cuenta recientemente ya que además de las cuestiones mencionadas muchos cuerpos de agua producen la fijación de dióxido de carbono, aportes de oxígeno a la atmósfera e interconexión entre distintos ecosistemas, lo que contribuye al mantenimiento de la flora y fauna del planeta. Si bien todos estos servicios ecológicos pueden considerarse recursos naturales pocas veces así se los ha considerado, aun no son suficientemente valorados.

Relacionadas directamente con el agua se desarrollan las plantas acuáticas, que son otro importante recurso que la humanidad explota desde hace muchos miles de años en todos los continentes, y una síntesis de sus características y de sus usos podemos encontrar en el ensayo IX.14, que también está más adelante.

## AGUAS SUBTERRÁNEAS

En muchos lugares del mundo el agua para consumo humano se obtiene de ríos o lagos (como se hace, por ejemplo, en la ciudad de Buenos Aires) y en otros se saca de sedimentos subterráneos. Estos sedimentos, que reciben el nombre de acuíferos están formados por arenas o limos embebidos en agua y habitualmente tienen por encima y por debajo capas de arcilla relativamente impermeable.

El acuífero más superficial es llamado habitualmente freático y tiene una estrecha relación con las aguas superficiales. Si bien suele encontrarse esta capa entre los 3 y los 10 metros de profundidad, puede, a veces, por efecto de la erosión y en zonas bajas, aflorar a la superficie. Suele estar conectado con los ríos y arroyos e intercambiar nutrientes y agua con ellos. También suele recibir directamente el impacto de las actividades humanas: se contamina por el uso excesivo de fertilizantes o pesticidas y también por el aporte de los pozos negros o “pozos ciegos” que le aportan contaminación fecal. No obstante en muchas zonas rurales todavía se lo usa como fuente de agua para diversos usos, tales como riego o bebida y es el acuífero del que se nutren las bombas de mano.

Más abajo del acuífero freático, hay otros acuíferos que pueden tener diferentes características en cuanto a volumen y calidad. En la pampa húmeda de la Argentina, existen tres grandes acuíferos debajo del freático. Entre los 15 y los 35 metros aproximadamente se sitúa el acuífero Pampeano; más abajo, entre los 40 y los 70 metros más o menos, el acuífero Puelchense o Puelche, el de mayor caudal y mejor calidad para la provisión de agua potable. Más abajo, a más de 100 metros de profundidad, el acuífero Hipopuelche.

Si se quiere extraer agua de un acuífero, es necesario perforar la tierra hasta llegar a él; si esta tarea no se hace adecuadamente y la perforación no tiene el aislamiento suficiente, es posible que se contamine el agua que se extrae por mezcla con la que está en capas más superficiales; esto puede ser muy grave porque los acuíferos tienen tiempos de renovación muy largos (a veces del orden de centenas de años) y una vez contaminados es muy difícil recuperarlos. En este sentido, también es importante que la extracción de agua sea moderada para reducir el peligro de deterioro. Aquí se hacen esenciales prácticas industriales que reduzcan el desperdicio de agua y, si es posible, tiendan a reciclarla en aquellas actividades en que el agua no forma parte del producto final (por ejemplo, cuando el agua se usa para

refrigeración). Otra causa de deterioro de los acuíferos por exceso de consumo es la extracción de agua potable para grandes núcleos urbanos.

## **EL TURISMO ECOLÓGICO**

Otra explotación de recursos naturales la constituye el turismo que en estos tiempos le llaman “turismo ecológico”. En este caso la conservación del recurso natural que es objeto del negocio turístico requiere, como en los casos estudiados anteriormente, estudios previos y monitoreo posterior para permitir su uso sostenible. Sobre este tema puede leerse el ensayo IX.15 sobre “El turismo como objeto tecnológico” que se encuentra al final de este capítulo.

## PREGUNTAS

1. ¿De qué depende que un recurso natural renovable pueda dejar de serlo y, en algunos casos, llegar a su extinción o a su agotamiento? (Recuerde las diferencias entre recurso natural renovable y recurso natural no renovable).

2. ¿En qué casos podemos hablar de ecosistema robusto o ecosistema preadaptado a la explotación humana?

3. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de control biológico de plagas?

¿Y cuando hablamos del control integrado de plagas?

4. ¿Puede usted mencionar alguna de las causas de la extinción acelerada de especies en la actualidad? ¿Cuáles cree que son las especies que corren más riesgo de extinguirse las r estrategias o las K estrategias? Piense en algunos ejemplos.

5. ¿Qué es el rendimiento máximo sustentable de un recurso natural renovable? ¿Puede dar un ejemplo?

6. El suelo es un recurso renovable que en casi todo el planeta está siendo degradado. Explique algunas de las causas de esa degradación y también las técnicas que debieran tenerse en cuenta para asegurar su protección y uso sustentable.

7. ¿En qué casos hablamos de invasión biológica o contaminación por especies? ¿Recuerda algunos ejemplos?

8. El programa económico y tecnológico que se conoce como la Revolución Verde trajo beneficios en la producción de granos de cereales, pero también produjo y sigue produciendo perjuicios a los sistemas agrícolas ¿cuáles son esos perjuicios? ¿Para qué países estaba especialmente destinada tal “revolución”?

9. ¿Podría explicar usted por qué existe una aparente (o sin “aparente”) oposición entre explotación de un recurso natural vivo y la tendencia de la sucesión ecológica? (Recuerde que la naturaleza cambia hacia un estado en el que, con igual o menor uso de energía, puede mantenerse una biomasa mayor).

10. ¿Cuáles son las diferencias más notables entre la agricultura industrial y la agricultura de campesinos? Por lo que usted ha conocido en este capítulo ¿qué relación tienen con la diversidad y la calidad de las producciones respectivas?

11. En estos primeros años del siglo XXI, explotar con un manejo sustentable mil hectáreas de bosque nativo producirán menos ganancia de dinero que eliminándolo y sembrando soja en ese suelo. Fundamente por qué haría usted una cosa o la otra.

## ENSAYO IX.1

### Recursos naturales y sustentabilidad

*Lucas Seghezzeo*

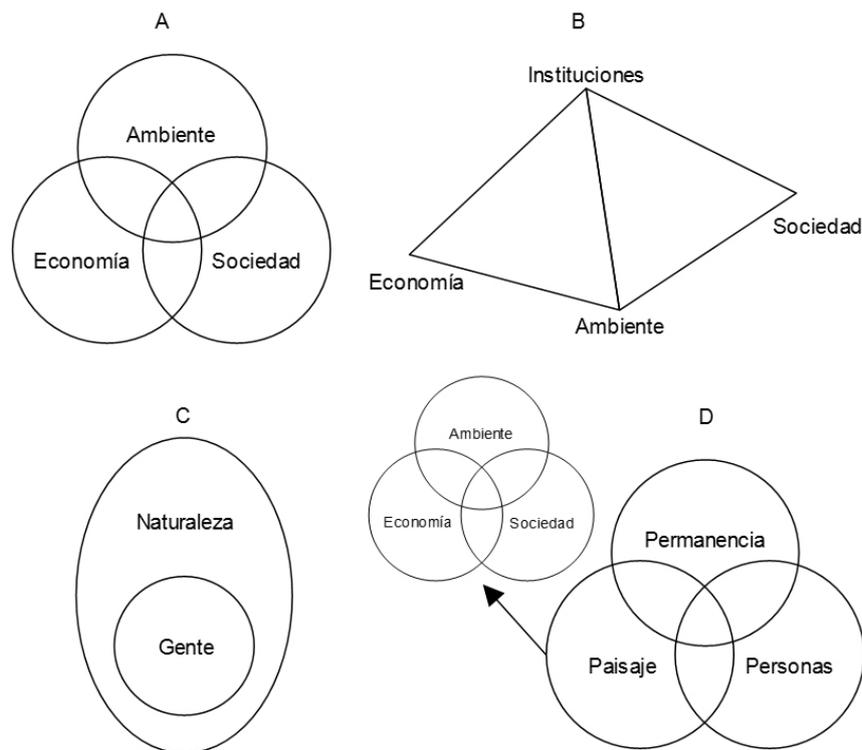
“La primavera llega sin ser anunciada por el retorno de los pájaros y las madrugadas están ahora extrañamente silenciosas...”. Esto escribía Rachel Carson en el año 1962 en su famoso libro “La primavera silenciosa”, en el cual denunciaba que el uso de pesticidas, herbicidas y otros productos químicos estaba matando la vida silvestre en Estados Unidos (Carson, 1962). Uno de los productos más utilizados en esa época era el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), una sustancia orgánica descubierta en 1874 cuyas propiedades como insecticida no se advirtieron hasta el siglo XX. El DDT se aplicó masivamente en todo el mundo hasta que se descubrieron sus efectos cancerígenos y su propiedad de acumularse progresivamente a través de la cadena alimentaria con tanta persistencia que se lo encontró hasta en los pingüinos de la Antártida. En Argentina, fue utilizado para controlar al vector responsable de la transmisión del paludismo (el mosquito Anopheles) (Brailovsky & Foguelman, 2010). El libro de Rachel Carson fue una luz de alerta para la opinión pública sobre los problemas ecológicos y es considerado uno de los textos precursores del movimiento ambiental moderno (Nelissen *et al.*, 1997).

La preocupación por la preservación del ambiente no es nueva. Los problemas ambientales son una consecuencia directa de la utilización de recursos naturales y energía por parte del ser humano, y ya comenzaron a percibirse con la revolución industrial de fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Estos problemas se agudizaron en el siglo XX, especialmente luego de la Segunda Guerra Mundial, cuando el consumo de bienes y servicios ambientales se disparó como consecuencia del crecimiento económico. La expansión de la actividad humana ya genera problemas a nivel planetario. La destrucción de la capa de ozono y el cambio climático son dos ejemplos actuales de problemas inducidos o acelerados por el ser humano. Es verdad que, como contrapartida, el progreso tecnológico ha mejorado la calidad de vida de millones de personas. También es cierto que las mejoras y los beneficios no se distribuyen de manera equitativa y que los sectores más desfavorecidos de la sociedad siguen siendo los que más sufren las consecuencias negativas del desarrollo.

#### EL CONCEPTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE

En 1987, un informe de Naciones Unidas llamado “Nuestro Futuro Común” definió el concepto de “desarrollo sustentable” (o “sostenible”) como “aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin afectar la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (CMAD, 1987). Este informe, conocido como “el informe Brundtland”, fue elaborado por delegados de casi todo el mundo bajo la dirección de Gro Harlem Brundtland, en ese entonces Primera Ministra de Noruega. La idea básica del desarrollo sustentable es que se deben armonizar los aspectos económicos, ambientales y sociales del desarrollo.

Una representación gráfica puede ser un modo muy efectivo para difundir un concepto complejo como el de desarrollo sustentable. La “triple línea de base” o triángulo de la sustentabilidad formado por economía, ambiente, y sociedad, es quizás la forma más conocida (Figura 1, gráfico A). Si a la triple línea de base se agrega el marco institucional se obtiene el “prisma” de la sustentabilidad (Figura 1, gráfico B) (Valentin & Spangenberg, 2000). Las visiones más conservacionistas consideran que la sociedad no es una esfera separada del ambiente sino que, por el contrario, el desarrollo debe tener en cuenta que el ser humano también está incluido en la naturaleza (Figura 1, gráfico C) (Guijt & Moiseev, 2001).



**Figura 1.** Algunas representaciones gráficas de la sustentabilidad. Los gráficos se fundamentan en estudios detallados. Remitimos a los lectores interesados a la bibliografía citada en cada caso.

Algunos investigadores proponen que los problemas sociales, ambientales y económicos son esencialmente territoriales, en el sentido de que están vinculados estrechamente a las características de un lugar determinado (Escobar, 2001) (ver el círculo “Paisaje” en la Figura 1, gráfico D, que contiene a la triple línea de base). La solución de estos problemas localizados es esencial para alcanzar la justicia “intra-generacional”, es decir aquella que se ocupa de las necesidades de la población actualmente presente sobre el planeta. Para que esta justicia sea permanente y se transforme en “inter-generacional” o sea que incluya también a las generaciones futuras, la dimensión temporal (el círculo “Permanencia” en la Figura 1, gráfico D) debe tener la misma relevancia que la dimensión territorial (Adam, 1998). De esta forma, será posible atender de manera más adecuada las consecuencias de mediano y largo plazo de las acciones actuales. Por ejemplo, si se evalúa instalar un reactor nuclear para satisfacer las necesidades de consumo energético, la decisión final se debe tomar considerando que la generación de energía (pensada para algunas décadas) tiene la misma importancia que la disposición final de los desechos (que se mantendrán radioactivos por varios milenios). La dimensión territorial o espacial y la dimensión temporal, se complementan finalmente con

una dimensión humana (el círculo “Personas” en la Figura 1, gráfico D). La inclusión de esta dimensión incorpora al análisis de sustentabilidad todas aquellas cuestiones vinculadas al ser humano como tal, aquellas cuestiones que no se tienen en cuenta en los análisis estrictamente sociales ya que, si bien formamos parte de la sociedad, no somos todos individuos idénticos. Entre estas cuestiones están el respeto irrestricto a los derechos humanos, la protección de la identidad de las minorías culturales y la aceptación de las múltiples visiones que existen sobre los problemas sociales y ambientales, entre otras (Seghezzeo, 2009). La dimensión personal también es necesaria si se tiene en cuenta que la felicidad no se alcanza solamente con bienestar económico, calidad ambiental y justicia social. Esta fue una de las conclusiones a que se llegó luego de medir el “índice de felicidad” en todo el mundo a través de un sistema de encuestas. Sorpresivamente, no siempre la gente de los países más ricos, con mejor nivel de vida o con sociedades más justas, resultó ser la más feliz (Índice de Planeta Feliz, 2013).

## ¿DESARROLLO SUSTENTABLE O SUSTENTABILIDAD?

La idea de que el desarrollo podía ser sustentable ganó rápidamente la adhesión de gobiernos y empresas ya que representaba una alternativa a las exigencias de los ambientalistas que promovían el “crecimiento cero” o pedían cambios económicos y sociales más sustanciales. A pesar de esto, la teoría y la práctica no han ido de la mano, ya que no hubo modificaciones de fondo en la manera en que empresas y gobiernos conducen sus actividades económicas y políticas. Una de las causas de esta falta de cambios es que la definición misma de desarrollo sustentable que popularizó el informe Brundtland es algo ambigua. Por ejemplo, se da por supuesto que todo el mundo entiende lo mismo cuando se habla de “desarrollo” o de “necesidades”. Sin embargo, cada nación tiene una idea propia de lo que significa el desarrollo y de cuáles son sus verdaderas necesidades, e interpreta de manera diferente su relación con el ambiente que la rodea.

Por otra parte, cuando se habla de “generaciones futuras” tampoco queda claro de cuántas generaciones se trata. Una generación son aproximadamente 25 años, pero las estrategias de planificación estatal y privada (cuando existen) raramente sobrepasan los 10 años. El informe Brundtland ha sido criticado porque no puso en tela de juicio la lógica económica predominante, centrada en el crecimiento económico cuantitativo, cuyos análisis son esencialmente de corto o, a lo sumo, mediano plazo.

Por todo esto, desde 1987 a la fecha se han propuesto variantes a la idea original de desarrollo sustentable que pretenden hacerla más entendible y más integral, pero al mismo tiempo más útil para solucionar problemas socio-ambientales y facilitar la planificación estratégica. En algunos casos se optó por cambiar la idea de desarrollo sustentable por la de “sustentabilidad”, eliminando completamente el término “desarrollo” debido a sus connotaciones excesivamente económicas y productivistas.

De cualquier manera, el concepto de desarrollo no es tan viejo como uno creería. Probablemente no se lo pueda encontrar mucho más allá de la revolución industrial, cuando la mecanización, la automatización de los procesos productivos, y otros avances tecnológicos permitieron el crecimiento exponencial de la economía de muchos países europeos y americanos. En tiempos anteriores a la revolución industrial se podría decir que el desarrollo estaba más ligado a la expansión territorial y la ocupación de colonias para la provisión de materias primas y mano de obra a las capitales imperiales de países europeos como Inglaterra, Francia, España, y Portugal.

Luego de la revolución industrial el mundo era distinto. Aumentó notablemente el grado de urbanización, las ciudades se transformaron en nodos cruciales para la economía de todos los países, se incrementó la centralización de la producción y de la cultura, se construyó infraestructura (rutas, vías, puertos), se potenció el consumo personal de bienes y servicios, y se descubrieron nuevas y más eficientes formas de energía (vapor, electricidad y, más tarde, la energía nuclear). En esa época se sentaron las bases de lo que hoy se asocia con el concepto de desarrollo, el cual, en la mente de casi todo el mundo, ya está bastante disociado de expansión territorial o imperialismo liso y llano, si bien las relaciones de poder y dependencia no se han modificado sustancialmente desde entonces, sobre todo en el plano económico y en el tipo de intercambio de bienes y servicios entre países ricos y países no tan ricos.

La idea de desarrollo como algo intrínseca y sustancialmente bueno dio origen al “desarrollismo”, un movimiento político-técnico que intenta promover el desarrollo en todos los ámbitos de la actividad humana. En la Argentina, el desarrollismo halló su máxima expresión durante los años cincuenta y sesenta, aunque se podría decir que prácticamente ningún gobierno ha renegado del “progreso” y del desarrollo como motores centrales de su gestión política y económica.

Más allá de las cuestiones semánticas, cuando hablamos de sustentabilidad hablamos básicamente de una situación deseable que perdura en el tiempo sin afectar al ambiente, a la sociedad, o a las personas individuales. La palabra “sustentar” no quiere decir solamente “sostener” una situación actual, por más que ésta sea indeseable, sino también nutrir, dar sustento, alimentar los cambios necesarios para transformar esa situación indeseable en una más deseable. La sustentabilidad puede ser vista como una dirección a seguir y no simplemente como un destino lejano. Por lo tanto, cuando empecemos a dar los primeros pasos en el buen sentido, podremos decir que ya estaremos en un mundo más sustentable. Como dice el dicho, “el viaje más largo comienza con el primer paso”. Viene al caso el siguiente texto atribuido al escritor uruguayo Eduardo Galeano: “Ella está en el horizonte. Me acerco dos pasos, ella se aleja dos pasos. Camino diez pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá. Por mucho que yo camine, nunca la alcanzaré. ¿Para qué sirve la utopía? Para eso sirve: para caminar”.

## EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

El informe Brundtland indicó claramente en 1987 que el desarrollo sustentable exige cambios en las políticas nacionales e internacionales, más allá de las diferencias económicas, sociales y ecológicas entre los países. Reciclar la basura, apagar las luces al salir de una habitación, cepillarse los dientes con la canilla cerrada, entre otras actividades “verdes”, son acciones positivas en sí mismas, pero ¿son suficientes para alcanzar un mundo más sustentable? Es posible que, además de modificar algunos de nuestros comportamientos diarios, sea necesario cambiar también nuestra forma de relacionarnos con la naturaleza. Por ejemplo, aprender a ver a nuestro planeta como una cosa valiosa en sí misma y no solamente como una fuente inagotable de materias primas, como si la naturaleza no fuera más que un supermercado de recursos naturales a nuestro alcance, esperando que los usemos para “satisfacer nuestras necesidades”.

La incipiente ciencia de la sustentabilidad puede contribuir con algunas soluciones prácticas a los problemas sociales y ambientales de la actualidad. La ciencia por sí misma nunca será suficiente para resolver los problemas socio-ambientales, cuya complejidad obliga a una búsqueda participativa de soluciones en la que tiene que intervenir toda la sociedad civil. En ese contexto, el rol de los científicos es obtener y comunicar la información necesaria para

reducir el riesgo inherente a todo proceso de toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. Se han desarrollado diversos métodos para evaluar la sustentabilidad. Uno de ellos es la medición de “indicadores de sustentabilidad” (Bell & Morse, 2008).

En términos generales, se puede decir que un indicador de cualquier tipo es una expresión medible de algún aspecto de un sistema o problema bajo estudio. Los indicadores permiten conocer su estado actual o su tendencia de cambio. Por ejemplo, la temperatura corporal es un indicador simple del estado de salud de una persona (midiendo la temperatura corporal a intervalos regulares es posible estimar la salud actual de la persona y su evolución en el tiempo). A nivel de países, uno de los indicadores más utilizados es el Producto Bruto Interno (PBI), que se calcula en función de la producción de bienes y servicios durante un período de tiempo determinado, y se usa para evaluar el grado de desarrollo de un país. Los índices son valores más generales que se construyen sobre la base de varios indicadores. Por ejemplo, el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), que se considera una medida de pobreza estructural, se elabora a partir de indicadores demográficos, económicos y educativos. Para conocer valores de NBI para Argentina, se puede visitar el sitio del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) (<http://www.indec.gov.ar/>). Un índice muy utilizado por las Naciones Unidas es el Índice de Desarrollo Humano (IDH). El IDH se basa en el PBI, pero también considera la esperanza de vida al nacer y el nivel educativo de la población. El IDH más alto del año 2011 lo ostenta Noruega (con un valor de 0,943), mientras que la última posición la ocupa la República Democrática del Congo (0,286). Sobre un total de 187 países, Argentina está actualmente en el puesto número 45, con un IDH de 0,797 (<http://hdr.undp.org/es/>).

Los indicadores de sustentabilidad, como su nombre lo indica, se construyen específicamente para medir el progreso de una nación hacia la sustentabilidad. Para ello, los indicadores deben reflejar claramente las categorías de sustentabilidad que adoptemos para nuestro caso particular (que pueden ser las descritas en alguno de los gráficos de la Figura 1). Los indicadores deben satisfacer también los siguientes criterios: Pertinencia, deben medir un aspecto relevante de la sustentabilidad.

Simplicidad, deben ser fáciles de entender. Confiabilidad, la información debe ser verdadera y útil.

## **MENSURABILIDAD, LA MEDICIÓN DEBE SER POSIBLE EN UN TIEMPO RAZONABLE.**

Nuestro país cuenta con el “Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible Argentina (SIDSA)”, el cual contiene numerosos indicadores agrupados en cuatro subsistemas: social, ambiental, económico e institucional. El SIDSA contiene también indicadores que reflejan las interrelaciones entre los subsistemas y entre procesos nacionales y globales (<http://www.ambiente.gov.ar/>). El tipo de indicadores seleccionados en el SIDSA revela claramente que el gobierno nacional ha adoptado como base de acción la definición de sustentabilidad ilustrada en el esquema B de la Figura 1.

Los índices e indicadores de sustentabilidad son una manera relativamente simple de representar una realidad compleja. Tienen una gran sensibilidad relativa y pueden mostrar tendencias y detectar cambios. Pueden ser utilizados para comunicación y disseminación de información y pueden ser un punto de partida para un debate más reflexivo sobre la sustentabilidad. Pero no hay que olvidar que todo indicador es, por definición, una simplificación. Por lo tanto, nunca refleja la realidad de manera completa y exhaustiva. Hay que utilizar con

precaución la información proporcionada por índices o indicadores y es necesario complementarla con una descripción adecuada del contexto, incluidos aspectos históricos, sociales, políticos y legales, entre otros.

Algunos indicadores que se utilizan para medir la sustentabilidad local intentan resaltar aspectos que no siempre se tienen en cuenta en las evaluaciones tradicionales. Por ejemplo, la sustentabilidad de una ciudad puede ser medida por el número de edificios con rampas de acceso para personas con movilidad reducida, la cantidad de terrenos baldíos, la basura desparramada en las calles, el consumo de agua potable por persona, el uso de bicicletas o sistemas públicos de transporte, las quejas por problemas ambientales, el área de espacios verdes por persona, los eventos de vandalismo, o la existencia de planes de desarrollo urbano, entre tantas otras variables.

El criterio más importante a seguir es que los indicadores utilizados reflejen los distintos aspectos de la definición local de sustentabilidad. La disponibilidad de información es importante, pero si ésta no se encuentra fácilmente accesible, es necesario definir indicadores que puedan ser calculados con la información existente. En todo caso, como parte de las conclusiones de la evaluación de sustentabilidad habrá que proponer un programa de recopilación de aquella información que se considere indispensable para el cálculo de los indicadores más apropiados.

## EJEMPLOS

En esta sección se presentarán 3 ejemplos de evaluación de la sustentabilidad a distintas escalas y con distintos enfoques. Como se verá, las metodologías de análisis son diversas y deben adaptarse a las características de cada situación. Mientras que en algunos casos la medición de indicadores es una práctica consolidada, en otros casos esta metodología está todavía en las fases iniciales de su desarrollo.

### Ejemplo 1. **Evaluación de la sustentabilidad a nivel continental: Unión Europea**

En el año 2006, la Unión Europea (UE) definió una Estrategia de Desarrollo Sustentable (EDS) cuyo objetivo consiste en mejorar de manera continua “la calidad de vida de los ciudadanos mediante comunidades que gestionen y usen los recursos con eficacia y exploten el potencial de innovación ecológica y social de la economía, a fin de garantizar la prosperidad, la protección ambiental y la cohesión social”. Cada dos años se elabora un informe de seguimiento basado en más de 100 indicadores de desarrollo sustentable. El informe es una evaluación cuantitativa sobre los avances logrados por la UE a través del seguimiento de los indicadores, agrupados en los siguientes temas (entre paréntesis se indica el indicador principal de cada tema):

- Desarrollo socioeconómico (PBI real per cápita)
- Consumo y producción sustentables (Productividad de los recursos)
- Inclusión social (Riesgo de pobreza o exclusión social)
- Cambios demográficos (Tasa de empleo de los trabajadores de mayor edad)
- Salud pública (Esperanza de vida y años de vida saludable)
- Cambio climático y energía (Emisiones de gases; Consumo de energía renovable)

- Transporte sustentable (Consumo de energía del transporte en relación al PBI)
- Recursos naturales (Abundancia de aves; Conservación de peces)
- Asociación mundial (Ayuda oficial al desarrollo)
- Buena gobernanza (sin indicador principal)

La evolución de estos indicadores se ha monitoreado desde el año 2000. Durante ese período, se han observado cambios claramente favorables para los temas 3 y 6, moderadamente favorables para los temas 1, 5 y 8 (con respecto a la abundancia de aves), y moderadamente desfavorables para los temas 2, 4, 7, 8 (en relación a la conservación de peces) y 9. Los temas y los indicadores mencionados también pueden servir de guía para países que se encuentran fuera de la UE.

### **Ejemplo 2. Evaluación de la sustentabilidad de un sector productivo: Minería**

En la Argentina se ha suscitado un fuerte debate sobre la sustentabilidad de la actividad minera. El “no a la minería” se ha basado generalmente en reclamos sociales, culturales y ambientales. Los primeros conflictos tuvieron mucho que ver con la preservación de territorios ancestrales reclamados por pueblos originarios, con situaciones de exclusión social atribuidos a los establecimientos mineros, y con problemas reales o potenciales de contaminación. Las facetas ambientales de los conflictos han ido ganando más protagonismo, sobre todo en la cobertura periodística, aunque también en las campañas de protesta y rechazo que se organizaron en numerosas ciudades del país (Colectivo Voces de Alerta, 2011). La cuestión ambiental es central y debe ser siempre tenida en cuenta antes de aprobar proyectos productivos y durante todo el período de su ejecución y posterior clausura. Aplicando buenas prácticas productivas, gran parte de los problemas ambientales que han generado conflictos sociales se pueden resolver, ya sea con inversiones en áreas técnicas ambientales o mediante cambios en los procesos productivos que no siempre afectan la rentabilidad del emprendimiento (Krom, 2009). En cualquier caso, la existencia de beneficios sociales o económicos, no justifica o compensa automáticamente los daños o impactos ambientales negativos. Todos los impactos negativos deben ser evitados, corregidos, mitigados o compensados para ser aceptables. Si esto no fuera posible, el proyecto no debería realizarse.

Además de las cuestiones ambientales o de utilización de recursos naturales escasos, existen otros criterios que podrían utilizarse para decidir sobre la aceptabilidad social de la actividad minera y que podrían servir como base para la identificación de indicadores de sustentabilidad. Existen criterios estratégicos, por ejemplo. En algunos casos, preservar esos recursos sin explotar, puede ser un gesto de compromiso con las generaciones futuras. Las cuestiones económicas también son importantes, pero no sólo los ingresos absolutos que se recibirán por los minerales sino el destino y, sobre todo, los destinatarios de esos ingresos. Las explotaciones mineras deberían contribuir a otorgar más equidad a la distribución del ingreso y al mejoramiento de los indicadores sociales, especialmente en las zonas de explotación. También es necesario evaluar todas las posibles alternativas productivas y la posibilidad de agregar más valor al mineral a extraer. La obtención de productos terminados de alto valor agregado debería ser la regla, no la excepción.

De cualquier manera, es fundamental recordar que la minería se basa en la extracción de recursos naturales no renovables. Por tal motivo, la minería nunca será sustentable en el largo plazo. Es importante saber esto de antemano para extremar las precauciones y no dilapidar recursos que jamás podrán ser recuperados. Para contrarrestar esta caracte-

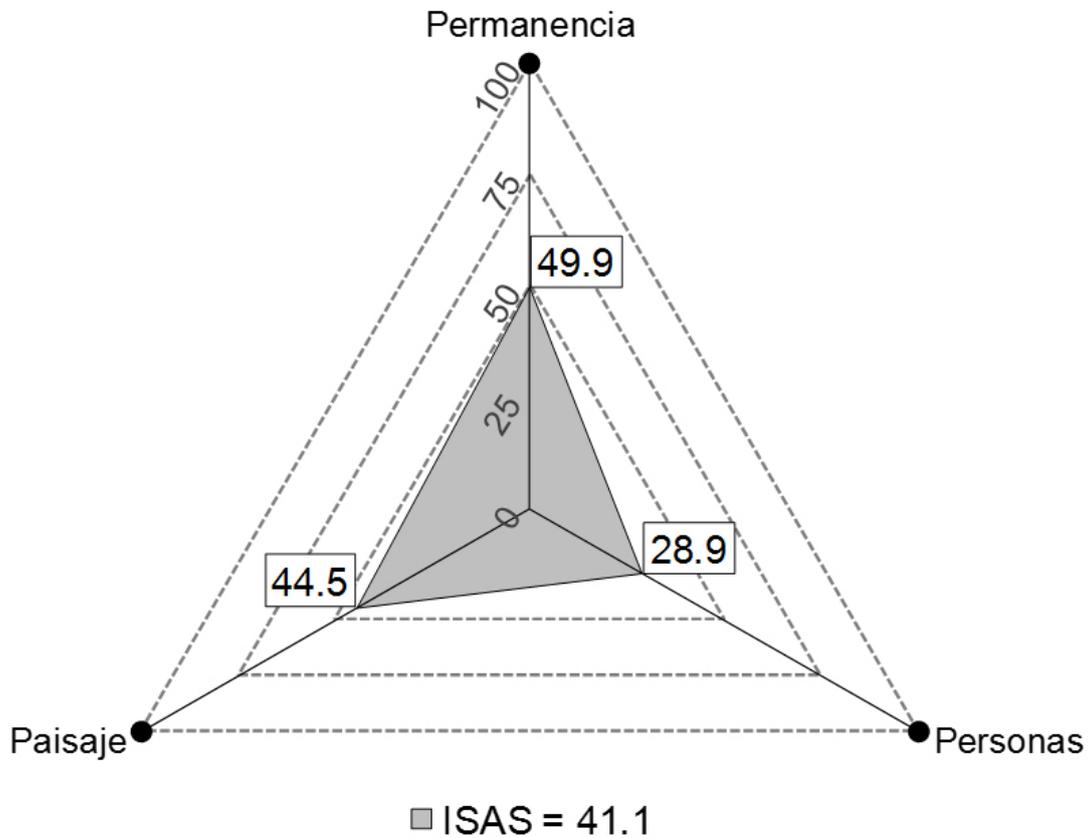
rística intrínseca de in-sustentabilidad a largo plazo de la minería, una parte considerable de la renta minera debería destinarse a la búsqueda de materiales alternativos que puedan reemplazar total o parcialmente a los minerales una vez que éstos se agoten. En palabras del economista Herman Daly, del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial, “es posible explotar recursos no renovables de un modo cuasi-sostenible limitando su tasa de explotación a la tasa de creación de sustitutos renovables” (Daly, 1990). Esto exige que cada inversión realizada para la extracción de un recurso natural no renovable (no sólo los minerales sino también el petróleo, por ejemplo) sea compensada con una inversión igual o mayor dirigida a la creación de un sustituto renovable. De esta forma, cuando se agota el recurso no renovable, el recurso renovable debería estar rindiendo una renta equivalente. Teniendo en cuenta esta idea, un indicador interesante para medir la sustentabilidad global de la minería podría ser, por ejemplo, “Inversión destinada a investigación y desarrollo de productos sustitutos”. Este indicador deberá ir acompañado de una evaluación realista de los resultados obtenidos con esta inversión.

### **Ejemplo 3. Evaluación de la sustentabilidad local: Gestión del agua y el saneamiento**

Un proyecto desarrollado en conjunto entre un instituto de investigación científica y una empresa pública de provisión de agua midió recientemente la sustentabilidad del sistema de gestión del agua y el saneamiento de la ciudad de Salta, Argentina (Iribarnegaray y otros, 2012, en prensa). Para ello, se definieron un total de 15 indicadores agrupados en tres subíndices que reflejan las categorías de sustentabilidad del gráfico D de la Figura 1, o sea: (1) Paisaje (aspectos espaciales); (2) Permanencia (aspectos temporales); y (3) Personas (aspectos personales).

Dentro del subíndice Paisaje se incluyeron 7 indicadores que miden la disponibilidad física de agua potable en la zona, los riesgos asociados al estado de conservación de la infraestructura existente, y el grado de cobertura con servicios de agua y saneamiento en la población. El subíndice Permanencia utilizó 5 indicadores para evaluar la accesibilidad económica a los servicios de agua y saneamiento, la disponibilidad de información de calidad, la eficiencia de las instituciones existentes, y la existencia de puntos de interacción que faciliten la participación pública en cuestiones relacionadas con el agua. Finalmente, el subíndice Personas, con 3 indicadores, se concentró en aspectos relacionados con el nivel de consumo de agua potable, la contaminación de las fuentes de agua con líquidos cloacales sin tratar, y en una evaluación de la percepción social del servicio medida a través de la cantidad de quejas recibidas en los organismos de control.

El promedio de los tres subíndices se denominó “Índice de Sustentabilidad del Agua y el Saneamiento (ISAS)”. En la Figura 2 se muestra un triángulo de sustentabilidad que indica los valores obtenidos para los tres subíndices y para el índice en general.



**Figura 2.** El “Índice de Sustentabilidad del Agua y el Saneamiento (ISAS)” calculado para la ciudad de Salta, Argentina, en el año 2011. El triángulo gris indica el área de sustentabilidad. Los subíndices seleccionados reflejan las categorías de sustentabilidad del gráfico D de la Figura 1.

El valor obtenido para el ISAS (poco más de 40%) indica que se deberán tomar medidas de corrección y control para elevar el índice hasta un valor más adecuado. Gracias al cálculo del ISAS se detectaron deficiencias en el sistema de gestión del agua y el saneamiento de la ciudad de Salta, las cuales están siendo corregidas mediante un plan de mejoras. Este índice puede ser muy efectivo también para informar a los usuarios sobre el estado actual de los sistemas de provisión de servicios públicos y los resultados de las políticas de gestión hacia la sustentabilidad.

## ENSAYO IX.2

# La teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales

*María Cristina Serafini*

*El hombre tendrá que elevarse sobre la tierra, al tope de la atmósfera  
y aún más para así comprender el mundo en que vive.*

Sócrates

Desde épocas antiguas el hombre ha manifestado interés en conocer el espacio en el que se desenvuelve su vida. Con el fin de tener una visión más amplia de la superficie terrestre, realizó observaciones desde plataformas elevadas, escalando colinas y montañas, y así podía tener una visión más regional pudiendo observar más allá del lugar donde residía. Gracias a los registros de algunos rasgos del paisaje, de plantas y animales que ha dejado en cavernas y montañas, en la actualidad podemos disponer de información y conocer cómo eran esos espacios miles de años atrás (Aschero, 1988).

De todos modos estas formas de observación de la superficie terrestre eran notoriamente limitadas, ya que sólo podía observarse una superficie muy pequeña y, por otra parte, al no contarse con instrumentos de captación que permitieran documentar los hechos, sólo era posible registrar parte de los sucesos. Desde el momento en que el hombre pudo disponer de los medios técnicos que le permitieron realizar el registro de sus observaciones a partir primeramente de globos y aviones, el conocimiento sobre nuestro planeta y sus recursos se enriqueció y mostró un avance vertiginoso.

Esta observación remota de las características del espacio geográfico y sus recursos constituye el objeto de estudio de la teledetección, palabra cuyo significado se desprende de la traducción de “remote sensing”, término que nace a principios de la década de 1960 para designar cualquier medio de observación remota. Podemos definir el término teledetección como la técnica que nos permite obtener información de los distintos objetos ubicados sobre la superficie terrestre, sin tener contacto directo con ellos. Para que esta observación “remota” sea posible, resulta necesario que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. Un objeto puede ser percibido por nuestros sentidos a través de la información que el mismo nos envía; por ejemplo, podemos ver un árbol porque nuestros ojos reciben y traducen la energía luminosa procedente del mismo; esa señal no es originada por el árbol, sino por una fuente de energía externa que lo ilumina; y por ello no somos capaces de percibir ese árbol en plena oscuridad.

Este sencillo ejemplo nos permite introducir los tres principales componentes de un sistema de teledetección: sensor, que en este ejemplo es nuestro ojo; objeto observado, árbol; y flujo energético que permite poner a ambos en relación. En el caso del ojo, ese flujo

procede del objeto por reflexión de la luz solar. Podría también tratarse de un tipo de energía emitida por el propio objeto, o incluso por el sensor. Éstas son, precisamente, las tres formas de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión

Los distintos componentes de la corteza terrestre, rocas, suelos, vegetación y agua, entre otros, absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda ( $\lambda$ ), de la intensidad y tipo de radiación incidente, así como de las características de absorción de los objetos y de la orientación de estos respecto al sol o fuente de iluminación. El ojo humano tiene ciertas limitaciones en lo que a percepción remota se refiere; por un lado sólo puede captar un cierto tipo de energía denominado rango visible del espectro electromagnético y por otro lado no puede realizar un análisis detallado de fenómenos naturales que se presenten en grandes extensiones. Los sensores montados sobre plataformas satelitales cubren estas dos grandes desventajas; pueden obtener información de superficies de diferentes tamaños con diferentes niveles de detalle y tienen, a su vez, la ventaja de poder captar energía electromagnética que se encuentra fuera del rango del espectro visible, tal como el rango correspondiente al infrarrojo, las microondas y el ultravioleta.

El objetivo básico de la teledetección es obtener información a distancia de los objetos de la superficie de la tierra, haciendo complementaria esta información con la obtenida por otros medios

El desarrollo de la teledetección puede separarse en dos grandes períodos, antes y después de la década de 1960. Hasta finales de esa década la fotografía aérea fue el único sistema utilizado en teledetección. A partir de ese momento y con la aparición de los primeros programas espaciales, comienza el desarrollo de los sensores remotos basados en la utilización de plataformas espaciales (Chuvieco, 2008)

Desde la puesta en órbita del primer satélite de recursos terrestres en el año 1972, perteneciente a la familia de satélites denominados Landsat, hasta el presente, en que se encuentran operando diversos sistemas satelitarios. Entre estos podemos mencionar: SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre); IRS (Indian Remote Sensing Satellite), CBERS (China-Brazil Earth Resource Satellite); los denominados satélites comerciales de alta resolución espacial, tal como el Quick Bird o el IKONOS, desarrollados por Estados Unidos y los satélites enmarcados en el Plan Espacial Nacional de nuestro país, el SAC-C, SAC-D (Satélites de Aplicaciones Científicas) y SAOCOM, entre otros.

El volumen de información disponible sobre los recursos terrestres es sumamente importante y se cuenta con nuevas capacidades para la observación de nuestro planeta, a la vez que los diversos instrumentos a bordo de cada uno de los sistemas mencionados en el párrafo anterior, proveen imágenes de distinta resolución espacial, en diferentes bandas espectrales y en forma casi simultánea, incrementando de ese modo la disponibilidad de datos, datos que resultan de gran utilidad para el estudio del espacio geográfico y los recursos naturales (Serafini, 2011).

Las dos alternativas posibles para abordar estudios relacionados al monitoreo y evaluación de los recursos terrestres mediante el uso de datos teledetectados, son: I) Interpretación visual y, II) Interpretación digital. En primer lugar se debe señalar que ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes: por ejemplo, en el caso del análisis visual, los requerimientos económicos iniciales son muy bajos, pero éstos se incrementan notoriamente en función de las dimensiones del área a interpretar, debido a las “horas hombre” necesarias para generar la cartografía de grandes superficies. El análisis visual se basa en principios similares a los de la fotografía aérea; sin embargo existen algunas pautas que no son co-

munes con la fotografía, o sea, son propias de las imágenes satelitarias, y esto se relaciona con la posibilidad que ofrecen los sistemas espaciales de obtener información en diferentes bandas del espectro, disponiéndose, de este modo, de datos multispectrales. Asimismo es posible contar, debido a las características de revisita de los distintos sistemas sensores, con información que permite realizar estudios de tipo multitemporal. Existen, también, algunos principios que se refieren a la posibilidad de realizar estereoscopia, de gran importancia para estudios relacionados con ocupación del suelo y topografía, que hasta la aparición del SPOT estaban limitados a las fotografías aéreas. En la actualidad son varios los sistemas satelitales que ofrecen la posibilidad de obtener productos estereoscópicos, entre otros, SPOT, TERRA/ASTER y CBERS, facilitando de este modo estudios donde las diferencias de altura (relieve, uso forestal, etc.) son un parámetro de interés.

En el caso de interpretación digital los costos iniciales son muchos más altos, pero los mismos se reducen con el incremento de la superficie a estudiar. Existe, también, diferencia entre ambos métodos con respecto al tipo y nivel de entrenamiento que debe presentar el intérprete. En general el profesional que maneje sistemas procesadores de imágenes deberá poseer una buena formación básica (informática, estadística, etc.) que le permita interpretar correctamente los datos obtenidos a partir de la aplicación de distintos métodos de extracción de información; en el caso de la interpretación visual el intérprete emplea criterios de identificación que pueden resultarle muy familiares, pues son similares a los empleados tradicionalmente en la fotointerpretación.

El tratamiento digital permite llevar a cabo operaciones más complejas, tales como clasificaciones y álgebra de bandas, en forma rápida y precisa; mientras tanto, el análisis visual resulta más adecuado para realizar estudios orientados al mapeo del uso de la tierra y para la definición de distintos tipos de cobertura en áreas de gran heterogeneidad. Por otra parte, para poder generar cartografía temática a partir de interpretación visual de imágenes satelitales, se debe contar con productos mejorados que permitan extraer información con un alto grado de precisión y exactitud. En este sentido es necesario aplicar a los datos originales aportados por el sensor, técnicas digitales orientadas a mejorar la calidad visual de la imagen; se incluyen dentro de estas técnicas los procesos de aumento del contraste, realce de bordes y generación de composiciones color.

Para los planificadores del espacio geográfico es necesario el conocimiento actualizado de la distribución y área ocupada por las diversas actividades agrícolas, áreas de monte nativo, áreas urbanas, así como información sobre el impacto de los cambios producidos en ámbitos naturales. Informaciones actualizadas sobre el uso de la tierra pueden resultar útiles para el inventario de recursos naturales, control de inundaciones, identificación de áreas con procesos de erosión avanzados, evaluación de impactos ambientales, etc. La generación de cartografía sobre el uso de la tierra en determinada región, a partir de datos aportados por los sensores remotos, es un paso fundamental en la comprensión de patrones de organización del medio ambiente.

Aquí se enuncian algunos de los muchos ejemplos de aplicaciones posibles, cuyo estudio puede ser abordado ya sea a través de interpretación visual de imágenes, o bien mediante el tratamiento digital.

**Agrícola-Forestal:** discriminación de tipos de vegetación, natural o implantada; mapeo de áreas agrícolas, agrícola ganaderas, forestal y hortícolas, distribución espacial; inventarios forestales; mapeo de plantaciones arbóreas comerciales; levantamiento y caracterización de suelos (categorización de las capacidades de suelos); emergencias agropecuarias: estimación de daños por inundaciones, incendios o granizadas.

**Geología y Geomorfología:** mapeamiento geológico básico y prospección minera; mapeo de unidades geológicas; mapeo de fracturas y lineamientos; delineación de rocas y suelos no consolidados; mapeo de depósitos superficiales volcánicos, mapeo de unidades geomorfológicas, etc. Tanto la geología como la geomorfología son ciencias muy beneficiadas por las técnicas de sensores remotos, debido a que las características estudiadas son generalmente de grandes dimensiones. Una visión global del espacio geográfico torna el estudio más exacto, por otra parte para el reconocimiento de formas es posible utilizar técnicas que permiten una visión tridimensional del terreno.

