

Las diferencias de tamaño son un hecho de la vida. Ya sea que, como Aristóteles, queramos ver todo desde la limitada perspectiva que nuestro tamaño biológico nos impone o que, como Twain, comprendamos la importancia de las proporciones, nuestro entorno es un universo de tamaños y escalas que determinan las pautas de nuestra vida. Entre los zoólogos, uno de los hechos más interesantes es que especies tan disímiles como una musaraña de apenas dos gramos y una ballena azul de cerca de 190 toneladas compartan toda una serie de ca-

Si de alguna manera tuviésemos la oportunidad o la posibilidad de inventar un mamífero ideal, ¿cómo sería?, ¿qué tamaño elegiríamos y qué características podríamos darle para asegurar su óptima sobrevivencia? Lograr un diseño eficiente implicaría trabajar a la manera de los ingenieros o los arquitectos, tomando en cuenta las dimensiones de nuestra construcción para darle forma, estructura y función a nuestra creación, para lo cual deberíamos considerar todas las leyes físicas y químicas de nuestro mundo. Esa difícil

La belleza depende del tamaño y de la simetría. Ningún animal muy pequeño puede ser bello, ya que mirarlo toma una porción tan pequeña de tiempo que la impresión sobre él es confusa. Tampoco un animal muy grande puede ser bello ya que no se puede tener una visión completa de él en un vistazo, y no hay unidad ni integridad.

Aristóteles

Nada de lo que nos lastima puede considerarse pequeño: por las eternas leyes de la proporción, el que una niña pierda una muñeca o el que un rey pierda la corona son eventos de la misma magnitud.

Mark Twain

DE RATONES, HOMBRES Y ELEFANTES: EL TAMAÑO SÍ IMPORTA

HÉCTOR T. ARITA, PILAR RODRÍGUEZ Y LEONOR SOLÍS

racterísticas morfológicas y fisiológicas que muestran claramente que ambos animales pertenecen al mismo grupo biológico, el de los mamíferos.

La diminuta musaraña y su gigantesco primo marino que pesa 100 millones de veces más tienen el mismo diseño anatómico básico compartido por las 4 600 especies de mamíferos del mundo. Tanto la musaraña como la ballena, así como los ratones y los elefantes o los murciélagos, son vertebrados endotermos que presentan metabolismos relativamente altos para mantener constante su temperatura corporal. Todos ellos poseen pelo en alguna etapa de su vida y sus hembras presentan glándulas mamarias que producen leche con la que alimentan a las crías. Con muy pocas excepciones, los mamíferos chicos y grandes son vivíparos y todos ellos presentan además otras características morfológicas que los distinguen del resto de los vertebrados.

tarea de diseño avanzado la ha realizado la naturaleza desde hace millones de años, generando una gran variedad de organismos que son capaces de sobrevivir bajo muy distintas condiciones ambientales, además de mantener las características básicas que los hacen mamíferos. Sabemos que como seres humanos todavía estamos muy lejos de poder crear el hipotético mamífero ideal y debemos limitarnos a sorprendernos ante la maravillosa diversidad de soluciones que la naturaleza ha encontrado al problema de ser mamífero y no morir en el intento.

LA FIERECILLA FOSILIZADA Y EL RINOCERONTE CUELLILARGO

Todos los seres vivos están sujetos a una serie de leyes físicas que establecen límites para el tamaño que pue-

den adquirir. Por ejemplo, se ha calculado que el medio acuoso en el interior del ser vivo más pequeño que se conoce, el *Mycoplasma*, consiste apenas de dos iones de hidrógeno. También se ha calculado que los dinosaurios más grandes que existieron, los saurópodos, estuvieron muy cerca del tamaño máximo teórico permitido por las leyes de la biomecánica para un animal terrestre.

