

Ecología de los escarabajos estercoleros africanos

Los escarabajos estercoleros desempeñan un papel ecológico clave al eliminar los excrementos que dejan los rebaños de mamíferos. El éxito en la competencia que se establece entre estos escarabajos depende de su temperatura corporal

Bernd Heinrich y George A. Bartholomew

A cualquiera que contemple los grandes rebaños de las praderas y sabanas del África oriental se le puede ocurrir que los animales producen grandes cantidades de heces. Pero sobre el suelo no se ve mucho estiércol. ¿Dónde ha ido a parar? La mayor parte del estiércol es eliminado y enterrado rápidamente por legiones de escarabajos de la familia Escarabeidos, los llamados escarabajos estercoleros, para los cuales constituye un recurso vital. Los escarabajos hacen mucho más que eliminar un material que de otro modo se acumularía en el suelo, sofocando las plantas y limitando así probablemente las poblaciones de animales que la tierra puede mantener. Su actividad, además, fertiliza y airea el suelo, retarda la expansión de parásitos y organismos productores de enfermedades y reduce el número de moscas molestas que crían en el estiércol. La vida de estos escarabajos ilustra las intrincadas relaciones que se dan en un ecosistema, y revela asimismo algunas adaptaciones fisiológicas y de comportamiento, muy interesantes, de estos insectos.

Los escarabajos estercoleros, de los que sólo en África existen más de 2000 especies, han evolucionado hasta alcanzar tamaños y formas muy diversos. Los mayores pesan más de 20 gramos y sobrepasan, en siete u ocho veces, el tamaño de los pájaros, murciélagos y musarañas más pequeños. Los escarabajos situados en el polo opuesto de la gama miden mil veces menos y apenas si pesan unos miligramos. En circunstancias apropiadas, estos insectos son tan abundantes que el estiércol resulta un recurso escaso, aunque el suministro es constante. De hecho, su disponibilidad puede limitar la reproducción y el crecimiento de los escarabajos. En África tropical muchas especies compiten fuertemente por el estiércol, y se ha desarrollado una

notable variedad de pautas de utilización del mismo.

Fuimos a estudiar los escarabajos estercoleros al Parque Nacional Tsavo, en Kenia, que posee la mayor población de elefantes del mundo. Un grupo de cuatro o cinco elefantes puede procesar una tonelada métrica de alimentos al día, gran parte del cual vuelve al suelo en forma de estiércol. En el Parque Tsavo, durante la estación de las lluvias, la eliminación de las heces de elefante por parte de los escarabajos es asombrosamente rápida. Durante el día son pocos los escarabajos atraídos por las heces frescas de los elefantes, pero después de la puesta del sol estos insectos llegan volando en grandes nubes zumbadoras. Pequeñas muestras de boñigas de elefante que recolectamos durante el día y colocamos como cebo durante la noche atrajeron verdaderos enjambres de coleópteros. Más de 3800 acudieron a una muestra de medio litro que estuvo expuesta sólo durante 15 minutos. Durante la primera parte de este período aparecieron únicamente unos pocos escarabajos, pero después la afluencia no cesó.

Otra muestra de unos 30 litros de heces de elefantes desencadenó una pavorosa y súbita acometida. Sobre el estiércol se posaron nubes de pequeños escarabajos que inmediatamente empezaron a excavar en él. Al cabo de una hora y media el montón de estiércol se había transformado en una palpitante alfombra en expansión, constituida por una capa fluidificada de escarabajos y heces húmedas cubierta por una delgada lámina de material fibroso: los restos gruesos y no digeribles de las plantas. Los escarabajos transformaron los duros bolos de estiércol, malolientes y del tamaño de un balón de fútbol, en un felpudo aplastado de dos o tres centímetros

de grosor y de hasta dos metros de diámetro.

A un observador no le será difícil apreciar que la competencia intra- e interespecifica por el estiércol de elefante es intensa entre las muchas especies que son atraídas por aquél. ¿Cuáles son las consecuencias? ¿Cómo se han acomodado a ello los escarabajos estercoleros? Nos ocuparemos de estas cuestiones al describir algunas de las pautas que exhiben los escarabeidos al procurarse y utilizar el estiércol y, más tarde, al examinar algunas de las respuestas fisiológicas y de comportamiento que operan dentro de estas pautas.

Unas cuantas especies de escarabajos se especializan en los excrementos de determinados mamíferos, pero la mayoría acepta cualquier tipo de estiércol que encuentre. Pueden distinguirse tres pautas principales en la utilización del estiércol. Algunos escarabajos, denominados Endocópridos, excavan en el estiércol y permanecen allí viviendo y alimentándose hasta que éste se termina o su estructura se descompone. Otras especies perforan la tierra situada debajo o cerca de un montón de estiércol y acarrear los excrementos al interior de la madriguera. Y los hay que, como el escarabajo sagrado, *Scarabaeus sacer*, cortan fragmentos de estiércol, los moldean formando una pelota y los arrastran de uno a 15 metros, o incluso más, antes de enterrarlos.

Los escarabajos que utilizan cada una de las tres técnicas tienen adaptaciones morfológicas que complementan su comportamiento. Los Endocópridos son generalmente pequeños, característica adecuada para comer en el interior de excrementos que contienen mucho material fibroso, como los del elefante y los rinocerontes. Los escarabajos minadores suelen ser grandes y robustos; su cuerpo funciona como una máquina excava-



ESCARABAJOS ESTERCOLEROS del Africa oriental, ocupados en eliminar un montón de heces de elefante durante la noche. Las manchas bri-

llantes son el reflejo del dorso de los escarabajos de los que pueden contarse más de 200; los individuos visibles pesan en conjunto más que el estiércol.



MOLDEADO DE UNA PELOTA a partir de un bolo de excremento de elefante que realiza un escarabajo pelotero de la especie *Kheper platynotus*, activo durante el día (la mayoría de escarabajos estercoleros de África oriental trabajan durante la noche). A la izquierda de la ilustración se aprecian dos pelotas ya terminadas, con un escarabajo que trepa a una de

ellas. *Kheper platynotus* es la especie que se ha ilustrado en la portada de este número. El pelotero macho empuja la pelota terminada, con la hembra encaramada sobre la misma, a lo largo de una distancia de varios metros hasta que encuentra un lugar adecuado para enterrarla. El suelo laterítico de la región de África oriental debe su color rojo a los óxidos de hierro.