**Uso de la tierra:** cartografía de ocupación del suelo; cartografía de áreas urbanas; mapeo de vías de comunicación; planificación urbana; impacto de proyectos de ordenamiento territorial, etc.

**Hidrología y recursos acuáticos:** inventario de cursos y cuerpos de agua; mapeo de redes de drenaje, mapeo de áreas inundadas; prospección de agua subterránea; preselección de sitios favorables para la implantación de granjas acuícolas; etc.

**Medio Ambiente:** mapeo de contaminación en cuerpos de agua; mapeo de áreas de explotación minera; detección de cambios en el mapeo de áreas deforestadas y en procesos de desertificación, etc.

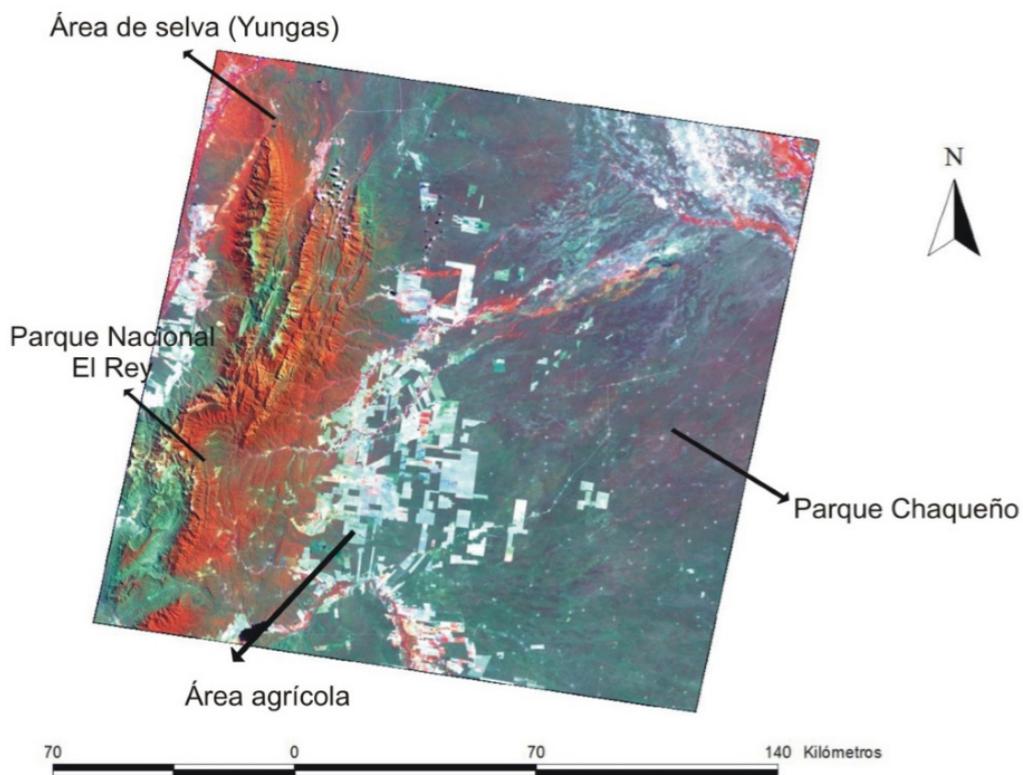
Para la generación de cartografía sobre uso de la tierra, mediante interpretación visual de imágenes satelitarias, deben seguirse los siguientes pasos metodológicos:

Una vez definido el objetivo del trabajo, donde se establecerán las metas que se pretenden lograr mediante la utilización de esta herramienta, se procederá a la selección del material a utilizar; en este punto la selección de imágenes satelitarias correspondientes al área bajo análisis resulta un paso de suma importancia; esta selección se realizará teniendo en cuenta determinados parámetros, como: sensor, éste tendrá relación con la escala de trabajo que será utilizada, fecha de adquisición de la información, calidad del producto, en cuanto a cobertura nubosa o distorsiones radiométricas o geométricas de las imágenes, bandas o combinación de bandas, etc.. Es necesario contar, además, con información complementaria que facilitará el análisis, esto es: cartas topográficas, mapas rurales, mapas geológicos, mapas de suelos, etc. En base a toda la información obtenida y teniendo en cuenta los criterios o elementos de interpretación: tono-color, diseño, forma, textura, etc., se procede a delimitar unidades de características homogéneas que constituirán las diferentes clases o categorías, adjudicando a cada una de ellas un símbolo, elaborando a tal efecto una leyenda y obteniéndose, de este modo, un mapa de interpretación preliminar.

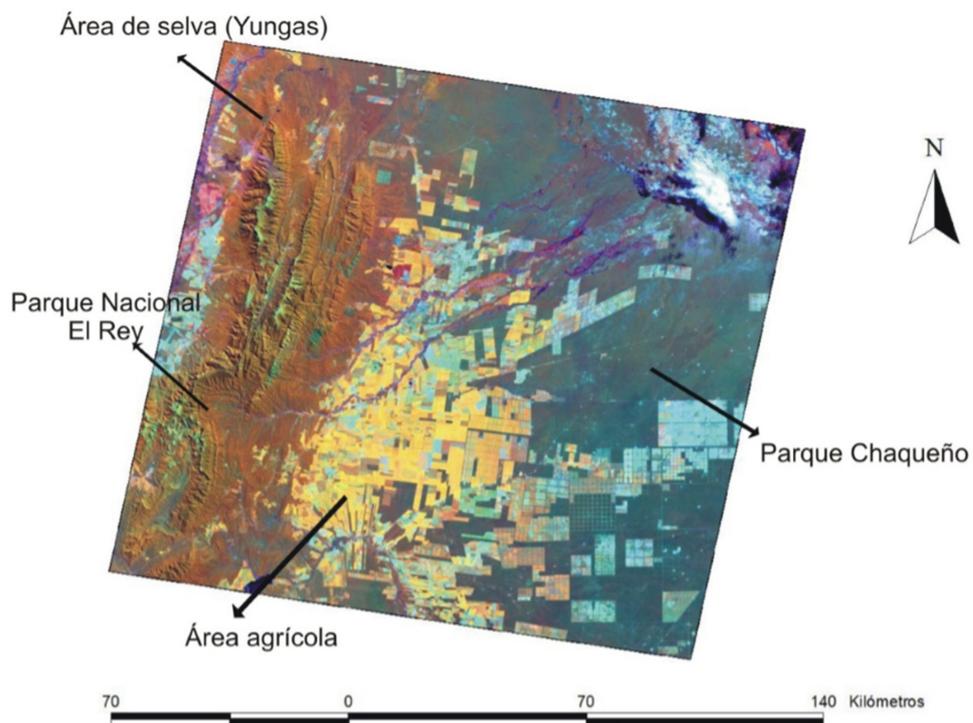
La etapa siguiente comprende un “control terrestre” o control de campo; éste consiste en realizar una visita al área bajo análisis donde se compara la “verdad de terreno” con la cartografía obtenida a partir de la interpretación visual. La información del trabajo de campo permitirá realizar las correcciones que correspondan sobre el mapa de interpretación preliminar, pudiéndose luego extrapolar la información a toda el área bajo estudio y obteniéndose el mapa de interpretación final.

La Figura 1 corresponde a una subimagen del área bajo estudio, localizada en la zona de transición entre el área de pedemonte de la Selva Tucumano salteña (Yungas) y el Parque Chaqueño, obtenida por el sensor Thematic Mapper (TM) del satélite Landsat, para dos fechas: Figura 1a es de setiembre de 1992 y Figura 1b de marzo de 2010. Se trata de dos composiciones color que han sido obtenidas a través de la combinación de bandas espectrales con los tres colores primarios (rojo, verde y azul); las bandas espectrales seleccionadas en este caso han sido TM3 (banda del rojo), TM5 (banda del infrarrojo medio) y TM4 (banda del infrarrojo cercano), a las cuales se le asignaron respectivamente los colores azul, verde y rojo.

Se observa hacia el oeste un área en sentido norte sur, de color rojo naranja que corresponde a la selva tucumano salteña, donde la vegetación es densa y vigorosa; el área del Parque Chaqueño, que ocupa la mayor parte de la subimagen, aparece con tonos rojos más oscuros, debido a la distinta densidad y tipo de vegetación; en la zona de transición entre ambas regiones se puede apreciar un área modificada, ocupada por actividad agrícola. A través de un simple análisis visual de ambas subimágenes se pueden observar los cambios producidos en ese intervalo de tiempo, en particular se advierte como la deforestación ha afectado una importante superficie del Parque Chaqueño y del pedemonte de la Selva Tucumano salteña, incrementándose en forma notoria la superficie destinada a la actividad agropecuaria.



**Figura 1 a.** Subimagen de la zona de transición entre la ecorregión de selvas subtropicales andinas, Yungas, y el Parque Chaqueño correspondiente al mes de setiembre de 1992.



**Figura 1 b.** Subimágenes de la zona de transición entre la ecorregión de selvas subtropicales andinas, Yungas, y el Parque Chaqueño, correspondiente al mes de marzo de 2010.

## ENSAYO IX.3

### La vicuña: conservación y manejo

*Bibiana Vilá*

La vicuña (*Vicugna vicugna*) es una especie emblemática del altiplano que posee un alto valor ambiental y simbólico en la cosmovisión andina. Grácil y veloz, es uno de los pocos ejemplos de una especie recuperada de la extinción a un grado tal que puede ser nuevamente utilizada por las poblaciones locales. Vicuñas y guanacos (*Lama guanicoe*) son los herbívoros nativos silvestres más importantes de las estepas de América del Sur, siendo los ungulados el grupo dominante en una fauna rica en roedores pero pobre en grandes mamíferos (Franklin, 1983). A su vez son los antecesores silvestres de alpacas (*Vicugna pacos*) y llamas (*Lama glama*) respectivamente.

La domesticación de los camélidos es un proceso que se inicia hace unos 6000-5000 años en varias zonas de los Andes y que finaliza con las dos especies domésticas y diferentes razas en las mismas: llamas (q'aras y chaku o llampulli) y alpacas (huacaya y suri). El proceso de domesticación presenta numerosas etapas iniciándose en una protección de la manada de caza por parte de los cazadores recolectores y finalizando y manteniéndose con técnicas de selección artificial cuidadosas por parte de los pastores, en un continuo de miles de años hasta la actualidad (Yacobaccio & Vilá, 2002; Yacobaccio & Vilá, en prensa).

Todas las especies de camélidos poseen fibras de buena calidad, excepto las llamas cargueras, q'aras o "peladas". Entre estas fibras se destaca la de las vicuñas por su extrema finura (aproximadamente 11-13  $\mu$  de diámetro) menor que el cashmere (15  $\mu$ ) lo que convierte a estos animales en un recursopreciado y precioso.

A diferencia de los guanacos -con amplia distribución- las vicuñas habitan exclusivamente el sistema puneño y altoandino en Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Estas áreas se caracterizan por su elevación (más de 3.500 metros) y su relieve de montaña que incluye mesetas de altura y suaves valles. Las temperaturas mínimas alcanzan varios grados bajo cero y las máximas suelen rondar los 12 grados Celsius.

Las vicuñas son territoriales y su organización social se basa en grupos familiares estables y grupos de solteros, variables en composición y distribución, con estructuras laxas. La composición de los grupos familiares es bastante fija, y la familia "media" está compuesta por un macho, tres a cuatro hembras y dos crías (Koford, 1957; Franklin, 1983; Glade & Cattán, 1987; Bonacic, 1996; Renaudeau d'Arc & Vilá, 1998). Los machos mantienen el número de animales en su familia y evitan que sus hembras se puedan cruzar con otros machos. Las hembras pertenecientes a una familia están generalmente cerca unas de otras (distancia media de 2.6 m) y este espaciamento interindividual no varía en función de las actividades de las mismas (Vilá, 1995).

Con respecto al comportamiento maternal, los ungulados se clasifican en seguidores y escondedores (Lent, 1974). Las vicuñas son seguidoras (Vilá, 1992). La distancia entre las madres y las crías es fundamental para la defensa antipredatoria en ungulados seguidores (Lent, 1974; Leuthold, 1977) y en un estudio que compara diadas madre-cría en silvestría y en un corral, se observó que la distancia en el corral era significativamente mayor que en el campo (Vilá, 1992).

Utilización histórica de las vicuñas: La Puna tiene evidencias de ocupaciones humanas desde hace 12.000 años siendo los camélidos sudamericanos silvestres el sustento principal de las poblaciones de cazadores-recolectores. Su importancia se mantuvo durante milenios. Durante el imperio incaico, la utilización de las vicuñas tenía reglas de manejo específicas que dependían de las máximas autoridades del incanato. Se las capturaba con la técnica del “chakku”, arreando a los animales hacia corrales. Con la fibra se tejían telas livianas llamadas kumpi que eran usadas por la realeza incaica y cuya confección y cuidado estaba a cargo de las “vírgenes del sol”. Antes de la dominación española había aproximadamente 3 millones de vicuñas, y con los españoles comienza la caza indiscriminada con armas de fuego. Esto se documenta bien en una crónica de Garcilaso de la Vega en sus Comentarios Reales de los Incas: “El numero de venados, corzos y gamos y del ganado mayor que llaman huanacu, que es de lana basta, y de otro que llaman vicuña que es de menor cuerpo y de lana finísima, era muy grande, que muchas veces, y según que las tierras eran unas mas de caza que otras, pasaban de veinte, treinta y cuarenta mil cabezas, cosa hermosa de ver y de mucho regocijo. Esto había entonces; ahora digan los presentes el numero de las que han escapado del estrago y desperdicio de los arcabuces, pues apenas se hallan ya huanacus y vicuñas, sino donde ellos no han podido llegar (...). Los chakkus se hacían en cada distrito, de cuatro en cuatro años, dejando pasar tres años de la una a la otra, porque dicen los indios que en este espacio de tiempo cría la lana de la vicuña todo lo que ha de criar, y no la querían trasquilarse antes porque no perdiese de su ser, también lo hacían porque todo aquel ganado bravo tuviese tiempo de multiplicar y no anduviese tan asombrado como anduviera si cada año lo corrieran, con menos provecho de los indios y más daño del ganado (...). Porque decían que se había de tratar el ganado bravo de manera que fuese tan de provecho como el manso, que no lo había criado el Pachacamac o el sol para que fuese inútil.”

La fibra de vicuña mantuvo su gran valor y la caza de la que habla Garcilaso fue continua y sumada a la transmisión de enfermedades por parte del ganado introducido por los conquistadores, generó en las vicuñas una situación crítica. Tanto es así, que el libertador Simón Bolívar, se sorprendió del grado en el cual las vicuñas se iban haciendo más raras y dictó una de las primeras leyes conservacionistas americanas específica para esta especie.

En la década de 1960 sólo quedaban 10.000 vicuñas. En ese momento se inician acciones para salvar a la especie entre las cuales se destaca un esfuerzo andino intergubernamental: El Convenio para la Conservación de la Vicuña firmado en 1969 por Bolivia y Perú y al que adhirió posteriormente, Argentina y Chile. Este convenio inicial era estrictamente conservacionista y su función principal consistía en evitar la extinción de las vicuñas. Diez años después se reconoció la importancia de incorporar la posibilidad del uso sustentable y el Convenio se re-denominó Convenio para la Conservación y el Manejo de la Vicuña en 1979. En su artículo primero el Convenio destaca: Los gobiernos signatarios convienen en que la conservación de la vicuña constituye una alternativa de producción económica en beneficio del poblador andino y se comprometen a su aprovechamiento gradual bajo estricto control del Estado, aplicando las técnicas para el manejo de la fauna silvestre que determinen sus organismos oficiales competentes. Del Convenio se desprenden numerosas otras medidas conservacionistas de índole legislativa nacional, provincial, regional y comunal, la creación de reservas, la penalización de la caza furtiva y otras. Otras acciones importantes para la conservación de las vicuñas en el ámbito supranacional, fueron: la categorización como especie vulnerable en el Libro rojo de las especies amenazadas (IUCN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), la clasificación en el apéndice I (de prohibición de comercialización) en CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies

Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). Estas iniciativas con el apoyo y compromiso de las gobernanzas nacionales, regionales y comunales lograron la recuperación de la especie en gran parte de su distribución y en la actualidad la población mundial de vicuñas supera los 400.000 animales de los cuales aproximadamente 70-100.000 habitan la Argentina (Figura 1).



**Figura 1.** Población actual de vicuñas según los últimos informes de los países al Convenio. Extraído de Vilá B. 2012. *Camélidos Sudamericanos*. Eudeba.

Hoy día, la conservación y las condiciones de vida de los camélidos tanto silvestres como domésticos están fuertemente influidas por decisiones de manejo en un ambiente cada vez más intervenido por diferentes actores sociales e intereses regionales y exógenos.

## MANEJO DE VICUÑAS

En los cuatro países las poblaciones se han recuperado y comenzaron planes de utilización de las mismas. Estos planes se basan en la obtención de su fibra con la esquila de vicuñas vivas, pero ninguno de los países está libre de la obtención de fibra por los cazadores ilegales a partir de vicuñas muertas.

En la Tabla I se puede observar la modalidad de manejo de vicuñas en los cuatro países andinos.

Concepto	Argentina	Bolivia	Chile	Perú
Propiedad de las vicuñas	<i>Res nullis</i> (de nadie)	Del estado plurinacional	<i>Res nullis</i> (de nadie)	Comunidades campesina (empresas asociativas)
Responsable de la custodia y conservación	Organismos ambientales de las provincias (Sistema Federal). Fibra en tránsito : Fauna de la Nación	Dirección General de la Biodiversidad. Comunidades Manejadoras de vicuñas reunidas en Sociedad Nacional	Ministerio de Agricultura, u otra autoridad a cargo del área de captura. Familias Aymaras	Ministerio de Agricultura y Comunidades Campesinas
Tipos de manejo	Silvestría Cautiverio (pequeños encierros) Cautiverio (INTA)	Solo silvestría	Silvestría y cautiverio (asistida por el estado)	Silvestría y cautiverio (Módulos de Uso Sostenido asistidos por empresas privadas)
Cantidad de fibra producida en Kg (año 2008)	270	924	160	6034
Tipo de productos	Fibras Artesanías Ponchos	Fibras Artesanías mantas panceñas	Fibras	Fibras Artesanías Telas industriales, Prendas de diseño

**Tabla 1.** Modalidad de manejo de vicuñas en Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Fuente: Vilá B. 2012. *Camélidos Sudamericanos*. Ed. Eudeba.

Los usos de las vicuñas se pueden clasificar en dos tipos: uso en silvestría (libertad) y uso en cautiverio. Bolivia es el único país que sólo utiliza a las vicuñas en libertad. El resto de los países tienen uso en cautiverio y en libertad.

## USO EN SILVESTRÍA

Se basa en la captura de vicuñas silvestres. Se utiliza una técnica llamada chakku, que era la manera de capturar vicuñas por los incas, y consiste en que numerosas personas sostienen sogas con cintas de colores, armando barreras que se van desplazando y las vicuñas caminan o corren por delante de éstas hasta que convergen en una “manga de captura” (Figura 2). Estas mangas son como embudos con aproximadamente un kilómetro de largo y finalizan en un corral de captura y esquila (Figura 3). Las mangas están realizadas con postes de 2 metros de altura que tienen una red por fuera y son desarmables y se pueden trasladar.

En el chakku se necesitan numerosas personas capaces de correr a 4000 metros de altura, y sobre todo mucha coordinación entre ellas para que no se escapen las vicuñas que muestran una carrera errática cuando son perseguidas. Ya capturados los animales, se esquilan aquellos que tengan fibra de más de 4 cm de largo y no sean crías ni hembras en avanzado estado de gestación, se toman datos biológicos para investigación (muestras de sangre, peso, estado corporal, muestra de heces, etc.) y se los libera. En general, los beneficios económicos son para las comunidades donde habitan las vicuñas. Estas vicuñas viven en condiciones naturales donde las personas no interfieren en los procesos de selección sexual (Darwin 1859) pero reciben un fuerte disturbio en el momento de la captura. Esta forma de utilización es la única posible en Bolivia, se utiliza en Chile y Perú y desde el 2003 se realiza también en Argentina.

Ver link captura de vicuñas: [captura vicuñas sta cat 2012.m4v](#) (Producciones Documentales CONICET).



**Figura 2.** Muchos pobladores acorralando a las vicuñas hacia la manga de captura mediante sogas que portan entre todos.



**Figura 3.** Vicuñas en la “manga de captura” rumbo al corral.

## USO EN CAUTIVERIO

Modalidades: a) en corrales grandes como los “cercos” comunales peruanos de 1000 has., b) en pequeños corrales de propiedad privada de aproximadamente 10 has. en Argentina. Tanto los cercos como corrales tienen un alto costo ya que los alambrados deben tener 2 metros de altura, con malla. Desde el punto de vista biológico, cuando los animales están restringidos en sus movimientos, las peleas entre los machos familiares y las tropas de solteros pueden ser frecuentes y con un alto nivel de agresividad (en la naturaleza los solteros pueden alejarse muchos kilómetros) por lo que en muchos de estos sistemas se separan los solteros o se los castra (Rebuffi 1993). Estos sistemas disminuyen el esfuerzo de captura de un chakku, pero interfieren en la biología de la especie.

## CORRALES (ARGENTINA)

Este sistema fue establecido por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) desde su estación experimental en Abrapampa con una población de vicuñas bajo manejo (con castración de machos) donde se obtienen las vicuñas cautivas para iniciar criaderos. Los interesados en iniciar un criadero debían emplazar un corral de 10-12 has. El costo del mismo generalmente se cubría con un “préstamo” que realizaba una empresa hilandera a la cual se le devolvía la inversión con la fibra esquilada. Este sistema ha demostrado no ser económicamente rentable, y muchos pobladores devolvieron sus vicuñas y finalizaron la actividad. El fracaso de este modelo ha sido estudiado en profundidad (Lichtenstein 2006).

## CERCOS (PERÚ)

Este sistema fue fomentado por el Consejo Nacional para los camélidos sudamericanos que apoyaba la instalación de grandes cercos comunales de aproximadamente 1000 has de donde se sacaban los animales domésticos. Con un perímetro de unos 12 kilómetros, los costos de instalación de los mismos (aproximadamente 25.000 U\$S) se cubrían por un préstamo del Estado, al cual se le puede devolver la inversión en fibra o con animales vivos (valuados en 1000 U\$S c/u). En estos cercos se capturan las vicuñas también en arreos con numerosas personas.

## ENCIERROS (CHILE)

El sistema es muy similar al peruano excepto que los campesinos no se endeudan ya que es el Estado chileno quien hace la inversión de la infraestructura.

En todos estos tipos de manejo que incluyen la captura y esquila de animales, es fundamental la utilización de técnicas de sujeción y extracción de la fibra que minimicen las consecuencias del estrés y mortalidad de los animales.

## DISCUSIÓN

En la comparación entre manejo en cautiverio y en silvestría se ha demostrado que este último con animales silvestres es el único que garantiza la conservación de la especie y su hábitat y en diversos escenarios es el menos riesgoso.

Desde el punto de vista biológico (Vilá, 2002) se señalan algunas ventajas del manejo en

silvestría, especialmente considerando aspectos genéticos y del comportamiento de los animales que pueden determinar un cambio fenotípico desfavorable en los encierros (Hemmer, 1990), y el inicio de un proceso de domesticación.

Estudios recientes encarados por el equipo de la Dra. Wheeler (Perú) indican que las poblaciones silvestres de vicuñas poseen bajos niveles de diversidad genética dentro de las poblaciones y altos niveles entre poblaciones, por lo menos en las poblaciones peruanas que son las más numerosas (Wheeler *et. al.*, 2001). En el trabajo citado se sugieren estrategias para maximizar la diversidad genética, lo que incluye no castrar machos ni restringir los movimientos de los animales eliminando los cercos que limiten poblaciones y para minimizar la pérdida de variabilidad.

En la investigación independiente realizada por el Departamento de Interior de los Estados Unidos (Fish & Wildlife Service, 2002) destinada a proveer información para abrir el mercado de ese país a la fibra de vicuña, se analizó la situación en los cuatro países con vicuñas. Del mismo surge que es fundamental la obtención de datos científicos rigurosos para determinar cuáles acciones de manejo de vicuñas son las más adecuadas y en la cual se cuestiona fuertemente el cautiverio como modo de manejo de la especie.

Si bien cada vez más frecuentemente se hacen palpables los problemas de criar vicuñas cautivas y se debate su aporte a la conservación, aparecen otros riesgos con el manejo de la vicuña que es interesante destacar (extraídos de Vilá, 2012):

1) El uso del “colectivo” camélidos. Es común la existencia de documentos o proyectos de ley acerca de los “camélidos” que no incluyen la diferenciación entre domésticos y silvestres y que en casi todos los casos encubren la posibilidad de apropiación y traslado de los silvestres como si fueran domésticos.

2) La transformación de una especie silvestre en un “commodity”. ¿Qué pasa cuando se habla de kilos de fibra de vicuña en lugar de poblaciones silvestres de vicuñas?

3) Hibridización. Existen 450 ejemplares registrados de paco-vicuñas en Estados Unidos, consecuencia de la exportación de híbridos de la cruce de vicuñas con alpacas desde Latinoamérica. Estos animales conllevan genética de vicuña, una especie altamente protegida y que cubre un espectro de finura de fibra único que le da un nicho económico que puede ser un gran aporte al desarrollo de las comunidades andinas que pierden su hegemonía con fibra fuera de los Andes.

4) Violación del art I del Convenio para la Conservación y manejo de la Vicuña. Con las fuertes presiones de corporaciones textiles hacia las fibras finas, es muy importante en la actualidad que los gobiernos de los países con vicuñas apoyen a las comunidades andinas en su derecho de usufructo de las vicuñas frente a las compañías textiles con las cuales tienen una gran asimetría. En la actualidad empresas textiles han comenzado a comprar tierras con vicuñas y a hacer uso de las mismas como si fueran locales, como en el caso de Catamarca donde una empresa textil extranjera obtuvo más de 100.000 hectáreas con vicuñas que esquila.

5) Manejos improvisados, falta de bienestar animal y traslados. Las capturas de vicuñas silvestres son actividades riesgosas que exigen planificación y personal capacitado para el manejo de animales con temperamento silvestre y alta susceptibilidad al estrés. A pesar de

que existen los documentos sobre criterios de manejo con bienestar animal, las autoridades de los países andinos no los incorporan como norma de fiscalización y hay experiencias de capturas con alta mortalidad, esquila excesiva y con sufrimiento animal evidente.

6) Dificultades en la comercialización: La inestabilidad y la variabilidad de los precios de la fibra de vicuña pone en riesgo la posibilidad de establecer planes de manejo ya que dificulta ostensiblemente las posibilidades de análisis de costos y beneficios para evaluar la factibilidad económica y poder iniciar emprendimientos. En el período 2004-2009 el precio de la fibra de vicuña fue comercializado en los cuatro países con precios por kilo variando entre 350 a 922 dólares/kilo sin ningún patrón aparente más que la posibilidad de negociación y el tipo de institución y apoyo gubernamental de los vendedores. Obviamente esta situación entorpece la posibilidad de planificaciones sobre sustentabilidad económica de proyectos con comunidades.

En resumen, la vicuña emblema del altiplano, una especie adaptada a un ambiente hostil cuya mayor hostilidad no han sido las condiciones ambientales sino la codicia de las personas, esta reescribiendo su historia y nuevamente se ve enfrentada a difíciles situaciones.

Los investigadores altamente comprometidos con la especie, no solo seguimos aun descubriendo innumerables facetas de su ecología y biología, sino más que nunca debemos seguir protegiéndola y conservándola. La vicuña es un animal tan generoso que puede brindar su fibra a cambio de su conservación. Oportunidad única para las personas para mostrar compañerismo habitando la biosfera y respetando las diversidades.-

## ENSAYO IX.4

# Recursos pesqueros y acuicultura en Argentina y el mundo

*Mario L. Lasta y Marcelo Pérez*

### INTRODUCCIÓN

Los recursos pesqueros tanto de aguas marinas como continentales han sido objeto de uso por parte de la humanidad mediante lo que llamamos “pesca”. Esta actividad es la apropiación de peces por medio de diferentes artes de pesca y en todos los casos se trata -más allá del desarrollo de conocimientos y la actual tecnología pesquera- de una actividad de tipo “paleolítica”, es decir, caza o recolección de cierta fracción de las poblaciones de peces sin intervención por parte humana en la “producción” del bien. Por su parte, la acuicultura se basa en la “producción” de cierta biomasa de peces mediante diferentes grados de intervención humana favoreciendo el desarrollo de los organismos, ya sea por intervención en los ciclos de vida o manejando el medio en el que estos se desarrollan.

Nuestro planeta Tierra está cubierto por océanos y mares en el 71% de su superficie. La profundidad media de los Océanos Atlántico, Pacífico e Índico es cercana a los 4 km, pero son las aguas superficiales las que sostienen el sistema productivo en su totalidad, siendo los márgenes costeros de los continentes las áreas de mayores producciones y por consiguiente, las que reciben la mayor presión de la actividad humana. Es allí donde se concentra el 75% de la población mundial, donde se desarrollan las principales pesquerías comerciales y donde se produce la descarga de los residuos y contaminantes. Sin embargo y a pesar de esta situación de concentración espacial de actividades en ciertos casos antagónicas, las aguas costeras que sustentan los sistemas productivos presentan la más alta diversidad biológica y poseen aún mayor cantidad de especies que los ecosistemas terrestres.

Los ecosistemas marinos son sistemas complejos siendo un indicador de ello el número de niveles tróficos que existe entre los productores primarios y los predadores tope. Históricamente, estos últimos han sido en general de gran interés comercial, como por ejemplo los gadiformes (merluzas), escómbridos (caballas, atunes) y tiburones en general. La extracción selectiva y masiva de estos componentes del ecosistema produce un desequilibrio en el mismo y el agotamiento (al menos en términos económicos) de la población objeto de captura. Es así que el colapso de diversas pesquerías se ha convertido en un indicador fehaciente del estado de salud de los ecosistemas marinos a gran escala espacial y temporal (Bakun, 1996).

Desde el inicio de la humanidad, la pesca constituye una fuente importante de alimentos. En la evolución de la sociedad, esta actividad proporcionó grandes beneficios económicos a quienes se dedican a ella. Hasta no hace muchos años se consideraba que la riqueza de los recursos acuáticos era un don ilimitado de la naturaleza. Sin embargo, el logro de conocimientos y la evolución de las pesquerías, principalmente después de la Segunda Guerra Mun-

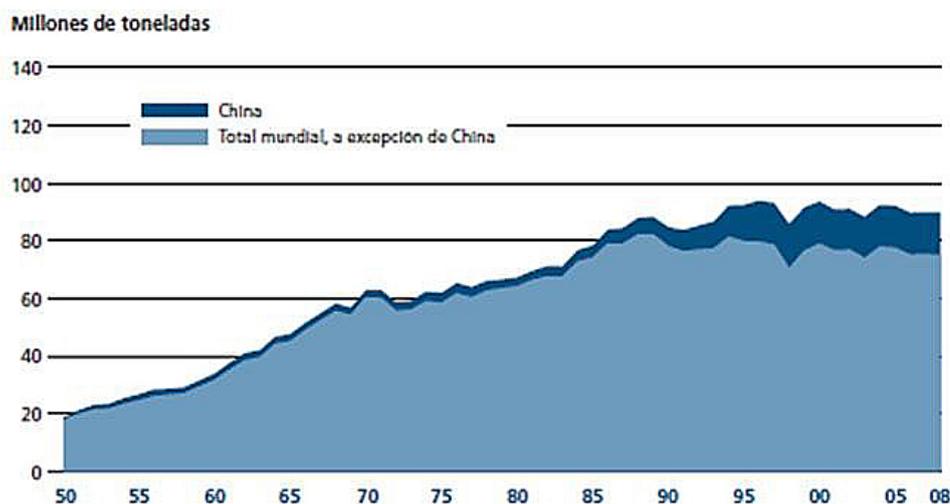
dial, han hecho desvanecer este mito constatando que estos recursos renovables presentan límites en su capacidad de producción, y que su uso impone una estrategia adecuada si se pretende que su contribución al bienestar nutricional, económico y social de la creciente población mundial sea sostenible. Desde hace algunos años y a nivel mundial se ha tomado conciencia de la falsa y optimista idea de la inagotable riqueza de los mares.

## PANORAMA MUNDIAL

Según FAO (2010), la pesca y la acuicultura suministraron, en 2008, 142 millones de toneladas de pescado. De ellas, 115 millones se destinaron al consumo humano y proporcionaron un suministro per cápita máximo histórico aproximado de 14 kg. Este valor se mantuvo estable en los últimos años debido al incremento de la producción por medio de la acuicultura la que compensó el leve descenso de las capturas (marinas y continentales) y la demanda de productos debido al aumento de la población mundial. La acuicultura generó el 46 % del total de pescado consumido (acuicultura marina 17 % y continental 29 %).

En 2007 el pescado representó el 16 % del aporte de proteínas animales a la alimentación de la población mundial y el 6 % de todas las proteínas consumidas.

Las capturas marinas se han mantenido relativamente estables en la década 1999 a 2008. En 2008 China, Perú e Indonesia fueron los principales productores (hablamos de productores porque pescan y parte se procesa y se transforma en distintos productos). China continuó como líder mundial con alrededor de 15 millones de toneladas (Figura 1) de desembarques.



**Figura 1.** Evolución de las capturas marítimas totales desde 1950 hasta el año 2008. Tomado de: FAO. 2010. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*.

Desde mediados de la década de 1990 la proporción de pescado empleado en el consumo humano directo ha aumentado. Cerca del 81 % de la producción mundial en 2008 se destinó al consumo mientras que el resto tuvo otros fines no alimentarios como la elaboración de harina y aceite de pescado, carnada, usos farmacéuticos y para la alimentación directa en la acuicultura y para otros animales. La anchoveta y otros peces pelágicos pequeños son las principales especies empleadas para la producción de harina y aceite de pescado.

La acuicultura sigue creciendo más rápidamente que cualquier otro sector de producción

de alimentos de origen animal y crece a mayor ritmo que la población humana. Esta tendencia se observa cuando se compara el incremento del suministro per cápita desde 0,7 kg en 1970 hasta 7,8 kg en 2008. La acuicultura mundial está liderada por la región de Asia y el Pacífico, siendo China quien domina la producción. Es esperable que la acuicultura supere a la pesca como fuente de pescado comestible, pero no que la reemplace. El sector pesquero es una fuente de ingresos y medios de subsistencia para millones de personas en todo el mundo. Se estima que la pesca y la acuicultura en 2008, incluyendo los sectores primario y secundario, otorgaron trabajo a alrededor del 8 % de la población mundial. El crecimiento del empleo en el sector pesquero ha aumentado más rápidamente que el crecimiento de la población mundial y que aquel del empleo en la agricultura tradicional. La mayoría de pescadores y acuicultores viven en países en desarrollo, principalmente en Asia.

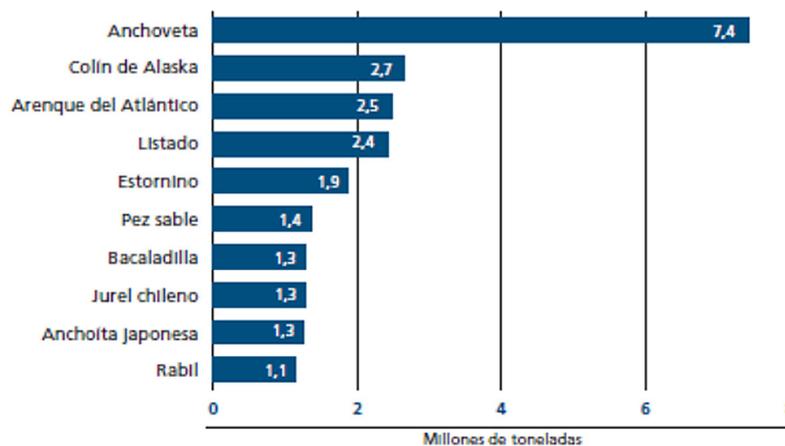
El empleo en la pesca presenta un panorama cambiante en las economías más desarrolladas en la mayor parte de los países de Europa, en América del Norte y Japón. Esto es resultado de la combinación de diversos factores que han alterado la historia de la pesca. Entre ellos y acaso los más importantes, la necesaria reducción de las capturas y los programas de reducción de la capacidad pesquera con el fin de evitar situaciones de sobreexplotación o lograr la recuperación de poblaciones agotadas y además, debido al aumento de la productividad por la incorporación de avances tecnológicos. La reducción de la capacidad pesquera puede lograrse en tanto los países involucrados impongan seriamente diferentes medidas tales como disminuir el tamaño de las artes de pesca, horarios o lapsos de pesca, eliminación de barcos, limitando en número las tripulaciones, etc. No obstante estas limitaciones que afectan la capacidad de lograr cierta captura (producto primario), los desarrollos y aplicación de nuevas tecnologías aumentan la capacidad de producir capturas y sus productos derivados: pescado entero, filetes, surimi, harinas, etc.

Considerando grandes ecosistemas marinos, la proporción de poblaciones de peces consideradas sub-explotadas o moderadamente explotadas disminuyó desde el 40 % a mediados de la década de 1970 hasta el 15 % en 2008, mientras que la proporción de poblaciones sobre-explotadas, agotadas o en recuperación aumentó desde el 10 % en 1974 hasta el 32 % en 2008. Algo más de la mitad de las poblaciones (53 %) se hallan plenamente explotadas y, por ello, sus capturas son iguales o próximas a sus producciones máximas sostenibles, sin posibilidad de aumentar. El 32 % restante se consideran sobre-explotadas (28 %), agotadas (3 %) o en recuperación tras haber estado agotadas (1 %) y, por ello, su producción biológica es menor que su producción máxima potencial debido al exceso de la presión pesquera. Este porcentaje (32%) combinado es el mayor en la serie histórica disponible.

A comienzos de la década de 1970 se estimaban las capturas potenciales de los océanos (excluidos los invertebrados) en cerca de 100 millones de toneladas pero, considerando que era improbable que todas las poblaciones se pudiesen explotar al nivel óptimo, se estableció la predicción más realista de 80 millones de toneladas. Sin embargo, el desembarque de pesca marina mundial alcanzó su máximo de 74,7 millones de toneladas en 1996.

Desde mediados de la década de 1990 y a lo largo de la de 2000, diversos estudios han sugerido la rápida disminución de la pesca marina a nivel mundial. Sin embargo, las estadísticas de las capturas mundiales indican cierta estabilidad. A pesar de la marcada variabilidad de las capturas totales anuales por países, zonas pesqueras y especies, las capturas totales mundiales (marinas y continentales) durante el período 2006-2008 se mantuvieron estables en unas 90 millones de toneladas. En estos años un pequeño descenso de las capturas marinas mundiales se vio compensado por un incremento en las capturas en aguas continentales. Las especies dominantes en las capturas de la pesca marina han sido las mismas desde 2003 y

han ocurrido pocos cambios en los últimos seis años, otro signo de una relativa estabilidad. La proporción de las diez especies más capturadas en la pesca marina mundial ha variado muy poco y ha oscilado entre el 29 y el 33 % de los desembarques (Figura 2).



**Figura 2.** Producción de la pesca de captura marina: las diez principales especies e 2008.

En el año 2011 se mantuvo vigente la controversia señalada anteriormente entre investigadores que predicen un rápido agotamiento de las poblaciones marinas en los próximos 30 años (Worm, *et al.*, 2006) y otros que sostienen que, reconociendo el diagnóstico actual (32 % de poblaciones sobre-explotadas o en peor condición), las probabilidades de recuperación de la mayor parte de ellas es alta si se aplican medidas de ordenamiento pesquero tradicionales (Hilborn, 2010).

## PERSPECTIVAS GLOBALES

Se ha argumentado que la crisis pesquera mundial es producto de fluctuaciones de las poblaciones bajo presión de captura. Si bien es cierto que las poblaciones están sujetas a fuertes fluctuaciones naturales de diferente periodicidad, no es menos cierto que se han detectado cambios estructurales a nivel de comunidades y ecosistemas producidos por la pesca. Un caso interesante, si bien discutido, fue sugerido mediante el análisis del cambio secuencial de los niveles tróficos medios de las capturas globales entre 1950 y 1994 (Pauly *et al.*, 1998). El estudio pone en evidencia, principalmente para el Hemisferio Norte, la transición gradual de la composición de las capturas de especies de altos niveles tróficos, gran tamaño, vida larga y hábitos piscívoros hacia capturas de especies de bajos niveles tróficos tales como invertebrados de pequeños tamaños y corta vida y peces pelágicos de hábitos planctívoros.

Uno de los fenómenos naturales de gran envergadura que explica cambios pesqueros a nivel global es el fenómeno de El Niño, el que forma parte de un complejo sistema de variabilidad climática global conocido como Oscilación del Sur o ENSO (El Niño Southern Oscillation). La disminución en la producción total que se observa en las capturas y acuicultura en el lapso 1997 - 1998 (de 122 a 117 millones de toneladas respectivamente) es explicada por anomalías climáticas producidas por El Niño en las áreas tanto de capturas como de producción afectadas por este fenómeno.

El término “área marina protegida” (AMP) es un concepto relativamente reciente que suele asociarse directamente con la conservación de la biodiversidad. Su utilización como herramienta de ordenamiento ha aumentado rápidamente en la última década. Las AMP

seguramente tendrán un papel importante que desempeñar no sólo respecto a la conservación, sino también en la ordenación pesquera, especialmente en el marco de enfoques ecosistémicos de la pesca.

Sin embargo, hasta el momento, la reducción en la presión pesquera se logró mediante una amplia gama de herramientas de ordenación pesquera que incluyen limitaciones en las capturas y esfuerzos pesqueros, restricciones en artes de pesca y aplicación de esquemas de áreas de vedas. La superficie total cubierta en el mundo por AMP puede considerarse poco significativa aún. Existen varias AMP en plataforma nacional de Argentina a los efectos de intentar impactos favorables sobre la pesca y utilizadas como medidas indirectas de reducción de esfuerzo pesquero (áreas de veda merluza, merluza negra, cartilagosos, etc.). En algunos casos (organismos sedentarios) estas áreas de exclusión pesquera son para proteger altas densidades de reproductores y facilitar el encuentro entre gametas (vieira patagónica).

## ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS

Para 2012, la Argentina debía cubrir, al menos, un 10% de su superficie marina con áreas protegidas, compromiso que adoptó frente a la Convención sobre Diversidad Biológica. Sin embargo, la superficie actual de mar y costa con algún grado de protección, representa apenas el 1%. De las 47 áreas protegidas costero-marinas en nuestro país, menos del 15% cuenta con planes de manejo vigentes, y más del 80% no tiene los recursos suficientes para cumplir con sus objetivos básicos de conservación. Esta situación sucede también en el resto del territorio de nuestro país.

Las distintas organizaciones pesqueras gubernamentales y regionales encargadas de la administración de recursos, sobre todo durante los últimos años, han enfatizado sobre la necesidad de realizar un ordenamiento sostenible de las pesquerías. Sin embargo, considerando la situación de la mayoría de ellas a nivel mundial, es evidente que existe retardo en la efectiva implementación de tales medidas. Esta falla creó un nicho para ONGs ambientalistas y otros grupos, para desempeñar un rol importante, consistente en generar atención en la opinión pública en distintas partes del mundo frente a prácticas pesqueras consideradas insostenibles. En los últimos años, estas campañas de difusión tuvieron como destinatarios a los pescadores, productores y consumidores con foco en procesos como la eco-certificación de pesquerías y las eco-etiquetas para los productos derivados de aquellas pesquerías y prácticas consideradas como sostenibles. Si bien es demasiado temprano para evaluar el impacto de estas tácticas para lograr un mayor grado de sostenibilidad, no caben dudas de que se convierte en una medida adicional de presión a nivel gubernamental y de las organizaciones regionales de ordenación pesquera, con la finalidad de elaborar, profundizar y ejecutar medidas con vistas a un ordenamiento sostenible de la pesca (Shelton, 2009).

## LA SITUACIÓN PESQUERA EN ARGENTINA

La pesquería marítima en Argentina pareciera haber encontrado su límite en aproximadamente 800 mil toneladas anuales, luego de un continuado ascenso hasta el año 1997, en el que se reportaron capturas cercanas a 1,3 millones toneladas (Figura 2). La merluza común (*Merluccius hubssi*) con alrededor de 300 mil toneladas capturadas durante los últimos años, es la especie más importante históricamente, siendo delicado el estado poblacional actual (año 2011). Al igual que otras pesquerías de pequeña envergadura como la vieira tehuelche (*Aequipecten tehuelchus*) y el calamar (*Illex argentinus*), la pesquería de merluza se desarrolló

hacia finales de la década de los años 70 con fines de exportación.