Otras restricciones biomecánicas y fisiológicas determinadas por las características propias de los ma-

mucho más extensas en proporción a su peso que los animales más grandes y por lo tanto pierden más velozmente el calor. Ésta es la misma razón por la que los cubos de hielo pequeños se derriten mucho más rápidamente que un bloque grande. Para poder mantener una temperatura interna constante, las aves y los mamíferos muy pequeños necesitan mantener tasas metabólicas relativas (por unidad de peso) mucho más altas que los animales grandes. Los animales pequeños necesitan quemar proporcionalmente más combusti-



míferos establecen límites específicos de tamaño. Así, de acuerdo con algunos cálculos fisiológicos, el límite inferior absoluto para un vertebrado endotérmico sería de alrededor de 2.5 gramos. La teoría, propuesta por el mastozoólogo Oliver Pearson en 1948, toma en cuenta el balance que existe entre la energía que se produce por el metabolismo y aquella que se pierde hacia el entorno. La cantidad producida depende de la tasa metabólica y la masa absoluta del animal, mientras que la energía que se disipa depende de la temperatura ambiental y la superficie expuesta del individuo (el área completa de piel a través de la cual se da la pérdida de calor). Ahora bien, dado que la masa de un animal varía en proporción al cubo de la longitud mientras que la superficie lo hace en proporción al cuadrado, los animales de tamaño pequeño tienen superficies expuestas

ble para mantener el “fuego de la vida,” en palabras del fisiólogo Kleiber. Pearson calculó que un mamífero o un ave de menos de 2.5 g sería incapaz de generar la suficiente energía como para contrarrestar la pérdida. Otra consecuencia de la inexorable ley de las proporciones es que los endotermos muy pequeños tienen que ser de naturaleza muy activa para poder conseguir suficiente alimento para mantener vivo su intenso fuego interno. Esa es la razón por la que las musarañas, que se cuentan entre los mamíferos más diminutos, viven vidas muy intensas y son hiperactivas, por lo que son consideradas “fierecillas”, como la fierecilla domada de la comedia de Shakespeare.

De hecho, la musaraña europea (*Suncus etruscus*) se considera el mamífero terrestre más pequeño del mundo y es afamada por su fiereza. El colibrí abeja de



Cuba (*Mellisuga helenae*) es el ave más chica que se conoce, mientras que el murciélago abejorro de Tailandia (*Craseonycteris thonglongyai*) es el mamífero volador más diminuto. Estos tres campeones de la pequeñez tienen masas corporales muy cercanas al límite teórico calculado por Pearson. Los adultos de la musaraña europea pesan cerca de 2.5 gramos, mientras que los murciélagos abejorro son aún más pequeños, con un peso de cerca de 2 gramos, por lo que se les considera los mamíferos vivos más pequeños. Sin embargo, aun estos pigmeos resultarían gulliveres comparados con la liliputiense ranita *Eleutherodactylus iberia*, descubierta en Cuba en 1996 y que mide apenas poco más de un centímetro de longitud, es decir una tercera parte de lo que mide el murciélago abejorro. Evidentemente,

la ranita cubana, al no ser endoterma, “escapa” a las restricciones fisiológicas descubiertas por Pearson y puede alcanzar un tamaño sorprendentemente pequeño.

Un descubrimiento reciente, una fierecilla fosilizada, parece echar por tierra la validez de la teoría energética del tamaño mínimo. La descripción de la musaraña *Batodonoides vanhouteni*, el mamífero más pequeño de todos los tiempos, fue sacado a la luz en 1998. Esta musaraña fósil del Eoceno temprano (hace 55 millones de años) tenía una longitud de tan sólo un poco más de 2 centímetros y pesaba cerca de 1.3 gramos, más o menos lo que pesa un billete y casi la mitad de lo que pesa la musaraña europea. Evidentemente, la teoría de Pearson no podría explicar la existencia de esta miniatura de animal. En 1977, Tracy, desarrolló un modelo alternativo al de Pearson, que podría salvar el prestigio de las predicciones fisiológicas ante la evidencia de la musaraña del Eoceno. Del mismo modo que años después otros fisiólogos como Calder, Tracy se basó en los mismos principios que Pearson, pero planteando que la pérdida de energía depende no sólo de la superficie

expuesta sino de la temperatura ambiente promedio. Asimismo, la capacidad de generar energía internamente estaría limitada principalmente por la capacidad de un animal de conseguir suficiente comida para alimentar el fuego metabólico. Así, en un ambiente con una temperatura externa constante y relativamente alta, un mamífero realmente diminuto (como *Batodonoides*) podría sobrevivir si fuera altamente eficiente en la obtención de alimento.