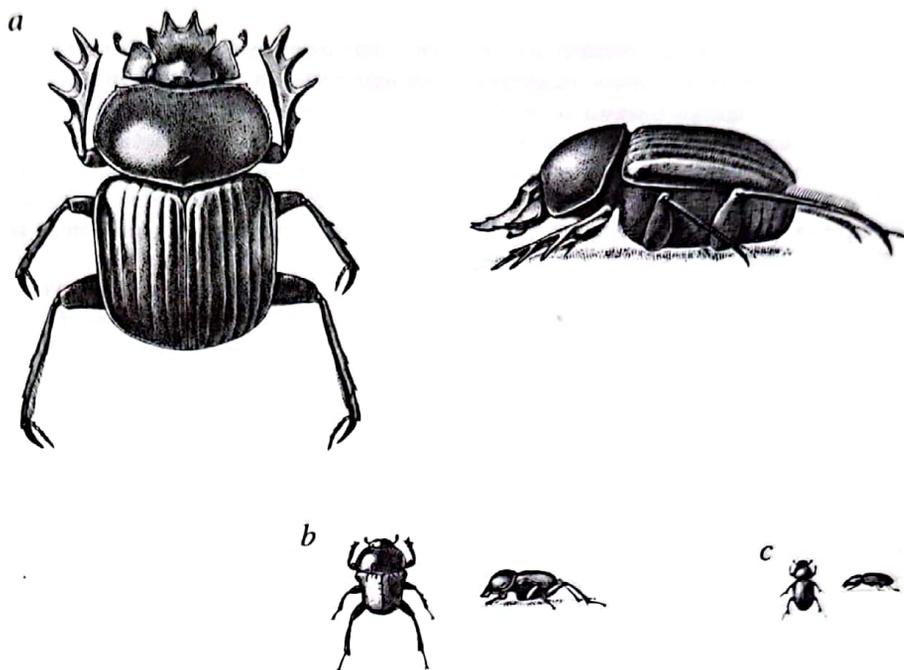
ALFOMBRA DE RESIDUOS, que es todo lo que quedó de un bolo de excrementos de elefante después de que un gran número de escarabajos hubiera actuado sobre él durante la noche subsiguiente a su deposición. La mayoría de los coleópteros que se encontraban allí durante la noche habían

desaparecido en el momento de tomarse esta fotografía, aunque los que permanecían todavía bajo la alfombra se contaban por millares; gran número de los mismos desaparecería al día siguiente. Enterrar el estiércol tiene la ventaja de sustraerlo del posible alcance de las otras especies competidoras.

dora. El ejemplo más sorprendente de esta adaptación está representado por los grandes escarabajos de la especie *Helicopris dilloni*, que se alimentan sólo de estiércol de elefante. Algunos de estos escarabajos pueden pesar hasta 25 gramos. Tienen patas vigorosas, con las tibias anteriores espatuladas, y espinas dirigidas hacia atrás sobre las tibias de sus dos pares de patas posteriores, que les permiten obtener una buena tracción mientras se abren camino a través del suelo, avanzando con la cabeza. Las superficies anterior y superior de la cabeza recuerdan la pala rasadora de un bulldozer. Los escarabajos peloteros, en cambio, tienen las patas posteriores largas y delgadas, arqueadas hacia afuera, adecuadas para correr y que pueden doblarse alrededor de una masa de estiércol, lo que les permite sujetarse a ella mientras la moldean formando una pelota. Sus tibias anteriores tienen extensiones en forma de rastrillo que utilizan para ir añadiendo pedacitos de estiércol a la pelota mientras ésta va siendo moldeada. Los escarabajos peloteros tienen tamaños muy diversos. Algunos pesan sólo unos pocos miligramos y hacen rodar pelotas del tamaño de un guisante. Otros, como los de las especies *Scarabaeus laevistriatus* y *Kheper platynotus*, pesan hasta 10 gramos y de las boñigas de elefante cortan esferas del tamaño de una pelota de tenis.

Enterrar el estiércol tiene la ventaja de sustraerlo del alcance de los competidores. Los escarabajos que entierran las pelotas de estiércol suelen verse obligados a trabajar rápidamente. Las especies que entierran el estiércol directamente bajo el acúmulo de heces (sin hacerlo rodar) suelen formar parejas sexuales y trabajan en equipo. Acarrear el estiércol hacia el interior de la madriguera en montoncitos sueltos, terminando por moldear parte del mismo en pelotas de incubación redondas o piriformes. En cada pelota se deposita un solo huevo, y así la larva tendrá a su disposición todo el alimento y el agua que necesite para completar su desarrollo. Únicamente las hembras hacen pelotas de incubación; y ellas se ocupan también de casi todas las tareas relacionadas con la anidación.

Por lo general, la hembra hace la madriguera inicial, arrastrando a la superficie la tierra que remueve y dejándola allí; el macho aparta entonces la tierra de la entrada. Tan pronto como la hembra deja de aportar tierra, el macho toma un fragmento de estiércol con sus patas anteriores y penetra en el túnel retrocediendo. Cuando el extremo de su abdomen entra en contacto con la cabeza de la hembra, abandona su carga y vuelve a la superficie a por más. La



TRES ESPECIES de escarabajos estercoleros de África oriental, dibujadas en visión dorsal y lateral. La escala es la misma para todos ellos. El individuo mayor (que no es el escarabajo estercolero más grande de África) es *Scarabaeus laevistriatus*, una especie de escarabajo pelotero activa al ocazo y durante la noche. Abajo a la izquierda hay un escarabajo pelotero nocturno más pequeño, *Gymnopleurus laevicollis*. El tercer ejemplar (c) es un endocóprido; este animal excava en los excrementos y se alimenta de ellos hasta que los recursos se han agotado. Los Endocópridos suelen ser de talla pequeña.

hembra toma el fragmento de estiércol y lo transporta por el túnel el trecho que falta. En esta pauta de comportamiento el macho trabaja en, o cerca de, la superficie; se halla expuesto, pues, a los depredadores, en tanto que la hembra, que contribuye en mayor medida al esfuerzo reproductor, trabaja en la relativa seguridad de una madriguera que puede hundirse un metro o más bajo la superficie.

Tanto los machos como las hembras de los escarabajos peloteros hacen pelotas de estiércol. Ambos se comen algunas pelotas, pero otras (hechas por el macho) son elementos clave en la secuencia de apareamiento. El macho y la hembra se encuentran por primera vez en el lugar y en el momento de la caída del excremento, que los ha atraído a ambos. La hembra puede ayudar al macho que esté haciendo una pelota o que ya la haya terminado. Los detalles varían de una especie a otra, pero la pauta general del comportamiento reproductor es la misma.