La mayor parte de la producción pesquera actual tiene como destino la exportación. En 2010 se exportaron alrededor de 1.300 millones de dólares (U\$S) que representaron un 2% en valor de las exportaciones totales argentinas. Más de un 70% (U\$S) correspondieron a 3 especies: merluza común, langostino y calamar. El principal destino fue la Unión Europea (56%), mayoritariamente España e Italia. La participación del MERCOSUR fue de un 14% (U\$S) que tuvo como principal comprador a Brasil (<http://www.minagri.gov.ar>).

Producto de la amplitud y extensión de la plataforma nacional se observa una importante variedad de especies de peces (con aletas) en las capturas. Según Angelescu y Prenski (1987) se reconocen cinco conjuntos pesqueros en relación a sus ecosistemas:

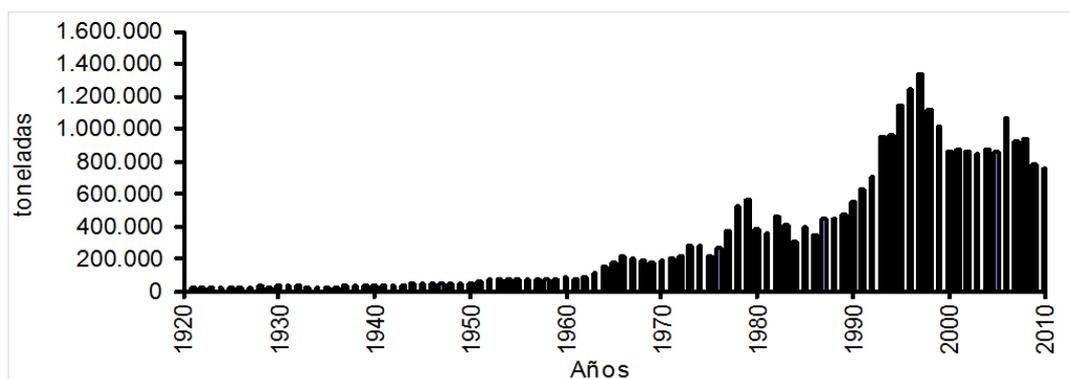
1) *Costero bonaerense*: entre 34° y 41° de Latitud Sur y hasta profundidades de 50 m (corvina rubia y negra, pescadilla de red y real, gatuzo, pargo, burriqueta, testolín rojo y azul, bagre de mar, besugo, brótola, lenguados, trilla, cazón, chucos y escalandrún).

2) *Plataforma intermedia*: definida entre las isobatas de 50 y 225 m y entre 34° y 48° Latitud Sur (merluza común, abadejo, tiburón espinoso, pintarroja, castañeta, lenguados y nototénias, rubio, congrio, viuda, granadero, salmón de mar, pez palo, pez gallo y angel).

3) *Golfos norpatagónicos*: (San Matías, San José y Nuevo) merluza común, merluza de cola, palometas y savorín, abadejo, mero, salmón de mar, chernia, castañeta, bacalao austral, nototénias, tiburones, pez gallo, rayas y lenguados.

4) *Conjunto austral de plataforma patagónica y malvinense*: caracterizado por aguas subantárticas (polaca, merluza de cola, merluza común y austral, abadejo y bacalao austral, merluza negra, palometa moteada y granadero).

5) *Conjunto aguas profundas de la zona del talud continental*: abarca de los 250 a los 2.300 m (granaderos, polaca, merluza común, austral y de cola).



**Figura 3.** Capturas marítimas (toneladas/año) según estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la República Argentina.

Los antecedentes disponibles más recientes que compilan el diagnóstico general de los principales recursos pesqueros argentinos (FAO, 2004; Sánchez & Bezzi, 2004) consideran 24 casos de especies o grupos de especies incluyendo dos unidades poblacionales en el caso de la merluza. Estos estudios no contienen al langostino y calamar ya que debido a sus ciclos de

vida cortos (anuales) son susceptibles de presentar grandes fluctuaciones de abundancia. De los 24 casos identificados, puede resumirse que el 62% de los mismos corresponden a plena explotación y sobre-pesca: Merluza común (2 unidades poblacionales, norte y sur), corvina rubia, pescadilla, merluza austral, polaca, merluza negra, centolla, abadejo, gatuzo, otros condrictios (tiburones y rayas), atunes y especies afines, vieiras, bacalao austral y centollón. Pueden señalarse como sub-explotadas la anchoita, castañeta y rubio. Aunque son limitados los conocimientos sobre aspectos biológicos y de su dinámica poblacional bajo explotación, se estima que existirían posibilidades de incremento de capturas, sin generar efectos perniciosos, en algunas pocas especies como la sardina fueguina, savorín, granaderos y congrio de profundidad. Sin embargo, debido a las características biológico-pesqueras propias de estas especies, no parece ser probable que las capturas marítimas totales argentinas presenten aumentos importantes en el futuro.

Por su relevancia en la pesquería argentina el caso de la merluza común merece particular atención. Para ambas unidades poblacionales (norte y sur) desde la pasada década se ha detectado un nivel de abundancia de reproductores inferior al límite considerado como sostenible.

Es posible que los niveles de reclutamiento (abundancia de la clase anual entrante a la pesquería) se encuentre afectado debido a la escasez de reproductores (sobre-pesca del reclutamiento) y que los altos niveles de mortalidad por pesca produzcan que se capturen los ejemplares más pequeños de las poblaciones, sin lograr alcanzar tallas mayores (sobre-pesca de crecimiento). Estos efectos son atribuibles principalmente a la sobrecapacidad de la flota para capturar esta especie, en relación a la abundancia existente.

Los lapsos de posible recuperación son función de las medidas que se implementen siendo en casi todos los casos, restricciones a la actividad. Digamos que para un escenario futuro (15-20 años) en el que podrían observarse cambios estadística y biológicamente razonables se han planteado una serie de propuestas a considerar por parte de la administración pesquera. Estas contemplan a) el efectivo cumplimiento de las regulaciones vigentes, b) no superar la Captura Máxima Permissible, c) reducción del esfuerzo pesquero directa e indirectamente y d) el mantenimiento de las áreas y épocas de veda.

La Ley Federal de Pesca sancionada en 1997 establece una modificación sustancial en la administración de recursos pesqueros mediante las Cuotas Individuales Transferibles de Captura (CITC). Este criterio reemplazó el sistema de acceso "olímpico" que regía hasta entonces. En este último los buques habilitados con permisos de pesca vigentes podían capturar una especie hasta que se alcanzara la Captura Máxima Permissible (CMP) establecida anualmente por la administración pesquera. La CITC es una concesión temporal del Estado por 15 años a favor del titular de un permiso de pesca, que habilita la captura de un porcentaje de la CMP. Esta medida involucra una importante transformación en la administración, fiscalización y control pesquero debido a que se otorgan cuotas de captura por especies, buque, zonas de pesca y tipo de flota. Además, las CITC están enmarcadas en el régimen de general de administración de cada especie (áreas y épocas de veda, artes de pesca, talla mínima de desembarque, etc.). En ese contexto, recientemente en 2009 se aprobaron los Regímenes específicos de CITC de polaca, merluza negra, merluza de cola y merluza común (<http://www.cfp.gob.ar>). En el mundo y hasta 2008, se administraron mediante este sistema o alguna variante similar, alrededor de 150 pesquerías monoespecíficas de importancia, las que sumadas a algunas otras más pequeñas, representaron alrededor del 10% de las capturas totales mundiales. El primer país en adoptar este sistema como política nacional fue Nueva Zelanda (1986) y se aplica además en otros países como Holanda,

Canadá, Islandia y Estados Unidos. Debido a la relativamente reciente implementación del sistema en Argentina, será necesario esperar algunos años para poder evaluar su impacto en la ordenación pesquera nacional.

## ACUERDOS INTERNACIONALES

El estado mundial de las pesquerías hacia los años 70 del siglo pasado llevó a considerar el manejo por parte de los estados de las zonas económicas exclusivas (ZEE), y tras largas deliberaciones hacia 1982, la adopción de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Estos eventos, dieron un nuevo marco para un mejor uso de los recursos marinos, regulando los derechos y responsabilidades de los estados ribereños en materia de organización y aprovechamiento de los recursos pesqueros dentro de sus ZEE. Este nuevo régimen jurídico del océano abarcó prácticamente el 90% de la pesca marítima mundial y, aunque el tiempo demostrara cierta insuficiencia, fue una ordenación eficaz a nivel mundial y un serio intento legal y administrativo tendiente al desarrollo sostenible de la pesca.

Algunos años más tarde, la gravedad de la situación se percibió cuando, por falta de regulación de la pesquerías de alta mar, se observaron problemas en especies ictícolas trans-zonales, altamente migratorias que se hallaban dentro y fuera de las ZEE.

Estos importantes acontecimientos de la pesca mundial llevaron a los organismos rectores de la FAO a formular un Código Internacional de Conducta para la Pesca Responsable, que estableciera principios y normas aplicables a la conservación, ordenación y desarrollo de todas las pesquerías. El Código, de carácter no obligatorio, fue aprobado el 31 de octubre de 1995 por la Conferencia de la FAO, y adoptado por unanimidad por los países miembros, Argentina entre ellos. El mismo ofrece el marco necesario para que en el ámbito de las iniciativas nacionales e internacionales se asegure una explotación sostenible de los recursos acuáticos vivos en consonancia con el medio ambiente.

Las actividades pesqueras generalmente afectan a otros componentes del ecosistema. Por ejemplo, capturas incidentales de especies no deseadas o daños físicos al hábitat. La gestión responsable de la pesca debe tener en cuenta estos impactos sobre el ecosistema y accionar para su utilización sostenible en oposición a no sólo considerar a la especie objetivo o blanco de la pesca. Esta necesidad ha llevado al desarrollo de un Enfoque Ecosistémico de la Pesca, definido por FAO como un enfoque que “procura equilibrar diversos objetivos sociales, teniendo en cuenta los conocimientos y las incertidumbres sobre los componentes bióticos, abióticos y humanos de los ecosistemas y sus interacciones, y aplicar a la pesca un enfoque integrado dentro de límites ecológicos fidedignos” (FAO, 2003).

## ENSAYO IX.5

### El pastizal pampeano

*David Bilenca, Fernando Miñarro, Mariano Codesido, Carlos González Fischer y Lorena Pérez Carusi.*

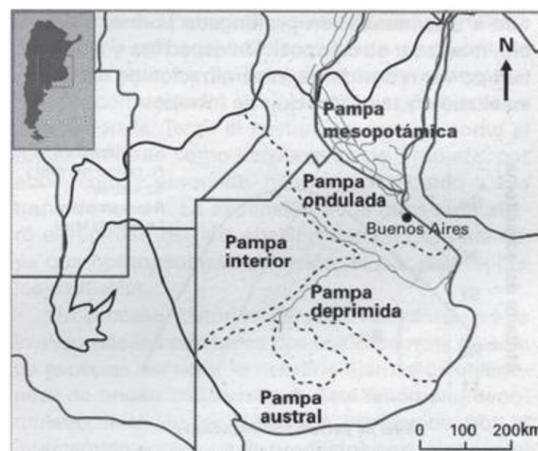
#### INTRODUCCIÓN

Los pastizales son uno de los tipos de vegetación más extensos del planeta, con una cobertura potencial estimada en 39 millones de km<sup>2</sup>, lo que equivale a cerca de una cuarta parte de la superficie terrestre. Se trata de sistemas con un estrato herbáceo dominado por algunas de las diez mil especies que forman la familia de los pastos (Poaceae), y que pueden estar acompañados por una variable componente de vegetación leñosa (Sala & Paruelo, 1997).

Históricamente, los pastizales han proporcionado una amplia gama de bienes y servicios ambientales en la cual, a la producción habitual de carne, leche, lana y cuero procedentes de los sistemas de pastoreo, se le debe sumar la provisión de diversos servicios ambientales tales como su contribución al mantenimiento de la composición de gases en la atmósfera mediante el secuestro de CO<sub>2</sub>, su papel en el control de la erosión de los suelos, y como fuente de material genético para una gran cantidad de especies vegetales y animales que constituyen hoy la base de la alimentación mundial.

En el centro-este de Argentina los pastizales pampeanos ocupaban originalmente una superficie cercana a los ≈400-450.000 km<sup>2</sup> que incluía partes de las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, San Luis y La Pampa (Figura 1; Cabrera, 1976). A su vez, las Pampas, junto a los Campos de Uruguay, sur de Brasil, y del este de Corrientes y sureste de Misiones en nuestro país, integran los Pastizales del Río de la Plata, que representan uno de los sistemas de pastizales templados más grandes del mundo: 750.000 km<sup>2</sup>.

Los objetivos de este ensayo son 1) realizar una breve descripción del pastizal pampeano 2) describir los principales cambios experimentados en el paisaje y en su biodiversidad a partir de la transformación del pastizal pampeano en un agroecosistema domesticado y, en función de ello 3) presentar una serie de propuestas para la conservación del pastizal pampeano.



**Figura 1.** Los pastizales pampeanos y sus sub-regiones. Adaptado de Chaneton (2006).

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS PAMPAS.

El pastizal pampeano puede ser considerado como una vasta y continua planicie, en la que se alternan, a lo largo de grandes distancias, paisajes totalmente planos con otros de relieve ligeramente ondulado. Las mayores elevaciones, que muy raramente superan los 900 m, se localizan en el centro y sur de la provincia de Buenos Aires. En lo que respecta a su geología, la región presenta una gruesa capa de sedimentos loésicos y arcillosos sobre una estructura cristalina que se mantiene entre los 300 y los 5.000 m de profundidad, y que sólo emerge a la superficie en las estribaciones de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis por el oeste, o en las formaciones de las Sierras de Tandil y de la Ventana por el sur.

El clima es templado y con influencia moderadora del Océano Atlántico. Las precipitaciones oscilan en un gradiente que varía entre los 1100-1200 mm anuales en el NE hasta los 500-600 mm anuales en el SO). Si bien, en promedio, la marcha anual de las precipitaciones es bastante equilibrada y no se evidencian períodos de sequía muy marcados, las variaciones interanuales tanto en la cantidad como en la distribución de las precipitaciones a lo largo del año pueden llegar a ser considerables, de modo tal que con frecuencia se registran en una misma localidad períodos de exceso hídrico que se alternan con otros de déficit hídrico. Desde el punto de vista térmico, la región posee características mesotérmicas, con una temperatura media anual que oscila entre los 14°C en el sur y los 18°C en el norte. Hacia el oeste aumenta el grado de continentalidad, lo que se traduce en mayores rangos de amplitud térmica anual. Otro tanto sucede con los días al año con heladas, que varía entre los 125 días en el oeste y los 20 días en el este (Soriano *et al.*, 1992).

Los materiales madre de los suelos pampeanos abarcan por lo general materiales finos (arenas, loess, limos y arcillas), cuyo origen deriva principalmente de episodios de sequías y lluvias, y de las oscilaciones en el nivel del mar que se produjeron durante el Cuaternario. Las arenas y loess se redistribuyeron durante los períodos secos en mantos continuos o dieron lugar a formaciones medanosas, mientras que las fracciones más finas se depositaron en las áreas estuáricas, los valles y las depresiones. Los cambios climáticos provocaron luego variaciones en los recorridos de los cursos de agua, que generaron a su vez áreas de acumulación de materiales y que actuaron como centros de redistribución eólica (Ghersa y León 2001).

La naturaleza de los suelos suelen ser un reflejo del clima regional. En efecto, el clima húmedo y templado junto a la topografía llana conlleva a que los suelos sean poco o nada lixiviados, lo que, unido a la densa cobertura y alta productividad del estrato herbáceo, promueve el desarrollo de un grueso horizonte orgánico-mineral de gran fertilidad. En igual sentido ocurre que en el noreste de la región, donde se dan las mayores precipitaciones, los perfiles de los suelos están bien desarrollados y los horizontes bien marcados, mientras que en el suroeste -más árido- se dan las características opuestas. Otro tanto sucede con las variaciones regionales de temperatura, que influyen sobre la velocidad del proceso de mineralización y, consecuentemente, sobre el contenido de materia orgánica en el suelo, 2% en el norte contra 4-5% en el sur (INTA-SAGyP 1990).

Tal como se desprende de evidencias palinológicas y paleontológicas, los pastizales parecen haber sido el tipo de fisonomía predominante de la región pampeana al menos desde el período Cuaternario. La ausencia de árboles en las pampas ha llamado considerablemente la atención de los investigadores, ya que en otras regiones del mundo que cuentan con características climáticas y edáficas similares a las de la pampa lo habitual ha sido la presencia de bosques en lugar de pastizales. Entre las hipótesis que se han planteado para aproximar una respuesta a este fenómeno se incluyen la exclusión competitiva de los árboles por parte de

las plantas cespitosas, la irregularidad en las lluvias, la propagación de grandes incendios o la relativa juventud geomorfológica de la pampa, que no ha permitido aún el avance del bosque (Parodi, 1940). Al respecto, Ghersa *et al.* (2002) han analizado los cambios sucesionales en los agroecosistemas de la pampa ondulada y detectado en esta zona la invasión de unas 40 especies leñosas, entre las que sobresalen con mayor constancia la mora (*Morus alba*), la acacia negra (*Gleditsia triacanthos*) y el paraíso (*Melia azederach*). Estos autores consideran que existe en la actualidad una considerable presión de propágulos de especies leñosas en la región impulsada por la actividad humana, de modo tal que el proceso de invasión ha alcanzado un punto en el cual los pastizales pampeanos que se encuentran en los suelos mejor drenados de la Pampa Ondulada, tienen una buena probabilidad de desarrollar una sucesión con una trayectoria hacia la formación de bosques, y que éstos no retornarían a su condición original a menos que cuenten con cierto grado de intervención.

Las pampas presentan una biodiversidad distintiva, como dan cuenta de ello, por ejemplo, la gran riqueza de pastos, mamíferos y aves, que son algunos de los grupos de especies más extensamente estudiados. Diversas revisiones (Cabrera, 1971) permitieron contabilizar más de 500 especies de gramíneas diferentes en la región (incluyendo tanto especies nativas como naturalizadas), varias de las cuales son a su vez endémicas. De acuerdo con Burkart (1975) las pampas presentan una combinación de especies de gramíneas megatérmicas, que florecen en verano y otoño, con otras microtérmicas, que florecen en primavera. Este fenómeno da como resultado que las pampas adquieran diferentes aspectos a lo largo del año. En primavera prevalecen las especies de los géneros *Poa*, *Bromus*, *Stipa*, *Briza* y *Piptochaetium* entre otras, mientras que en verano las gramíneas dominantes pertenecen generalmente a los géneros *Paspalum*, *Panicum*, *Bothriochloa*, *Digitaria* y *Setaria* (Burkart, 1975). Otras familias de plantas bien representadas en la región son las compuestas o Asteraceae (con géneros como *Baccharis*, *Eupatorium* y *Vernonia*), las leguminosas o Fabaceae (*Adesmia*, *Trifolium*, *Vicia*), y las familias Cyperaceae, Solanaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Apiaceae, Verbenaceae y Malvaceae.

Cabrera (1976) describe el aspecto de la vegetación en las pampas como el de una estepa o una pseudo-estepa de gramíneas, en la que los pastos forman matas densas que se secan durante la estación seca o la estación fría, y las estructuras de renuevo quedan al nivel del suelo protegidas por los detritus de las mismas plantas. Entre estas especies de tipo graminiforme crecen plantas efímeras primaverales y arbustos que se elevan por sobre las matas de pastos. Gran parte de estas plantas presentan caracteres algo xerófilos (hojas estrechas, cobertura resinosa, etc.). En años con condiciones extremas tiende a aumentar la condición caducifolia, dándole a la comunidad un aspecto de estepa, que ofrece a su vez mayores chances para la ocurrencia de incendios (Soriano *et al.* 1992).

Entre los elementos más conspicuos que conforman la fauna de mamíferos de la región figuran el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), el zorro gris pampeano (*Dusicyon gymnocercus*), el gato del pajonal (*Lynchailurus pajeros*), el zorrino (*Conepatus chinga*), el hurón menor (*Galictis cuja*), el peludo (*Chaetophractus villosus*), la mulita pampeana (*Dasypus hybridus*), la vizcacha (*Lagostomus maximus*), el cuis pampeano (*Cavia aperea*) y numerosas especies de tuco-tucos (*Ctenomys* sp.) algunas de las cuales, como el tuco-tuco de los médanos (*Ctenomys australis*), son especies endémicas de la región. Varias de estas especies, como el venado de las pampas, del que apenas quedan menos de 2.000 ejemplares en Argentina, padecen serios riesgos de extinción en tanto que otras especies, como el puma (*Puma concolor*) y el guanaco (*Lama guanicoe*), que están relativamente bien representadas en otras ecorregiones, han sufrido importantes retracciones en su área de distribución en los pastizales pampeanos.

Entre las aves, algunas de las especies más emblemáticas de las pampas son el ñandú (*Rhea americana*), las perdices o inambúes (*Rynchotus rufescens* y *Nothura maculosa*), el chajá (*Chau-na torquata*), el tero (*Vanellus chilensis*), la lechucita de las vizcacheras (*Athene cunicularia*), el lechuzón (*Asio flammeus*), el chingolo común (*Zonotrichia capensis*), la cachirla común (*Anthus correndera*), la ratona aperdizada (*Cistothorus platensis*), el hornero (*Furnarius rufus*), el misto (*Sicalis luteola*), el carpintero campestre (*Colaptes campestris*) y la loica pampeana (*Sturnella defilippii*), entre muchas otras. Al igual que lo que ocurre entre los mamíferos, al menos unas 25 especies de aves que habitan en las pampas y campos se encuentran amenazadas, tanto a nivel global como regional. Entre ellas pueden mencionarse a la loica pampeana, la monjita dominicana (*Heteroxolmis dominicana*) el yetapá de collar (*Alecturus risora*), la cachirla dorada (*Anthus nattereri*), el tordo amarillo (*Xanthopsar flavus*) y varias especies de capuchinos del género *Sporophila*.

En función de las características geológicas, climáticas, edáficas y de vegetación descritas previamente, es posible distinguir en los pastizales pampeanos una serie de unidades o subregiones que se diferencian entre sí (León et al., 1984): 1) la Pampa Ondulada; 2) la Pampa Inundable o Deprimida; 3) La Pampa Austral, 4) la Pampa Interior o Pampa Arenosa, y 5) la Pampa Mesopotámica (Figura 1). Estas características le confieren a su vez a cada subregión diferentes esquemas de uso del suelo (Tabla 1): en la actualidad, mientras en las Pampas Ondulada, Austral e Interior predomina el uso del suelo para la agricultura, en la Pampa Mesopotámica y, sobre todo, en la Pampa Deprimida aun prevalece la cobertura del suelo por pastizales semi-naturales y el mayor el uso del suelo hacia la ganadería.

Unidad ecológica Años	---- % Cultivos ----			---- % Pastizales ----			---- % Pasturas ----		
	1960	1988	2002	1960	1988	2002	1960	1988	2002
Pampa Ondulada	36.5	44.1	57.6	29.7	27.8	24.1	22.9	19.9	12.5
Pampa Interior	38.3	42.4	52.1	24.3	17.6	15.9	25.2	20.6	15.9
Pampa Austral	35	39.9	44.6	51.6	36.8	35.1	3.7	14.8	14.3
Pampa Deprimida	13.6	10	12.9	70.9	60.5	68.1	4.6	10	9.8
Pampa Mesopotámica	18.1	15.8	26.5	52.2	53.4	45.2	3.1	8.5	5.5
Promedio General	29.5	31.3	39.3	42.8	34.7	32.6	11.8	15.3	12.5

Tabla 1. Cambios relativos de los principales usos de la tierra entre 1960 y 2002 en la Región Pampeana. Adaptado de Viglizzo et al. (2006).

## PRINCIPALES CAMBIOS EN EL PAISAJE PAMPEANO

La práctica de la actividad agropecuaria trae aparejada una serie de profundas transformaciones en el uso de la tierra, en la cual los ecosistemas naturales son remplazados por otros en donde aparecen cultivos, huertas, granjas, alambrados, aguadas y campos de pastoreo. Estas modificaciones afectan prácticamente todos los procesos que son estudiados por los ecólogos, desde el comportamiento de los individuos y la dinámica de las poblaciones hasta la composición y estructura de las comunidades y los flujos de materia y energía, y constituyen en la actualidad una de las principales fuentes de cambio global.

Análogamente a lo ocurrido en otras regiones dominadas por pastizales, la implantación de agroecosistemas en las pampas argentinas ha modificado sustancialmente su estructura y

su funcionamiento. Diversos estudios han descrito y analizado los cambios que han estado operando en el paisaje de la región Buena parte de la descripción de los primeros cambios provienen de los relatos de viajeros que llegaron a América del Sur durante la colonización española y portuguesa, y de los viajes realizados por investigadores y naturalistas que formaron parte de diversas expediciones científicas. En su diario de viaje realizado por estas tierras en 1833 a bordo del *Beagle*, Darwin ya señalaba que “...pocos lugares han sufrido cambios tan marcados, desde el año 1535, cuando los primeros colonizadores de La Pampa desembarcaron con setenta y dos caballos y yeguas. Las incontables manadas de caballos, vacas y ovejas no sólo han alterado el aspecto general de la vegetación, sino que casi han hecho desaparecer al guanaco, al venado y al ñandú.”

Para 1585, poco después de la segunda fundación de Buenos Aires por Juan de Garay, se contabilizaban cerca de 80 mil caballos salvajes en los alrededores de la ciudad. El propio Garay fue quien introdujo el ganado vacuno en las pampas en 1573, que rápidamente se tornó cimarrón y muy abundante. Aparentemente no había por entonces enemigos naturales (predadores o competidores) capaces de controlar el incremento de las poblaciones del ganado silvestre y cimarrón, y éste se convirtió en un importante recurso tanto para los indios como para los europeos. En 1609 se realiza en Buenos Aires la primera vaquería o caza de ganado, con el objetivo fundamental de explotar los cueros; ya para comienzos del siglo XVIII unos 75 mil cueros se exportaban anualmente desde el Río de la Plata. Los fuegos fueron una herramienta muy utilizada para manejar el ganado y los caballos, así como para mejorar las pasturas y “espantar a los indios” (Vervoorst 1967). Poco a poco los rodeos fueron remplazando a las vaquerías, y la instalación de saladeros de carne representó un importante avance en el aprovechamiento del ganado; al mismo tiempo que se fueron incorporando lentamente tecnologías como el balde volcador y las norias, con las que se procuraba garantizar la disponibilidad de agua a los animales.

Esta serie de procesos que operaron durante unos 300 años (entre fines del siglo XVI y hasta la primera mitad del siglo XIX) modificaron sustancialmente los ecosistemas que integraban por entonces el paisaje pampeano. Entre los cambios más significativos pueden enumerarse: 1) una reestructuración de las comunidades, con un aumento de la diversidad y reducción (y/o sustitución) de las especies dominantes generada por los incendios y el pastoreo, 2) una mayor homogeneización del paisaje, con pérdida de los límites ecotonaes, y 3) una invasión del pastizal de numerosas especies. Por un lado ingresaron leñosas como el caldén (*Prosopis caldenia*) y el chañar (*Geoffroea decorticans*) provenientes del monte, fenómeno que fue promovido por la dispersión de sus semillas durante los arrees por parte del ganado. A ello se le sumó el ingreso de otras especies como ombúes (*Phytolacca dioica*), ligustros (*Ligustrum lucidum*), palmeras (*Phoenix canariensis*), y posteriormente álamos (*Populus* spp.) y eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), que fueron plantados y diseminados en la región como montes peridomésticos y de sombra para el ganado. Esto fue rápidamente aprovechado por numerosas especies de aves como el hornero (*Furnarius rufus*), la cotorra (*Myiopsitta monachus*) y el zorzal (*Turdus rufiventris*), quienes a su vez funcionaron como agentes para la dispersión de semillas de muchas otras especies que contribuyeron a modificar la fisonomía del paisaje. Los flujos comerciales favorecieron además la dispersión tanto por viento como a través de los animales de numerosas malezas nativas y exóticas peridomésticas pertenecientes a los géneros *Bidens*, *Tagetes*, *Carduus*, *Cirsium*, *Cynara* y *Silybum*, entre otras.

Hacia la segunda mitad del siglo XIX, el tendido de los ferrocarriles junto con la “pacificación del territorio” y el arribo de una fuerte inmigración europea imprimieron una nueva serie de transformaciones en el uso y manejo del suelo y en la estructura y dinámica del

paisaje regional. Durante este período tiene lugar en Argentina lo que se dio en conocer como la “pampa agrícola cerealera” (Ghersa & León, 2001). Este proceso se inició en Santa Fe y se expandió desde allí hacia el resto de la pampa, aunque concentrándose fundamentalmente en la Pampa Ondulada.

Los adelantos incorporados para el manejo de los sistemas agropecuarios fueron expandidos por los colonos que comenzaron a establecerse en la región, incrementando la superficie de tierras agrícolas, que para 1875 representaban apenas unas 100 mil hectáreas a pasar cubrir alrededor de 10 millones de hectáreas en 1930 (Ghersa *et al.* 1998). Los cultivos más frecuentes eran el maíz, el trigo y el lino; los alfalfares eran implantados posteriormente al concluir el ciclo agrícola. Los implementos agrícolas más utilizados —mediante la tracción a sangre— eran el arado y las rastras; la utilización incorrecta de estas herramientas en suelos de textura gruesa y bajo contenido de materia orgánica derivó luego, particularmente en zonas semiáridas, en una generalizada erosión eólica. La comunidad del pastizal se empobreció sensiblemente, particularmente por la pérdida de las gramíneas perennes (Ghersa & León 2001).

También por esos años (décadas de 1880 y 1890) la empresa rural pampeana incorporó una serie de mejoras en los campos dedicados a la ganadería que se tradujeron en nuevos cambios para la estructura del paisaje, con la incorporación del cerco de alambre y el molino de viento (Hora, 2008). El cerco puso fin a la cría a campo abierto y favoreció el mejoramiento de las razas, aunque dio lugar, por un lado, al confinamiento del ganado en una superficie durante buena parte del año y al desarrollo del denominado “pastoreo continuo”, que ha causado el deterioro de los pastizales y de las propiedades de los suelos (Jacobo *et al.*, 2006) y, por otra parte, contribuyó a profundizar los límites y cambios de las comunidades naturales siguiendo ahora las divisiones geométricas de los potreros. Al mismo tiempo, el molino ayudó a resolver la falta de aguadas naturales pero alteró el patrón de pastoreo de los animales. Por su parte, el tendido de los ferrocarriles constituyó un nuevo factor adicional para la dispersión de especies exóticas, algunas de las cuales, como el gramón (*Cynodon dactylon*) o las enredaderas del género *Ipomoea*, se utilizaban para fijar los terraplenes, así como se siguieron extendiendo la plantación de pequeños montes de eucaliptos en torno a las estaciones del ferrocarril (Martínez- Ghersa & Ghersa, 2005).

El período que se inicia hacia finales de la Segunda Guerra Mundial marca una nueva etapa de transformación tecnológica de la agricultura caracterizada entre otros factores por 1) la introducción de cultivares resistentes a la acción de fitopatógenos y de híbridos de maíz que duplicaban la productividad de los materiales disponibles hasta entonces, 2) la aplicación de herbicidas como el 2-4 D que facilitaron la adopción de los nuevos cultivos, y 3) la instalación de empresas dedicadas a la producción de maquinaria agrícola, agroquímicos y de producción y comercialización de semillas. Esta serie de cambios, junto con la incorporación de nuevos cultivos, como el girasol, la cebada y el sorgo, determinaron una intensificación del uso del suelo y un aumento de la productividad. Al mismo tiempo, se crearon el Instituto de Suelos y Agrotecnia (ISA) y posteriormente el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que comenzaron a analizar y combatir los efectos de la erosión y a elaborar las primeras cartas de suelos, que fueron publicadas en la década de 1970.

A mediados de la década de 1970, la introducción del cultivo de soja en la Pampa Ondulada marca un cambio en los modelos de uso agropecuario adoptados hasta entonces, caracterizado por una paulatina disminución de la actividad ganadera en detrimento del doble cultivo trigo-soja. Entre los principales cambios estructurales y funcionales introducidos por este nuevo modelo productivo caben mencionar 1) el aumento de la intensidad de laboreo del suelo, 2) el incremento en el uso de plaguicidas y 3) la alteración de la distribución

temporal del área foliar. Como consecuencia de esta serie de cambios, las comunidades de malezas en los cultivos se reestructuran nuevamente, con un aumento en la proporción de dicotiledóneas herbáceas (Ghersa & León, 1999).

Si bien el crecimiento de la soja, tanto en superficie sembrada como en rendimiento, ha sido permanente desde su introducción, el cultivo de esta oleaginosa cobró un nuevo impulso en Argentina a partir de 1996, con el lanzamiento al mercado de variedades de soja transgénica (en particular de la soja RR resistente al herbicida glifosato) y su excelente asociación con la siembra directa, que redujo sensiblemente los problemas de erosión y permitió un mayor aprovechamiento del agua en el suelo (Satorre, 2005). Este proceso ha posicionado a la soja como el cultivo más sembrado de Argentina y al sistema de siembra directa como el más adoptado en la región pampeana: En efecto, actualmente se estima que el proceso de agriculturización ha elevado la superficie implantada en primera ocupación a cerca de 28 millones de hectáreas en las provincias argentinas que integran la región pampeana (INDEC, 2004), de los cuales la mitad de esa superficie corresponde exclusivamente al cultivo de soja, lo que ha dotado a este cultivo de un nivel de dominancia y homogenización del paisaje que no registra antecedentes en la historia de la agricultura argentina (Aizen *et al.*, 2009). A su vez, más del 75% del cultivo de soja de primera y el 85% de la soja de segunda, así como un alto porcentaje de otros cultivos, se realiza bajo la modalidad de siembra directa, por lo cual, si bien este sistema de cultivo redujo las tasas de erosión, también trajo como consecuencia una mayor pérdida de nutrientes del suelo, mayores riesgos de contaminación de napas por uso de fertilizantes y pesticidas, y de alteración del hábitat natural (Viglizzo *et al.*, 2011).

Otro de los resultados derivados del proceso de agriculturización de la región pampeana ha sido el reordenamiento territorial de la ganadería y la reducción de la superficie ganadera, particularmente de los campos de invernada. Este proceso ha impulsado, por un lado, una mayor intensificación de la ganadería, de modo tal que ahora el engorde es realizado con mayor frecuencia con algún tipo de suplemento. Otra consecuencia importante ha sido la concentración de la hacienda y el aumento de la carga animal en las áreas que quedan disponibles para la ganadería: pastizales naturales, montes, verdeos y pasturas implantadas, (Pruel *et al.*, 2005, 2006). En ciertos casos, este aumento en la carga animal no ha sido acompañado con medidas de manejo orientadas a incrementar la receptividad de dichas áreas, lo que estaría promoviendo la caída en los índices de preñez y destete (Rearte, 2007).

Al respecto, cabe señalar que durante la década de 2000 numerosos productores ganaderos de la Pampa Deprimida han adoptado un manejo basado en el rociado con glifosato de los campos a fines del verano. El propósito de esta práctica tiene como objetivo eliminar parte de la producción vegetal de los pastos en el verano para así promover la germinación y establecimiento de gramíneas anuales de estación fría (con síndrome fotosintético de tipo C3) y, de este modo, ofrecer mayor forraje para superar el llamado “bache invernal”. Si bien se ha registrado que la aplicación de glifosato a fines del verano efectivamente se traduce en un aumento posterior de la producción invernal, se ha detectado al mismo tiempo que esta práctica simplifica el sistema, reduce la riqueza específica de los pastizales y la cobertura basal de especies de alto valor forrajero (leguminosas, pastos perennes C3) y promueve en cambio el establecimiento de pastos rastreros como el gramón (*Cynodon dactylon*). Este proceso afecta además el banco de semillas del pastizal, generando en el mediano plazo un deterioro del recurso forrajero (Rodríguez & Jacobo, 2010).

Finalmente, otro de los cambios observables asociados a la sustitución de campos ganaderos por cultivos agrícolas ha sido la siembra de cultivos en las alambradas y banquinas de

caminos primarios y secundarios, lo que le resta conectividad a los parches con vegetación espontánea que aún se encuentran en la región (Szpeiner *et al.*, 2007)

En síntesis, la consolidación de la región pampeana en un agroecosistema domesticado caracterizado por un progresivo reemplazo de los pastizales por campos de cultivo (Tabla 1), sumado a una también creciente intensificación de la actividad agropecuaria y a la introducción intencional o accidental de numerosas especies de plantas (herbáceas y leñosas) y animales (vertebrados e invertebrados) y a la implementación de obras viales y de infraestructura, actividad cinegética, etc., trajeron aparejados una serie de cambios tanto para la estructura y el funcionamiento del pastizal pampeano como para su biodiversidad. En este punto conviene señalar que los efectos de estas transformaciones no son uniformes para todas las especies sino más bien diferenciales, de modo tal que las características particulares de cada especie (tamaño, hábitos alimentarios, habilidad dispersiva, etc.) determinan las escalas espaciales de sus respuestas, con las consecuentes repercusiones que este fenómeno tiene en determinar la estructura de la comunidad.

En tal sentido, y a modo de ejemplo, entre los cambios más significativos en biodiversidad registrados recientemente en estudios realizados por nuestro grupo de trabajo en el pastizal pampeano podemos señalar: 1) modificaciones sustanciales en la abundancia relativa de las especies que integran los ensamblajes de micromamíferos, con alta prevalencia de las especies del género *Calomys* (*C. laucha* y *C. musculinus*) en detrimento de especies propias de los pastizales (*Akodon azarae*, *Oxymycterus rufus*); 2) otro tanto ocurre en los ensamblajes de aves, donde la distribución de tres especialistas de pastizales anteriormente comunes como el Pico de plata (*Hymenops perspicillatus*), el Verdón (*Embernagra platensis*) y el Misto (*Pseudoleistes virescens*) parece haberse reducido sensiblemente en áreas de la Pampa Ondulada cubiertas por agricultura mientras que otras especies de aves granívoras asociadas a la agricultura como la Paloma de ala manchada (*Patagioenas maculosa*) presentan distribuciones en expansión y 3) una respuesta negativa de los venados de las pampas ante la presencia de ganado vacuno y chanchos cimarrones.

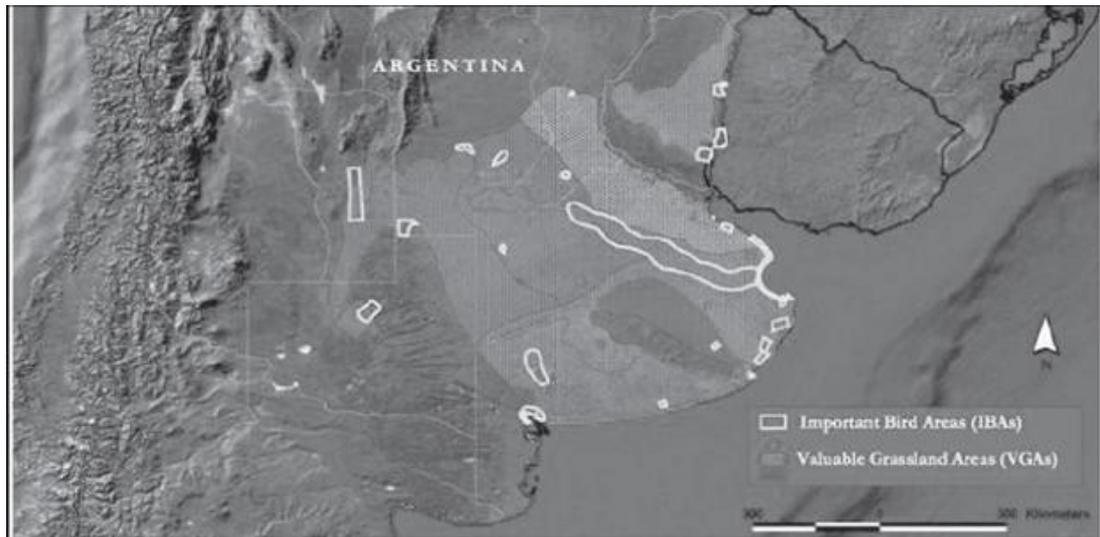
## PROPUESTAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL PASTIZAL PAMPEANO

Modelos elaborados para describir los posibles escenarios de distribución de la biodiversidad para los próximos cien años señalan a los pastizales como el tipo de ecosistema que experimentará globalmente la mayor proporción de cambio, como consecuencia de transformaciones en el uso de la tierra y del cambio climático, entre los principales factores involucrados (Sala *et al.*, 2000). Pese a ello, los pastizales templados constituyen uno de los biomas con menor nivel de protección a nivel global, ya que apenas un 5% de su superficie está incluido dentro de un sistema de áreas con algún estatus de protección, frente al 10-15% que señalan las recomendaciones internacionales en la materia (TGCI, 2012).

En los agroecosistemas de la región pampeana, tanto la producción de alimentos, fibras y biocombustibles como la conservación de la biodiversidad dependen de las mismas tierras. En los últimos años, se han desarrollado diversos marcos conceptuales que procuran atender los conflictos potenciales entre la producción, la conservación de la diversidad biológica y la provisión de servicios ambientales (Paruelo *et al.*, 2006). Por ejemplo, para resolver los casos de conflictos potenciales entre el uso ganadero de la tierra y la conservación de la biodiversidad, se han formulado soluciones segregativas, integradoras o mixtas que son adecuadas para distintas condiciones ecológicas, de acuerdo al efecto de la carga animal sobre

la diversidad vegetal.

En lo que se refiere a la resolución del conflicto ganadería-biodiversidad para la región pampeana, los antecedentes disponibles señalan una gran susceptibilidad de estos pastizales a la herbivoría, lo que sugiere la necesidad de implementar soluciones segregativas, aunque existen también algunos ejemplos de pastizales con manejos que han ofrecido mayores valores de diversidad con cargas moderadas (Isacch *et al.*, 2002, 2005), por lo que las soluciones integradoras o mixtas también serían factibles. Como de momento faltan conocimientos científicos y experiencia práctica para definir en muchos casos y de manera precisa el manejo requerido para las soluciones de tipo integradoras, una solución mixta, que reserva una parte del área para un manejo orientado exclusivamente a la conservación, sería una recomendación más segura en esta situación. En el caso que nos ocupa, cabe señalar que es altamente deseable que se establezcan nuevas áreas protegidas en la región pampeana ya que, de acuerdo con datos oficiales, la superficie cubierta por algún tipo de área protegida en los pastizales pampeanos apenas alcanza al  $\approx 1\%$ , cifra que está muy por debajo de las recomendaciones internacionales en la materia. Al respecto, los esfuerzos de identificación de áreas de interés para la conservación en la región Pampeana, como las Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) o las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs, Di Giacomo *et al.*, 2007), permiten ser optimistas, ya que se podría elevar el valor de la superficie protegida actual del 1% a un potencial que podría rondar entre el 4-10%.



**Figura 2.** Localización de las Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs o VGAs, Bilenca y Miñarro 2004) y de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs, o IBAs, Di Giacomo *et al.* 2007) identificadas para región pampeana. Fuente: extraído de Miñarro & Bilenca (2008).