Otro fisiólogo, Schmidt-Nielsen, ha argumentado que el límite inferior de tamaño para un vertebrado endotérmico no está determinado por el equilibrio energético, sino por otro factor limitante: la capacidad del corazón para bombear sangre oxigenada a todo el cuerpo. Debido a las altas tasas metabólicas por unidad de masa, el corazón de los vertebrados pequeños necesita trabajar a velocidades más altas que el de los animales más grandes. Se ha medido que el corazón de algunas musarañas trabaja al impresionante ritmo de 1 200 latidos por minuto. Para darnos una idea de lo increíble que resulta esta cifra, basta calcular que el ritmo equivale a 20 latidos por segundo, lo que implica que en un lapso no mayor de 50 milisegundos el corazón de una musaraña debe completar un ciclo completo, relajar el músculo y quedar listo para el siguiente ciclo. Se ha demostrado que el ritmo cardíaco varía en proporción a la masa corporal elevada al exponente (-0.25). Con este dato es fácil calcular que si la musaraña del Eoceno tenía una masa corporal de la mitad de la de una musaraña actual pequeña, el corazón de la especie fósil debió haber trabajado a un ritmo 1.19 veces más rápido, es decir a una tasa de alrededor de 1425 latidos por segundo, muy sorprendente pero dentro de los límites creíbles para el músculo de un vertebrado (de hecho, el corazón de algunos colibríes trabaja a ese ritmo). Si Schmidt-Nielsen tiene razón y es el ritmo cardíaco lo que determina el tamaño mínimo de un vertebrado, entonces es perfectamente explicable la existencia de la musaraña *Batodonoides*, con su minúsculo tamaño.

En el otro extremo del espectro de tamaños, el mamífero terrestre vivo más grande es el elefante africano (*Loxodonta africana*). El individuo más grande que haya sido medido bajo condiciones controladas pesó cerca de siete y medio toneladas, es decir tres millones de veces el peso de la musaraña europea. Los mayores mamíferos terrestres que han existido jamás fueron los hyracodóntidos, parientes de los rinocerontes actuales, pero mucho más grandes, carentes de cuernos y con el cuello alargado, que vivieron en Asia y Europa durante el Oligoceno (entre 23 y 34 millones de años atrás). El

Baluchitherium, que medía 8 metros de largo y 5.5 de alto, se disputa con su pariente el *Indricotherium* el título del mamífero terrestre más grande de la historia. Según diferentes cálculos, estos goliats de los mamíferos pesaban entre 15 y 30 toneladas, es decir, entre 10 y 20 millones de veces más que la musaraña del Eoceno recientemente descubierta.

Algunas de las limitantes biomecánicas y fisiológicas que determinan el tamaño máximo de un vertebrado terrestre se han discutido en otro artículo (ver “Gigantes Jurásicos” en el número 44 de *Ciencias*), por lo que no entraremos en detalles en el presente. Basta mencionar aquí que los rinocerontes gigantes de cuello largo del Oligoceno, aun con sus veintitantas toneladas, están por debajo de los límites teóricos de tamaño para un vertebrado terrestre. Hay que recordar que los dinosaurios más grandes, los saurópodos, según algunos autores, alcanzaron pesos de 80 toneladas o más. Se ha especulado que el único factor que podría explicar por qué nunca existieron mamíferos del tamaño de un saurópodo es que los mamíferos más grandes son herbívoros, y que la materia vegetal es un alimento energéticamente muy difícil de aprovechar, por lo que el límite superior de tamaño para un vertebrado endotermo estaría determinado por la capacidad de adquirir suficiente alimento a partir de las plantas para mantener en funcionamiento varias toneladas de un organismo altamente demandante de energía, como lo es un mamífero.

Para cerrar esta sección del artículo, podemos concluir que para ser un mamífero y no morir en el intento, se debe tener una masa corporal comprendida entre los 1.3 gramos de la fierecilla fosilizada y las veintitantas toneladas de los rinocerontes cuellilargos. Tenemos amplio campo de acción. Se trata de más de siete órdenes de magnitud comprendidas entre los extremos de tamaño.