Kheper platynotus, un gran escarabajo que actúa durante el día, puede servir de ejemplo. La hembra suele unirse al macho en el montón de estiércol, mientras aquel va formando la pelota. Cuando el macho empieza a rodar la bola terminada, la hembra se sujeta a la misma y es transportada sobre ella; aquél la empuja trabajosamente hasta el lugar del enterramiento. El macho entie-

rra la pelota excavando la tierra bajo ella, de suerte que la bola de estiércol se hunde verticalmente en el suelo. La hembra, todavía a bordo, cae en el hoyo con la pelota. Cuando ésta ha sido enterrada, la pareja se alimenta de ella, se aparean y vuelve a la superficie.

En algunas especies la hembra no cabalga sobre la pelota. Por ejemplo, la hembra de la especie *Gymnopleurus laevicollis* se mantiene erguida en el suelo sobre sus patas traseras, poniendo las delanteras sobre el lado anterior de la pelota. Da la impresión de que estuviera tirando de la bola hacia sí, mientras el macho, en el otro lado, se yergue sobre sus patas delanteras y empuja con las posteriores, como es usual en los escarabajos peloteros. La hembra de la especie *Scarabaeus sacer* sigue al macho, a unos dos o tres centímetros de distancia, cuando éste hace rodar la pelota hasta el lugar del enterramiento.

En todas las especies de escarabajo pelotero el macho realiza el trabajo de enterrar la bola y la hembra la mordia durante el apareamiento. Debido a que la pelota de estiércol sirve, en cierto modo, de presente que el macho ofrece a la hembra y que le permite aparearse, se la ha denominado pelota nupcial. (La alimentación nupcial se da también en otros insectos y en muchos vertebrados.) Resulta evidente que el éxito en la competencia por el alimento se halla estrechamente ligado al éxito reproductor.

Aunque el escarabajo pelotero macho

no corre peligro de ser comido por la hembra después de la cópula, que es lo que ocurre en algunos insectos como los Mántidos, si se expone a un riesgo considerable al moldear la pelota nupcial. Los acúmulos de estiércol atestados de escarabajos atraen a aves (calaos, faisanes de espuelas, pintadas) y mamíferos (mangostas) que depredan a estos coleópteros. Al construir una pelota de estiércol para que la hembra la coma bajo tierra, en una relativa seguridad, el macho se está poniendo a sí mismo en peligro, al tiempo que reduce el riesgo para su pareja en potencia.

Entre los escarabajos peloteros de Africa oriental es intensa la presión selectiva a favor de una aceleración en el proceso de localización del estiércol y de su extracción de los montones de excrementos. La presión existe no sólo porque el estiércol atrae a depredadores de escarabajos, sino también porque el ambiente físico y la competencia entre los coleópteros obligan a que el escarabajo se apresure tanto en llegar como en marcharse. Nada hay pues de extraño en que uno se pregunte qué mecanismos fisiológicos y de comportamiento se han desarrollado para la aceleración del proceso de obtención del estiércol.

Los escarabajos estercoleros no pueden emplear de forma ordinaria la estrategia obvia de seguir a los rebaños de mamíferos, porque éstos son activos tanto durante el día como durante la no-

che, mientras que los escarabajos (según las especies) son diurnos o nocturnos. Además, los escarabajos que han enterrado una pelota permanecen con ella por lo menos durante un día, al final del cual es probable que los mamíferos que depositaron los excrementos estén ya muy lejos.

Resulta evidente que los coleópteros encuentran los excrementos frescos por el olor: siempre se acercan en contra de la dirección del viento. Descubrimos que cantidades enormes de escarabajos lograban encontrar cebos de estiércol que habían sido escondidos, aunque se tratara de zonas sin animales ungulados.

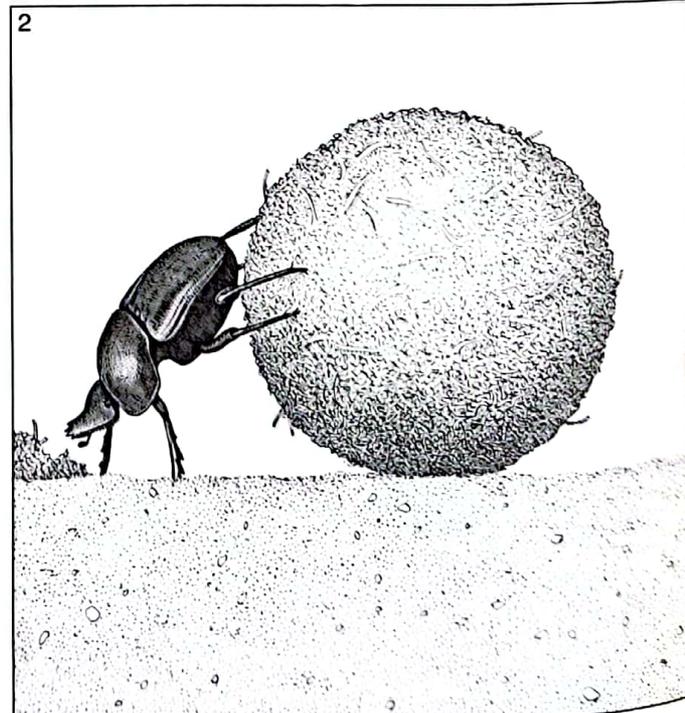
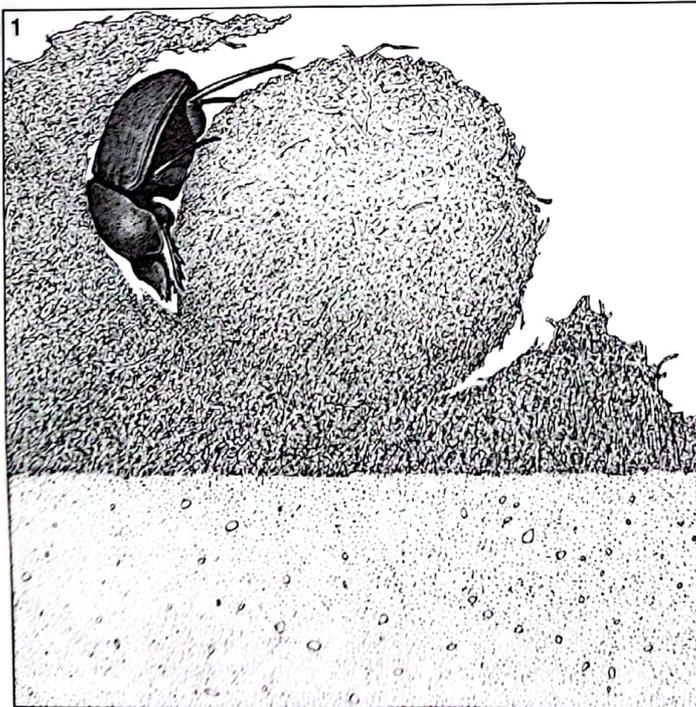
Se ignora si los escarabajos vuelan continuamente en busca de estiércol o bien esperan a emprender el vuelo hasta percibir el olor. Se sabe, sin embargo, que el control de la temperatura corporal desempeña un importante papel en la velocidad, el gasto energético y la potencial recompensa de hallar estiércol fresco. La temperatura corporal de un escarabeido en reposo no suele diferir en más de un grado Celsius de la temperatura ambiental. Algunos insectos de gran tamaño tienen durante el vuelo una temperatura torácica de hasta 35 grados C por encima de la temperatura del aire. En cualquier especie de insectos, la potencia de los batimientos del ala y la velocidad del vuelo se hallan estrechamente relacionadas con la temperatura muscular. Si la temperatura de los músculos del vuelo en el tórax es infe-