Al mismo tiempo, no es menos cierto que en el contexto de profunda fragmentación del paisaje pampeano, tanto las áreas protegidas que ya estén creadas como las que puedan crearse en un futuro no pueden ser concebidas como unidades separadas de su entorno, ya que la evidencia indica que su aislamiento conducirá también inevitablemente a una pérdida de su biodiversidad. Vastas áreas originalmente naturales de la región pampeana ya han sido virtualmente transformadas en sistemas domesticados, conviene entonces pensar acerca de las opciones que tenemos hoy para llevar a cabo dicho proceso de domesticación de modo tal que la transformación de los paisajes y ecosistemas redunde en un bienestar humano en

equilibrio con su entorno. Algunas de las principales recomendaciones orientadas a la recuperación de la biodiversidad en los agroecosistemas donde originalmente se hallaba pastizal pampeano incluyen:

- *Restauración de pastizales*: diversos estudios señalan acerca de las buenas posibilidades de restaurar pastizales en zonas en las que éstos han sido alterados por efecto del pastoreo o por la sustitución por pasturas implantadas. Investigaciones realizadas tanto en la Pampa Deprimida como en la Pampa Ondulada han detectado que los pastizales que se han regenerado por sucesión secundaria a partir de pasturas implantadas envejecidas alcanzan en un lapso relativamente breve una estructura, diversidad y composición florística semejantes a la de la comunidad original.
- *Conservación y recuperación de corredores con vegetación espontánea*: los ambientes con vegetación espontánea que se desarrollan en las alambradas que rodean a los campos de cultivo, banquinas, terraplenes y márgenes de cursos de agua representan los elementos del paisaje que más se asemejan a los ambientes que existían originalmente, y conservan una función muy importante, ya que suelen actuar como corredores que conectan los fragmentos de pastizales y montes naturales que aun pudieran encontrarse en el paisaje. De esta manera, los corredores contribuyen a incrementar las tasas de desplazamientos de plantas y animales, y, con ello, a contrarrestar por medio de sucesivas recolonizaciones las extinciones locales que pudieran tener lugar en los fragmentos. Al mismo tiempo, los corredores proveen sitios de nidificación para ciertas aves y, al igual que los fragmentos, pueden funcionar como refugios para muchas especies que se dispersan desde los cultivos cuando tienen lugar perturbaciones, como las ocasionadas por las labores agrícolas. La biodiversidad presente en los ambientes con vegetación espontánea interactúa además fuertemente con los procesos productivos que tienen lugar en los agroecosistemas (Zaccagnini & Calamari 2001) como fuente tanto de insectos polinizadores como de aquellos que actúan en el control biológico de plagas y contribuyen así a incrementar la producción de muchos cultivos.
- *Pastoreo controlado sobre pastizales naturales y semi-naturales*: se trata de un tipo de manejo que consiste en la aplicación de disturbios, principalmente pastoreos con altas cargas instantáneas y, eventualmente, desmalezadas o quemas, seguidos por descansos de duración variable. Un aspecto central asociado a este manejo consiste en reconocer en el terreno las diferentes comunidades vegetales y apotrerar los campos en comunidades que sean relativamente homogéneas en lugar de utilizar un criterio de diseño puramente geométrico para la división de los potreros. En el manejo controlado, la intensidad y el momento de pastoreo, así como la duración del período de descanso, se determina según los objetivos perseguidos, ya sea que se trate de a) la recuperación del vigor de las plantas más palatables, mediante descansos; b) la modificación de la relación de selectividad entre las especies, al inducir el consumo de las plantas menos preferidas mediante pastoreos intensos; c) el sombreado de las especies rastreras durante los descansos; d) la floración y fructificación de especies que se

desean promover, mediante descansos en la época adecuada; o e) la promoción de la germinación y establecimiento de especies anuales, mediante pastoreos al comienzo del ciclo y descansos posteriores, entre otros. Los buenos resultados del sistema de manejo controlado realizados hasta ahora en la Pampa Deprimida permiten ser optimistas respecto a su capacidad de incrementar tanto la rentabilidad como los índices de producción de los establecimientos ganaderos bajo un esquema sustentable para el ecosistema, aunque resta de momento realizar estudios complementarios que analicen en forma más detallada la respuesta de la biodiversidad a los diferentes tipos de manejo (Jacobo *et al.*, 2006).

Por todo lo expuesto hasta aquí, puede concluirse que, aunque la situación de los pastizales pampeanos está seriamente comprometida, las acciones en pos de la conservación de estos pastizales están a nuestro alcance, por lo que este objetivo representa un verdadero desafío y requiere de una rápida respuesta de todos los actores involucrados.

## ENSAYO IX. 6

# La erosión del suelo como proceso condicionado por factores económicos y sociales

*René Benavidez*

Diversas ramas de la Geología estudian la erosión como proceso de evolución de rocas, del relieve superficial de la Tierra y principal agente en la formación o definición de los diferentes paisajes o geoformas existentes en la actualidad. Esta es una forma de la erosión y, naturalmente, se estudia y analiza en tanto proceso constructivo.

Pero la erosión que sigue a la ocupación por el hombre de las áreas emergidas y aprovechables es, por el contrario, un proceso destructivo en el sentido de que la primitiva configuración del paisaje ya establecida es la que se altera.

En este sentido se sostiene que el fenómeno es consecuencia de una inadecuada relación entre el hombre y el suelo. El usufructo que el hombre ha de obtener del suelo consiste en extraer la gran mayoría de los materiales que utiliza para su subsistencia y habitación. Y para hacerlo debe introducir cambios, algunos de los cuales son determinantes.

En primer término debe cambiar la cubierta superficial natural por otras especies menos adaptadas e igualmente menos protectoras. De otro modo los incrementos de volúmenes de productos extraíbles no resultan suficientes para los nuevos requerimientos. El equilibrio natural debe romperse y, en el mejor de los casos, podrá ser reemplazado por un nuevo equilibrio para el mantenimiento, o la preservación, de la potencialidad de los recursos en beneficio de generaciones futuras, que no necesariamente están distantes en el tiempo.

### **CONCENTRACIÓN EXCESIVA DE LA POBLACIÓN.**

Esta concentración se refiere tanto a las poblaciones urbanas como rurales. En tales condiciones la capacidad productiva potencial de cada región compatible con la estabilidad se ve afectada por la introducción de medios tecnológicos superiores. Áreas que por alguna circunstancia no podían utilizarse pueden quedar habilitadas con nuevos equipos de desmonte, por la valoración de los productos y de la tierra, consiguiente a una demanda superior y más sostenida. Sobrevienen la subdivisión y el ausentismo de los propietarios, a favor de una mayor ganancia sustentada en el trabajo de la agricultura industrial, nuevas tecnologías y en un grado superlativo de agresividad al medio natural.

El poblador que no abandona el campo es generalmente el que no puede hacerlo en razón de su edad, de su falta de capacitación para las tareas ciudadanas o de dificultades para obtener nuevos sitios de asentamiento. La relación del hombre y el suelo es inadecuada pero sustancialmente no puede ser reducida a un problema solo de enseñanza o de educación. Requiere igualmente la implementación de formas sociales de adaptación a un cambio civilizatorio que impacta de un modo aún sin respuesta al logro de formas de ocupación plena para la población campesina, como de bienes o beneficios para la no campesina

## COEXISTENCIA DE PREDIOS DEMASIADO CHICOS Y DE PREDIOS EXCESIVAMENTE EXTENSOS

Sin ninguna duda para los primeros la vinculación directa entre erosión y tamaño se asienta en la falta de alternativas con una solución viable del problema.

La incorporación de estos predios o estos propietarios al uso alternativo agrícola-ganadero, en vistas a una mayor superficie cubierta con praderas para proteger al suelo no es viable o bien no resulta rentable. Algo semejante ocurre con el uso forestal en reemplazo de cultivos anuales ya que no permiten alternancias más frecuentes, aún cuando ellas cubran y protejan el suelo y la rentabilidad empresarial comprometida. Tampoco es económicamente posible en el primer caso la adopción de técnicas como el uso de abonos verdes para recuperar fertilidad y mejorar la cubierta porque el lucro cesante lo haría irrealizable. Nuevamente puede verse que no se trata solo de un problema de educación. La educación sola no lo puede resolver.

En el extremo opuesto grandes extensiones de tierras de la mejor aptitud se encontraban a fines del 1900 dedicadas a la producción agrícola variada de alimentos, hoy inhallables, porque es compulsivamente desplazada por el monocultivo avasallante de la soja. Todos los mecanismos de producción y tecnificación son recursos usados para la generación de ganancias superlativas, y la consiguiente desaparición de producción, de productos y de productores así como de su tecnología y de su espacio en el campo. El cultivo de la oleaginosa tampoco satisface las expectativas de conservación de los suelos. Además de su condición de agotadora de reservas de nutrientes naturales y los efectos degradantes de propiedades físicas, como de erosión y compactación en niveles superficiales, no son razones ponderables —hay que creerlo— para renunciar a las elevadas rentas sojeras. Productores, tanto como propietarios-arrendatarios, hacen su opción y no dudan en sumarse a la despoblación del campo aún cuando no se trate de propietarios minifundistas. Esta agricultura de monocultivo que ha desplazado ganaderos de importantes rodeos, como también ha puesto en jaque a la producción e industrias tamberas, deberá bien pronto afrontar el proceso económico social de factores que no se generan en limitaciones de la calidad de los suelos, como tampoco en limitaciones climáticas. Simultáneamente el desmonte, sobre áreas poco menos que relictos, avanza al ritmo que la presión por nuevas tierras consigue desplazar aquellas que aún soportan una ganadería de monte, extensiva, de baja rentabilidad y escasa población humana. De ese modo nuevas tierras se incorporan al monocultivo cada año (como formas de uso del suelo). En suma, por los procedimientos que han sido descriptos más arriba, grandes áreas resultan sustraídas a la totalidad de los bienes de producción que la comunidad requiere y puede beneficiar.

Puede llegarse al extremo que las tierras que soportarían las más altas presiones de uso tienen paradójicamente el uso más conservacionista con los cultivos más protectores y producción solo para la exportación.

A todo lo anterior habría que agregar que regímenes de tenencia de las tierras, con diferentes formas de arriendo o aparcerías, o medierías que resultan fuertemente expoliadoras conducen a un mayor desequilibrio, por efectos de acortamiento de plazos de contrato e inestabilidad en el destino o uso futuro del suelo. Ningún programa de largo alcance tendiente a mantener o recuperar la productividad tiene reales posibilidad de éxito en tales condiciones. No hay medio interesado en el aspecto de la productividad de la tierra, una tierra por otra parte que se valoriza con el transcurso simple del tiempo, o con el progreso en bienes o servicios que la comunidad, en su conjunto, contribuye a adoptar en procura de una más alta calidad de vida.

Los precios de mercado de los productos del campo, y la parte que en su distribución alcance al productor, finalmente contribuyen sensiblemente al mayor desorden en el comportamiento de cada sector.

## **LA EROSIÓN HÍDRICA, DIFERENTES TIPOS Y ALGUNAS DE SUS CAUSAS**

Según sea el agente de transporte la erosión puede ser eólica cuando el transporte se hace por el viento e hídrica que sigue los movimientos del agua.

Por su aspecto macroscópico pueden distinguirse en la erosión hídrica tres formas: erosión generalizada o mantiforme, erosión en surcos cuando la acción del agua se concentra y forma vías cuya profundidad excede las dimensiones comunes de la labranza y erosión en zanjas cuando las dimensiones son varias veces la profundidad y el ancho de un surco de labranza.

La erosión provocada por la intervención humana se conoce también como erosión acelerada. Sus causas deben buscarse en el aumento de la presión de uso de las tierras, en el mantenimiento de la superficie descubierta o mal protegida durante períodos prolongados, o durante las épocas de mayores riesgos de daños por la lluvia.

Hay sin duda numerosos otros factores que contribuyen, entre los que deben mencionarse los diferentes grados de susceptibilidad o de resistencia del suelo, las variaciones en la acción de la lluvia según regiones climáticas, y según épocas o momentos del año, y la influencia de la pendiente de la superficie. La perniciosa acción humana puede así verse facilitada o potenciada por diversos mecanismos o por la conjunción de varios de ellos simultáneamente.

## **ZONAS DEL TERRITORIO NACIONAL CON PROBLEMAS DE EROSIÓN EÓLICA**

El territorio nacional dentro de sus 280 millones de hectáreas, comprende un 24% de áreas húmedas, un 15% de áreas semiáridas el 61% restante de áreas con problemas de aridez. Para esta última extensión, que es correspondiente a unas 170 millones de has., se presenta el problema de erosión por viento. Es la parte oeste del territorio nacional situada al oeste de la isohieta de los 500 mm anuales de precipitación. También el 15% de las tierras con condiciones de semiaridez presenta frecuentes problemas de voladuras por viento e igualmente también con cierta frecuencia problemas de erosión hídrica.

Al problema de la baja cantidad agua de lluvias en todo el año le sigue, como consecuencia, la poca disponibilidad de cobertura vegetal por insuficiente desarrollo de la vegetación nativa o de la cultivada, y la insuficiente incorporación de residuos orgánicos cuyo efecto estabilizador es ampliamente conocido.

La influencia perniciosa del desmonte indiscriminado, con el propósito de incorporar tierras a la agricultura de cosechas anuales, además de introducir cambios microclimáticos sensibles, facilita la acción de transporte por el viento del suelo superficial. O sea que cualquier programa de habilitación de tierras que modifique sustancialmente la cobertura vegetal natural puede resultar un factor altamente negativo, si no se toman paralelamente estrictas precauciones para evitar o controlar procesos degradativos, en particular para las áreas sujetas a vientos permanentes de cierta intensidad.

Sintéticamente podríamos decir que el hombre debe asignar a la tierra que trabaja cierta capacidad limitada de utilización, y que además dicha utilización debe tener en cuenta ciertas necesidades o requisitos que aseguren su persistencia.

## LA INTERVENCIÓN DE LOS PODERES PÚBLICOS EN LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN

La acción de los gobiernos, en nombre y representación de la sociedad, puede constituir la respuesta ante acciones privadas de los individuos que provoquen erosión de los suelos por falta de previsión, falta de información o carencia de los medios adecuados. Esta acción de los gobiernos puede ocurrir en el caso en que la protección de sitios o de extensiones expuestas requiera solo la protección y salvaguarda del paisaje, y también -y especialmente- cuando los intereses generales en el mantenimiento de los niveles de producción se encuentren comprometidos.

La acción de intervención -o más bien de control social- podrá tomar la forma involuntaria o inconsciente que se puede ejercer a través de las instituciones sociales, usos y costumbres, o bien puede traducirse en acciones conscientes y planeadas. Tales serían los casos de la difusión y el fomento, las acciones de apoyo técnico y también la apertura de líneas de crédito, la creación de fondos especiales de apoyo y de desgravaciones impositivas entre otras.

## LA UTILIZACIÓN DEL FUEGO

El fuego se ha utilizado, como un recurso técnico fundamentalmente con dos propósitos. En primer lugar cuando se trata de áreas de pastoreo que se quieren renovar. Con el uso del fuego el objetivo es quemar la materia seca o muerta de vegetación espontánea, y también el follaje seco o plantas muertas de algunas especies indispensables, para facilitar el rebrote tierno y vigoroso de las especies que son palatables como retoños. Es cierto que se trata de un recurso altamente peligroso porque una vez iniciado el incendio de un campo nada hace prever que puede detenerse en el punto y en el área deseada. La orientación del viento y la disponibilidad de materiales combustibles pueden gobernar el desarrollo de una catástrofe de proporciones.

También el fuego se ha utilizado para crear áreas abiertas, libres de monte y por lo tanto con la posibilidad del uso agrícola de la tierra. Por cierto se trata de una agricultura primitiva, itinerante, y de escasa extensión. Luego de unos años de uso como tierras de siembra los rendimientos han decaído lo suficiente como para hacer poco deseable la actividad. En ese momento se busca otro emplazamiento y se recomienza el ciclo.

En ninguno de los casos presentados la quema tiene los efectos benéficos propugnados. Existe sin embargo una liberación, más bien escasa, de nutrientes minerales macro y microelementos que quedan a disposición del ciclo cultural siguiente. Y esto a favor de buenas condiciones de humedad, es decir de lluvias favorables, puede inducir a la creencia en una mejora segura.

Paralelamente con ese mejorador, el suelo pierde cantidades considerables de un nutriente fundamental como es el nitrógeno, que todos los cultivos y la mayoría de las especies vegetales toman del suelo. Y este realmente no se recupera.

Igualmente se pierde toda la masa vegetal madura que aporta importantes constituyentes al suelo, los cuales mantienen la actividad de animales y otros vegetales que componen la Biología del medio. Todo ello introduce alteraciones profundas y de sentido irreversible. Pero su efecto muchas veces no es inmediato, o no se manifiesta negativamente de inmediato. Esa es quizás la principal causa de la confusión que hace creer en los efectos beneficiosos del fuego en la práctica agrícola.

## ENSAYO IX.7

# Manejo forestal sustentable de los bosques nativos

*Alejandro D. Brown*

Uno de los mayores anhelos de las ciencias forestales en los últimos años es el desarrollo de herramientas técnicas que permitan un manejo sustentable de las importantes masas de bosques nativos que aún existen a lo largo y ancho del país. Hoy, luego de los planes de ordenamiento de bosques nativos de todo la Argentina, realizado a instancias de la “ley nacional de presupuestos mínimos de protección de los bosques nativos”, nos permite visualizar que más de 25 millones de hectáreas están en la categoría “amarillo”, es decir cuyo destino principal es el manejo forestal o el mantenimiento de su cobertura forestal natural bajo sistemas silvopastoriles. Estos últimos son sistemas que permiten la coexistencia del dosel arbóreo con un rico y productivo estrato de especies gramíneas, aptas para la alimentación del ganado. Aún resta establecer el mecanismo adecuado que permita en estos sistemas silvopastoriles, la renovación del bosque a pesar de la carga ganadera, para que en definitiva estos sistemas no se transformen en un desmonte “encubierto” o en “cámara lenta”.

Sin duda la herramienta más poderosa para utilizar los recursos del bosque, sin que el mismo pierda su condición de tal es el “manejo forestal”, es decir la explotación de individuos seleccionados del bosque (tala selectiva), permitiendo la renovación natural o inducida (enriquecimiento) y el crecimiento de otros individuos que ocupan el espacio del que fue retirado, es decir que fue “liberado” de su condición previa de “suprimido” por la falta de luz y/o de espacio para el desarrollo radicular.

Sin embargo conceptos tan obvios no son los que se tienen en cuenta normalmente y el resultado lógico es la degradación generalizada, es decir la pérdida de estructura o de biomasa del bosque, a veces hasta niveles tales que será muy difícil lograr la recuperación natural del mismo y solo se podrá lograr a través de un costoso y largo período de “restauración”. Esta última consiste en plantar individuos de las especies más explotadas, realizar aperturas moderadas y periódicas para facilitar el ingreso de luz solar, liberarlo periódicamente de la profusión de lianas, especies arbustivas y herbáceas, que normalmente compiten por recursos (suelo, agua, luz) en las primeras etapas de crecimiento del pequeño árbol plantado.

Ahora volviendo al manejo forestal, o explotación sustentable del bosque, las causas por las que normalmente no se aplica son de índole económica. Requiere reducir los volúmenes de madera aprovechados de un espacio determinado y además reducir la tasa de extracción, es decir volver a los mismos sitios en períodos más espaciados de tiempo. Todo ello lleva sin duda a reducir la rentabilidad de corto plazo, pero nos asegura el mantenimiento del recurso, y por lo tanto de su rentabilidad por siempre. Además implica incorporar otros conceptos no utilizados comúnmente como es la planificación de la explotación, el diseño de caminos para reducir el impacto, la corta (tala) dirigida que permite hacer caer el árbol hacia el lugar que queremos disminuyendo el daño hacia otros árboles remanentes, etc. Es decir asegurar el “mínimo impacto” de la actividad para asegurar la máxima reposición en el menor tiempo posible.

Estas medidas dependen del tipo de bosque y fundamentalmente de las especies arbóreas presentes. En algunos bosques las especies maderables son heliófilas, es decir “amigas de la luz” y por lo tanto se ven favorecidas por las aperturas del dosel, que las libera y disparan su crecimiento. Otras en cambio, requieren de condiciones más “umbrías”, típicas del interior del bosque cerrado, cuya apertura las daña e incluso pueden fomentar su mortalidad. Estas diferentes “estrategias de vida” de las especies deben ser tenidas en cuenta, pero tratando al bosque como una unidad funcional.

En el caso particular de las Yungas (Eliano *et.al.*, 2009), que son selvas subtropicales de montaña que cubren las laderas húmedas de las montañas del noroeste de Argentina (unos 3 millones de hectáreas) y que continúan hacia el norte hasta Colombia y Venezuela, recién en estos últimos años se ha comenzado a discutir la forma sustentable de aprovecharlas forestalmente. Para ello hemos organizado desde la Fundación ProYungas, una serie de talleres con técnicos forestales de reparticiones públicas, ingenieros forestales de empresas e instituciones académicas, ambientalistas, biólogos especialistas en biodiversidad, dueños de propiedades forestales, para en principio recibir las distintas opiniones y puntos de vista. Luego con ello avanzamos en el diseño de criterios consensuados que permiten vincular el ideario conservacionista con la factibilidad económica del aprovechamiento forestal. Finalmente todas las ideas emergentes y consensuadas se consolidaron en un “Plan de Manejo Piloto” donde se volcó en la práctica todo lo discutido. La evaluación de la marcha de dicho plan llevará tiempo y dependerá que desarrollemos elementos (indicadores) sencillos pero válidos que nos permitan monitorear la evolución de los bosques intervenidos (rodales) al largo plazo, es decir a través de décadas.

Sin embargo, y más allá de los resultados que podamos obtener, todo este trabajo nos permitió identificar “criterios de sustentabilidad” adaptados a las Yungas que permiten a quien las explote reducir significativamente el impacto de la actividad sobre el bosque y asegurar de mejor manera, la persistencia de los bienes y servicios ambientales que brindan estas selvas, principalmente agua para riego del pedemonte regional, intensivamente dedicado a la actividad agrícola. Estos criterios se refieren a la extracción de madera en sí, reduciendo su impacto (censo y marcación de individuos a ser cosechados, apertura de caminos, corta dirigida); tratamientos silviculturales posteriores a la explotación (control de lianas, reducción de la cobertura del dosel, manejo del reclutamiento, selección de árboles semilleros, cierre de caminos); capacitaciones en el terreno tanto al personal técnico como al operativo (corta dirigidas, censo, marcación, inventarios forestales, seguridad e higiene, control de caza). Finalmente para que todo esto tenga sustento al largo plazo y cierto margen de seguridad de las premisas sobre las que se monta el plan de manejo, es necesario incrementar sustancialmente la información sobre el comportamiento silvicultural de las especies y del bosque en su conjunto como así también el impacto sobre la biodiversidad. Ello implica desarrollar un plan de investigación que empiece por la instalación de “parcelas permanentes” tanto en las áreas explotadas como en áreas “testigos” sin intervención. Estas parcelas que pueden ser de superficies variables, pero que en su interior la totalidad de los árboles están medidos, identificados y rotulados de tal manera que nos permiten determinar cambios en el tiempo como tasa de crecimiento, mortalidad, reclutamiento de nuevos individuos, etc.

La generación de estos planes de manejo es la única alternativa que tenemos para andar el camino de la sustentabilidad de la actividad forestal en los bosques nativos. Con ellos podremos demostrar que la actividad forestal es un aliado de la conservación de la biodiversidad de nuestros bosques. Sin ellos continuaremos –como hasta ahora– por el camino indeseado de la degradación, del empobrecimiento de los bosques, que no será otra cosa que la

antesala a la deforestación para incluir ahora sí una actividad rentable (la agroganadería por ejemplo) pero que implicará la pérdida irreversible del bosque y de los bienes y servicios que ellos generan.

## ENSAYO IX.8

# Especies forestales de crecimiento rápido con especial referencia a *Eucalyptus grandis* en la mesopotamia Argentina

*Jorge Luis Frangi*

En este ensayo nos referimos a características de la actividad forestal desarrollada en base a ecosistemas diseñados e implantados por el hombre que emplean especies arbóreas de crecimiento rápido, la mayoría introducidas, y donde el producto principal que se espera de ellos es madera y/o fibra para la producción de papel y afines. Nos interesa destacar, en especial, por qué están en expansión estas plantaciones, muchas veces instaladas en áreas que originalmente no estaban cubiertas por bosques nativos, de qué manera se realiza la selección de especies a plantar, qué cambios ambientales pueden asociarse a estas plantaciones, qué consecuencias pueden tener sobre el ambiente a distinta escala, y qué parece ser necesario tener en consideración para reducir las tendencias indeseables del impacto ambiental, si es que las plantaciones de crecimiento rápido continuarán siendo la manera de proveernos de madera y productos no madereros.

La superficie mundial con plantaciones de árboles de crecimiento rápido ha aumentado en respuesta al aumento de la demanda de madera y de sus productos y a la preservación de los bosques nativos. La presunción en relación a la conservación es que, si a través de estas plantaciones producimos un gran volumen de productos forestales por unidad de terreno, disminuirémos la presión sobre los bosques nativos y contribuiremos a su conservación. La realidad es que es mucho más fácil y económico manejar una plantación forestal de manera más o menos intensiva que manejar un bosque nativo, al menos en los trópicos y subtrópicos. Asimismo, en varios países del cono sur de América, las plantaciones forestales son impulsadas por los gobiernos mediante el apoyo de leyes de promoción forestal, que en general incluyen algunos criterios de ordenamiento territorial y manejo de las plantaciones, y exenciones tributarias a la tierra, financiación preferencial y subsidios. La implantación de forestaciones, por otra parte, conlleva otras cuestiones tales como el uso de tierras que puedan tener un mejor destino, o bien, que el efecto de las plantaciones sobre las tierras bajo ellas y sobre el paisaje circundante vean comprometidas algunas de sus cualidades. En el mundo, hay unos 20 millones de hectáreas plantadas con eucaliptos. En Argentina, los géneros con especies de crecimiento rápido más plantadas son los Pinos, que cubren cerca de un 60% de la superficie forestada de Argentina, y los Eucaliptos, con cerca de un 40%, completando el 100% las Salicáceas (álamos y sauces) y unas pocas otras especies. Las plantaciones de Eucaliptos en Argentina comprenden unas 330000 ha. La Mesopotamia es la principal región de cultivo con cerca de 27000 ha (Entre Ríos 120000, Corrientes 150000 y Misiones 25000 ha), y una tasa de plantación cercana a 20000 ha/año. En esta región el cultivo de eucaliptos se concentra sobre una faja paralela al río Uruguay sobre suelos arenosos profundos, mestizos y arcillosos, y también en suelos rojos profundos del noreste de Corrientes. La mayor proporción de tierras plantadas en la Mesopotamia corresponde a la especie

*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Esta es llamada *rose gum* en Australia y es una especie del grupo de los eucaliptos de corteza lisa. El género *Eucalyptus* tiene unas 800 especies y es casi exclusivo de Australia.

El incremento de las plantaciones en las últimas décadas imprime una fisonomía particular al paisaje, y comienzan a preocupar algunas probables consecuencias del dominio de estas plantaciones sobre los terrenos circundantes.

La producción forestal depende de recursos como energía y nutrientes (agua, elementos químicos solubles y gaseosos) muchos de los cuales son fijados en mayor proporción en la biomasa mientras que, en cambio el agua, es mayormente transpirada y devuelta al medio. Las especies de árboles poseen adaptaciones que les permiten crecer en ambientes diferentes y esas adaptaciones son parte de su historia evolutiva. El hombre es un actor principal en la dispersión de especies por el planeta, tanto de aquellas que traslada con fines productivos, ornamentales, compañía, placer u otro fin, como de un sin fin de polizones a los que después les denominamos con motes tales como invasoras, malezas y plagas, o bien cuando les encontramos un papel utilitario las reivindicamos como recursos o beneficiosas. Un paso elemental en la toma de decisión de que especies plantar en una zona dada, consiste en considerar las características climáticas y edáficas de los sitios de origen y de los sitios donde se pretende cultivar a las especies bajo análisis. Se buscan sitios que, por un lado tengan semejanzas climáticas es decir, con características homoclimáticas; por ejemplo, las tierras bajas subtropicales con un máximo de lluvias en verano pero bien distribuidas a lo largo del año, con heladas ausentes o solo ocasionales, son las condiciones más aptas para *E. grandis*, una especie habitualmente de referencia para esas condiciones. También suelos aptos que son aquellos donde el crecimiento es mayor y que para dicha especie en su zona de origen corresponde a suelos de moderada fertilidad, y que en la región mesopotámica ello ocurre en los suelos arenoso-mestizos. Es asimismo común, importar semilla de zonas fuera de su área de origen donde se ha estado cultivando a la especie de interés, y en las cuales pueden haber adquirido rasgos que mejoran la calidad y cantidad de su producción o se ajustan mejor a las condiciones del lugar de destino, variantes de la especie que son denominadas “procedencias”; en el caso mesopotámico fue la masiva difusión del uso de la semilla sudáfricana de *E. grandis* en la década de los 80s y 90s. Hoy la base genética de los Huertos Semilleros de *E. grandis* en Argentina corresponden a orígenes australianos. Por otra parte, distintas especies e híbridos son ensayados para verificar su respuesta local en cuanto a cualidades, producción, y rendimiento económico. El Ing Martín Marcó, del INTA Concordia, ha liderado muchos de éstos trabajos. El mejoramiento genético realizado por el hombre apunta en todos estos casos a mejorar distintos atributos bioquímicos, fisiológicos, anatómicos o morfológicos vinculados con la producción, propiedades deseables de la madera, y/u otros productos no madereros de los árboles. Por ejemplo, en la actualidad, el foco del programa de mejoramiento de eucaliptos en INTA está puesto en la selección de genotipos superiores para la producción de madera, destinada a usos sólidos, en rotaciones medias (12-15 años). Por otra parte los eucaliptos no han estado al margen del mejoramiento transgénico con fines de aumentar su resistencia a plagas y herbicidas, aunque todavía no parecen haber sido incorporados a la producción comercial.

Muchas especies arbóreas mejoradas muestran una mayor tolerancia a climas más severos que los sugeridos por aquellos de las áreas en que ocurre naturalmente; por ejemplo, *E. grandis* tolera sequías más severas que las que ocurren en su área de origen.

Algunas investigaciones realizadas en eucaliptos indican que no hay una asociación negativa entre crecimiento rápido y características tales como densidad de la madera, propiedad

de particular interés forestal cuando la madera tiene como destino usos sólidos y triturables. Congeniar crecimiento rápido con el mantenimiento de propiedades de la madera que hacen a su calidad (de los cuales la densidad es considerada su parámetro indicador más útil) resulta de suma importancia, y de ser eso posible, ello permitiría seleccionar genotipos superiores en atributos de crecimiento sin sacrificar calidad de madera. Sin embargo, vale la pena destacar, que algunas características vinculadas con el crecimiento rápido (mayor producción de madera, maderas más bien blandas y de baja densidad, menores defensas químicas que las hace más sensibles al ataque por diversos organismos, descomposición más rápida, menor longevidad) son de alguna manera rasgos selectivos opuestos a aquellos que apreciamos como contribuyentes a la “calidad”. Las características o propiedades (físicas, mecánicas, químicas, anatómicas y estéticas) de la madera de calidad, se vinculan con especies arbóreas más longevas; que corresponden a etapas intermedias y avanzadas de la sucesión en bosques nativos, las cuales tienen una menor velocidad de crecimiento, mejores defensas químicas – compuestos alelopáticos y antibióticos donde se destacan los terpenoides-, mayor densidad de la madera y suelen ser más tolerantes a la baja disponibilidad de luz. Consecuentemente, el destino de muchas maderas de crecimiento rápido está limitado en sus usos, o bien es necesario cierto procesamiento industrial donde los agregados químicos, y los procesos aplicados a la madera aserrada y las partículas de madera de distinto tamaño, permiten obtener productos de mejores y más homogéneas propiedades físicas, mecánicas, químicas y estéticas que la original, elevando artificialmente su calidad y ampliando los destinos de las mismas. No hay milagros, o la calidad la genera la naturaleza y eso lleva tiempo y energía; o el tiempo lo ahorramos agregando insumos valiosos que elevan la calidad original a costa del uso de recursos en general no renovables. En el caso de maderas de densidad intermedia a alta - preciosas para mueblería-, o alta a muy alta - muy duras con otros usos-, se las consigue de bosques nativos en etapas maduras de desarrollo, donde los ejemplares arbóreos maderables naturalmente no suelen abundar, y menos si ya han sido mal manejados, y se han transformado en bosques “descremados”, empobrecidos por la extracción de sus ejemplares más valiosos para el hombre, donde muchas veces solo es posible extraer maderas de menor diámetro para energía. En una paradoja curiosa de “oro y oropel”, el elevado valor que dan la escasez y nuestra alta apreciación de las maderas nobles de uso en mueblería y afines (“oro”), comienza a acercarse al alto costo de los productos industriales (“oropel”) como consecuencia de los procesos y recursos usados en convertir materias primas forestales de baja calidad en productos de mejor performance.

Por otra parte, en general las plantaciones tienen un mayor cociente biomasa aérea/ biomasa subterránea que los bosques nativos, y la cosecha comercial se vincula con partes aéreas de la planta, lo que aumenta la proporción de biomasa y su contenido de nutrientes minerales exportada en cada cosecha. Asimismo la concentración de nutrientes en la biomasa aérea es mayor en los tejidos de mayor tasa de renovación tales como, hojas, ramas, tallos jóvenes y tejidos de almacenamiento como la corteza. Debido a que los destinos industriales de la madera generalmente no requieren de rollizos de diámetro grande, se pueden utilizar árboles de corta edad. Como consecuencia, cuando el tiempo de cultivo (rotación o turno) es breve o corto, se cosechan árboles jóvenes en los que la proporción de elementos nutrientes por unidad de masa forestal cosechada es más alta, lo que implica que al término, por ejemplo de 100 años, de manejo forestal se hayan extraído más nutrientes de los suelos que en igual periodo con rotaciones largas. En silvicultura de plantaciones, las rotaciones están cercanas a los 10 años si son para fibra, para papel o cartón, y a veces la madera se obtiene de raleos (corta y extracción de árboles en pie en momentos interme-

dios de la rotación, para dejar un número adecuado de árboles vigorosos, de buena forma y sanidad, maderables al final del turno) de plantaciones de alta densidad inicial y de rotaciones más largas. Las rotaciones de las plantaciones forestales suelen ser de 15 a 50 años o similar si están destinadas a madera aserrada para la que se requieren troncos de mayor diámetro y largo. En la duración de la rotación no sólo influye el destino de la madera sino las condiciones ambientales donde se cultiva, que en general determina rotaciones inferiores a los 20 años en la Argentina húmeda templado cálida y subtropical, y más de 30-35 años en la zona templado fría continental cercana a la cordillera de los Andes. Si bien las plantaciones forestales no son bosques, es pertinente tener en cuenta las diferencias de crecimiento de los bosques nativos pues establecen una referencia respecto de las condiciones de cada zona del país para sustentar la productividad. Las zonas secas y áridas del subtrópico de Argentina son áreas de bajas tasas de crecimiento de especies nativas; y en el extremo austral fueguino, húmedo pero frío, las rotaciones de los bosques de lenga nativos pueden estimarse entre 80 y 100 años. Las bajas temperaturas, y la disponibilidad de agua y nutrientes suelen ser las principales limitantes para el crecimiento y producción. No es casual entonces observar que la zona mesopotámica conforma el núcleo forestal que más se desarrolló hasta la fecha. Asimismo estas particularidades son de interés ambiental ya que las plantaciones monoespecíficas de especies exóticas que reemplazan a la vegetación nativa, pueden generar diversos efectos adversos. Por ejemplo, el descenso de la napa freática (por aumento de la evapotranspiración), cambios en el escurrimiento superficial (debidos a cambios en los suelos y su cubierta), reducción de la disponibilidad de nutrientes (por absorción de nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, la exportación con la preparación del terreno, la cosecha sin reposición y el tratamiento de los residuos de cosecha), la pérdida de biodiversidad al convertir el uso de la tierra y, en ciertos casos la posibilidad de que las especies introducidas e implantadas puedan naturalizarse y expandirse territorialmente en forma espontánea, sin intervención humana. Estos efectos negativos pueden variar según las características de los sitios. Cuando los suelos son frágiles como aquellos de textura arenosa dominante, su manejo debe ser muy cuidadoso. A mi juicio la mayor componente que exacerba los problemas ambientales, son las equívocas decisiones de manejo en alguna etapa del ciclo forestal, como consecuencia ineludible de priorizar beneficios económicos. Sin embargo, hay que tener cuidado con las generalizaciones respecto del efecto de las plantaciones de crecimiento rápido, ya que en ciertos contextos ambientales, como ocurre en Colombia, suelen convertirse en nodrizas debajo de las cuales, en áreas deforestadas puede recuperarse el bosque nativo a cuyas especies ampara, sin causar cambios notorios sobre el balance del agua de esas zonas lluviosas.

A pesar de esos comentarios hay que tener en cuenta que los sistemas de producción de monocultivo, sean granos, forestales u otros, son sistemas altamente simplificados y de ciclo de la materia muy abierto, ya que el destinatario de la mayoría de la producción neta es una única especie ajena al sitio: el hombre. En esto se encuentra la raíz del problema ambiental en la producción agropecuaria y forestal, en crear y trabajar con sistemas que tienen características sucesionales tempranas e intermedias, de elevada producción neta pero intrínsecamente muy inestables, donde la persistencia del agroecosistema se logra agregando sustancias y realizando tareas que reemplazan muchos de los roles que en los ecosistemas espontáneos se cumplen mediante la biodiversidad. Asimismo, si a estos conceptos adicionamos tener en cuenta la conocida fórmula de Jenny [Propiedades del suelo = f (clima, biota, roca madre, relieve, tiempo)] podemos entrever que el cambio en los suelos es casi inevitable cuando se destina la tierra a otros usos, se emplean organismos de producción biológica

y ecológica distintas a la preexistente, y el hombre y su cultura conducen el diseño de los ecosistemas para su beneficio exclusivo.

Las plantaciones de eucaliptos, en especial de *E. grandis*, resulta de interés regional, ya que la superficie implantada se ha extendido notoriamente en las últimas décadas no solo en la Mesopotamia argentina, sino en el Uruguay y el Brasil. Ello ha motivado numerosos estudios vinculados a su producción en distintos suelos y a los efectos ambientales de los eucaliptos. Brevemente, y como producto de los hallazgos de investigadores de estos tres países, se puede destacar que las plantaciones de *E. grandis* afectan al balance de agua y a los suelos, y tienen un gran potencial de impactar en los paisajes en que ocurre, en especial si su superficie relativa en las cuencas alcanza proporciones elevadas; a ello es de agregar la evidente reducción de la diversidad de plantas superiores, que son muy escasas en el sotobosque, y que algunos autores adjudican a efectos alelopáticos, aunque estudios efectuados en Uruguay, muestran que la germinación y crecimiento de pastos y leguminosas no se vio afectada en suelos de forestaciones de eucaliptos, lo que sugiere que otros factores están involucrados en la escasa presencia de plantas de bajo porte. Las plantaciones de eucaliptos ya a los 2 años de edad evapotranspiran de manera similar a vegetación espontánea reemplazada, y a partir de los cuatro años la duplican. De esas pérdidas la mayor fracción corresponde a la transpiración, pero tanto la intercepción por las copas de los árboles como por el mantillo del suelo representan significativas vías de pérdida gaseosa de agua; como resultado, la precipitación efectiva es claramente menor que la precipitación bruta -medida en pluviómetro a cielo abierto-, el escurrimiento superficial y la percolación profunda son menores, lo que reduce la contribución a los ejes de drenaje superficiales y al nivel freático.

Un aumento desmedido de la superficie productiva forestal en cuencas donde normalmente dominan pastos, puede afectar la producción de energía hidroeléctrica o el embalsado de aguas para la producción agropecuaria, debido al descenso del caudal de los ríos, intensificar las condiciones de sequía, y reducir las superficies ocupadas por pantanos naturales. Estudios comparados en cuencas de 70 a 100 hectáreas de superficie, en Uruguay, mostraron en la cuenca forestada con *E. grandis* una reducción del 64% del escurrimiento de cuencas no forestadas. Por otra parte, el consumo de agua mediante transpiración está directamente vinculado con la producción vegetal, eso explica por qué las forestaciones con eucaliptos para producir 4-5 veces más que un pastizal en la misma zona, transpiran cerca del doble; lo que al mismo tiempo señala que su consumo de agua por unidad de materia seca producida (eficiencia de uso del agua) es mayor que la del pastizal. Los eucaliptos son muy eficientes en el uso del agua (por ej, en Brasil, hasta 3 l l Kg agua/kg madera), y esa eficiencia de uso del agua aumenta con el incremento de las precipitaciones. Sin embargo, el consumo de agua de los eucaliptos es elevado, y la fracción de las precipitaciones que es utilizada por la plantación y perdida en forma gaseosa (evapotranspiración) aumenta al reducirse las precipitaciones, lo que implica que la fracción de la lluvia que constituye el agua líquida remanente (rendimiento de agua) que puede escurrir y/o percolar profundamente en el terreno, es menor en periodos secos. Las plantaciones de *E. grandis* en la zona de Concordia no parecen depender del agua freática y por ende es una especie que depende principalmente del agua provista por las precipitaciones al suelo y subsuelo; consecuentemente en años muy secos la producción forestal se reduce en forma notoria. Los eucaliptos han desarrollado dos mecanismos principales de resistencia a la sequía que retardan la deshidratación, manteniendo la turgencia y el volumen celular. Una de ellas es la exhibida por *E. grandis*, que lo hace mediante el control estomático, el cual le permite reducir las pérdidas de agua cuando la demanda atmosférica es excesivamente alta, aun habiendo cierto con-

tenido de agua en el suelo, y un potencial hídrico foliar bajo (-3.3MPa), que le otorga gran capacidad de retener agua en la planta y sacar agua del suelo.

En relación al impacto en los suelos, diversos estudios muestran un conjunto de cambios edáficos al convertir la tierra de la vegetación espontánea de pastizales arbolados y boscosos originales, al uso para plantación forestal. Ha sido destacada la reducción de materia orgánica del suelo (MOS), del Nitrógeno total, la pérdida notoria de Calcio intercambiable, el descenso del pH en cerca de una unidad (en especial entre los 5-35 cm de profundidad), en suelos de por sí moderadamente ácidos, y el aumento de las fracciones intercambiables de Fe y Al. Asimismo se ha verificado un cambio notorio de la calidad de la MOS evidenciado en el aumento de la relación C/N, cosa que indica la tendencia a un empobrecimiento en N. Esto es consecuencia del cambio de la vegetación, proveedora principal de materia orgánica inicialmente provista por el pastizal, especialmente a partir de sus raíces, que en los primeros tiempos es un legado de importancia para la primera rotación forestal; posteriormente el mantillo forestal, de mayor C/N y menor tasa de descomposición, va reemplazando a la MO originada en el pastizal incrementando su aporte al suelo mineral y contribuyendo a cambios en estos horizontes, no solo en cuestiones que afectan la nutrición sino también en la formación de materia orgánica hidrófoba que reduce la cantidad de agua correspondiente a la capacidad de campo. Algunas de las consecuencias microbiológicas de esto, al cabo de 10-11 años de plantación, son un aumento de la inmovilización de N a nivel del mantillo, y una reducción de la actividad microbiana descomponedora, nitrificadora y mineralizadora en los horizontes minerales. Asimismo los eucaliptos responden a esta baja disponibilidad de N, y en otros casos insuficiente también de P, con la captura de N y a veces también de P, por vía foliar en las copas. En la zona de Concordia el aporte de N por las precipitaciones es bajo, lo que indica una atmósfera no contaminada; ese aporte, es también bajo en relación a los requerimientos de la plantación y a los aportes al suelo a partir de la descomposición de la necromasa. Algunas observaciones de terreno, sugieren que hacia el final de la rotación, en especial si ésta es larga, algunas raíces finas podrían llegar a ocupar la base del horizonte O más fraccionado, descompuesto y húmedo, y, con ayuda de micorrizas, establecer cierto bypass nutritivo directamente desde el mantillo hacia las raíces. En relación al agua del suelo, estudios realizados en Uruguay y Entre Ríos muestran que los perfiles de suelos bajo las plantaciones suelen presentarse más secos que bajo los pastizales adyacentes, aunque la distribución de agua varía en los horizontes, lo que se ha explicado en base a la mayor demanda, principalmente estival, de la forestación por un lado y a la menor retención de agua en los horizontes minerales debida a los abundancia y propiedades de la MOS aportada por los eucaliptos.

Muchos de los cambios observados en los suelos son atribuidos a la plantación misma, relacionado esencialmente a los requerimientos fisiológicos de agua y nutrientes de las plantas en crecimiento. Sin embargo, algunos estudios preliminares recientes realizados por nosotros en el LISEA, muestran que la mayor parte de los cambios acontecidos en el suelo se producen tempranamente durante la fase de preparación del terreno (que en este caso se puede considerar que fue de intensidad intermedia) y primeros años después de la plantación, durante los cuales no solo puede deberse al crecimiento de las plantas sino a procesos erosivos y de lixiviación del suelo. También vimos que la absorción de la plantación en crecimiento explica solo una fracción menor de los nutrientes perdidos anualmente, lo que indica que otros efectos indirectos estarían involucrados en esas pérdidas en suelos arenosos con escaso poder tampón; y que la duración de la rotación, el tipo de cosecha (árbol completo, fuste con corteza, fuste sin corteza) y el tratamiento de los residuos de cosecha (quema o no quema, por ejemplo) previo al turno siguiente, son periodos cruciales

para medir el impacto de la actividad forestal. Asimismo, debe destacarse que el costo de reposición nutritiva en los suelos puede hacer inviable su restauración y la continuidad de la actividad. Más aún, la persistencia de las condiciones de deterioro del suelo pueden, ante posibles cambios en el uso de la tierra, ser un escollo para destinar la tierra a otros fines.