PIGMEOS VOLADORES Y GIGANTES MARINOS

El mundo de la ciencia está lleno de excepciones, y el caso del tamaño entre los mamíferos no es una excepción a la regla. Existen dos tipos de mamíferos que, no conformes con la dificultad que representa vivir bajo las condiciones ambientales del medio terrestre, han explotado dos medios adicionales: el aire y el agua. Los murciélagos, junto con las aves y los extintos pterosaurios, son vertebrados voladores que han experimentado cambios sustanciales en su morfología y fisiología para adaptarse al medio aéreo. De igual forma, los mamíferos marinos, particularmente los cetáceos, se han diversificado en el mundo acuático a partir de un gru-



po de mamíferos terrestres. Tanto los quirópteros como los cetáceos tienen que enfrentar condiciones muy diferentes a las que viven los mamíferos terrestres no voladores, lo que se refleja en el tamaño de las especies de estos dos grupos.

Los murciélagos, por ejemplo, son mamíferos muy pequeños. Desde el murciélago abejorro de 2 gramos hasta el “zorro” volador (*Pteropus giganteus*) de cerca de un kilo y medio, los quirópteros abarcan menos de tres de las más de siete órdenes de magnitud posibles para un mamífero. ¿Por qué son tan pequeños los murciélagos? La diferencia entre el consumo energético para el vuelo y la capacidad de generar energía establece un límite cercano a los 14 kilogramos para un vertebrado volador. El peso del murciélago más grande es, de todas maneras, diez veces menor al de este límite energético. Es posible que el hecho que los murciélagos sean vivíparos limite en gran medida su tamaño máximo. A diferencia de las aves, los murciélagos hembras al volar deben cargar el peso de un feto; incluso, algunos murciélagos vuelan cargando a las crías durante los primeros días de la lactancia.

Existe la teoría de que la necesidad de maniobrar limita el tamaño en los murciélagos insectívoros. Un murciélago demasiado grande simplemente no podría ejecutar las acrobáticas maniobras necesarias para capturar un insecto al vuelo. Una teoría reciente lleva más allá la idea de una restricción mecánica asociada al vuelo. A principios de los años 90 se descubrió que los murciélagos insectívoros, para ahorrar energía, acoplan el batir de las alas con la producción de los ultrasonidos de ecolocalización que les permite detectar y capturar insectos. Cada movimiento de las alas corresponde a una exhalación respiratoria y la producción de un pulso de ultrasonido. Esta

Resulta sorprendente que el fósil más reciente que se conoce de un mamut corresponda a una población de mamuts lanudos (M. primigenius) que eran apenas más grandes que un caballo, con una altura a los hombros de apenas dos metros.

sincronización permite que se minimice el gasto de energía en el vuelo y la ecolocalización, actividades que individualmente son altamente costosas para los murciélagos. Por cuestiones biomecánicas, el batir de las alas es más lento en los murciélagos más grandes y por lo tanto, debido al acoplamiento, el ritmo de producción de ultrasonidos es también más lento. Sin embargo, para un cierto tamaño límite (alrededor de 150 g de peso), el ritmo

de producción de ultrasonidos sería demasiado lento como para poder detectar insectos voladores. Un murciélago de más de 150 g podría volar perfectamente, pero su sistema de ecolocalización sería inservible para la detección, seguimiento y captura de insectos voladores. Consecuentemente con la teoría, no puede existir un murciélago insectívoro más grande de 150 g.

En la realidad, la gran mayoría de los murciélagos insectívoros pesa menos de 50 gramos y sólo hay cuatro especies de más de 100 gramos. Los murciélagos de más de 200 gramos no son insectívoros sino frugívoros, que no necesitan un aparato de ecolocalización tan sofisticado como el de los insectívoros. Aparentemente, el tamaño en los murciélagos en general está limitado por la combinación de capacidad de vuelo y la viviparidad. En los insectívoros existe además la limitación biomecánica relacionada con el acoplamiento entre el vuelo y la ecolocalización. Estas restricciones hacen que los murciélagos sean mamíferos pequeños.