rior a unos 34 grados, muchos insectos grandes no pueden generar las fuerzas ascensional y propulsora necesarias para permanecer en vuelo. ¿Qué ocurre en los escarabajos estercoleros de distintos tamaños?

Medimos la temperatura torácica de escarabajos en vuelo capturándolos durante la noche cuando llegaban al estiércol o a la luz e insertando inmediatamente en sus músculos torácicos una delgada aguja hipodérmica que portaba un diminuto termopar. La temperatura torácica de los escarabajos grandes era de 39 a 45 grados, lo que representaba una temperatura de dos a ocho grados por encima de la de la mayoría de mamíferos, y tan alta como la de las aves voladoras. Algunos escarabajos habían estado volando con temperaturas musculares de sólo uno o dos grados por debajo del nivel que es perjudicial y posiblemente letal.

Estas elevadas temperaturas torácicas son necesarias para el vuelo en los mayores escarabajos estercoleros: no pueden permanecer en vuelo con temperaturas musculares bajas. Sin embargo, los escarabeidos más pequeños pueden volar bien con una temperatura corporal de sólo 27 grados, que supone únicamente un par de grados por encima de la temperatura ambiente nocturna del Parque Tsavo en la época en que estuvimos trabajando allí.

¿Qué es lo que explica esta diferencia? Por lo menos en parte, la respuesta tiene



PROCESO DE ELABORACION de una pelota de estiércol por una hembra de la especie *Kheper aegyptiorum*. En primer lugar el animal corta el material

para la pelota de un bolo de estiércol y después le da forma (1). Cuando el ovillo está terminado, la hembra empieza a hacerlo rodar hacia un lugar

que ver con la relación entre tamaño y tasa de flujo térmico. A partir de nuestras extensivas mediciones de la temperatura torácica en función del tamaño, llegamos a la conclusión de que, en los escarabajos que pesan hasta dos gramos, la temperatura corporal es una función pasiva de la producción de calor (una consecuencia necesaria del metabolismo de vuelo) y de la tasa de enfriamiento pasivo. Cuanto mayor es el escarabajo, tanto menor es la cantidad relativa de superficie de disipación del calor y tanto mayor es la temperatura corporal. Existe, no obstante, un límite superior de temperatura tolerable, unos 45 grados, temperatura a la que de hecho se acercan aquellos escarabajos que pesan sólo dos o tres gramos.

Los escarabajos mayores deben disipar activamente parte del calor que generan en el intenso metabolismo asociado con el vuelo. Sólo pueden hacerlo cuando el gradiente de temperatura entre su cuerpo y el aire es grande. Puesto que, inevitablemente, se calientan, puede deducirse que han desarrollado los mecanismos bioquímicos para que el motor de vuelo funcione de manera óptima a la temperatura que produce durante el vuelo. Los escarabajos pequeños no se calientan; han sufrido, pues, presión selectiva para volar a temperaturas musculares menores.

Cuando se ha obligado a los enzimas y a otros componentes de la maquinaria bioquímica a funcionar a velocidades

máximas a una temperatura determinada, su rendimiento por lo general disminuye a otras temperaturas. Esta situación compensadora puede tener implicaciones significativas en las estrategias de competencia por el estiércol. Los escarabajos pequeños pueden levantar el vuelo inmediatamente cuando huelen los excrementos; en cambio, los escarabajos grandes deben gastar tiempo y energía en caldearse antes de remontar el vuelo. (Comprobamos que un escarabajo de la especie *Heliocoprís dilloni* que pesaba 11,7 gramos necesitaba cinco minutos para calentarse desde 27 grados hasta una temperatura de vuelo de 40 grados.)