En términos de búsqueda de soluciones a las dificultades planteadas, que son una especie de mal casi invisible que avanza y se expande territorialmente conjuntamente con la extensión de la actividad silvícola, un enfoque integral del tema, además de abordar las cuestiones de manejo esbozadas en el párrafo anterior en cada tipo de suelos y distintos paisajes, debería avanzar en la búsqueda de clones, especies, procedencias e híbridos que sean más eficientes en el uso del agua y los nutrientes, de buscar la asociación con especies herbáceas y forestales que puedan contribuir al aporte de nutrientes y a cambiar la dinámica de ellos en el suelo, por ejemplo del nitrógeno, como también a prever y si es posible evitar el agregado de fertilización sintética que pueda intensificar la acidificación y pérdida de bases, lo que llevaría a mayores intervenciones futuras sobre los suelos. A éstas y otras cuestiones ambientales a considerar deben sumarse la consideración de las consecuencias sociales y económicas de la actividad forestal, encausándolas hacia efectos positivos. Cada día es más necesario el uso de buenas prácticas de manejo, aplicables desde el inicio del proceso forestal y no como remedios o paliativos al “final del tubo” si se pretende satisfacer las exigencias de los mercados respecto de certificación forestal, que requiere de garantías de producción ambientalmente sustentables y, por sobre todo ello contribuir genuinamente en beneficio de ciudadanos y países de la región.



**Figura 1.** Plantaciones de *Eucalyptus grandis* en Concordia, provincia de Entre Ríos. Arriba izquierda, plantación de 3 años de edad. Arriba derecha, plantación al turno, cerca de 14 años, y adelante el pastizal reemplazado por la plantación. Abajo, interior de una plantación de 12 años, sobre suelo arenoso mestizo, donde puede verse el mantillo forestal y notarse la casi total ausencia de hierbas y arbustos espontáneos.

## ENSAYO IX.9

# Cambios de uso de la tierra en los humedales del Bajo delta del Paraná

*Darío Ceballos, Manuel García Cortés y Mariana Campos*

### ¿QUÉ SON LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDALES?

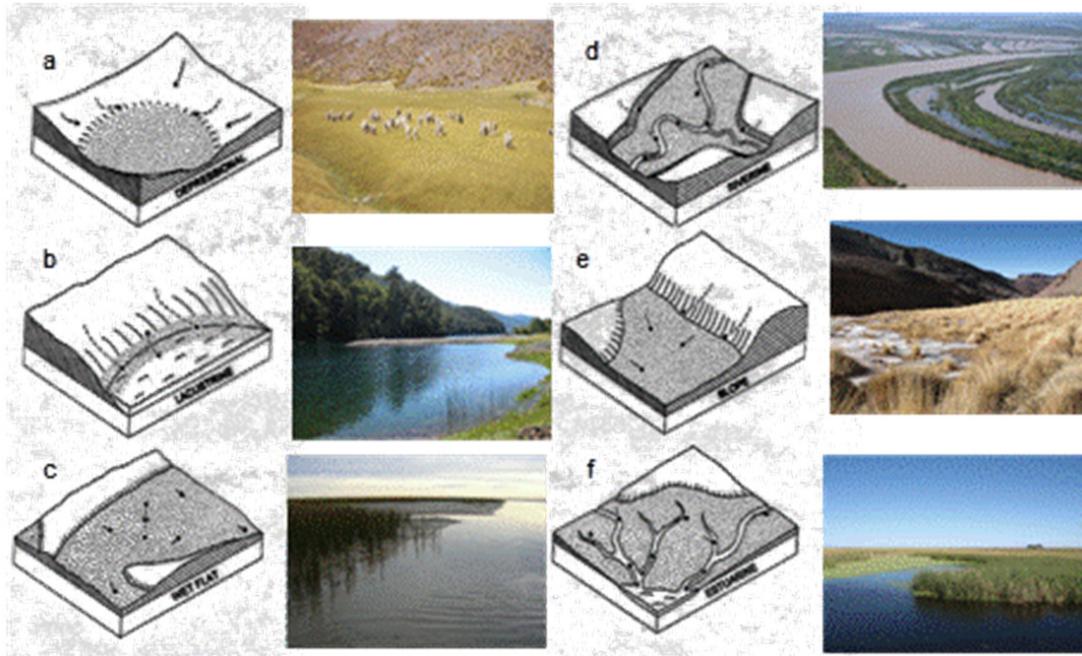
Los humedales son sistemas ecológicos que ocupan grandes extensiones geográficas y presentan gran variedad de condiciones hidrológicas. En general están situados entre ecosistemas terrestres y ecosistemas acuáticos pero poseen características estructurales y funcionales particulares. Según Maltby & Acreman (2011), los humedales se destacan por tres características:

- ✓ La presencia y dinámica predominante del agua sobre la superficie del suelo o dentro de la zona de crecimiento de las raíces.
- ✓ Condiciones edáficas (suelo o sedimentos) que difieren de los ecosistemas adyacentes (terrestres o acuáticos).
- ✓ Organismos vegetales y animales específicamente adaptados a condiciones húmedas permanentes o estacionales.

Donde la hidrología comanda todos los procesos de génesis y evolución, en este sentido, la saturación con agua permanente o semipermanente determina el desarrollo de suelos hídricos con condiciones predominantemente anaeróbicas y con organismos adaptados a estas condiciones.

### ¿QUÉ TIPOS DE HUMEDALES EXISTEN?

Existen distintas clases de humedales, de agua dulce o salada, con vegetación arbórea y/o con pastizales, con diferentes regímenes de inundación, entre otros atributos. Esto da lugar a la existencia de variadas clasificaciones de humedales, desde las más simples (Keddy, 2010) donde se utilizan como criterios de clasificación características generales de la hidrología y del tipo de vegetación, hasta las más complejas y específicas (Brinson, 1995) donde se incorporan otros criterios como: régimen de inundación, nivel de abastecimiento de nutrientes, entre otros. En particular, la clasificación de Brinson considera tres características indispensables para el funcionamiento y estudio de los humedales: 1) la fuente de agua (precipitaciones y flujos horizontales, superficiales, subsuperficiales y verticales hacia y desde el agua subterránea), 2) hidrodinámica (dirección y energía del agua en movimiento dentro del humedal) y 3) el emplazamiento geomorfológico (posición topográfica del humedal en el paisaje que lo rodea) (Figura 1). La alteración de alguna de estas características afecta las funciones ecológicas y por lo tanto a los servicios ecosistémicos que proveen estos ecosistemas.



**Figura 1.** Clases de humedales en función de su emplazamiento geomórfico según Brinson (1995). Las fotos ejemplifican humedales de la Argentina. a) Depresión (foto: mallín, Prov. de Chubut); b) Franja lacustre (foto: borde de lago, Prov. de Neuquen); c) Planicie (foto: planicies internas, Prov. de Bs.As.); d) Fluviales (foto: planicie de inundación del Río Paraná, Prov. de Entre Ríos.); e) De pendiente (foto: camino a Laguna Brava, Prov. de La Rioja); f) Franjas mareales (foto: marisma en Bahía Blanca, Prov. de Bs.As.). Fuente: Kandus et al., 2011).

## EL DELTA DEL PARANÁ: MACROMOSAICO DE HUMEDALES Y PROVEEDOR DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El delta del Río Paraná puede ser considerado como un vasto macromosaico de humedales, compuesto por una variedad de unidades internas con características particulares las cuales se encuentran subordinadas por el régimen hidrológico de la región en su conjunto (Kandus, 1997). Estos humedales son considerados el segundo ecosistema con mayor provisión de servicios ecosistémicos de Argentina, abarcando aproximadamente 17000 km<sup>2</sup> a lo largo de los últimos 300 kilómetros del recorrido del Río Paraná (Figura 2) conectando latitudes tropicales con zonas templadas, confluyendo junto al Río Uruguay, en el Río de La Plata y su estuario. En este marco, el Delta constituye una extensa planicie inundable con características ecológicas únicas y complejas (Viglizzo & Jobbágy, 2010). Entre los servicios ecosistémicos que ofrecen estos humedales se encuentran aquellos de importancia local como lo es la provisión de madera y de pastizales para su uso ganadero, hasta aquellos de importancia global como lo es la regulación climática a partir del secuestro de carbono.

## CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LOS HUMEDALES DEL BAJO DELTA

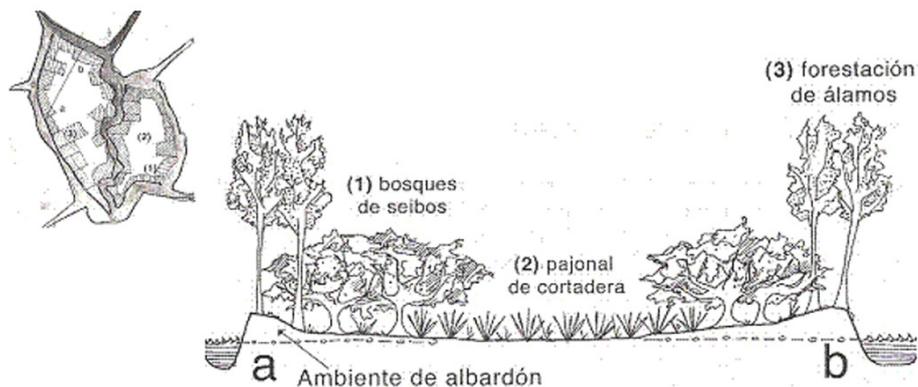
El Bajo Delta del Paraná es el área constituida por la porción terminal del Delta (Figura 2), incluyendo casi en su totalidad al delta bonaerense y abarcando todo el frente de avance (límite inferior del delta entre el Río Paraná y el Río Uruguay en contacto con el estuario

del Río de la Plata). Dentro de esta área se localiza la localmente denominada “zona núcleo forestal” donde se concentra el 93 % de las plantaciones de álamos de la región, definiendo un paisaje con alto grado de intervención humana producto de la construcción de diques y canales asociados a estas forestaciones.



**Figura 2.** Regiones geomorfológicas del Delta del Paraná según Bonfils (1962) y plantaciones forestales (DPF MINAGRI, 2011). Obsérvese que en el Bajo Delta se ubica la mayor superficie forestal implantada sobre estos ecosistemas.

El 80 % de las islas que conforman el Bajo Delta (donde la unidad de vegetación son los “Pajonales y bosques del Bajo Delta”, según Malvárez, 1997) son ambientes bajos e inundados (bañados), cuya comunidad vegetal más representativa son los pastizales de *Scirpus giganteus* (forma pajonales) y *Schoenoplectus californicus* (forma juncales). El 20% restante son ambientes más elevados (albardones), que ocupan zonas perimetrales de las islas (también existen albardones internos) con suelos que permanecen menos tiempo inundados, dando como resultado el desarrollo de bosques ribereños (Figura 3).



**Figura 3.** Transecta (a-b) y perfil de isla de la unidad de vegetación “Pajonales y bosques del Bajo Delta” Fuente: Malvárez (1997).

Desde el punto de vista hidrológico, esta unidad es influenciada por las crecientes estacionales del río Paraná así como las mareas del río de la Plata, aunque los efectos de éstas en forma de flujos horizontales superficiales se presentan sumamente amortiguadas y con altas dinámicas.

A nivel de suelos, si bien la información de la región es escasa, en todas las unidades de paisaje del delta es común la presencia de suelos aluviales jóvenes con escaso grado de desarrollo pedogenético y rasgos hidromórficos intensos, condiciones reductoras y déficit de oxígeno libre, pertenecientes mayoritariamente al orden de los entisoles. Específicamente en el Bajo Delta, estos suelos tienen escaso desarrollo de estructura, abundante carbono en los estratos superficiales y la presencia de una capa subsuperficial de arcillas montmorillonitas que en campos drenados con bajo contenido hídrico del suelo dificulta el desarrollo radicular (resistencia a la penetración > 2.5 MPa).

## **MANEJO DE AGUA Y SISTEMAS FORESTALES DEL BAJO DELTA**

Actualmente en el Delta del Paraná existen 83370 ha forestadas con sauces y álamos (DPF MINAGRI, 2011), estas últimas en producciones exclusivamente forestales o asociados con ganadería de cría (sistemas silvopastoriles).

Debido a las condiciones de anegamiento o inundabilidad que caracterizan a estos humedales, las forestaciones se instalan en suelos drenados (a partir de zanjas y canales) y dentro de algún sistema protegido de crecientes e inundaciones; en este sentido existen sistemas con mínimo manejo del agua (solo zanjas de egreso/ingreso de agua) en los denominados sistemas abiertos; hasta aquellos con manejo total del agua en los sistemas endicados, donde las zanjas y canales se complementan con terraplenes (1,5-4,5 m respecto al cero Mareógrafo del riachuelo) impidiendo el ingreso de agua de crecientes e inundaciones (Figura 4). El manejo del agua en estos sistemas se realiza mediante la utilización de bombas que facilitan el egreso e ingreso de agua posterior al momento del drenaje inicial. También existe un nivel de manejo intermedio en los sistemas con atajarepuntos donde se construyen terraplenes de pequeña envergadura (1 m sobre el Cero del Riachuelo) que impiden el ingreso de agua de mareas y sudestadas pero no el de crecientes del río. Tanto en este último sistema como en los sistemas abiertos se instalan forestaciones de sauce para la producción de madera. En el caso de las plantaciones de álamos, estas se establecen principalmente en sistemas endicados debido a su menor tolerancia a sitios saturados con agua respecto al sauce. Cabe destacar que a pesar de que estos últimos sistemas modifican por completo la hidrología de los humedales, los mismos fueron fundamentales para el desarrollo de la zona núcleo forestal y para el sostén de los pobladores y productores de la isla en el Bajo Delta.

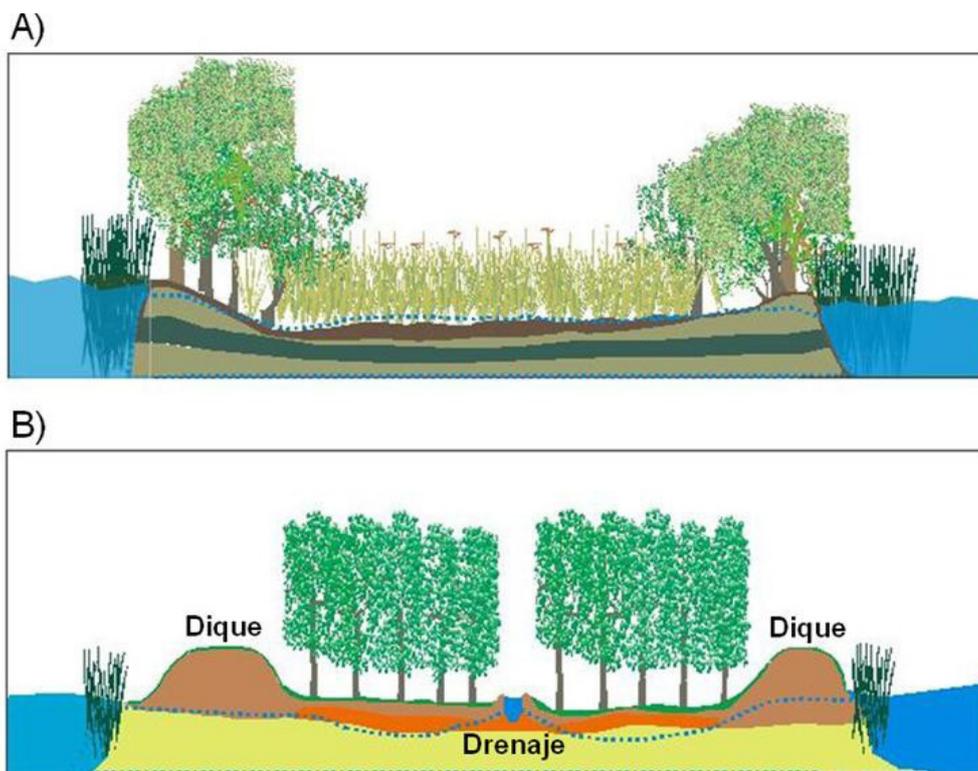


Figura 4. Humedal A) en condición natural y B) con suelos drenados y protegido por dique.

## EFFECTOS DEL DRENAJE, ENDICAMIENTO Y FORESTACIÓN SOBRE EL SUELO Y LOS NUTRIENTES

El terraplenado y drenaje se construyen con el fin de bajar el nivel de la napa freática, transformando un sistema anaeróbico en aeróbico y habilitando tierras para el crecimiento de especies con baja tolerancia a la presencia de agua; adicionalmente el soporte físico del suelo es mejorado permitiendo el ingreso de maquinarias y la instalación de infraestructura. Estas acciones, sumadas al reemplazo de pajonales y juncales por plantaciones forestales, desencadenan diversos cambios asociados a procesos puramente físicos, como la consolidación, subsidencia y compactación (Gebhardt *et al.*, 2010), los biogeoquímicos, como la oxidación y movilización de nutrientes (Lal, 2007) y los biológicos a partir de los cambios en el tipo de vegetación (Nosetto *et al.*, 2006; Murphy *et al.*, 2009).

## ALTERACIONES FÍSICAS Y BIOGEOQUÍMICAS EN EL SUELO

El drenaje, terraplenado y uso forestal (primer ciclo  $\approx$  15 años) en las islas del Bajo Delta del Paraná generan una reducción del espesor del suelo producto de cambios físicos y biogeoquímicos. Se estima que cada 100 cm de suelo en el pajonal, luego del primer ciclo forestal, el suelo se reduce aproximadamente a 90 cm en las plantaciones de álamos, principalmente por cambios físicos en las capas superficiales de suelo donde la porosidad edáfica disminuye (-62%). A la inversa, entre los 10 y 50 cm de profundidad los cambios biogeoquímicos predominan sobre los físicos, con incremento de la materia orgánica (+68%) del suelo y sin cambios en la porosidad total (Ceballos *et al.*, 2012). Estas ganancias de materia orgánica del suelo en profundidad podrían estar vinculadas con la transferencia post-drenaje de la materia orgánica acumulada en la broza de los pajonales y, adicionalmente, a partir

del ingreso de C al suelo dado por el reciclado de las raíces de los álamos y de la caída anual de hojas.

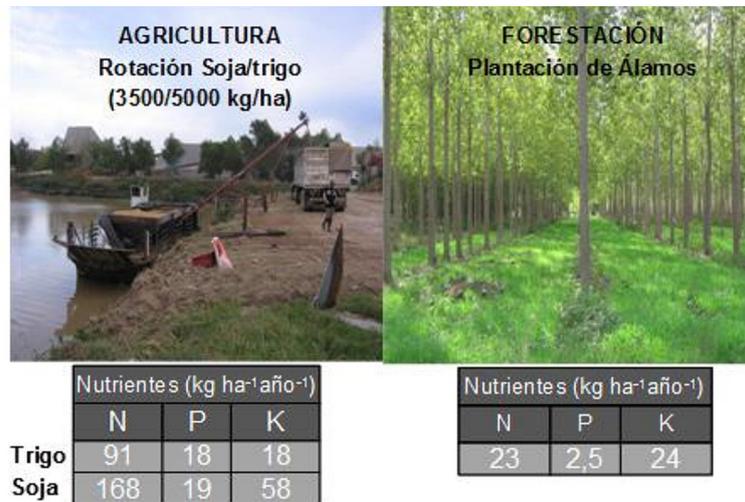
Las prácticas tendientes a la conservación de la materia orgánica del suelo superficial constituyen una estrategia relevante para la sostenibilidad de estos sistemas. El análisis de estos cambios y la comprensión del funcionamiento de los nuevos agrosistemas, permite idear prácticas de manejo que conserven el ambiente, la calidad del suelo y la sostenibilidad de los nuevos usos.

## **USOS MÁS INTENSIVOS (AGRICULTURA) VERSUS PLANTACIONES DE ÁLAMOS Y NIVELES DE EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES**

Después de la inundación de 1997-98 se inició un período de seca prolongado, que probablemente impulsó la construcción de nuevos diques (Blanco & Méndez, 2010), acentuado aún más luego de la creciente ordinaria de 2007. La buena rentabilidad de la agricultura favoreció el incremento en el valor de la tierra y de los arrendamientos agrícolas en la Región Pampeana; Argentina pasó de obtener 65 millones de toneladas en la campaña 2000 a 95 millones en el 2007 (Sili & Soumoulou, 2011), esto fue acompañado de un avance de la frontera agrícola hacia ecosistemas más vulnerables como por ejemplo el chaco húmedo.

El Delta del Paraná no fue la excepción siendo afectado directamente con experiencias de agricultura que, si bien fueron casos aislados, constituyen importantes superficies. Estos humedales también fueron afectados indirectamente a partir del desplazamiento de la ganadería reemplazada por la agricultura en la zona continental, se estima que entre 1999 y 2009 la cantidad de ganado en estos humedales se triplicó llegando a 1 millón cabezas (Chorroarín, comunicación personal). Es de destacar que la agricultura y la ganadería oportunista poco se vinculan con la cultura isleña, a diferencia de los productores forestales que al principio convivían con la dinámica de los ríos (produciendo sauces) y que, posteriormente, adaptaron el sistema a especies más productivas y demandadas por el mercado pero menos tolerantes a la inundación (produciendo álamos dentro de diques).

La dinámica hidrológica del humedal se altera tanto en los sistemas de producción de álamos como en la agricultura en las islas, esto sucede debido a que se desarrollan dentro de endicamientos. Sin embargo, al observar los niveles de extracción de nutrientes de los diferentes usos (Figura 5), tanto los cultivos de trigo como de soja superan ampliamente la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de las plantaciones de álamos en el Bajo Delta del Paraná. En un cultivo de soja se extraen 7.5 veces más nitrógeno y fósforo y 2.5 veces más potasio que las plantaciones de álamos, de manera que el impacto sobre el capital de nutrientes del ecosistema dado por la agriculturización es mucho más intenso que el de las plantaciones forestales. Por otro lado, el efecto sobre la porosidad del suelo a partir de la mayor intensidad de uso de maquinarias en la agricultura, incluso más pesadas, podrían intensificar los procesos de compactación, consolidación y subsidencia.



**Figura 5.** Nivel de extracción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para agricultura (trigo y soja) según Ciampitti & García (2007) y para plantaciones de álamos en el Bajo Delta.

A nivel de paisaje, la magnitud y el lugar donde se instalen los sistemas endicados tiene relevancia para la funcionalidad de estos ecosistemas y de los servicios que ofrecen a la sociedad, de manera que la planificación territorial participativa constituye una herramienta imprescindible en la región.

## CONCLUSIONES

Los humedales del Delta del Paraná constituyen ecosistemas importantes desde su funcionalidad y oferta de servicios ecosistémicos, principalmente por su hidrología. A pesar de ello, el manejo y uso de estos ecosistemas siempre estuvo dado por adaptar el ambiente a especies menos tolerantes a las condiciones de alta saturación con agua, como por ejemplo a partir del drenaje, terraplénado (diques) para la instalación de plantaciones de álamos en el Bajo Delta del Paraná. Específicamente, este agrosistema ha generado desarrollo en la zona núcleo forestal del Delta con el aprovechamiento de servicios ecosistémicos no provisto por estos humedales en su condición natural.

En los últimos años se han realizado experiencias aisladas de agricultura dentro de sistemas drenados y endicados, también afectando la dinámica hidrológica de los humedales. Sin embargo, hay que considerar que estos sistemas productivos extraen 7,5 veces más nitrógeno y fósforo que las plantaciones de álamos, afectando intensamente al capital de nutrientes.

Si bien el trazado de terraplenes y canales de drenaje fue realizado armónicamente por productores forestales según las necesidades de las plantaciones, la instalación futura de diques (dónde y de qué magnitud) debería estar enmarcada en procesos de planificación territorial participativa con los diferentes actores de la región.

## ENSAYO IX.10

### Invasiones biológicas

*María Laura Guichón*

La introducción de especies de la mano del hombre ocurre en todos los continentes y aumentó en los últimos siglos como resultado de mejoras en el transporte y comunicación y el incremento del comercio internacional. Individuos de numerosas especies son sacados de su lugar de distribución original e introducidos en otros lugares de manera accidental o intencional. Muchas de estas introducciones resultan fallidas y algunas no prosperan en las siguientes etapas del proceso de invasión. Sin embargo, algunas especies sí, logran sobrevivir al traslado mediado por el hombre hasta un nuevo lugar (especies introducidas), algunas de éstas son capaces de sobrevivir y también reproducirse sin intervención humana directa (especies establecidas), y finalmente algunas también logran expandirse y colonizar nuevas áreas (especies invasoras).

Comprender y predecir el número de especies invasoras que se establecen en una región todavía es un tema de intenso estudio y debate (Castro *et al.*, 2007; Keller *et al.*, 2011). Tanto las características de la especie como las características del ambiente receptor se han estudiado de manera comparativa para identificar patrones que favorecen el establecimiento y expansión de especies introducidas. Numerosas especies que viven en asociación con humanos han tenido gran éxito de invasión, y ciertas características reproductivas (v.g. reproducción temprana y cantidad de descendientes) o de flexibilidad ecológica y de comportamientos (v.g. amplitud de dieta y de uso de hábitat) suelen asociarse a las especies invasoras. Los ambientes con alto disturbio humano pueden haber perdido especies nativas potencialmente depredadoras o competidoras de las especies introducidas y también pueden presentar mayor disponibilidad de recursos. Esto puede explicar que regiones con mayor intensidad de actividad humana estén asociadas a mayor presencia de especies invasoras.

#### IMPACTO DE ESPECIES INVASORAS

Numerosas especies invasoras causan serios daños y pérdidas económicas en actividades productivas y sistemas de servicios en áreas urbanas y rurales. También algunas especies invasoras pueden adquirir el rol de nuevo agente transmisor de enfermedades al hombre y a animales domésticos y silvestres en el ambiente receptor. En el ámbito de la Biología de la Conservación, las invasiones biológicas son consideradas una de las principales amenazas para las especies nativas y el funcionamiento de los ecosistemas naturales (Mack *et al.*, 2000; Olden *et al.*, 2004). Las modificaciones en las interacciones existentes o la aparición de nuevas interacciones como consecuencia de la presencia de una nueva especie en el sistema pueden causar diversos efectos sobre las especies nativas. Por ejemplo, cambios en interacciones de competencia y/o depredación pueden provocar marcadas variaciones en densidad de una o varias especies, y a su vez, esto puede llevar a cambios en la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Si bien hay numerosos casos en que las especies invasoras han tenido efectos notorios y drásticos, el impacto puede ser muy variable en intensidad y

tipo (e.g. directo, indirecto, pequeño, grande, negativo, positivo, y combinaciones de estos). También debe tenerse en cuenta que la valoración del impacto depende de los intereses en cuestión ya que, por ejemplo, una especie invasora puede ser beneficiosa desde el punto de vista productivo pero tener un impacto negativo desde el punto de vista ambiental.

Es difícil predecir y cuantificar los impactos que una especie invasora puede tener sobre una o más especies o sobre el ecosistema, fundamentalmente por la complejidad de los sistemas naturales y sus dinámicas a distintas escalas, espaciales y temporales (Traveset & Richardson, 2006). Puede ocurrir tanto que se subestime su impacto como que se le atribuya la causalidad de un impacto negativo. Parte de la dificultad de cuantificar los impactos se debe a que puede transcurrir un período de tiempo variable desde el establecimiento de una especie introducida, hasta que sus efectos cobren relevancia, lo cual a su vez varía en diferentes ambientes. Esto puede deberse a que las poblaciones de especies introducidas frecuentemente exhiben una primera fase de crecimiento lento, durante la cual la población persiste a baja densidad en un área restringida, y luego pasan a una fase de crecimiento poblacional rápido y de expansión territorial. A este período de tiempo puede sumarse otro lapso hasta que las nuevas interacciones se traduzcan, por ejemplo, en reducción poblacional de una especie nativa o una modificación de la estructura de la comunidad que, a su vez, genera cambios en las condiciones del ambiente (Grosholz, 2005).

## INVASIONES BIOLÓGICAS EN ARGENTINA

En Sudamérica el tema de las invasiones biológicas no tiene una larga tradición en el ámbito académico ni ha recibido gran atención desde la política gubernamental, si bien es una de las regiones de mayor biodiversidad del planeta y justamente la introducción de especies es una de las principales amenazas para la biodiversidad, junto con la pérdida y degradación de hábitat. La mayoría de las especies invasoras en Sudamérica son de origen europeo o euroasiático, lo que refleja el movimiento durante cientos de años relacionado con las colonias iberoamericanas, la alta inmigración y el legado cultural de establecerse en nuevas regiones como si fuera su propia tierra. Muchas especies introducidas son valoradas y explotadas, por lo que desde el punto de vista social, cultural y económico no predomina la idea de conflicto asociado a especies introducidas, o incluso a especies invasoras. Es muy probable que tanto el número de especies introducidas como sus impactos estén subestimados, sin embargo esto se está revirtiendo en países como Argentina, Brasil y Chile, donde la cantidad de estudios sobre especies introducidas ha crecido marcadamente en la última década (Speziale *et al.*, 2012).

En Argentina se ha registrado la introducción de 649 especies, de las cuales 199 son especies animales, 445 son vegetales y 5 son hongos (Base de Datos sobre Especies Invasoras, 2012). Estas introducciones muestran una amplia variabilidad en cuanto a su grado de invasión y el tipo de ambiente invadido, las causas de introducción y las vías de expansión, los impactos que causan y las posibilidades de implementar planes de manejo. Las primeras introducciones animales voluntarias fueron las realizadas por los conquistadores cuando trajeron el ganado de Europa. Además de las especies domésticas, muchas especies silvestres han sido introducidas por su interés para la caza y la peletería, por su valor ornamental o para su cría con fines alimentarios, industriales o recreativos. Entre las 32 especies de mamíferos que se consideran introducidas en alguna región de Argentina, se encuentran especies domésticas que han establecido poblaciones silvestres, como las vacas, los caballos y los perros cimarrones, y también se encuentran especies silvestres que han ocupado casi todo

el país, como la liebre europea *Lepus europaeus*, o solo regiones particulares, como el castor *Castor canadensis* (Novillo & Ojeda, 2008; Base de Datos sobre Especies Invasoras 2012). El único caso de mamífero introducido por su atractivo ornamental es la ardilla de vientre rojo *Callosciurus erythraeus*.

La introducción de la ardilla de vientre rojo en Argentina ocurrió en 1970, cuando se importaron 10 individuos de esta especie asiática desde Holanda y se mantuvieron en cautiverio en una estancia cercana a la localidad de Jáuregui, partido de Luján, Buenos Aires (Aprile & Chicco, 1999). Algunas ardillas murieron en cautiverio pero otras fueron liberadas y otras escaparon, dando origen a la primera población silvestre de ardillas de vientre rojo en el país. El atractivo que representa esta ardilla para muchas personas es la principal causa de expansión de esta especie arborícola. Las ardillas se transportan y liberan en sitios nuevos para “enriquecer” la fauna del lugar o se capturan y venden para tener como mascotas, aunque en muchos casos terminan siendo liberadas ya que no resisten el cautiverio. Esta es la razón de que ya existan en Argentina nuevos focos de invasión de ardillas en la provincia de Buenos Aires, en la provincia de Córdoba y en la provincia de Santa Fé (Benitez et al., 2010). Este es el único caso conocido de establecimiento de ardillas exóticas en Sudamérica y se encuentra en una fase de franca expansión (Guichón & Doncaster, 2008).

El impacto negativo mejor documentado en Argentina debido a la introducción de la ardilla de vientre rojo está relacionado con actividades productivas y sistemas de servicios por las pérdidas económicas debidas al consumo de frutos (v.g. nueces, ciruelas, peras, cítricos, kiwis), daño provocado en árboles de plantaciones comerciales o con valor ornamental, consumo de huevos en granjas avícolas y cereales en silos de almacenamiento, daño al plástico que recubre los cables de teléfono, luz y televisión y al plástico que recubre los sistemas de riego de frutales y de granjas avícolas (Guichón et al., 2005). En cuanto a los sistemas naturales, uno de los daños más evidente es el descortezamiento de los árboles, que facilita la infección por hongos. La corteza de los árboles, hojas y ramas son utilizadas para la confección de los nidos de ardillas. Además, el consumo de flores, frutos y semillas afecta la reproducción de las plantas y puede alterar su dispersión, por ejemplo, favoreciendo la dispersión de vegetación exótica, que constituye su principal fuente de alimento (Benitez et al., 2010). Las ardillas podrían tener un impacto negativo sobre la fauna nativa, por ejemplo sobre poblaciones de aves o de la ardilla misionera *Sciurus aestuans* o la ardilla roja *Sciurus ignitus* en caso que la ardilla introducida invada áreas de la Selva Paranaense y las Yungas, que son el hábitat nativo de las dos especies de ardillas originarias de Argentina (Cassini & Guichón, 2009; Guichón et al., 2009). Otro de los problemas asociados con este roedor introducido es el posible riesgo de zoonosis ya que, además de que las ardillas son hospedadores de diversos parásitos, también pueden actuar como reservorios naturales de agentes infecciosos de algunas enfermedades como, por ejemplo, la leptospirosis (Gozzi et al., 2012).

En Argentina, la presencia de esta ardilla despierta reacciones dispares en la comunidad, tal como se ha observado en otros países donde hay poblaciones silvestres de esta especie (v.g. Japón) y de otras especies de ardillas introducidas (v.g. la ardilla gris *Sciurus carolinensis* en Inglaterra) (Bertolino & Genovesi, 2003; Miyamoto et al., 2004). El mayor contraste se nota entre las personas que ven a la ardilla como un animal atractivo y vistoso y las personas que consideran que son una plaga y sus poblaciones deben ser controladas. Esto pone de manifiesto que, lejos de ser un problema meramente biológico, las invasiones biológicas también tienen una fuerte componente social y económica. En el caso de la ardilla de vientre rojo así como de otras especies carismáticas, es necesario realizar campañas de difusión sobre la problemática y recabar la opinión de los distintos actores sociales, especialmente si se desea

evaluar la factibilidad de acciones de control o erradicación (Guichón *et al.*, 2009). Dar información a la comunidad también ayuda a desalentar el traslado y comercialización de ardillas y su tenencia como mascota actuando en la prevención de la creación de nuevos focos de invasión. Por eso es fundamental que haya comunicación entre los que toman las decisiones de manejo, los que realizan estudios científicos y la comunidad en su conjunto para difundir los problemas asociados a las invasiones biológicas, proponer temas prioritarios para investigación y conocer la opinión de las distintas partes de manera de evaluar formas de acción consensuadas (García-Llorente *et al.*, 2008).

En Argentina, el marco legal que regula el tema de especies exóticas está dado fundamentalmente por la Ley 24375 del año 1994, que ratifica el Convenio de Diversidad Biológica firmado en Río de Janeiro. Mediante el artículo 8 inciso h de esta ley, el gobierno nacional se compromete a impedir la introducción, y a controlar o erradicar las especies introducidas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies. En el año 1997 se impuso la obligatoriedad de realizar una evaluación de impacto ambiental ante cualquier solicitud de autorización para realizar introducciones de fauna y flora (Resolución 376/97 SAyDS). El manejo de una especie exótica es complejo y requiere de un Proyecto de Manejo por parte de organismos de gestión, como la Dirección de Fauna nacional o provincial. La toma de decisión de acciones de manejo se realiza en el marco del principio de precaución, es decir, tomar medidas cautelares cuando la introducción de una especie suponga una amenaza para el ambiente o la salud humana. Es importante tener en cuenta que el Proyecto de Manejo debe hacerse en el marco del Manejo Adaptativo, que integra la elaboración, ejecución y el monitoreo del plan de manejo, adoptando mecanismos de participación en las distintas etapas del proyecto. Es decir, los objetivos, estrategias, métodos y escalas de trabajo deben evaluarse y modificarse periódicamente en función de los resultados que se van obteniendo al poner en práctica el manejo.

## ENSAYO IX.11

# Control biológico de plagas

*Norma Sánchez y Nancy Greco*

El control biológico de artrópodos plaga mediante enemigos naturales (EN), parasitoides, depredadores y agentes patógenos se basa en el uso de estos organismos comúnmente llamados “benéficos” para reducir las poblaciones de una plaga a densidades por debajo del nivel de daño económico.

La técnica de control biológico es ampliamente usada en el manejo de plagas desde fines del siglo diecinueve, y ya se pueden controlar exitosamente 165 especies (van Lenteren, 2011). Los programas de control biológico de una plaga deben basarse en sólidos conocimientos ecológicos, ya que cuando el hombre utiliza esta herramienta está manejando las interacciones entre distintos componentes del agroecosistema. En este sentido, es importante reconocer la complejidad de estos sistemas e identificar los aspectos claves de las interacciones tróficas que contribuyen al éxito del control, y/o que implican un riesgo para especies no perjudiciales (Bigler, 2006). Las características físicas y químicas de las plantas hospederas de las plagas, así como su distribución espacial y temporal, pueden favorecer la presencia y el desarrollo de las poblaciones de EN, brindando alimento y/o refugio, y por lo tanto aumentar su efectividad como agentes de control (Barbosa & Benrey, 1998). Por otra parte, algunos EN pueden controlar a la plaga pero afectar negativamente a organismos no perjudiciales y especies benéficas, tales como insectos polinizadores y otros parasitoides y depredadores. La competencia entre EN y la depredación intragremio son fenómenos que también influyen en el resultado del control biológico cuando se utilizan varias especies o se introducen EN exóticos (Brodeur & Boivin, 2006).

Varios atributos de los EN han sido tradicionalmente considerados importantes para que éstos resulten efectivos. En el caso de los depredadores y parasitoides se pueden mencionar la tasa de ataque, el comportamiento de búsqueda, la amplitud de la dieta y la sincronía espacial y temporal con la plaga.

### **Tipos de control biológico**

Existen cuatro tipos de control biológico: natural, clásico, aumentativo y por conservación. El control natural se basa en uno de los servicios del ecosistema como es el control de un herbívoro mediante sus EN presentes, y es el que ocurre sin intervención humana (Waage & Greathead, 1988). El uso de insecticidas y la simplificación de los sistemas agrícolas, basados en monocultivos, reducen la disponibilidad de alimentos alternativos y refugios para los EN, por lo cual el control natural suele resultar insuficiente.

El control biológico clásico consiste en la introducción de especies exóticas y su establecimiento en el nuevo hábitat. El enemigo introducido proviene del área geográfica de la plaga. Cuando éste se introduce para controlar una plaga nativa se llama control biológico neoclásico o de nueva asociación (van Driesche *et al.*, 2007). La importación de EN es la forma de control biológico más desarrollada y más respaldada científicamente y existen numerosos

ejemplos de su utilización exitosa y también de sus fracasos. Este tipo de control biológico, es utilizado en diversos países de América Latina aunque su participación en la agricultura comercial es baja en relación a los países desarrollados. Recientemente han comenzado a analizarse y cuestionarse las posibles consecuencias negativas indirectas de los programas de control biológico por importación de EN (Bigler, 2006).

El control biológico aumentativo consiste en el incremento del número de individuos de especies ya establecidas: consiste en liberaciones periódicas de individuos criados en el laboratorio, a fin de incrementar la población presente y por ende la mortalidad producida sobre la plaga. En muchos cultivos si bien el EN se instala naturalmente, lo hace con un cierto retraso que le permite a la plaga incrementar sus poblaciones y escapar a su acción. En estos casos una liberación de individuos permite aumentar su efectividad. Las liberaciones pueden ser inoculativas o inundativas. En el primer caso, se libera tempranamente un número relativamente bajo de EN con el objetivo de lograr que se reproduzcan en el cultivo y que su descendencia realice el control de la plaga durante un periodo, que puede ser todo el ciclo del cultivo. Las liberaciones inundativas, o en masa, se usan con el propósito de disminuir la abundancia de la plaga por la mortalidad que ellos causan, es decir por su efecto inmediato. Según la plaga de que se trate, se pueden requerir frecuentes liberaciones a lo largo del ciclo del cultivo. El control biológico aumentativo se puede usar con plagas nativas o exóticas. Su implementación depende de la disponibilidad de crías masivas de EN y de la efectividad en el campo de los mismos. Dentro del control biológico, esta técnica es la más costosa en términos energéticos y económicos.

En América del Norte y Europa existen numerosas biofábricas que producen EN masivamente (van Lenteren, 2011). Si bien en América Latina esta estrategia de control está menos desarrollada, algunos países como Brasil producen EN comercialmente. En la Argentina, numerosas especies de EN aún no han sido evaluadas como agentes de control biológico. Por otra parte, no existen biofábricas para la producción comercial de las especies nativas o establecidas de efectividad conocida, como por ejemplo el ácaro depredador *Neoseiulus californicus* para el control de la araña roja en frutilla (Greco et al. 2011), y el parasitoide *Pseudapanteles dignus* para el control de la polilla del tomate (Sánchez et al., 2009).

Cuando en un país no existen biofábricas para producir masivamente agentes de control nativos o establecidos, la alternativa podría ser importar individuos criados masivamente en biofábricas de otros países. Sin embargo, esta decisión debería tomarse con extrema precaución, analizando la relación costo-beneficio. Resulta de fundamental importancia, a fin de aumentar la probabilidad de éxito del control, que los agentes liberados al ambiente provengan de crías masivas a partir de poblaciones locales. En este sentido, hay dos aspectos relevantes a considerar. Por un lado, distintas líneas genéticas de una misma especie pueden tener diferentes características de adaptación a las condiciones ambientales locales y la liberación de individuos poco adaptados al ambiente puede disminuir la efectividad del control. Por otra parte, con las crías locales se disminuye el riesgo de transmisión de patógenos provenientes de otra región.

El control biológico por conservación de EN ya establecidos implica el manejo del hábitat para favorecer su supervivencia, fecundidad, longevidad y comportamiento, y así incrementar su efectividad (Landis et al., 2000). Esta estrategia se basa en la manipulación del ambiente para mejorar la disponibilidad de fuentes alternativas de alimento para los EN (tales como néctar y polen), proveer un microclima favorable para su desarrollo, propiciar la presencia de presas u hospedadores alternativos y brindar refugios para condiciones ambientales extremas o pesticidas.

El manejo del hábitat para conservar a los EN puede realizarse a diferentes escalas espaciales: a nivel de un cultivo o agroecosistema específico o en un contexto de “paisaje ecológico” (Letourneau, 1998; MacVean, 1992). Este último enfoque resulta más adecuado ya que el paisaje está compuesto por una diversidad de hábitat que va a proveer un mosaico de condiciones favorables y desfavorables para las plagas y sus EN. La extensión y número de hábitat propicios para los enemigos puede determinar el grado de control ejercido y su duración (Barbosa & Benrey, 1998). Esto significa tener en cuenta los distintos subsistemas y sus interrelaciones. Por ejemplo, en el manejo de una plaga de ciclo anual, resultará importante conocer el rol que cumplen en su dinámica poblacional y en la de sus EN, la presencia de otros subsistemas que rodean al campo de cultivo (áreas de vegetación silvestre, otros cultivos, o la presencia de bosques cercanos).

Asimismo, la persistencia de la interacción entre la plaga y sus EN es otra característica importante. Los sistemas depredador-presa suelen presentar ciclos en los cuales la densidad del depredador va creciendo a medida que crece la densidad de su presa, pero su acción hace que la presa disminuya, y por ende la densidad del depredador comienza a decrecer. La persistencia implica que el enemigo no agote totalmente su recurso y permanezca interactuando con la plaga cuando ésta ha sido disminuida por debajo del nivel de daño económico. Por ejemplo, si una pequeña fracción de la población de la plaga escapa a la acción del enemigo, o si éste se alimenta de recursos alternativos cuando la plaga es muy escasa, la interacción continuará. De esta manera, la persistencia es un atributo de la interacción que contribuye a que los EN no representen un insumo que deba ser incorporado frecuentemente al sistema.

La agricultura moderna, basada principalmente en monocultivos anuales, ocasiona un intenso disturbio y limita en gran medida la efectividad de los EN por la falta de alimento para los adultos y la falta de hospedadores alternativos. La principal manipulación del ambiente tendiente a mitigar dicho disturbio es el aumento de la diversidad vegetal y la presencia de plantas específicas. Sin embargo, hay que tener en cuenta cómo el aumento de la estructura de la vegetación y de la diversidad de especies influye en la dinámica poblacional de las plagas que se quieren combatir. Es preciso identificar cuáles son las características de la diversidad que serán útiles en cada sistema en particular, teniendo en cuenta la biología y el comportamiento de las plagas y sus EN. Además, es necesario conocer el impacto que tendrá el aumento de la diversidad vegetal sobre otros componentes de la trama trófica. Por ejemplo, un impacto positivo sobre otros fitófagos podría incrementar los riesgos de aparición de nuevas plagas; y en el caso de favorecer la presencia o abundancia de hiperparasitoides (parasitoides de parasitoides) aumentar la mortalidad de los EN presentes.

Numerosos estudios indican las ventajas de incorporar otras plantas al sistema de cultivo (Landis *et al.*, 2000) para favorecer la acción de los EN. Por ejemplo, la implementación de bordes de una planta anual que produce grandes cantidades de polen y néctar, en cultivos de *Brassica oleracea* L., incrementa la densidad de insectos depredadores y como consecuencia las poblaciones de pulgones disminuyen. Otras investigaciones han basado el manejo del hábitat en el uso de plantas existentes en el sistema, como es el caso de plantaciones de naranjos donde el establecimiento y floración de la maleza *Chloris gayana* Kunth (Smith & Pappacek, 1991) favoreció la conservación del ácaro depredador *Amblyseius victoriensis* (Wonerley), un EN de otro ácaro que es plaga de naranjos. Nicholls *et al.* (2001) demostraron que el uso de corredores de elevada diversidad vegetal (perteneciente a un bosque cercano) en viñedos del norte de California, y la utilización de cultivos de cobertura, favorecen el control biológico de cicadélidos y trips.