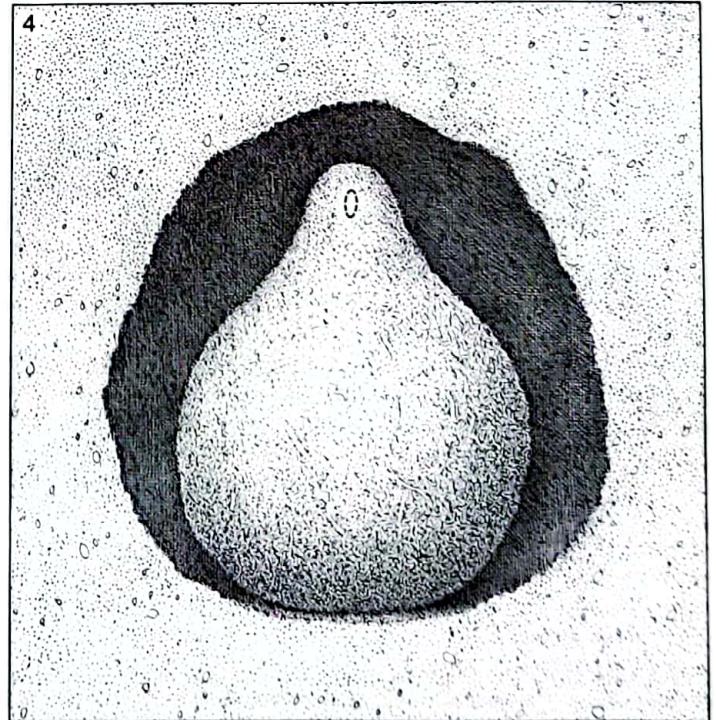
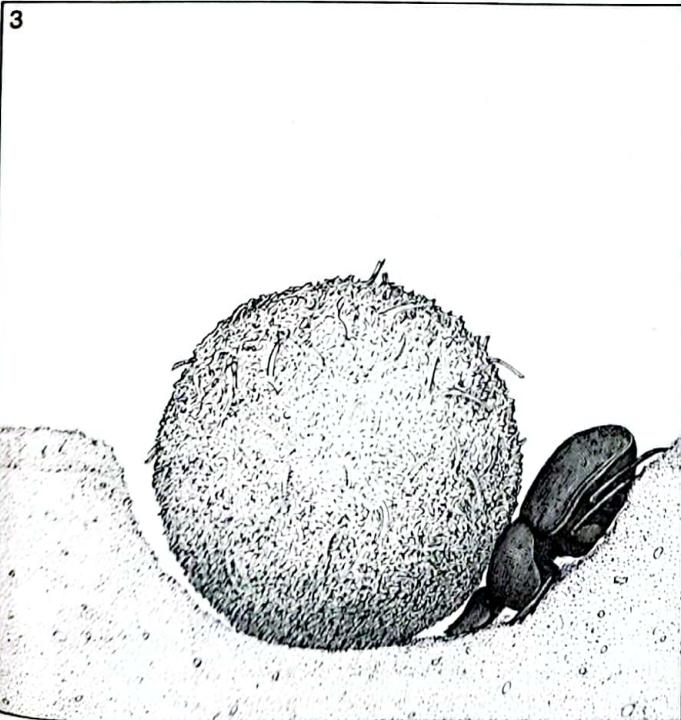
La temperatura de los músculos implicados en el vuelo tiene otras consecuencias; los músculos de vuelo del tórax calientan asimismo otros músculos torácicos que mueven las patas. La actividad de los músculos de vuelo, por tanto, afecta esencialmente toda la actividad de un coleóptero como el escarabajo pelotero: caminar hasta un montón de excrementos después de tomar tierra a cierta distancia del mismo, hacer una pelota, llevársela rodando y defenderla frente a los competidores. Cada una de estas actividades está relacionada con la rapidez de movimiento y la potencia móvil de las patas. Por ello es posible que las temperaturas de vuelo, que evolutivamente se hallan relacionadas con el tamaño del cuerpo, marquen el ritmo de todas las demás actividades, a menos

que se pongan en marcha mecanismos fisiológicos para evitarlas.

Los escarabajos grandes poseen un mecanismo fisiológico que les permite liberarse del ambiente térmico. Se trata de la acción de tiritar, que provoca contracciones de los músculos de vuelo. Permite a los escarabajos caldearse para emprender el vuelo, y los mantiene calientes después de haber tomado tierra. Aunque tiritar es esencial para el vuelo, parece ser una opción para otras actividades. Los escarabajos peloteros pueden desplazarse normalmente y hacer otras cosas sobre el suelo con una temperatura corporal próxima al nivel térmico del ambiente. En breve: los escarabajos con la temperatura corporal baja se mueven lentamente.

Descubrimos que la especie diurna *Scarabaeus catenatus*, que en todo caso se mueve con lentitud, tenía una temperatura torácica de 41 grados en vuelo, 28,4 grados mientras moldeaba pelotas a la sombra, 32 cuando las hacía rodar a la sombra y 37 grados cuando hacía rodar las pelotas al sol. La hembra de la especie *Kheper platynotus*, que cabalga sobre la pelota mientras el macho empuja a ésta, muestra siempre una temperatura torácica inferior a la del macho.

Cuando un escarabajo únicamente anda, su temperatura torácica no sube de manera significativa. Por ello llegamos a la conclusión de que los animales tiritan a veces durante determinadas actividades realizadas sobre el suelo a fin



donde enterrarlo (2), levantándose sobre sus patas anteriores y empujando la pelota con las posteriores, según es uso entre los escarabajos

peloteros. Una vez ha encontrado el punto adecuado, excava (3) hasta medio metro en el suelo para enterrar la bola. La hembra pone en ella un solo huevo.

de acelerar su velocidad de trabajo. Sin embargo, debe recordarse que la competencia entre los escarabajos estercoleros activos durante el día es baja, de manera que por lo menos este tipo de presión selectiva, en favor de una aceleración de la tasa de actividad, se ve reducida.

De noche, periodo en el que los endocópridos y los escarabajos excavadores afluyen en gran número hacia las boñigas, los escarabajos peloteros sólo disponen de unos minutos para procurarse estiércol a partir de los montones frescos o de los que se han acumulado durante

el día. Concentramos nuestra atención en una especie de escarabajo pelotero, *Scarabaeus laevistriatus*, que es activa durante la noche. Estos escarabajos se comportaban de forma muy distinta de las especies peloteras que se muestran activas durante el día.

Los escarabajos de la especie *S. laevistriatus*, que son grandes y tiene largas patas, raramente andan de modo pausado, sino que se desplazan a un paso casi frenético. Como otros grandes escarabajos estercoleros del Africa oriental, son voladores poderosos y rápidos, que

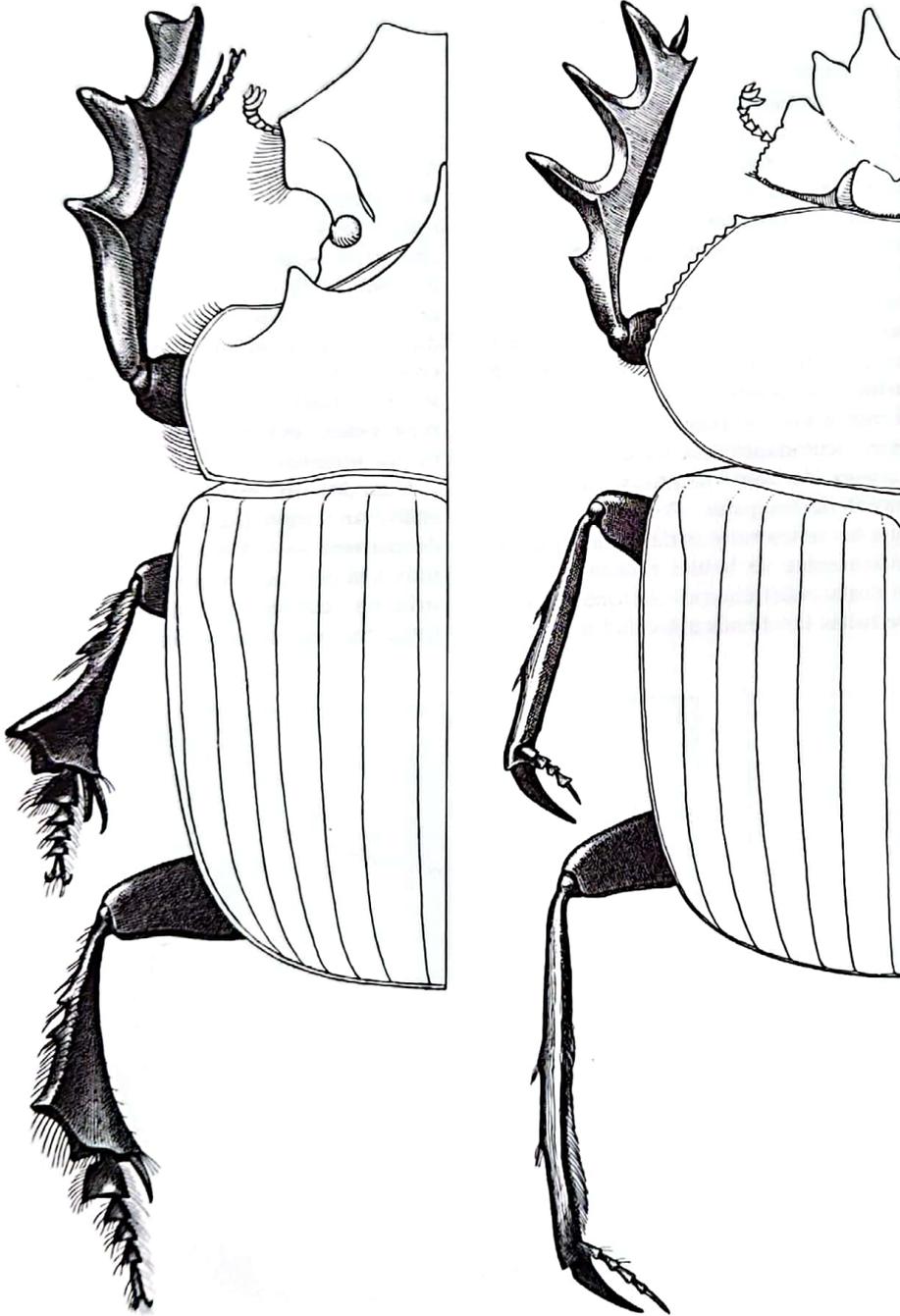
alcanzan velocidades de hasta 30 kilómetros por hora. Casi con seguridad localizan el estiércol gracias al olfato. Ignoramos si lo buscan volando en sentido perpendicular al viento, desplazándose arriba y abajo de la corriente de aire o bien esperando en el suelo hasta que les llega el olor. En cualquier caso, y a partir de nuestra experiencia, siempre se acercan al estiércol contra el viento. A veces aterrizan directamente sobre las heces, pero más frecuentemente se posan varios metros antes del montón y se escabullen hasta éste corriendo sobre el suelo. Una vez han llegado al estiércol se encaraman rápidamente al mismo, manipulándolo repetidamente con sus patas anteriores y examinándolo con la cabeza, comprobando, aparentemente, si las condiciones de humedad y cohesión lo hacen adecuado para ser moldeado en pelotas.

De aquí en adelante, su comportamiento depende de la magnitud de la actividad de los escarabajos endocópridos y de la presencia o ausencia de otros escarabajos de la especie *S. laevistriatus*. Si el estiércol ha sido extensamente mezclado por los endocópridos, los individuos de *S. laevistriatus* por lo general se van volando al cabo de un minuto o dos, presumiblemente en busca de algo más adecuado. Si no es así, empiezan a construir una pelota. Encuentran una protuberancia sobre la boñiga, la redondean, la cortan, la separan de la masa principal y se la llevan rodando. Algunos excavan en el estiércol, hacen una pelota allí, la empujan hasta la superficie y se la llevan rodando.

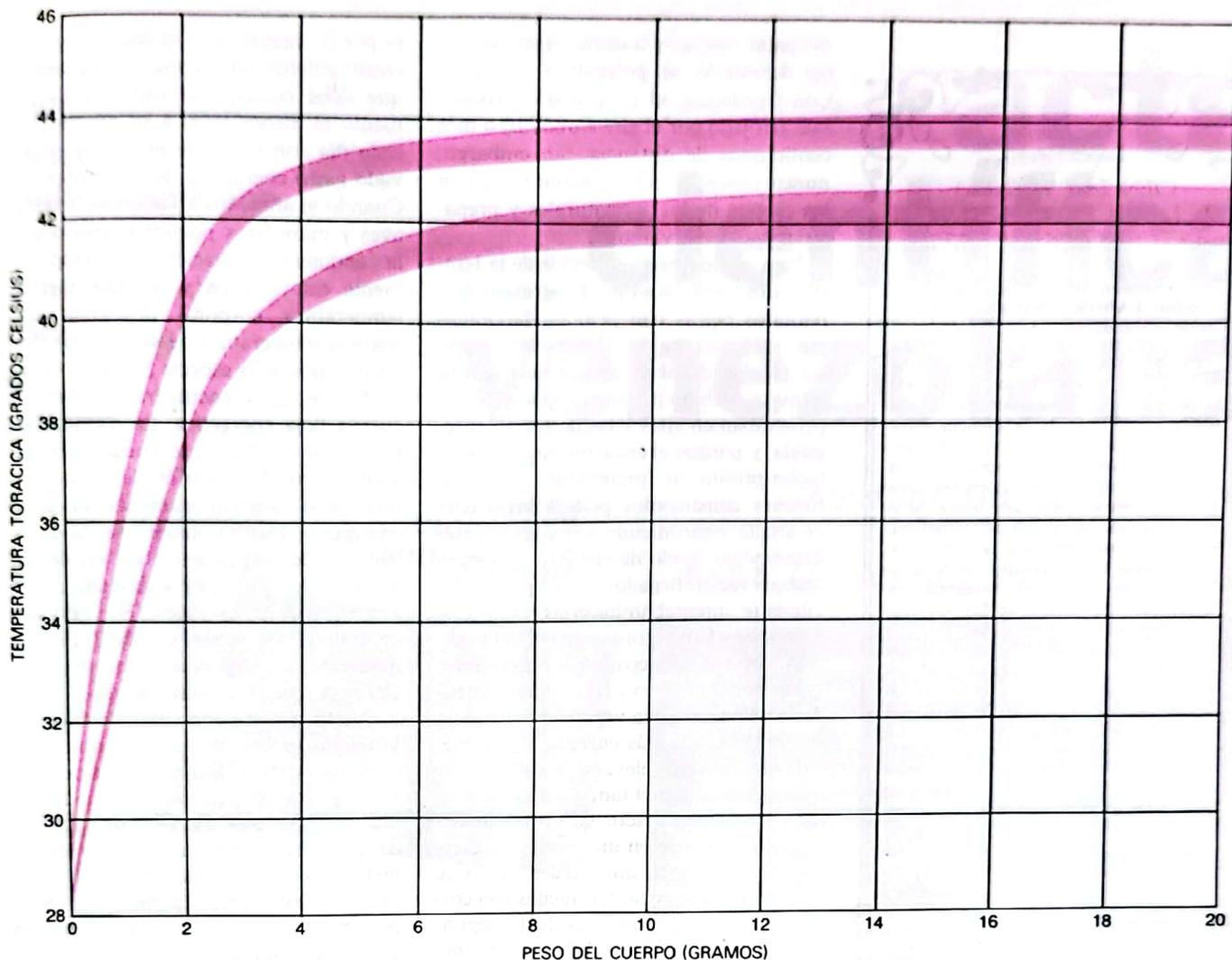
El tiempo que empleaban los escarabajos que observamos en hacer una pelota varió entre 1,1 y 53 minutos. Los periodos más prolongados se observaron únicamente cuando sobre los montones de excrementos colocamos pantallas de alambre para excluir a los endocópridos y a otros competidores. En sólo 15 minutos los endocópridos pueden hacer que los excrementos frescos no resulten ya adecuados para formar pelotas.