Por otra parte, el uso intensivo de plaguicidas es una práctica de la agricultura convencional que limita la presencia y la efectividad de los EN. Su efecto puede ser letal o subletal, o indirecto, cuando aún siendo selectivos, es decir que matan solamente a la plaga, la disminución drástica de la misma les reducirá su recurso alimentario y por consiguiente su supervivencia y fecundidad. El uso de plaguicidas selectivos y/o la baja frecuencia de aplicación de los mismos son formas de proteger sus poblaciones.

### CASO DE ESTUDIO:

#### **Control biológico de la arañuela de las dos manchas *Tetranychus urticae* por el depredador *Neoseiulus californicus*, en frutilla.**

En el cinturón hortícola del Gran La Plata, el ácaro depredador *Neoseiulus californicus* es el principal EN de la arañuela *Tetranychus urticae*, cuyo tamaño es de alrededor de 0.5mm (Figura 1), un ácaro plaga muy importante en el cultivo de frutilla. El control de la arañuela se realiza en la actualidad mediante la aplicación frecuente de acaricidas, siguiendo un calendario base. Esta práctica, además de ser indeseable por los problemas que ocasiona el uso excesivo de plaguicidas químicos, muchas veces no resulta efectiva para el control de la plaga e interfiere en la acción de este EN.



**Figura 1.** Arriba, un detalle de las hembras de *T. urticae* y de su depredador *Neoseiulus californicus*. Abajo, vista del envés de una hoja de frutilla con colonias de *Tetranychus urticae*, “arañuela de las dos manchas”.

Los estudios realizados sobre *N. californicus* demuestran que este depredador posee una gran potencialidad para controlar a la plaga (Greco *et al.*, 1999). Varias características de su biología y ecología lo convierten en un buen EN para ser utilizado en programas de CB por conservación:

- ✓ Está instalado en los cultivos de la zona.
- ✓ Aparece tempranamente en el cultivo de frutilla.
- ✓ Tiene una elevada sincronía con la plaga.
- ✓ Es un depredador generalista “moderado”, es decir que si bien posee una presa preferida, la arañuela de las dos manchas, puede sobrevivir con algunos otros alimentos tales como polen de algunas plantas y ninfas de trips, que pueden ser alimentos alternativos cuando la arañuela está en bajas densidades o ausente.
- ✓ Los estados inmaduros de proto y deutoninfa, son más activos consumidores de presas que los de otras especies de ácaros depredadores.
- ✓ Las hembras tienen una elevada tolerancia al ayuno, pueden sobrevivir alrededor de cuatro días sin ingerir presas aunque no se reproducen, restableciendo la actividad reproductiva si disponen de alimento.
- ✓ Posee una respuesta numérica alta, es decir que al aumentar la abundancia de presas deja más descendencia.
- ✓ Tiene una alta capacidad de búsqueda de su presa preferida, *T. urticae*.

A partir de estos conocimientos hemos desarrollado y validado un plan de manejo de *T. urticae* en frutilla para el cinturón hortícola del Gran La Plata. El mismo está basado en el control natural ejercido por las poblaciones locales de *N. californicus* presentes en los predios, combinado con la aplicación de acaricidas solo cuando fuera necesario. Este plan tiene dos componentes: un Protocolo de Monitoreo y una Tabla de Decisión. El Protocolo de Monitoreo consiste en un método sencillo de presencia-ausencia que permite estimar la densidad de ambas poblaciones (Greco *et al.*, 2004, 2011) registrando solamente la proporción de folíolos infestados con *T. urticae*, y la presencia del depredador en al menos un folíolo.

La Tabla de Decisión fue construida teniendo en cuenta las densidades relativas de la plaga y del depredador y la tasa de incremento de la plaga (Greco *et al.*, 2005). A partir de estos datos fueron determinados distintos rangos que corresponden a diferentes niveles de infestación. En función de estos niveles la Tabla indica tres acciones correspondientes: 1) usar un acaricida selectivo y volver a monitorear a los 7 días, 2) no hacer nada y volver a monitorear a los 7 días, 3) no hacer nada y volver a monitorear a los 14 días.

La implementación de esta práctica, que ya ha sido validada en predios del cinturón hortícola del Gran La Plata (Greco *et al.*, 2011), conducirá a reducir la frecuencia de las aplicaciones químicas, y por ende favorecerá la acción de este EN y su persistencia en el sistema.

Este plan de manejo podría prescindir totalmente del empleo de acaricidas si existieran en nuestro país biofábricas que produjeran masivamente a *N. californicus*. De este modo los productores podrían realizar liberaciones aumentativas cuando la abundancia natural del depredador no fuera suficiente para controlar a la plaga.

Por otra parte, el polen de algunas plantas silvestres presentes en el cinturón hortícola del Gran La Plata, como *Sonchus oleraceus*, *Urtica urens* y *Lolium amplexicaule*, le permite desarrollarse hasta el estado adulto en condiciones de laboratorio, aunque no reproducirse (Gugole Ottaviano *et al.*, 2010). Esta vegetación podría proveer recursos necesarios tales como refugio y alimento alternativo (Ferro & McNeil, 1998) para su supervivencia cuando el cultivo de frutilla no está en el predio (mediados de verano), o cuando las poblaciones de arañuela son muy pequeñas (otoño-invierno).

## CONCLUSIONES

La agricultura de las últimas décadas, basada en la disminución drástica de la biodiversidad (grandes extensiones de monocultivo) y en el uso de grandes cantidades de agroquímicos, crean condiciones desfavorables para el control biológico ejercido por los EN. Se impone un cambio de enfoque en el manejo de plagas, donde la ciencia ecológica acompañe a la tecnología aplicada a la producción, conjuntamente con el mejoramiento de la calidad ambiental y la equidad social.

Las tres estrategias de CB implican la necesidad de evaluar los beneficios, costos y riesgos ambientales. El control biológico aumentativo redundaría en una nueva actividad industrial, ya que la creación de biofábricas de producción masiva aportaría fuentes de trabajo y contribuiría a la autonomía tecnológica para nuestro país. La conservación de EN es una alternativa potencial para la región en sistemas agrícolas diversificados, orientada a la disminución de insumos y a potenciar servicios ecosistémicos como el control natural de plagas. En relación al CB clásico, previamente a la decisión de implementarlo, deberían realizarse estudios para conocer la potencialidad de los EN nativos o establecidos. Por otra parte, esta estrategia requiere del uso de protocolos dentro de marcos legales regulatorios, tanto internacionales como nacionales.

El fortalecimiento en la implementación del CB en la Argentina brindará beneficios ambientales, sociales y económicos.-

## ADENDA SOBRE PARASITOIDES, DEPREDADORES Y ORGANISMOS PATÓGENOS

Los *parasitoides* son insectos que atacan a otros artrópodos (insectos, ácaros y arañas), consumiendo todo o parte de su cuerpo. Se caracterizan porque cada individuo completa su desarrollo en un único hospedador, y el resultado de esta interacción es siempre la muerte del mismo ya sea inmediatamente o no. Pueden ser solitarios o gregarios, según se desarrolle una o más de una larva del parasitoide por individuo hospedador parasitado; y endo o ectoparasitoides, según se alimenten en el interior del cuerpo del hospedador o externamente. Los adultos son de vida libre y consumen polen, néctar o fluidos del cuerpo del hospedador. Las hembras oviponen, ponen sus huevos, en alguno de los estados de desarrollo del mismo, del cual se alimentan sus larvas, y luego empupan dentro o fuera de él. Algunas especies son oófagas, es decir que la hembra pone sus huevos en el huevo de su hospedador, otras se desarrollan en la larva, o en la pupa, y en el caso de los insectos que pasan por estado de huevo, ninfa y adulto, suelen parasitar a las ninfas o a los adultos. La mayoría de los parasitoides pertenecen a los órdenes Himenóptera y Díptera. En los Díptera, las hembras no poseen ovipositor por lo cual depositan sus huevos cerca del hospedador e ingresan al

mismo a través de su ingestión, o sus larvas activas ingresan por los espiráculos.

Los *depredadores* son artrópodos que también atacan a otros artrópodos, consumiendo todo o parte de su cuerpo, y matan numerosas presas a lo largo de su vida. Tanto los juveniles como los adultos se alimentan de esta manera, pudiendo consumir distintos estados de desarrollo de sus presas, aunque en algunos casos son depredadores en estado larval mientras que el adulto puede alimentarse de néctar o polen. En esta interacción también el resultado es la muerte de la presa. Dentro de los insectos, las especies depredadoras pertenecen principalmente a los órdenes Coleóptera, Neuróptera, Himenóptera, Díptera, Hemíptera y Odonata (Hajek, 2004; Jervis, 2005).

Los *organismos patógenos* (virus, bacterias, hongos, protozoos, nematodos) causan enfermedades agudas y fatales a sus hospedadores y pueden ser muy efectivos como agentes de control. La infección por la mayoría de los organismos patógenos ocurre cuando el hospedador ingiere partes de la planta u otro alimento contaminado con el patógeno. En el caso de algunos hongos y nematodos pueden también penetrar por los espiráculos o directamente a través del tegumento (Bellows & Fisher, 1999).

## ENSAYO IX.12

# Control biológico y dinámica poblacional de una plaga en California

*Carlos E. Coviella*

El control biológico es una tecnología muy útil dentro de un programa de un manejo integrado de plagas. En particular, permite el uso más racional de insecticidas químicos, bajando así los costos para el productor y disminuyendo el impacto que la agricultura introduce en los sistemas naturales.

Aunque existen ciertas limitaciones al uso del control biológico dependiendo del sistema de que se trate (ausencia de enemigos naturales de la plaga, insuficiente control por parte del enemigo natural, restricciones a la introducción de enemigos naturales desde otros sitios y otras) es cada vez más frecuente el uso, introducción y cuidado de los enemigos naturales que, en el marco de un manejo integrado de plagas para cada cultivo, permite reducir la densidad poblacional de la plaga a niveles aceptables (por debajo del nivel de daño económico), a la vez que se minimiza la necesidad de aplicación de insecticidas químicos.

En particular, el cuidado de enemigos naturales, se refiere a utilizar técnicas de manejo del cultivo, que por un lado no afecten a la población (tipo de insecticidas inocuos para el enemigo natural, formas de aplicación del insecticida que minimicen el impacto en su población) y por otro lado técnicas de manejo del cultivo que maximicen la eficiencia de la o las poblaciones de enemigos naturales ya presentes en la región.

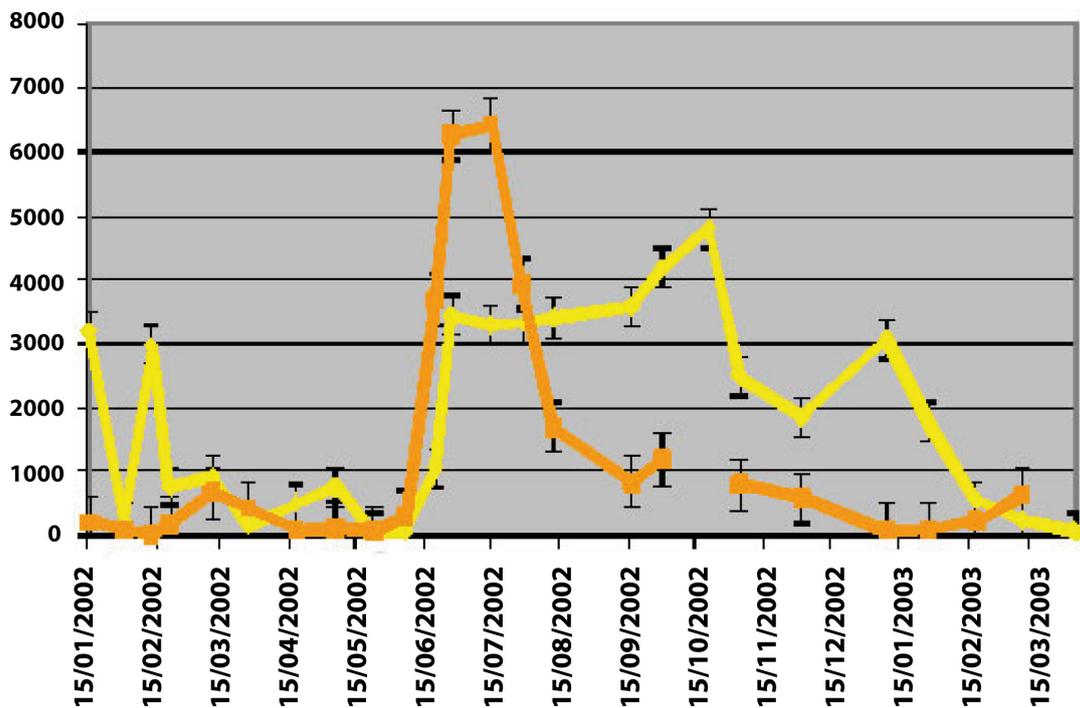
La introducción, por otra parte, se refiere a la búsqueda, estudio, cría y eventual liberación en la zona, de enemigos naturales provenientes de otros sitios y que sean eficientes para el control de la plaga en cuestión pero que a la vez no sean perjudiciales para poblaciones de insectos que no son el blanco de control. Para ello, se buscan zonas de características similares que tengan poblaciones de insectos que atacan a la especie que se quiere controlar o a especies similares. En el caso de plagas introducidas, usualmente se realiza la búsqueda en la zona de origen de la especie. Luego de identificada una o varias especies con potencial de control, se realizan estudios de laboratorio y bajo cuarentena, que permitan discernir la capacidad del enemigo natural para atacar la plaga, a la vez que asegurar la ausencia de impactos negativos de esta especie antes de introducirla en el ecosistema en cuestión. La literatura en control biológico, está llena de ejemplos acerca de especies introducidas como enemigos naturales para el control de alguna plaga, que luego resultaron tanto o más perjudiciales que la plaga que se quería controlar. En algunos casos, la especie introducida desplazo y llevo a la extinción a especies autóctonas o se convirtieron ellas mismas en plagas.

Para saber si el enemigo natural tiene un impacto significativo en la población de la plaga (si es eficiente en el control de la población plaga) se realizan estudios de la dinámica poblacional de la plaga, esto es, como varia la densidad de su población a lo largo del tiempo, que proporción de la población plaga es eliminada por la acción del enemigo natural y cuál es el resultado a largo plazo de la interacción entre ambas poblaciones.

## LA CHICHARRITA DE ALAS CRISTALINAS EN CALIFORNIA

La enfermedad de Pierce, es una seria enfermedad cuyo agente causal es la bacteria *Xylella fastidiosa* que ataca las vides, taponando los vasos xilemáticos (conductores de agua) de la planta y provoca la muerte de la vid. Esta enfermedad ha causado serios daños en el valle de Temécula y en el valle central y amenaza la producción de uva en toda California, con pérdidas directas proyectadas de hasta U\$S 3300 millones anuales y daños potenciales directos e indirectos de hasta 14.000 millones. En California, actualmente el principal vector de la bacteria es la chicharrita de alas cristalinas *Homalodisca coagulata* (Say) (Homóptera: Cicadellidae). Esta especie, es nativa del Sudeste de los Estados Unidos y del Norte de México y fue introducida en California accidentalmente a fin de la década de 1980. Si bien la enfermedad de Pierce ya estaba presente en California, los insectos vectores autóctonos no eran eficientes vectores. La introducción de este nuevo insecto cambió la dinámica de la enfermedad y provocó la actual epidemia de la enfermedad de Pierce en vides. Aunque el principal daño económico se produce en vides, la mayor proporción de insectos se produce en *Citrus* (naranjas, limones, pomelos y mandarinas). Para manejar este vector, se realizaron estudios de la dinámica poblacional y ecología a campo del insecto en plantaciones de *Citrus*. El muestreo se basó en cubrir los árboles con paracaídas militares en desuso y fumigar los árboles con un piretroide. Todos los insectos presentes (ninfas y adultos) en cada árbol muestreado fueron identificados y contados. Otro aspecto de la investigación era el explicar la dinámica poblacional en relación al alimento disponible (fluido xilemático). Para ello se utilizó una bomba de Scholander para extraer el fluido para análisis químicos.

Los primeros resultados, mostraron una densidad poblacional de hasta unos 4500 a 7000 insectos adultos por árbol (Figura 1) durante la época de máxima densidad. Los estudios de densidad de huevos, detectaron la presencia de al menos dos generaciones (dos periodos de puesta de huevos) al año. Sin embargo, estudios preliminares el año anterior, sugerían que durante la segunda mitad del año no se encontraban individuos inmaduros (ninfas) provenientes de huevos de a segunda puesta. Estudios posteriores confirmaron esto. Los muestreos intensivos mostraron una única época de producción de ninfas y adultos, aunque también confirmaron la presencia de la segunda época de puesta de huevos. Dado que se detectaron huevos, pero prácticamente ninguna ninfa ni adulto proveniente de esta segunda generación de huevos, se sugirió que la posible explicación era una mortandad muy grande de huevos, probablemente debida a parasitismo por parte de micro himenópteros que atacan a la chicharrita al estado de huevo. Paralelamente, los expertos de la universidad de California estaban estudiando las poblaciones de parásitos de huevo locales, así como varias otras especies provenientes de diversas partes del mundo con el fin de identificar enemigos naturales que ayudan en el control de esta plaga. Se identificaron varias especies potenciales, pero especialmente una resultaba promisoría. Esta especie, llamada *Gonatocerus ashmeadi* es un micro himenóptero que deposita sus huevos dentro de los huevos de la chicharrita. La larva del parásito nace rápidamente y se alimenta del huevo de la plaga, dando origen a uno o varios (según la especie) adultos del parasitoide por cada huevo de la plaga.



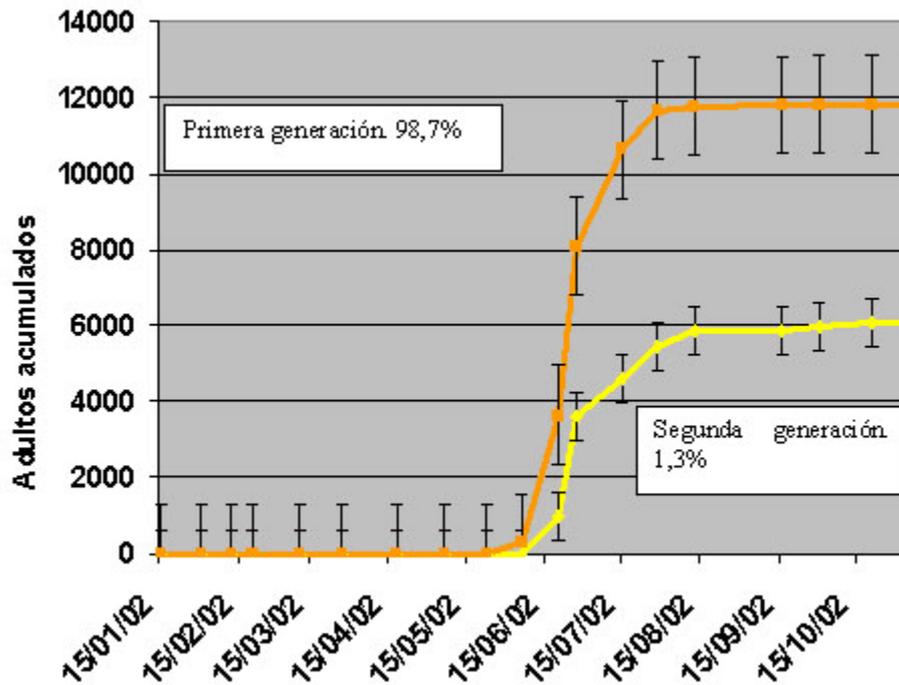
**Figura 1.** Número de adultos por árbol (eje y) de *H. coagulata* en limoneros (amarillo) y naranjos (naranja) a lo largo del año (fechas en eje x).

Con esta información en mente, se realizaron entonces mediciones del porcentaje de parasitismo a campo de los huevos de la chicharrita. Los resultados indicaron que durante la segunda mitad del año, entre el 78 y el 92% de los huevos de la chicharrita estaban parasitados. Esta mortalidad de huevos, sumada a la mortalidad natural de ninfas y adultos normal en el campo explica el porque, aun cuando hay dos generaciones anuales de puesta de huevos, es solamente la primera generación la que produce la mayor cantidad de adultos vectores de la enfermedad de Pierce, mientras que la segunda generación es casi completamente diezmada por los enemigos naturales.

En total, cada árbol de limones es capaz de producir alrededor de 6000 adultos por año (lo que implica una densidad poblacional de más de 1 400 000 adultos por hectárea por año), mientras que los naranjos producen cerca del doble (Figura 2).

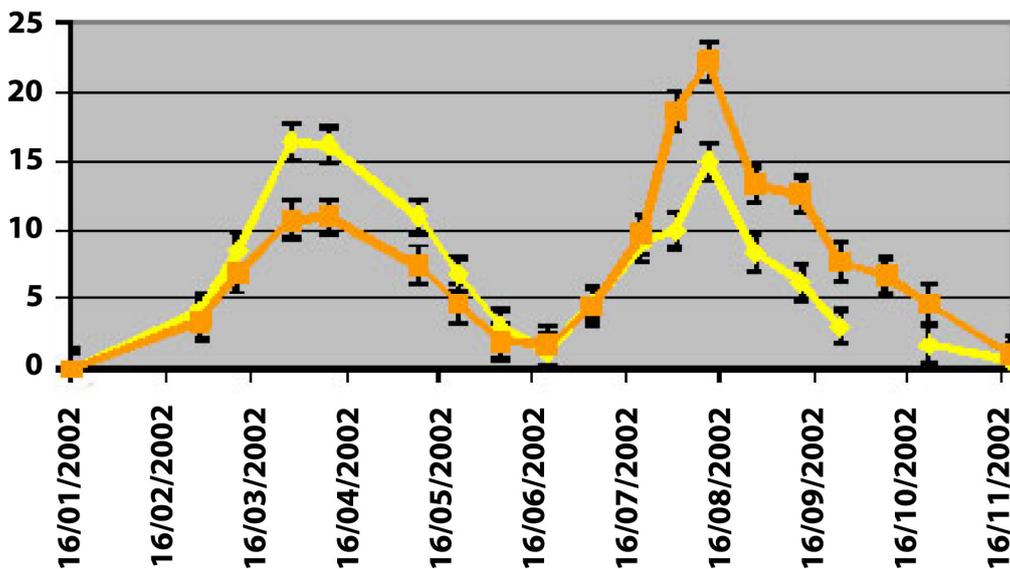
Sin embargo, los enemigos naturales eliminan casi por completo la segunda generación del año, con lo que ésta contribuye solamente con el 1.3% de la producción anual total de adultos (Figura 2).

En otras palabras, la cantidad total de adultos producidos por año sería aproximadamente el doble, si no fuera por la acción de estos enemigos naturales.



**Figura 2.** Producción anual de adultos por árbol acumulada a lo largo del año. Contribución de cada generación a la producción anual total. Naranjos en anaranjado y limoneros en amarillo.

Los resultados obtenidos, muestran que los insectos prefieren distintas especies de Citrus en diferentes épocas del año (Figura 1). Además, a pesar de que existen al menos dos períodos de puesta de huevos (Figura 3), un parasitismo de huevos de 78 a 92% elimina prácticamente por completo la segunda generación.



**Figura 3.** Número de posturas por árbol encontradas en 6,5 minutos de búsqueda. Naranjos en anaranjado, Limoneros en amarillo.

Este ejemplo, ilustra la importancia que el control biológico puede tener sobre una población de plagas. Esta información, puede ser utilizada para la planificación de medidas de control que disminuyan la población de la plaga por debajo del nivel de equilibrio con su enemigo natural. Los datos indican que cualquier tratamiento con insecticidas debería ser aplicado con insecticidas que afecten mínimamente a la población de enemigos naturales a la vez que proporciona información que sugiere que la mejor época para el control de la plaga con insecticidas es al final del año, para eliminar la mayor parte del remanente de la plaga que no ha sido eliminada por el parásito y disminuir así al mínimo la generación de adultos que pondrán los huevos de la única generación “efectiva” del siguiente año.

## ENSAYO IX.13

# Las macrófitas, ingenieras en sistemas acuáticos

*Patricia Gantes*

A lo largo de la historia evolutiva, en distintos momentos las plantas experimentaron adaptaciones que les posibilitaron recolonizar el medio acuático. En el agua son limitantes la luz y los gases (dióxido de carbono y oxígeno), pero el agua está siempre, de modo que carecen o tienen poco desarrolladas estructuras que evitan la pérdida de agua, así como los tejidos especializados en su transporte, pero por otro lado, presentan características que aumentan la eficiencia en la captación de luz, como cloroplastos en las células epidérmicas, tallos fotosintéticos, una alta relación superficie / volumen en sus hojas y tejidos especializados en la acumulación de gases. Entre las formas biológicas características de las macrófitas, hallamos especies que flotan libremente en el agua, como el camalote, otras totalmente sumergidas, como la elodea (*Elodea canadensis*) y también especies como los juncos (*Phragmites communis*), que tienen una parte aérea y otra que vive en el agua o en terrenos que están gran parte del tiempo inundados (Figura 1).



**Figuras.** Arroyos de la pampa bonaerense con macrófitas. **Arriba:** diferentes tipos biológicos de helófitas y plantas acuáticas en un remanso.



**Figuras.** Arroyos de la pampa bonaerense con macrófitas. **Arriba:** macrófitas acuáticas flotantes en el cauce. El alambrado que atraviesa el arroyo tiene resaca vegetal atrapada durante crecientes del río y que queda expuesta en las bajantes.

Las macrófitas modifican el ambiente drásticamente al hacerlo más heterogéneo, crean hábitats (por eso lo de “ingenieras”) para los invertebrados y los peces, y sustrato para las algas del perifiton, así, la estructura de varias comunidades de organismos pequeños depende de la presencia de plantas acuáticas. Las macrófitas enraizadas vinculan los sedimentos con la columna de agua, y a esta última con la atmósfera, así pueden aportar oxígeno a los sedimentos, lo que facilita la oxidación de la materia orgánica y de sustancias que como el amonio y el ácido sulfhídrico, pueden resultar tóxicas para otros organismos acuáticos, y también movilizan los nutrientes almacenados en ellos.

Algunos de los ecosistemas con mayor productividad en el mundo son los humedales que tienen a las macrófitas emergentes como plantas dominantes. Pero las formas sumergidas son poco productivas, siendo más importantes como sustrato para el perifiton, y si bien algunos organismos se alimentan de macrófitas (mamíferos, aves, peces, tortugas, invertebrados) participan en la vía de los detritos con cerca del 90% de su producción.

Como ya se comenta en otro capítulo, uno de las formas más comunes de contaminación de los cuerpos de agua continentales es la eutrofización, es decir el enriquecimiento con nutrientes. ¿Qué consecuencias tiene este fenómeno sobre las macrófitas? Si bien son vegetales que con la captación de nutrientes pueden aumentar su crecimiento, ante un aumento de fósforo o nitrógeno reaccionan más lentamente que las algas. En consecuencia ante un evento de eutrofización, estas últimas se hacen dominantes, disminuye la penetración de la luz en el agua, y las macrófitas prácticamente desaparecen. Así, para los cuerpos de agua someros, se habla de dos dominios de atracción, uno de aguas más transparentes, con bajas concentraciones

nes de nutrientes, macrófitas como principales productores primarios y poco fitoplancton; y otro, al que se llega después de aumentar la carga de nutrientes, donde la transparencia es baja, las macrófitas son poco abundantes y domina el fitoplancton. Una vez alcanzado este segundo dominio de atracción resulta difícil que el sistema retorne al anterior.

Las macrófitas ¿Le sirven para algo al hombre? Además de los servicios ambientales relacionados con las funciones antes mencionadas, se pueden sumar algunos usos: el arroz, una de las plantas más importantes para la alimentación del hombre, es acuático, y el papiro también; algunas especies se usan como forraje en distintos lugares del mundo por su alto valor proteico (asociado a la pequeña importancia de los tejidos de sostén, con celulosa y lignina), entre 25 y 35% del peso seco en camalotes y otras plantas flotantes. El pez carpa chino (*Ctenopharingodon idella*) se alimenta de diversas macrófitas, un individuo consume diariamente entre una y varias veces su peso, y a la vez las carpas pueden ser consumidas por el hombre. También se alimentan de macrófitas los patos, otras aves, búfalos, vacunos, etc. Plantas similares al junco, se utilizan para la obtención de pulpa de celulosa para la fabricación de papel.

Particularmente útiles resultan como organismos “depuradores”. Cuando un efluente cargado de materia orgánica atraviesa un grupo o un manchón de macrófitas hay un efecto físico de sedimentación, pues las plantas reducen la velocidad de corriente y los sólidos en suspensión son retenidos en ese manchón de vegetación. Por otra parte, las plantas acuáticas emergentes oxigenan el sedimento y mejoran la actividad de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica. También, como depuradoras, son usadas en las plantas de tratamiento de efluentes líquidos de las ciudades que eliminan la materia orgánica mediante lechos bacterianos. Esta materia orgánica al descomponerse origina nutrientes inorgánicos que causan eutrofización, y las macrófitas se emplean entonces como “filtros verdes”, pues toman esos nutrientes y los incorporan a su biomasa, luego las plantas son colectadas y el efluente sale con bajas concentraciones de nutrientes. En particular, son importantes como depuradoras en tanto captan y acumulan metales pesados.

Pero pueden traer problemas, por ejemplo, las plantas flotantes son muy productivas en ambientes con alta disponibilidad de nutrientes, llegan a impedir el intercambio de gases con la atmósfera y el paso de luz, así en los embalses de zonas tropicales, cuando las plantas tapizan la superficie del agua falta oxígeno, hay oxidación incompleta de la materia orgánica y malos olores. En algunas situaciones también afectan la navegación y el funcionamiento de las turbinas de centrales hidroeléctricas.

Están presentes en ecosistemas de todas las latitudes desde los trópicos hasta las regiones más frías, y desde el nivel del mar hasta las montañas más altas. En ecosistemas como los esteros del Iberá son los principales productores primarios y como tales tienen una de las más altas producciones de biomasa del planeta. En síntesis, y más allá de su “utilidad”, las macrófitas son elementos clave en el funcionamiento de muchos ecosistemas acuáticos principalmente porque vinculan aire, agua y sedimentos y por su papel en la organización del espacio acuático.

## ENSAYO IX.14

### El turismo como objeto tecnológico

*Tomás Buch*

Todo “objeto tecnológico” es el resultado de una acción humana consciente sobre la naturaleza. Una piedra es un objeto natural, pero si un ser humano la usa como herramienta, la resignifica en objeto tecnológico.

No todos los objetos tecnológicos son objetos o artefactos. La energía no lo es, ni la organización de las actividades productivas humanas. Es en ese sentido que definimos el turismo como objeto tecnológico, aunque no sea un objeto ni un artefacto. El turismo no es simple contemplación, y tiene un fuerte efecto sobre el medio ambiente y todos los ecosistemas con lo que entra en contacto, mediante hoteles, transporte, la industria del “recuerdo”, la invasión y modificación de paisajes naturales – que se transforman, ellos mismos, en un espectáculo – lo que implica una resignificación en el sentido antes mencionado. Por ejemplo, los habitantes seculares de Tilcara, en Jujuy, sitio maravilloso que acaba de ser proclamado Patrimonio de la Humanidad, se quejan que, desde entonces, son objeto de un asedio en vistas a expropiarles sus tierras... en pos de la especulación inmobiliaria. Un lugar se ha transformado en el objeto del deseo de los intereses turísticos, que seguramente cambiarán todo su carácter.

Tampoco se trata de generalizar el concepto de “objeto tecnológico” al punto de abarcar todas las actividades artificiales. La cultura en general, la literatura, la música, no son objetos tecnológicos, aunque frecuentemente se sirven de tales para expresarse: un libro, la imprenta, un instrumento musical son, claramente objetos tecnológicos – pero lo que expresan no lo es. En estas líneas consideraremos los aspectos tecnológicos del turismo, que, como expresión de la curiosidad de los humanos, su necesidad de escapar a una vida citadina, en la cual lo único natural es un yuyo en la vereda y algunos árboles que no alcanzan a cubrir el mínimo de espacios libres en función de la población. La necesidad de cambio de ambiente de los ciudadanos son necesidades vitales, pero las herramientas de que se valen para lograrlo – hoteles, carreteras, instrumentos deportivos – son objetos tecnológicos. El extremo en el cual una carretera puede modificar el ambiente es notable, como lo es la vista de la naturaleza que se atraviesa viajando sobre esa carretera. Por supuesto, una autopista es un paisaje en sí mismo.

Es poco frecuente considerar la artificialidad del turismo, ni su efecto sobre los ecosistemas. Por el contrario: mucha gente tiene la idea de que el turista –mientras no vaya a un sitio como Las Vegas– viene de su ciudad con el ánimo de estar en “contacto con la naturaleza” – o con la “cultura” si en lugar de Las Vegas visita Paris.

¡Qué expresión tan vacía, esa del “contacto con la naturaleza”! Como si, incluso en Las Vegas o en Paris, no estuviéramos “en contacto” con la naturaleza – aunque sea una naturaleza profundamente modificada por el hombre. Pero la expresión se emplea, más bien para indicar a aquel citadino que se aleja de las ciudades, y recorre los campos, los bosques, las montañas y los glaciares. O se sumerge en las aguas de una orilla marítima atractiva y se siente identificado con la vida acuática original. El humano que se siente pez, porque lo revuelca una ola, o se siente conquistador porque la “surfea”.

Ese ciudadano, sin embargo, no es una parte del ecosistema que visita: es un invasor, que tiene un efecto sobre el ecosistema originario. Hace sendas en el bosque, corta plantas, hace fuego y vive en una casa cercana, un hotel tal vez, o, en el mejor de los casos, en una carpa; usa artefactos como tablas de surf o calentadores de gas, bolsas de dormir y la carpa misma.

Se habla del turismo como de “la industria sin chimeneas” recurriendo a la antigua metáfora que representa a la industria con una gran chimenea echando humo. El turismo no tiene chimeneas que echan humo, pero el turista compra recuerdos, viaja por medios tecnológicos, motiva la construcción de aeropuertos en zonas remotas y – hasta entonces – más o menos intocadas, o tocadas por una cultura originaria que no había entrado en contacto con la civilización occidental – si tal cosa todavía existe.

El mundo ha sido invadido por los turistas, en circunstancias en que la tecnología aeronáutica ha acercado entre sí los lugares más exóticos y lejanos – y paradójicamente, cuanto más exóticos y lejanos, más excitan la curiosidad de los que pueden costearse el viaje, y poco a poco van deshumanizando a la población local mediante su resignificación como “aborígenes”, sirvientes o sometidos a la explotación sexual. Al mismo tiempo, transforma su tecnología ancestral en artesanía dedicada a ser vendida a los turistas, y en vez de sus ropas (o la ausencia de ellas) este aborigen viste camisetas con el emblema de la Universidad de Chicago o la imagen del “Che” – por supuesto, sin la menor idea de quién fue esa persona ni dónde queda Chicago ni qué es una Universidad.

Pero hay efectos aún peores del turismo tecnológico: cuando se produjo el tsunami en el Océano Índico en 2004, los pescadores costeros de Sri Lanka fueron arrojados de las playas a 10 km al interior, donde recibieron ayuda. Pero mientras tanto, los especuladores inmobiliarios se apoderaron de sus playas, y los pescadores nunca pudieron volver a lo que había sido su aldea y donde pronto se levantarían lujosos hoteles para los turistas occidentales o japoneses. En ese caso, la industria sin chimeneas actuó como un tanque de guerra y destruyó toda una cultura. Probablemente los otrora pescadores podrán trabajar de sirvientes en los grandes hoteles.

Pero no debemos exagerar – aquel fue un caso extremo. Pero la búsqueda del exotismo genera el subdesarrollo, y hace que los que reciben la visita se sientan sirvientes, aún si no lo son, y ganan el dinero que los turistas les dejan.

En Argentina, hay pocos lugares “exóticos”. Están en algunos rincones de la Puna, en el Impenetrable del Chaco, en las cumbres de los Andes, pero la mayoría del turismo argentino no busca el exotismo: los grandes centros turísticos son Bariloche, Mar del Plata, Carlos Paz y aún las Cataratas del Iguazú o la Quebrada de Humahuaca, ecosistemas ya profundamente modificados por los millones de visitantes que buscan, simplemente, cambiar su rutina. Los grupos estudiantiles que hacen sus viajes de egresados a esos lugares no buscan el contacto con la naturaleza: buscan libertad y cambio. La naturaleza les importa poco: prefieren los “boliches” y viven de noche. Igualmente, cuando uno ve el gentío en las playas más famosas, con dos o tres turistas por metro cuadrado, uno se pregunta qué diferencia hay entre eso y un subte porteño – claro: es la ausencia de ropa, más que el mar.

El turismo es la principal fuente de ingresos de esos lugares, pero es una fuente estacional, y la vida en esos sitios no es sustentable para buena parte de sus habitantes permanentes en ausencia de fuentes estables de trabajo. Ahí comienza a hacerse notar los inconvenientes de un lugar cuya única fuente de ingresos es el turismo. Los turistas nunca recorren los barrios pobres de sus destinos turísticos, y los operadores hacen lo posible por esconderlos. Cuando hay alguna situación excepcional, como una erupción volcánica, las autoridades municipales piensan en los turistas y limpian el Centro, no los barrios periféricos, donde existe la

violencia de la pobreza extrema. Cuando falla una temporada por razones meteorológicas, una considerable parte de la población sufre hambre. Todo esto, el turista no lo ve.

Toda ciudad es un ecosistema – o varios. Obviamente, una ciudad turística también lo es, y es ilusorio imaginarse que este ecosistema sea el mismo que cuando aún no había actividad turística, o cuando era una pequeña ciudad en un hermoso entorno. Es ese ecosistema primario el que muchos turistas buscan – pero no podrán encontrar.

Con la modificación cultural de los destinos turísticos viene la modificación ecológica. Los ecosistemas naturales están amenazados, no sólo por los turistas mismos, sino porque éstos traen consigo especies vegetales exóticas, que a veces son invasoras. En Bariloche hay una invasión – esta vez planeada - de pinos de varias especies, por ejemplo. Además, la fauna autóctona ha prácticamente desaparecido, desplazada por especies invasoras como la liebre europea que ha hecho desaparecer la liebre patagónica. Cada tanto se especula sobre la extinción del huemul, hasta que algún explorador de los bosques menos concurridos informa haber visto uno. Y los comercios normales son reemplazados por hoteles y casas de “recuerdos”. Toda la vida de la ciudad gira alrededor del turismo, y un fracaso de una temporada es una catástrofe económica. Porque es cierto que el turismo es una actividad del sector terciario del que vive mucha gente y aún países enteros. Durante años, el turismo fue la principal entrada de divisas de más de un país.

Muchos destinos turísticos están a la vera de un Parque Nacional. Hay países donde es necesario esperar turno para visitarlos, porque cada ecosistema tiene una capacidad de carga limitado, y la carga de un Parque Nacional es el turista. Hay una pregunta constante acerca de la naturaleza de los Parques Nacionales, una pregunta que tiene dos respuestas diametralmente opuestas. Para algunos, un Parque Nacional es una zona intangible, en la cual se procura mantener en lo posible el ambiente original. Según la otra versión, un Parque Nacional es un lugar de esparcimiento y de paseo. No hay una respuesta para esta disyuntiva, y en general en los Parques Nacionales se han separado zonas de esparcimiento de otras intangibles, salvo para fines de investigación.

El turismo cultural también es un problema, esta vez de afluencia: miles de turistas visitando a la vez un museo famoso también pueden destruir un “ecosistema cultural”.

Ciertas nuevas formas de turismo hacen pie en la disconformidad de muchos turistas con su hábitat artificial y la uniformidad de su vida diaria y recurren al “turismo de aventura” para hacer fluir la adrenalina. Algunas formas de este turismo de aventura lo son verdaderamente: un viaje en parapente es una emoción inolvidable y el descenso de un río turbulento en un bote de goma, corriendo a cada momento el riesgo de un vuelco y un chapuzón en agua helada tiene la emoción de una aventura, aunque se sepa que al final le espera una taza de chocolate caliente.

También las excursiones por la montaña y las escaladas sobre hielo o roca ahora se han convertido en objetos de comercio, del cual depende, además, toda una industria de equipamiento de alta tecnología en carpas, esquís, artefactos de escalada y guías especializados. Además, el turismo de aventura, de una actividad espontánea, también se ha profesionalizado, incluso cambiando los términos tradicionales por una nomenclatura de origen estadounidense que debería avergonzarnos.

Una consecuencia es que para intentar escalar alguna de las montañas más célebres del mundo – especialmente en el Himalaya o el Karakoram – hay que pedir permiso con años de anticipación debido a una concurrencia excesiva. También se ha sabido que las laderas de las montañas que alguna vez fueron sagradas para los habitantes de la zona ya están contaminadas por los restos de los campamentos de los escaladores. Lo mismo ya ocurre en algunos

Parques Nacionales, excesivamente amenazados por una afluencia excesiva. Tal es el caso de los parques más famosos de los EEUU, Yosemite o Yellowstone, donde debe ser encantador observar a los osos comerse la basura de los turistas – pero hay que esperar turno.

Otra forma nueva de turismo es el agroturismo. Lo que antes era una agobiadora actividad agropecuaria, de la que vivía la mayor parte de las poblaciones, ahora se ha hecho poco rentable – salvo las enormes explotaciones de soja. De modo que muchos establecimientos agropecuarios en zonas de poca rentabilidad aceptan turistas que durante una semana hacen el trabajo de peones rurales – claro que con comida abundante y descanso cómodo – y toman lo que creen que es el sabor de la vida de campo, de paso cambiando para los dueños de los establecimientos parte de sus emolumentos salariales en ingresos netos. También hay establecimientos agropecuarios que se han dedicado enteramente al turismo, ya que su producción original ha dejado completamente de ser rentable. Esto es una constatación de un hecho y no un juicio de valor, ya que el que esto escribe ha llegado a conocer sitios que de otra manera no hubiera visto.

En el año 2011 cruzamos la (imaginaria) línea de los 7000 millones de seres humanos. Para ser optimistas, digamos que la quinta parte de esa cifra esté en condiciones socioeconómicas adecuadas para ofrecerse un viaje de turismo de cierta envergadura. Ello significa el movimiento de mucho dinero y una fuente de trabajo para mucha gente, pero también un atosigamiento de los lugares interesantes para visitar, que llevan el turismo casi a su absurdo, salvo para gente con un instinto gregario mayor que el del común de las personas. El turismo es, a la vez, uno de los causantes y una de las víctimas de la desacralización de la naturaleza, de su lenta destrucción, de la asimilación de todos los pueblos a una sociedad globalizada – aunque algunos pueblos son sus víctimas y otros los victimarios. Ya no quedan lugares en la Tierra que no han sido hollados y contaminados. También los hay en que es peligroso atreverse a entrar. Ello se debe a la violencia artificial del narcotráfico o la desesperación por la exclusión social de una proporción creciente de la población humana, o por el rechazo creciente a una civilización occidental depredadora y desculturizante.

Unas palabras todavía sobre el “turismo social”. Algunos países – entre ellos, el nuestro – tienen programas en los cuales los Gobiernos financian viajes de niños de baja condición social a diversos lugares turísticos, para que puedan disfrutar de unos días de playa o de otro ambiente muy diferente de aquél en el que desarrolla su vida diaria. Tal vez esos viajes sean la única vez que tengan la oportunidad de ver algo diferente de lo acostumbrado. Si ello despierta en ellos alegría, anhelos de distancia o rencores contra los que pueden hacer tales viajes con regularidad, es una pregunta cuya respuesta es individual.

El impacto económico del turismo a escala mundial es cada vez más importante. El turismo – típico integrante del sector terciario de la economía – mueve cerca de 1000 millones de personas por año, y un billón (1012) de dólares en los últimos años, a pesar de la crisis económica mundial. En Latinoamérica, el país más visitado es México, con 22 millones de turistas en 2010, y también la Argentina se ha incorporado a la lista de destinos del turismo internacional y recibe 5 millones de turistas por año. Estas cifras no incluyen el muy importante turismo interno, que se manifiesta sobre todo por la fuga de los habitantes de Buenos Aires, que abandonan su ciudad cada vez que pueden.

El turismo, en todo caso, contribuye positivamente al PBI y a la balanza de pagos. Además, el turismo es una fuente importante de puestos de trabajo – con las limitaciones señaladas más arriba. En resumen, el turismo es una actividad económica más: produce ingresos, pero a costas del deterioro de lugares poco hollados y el atosigamiento de los lugares más visitados.