El escarabajo pelotero *S. laevistriatus* utiliza en gran medida sus patas delanteras para añadir fragmentos de estiércol a las pelotas y para moldearlas. La rapidez de los movimientos de golpeo que se utilizan para ello está directamente relacionada con la temperatura torácica. Los escarabajos diurnos, relativamente fríos, trabajaban con bastante lentitud, pero los movimientos de golpeo de *S. laevistriatus*, que por lo general estaban calientes, eran extremadamente rápidos.

La relación entre temperatura corpo-



LAS ADAPTACIONES MORFOLOGICAS de los escarabajos estercoleros africanos reflejan las distintas maneras que éstos tienen de tratar los excrementos. *Helicocoprion dilloni*, que es un escarabajo minador de gran tamaño que se alimenta sólo de excrementos de elefante, presenta las tibiae frontales espaluladas, que le ayudan a excavar, y espinas dirigidas hacia atrás en las tibiae de las patas posteriores, para aumentar la tracción (izquierda). El pelotero *Scarabaeus laevistriatus* (derecha) posee patas posteriores largas y delgadas, adecuadas para correr y colgarse del estiércol mientras forma la pelota.



IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA para los escarabajos estercoleros, indicada mediante estas curvas, que representan la temperatura torá-

cica media durante el vuelo (*arriba*) y en el despegue (*abajo*) de varias especies de escarabajos estercoleros africanos, en función de la masa corporal.

ral y velocidad de construcción de la pelota se veía afectada por muchas variables: entre ellas, la consistencia de las heces, el tamaño de la pelota que se estaba construyendo, la densidad de la misma, la presencia o ausencia de otros escarabajos de *S. laevistriatus* que intentaban robar la pelota y la presencia o ausencia de endocópridos que iban deshaciendo la bola conforme se estaba moldeando. Si varios endocópridos invadían una pelota que se hallaba en construcción, los escarabajos de *S. laevistriatus* la abandonaban. (Una pelota de 33 gramos que fue abandonada antes de haber sido terminada contenía más de 50 pequeños endocópridos en su interior.) Pese a estas variables, los escarabajos más calientes eran, por lo general, los primeros en irse con las pelotas terminadas. Constituían una excepción los escarabajos que trabajaban dentro de la pila de excrementos; parecían sacrificar la rapidez de la huida en aras de construir una pelota densa, más cohesionada.

Incluso después de 20 minutos de

construcción de pelotas en montones de excrementos que se habían enfriado hasta la temperatura del aire, algunos escarabajos mantenían temperaturas torácicas cercanas a los 40 grados. Basándonos en la velocidad de enfriamiento de los animales muertos, estimamos que si estos escarabajos no hubieran generado calor, en un intervalo de 10 minutos se hubieran enfriado hasta la temperatura del aire o del estiércol, con una variación en más o en menos de dos o tres grados. Por otra parte, algunos escarabajos de la misma especie presentaban temperaturas torácicas inferiores mientras hacían sus pelotas. Ignoramos por qué algunos escarabajos tiritaban y permanecían calientes y otros se enfriaban. Sospechamos que, como pasa en otros animales, la diferencia quizá tenga que ver con la cantidad de energía almacenada de que disponen. Probablemente, los escarabajos que se enfriaban habían agotado ya sus reservas energéticas, y los otros no. El coste energético que implica mantener una temperatura corporal elevada es alto, si bien los beneficios

son significativos. Un escarabajo caliente tiene más probabilidades de irse con una pelota de estiércol que un escarabajo frío.

También comprobamos que el éxito de un escarabajo determinado de la especie *S. laevistriatus* en la confección y enterramiento de una pelota de estiércol dependía, en gran parte, de su capacidad de lucha, que resultó estar estrechamente relacionada con la temperatura torácica. La mejor estrategia para obtener rápidamente una pelota era robarla. Un recién llegado a un montón de estiércol suele hacer un intento de este tipo. El escarabajo pelotero maniobra rápidamente para colocarse entre el atacante y la pelota, mientras continúa haciéndola rodar y se aleja. Si, a pesar de todo, el atacante consigue encaramarse a la pelota, tiene lugar una fogosa pelea. Ambos insectos agarran firmemente la pelota con sus patas medias y posteriores e intentan desalojar al antagonista mediante rápidos movimientos hacia adelante y hacia atrás de sus potentes patas anteriores. A veces se sujetan con

José María
López Piñero

CIENCIA Y TÉCNICA
EN LA SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE LOS SIGLOS XVI Y XVII

Un volumen de 512 páginas, Colección LABOR UNIVERSITARIA, serie «Manuales»

La actividad científica desarrollada en la España de los siglos XVI y XVII ha sido el núcleo de la llamada «polémica de la ciencia española», estéril enfrentamiento de posturas ideológicas de espaldas a la realidad histórica. En contraste con dicho planteamiento, este libro ofrece un estudio de dicha actividad basado rigurosamente en la investigación, desde la perspectiva de la «historia total» o análisis integrado de todas las actividades de las sociedades humanas a través del tiempo.