Aspectos positivos económicamente y negativos desde el punto ambiental – aunque, por

supuesto, no tan negativos como otras industrias. Pero no debemos creer que el turismo sea neutro desde el punto de vista ambiental, ni que el mentado “contacto con la naturaleza” sea el éxtasis místico de encuentro con Gea, la diosa de la Tierra que su nombre invoca. Es una importante actividad económica – cada vez más importante, aún para países como el nuestro, tan alejado geográficamente de las zonas más pobladas y más afluyentes. Y es un cambio temporáneo de hábitat de los que pueden costearlo.

Y a todos nos gusta conocer lugares nuevos, famosos o exóticos...



## BIBLIOGRAFÍA

- **Adam B. 1998.** *Timescapes of modernity*. The environmental and invisible hazards. Routledge, Londres & Nueva York
- **Aizen MA, Garibaldi LA & Dondo M. 2009.** Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral* 19: 45-54
- **Altieri MA. 1992.** *Agroecología*. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo
- **Altieri MA. 1999.** Agricultura tradicional y la conservación de la biodiversidad. P 71-84 En: Mateucci SD, Solbrig OT, Morello J & Halffter G (Eds) Biodiversidad y Uso de la Tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Eudeba, Buenos Aires
- **Alvarado P. 2011.** *Producción de carne en Argentina*. <http://www.vet.unicen.edu.ar/html/Areas/Materia%20prima%20agroindustrial/2011/Produccion%20de%20carne%20en%20Argentina%20MPA%202011.pdf>.
- **Angelescu V & Prenski B. 1987.** Ecología trófica de la merluza común del Mar Argentino (Merlucidae, *Merluccius hubbsi*). Parte 2. Dinámica de la alimentación analizada sobre la base de las condiciones ambientales, la estructura y las evaluaciones de los efectivos en su área de distribución. Contribuciones INIDEP N° 561: 205 p
- **Aprile G & Chicco D. 1999.** Nueva especie exótica de mamífero en la Argentina: la ardilla de vientre rojo (*Callosciurus erythraeus*). *Mastozoología Neotropical* 6: 7-14
- **Aramendia P, Fernández Prini R & Gordillo G. 1995.** ¿Buenos aires en Buenos Aires? *Ciencia Hoy*, 6 (31): 55-64
- **Arturi MF, Frangi JL & Goya JF (Eds). 2004.** *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*. EDULP (Editorial Universidad Nacional de La Plata). Prefacio+ Prólogo+ 20 Capítulos+ Presentación Multimedia. ISBN 950-34-0307-3 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>
- **Aschero C. 1988.** *Pinturas rupestres, actividades y recursos naturales: un encuadre arqueológico*. Arqueología Contemporánea Argentina, actualidad y perspectivas. Editorial Búsqueda, Buenos Aires
- **Bakun A. 1996.** *Patterns in the Ocean. Ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México: 323 p
- **Barbosa P. & Benrey D. 1998.** *The influence of plants on insect parasitoids: implications for conservation biological control*. En: Barbosa P (Ed) Conservation Biological Control. Academic Press, San Diego, Ca: 396 p
- **Barragán H (Ed.) 2010.** *Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales*. Editorial de la UNLP (EduLP), La Plata: 524 p

- **Barsky O. 1991.** *El desarrollo agropecuario pampeano.* Grupo Editor Latinoamericano SRL Buenos Aires: 799 p
- **Base de Datos sobre Especies Invasoras. 2012.** *Base de Datos sobre Especies Invasoras. I3N-Argentina.* Universidad Nacional del Sur. Consultado el: 20/04/2012 en [www.inbiar.org.ar](http://www.inbiar.org.ar).
- **Begon M, Harper JL & Townsend CR. 1997.** *Ecología, Individuos, Poblaciones y Comunidades.* Omega, Barcelona
- **Begon M, Harper JL & Townsend CR. 1996.** *Ecology.* 3ra. edición. Blackwell Science, Oxford. Reino Unido
- **Bell B & Morse S. 2008.** *Sustainability Indicators: measuring the immeasurable? (Indicadores de sustentabilidad: ¿midiendo lo inmedible?).* Second edition. Earthscan Publications Ltd, Londres
- **Bellomo C, Nudelman JM, Kwaszka R, Vazquez G, Cantoni, G, Weinzettel B, Larriue E & Padula P. 2009.** Expansión geográfica del síndrome pulmonar por hantavirus en la Argentina: Informe del caso más austral. *Medicina (Buenos Aires)* 69: 647–650
- **Bellows TS & Fisher TW (Eds). 1999.** *Handbook of biological control. Principles and applications of biological control.* Academic Press: 1046 p
- **Benachour N & Seralini GE. 2009.** Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chemical Research Toxicology* 22: 97-105
- **Benamú MA, Schneider MI & Sánchez Ne. 2010.** Effects of the herbicide glyphosate on biological attributes of *Alpaida veniliae* (Araneae, Araneidae), in laboratory. *Chemosphere* 78: 871–876
- **Benítez VV, Gozzi Ac, Borgnia M, Almada Chávez S, Messetta MI, Clos Clos G & Guichón MI. 2010.** La ardilla de vientre rojo en Argentina: investigación y educación, puntos clave para el manejo de una especie invasora. P 255-260 En: *Invasiones Biológicas: avances 2009.* G.E.I.B. Serie Técnica N°4. Imprenta El Ejido, León, España
- **Bergquist A, Carpenter S & Latino J. 1985.** Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages. *Limnology and Oceanography*, 30: 1037-1045
- **Berryman AA. 1991.** Can economic forces cause ecological chaos? The case of the northern California Dungeness crab fishery. *Oikos* 62(1): 106-109
- **Bertolino S & Genovesi P. 2003.** Spread and attempted eradication of the grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) in Italy, and consequences for the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in Eurasia. *Biological Conservation* 109: 351-358
- **Bi Z, Formenty PBH & Roth CE. 2008.** Hantavirus infection: a review and global update. *Journal of infection in developing countries* 2: 3-23
- **Bigler F, Babendreier D & Kuhlmann V (eds). 2006.** *Environmental impact of invertebrates for biological control of arthropods: methods and risk management.* CABI Wallingford, Reino Unido
- **Bilenca D, Codesido M & González Fischer C. 2008.** Cambios en la fauna pampeana. *Ciencia Hoy*, 18(108): 8-17

- **Bilenca D, Codesido M, González Fischer C & Pérez Carusi L. 2009.** *Impactos Ambientales de la actividad agropecuaria sobre la biodiversidad en la ER Pampeana*. Ediciones INTA, Buenos Aires
- **Bilenca Dn, González-Fischer Cm, Teta P & Zamero M. 2007.** Agricultural intensification and small mammal assemblages in agroecosystems of the Rolling Pampas, central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 371-375
- **Bilenca DN & Miñarro Fo. 2004.** *Identificación de áreas valiosas de pastizal (AVPs) en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires
- **Bilenca DN & Kechichian G K de. 1999.** *Ecología Urbana y Rural*. Ediciones Santillana, Buenos Aires
- **Birdlife International. 2000.** *Threatened birds of the world*. Lynx Editions and BirdLife International, Barcelona, Spain and Cambridge, UK
- **Blackie P, Cannon T, David I & Wisner B. 1996.** *Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres*. La Red, Lima, Perú
- **Blanco D & Méndez F. 2010.** *Endicamientos y terraplén en el Delta del Paraná: Situación, efectos ambientales y marco jurídico*. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, Buenos Aires: 104 p
- **Bonfils C. 1962.** Los suelos del Delta del río Paraná “Factores generadores, clasificación y uso”. *Revista de Investigaciones Agrícolas (Argentina)* 16(3): 257-370
- **Brailovsky A E (Comp). 1987.** *Introducción al estudio de los recursos naturales*. EUDEBA, Buenos Aires
- **Brailovsky A E. 1988.** *El negocio de envenenar*. Editorial Fraterna, Buenos Aires
- **Brailovsky A E & D Foguelman. 1991.** *Memoria verde. Historia ecológica de la Argentina*, Editorial Sudamericana, Buenos Aires
- **Brailovsky A E. 1992.** *La ecología y el futuro de la Argentina*, Editorial Planeta Tierra, Buenos Aires
- **Brailovsky A E. 2005.** *Ecología en la biblia*. Editorial Milá, Buenos Aires.
- **Brinson M M, Hauer R H, Lee L C, Nutter W L, Rheinhardt R D, Smith D, Whigham D. 1995.** *A guidebook for application of assessments to riverine wetlands hydrogeomorphic*. Us Army Corps Of Engineers, Washington Dc
- **Brodeur J & Boivin G. 2006.** *Trophic and guild interactions in biological control*. Springer, Dordrecht, The Netherlands: 249 p
- **Brown A. 2009.** *Bosques Nativos de Argentina* <http://www.proyungas.org.ar/publicaciones/pdf/cartillabosquesnativos.pdf>
- **Burkart A. 1969.** *Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina) II Gramíneas*. Colección Científica VI. II Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires: 551 p
- **Burkart A. 1975.** Evolution of grasses and grassland in South America. *Taxon* 24: 53-66
- **Busch M, Cavia R, Carbajo A et al. 2004.** Spatial and temporal analysis of the distribution of Hantavirus Pulmonary Syndrome (HPS) in Buenos Aires Province, and its relation to rodent distribution, agricultural and demographic variables. *Tropical Medicine & International Health* 9: 508-519

- **Cabrera A. 1971.** Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica* 14(1-2): 42
- **Cabrera A. 1976.** Regiones fitogeográficas argentinas. En: *Enciclopedia Argentina Agricultura y Jardinería* 2(1): 1-85
- **Cabrera A L. 1968.** Vegetación de la Provincia de Buenos Aires. P 110-126 En: *Flora de la Provincia de Buenos Aires. I. Colección Científica IV, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires*
- **Caldeira K & Wickett ME. 2005.** Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. *Journal Geophysical Research* 110: 1-12
- **Campbell B. 1985.** *Ecología humana*. Salvat Editores SA, Barcelona
- **Canevari P & Fernández Balboa C. 2003.** *100 Mamíferos argentinos*. Editorial Albatros, Buenos Aires: 160 p
- **Calzada J. 2012.** Argentina como productor y exportador de granos. Bolsa de Cereales de Rosario <http://www.bcr.com.ar/Programa%20de%20Formacin/Argentina%20y%20la%20producci%C3%B3n%20de%20Granos%20Mayo%202012.pdf>.
- **Carbajo AE, María B & Isabel CS. 2007.** Modelado de la distribución geográfica del Síndrome Pulmonar por Hantavirus en la República Argentina. *Contribuciones Científicas GAEA* 19, 12
- **Carballo C (Dir). 2004.** Estudios sobre los territorios urbanos. Buenos Aires, Avances de Investigación, n° 2. Departamento de Ciencias Sociales, División Geografía, Universidad Nacional de Luján
- **Carballo C & Batalla M. 2012.** Ciudad vulnerable: desigualdad urbana y cementerios privados en el Aglomerado Metropolitano de Buenos Aires. En: Varela B (Coord) *Metrópolis: dinámicas urbanas*. Universidad Autónoma de Madrid – Universidad Nacional de Luján
- **Caridi A & Kreiner A J. 1988.** Plomo en la Atmósfera. *Ciencia Hoy*, 1(1): 8
- **Carlomagno M, Cura E, Perez, A & Segura E. 1989.** Informe sobre chagas. *Ciencia Hoy*, 1 (2): 36 - 44
- **Carrasco AE, Sánchez NE & Tamagno LE. 2012.** *Modelo agrícola e impacto socio-ambiental en la Argentina: monocultivo y agronegocios*. Primera edición electrónica, AUGM-Comité de Medio Ambiente, La Plata [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24722/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24722/Documento_completo_.pdf?sequence=3)
- **Carson R. 1962.** *Silent spring*. Houghton Mifflin, Boston
- **Casas G & Schwindt E. 2008.** Un alga japonesa en la costa Patagónica. *Ciencia Hoy* 18 (107): 31-39
- **Cassini G & Guichón ML. 2009.** Variaciones morfológicas y diagnosis de la ardilla de vientre rojo, *Callosciurus erythraeus* (Pallas, 1779), en Argentina. *Mastozoología Neotropical* 16: 39-47
- **Castro SA, Marone L & Jaksic FM. 2007.** Invasiones. Capítulo 13 En: Jaksic FM & Marone L (eds) *Ecología de comunidades*. 2da edición. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago

- **Castro JA. 1982.** Efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos del arsénico. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 16(1): 3-17
- **Catalano EF. 1977.** *Teoría general de los recursos naturales*. Victor P de Zavalía Editor, Buenos Aires
- **Catoggio JA. 1993.** Impacto Ambiental y sus Consecuencias: Patología del Ambiente. P 287-304 En: Goin F & Goñi R (Eds) *Elementos de Política Ambiental*. H. Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires
- **Cauble K & Wagner R. 2005.** Sublethal effects of the herbicide glyphosate on amphibian metamorphosis and development. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology* 75: 429–435
- **Ceballos D, Frangi J & Jobbágy E. 2012.** Soil volume and carbon storage shifts in drained and afforested wetlands of the Parana River Delta. *Biogeochemistry*, DOI 10.1007/s10533-012-9731-2.
- **Chaneton EJ. 2006.** Impacto ecológico de las perturbaciones naturales. Las inundaciones en pastizales pampeanos. *Ciencia Hoy* 16: 18-32
- **Chebataroff J. 1969.** Rasgos fitogeográficos del Uruguay. En: Tálce R & Chebataroff J (ed) *Geografía de la vida*. Nuestra Tierra 40, Montevideo
- **Cheung W, Lam V, Sarmiento J, Kearney K, Watson R, Zeller D & Pauly D. 2010.** Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology* 16, 24–35
- **Chuvieco E. 2008.** *Fundamentos de Teledelección Espacial*. Ediciones RIALP SA, Madrid, España
- **Ciampitti Ia & García FO. 2007.** Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales, Archivo Agronómico N° 11. *Informaciones Agronómicas* (Buenos Aires) 33: 13-16
- **Clark C. 1976.** *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable natural resources*. John Wiley & Sons, Nueva York
- **Clewell A E. 2000.** Restoration of natural capital. *Restoration Ecology*, 8 (1): 1
- **Clichevsky N (Ed). 2002.** *Tierra vacante en ciudades latinoamericanas*. Lincoln Institute of Land Policy, Buenos Aires
- **Clichevsky N. 1996.** *Política social urbana*. Espacio Editorial, Buenos Aires
- **Clichevsky N. 2003.** Cambios en el espacio metropolitano. En: *La cuestión urbana en los noventa en la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Instituto del conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento (ICO/UNIGS)
- **CMAD (Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo). 1987.** *Nuestro futuro común*. Oxford University Press, Oxford
- **Colectivo Voces de Alerta. 2011.** *15 mitos y realidades de la minería transnacional en la Argentina. Guía para desmontar el imaginario prominerero*. Editorial El Colectivo y Ediciones Herramienta, Buenos Aires
- **Colinvaux PA, 1980.** *Introducción a la Ecología*. Editorial Limusa, México
- **Connell JM. 1975.** Some mechanisms producing structure in natural communities: a

model and evidence from field experiments. En: Cody ML & Diamond J (eds) *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts

• **Cory JS & Myers JH. 2000.** Direct and indirect ecological effects of biological control. *TREE* 15: 137-139

• **Codesido M, González-Fischer Cm & Bilenca Dn. 2011.** Distributional changes of landbird species in agroecosystems of Central Argentina. *The Condor* 113: 266–273

• **Codesido M & Bilenca Dn. 2011.** Los pastizales y el servicio de soporte de la biodiversidad: Respuesta de la riqueza de aves terrestres a los usos de la tierra en la provincia de Buenos Aires. P 511-526 En: Lathera, P, Jobbágy E & Paruelo J. (eds) *Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, Herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA, Buenos Aires

• **Coupe RH, Kalkhoff SJ, Capel PD & Gregoire C. 2012.** Fate and transport of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters of agricultural basins. *Pest Management Science* 68: 16–30

• **Crisci J. 2000.** [http://www.anav.org.ar/trabajos\\_publicados/9/crisci.pdf](http://www.anav.org.ar/trabajos_publicados/9/crisci.pdf)

• **Crisci J & Morrone J. 1994.** La sistemática y la crisis de la biodiversidad. *Revista Museo (La Plata)* 1(4): 17 – 21

• **Crisci J, Morrone J & Lanteri A. 1993.** El valor de la diversidad biológica: un enfoque holístico. P 353-360 En: Goin F & Goñi R (eds) *Elementos de Política Ambiental*. H. Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires

• **Cueto GR, Cavia R, Bellomo C, Padula P J & Suárez OV. 2008.** Prevalence of hantavirus infection in wild *Rattus norvegicus* and *R. rattus* populations of Buenos Aires City, Argentina. *Tropical Medicine & International Health* 13: 46-51

• **Dale V H, Brown S, Haueber RA, Hobbs NT, Huntly N, Naiman R J, Riebsame WE, Turner MG & Valone T J. 2000.** Ecological principles and guidelines for managing the use of land. *Ecological Applications* 10: 639-670

• **Daly HE. 1990.** Toward some operational principles of sustainable development (Hacia algunos principios operativos de desarrollo sustentable). *Ecological Economics* 2(1): 1-6

• **Damborenea MC & Darrigran G. 2002.** Un sudamericano invade Asia. *Ciencia Hoy*, 11 (66): 24-30

• **Darrigran G & Darrigran J. 2001.** El mejillón dorado: una obstinada especie invasora. *Ciencia Hoy*, 11 (61): 20-23

• **Davis K. 1976.** Las primeras ciudades: ¿Cómo y por qué surgieron? En: La ciudad: su origen, crecimiento e impacto en el hombre. *Selecciones de Scientific American*. Editorial Blume, Madrid

• **De Rosnay J. 1970.** *Orígenes de la vida*. Editorial Martínez Roca, Barcelona

• **De Rosnay J. 1977.** *El macroscopio*. Editorial A. C., Madrid

• **Degremont. 1979.** *Manual Técnico del Agua*. 4ª ed. Editorial Degremont, Bilbao

• **Demaría Mr, Mcshea Wj, Koy K & Maceira No. 2003.** Pampas deer conservation with respect to habitat loss and protected area considerations in San Luis, Argentina. *Biological Conservation*, 115: 121-130

- **Denboer PJ. 1985.** Exclusión, competición or coexistence? A question of testing right hypotheses. *Sonderdruck aus Z. f. zool. Systematik u. Evolutionforschung*, 23: 259 - 274
- **Di Giacomo As, De Francesco V & Coconier Eg. 2007.** *Áreas importantes para la conservación de las aves en la Argentina*. DVD- ROM. Buenos Aires: Aves Argentinas & Asociación Ornitológica del Plata.
- **Di Giacomo AS & Lopez De Casenave J. 2010.** Use and importance of crop and field-margin habitats for birds in a Neotropical agricultural ecosystem. *The Condor* 112: 283-293
- **Diaz Lazaro-Carrasco JA. 1988.** *Depuración de Aguas Residuales*. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. M.O.P.U., Madrid
- **Dickson AG, Sabine CL, & Christian JR (eds). 2007.** *Guide to Best Practices for Ocean CO2 Measurements*. PICES Special Publication 3: 191 p
- **Doney SC, Fabry VJ, Feely RA & Kleypas JA. 2009.** Ocean acidification: the other CO2 problem. *Annual Review of Marine Science* 1: 169-192
- **Dpf –Minagri. 2011.** *Plantaciones forestales en las islas del Delta del Paraná*. INTA, Buenos Aires, Argentina: 4 p.
- **Duffus JH. 1983.** *Toxicología ambiental*. Ediciones Omega, Barcelona: 173 p
- **Duvigneaud P. 1978.** *La síntesis ecológica*. Editorial Alhambra, Madrid
- **Ehrenfeld J G. 2000.** Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8 (1): 2-9
- **Ehrlich P & Ehrlich A. 1975.** *Población, recursos y medio ambiente*. Editorial Omega, España
- **Eliano P, Badinier C & Malizia L. 2009.** *Manejo Forestal Sustentable en Yungas*. Ediciones del Subtrópico: 101 p
- **Engel A, Thoms S, Riebesell U, Rochelle-Newall E & Zondervan I. 2004.** Polysaccharide aggregation as a potential sink of marine dissolved organic carbon. *Nature* 428: 929–932.
- **Engel A. 2002.** Direct relationship between CO2 uptake and the transparent exopolymer particles production in natural phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24: 49–53
- **Enría D, Padula PJ, Segura EL, Pini NC, Edelstein A, Riva Posse C & Weissenbacher MC. 1996.** Hantavirus Pulmonary Syndrome possibility of person- to person transmission. *Medicina* 56: 709- 711
- **Escobar A. 2001.** Culture sits in places: reflections on globalism and subaltern strategies of localization (La cultura se asienta en lugares: reflexiones sobre globalización y estrategias subalternas de localización). *Political Geography* 20: 139-174
- **European Comission. 2011.** En: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product\\_details/publication?p\\_product\\_code=KS-31-11-224](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publication?p_product_code=KS-31-11-224).
- **Facelli JM & León Rjc. 1986.** El Establecimiento Espontáneo de Árboles en La Pampa. *Phytocoenologia* (Berlin) 14: 263-374
- **FAO. 2003.** *La ordenación pesquera. 2. El enfoque de ecosistemas en la pesca*. FAO Roma, Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 4 (Supl. 2): 133 p

- **FAO. 2004-2011.** *Perfiles sobre la pesca y la acuicultura por países.* Argentina. En: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 2004.
- **FAO. 2010.** *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010.* Roma: 219 p
- **Fernández MA (Comp). 1996.** *Ciudades en Riesgo.* LA RED, Lima
- **Ferreira GA, Demers S, del Gioglio P, & Chanut J. 1997.** Physiological Responses of Natural Plankton Communities to Ultraviolet-B Radiation in Redberry Lake) Saskatchewan, Canada. *Canadian.J.Aquatic Science* 54: 705-714
- **Field CB, Behrenfield MJ, Randerson JT & Falkowski P. 1998.** Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281:237–240
- **Fraga R. 1997.** La categorización de las aves Argentinas. P 155-219 En: Fernández JJG, Ojeda RA, Fraga RM, Díaz GB & Baigún RJ (comp) *Libro rojo de mamíferos y aves amenazados de la Argentina.* FUCEMA y Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires: 221 p
- **Frangi J. 1993.** Ecología y ambiente. P 225-260 En: Goin F & Goñi R. (eds) *Elementos de Política Ambiental.* H. Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires
- **Galeano E. 1979.** *Las venas abiertas de América Latina.* México, Siglo XXI Editores.
- **García-Llorente M, Martín-López B, González JA, Alcorlo P & Montes C. 2008.** Social perceptions of the impacts and benefits of invasive alien species: implications for management. *Biological Conservation* 141:2969-2983.
- **Gause G F. 1934.** *The struggle for coexistence.* Baltimore, Williams & Williams Co, New York.
- **Gazia NM, Damascos MA & Gallopin GC. 1985.** Aprovechamiento de ecosistemas y recursos naturales renovables en América Latina: estudios de casos. Textos para la discusión. Bariloche, Fundación Bariloche/02.
- **Gebhardt S, Fleige H & Horn R. 2010.** Shrinkage processes of a drained riparian peatland with subsidence morphology, *J. Soil Sediments*, 10(3): 484-493
- **Ghersa CM & Ghersa MA. 1990.** Cambios ecológicos en los agroecosistemas de la Pampa Ondulada. Efectos de la introducción de la soja. *Ciencia e Investigación*, 5: 182-188
- **Ghersa CM, Martinez-Ghersa MA & León RJC. 1998.** Cambios en el Paisaje pampeano y sus efectos sobre los sistemas de soporte de la vida. P 38-71 En: Solbrig O T & Vainesman L (comp) *Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa.* Harvard University David Rockefeller Center for Latin American Studies - Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica, Buenos Aires
- **Ghersa CM & León RJC. 1999.** Landscape changes induced by human activities in the rolling pampas grassland. People and Rangelands Building the Future. *Proceedings VI International Rangeland Congress* 2: 624-628
- **Ghersa CM & León RJC. 2001.** Ecología del paisaje pampeano: consideraciones para su manejo y conservación. En: Naveh Z & Lieberman AS (eds) *Ecología de Paisajes, Teoría y Aplicación.* Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires
- **Ghersa CM, De La Fuente EB, Suarez S & León RJC. 2002.** Woody species invasion in the Rolling Pampa grasslands, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:271-278.

- **Gligo N. & Morello J. 1980.** Notas sobre la historia ecológica de la América Latina. En: Sunkel O (comp) *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México.
- **Gluszczak L, Dos Santos Miron D, Crestani M, Braga Da Fonseca M, De Araujo Pedron F, Duarte MF & Pimentel Vieira L. 2006.** Effects of glyphosate herbicide on acetylcholinesterase activity and metabolic and hematological parameters in piava (*Leporinus obtusidens*). *Ecotox. Environ. Safety* 65: 237–241
- **Gómez N & Rodríguez Capítulo A. 1998.** Empleo de bioindicadores en el monitoreo de sistemas lóticos. Depto. de Postgrado. UNLP. La Plata.
- **Gómez N. 2003.** Las comunidades lóticas bioindicadoras. En: Dispersa DH (Ed) *Bentos regional argentino*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina
- **González AD, Janke & Rapoport E. 2003.** Valor nutricional de las malezas comestibles. *Ciencia Hoy*, 13 (76): 40-47
- **González-Fischer Cm, Codesido M, Teta P & Bilenca D. 2011.** Seasonal and geographic variation in the food habits of Barn Owls (*Tyto alba*) in temperate agroecosystems of Argentina. *Ornitología Neotropical* 22: 295–305
- **Gore R. 1997.** *Los orígenes del hombre. Primeros pasos*. National Geographic, edición especial, verano del 2002.
- **Gozzi AC, Guichón ML, Benitez VV & Lareschi M. 2012.** Arthropod parasites of the red-bellied squirrel *Callosciurus erythraeus* (Rodentia: Sciuridae) introduced into Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*: [DOI: 10.1111/j.1365-2915.2012.01052.x].
- **Greco N, Liljesthröm G & Sánchez N. 1999.** Spatial distribution and coincidence of *Neoseiulus californicus* and *Tetranychus urticae* (Acari : Phytoseiidae, Tetranychidae) on strawberry. *Experimental and Applied Acarology* 23: 567-580
- **Greco NM, Sánchez NE & Liljesthröm GG. 2005.** *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential control agent of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): effect of pest/predator ratio on the pest abundance on strawberry. *Experimental and Applied Acarology* 37: 57-66
- **Greco NM, Liljesthröm GG, Gugole Ottaviano MF, Cluigt N, Cingolani MF, Zembo JC & Sánchez NE. 2011.** Pest management plan for *Tetranychus urticae* based on the natural occurrence of *Neoseiulus californicus* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in strawberry. *International Journal of Pest Management*, 57 (4): 299-308
- **Greco NM, Tetzlaff GT. & Liljesthröm GG. 2004.** Presence-absence sampling for *Tetranychus urticae* and its predator *Neoseiulus californicus* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on strawberries in La Plata, Argentina. *Int. J. Pest Manag.* 50 (1): 23-27
- **Green RE, Cornell SJ, Scharlemann JPW & Balmford A. 2005.** Farming and the Fate of Wild Nature. *Science* 307: 550-555
- **Grosholz ED. 2005.** Recent biological invasion may hasten invasional meltdown by accelerating historical introductions. *Proceedings Natural Academy of Sciences* 12: 1088-1091
- **Gugole Ottaviano MF, Cédola C, Sánchez N & Greco N. 2010.** Conservation biological control of *Tetranychus urticae* by *Neoseiulus californicus* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in strawberry: The role of plant diversity. *Joint IOBC – Nearctic and Neotropic Regional Sections Conference*. Biocontrol in the Americas – Past, Present and Future. 11-13 May, Toronto, Canada

- **Guichón ML & Doncaster CP. 2008.** Invasion dynamics of an introduced squirrel in Argentina. *Ecography* 31:211–220
- **Guichón ML, Bello M & Fasola L. 2005.** Expansión poblacional de una especie introducida en la Argentina: la ardilla de vientre rojo *Callosciurus erythraeus*. *Mastozoología Neotropical* 12:189–197
- **Guichón ML, Benitez V, Borgnia M, Almada Chavez S, Gozzi C & Messetta ML. 2009.** Fauna exótica en Argentina: el caso de la ardilla de vientre rojo. P 143-153 En: Herrera A (ed.) *Ambiente Sustentable* Jornadas Interdisciplinarias CADJM, Editorial Orientación Gráfica, Buenos Aires, Argentina
- **Guijt I & Moiseev A. 2001.** *Resource kit for sustainability assessment (Instrumentos para la evaluación de la sustentabilidad)*, Parte A. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN): Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido
- **Häder DP & Worrest RC. 1991.** Effects of Enhanced Solar Ultra-Violet Radiation on Aquatic Ecosystems. *Photochem. Photobiol.* 53:717-725.
- **Haecken H. 1985.** *El secreto de los éxitos de la naturaleza*. Salvat Editores, Barcelona
- **Hajek A. 2004.** *Natural enemies. An introduction to biological control*. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 378 p
- **Halffter G, Morello J, Mateucci S & Solbrig O. 1999.** *La biodiversidad y el uso de la tierra*. P 17-29 En *Biodiversidad y uso de la tierra, conceptos y ejemplos de Latinoamérica*, Eudeba
- **Hardesty DL. 1979.** *Antropología Ecológica*. Ediciones Bellaterra SA, Barcelona
- **Helbling EW, Villafañe V, Ferrario M & Holm-Hansen O. 1992.** Impact of Natural Ultraviolet Radiation on Rates of Photosynthetic and on Specific Marine Phytoplankton Species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80: 89-100
- **Hernández E, Ferreyra GA & Mac Cormack WP. 2002.** Effect of Solar Radiation on Two Antarctic Marine Bacterial Strains. *Polar Biol.* 25: 453-459
- **Hilbert J. 1993.** *Manual para la producción de biogas*. Instituto de Ingeniería Rural. INTA Castelar, Buenos Aires.
- **Hilborn R. 2010.** Apocalypse Forestalled: Why All the World's Fisheries Aren't Collapsing. *The Science Chronicles* (Published by The Nature Conservancy). November 2010: 5-9 <http://www.conservationgateway.org/sites/default/files/Science%20Chronicles%202010-11.pdf>
- **Hjelle B & Torres-Pérez F. 2009.** Rodent-Borne Viruses. *Clinical Virology Manual* :641-658
- **Hokkanen HMT & Pimentel D. 1989.** New associations in biological control: Theory and practice. *Ca. Ent.* 121: 829-840
- **Holm E. 1988.** Environmental restraints and life strategies. An habitat template matrix. *Oecologia*, 75: 141-145
- **Holmen K. 2000.** The global carbon cycle. En: Jacobson MC, Charlson RJ, Rodhe H & Orians G (eds) *Earth system science: biogeochemical cycles to global change*. Elsevier, USA: 283 p
- **Hora R. 2008.** Dinastía de estancieros. Una descripción socio-política sobre los terratenientes argentinos. *Todo es Historia* 490: 66-76 [http://www.fao.org/fishery/countrysector/FI-CP\\_AR/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/FI-CP_AR/es)

- **Hurtado M., 1993.** El recurso suelo: su degradación. P 133-141 En Goin F & Goñi R (eds), *Elementos de Política Ambiental*. H. Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires
- **Hutchinson E. 1975.** *El teatro ecológico y el drama evolutivo*. Editorial Blume, Barcelona
- **Hutchinson E. 1981.** *Introducción a la ecología de poblaciones*. Editorial Blume, Barcelona
- **INTA-SAGyP. 1990.** *Atlas de Suelos de la República Argentina*. INTA, Buenos Aires
- **Iribarnegaray MA., Copa FR, Gatto D'Andrea ML, Arredondo MF, Cabral JD, Correa JJ, Liberal VI & Seghezzo L. 2012.** A comprehensive index to assess the sustainability of water and sanitation management systems in Salta, Argentina (Un índice integral para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de gestión del agua y el saneamiento en Salta, Argentina). *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 12(3): 205–222
- **Isacch Jp, Bo Ms, Maceira No, Demaría Mr & Peluc S. 2002.** Composition and seasonal changes of the bird community in the west pampa grasslands of Argentina. *Journal of Field Ornithology*, 74(1):59-65
- **Isacch Jp, Maceira No, Bo Ms, Demaría Mr & Peluc S. 2005.** Bird-habitat relationship in semi-arid natural grasslands and exotic pastures in the west pampas of Argentina. *Journal of Arid Environments* 62: 267-283
- **Izurieta R, Galwankar S & Clem A. 2008.** Leptospirosis: The “mysterious” mimic. *J Emerg Trauma Shock*. 2008 Jan-Jun; 1(1): 21–33.
- **Jacobo Ej, Rodríguez Am, Bartoloni N & Deregibus Va. 2006.** Rotational Grazing Effects on Rangeland Vegetation at a Farm Scale. *Rangeland Ecol. Manage.* 59: 249-257
- **Javna J, Javna S & Javna J. 2009.** *50 cosas sencillas que tu puedes hacer para salvar la tierra*. Ed. Integral, Barcelona
- **Jervis M. 2005.** *Insects as natural enemies. A practical perspective*. Springer, Dordrecht, The Netherlands: 748 p
- **Kaiser J. 2001.** NRC panel pokes holes in Everglades scheme. *Science*, 291(5506): 959-60
- **Kandus P. 1997.** *Análisis de patrones de vegetación a escala regional en el Bajo Delta bonaerense del río Paraná (Argentina)*. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires: 241 p
- **Kanti Bhattacharjee P & Khodadad Khan AFM. 1987.** On logistic model of population growth. Chittagonig University Studies, Part II: *Science*, II ( 1 & 2 ): 119-130
- **Kennedy RY & Islam N. 2001.** The current and potential of asymbiotic nitrogen fixation to nitrogen requirements on farms: a review. *Australian Journal Experimental Agriculture*, 41: 447-457
- **Keddy PA. 2010.** *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press, New York: 497 p
- **Keller RP, Geist J, Jeschke JM & Kühn I. 2011.** *Invasive species in Europe: ecology, status, and policy*. *Environmental Sciences Europe* 23: 23.
- **Keosian J. 1968.** *El origen de la vida*. Ed. Alhambra SA, Madrid

- **Koch OR, Cravero De Koch AAM & Farr SM. 1993.** Patología Humana y Medio Ambiente. P 673-691 En Goin F & Goñi R (eds), *Elementos de Política Ambiental*. H. Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires
- **Kravetz FO, Percich RE, Zuleta GA, Callelo MA & Weissenbacher MC. 1986.** Distribution of Junin virus and its reservoirs. A tool for Argentine Hemorrhagic Fever risk evaluation in non-endemic areas. *Interciencia* 11(4):185-188.
- **Kristensen MJ & Frangi JL. 1995.** Sierra de la Ventana: una isla de biodiversidad. *Ciencia Hoy*, 5(30): 25-34
- **Kormondy EJ. 1973.** *Conceptos de ecología*. Alianza Editorial, Madrid
- **Kraus A, Priemer C, Heider H, Krüger D & Ulrich R. 2005.** Inactivation of Hantaan virus-containing samples for subsequent investigations outside biosafety level 3 facilities. *Intervirology* 48, 255-261
- **Krom BS. 2009.** *La nueva minería sustentable*. Segunda edición. Editorial Estudio, Buenos Aires
- **Kuroki V, Almeida LF, Novaes AP, Magnoni Jr, Nogueira ARA, Souza GB & Silva WTL. 2009.** Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbico visando aplicação como fertilizante agrícola. *Anais do I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Uso dos Resíduos da Produção Animal como Fertilizante*. 11 a 13 de Março de 2009. Florianópolis, SC, Brasil
- **Lajmanovich Rc, Sandoval Mt & Peltzer Pm. 2003.** Induction of mortality and malformation in *Scinax nasicus* tadpoles exposed to glyphosate formulations. *Bull. Environ. Contam Toxicol.* 70(3): 612-618
- **Lal R. 2007.** Carbon management in agricultural soils. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change J.*, 12: 303-322
- **Landis D.A, Wratten SD & Gurr GM. 2000.** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 175-201
- **Lázaro ME, Cantoni GE, Calanni LM, Resa AJ, Herrero ER, Iacono MA & González Cappa EL. 2007.** Clusters of hantavirus infection, southern Argentina. *Emerging Infectious Diseases* 13: 104
- **Lazaro ME, Resa AJ, Barclay, Calanni L, Amengo L, Martínez L, Padula PJ, Pini N, Lasala MB, Elsner B & Enría DA. 2000.** Síndrome pulmonar por hantavirus en el sur andino argentino. *Medicina* (Buenos Aires) 60: 289-301
- **Lemos Chernicharo C. 1997.** *Principios do tratamento biológico de águas residuária*. Vol 5. Reatores anaerobios. Departamento de Engenharias Sanitária e Ambiental. UFMG, Belo Horizonte, Brasil
- **León RJC, Burkart S & Movia CP. 1979.** *La vegetación de la República Argentina. Relevamiento fitosociológico del pastizal del norte de la Depresión del Salado (Partido de Magdalena y Brandsen, prov. de Bs.As.)*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Serie Fotogeográfica 17: 11-93
- **León RJC, Rusch GM & Oesterheld M. 1984.** Los pastizales pampeanos, impacto agropecuario. *Phytocoenología* 12(2/3): 201-218
- **Letourneau D K. 1998.** Conservation biology: lessons from conserving natural enemies. En: Barbosa P (ed). *Conservation Biological Control*. Academic, San Diego, CA: 396 p

- **Lichteinstein G. 2006.** Manejo de vicuñas en cautiverio: El modelo de criaderos del CEA INTA Abrapampa (Argentina). En: Vilá BL (ed) *Investigación, Conservación y manejo de vicuñas*. Proyecto MACS-Buenos Aires, Argentina: 133-146 p
- **Lichteinstein G. 2010.** Comercialización de la fibra de vicuña en los países andinos: hacia una estrategia conjunta. Consultoría FAO.
- **Lizarralde M S & Escobar J M. 2000.** Mamíferos exóticos en la Tierra del fuego. *Ciencia Hoy*, 10 (56): 52-63
- **Lugo AE & Morris GL. 1982.** *Los sistemas ecológicos y la humanidad*. Monografía N° 23, Serie Biología, OEA, Washington
- **MAB. 1981.** Un enfoque ecológico integral para el estudio de los asentamientos humanos. *Notas técnicas del MAB*, 12, UNESCO.
- **MacArthur RH & Wilson EO. 1967.** *The theory of island biogeography*. Princeton University Press
- **Mac Cormack WP & Ruberto LA. 2003.** Eliminación de hidrocarburos en la Antártida. *Ciencia Hoy*, 13 (77): 40-47.
- **Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans H, Cunniff M & Bazzaz FA. 2000.** Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10:689-710
- **MacVean C. 1992.** Control biológico: ciencia y conciencia. En: Memoria del IV Congreso Internacional De Manejo Integrado De Plagas, Ceiba (Honduras) : 20-24
- **Maltby E & Acreman MC. 2011.** Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal* 56: 1341-1359
- **Malvárez AI. 1997.** *Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones del paisaje*. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires: 167 p
- **Maiztegui J. 1971.** *Clinical and epidemiological patterns of Argentine haemorrhagic fever*. *Bulletin of the World Health Organization* 52: 567
- **Manzoni GC, Grützmacher AD, Pinheiro Giolo F, Da Roza Härter W & Gomez I. 1973.** Caracterización estructural de poblaciones de vinal (*Prosopis ruscifolia* Gris.) *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, INTA, 2 (Vol. X, N° 4): 143-150
- **Marder M, Wasowski C & Paladini AC. 2001.** Las plantas productoras de drogas farmacéuticas. *Ciencia Hoy*, 11 (5): 12-19
- **Margalef R. 1967.** El ecosistema. En: *Ecología marina*. Fundación La Salle, Caracas
- **Margalef R. 1974.** *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona
- **Margalef R. 1980.** *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Ed. Omega, Barcelona
- **Margalef R. 1981.** *Ecología*. Editorial Planeta SA, Barcelona
- **Margalef R. 1984.** *Energía*. CECSA, México
- **Margalef R. 1991.** *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona
- **Margalef R. 1992.** *Planeta Azul, Planeta Verde*. Biblioteca Scientific American. Prensa Científica SA, Barcelona

- **Margulis L & Sagan D. 1995.** *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores, Barcelona
- **Martinez-Alier J. 2011.** Justicia ambiental y el decrecimiento económico. Una alianza entre dos movimientos. *Ecología Política. Cuadernos de debate internacional*. Icaria Editorial, Barcelona: 45-56
- **Martínez -Ghersa Ma & Ghersa Cm. 2005.** Consecuencias de los recientes cambios agrícolas. *Ciencia Hoy* 15: 37.45.
- **Martínez VP, Bellomo CM , Cacace ML , Suárez P, Bogni L y Padula PJ. 2010.** hantavirus pulmonary syndrome in Argentina, 1995–2008. *Emerging Infectious Diseases* 16: 8
- **Maskrey A. 1994.** Comunidad y Desastres en América Latina: Estrategias de Intervención. En: Llavell A (ed) *Al Norte del Río Grande*, LA RED, Lima
- **Mason CF. 1884.** *Biología de la contaminación de agua dulce*. Ed. Alhambra, Madrid
- **Massel S. 1999.** *Fluid mechanics for marine ecologists*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, Germany: 566 p
- **Max-Neef M, Elizalde A & Hopenhayn M. 1986.** *Desarrollo a escala humana. Una opción para el futuro*. Cepaur, Fundación Dag Hammarsjold.
- **May RM. 1976.** Patterns in MultiSpecies Communities. En: *Theoretical Ecology: Principles and applications*. Segunda edición. G.B. Saunders, Filadelfia y Toronto
- **Mazia CN, Chaneton EJ, Ghersa CM & León RJC. 2001.** Limits to tree species invasion in pampean grassland and forest plant communities. *Oecologia* 128: 594-602
- **Mazzotta F, Fernández O, Díaz R, Sinópoli C & Rolando A. 1994.** *Consideraciones y metodología para el ensayo de motores de ciclo Otto a biogás*, III Taller Regional y Seminario Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”. Universidad de la República. Fac. de Ingeniería y de Química. Montevideo. Rep. Oriental del Uruguay
- **Mc Naughton SJ & Wolf L. 1984.** *Ecología General*. Ed. Omega, Barcelona
- **Meerburg BG & Kijlstra A. 2007.** Role of rodents in transmission of Salmonella and Campylobacter. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 2774-2781
- **Mills JN, Ellis BA, McKee KT, Jr, Calderon GE, Maiztegui JI, Nelson GO, Ksiazek TG, Peters CJ, Childs JE.** The American Journal Of Tropical Medicine And Hygiene 47: 749
- **Miñarro Fo & Bilenca Dn. 2008.** The conservation status of temperate grasslands in Central Argentina. Disponible en: [www.vidasilvestre.org.ar/descargables/pastizales/conservation\\_status\\_temperate\\_grasslands.pdf](http://www.vidasilvestre.org.ar/descargables/pastizales/conservation_status_temperate_grasslands.pdf)
- **Mirkin GA, Spatz L, González Cappa SM & Quintana M. 2000.** La esquistosomiasis: una de las enfermedades parásitas más difundidas en el mundo. *Ciencia Hoy*, 10 (56): 30-41
- **Miyamoto A, Tamura N, Sugimura K & Yamada F. 2004.** Predicting habitat distribution of the alien Formosan Squirrel using logistic regression model. *Global Environmental Research* 8:13-21
- **Molina MJ & Rowland FS. 1974.** Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalysed Destruction of Ozone. *Nature*, 249, 810-812

- **Molina M. 1996.** Los clorofluocarbonos y el ozono estratosférico: un problema global. *Ciencia Hoy*, 6 (36): 51-61
- **Morello J. 2004.** Prólogo. **En: Arturi MF, Frangi JL & Goya JF (eds). 2004.** *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*. EDULP (Editorial Universidad Nacional de La Plata). Prefacio+ Prólogo+ 20 Capítulos+ Presentación Multimedia. ISBN 950-34-0307-3 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>
- **Morello J. 1970.** Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco Argentino. *IDIA* 276: 31-52.
- **Morello J, Buzai G, Baxendale C, Rodríguez AF, Mateucci S, Godagnone R & Casas R. 2000.** Urbanismo y consumo de tierra fértil. *Ciencia Hoy*, 10 (55): 50-62
- **Muñoz Pedreros A, Rutherford P & Gil C . 2007.** Mapas de riesgo para Hantavirus en el Parque Nacional Conguillío, sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 363-379
- **Murdoch WW & Briggs CJ. 1996.** Theory for biological control: recent developments. *Ecology*, 77: 2001-2013
- **Murphy M, Laiho R & Moore TR. 2009.** Effects of water table drawdown on root production and aboveground biomass in a boreal bog. *Ecosystems*, 12(8): 1268-1282
- **Murrell KD & Pozio E. 2011.** **Worldwide occurrence and impact of human trichinellosis, 1986–2009.** *Emerg Infect Dis* 17: 2194-2202
- **Musset A. 2010.** Sociedad equitativa, ciudad justa y utopía. En: *Ciudad, sociedad, justicia: un enfoque espacial y cultural*. Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata
- **Nabhan GP & Buchmann SL. 1997.** Services provided by pollinators. En: Daily G (ed) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC: 133-150
- **Naylor RL & Ehrlich PR. 1997.** Natural pest control service and agriculture. En: Daily G (ed) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC: 151-176
- **Nelissen N, Van Der Straaten J & Klinkers L (ed). 1997.** *Classics in environmental studies*. An overview of classic texts in environmental studies. International Books, Utrecht
- **Nicholls CI, Altieri MA & Parrella M. 2001.** Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas CEIBA. 33 (3) Parte A. Honduras. Effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern Californian organic vineyard. En: Holanda Landscape *Ecology*, 16 (1): 133-146.
- **Nosetto MD, Jobbagy EG & Paruelo JM. 2006.** Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 67: 142-156
- **Novillo A & Ojeda RA. 2008.** The exotic mammals of Argentina. *Biological Invasions* 10: 1333-1344
- **Odum EP. 1972.** *Ecología*. Tercera edición. Nueva Editorial Interamericana, México
- **Odum EP. 1981.** *Ecología*. CECSA, México

- **Odum HT & Odum EG. 1981.** *Hombre y naturaleza. Bases energéticas.* Ed. Omega, Barcelona
- **Odum HT. 1980.** *Ambiente, energía y sociedad.* Editorial Blume, Barcelona
- **Oficina Regional Para la América Latina y el Caribe. FAO. 1984.** *Reciclaje de materias orgánicas y biogás. Una experiencia en China.* Chengdú, China
- **Olden JD, Poff NL, Douglas MR, Douglas ME & Fausch KD. 2004.** Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 18-24
- **Olivier SR. 1981.** *Ecología y subdesarrollo en América Latina.* Segunda edición. Siglo XXI Editores SA, México
- **OMS. 2001.** On acetylcholinesterase activity and metabolic and hematological parameters in piava (*Leporinus obtusidens*). *Ecotox. Environ. Safety* 65: 237–241
- **ONU, Population Division. 2000.** The urban environment: facts and figures. UNEP *Industry and Environment*, 23 (1-2)
- **ONU, Programas de Desarrollo y Ambiente y Banco Mundial, 2000.** *World Resources 2000-2001, People and Ecosystems.* Elsevier, Oxford, UK
- Oparín S. 1968. *El origen y evolución de la vida.* Ed. Curie, Buenos Aires
- **Pace NR. 2001.** The Universal Nature of Biochemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 9 (3): 805-808
- **Paganelli A, Gnazzo V, Acosta H, López S & Carrasco Ea. 2010.** Glyphosate – Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by impairing Retinoic Acid Signalling. *Chem. Res. Toxicol.* 23 (10): 1586–1595
- **Parodi L. 1940.** *La Distribución Geográfica de los Talaes en la Provincia de Buenos Aires.* Darwiniana 4: 33-56
- **Parodi LR. 1947.** La estepa pampeana. La vegetación de la República Argentina. Geografía de la República Argentina. *An. Soc. Argent. Estud. Geogr.* 8: 143-207
- **Paruelo Jm, Guerschman Jp & Verón Sr. 2005.** Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15: 14-23
- **Paruelo Jm, Guerschman Jp, Piñeiro G, Jobbágy Eg, Verón Sr, Baldi G & Baeza S. 2006.** Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia (Uruguay)*. 10(2): 47 - 61
- **Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R & Torres Jr F. 1998.** Fishing down marine food webs. *Science*, 279: 860-863
- **Pereyra FP, Baumann V, Altinier V, Ferrer J & Tchilinguirian P. 2004.** Génesis de suelos y evolución del paisaje en el Delta del río Paraná. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2): 229-242
- **Perez Carusi LC, Beade Ms, Miñarro Fo, Vila Ar, Gimenez-Dixon M & Bilenca Dn. 2009.** Relaciones espaciales y numéricas entre venados de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus celer*) y chanchos cimarrones (*Sus scrofa*) en el Refugio de Vida Silvestre Bahía Samborombón, Argentina. *Ecología Austral*, 19: 63-71
- **Pérez GI, Torremorell A, Mugni H, Rodríguez P, Vera Ms, Do Nascimento M, Allende L, Bustingorry J, Escaray R, Ferraro M, Izaguirre I, Pizarro H,**

- Bonetto C, Morris Dp & Zagarese H. 2007.** Effects of the herbicide roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecological Applications* 17(8): 2310–2322
- **Pérez S I. 2012.** Origen y evolución de los humanos. *Ciencia hoy* 22(9): 22-30
- **Pérez-Coll CS, Herkovits J & Salibian A. 1985.** Efectos del cadmio sobre el desarrollo de un anfibio. *Arch. Biol. Med. Exper.*, 18: 33-39
- **Pérez C & Frangi JL. 2007.** Ciclos de macronutrientes en pastizales serranos de Sierra de la Ventana. *Ecología Austral* 17: 199-216
- **Pesson P (ed.). 1979.** *La contaminación de las aguas continentales*. Ed. Mundi Prensa. Madrid
- **Phillipson J. 1975.** *Ecología energética*. Ed. Omega, Barcelona
- **Pianka E. 1982.** *Ecología Evolutiva*. Ed. Omega, Barcelona
- **Piccolo A & Celano G. 1994.** Hydrogen-bonding interactions between the herbicide Glyphosate and water-soluble humic substances. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11: 1737-1741
- **Pilbeam D. 1997.** Research on Miocene Hominoids and Hominid origins: The last three decades. En: Gegun DR, Ward CV & Rose MD (Eds) *Function, Phylogeny, and fossils. Advances in Primatology Series*. Plenum Press, New York
- **Pimm SL. 1984.** The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307: 320-326
- **Pírez P(ed) 2009.** Buenos Aires, la formación del presente. *Colección Ciudades N°2*. Olacchi, Quito: 139-166
- **Ponting C. 1992.** *Historia verde del mundo*. Ed. Paidós, Barcelona
- **Pozio E. 2000.** Factors affecting the flow among domestic, synanthropic and sylvatic cycles of *Trichinella*. *Veterinary Parasitology* 93: 241-262
- **Prézelin BB, Boucher NP & Smith RC. 1994.** Marine Primary Production Under the Influence of the Antarctic Ozone Hole: Icecolors '90. En: Weiler S & Penhale P (eds) *Ultraviolet Radiation and Biological Research in Antarctica. Ant. Res. Ser.* 62: 159-186
- **Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, 2013.** <http://www.unep.org/spanish/>
- **Prosa. 1988.** *El deterioro del ambiente en la Argentina*. FECIC. Buenos Aires
- **Quevedo CV. 1946.** *Conservación del suelo: cultivos en contornoterrazas*. Editorial Suelo Argentino, Buenos Aires
- **Rabinovich JE., 1981.** Modelos y catástrofes: Enlace entre la teoría ecológica y el manejo de los recursos naturales renovables. *Interciencia*. 6 (1): 1221
- **Rapoport EH. 2003.** Valor nutricional de las malezas comestibles. *Ciencia Hoy*, 13 (76):40-47.
- **Rapoport EH. 1975.** *Areografía. Estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, México.
- **Rapoport EH. 1979.** Tácticos y estrategias r, K y "S.O.S.". En: Rabinovich J & Halfter G (comp) *Tópicos de ecología contemporánea*. Fondo de Cultura Económica, México

- **Ratray Taylor C. 1984.** *El gran misterio de la evolución.* Ed. Sudamericana Planeta, Buenos Aires
- **Raven J, Caldeira K, Elderfield H, Hoegh-Guldberg O, Liss P, Riebesell U & Shepherd J. 2005.** Ocean Acidification due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *The Clyvedon Press Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide.* The Royal Society, The Clyvedon Press Ltd, Cardiff, UK: 60 p
- **Rearte D. 2007.** La producción de carne en Argentina. Informe Programa Carnes. INTA. Argentina. Disponible en: [www.inta.gov.ar/balcarce/carnes/prodcarne.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/carnes/prodcarne.htm).
- **Reijntjes C, Haverkort B & Waters-Bayer A. 1992.** *Farming for the future.* Macmillan Aducaation
- **Ribicich M, Gamble H, Rosa A, Bolpe J & Franco A. 2005.** Trichinellosis in Argentina: an historical review. *Veterinary Parasitology* 132, 137-142
- **Richard S, Moslemi S, Sipahutar H, Benachour N & Seralini Ge. 2005.** Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Enviromental Health Perspectives* 113: 716-720
- **Ricklefs R E. 1998.** *Invitación a la ecología.* Ed. Médica Panamericana, Madrid
- **Rodríguez A & Jacobo E. 2010.** Glyphosate effects on floristic composition and species diversity in the Flooding Pampa grassland (Argentina). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 222-231
- **Rolando A & Díaz R. 2000.** Tratamiento de los residuos de tambo por digestión anaeróbica. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre. Rio Grande do Sul, Brasil
- **Rollins SE, Rollins S M & Ryan ET. 2003.** Yersinia pestis and the plague. *American Journal of Clinical Pathology. Pathology Patterns Reviews* 119: S78
- **Romero J L. 1984.** *Latinoamérica las ciudades y las ideas,* Ed. S. XXI, Buenos Aires
- **Rosengurtt B, Arrillaga De Maffei B & Izaguirre De Artucio P. 1970.** Gramíneas Uruguayas. Universidad Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
- **Rózycki H & Dahm H, Strzelczyk E & Li CY. 1999.** Diazotrophic bacteria in root-free soil and the root zone of pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L.). *Applied Soil Ecology*, 12: 239 - 250
- **Rusch Gm & Oesterheld M. 1997.** Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos* 78: 519-526
- **SAGPyA. 2008. Estimaciones Agrícolas 2008.** Disponible en: [ww.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/base.php](http://ww.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/base.php)
- **Sánchez NE, Pereyra PC & Luna MG. 2009.** Spatial patterns of parasitism of the solitary parasitoid *Pseudapanteles dignus* (Muesebeck) (Hymenoptera: Braconidae) on the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environ. Entomol.* 38(2): 365-374
- **Sala OE, Oesterheld M, León RJC & Soriano A. 1986.** Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67: 27-32

- **Sala OE & Paruelo J M. 1997.** Ecosystem services in grasslands. P 237-251 En: Daily G (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC
- **Sala, O.E., I.F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.H. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N. Leroy Poff, M. T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker and D.H. Wall, 2000:** Global Biodiversity Scenarios For The Year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- **Sánchez RP & Bezzi SI (Eds). 2004.** *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. Tomo 4. Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación. Publicaciones Especiales INIDEP, Mar del Plata: 360 p
- **Sánchez-Bayo F. 2011.** Impacts of Agricultural Pesticides on Terrestrial Ecosystems. P 63-8 En: Sánchez-Bayo F, van den Brink & RM Mann (eds.) *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*. Bentham Books
- **Sarandon S. 2002.** *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ed. Científica Americana, Argentina
- **Sarmiento JL, Slater R, Barber R, Bopp L, Doney SC, Hirst AC, Kleypas J, Matear R, Mikolajewicz U, Monfray P, Soldatov V, Spall SA & Stouffer R. 2004.** Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochem. Cycles* 18: 1-23
- **Satorre E. 2005.** Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. *Ciencia Hoy* 15: 24-31
- **Schneider Mi, Sánchez N, Pineda S, Chi H & Ronco A. 2009.** Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): *Ecological Approach. Chemosphere* 76: 1451-1455
- **Scobie J. 1997.** *Buenos Aires, del centro a los barrios. 1870-1910*. Editorial Solar, Buenos Aires
- **Seghezze L. 2009.** The five dimensions of sustainability (Las cinco dimensiones de la sustentabilidad). *Environmental Politics* 18(4): 539-556
- **Selección de Scientific American. 1972.** *La Biosfera*. Alianza Editorial, Madrid
- **Serafini MC. 2011.** *Interpretación visual de imágenes satelitarias*. Cuadernillo Especialización en Teledetección y SIG, PRODITEL, UNLu: 26 p
- **Shelton P. 2009.** Eco-certification of sustainably managed fisheries—Redundancy or synergy? *Fisheries Research* 100: 185–190
- **Simmons IG. 1982.** *Ecología de los recursos naturales*. Ed. Omega, Barcelona
- **Slobodkin LB. 1966.** *Crecimiento y regulación de las poblaciones animales*. Eudeba, Buenos Aires
- **Smith D & Papacek DF. 1991.** Studies of the predatory mite *Amblyseius victoriensis* (Acarina: Phytoseiidae) in citrus orchards in south-east Queensland: control of *Tegolophus australis* and *Phyllocoptruta oleivora* (Acarina: Eriophyidae), effects of pesticides, alternative host plants and augmentative release. *Exp Appl Acarol.* 12: 195-217
- **Smith L & Smith TM. 2001.** *Ecología*. 4a edición. Pearson Educación SA. Madrid
- **Soriano A, León RJC, Sala OE, Lavado RS, Deregibus VA, Cahuepé MA, Scaglia**

- OA, Velazquez CA & Lemcoff JH. 1992.** Río de la Plata grasslands. P 367-407 En: Coupland RT (ed.) Natural grasslands. Ecosystems of the world 8A. Elsevier, New York
- **Speziale KL, Lambertucci SA, Carrete M & Tella JL. 2012.** Dealing with non-native species: what makes the difference in South America? *Biological Invasions* 14: 1609-1621
- **Sutoon B & Harmon P. 1976.** *Fundamentos de Ecología*. Ed. Limusa, México
- **Szpeiner A, Martínez-Ghersa Ma & Ghersa Cm. 2007.** Agricultura pampeana, corredores biológicos y biodiversidad. *Ciencia Hoy* 17 (101): 38-43
- **Tangorra M, Mercado L, Rodríguez capítulo A & Gómez N. 1998.** Evaluación de la calidad ecológica del Arroyo el Gato a partir del estudio del bentos, fitoplancton y variables físico-químicas. Congreso Nacional del Agua, Santa Fé.
- **TGCI. 2012.** Temperate Grassland Conservation Initiative. Disponible en: [http://www.iucn.org/about/union/commissions/wcpa/wcpa\\_what/wcpa\\_conservingsd/wcpa\\_grasslandstf/](http://www.iucn.org/about/union/commissions/wcpa/wcpa_what/wcpa_conservingsd/wcpa_grasslandstf/)
- **Teilhard De Chardin P. 1965.** *El fenómeno humano*. Ed. Taurus, Madrid
- **Tella G. 2007.** *Un crack en la ciudad*. Ediciones Nobuko, Buenos Aires
- **Terradas J. 1972.** *Ecología hoy*. Ed. Teide, Barcelona
- **Thienemann A. 1973.** *Vida y mundo circundante*. EUDEBA, Buenos Aires
- **Torres H. 1993.** *El Mapa Social de Buenos Aires (1940-1990)*. Dirección de Investigaciones. Secretaría de Investigación y Postgrado. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires, Serie Difusión N° 3, Buenos Aires
- **Traveset A & Richardson DM. 2006.** Biological Invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 208-216
- **Turk A, Turk J, Wittes J & Wittes R. 1985.** *Tratado de ecología*. México, Ed. Interamericana
- **Tyler Miller G Jr. 1994.** *Ecología y Medio Ambiente*. Grupo Editorial Iberoamérica. México
- **Tysko MB, Mousegne F, Zabala O, De Marotte MF & Rolando A. 2011.** Efluente derivado de la digestión anaeróbica de estiércol equino: estrategia de fertilización complementaria en un cultivo de soja. <http://www.cnpsa.embrapa.br/>
- **Tysko MB, Zabala O, Rolando A, Puerta A, Boero J & Mousegne F. 2012.** Estiércol bovino tratado por digestión anaeróbica: sus atributos como fertilizante. XIX Congreso Latinoamericano y XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 16 al 20 de abril de 2012, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina
- **UNEP / IUC, 1998.** Protocolo de Kyoto, 1997. Ginebra, Suiza
- **Uriarte L, Calcagno B, Riesel M & Anchezar B. 1934.** Pulgas y peste. *Revista del Instituto Bacteriológico del Departamento Nacional de Higiene* 6: 41
- **Vajda S. 1972.** *Introducción a la programación lineal y a la teoría de los juegos*. Tercera edición. EUDEBA, Buenos Aires
- **Valentin A & Spangenberg JH. 2000.** A guide to community sustainability indicators (Una guía de indicadores de sustentabilidad comunitaria). *Environmental Impact Assessment Review* 20: 381-392

- **Van Driesche RG, Hoddle MS & Center TD. 2007.** *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*. USDA, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. FHTET-2007-02
- **Van Lenteren JC. 2011.** The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl J*. DOI 10.1007/s10526-011-395-1
- **Vera MS, Lagomarsino L, Sylvester M, Pérez GL, Rodríguez P, Mugni H, Sinistro R, Ferraro M, Bonetto C, Zagarese H & Pizarro H. 2010.** New evidences of Roundup (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. *Ecotoxicology* 19: 710–721
- **Vervoorst F. 1967.** *Las comunidades vegetales de la depresión del Salado*. Serie Fitogeográfica 7. La vegetación de la República Argentina. SEAGN-INTA, Buenos Aires: 259 p
- **Viglizzo EF & Jobbágy E. 2010.** *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental*. Ediciones INTA. INTA, Buenos Aires, Argentina: 103 p
- **Viglizzo EF, Lertora F, Pordomingo A, Bernardos JN, Roberto ZE & Del Valle H. 2001.** Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83: 65-81
- **Viglizzo Ef, Frank Fc & Carreño L. 2006.** Situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y malezas. P 263-269 En: Brown A, Martínez Ortiz U, Acerbi M & Corcuera J (Eds.) *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires
- **Viglizzo F, Frank Fc, Carreño Lv, Jobbágy Eg, Pereyra H, Clatt J, Pincén D & Ricard Mf. 2011.** Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959-973
- **Vilá B (ed.). 2006.** *Investigación, Conservación y Manejo de Vicuñas*. Proyecto MACS- Buenos Aires, Argentina
- **Vilá B. 2012.** *Camélidos Sudamericanos*. Ed. Eudeba, Buenos Aires
- **Villalba A. 2009.** Resistance to Herbicides. Glyphosate. *Ciencia, docencia y tecnología* (UNL, Concepción del Uruguay, Argentina) N° 39
- **Waage JK & Greathead DJ. 1988.** Biological control: challenges and opportunities. *Philos. Trans. Royal Soc. London B* 318: 111–128
- **Wackernagel M, & Rees W. 1996.** *Our ecological footprint*. New society publishers, Canada.
- **Watt T. 1978.** *La ciencia del medio ambiente*. Salvat Ed., Barcelona
- **Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala OE, Selkoe KA, Stachowicz JJ & Watson R. 2006.** Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314: 787-790
- **Yujnovsky O. 1984.** *Claves políticas del problema habitacional argentino, 1955/1981*. Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires
- **Zaccagnini ME & Calamari NC. 2001.** Labranzas conservacionistas, siembra directa y biodiversidad. P 29-68 En: Panigatti JL, Buschiazzi D & Marelli H (editores) *Siembra Directa II*. INTA, Buenos Aires

- **Zeebe RE & Wolf-Gladrow D. 2001.** CO<sub>2</sub> in Seawater: *Equilibrium, Kinetics, Isotopes*. Elsevier Oceanography Series, 65. Elsevier.
- **Zlatař Y. 1994.** Los derrames de petróleo, su impacto ambiental. *Revista Museo* (La Plata, Argentina) 1(4): 79-82
- **Zonneveld IS. 1979.** *Land Evaluation and Landscape Science*. I.T.C. Textbook VII.4. Second edition. I.T.C., Holanda
- **Zubillaga M & Brazini A. 2012.** Abonos Orgánicos. Sección 4, Capítulo 3: 581-607 *En Fertilización de cultivos y pasturas: diagnóstico y recomendación en la región pampeana*. 1ra edición, EFA-UBA, Buenos Aires



## GLOSARIO

**Acuífero.** Formación geológica formada por agua infiltrada desde el suelo y acumulada en depósitos subterráneos que fluyen y se renuevan lentamente.

**ADN.** Ácido desoxirribonucleico. Macromolécula que contiene la información genética y que se encuentra en los cromosomas de todas las células de los organismos.

**Adsorción.** Fenómeno físico de superficie caracterizado por la adhesión sin que se interpongan uniones químicas.

**Agente etiológico.** Organismo vivo o sustancia inerte capaz de producir una enfermedad.

**Agrotóxicos.** Son sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, que se utilizan en la agricultura para eliminar animales y vegetales que son plagas o enfermedades que perjudican las plantas cultivadas, especialmente en cultivos intensivos.

**Alelopatía.** Efecto de productos excretados por algunas especies de plantas que inhiben el crecimiento de otras especies de plantas y animales a su alrededor.

**Ambiente.** Es el escenario donde desarrollan sus actividades los organismos vivos y está formado por todo lo que los rodea: luz, aire, agua, sonidos, olores, artefactos, etc., incluyendo a los otros organismos.

**Antibiosis.** Efecto producido por microorganismos que, en determinados momentos de su desarrollo, excretan al ambiente sustancias que inhiben el crecimiento de otras.

**Antrópico.** Algo de origen humano, humanizado, opuesto a lo natural.

**Antropozoonosis.** Enfermedades causadas por agentes en cuyo ciclo de vida quedan al mismo tiempo involucrados seres humanos y otros animales.

**ARN.** Ácido ribonucleico, que transcribe el código del ADN y lo traduce a proteínas. Es también el material genético de muchos virus.

**Atmósfera oxidante.** Es la que contiene una concentración de oxígeno como la actual, cercana al 21 % de presión parcial en volumen.

**Atmósfera reductora.** Es la que contiene muy poco oxígeno, como la que existió en la Tierra hasta que proliferaron las cianobacterias capaces de fotosintetizar y liberar oxígeno. Por entonces la concentración de oxígeno era de sólo una parte en 100.000.000.000 en volumen (1-9 % en volumen).

**ATP. Trifosfato de adenosina.** En la célula es el principal transportador de la energía.

**Autótrofos.** Organismos que basan su metabolismo en la captación de la energía de la luz.

**Bentónico.** Que pertenece al bentos.

**Bentos.** Se refiere a aquella zona de los ambientes acuáticos que ocupan el espacio que va desde las márgenes, riberas o costas hasta las profundidades. Los organismos y comunidades bentónicas son los que habitan estas zonas.

**Bifenilos policlorados.** Grupo de hidrocarburos clorados tóxicos con capacidad de biomagnificación en los organismos vivos.

**Bioacumulación.** Se habla de bioacumulación cuando un elemento químico o molécula se encuentra en mayor concentración en el organismo vivo que en el ambiente.

**Biocida.** Es todo compuesto químico usado en el control de organismos que son plagas o patógenos.

**Biodiversidad.** Es la variedad de organismos que hay en determinado lugar o región (incluye por extensión la biodiversidad genética y de ecosistemas).

**Bioma.** Es una zona con similares condiciones climáticas y similares comunidades de plantas, animales y organismos del suelo; los biomas son ecosistemas de gran extensión. Por ejemplo biomas de bosque o de pastizales de llanura.

**Biomagnificación.** Incremento de alguna sustancia química, generalmente liposoluble de lenta degradación, a lo largo de las cadenas y redes tróficas. En los niveles tróficos más altos puede producir trastornos severos.

**Biomasa.** Peso total vivo que habitualmente se expresa como peso seco. En general se presenta como peso por unidad de área o volumen.

**Biorremediación.** Es el aprovechamiento de las capacidades metabólicas de los organismos vivos para la eliminación de contaminantes mediante la utilización de tecnologías simples que permiten acelerar la biodegradación natural de tales contaminantes.

**Biota.** Es el conjunto de organismos vivos de un ecosistema.

**Bomba biótica.** Teoría que sostiene que los bosques controlan el movimiento de las precipitaciones.

**Cadena trófica (o cadena alimenticia).** Cadena imaginaria de eslabones formada por las conexiones entre especies de organismos cada una de los cuales come del eslabón precedente.

**Capacidad de carga (K).** Número de individuos de una población que puede sostenerse con los recursos de un hábitat; en las ecuaciones logísticas y otras ecuaciones sigmoideas de crecimiento poblacional la K está dada por la asíntota o meseta.

**Clímax.** Etapa teórica final de la sucesión ecológica donde la comunidad ha alcanzado el estado de mayor equilibrio dinámico con el ambiente.

**Comensalismo.** Relación entre especies en la que una resulta beneficiada y la otra no resulta perjudicada ni beneficiada.

**Concentración letal media (CL-50).** Es la concentración que provoca la muerte de la mitad de los organismos expuestos a una sustancia química. Al indicar la CL-50 se requiere que se especifiquen las condiciones del ensayo con el que se la determinó. La CL-50 es una expresión cuantitativa de la toxicidad aguda de una sustancia disuelta en agua: cuanto más pequeño es el valor de la CL-50 de una sustancia, mayor es su toxicidad.

**Conectividad.** Refiere a la cantidad de interacciones o conexiones que hay dentro de un sistema.

**Control biológico.** Uso de enemigos naturales en el control de organismos plaga.

**Costo de oportunidad.** Es el costo, lo que dejé de ganar, por una oportunidad (A) no aprovechada al elegir la oportunidad (B) para realizar en ese mismo tiempo, con el mismo capital o recurso (véase en este libro el caso de explotar con RMS una población de mamíferos herbívoros silvestres en lugar de cazarla toda y poner el dinero obtenido en un banco con una tasa de interés que diera una ganancia mayor).

**DBO Demanda biológica de oxígeno.** Es el oxígeno que consumen las bacterias en determinados volumen de agua, tiempo, temperatura y en oscuridad. Nos indica el consumo de materia orgánica.

**Dinámica poblacional.** Variaciones espacio-temporales de la densidad poblacional. Su estudio implica conocer las causas que producen dichas variaciones.

**Disposición.** Con este término se define al traslado de material contaminante a suelos previamente seleccionados y su vertido en los mismos sin ningún tratamiento posterior.

**Distrofia.** Mal funcionamiento de alguna de las funciones de los organismos o de las comunidades.

**Diversidad específica.** Medición de la variedad de especies en una comunidad que tiene en cuenta la abundancia relativa de cada una de ellas.

**DQO (Demanda Química de Oxígeno).** Es la cantidad de oxígeno necesaria para degradar las sustancias orgánicas que no degradan los organismos, en un tiempo y volumen de agua determinados.

**Ecotono.** Zona de transición entre dos comunidades diferentes.

**Efecto invernadero.** Calentamiento de la atmósfera terrestre provocado por la radiación de onda larga que no puede dispersarse en la estratosfera debido al aumento del dióxido de carbono y otros gases contaminantes dentro de la atmósfera.

**Eficiencia.** En un sistema es la relación entre la variable dependiente o de salida y la variable independiente o de entrada, o una de éstas en caso de ser varias.

**Elementos radioactivos.** Elementos químicos en los que núcleos inestables emiten espontáneamente partículas de energía radiante según una tasa constante.

**Endemias.** Son las enfermedades que siempre están presentes en regiones de determinadas condiciones ambientales

**Energía exosomática.** De ella hablamos para referirnos a todas las energías que se mueven por fuera de los organismos vivos pero que les son funcionales. Por ejemplo el movimiento del aire para las aves, del agua para los peces y la corriente eléctrica para los hombres.

**Energía libre.** En las transformaciones de la energía es la medida del cambio entre la energía potencial de los estados inicial y final. Es la parte de la energía transformable en trabajo; en los seres vivos es la energía que es utilizable a partir de los alimentos que ingieren.

**Entropía.** Medida del desorden de cualquier sistema.

**Epidemia.** Enfermedad cuyo número de casos excede al que normalmente se da en una determinada región en un determinado tiempo.

**Esmog (del inglés smog).** Mezcla compleja constituida por agua gaseosa y contaminantes del aire, tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas sólidas diversas.

**Especie.** Categoría discreta de organismos, con capacidad de reproducción y de dejar descendencia fértil.

**Estabilidad.** Capacidad de un sistema de volver al estado inicial tras recibir alguna perturbación.

**Estado estable o estacionario.** Es el de aquel sistema en el que la suma de los flujos de entrada es igual a la de los de salida.

**Eutrofización.** Se refiere al proceso por el cual un cuerpo de agua acumula un exceso de nutrientes, normalmente es producido por escorrentía de superficie conteniendo nitrógeno y fósforo, nutrientes que originan gran crecimiento de organismos autótrofos.

**Fenotipo.** Características observables de un ser vivo que son la expresión de la interacción del genotipo con el ambiente.

**Filogenia** Es la rama de la biología que estudia las relaciones de una especie con otras, es decir, el origen y desarrollo evolutivo de los seres vivos y el grado de parentesco entre ellos.

**Fitoplancton.** Conjunto de organismos vegetales y bacterias libres, suspendidas en el agua cuya capacidad de movimiento es por lo general menor que la del agua.

**Genotipo.** Características genéticas que determinan las estructuras y funciones de las células y de los organismos.

**Hábitat.** Lugar de condiciones apropiadas donde vive un organismo, especie o comunidad animal o vegetal. Es el lugar físico o espacio concreto donde se expresan los factores ambientales. Por ejemplo, se puede hablar de hábitat acuático, hábitat terrestre, hábitat de las aves, hábitat de los peces.

**Heterótrofos.** Organismos que utilizan la materia orgánica de otros organismos como su fuente de energía y nutrientes.

**Hollín.** Es un producto en base al carbón, de color gris blancuzco o negro, formado por pequeñas partículas, las que son emitidas a la atmósfera durante la combustión, particularmente de los hidrocarburos.

**Homeostasis.** Mantenimiento constante de las condiciones internas del organismo vivo aunque el ambiente externo varíe.

**Homólogo.** Que tiene origen evolutivo similar, por ejemplo las alas de las aves y nuestros brazos.

**Huella del ser humano.** Para algunos autores es la superficie de la tierra que se necesitaría para producir -de modo sostenible- los bienes y servicios que requiere un ser humano.

**Huella ecológica.** Es un indicador del espacio productivo necesario para suministrar los recursos y absorber los residuos generados por una población humana en su entorno, que se mide en unidades de superficie equivalentes a la hectárea productiva por persona.

**Impacto ambiental.** Se refiere a la alteración de cierta magnitud o complejidad que produce en el ambiente, o en alguno de los componentes, cualquier actividad humana

o de la naturaleza. En general dicha alteración representa un cambio neto (positivo o negativo) en la salud del hombre o en su bienestar.

**Impacto ambiental acumulativo.** “Aquel efecto que, de prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto” (Paruelo et al., 2011).

**Incidencia.** Número de nuevos casos de una enfermedad en una población en un tiempo dado.

**Invasión biológica.** También llamada contaminación biológica, se refiere a la introducción de una especie en un ambiente nuevo para ella, en el que carece de controles biológicos y puede convertirse en plaga.

**Ley de la productividad marginal decreciente.** Al incorporar unidades adicionales a un factor productivo, la productividad responde con incrementos, pero cada incremento es menor hasta que la respuesta se detiene.

**Metales pesados.** Son aquellos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. Los más importantes son: Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Estaño y Cinc.

**Modelo logístico.** Representación matemática de crecimiento de una población que incorpora el efecto de la densidad sobre la velocidad de crecimiento.

**Modelos matemáticos.** Representación cuantitativa de las relaciones entre las partes de un sistema.

**Mutación.** Cambio espontáneo o inducido en las moléculas de ADN y de ARN.

**Mutualismo.** Relación entre dos especies con la que ambas se benefician pero que pueden vivir de modo independiente (ver simbiosis).

**Nanómetros.** Mil millonésima de metro,  $10^{-9}$ .

**Nicho ecológico.** Se refiere a todas las características (químicas, físicas, biológicas) de un ambiente que determinan la posición de un organismo o una especie en un ecosistema; comúnmente se lo equipara con la “profesión” o papel de esa especie en el ecosistema.

**Nivel de daño económico.** Densidad de la plaga por encima de la cual se produce un daño económico por pérdidas de rendimiento o calidad de la producción.

**Nivel trófico (trófico, de trofos, que significa alimento).** se refiere a la posición ocupada por un organismo en una cadena o en una trama alimenticia. Es decir, a la “altura” o “distancia” a la que se encuentra un organismo en relación a los vegetales con clorofila, que constituyen el primer nivel trófico. Los herbívoros se identifican como del segundo nivel trófico y así sucesivamente.

**Niveles guía.** Son las concentraciones máximas de sustancias o elementos permitidas por las normas de uso.

**Ozono.** Molécula de tres átomos de oxígeno.

**Paleozoico.** Refiere a una de las eras en que se divide la historia geológica de la Tierra. En el esquema cronológico esa historia comienza hace unos 570 millones de años y finaliza hace unos 240 millones.

**Pandemia.** Enfermedad infectocontagiosa que puede extenderse por uno u más continentes; un ejemplo es el SIDA y el cólera hace algunos años.

**Parásito.** Organismo que se alimenta de las sustancias elaboradas por otro organismo (llamado hospedador) cuando ambos están asociados de manera más o menos permanente en estado de equilibrio inestable.

**Parasitoides.** Se denomina así a los organismos cuyas larvas crecen como parásitos de otros organismos alimentándose de sus tejidos hasta completar su estadio larval.

**Pasivos ambientales.** Son los daños ambientales que dejan, en términos de contaminación y del deterioro de los ecosistemas, las actividades de explotación o de industrialización de recursos naturales por parte de las empresas a lo largo del tiempo. Y es por tanto la obligación financiera que tienen las personas o empresas para la reparación de los daños al ambiente o por el incumplimiento de la legislación ambiental.

**Pelágico.** Se refiere a aquella zona de los ambientes marinos que ocupan el espacio de las aguas abiertas, alejada de la costa. Los organismos y comunidades pelágicas son los que habitan estas zonas.

**Perifiton.** Comunidad de organismos que se desarrolla adherida o estrechamente vinculada con cualquier objeto o superficie sólida sumergidos en el agua.

**Plaguicidas.** En la agricultura y en la epidemiología ambiental se refiere a una serie de sustancias químicas o agentes usados para el control de plagas.

**Prevalencia.** Número total de casos de una enfermedad durante un determinado tiempo.

**Producción primaria.** Se refiere a la producción de los vegetales capaces de sintetizar su propia materia orgánica a partir de la energía solar y dióxido de carbono y otros elementos inorgánicos.

**Productividad.** Para algunos es la relación entre la producción y alguno de los factores que intervienen en ella, por ejemplo la biomasa, relación ésta conocida también como tasa de renovación; para otros, productividad es sinónimo de producción, que es la medida del flujo de energía por unidad de espacio y de tiempo.

**Productores primarios.** Son los organismos que contienen clorofila y con ella pueden producir materia orgánica a partir de elementos inorgánicos de la energía proveniente de la luz.

**Productores secundarios.** Son los organismos que para su metabolismo dependen de la energía contenida en la materia orgánica de otros organismos.

**Red trófica.** Trama de las muchas relaciones de alimentación interconectadas que se pueden encontrar en la mayoría de las comunidades naturales.

**Reservorio.** Cuando referimos al control de plagas denominamos reservorio al lugar donde las especies plaga o sus controles naturales pueden mantenerse fuera de alcance de nuestras acciones, y son las reservas genéticas que, con las condiciones propicias, pueden recuperar el tamaño poblacional por el cual las consideramos plagas a unas y controles naturales biológicos a la otra. En epidemiología, también se aplica a los lugares o seres vivos en los cuales reside algún agente patógeno.

**Respiración.** Proceso de nivel celular por medio del cual se produce la degradación (oxidación) metabólica de compuestos orgánicos de los cuales todos los seres vivos liberamos energía química que nos permiten desarrollar nuestras actividades y mantenernos organizados. En ausencia de oxígeno, se habla de respiración anaeróbica,

que permite la extracción de energía, aunque de manera menos eficiente. (En el lenguaje común se dice que respiramos cuando ventilamos nuestros pulmones para permitir el ingreso de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono que es un producto de la respiración).

**Selección natural.** En ambientes sometidos a cambios importantes, es la supervivencia y reproducción diferencial de los de los fenotipos que, frente a esos cambios, presentan ventajas comparativas que les permiten sobrevivir y transmitir sus genotipos a las nuevas generaciones mediante la reproducción.

**Servicios ecosistémicos.** Son los aspectos de los ecosistemas (estructuras y procesos) utilizados de manera activa o pasiva para generar bienestar humano.

**Sésil.** Organismo permanentemente adherido a un sustrato.

**Simbiosis.** Relación entre especies con la que ambas se benefician y ninguna puede vivir sin la otra.

**Sitios Ramsar.** Así se designan los humedales que son considerados de importancia internacional y protegidos por legislación regional o nacional, de acuerdo a un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y el uso racional de los humedales mediante y gracias a la cooperación internacional.

**Suelo.** Formación natural constituida por una mezcla de minerales inorgánicos, materia orgánica en descomposición, agua, aire y organismos vivos.

**Tasa de renovación.** Cociente entre la producción y la biomasa.

**Taxonomía.** Es el estudio de la clasificación de los organismos. Esta clasificación permite agruparlos en jerarquías según sus similitudes y diferencias que nos hablan de su parentesco o proximidad filogenética.

**Termodinámica.** Refiere a la rama de la física que estudia las relaciones entre los fenómenos caloríficos y mecánicos, particularmente el de las transformaciones de energía.

**Tiempo de renovación.** Cociente entre biomasa y la producción.

**Trama trófica.** El paso de energía de un organismo a otro ocurre a lo largo de una cadena alimentaria donde el primer organismo es comido por el segundo, el segundo por el tercero y así sucesivamente en una serie de niveles tróficos. En la mayoría de los ecosistemas las cadenas alimentarias poseen muchas interconexiones conformando tramas tróficas.

**Umbral de daño económico.** Ver “Nivel de daño económico”

**Zoonosis.** Enfermedades que ocurren en los animales, excluidos los hombres.

**Zooplancton.** Se refiere a animales por lo común de tamaño casi microscópico, que forman parte del plancton y en general son capaces de migrar tanto vertical como horizontalmente en los ambientes acuáticos. Se los encuentra en cuerpos de agua marina, salobre y de agua dulce. El zooplancton en general está constituido por microcrustáceos y por muy diversos protozoos.



## Los autores



**Leonardo Malacalza**, Profesor Titular de Ecología en la UNLu, Licenciado en Botánica de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP, investigó dirigido por el Dr. Ramón Margalef en el Depto. de Ecología de la Universidad de Barcelona. Ha dirigido investigaciones sobre ecología de aguas, vegetación y suelos de la cuenca del río Luján. Es miembro del Comité Científico del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable y presidente de la asociación civil Instituto de Ecología de Luján. Es doctor honoris causa de la Universidad Nacional de Luján. malacalzal@speedy.com.ar



**Fernando Roberto Momo**, Profesor Asociado ordinario en la UN de Gral. Sarmiento. Profesor Adjunto ordinario (ad-honorem) en la UNLu. Licenciado y Doctor en Ciencias Biológicas (UBA). Investigador-docente por concurso categoría equivalente A. Es miembro del Comité Científico del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable de la UNLu. Creó el Programa de Investigación en Ecología Matemática del Departamento de Ciencias Básicas, UNLu. momo@ungs.edu.ar



**Carlos Eduardo Coviella**, Profesor Asociado ordinario de ecología en la UNLu. Ingeniero Agrónomo de la UNLu y Ph.D. en Entomología, Universidad de California, Riverside, USA realizado con una beca Fulbright. Es investigador y director del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable y del Programa de Investigación en Ecología Terrestre de la UNLu. carlosecoviella@yahoo.com



**Adonis David N. Giorgi**, Profesor Adjunto en la UNLu e Investigador del CONICET. Licenciado en Biología (orientación Ecología) y Doctor en Ciencias Naturales de la UNLP. Es Director de la división Biología del Departamento de Ciencias Básicas. Creó y es director del Programa de Investigación en Ecología de Protistas y es miembro del Comité Científico del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable de la UNLu. Investiga en ecología de ambientes acuáticos. adonis@coopenetlujan.com.ar



**Claudia Feijoo**, Profesora Adjunta ordinaria en el área de Ecología en la UNLu. Licenciada en Biología (orientación Ecología) y Doctora en Ciencias Naturales (UNLP). Directora de la Especialización en Calidad Ecológica y Restauración de Sistemas Fluviales de la UNLu y miembro del comité científico del INEDES. clasife@yahoo.com.ar

## **Autores invitados**

**Benavides, René.** † Ex Profesor titular edafología, UNLu, UNLP, UNL.

**Bilenca, David.** Instituto de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA, CONICET.

dbilenca@ege.fcen.uba.ar

**Brown, Alejandro.** Presidente Fundación Pro Yungas.

abrown@proyungas.org.ar

**Buch, Tomás.** Profesor Titular de Tecnología, Ambiente y Sociedad, Universidad Nacional de Río Negro. INVAP. tbuch@bariloche.com.ar

**Busch, María,** Profesora Adjunta de Ecología, FCEN, UBA, CONICET

mbusch@ege.fcen.uba.ar

**Campos, Mariano.** INTA Delta

**Carballo, Cristina,** Profesora del departamento de Ciencias Sociales de la UNLu y de la UNQui.

ccarballo@sion.com

**Ceballos, Darío,** INTA Delta.

daroc.cebillos@gmail.com

**Codesido, Mariano.** Instituto de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA. CONICET.

**Diaz, Roberto,** Profesor de química, UNLu.

diaz\_rr@yahoo.com

**Ferreira, Gustavo A.** Université de Québec, Canadá e Investigador de la Dirección Nacional del Antártico.

gustavo\_ferreyra@uqar.qc.ca

**Frangi, Jorge L.** Profesor Titular de Ecología General y Ecología Forestal, LISEA (UNLP).

jfrangi@agro.unlp.edu.ar

**Fujol, Martha.** Profesora Adjunta de Ingeniería Bioambiental, Depto. de Tecnología, UNLu.

mfujol@netizen.com.ar

**Gantes, Patricia.** Profesora Adjunta de Ecología, Depto. de Ciencias Básicas, UNLu.  
gantespat@yahoo.com.ar

**García Cortés, Manuel,** INTA Delta

**González Fischer, Carlos.** Instituto de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA, CONICET.

**Greco, Nancy,** Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. Investigadora en el CEPAVE (UNLP-CONICET).  
ngreco@sinectis.com.ar

**Guichon, María Laura.** Ecología de Mamíferos Introducidos, Depto. de Ciencias Básicas, UNLu, CONICET.  
mlguichon@unlu.edu.ar

**Lasta, Mario L.** Investigador en el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP).  
mlasta@inidep.edu.ar

**Miñaro, Fernando.** Fundación Vida Silvestre Argentina.

**Pérez Carusi, Lorena.** Instituto de Ecología, Genética y Evolución, FCEYN, UBA, CONICET.

**Pérez, Marcelo.** Depto. de Cs. Marinas, F.C.E.y N. (UNMdP), Funes 3350, Mar del Plata, Argentina.

**Rolando, Aida.** Profesora de Química en el Depto. de Ciencias Básicas de la UNLu.

**Salibián, Alfredo,** Profesor Emérito de Fisiología Animal, Depto. de Cs. Bs., UNLu  
alfredosalibian72@gmail.com

**Sánchez, Norma.** Profesora Titular, Fac. de Ciencias Naturales, UNLP, CEPAVE (CONICET).  
normasanchez@infovia.com.ar

**Schloss, Irene.** Instituto de Ciencias del Mar de Rimouski, Univ. de Quebec en Rimouski.

**Seghezzo, Lucas.** Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO). Universidad Nacional de Salta. CONICET.  
Lucas.Seghezzo@gmail.com

**Toja, Julia**, *Catedrática de Ecología, Universidad de Sevilla.*  
*jtoja@us.es*

**Tysko, Mónica**. Jefe de T.P, División Química del Depto. de Cs. Bs. de la UNLu.

**Vadell, María Victoria**. Instituto de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA. CONICET.

**Vilá, Bibiana**, Profesora Asociada, Depto. de Ciencias Sociales, UNLu. CONICET.  
*blvila@mail.unlu.edu.ar*

**Yarke, Eduardo R.**, Profesor Asociado Ingeniería Bioambiental, Depto. de Tecnología, UNLU.



Asociación de  
Universidades Grupo Montevideo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



SeDiCI-Servicio de Difusión de la  
Creación Intelectual

Este libro está dirigido a quienes comienzan estudios universitarios y también a los todos lectores que busquen ayuda para responder a preguntas que les generen los actuales problemas ambientales.

En los primeros capitulos se ofrecen los fundamentos de la teoria ecologica y en los siguientes se tratan algunos problemas del medio ambiente que afectan a todo el planeta pero con ejemplos y aplicaciones en Argentina.

En estos tiempos -como en casi todos- las hambrunas, la degradación de los recursos naturales, la contaminación, la disminución de la biodiversidad y otros problemas ambientales, no están provocados para satisfacer las necesidades biológicas básicas y culturales de la mayoría de la población humana, sino por la codicia de minorías poderosas que sobrevuelan la historia.