La obra comprende dos partes. La primera —centrada en el siglo XVI— estudia la integración de todas las vertientes de la actividad científica en las condiciones socio-económicas reales vigentes en España durante el periodo de su hegemonía política y militar. Muestra su inserción en grupos sociales concretos, sus instituciones y organización, así como la forma en la que los grupos dominantes la favorecieron y dificultaron. Considera la producción científica como discurso acerca de la realidad, su difusión y sus aplicaciones prácticas, desde los diferentes ritmos que en cada área tuvo la dialéctica entre tradición y renovación. La segunda parte de la obra recapitula la trayectoria que condujo a la desarticulación de la actividad científica en la sociedad española del siglo XVII y a su aislamiento de la europea, para examinar la tardía repercusión en nuestro país de la llamada Revolución científica. Analiza también en detalle el movimiento renovador que la introdujo plenamente a finales de la centuria, rompiendo de modo abierto con el saber tradicional y sus supuestos, denunciando además el atraso científico español.

Este libro, tanto por el enfoque científico que lo preside como por su erudita documentación, constituye una inestimable aportación bibliográfica al conocimiento del tema.

Su autor, catedrático de Historia de la Medicina en la Universidad de Valencia, ha publicado diversos libros, entre los cuales destaca *El arte de navegar en la España del Renacimiento*. Encabeza actualmente un equipo de investigadores nacionales y extranjeros dedicados al estudio sobre la ciencia en la España moderna.



EDITORIAL
LABOR, S. A.

sus patas medias y traseras mientras con las delanteras se golpean o empujan. Con frecuencia, el escarabajo perdedor sale arrojado por el aire a unos 10 o más centímetros de distancia. Sin embargo, nunca vimos un contendiente herido en los cientos de luchas naturales y preparadas que observamos.

Para comprobar los efectos de la temperatura sobre este tipo de agresión preparamos peleas con pelotas elaboradas por los escarabajos. Desgraciadamente las pelotas duraban sólo unos cuantos minutos, debido a que los endocópridos penetraban en ellas y las destruían enseguida, y porque el encarnizamiento de la lucha pronto las fragmentaba. Por esas razones construimos pelotas artificiales de arcilla, exprimiendo sobre las mismas excremento fluido de elefante. Los escarabajos recién llegados las aceptaban fácilmente, intentaban hacerlas rodar lejos y las defendían vigorosamente. En nuestros combates preparados observamos tanto conquistas con éxito como fructíferas defensas. Solía vencer el escarabajo de temperatura más elevada. La temperatura corporal elevada resultaba ser más decisiva que el tamaño a la hora de determinar el ganador de un combate.

Al arriesgarse en una lucha, un escarabajo tiene poco que perder, salvo su inversión energética. Las luchas son cortas (duran raramente más de 10 segundos) y producen pocos daños o ninguno. En estas condiciones resulta claramente ventajoso para un escarabajo recién llegado, todavía caliente por el vuelo, arriesgarse a luchar. De lo que se deduce que si un escarabajo ha invertido ya el tiempo y la energía precisos para confeccionar una pelota, debe hacerla rodar lejos y enterrarla tan rápidamente como le sea posible.

Los individuos de la especie *S. laevistriatus* hacían rodar sus bolas de estiércol con presteza. Medimos velocidades altas, de hasta 14 metros por minuto sobre suelo llano, pero sólo en escarabajos con una temperatura torácica de 40 grados o más. La velocidad de rodamiento de las bolas era función directa de la temperatura torácica. Los escarabajos con una temperatura torácica de 42 grados desplazaban las pelotas de estiércol a una velocidad media de 11,4 metros por minuto, mientras que a 32 grados la velocidad media era de 4,8 metros por minuto. En todos los *Scarabaeus laevistriatus* que observamos, la temperatura torácica se elevaba mientras los escarabajos hacían rodar las bolas de estiércol.

Durante esta actividad, la tasa metabólica de los escarabajos endotérmicos

es por lo menos tan alta como la de micromamíferos tales como la musaraña, que debe comer una cantidad de alimento al menos igual a su propio peso cada día con el fin de mantener el elevado gasto energético de la endotermia. Cuando el alimento no abunda, muchas aves y mamíferos pequeños abandonan la endotermia, haciéndose temporalmente ectotérmicos y dejando que su temperatura corporal descienda casi hasta la temperatura de su entorno. Los escarabajos de la especie *S. laevistriatus*, nocturnos, se encuentran sobre la cuerda floja energética. La cantidad de energía alimenticia que pueden obtener aumenta con la extensión de su endotermia, pero también aumenta su gasto energético. Pueden maximizar la cantidad neta de energía que obtienen del alimento sólo si la sincronización de su gasto energético es exacta. Sus periodos de endotermia deben coincidir con los momentos en que el rendimiento energético potencial es más elevado.

Puesto que los individuos de *S. laevistriatus* suelen ser activos hasta poco antes del ocaso y durante el mismo, uno se pregunta por qué no se han hecho diurnos. De esta manera se librarían de la intensa competencia a que les someten los endocópridos durante la noche. No conocemos la respuesta. Sólo podemos aventurar que en el pasado evolutivo (y quizás ahora) las aves diurnas y otros depredadores han cobrado un diezmo tan elevado de escarabajos durante las horas de luz que a éstos les es ventajoso ser nocturnos.

Los descubrimientos sobre el papel de la endotermia en los escarabajos estercoleros ayudan a comprender el significado de su evolución en otros animales, incluidos las Aves y los Mamíferos. Los escarabajos estercoleros alcanzan sus tasas de actividad más elevadas sobre el suelo cuando su temperatura corporal se halla al nivel necesariamente generado durante el vuelo; no han desarrollado la capacidad de conseguir tasas de actividad altas a una temperatura corporal baja. En los Coleópteros, como en otros animales, parece que la maquinaria bioquímica se halla adaptada a la más alta temperatura corporal que se alcanza cuando tiene que trabajar a su velocidad máxima, como ocurre con un escarabajo grande en vuelo. De ahí que las máximas tasas de actividad que pueden conseguirse a temperaturas inferiores dependan de los efectos pasivos de la temperatura sobre los procesos metabólicos, que por lo general duplican su velocidad por cada aumento de 10 grados C en la temperatura corporal.