El caso de los mamíferos marinos es completamente opuesto al de los murciélagos. Existen dos factores principales que determinan el tamaño de los cetáceos, los únicos mamíferos completamente marinos. Por un lado,

los mamíferos marinos no se enfrentan a las limitaciones biomecánicas que establecen el tamaño máximo para un vertebrado en tierra firme. Debido a que los cetáceos pasan toda su vida flotando en el medio marino, sus extremidades no tienen que soportar el peso del cuerpo ni las tremendas tensiones y torsiones asociadas al desplazamiento en tierra firme. Por otro lado, en el medio acuático existe un problema de gran importancia para un mamífero: la tasa de disipación de calor es muy alta, por lo que para mantener la temperatura corporal es preciso contrarrestar ésta de alguna manera. Estos dos factores (la atenuación de las limitaciones biomecánicas y la acentuación del problema de la pérdida de calor) hacen que los mamíferos marinos sean mucho más grandes que los terrestres.

Imaginemos por un momento que existiera una musaraña marina. Su tamaño pequeño, y en particular su gran área de piel expuesta en proporción al peso total, haría que la tasa de pérdida de calor fuera tan alta que se requeriría una tasa metabólica mucho mayor que la de las musarañas terrestres para contrarrestarla. Para mantener un metabolismo tan acelerado, el corazón de esta hipotética fierrecilla marina debería trabajar a un ritmo de varios miles de latidos por minuto, hazaña imposible para el músculo cardíaco de un mamífero. Definitivamente podemos descartar la idea de una musaraña marina.

Dejando de lado el mundo de la biología ficción, el mamífero marino más pequeño que existe es la vaquita marina (*Phocoena sinus*), un cetáceo endémico de los mares mexicanos y que está en peligro de extinción. La vaquita, con su longitud de alrededor de 1.35 metros y su peso de cerca de 45 kilogramos, es mucho más grande que los mamíferos terrestres más pequeños. En el otro extremo tenemos a los verdaderos pesos completos de los mamíferos. La ballena azul (*Balaenoptera musculus*) es el animal más grande que ha existido sobre la faz de la Tierra. Una ballena azul no demasiado robusta pesa más de 100 toneladas, y el récord mundial lo constituye un individuo capturado en los mares del antártico, cuyo peso se estimó en cerca de 190 toneladas, lo que equivale al peso de más de 2 700 personas de peso promedio o al de más de 600 luchadores de *sumo* o al de más de 100 millones de murciélagos abejorro.

¿Cómo puede existir un animal de la envergadura de una ballena azul? Además de no tener que enfrentar las limitaciones biomecánicas que enfrentan sus parientes terrestres, la ballena azul puede escapar de otra de las limitantes: su alimentación está basada en el consumo de pequeños crustáceos que son una fuente de nutrimentos mucho más aprovechable energéticamente.

te que el material vegetal que sirve de alimento a los mamíferos terrestres más grandes. Sin problemas de soporte mecánico y con un tipo de alimentación muy eficiente, energéticamente hablando, no existe un límite teórico al tamaño que podría adquirir un mamífero marino.

Para concluir la sección, podemos recalcar el hecho de que el medio aéreo y el marino producen efectos opuestos sobre el intervalo de posibles tamaños que pueden llegar a tener los mamíferos. Murciélagos y ballenas, que comparten las características básicas de todos los mamíferos, enfrentan condiciones completamente diferentes y han respondido en forma opuesta a las presiones ambientales. De esta manera, los mamíferos en estos medios se han convertido en pigmeos voladores y en gigantes marinos.

EL MAMUT MÁS PEQUEÑO DE LA HISTORIA

Cuando pensamos en un mamífero grande, probablemente una de las primeras imágenes que llega a nuestra mente es la de un mamut. Efectivamente, casi todos los mamuts (género *Mammuthus*) fueron animales de gran envergadura. La mayoría de las especies de estos proboscídeos pleistocénicos era al menos del tamaño de los elefantes modernos, y el mamut imperial (*M. imperialis*) llegó a medir más de cuatro metros de altura a los hombros.

Dada esta imagen de enormidad, resulta sorprendente que la antigüedad de los restos fósiles de estos animales sea de apenas 3 800 años. Es difícil imaginar que existían poblaciones de mamuts lanudos cuando en Mesopotamia y en Egipto se estaban desarrollando ya las primeras grandes civilizaciones.

La población de mamuts en cuestión existió en la isla Wrangler, al norte de Siberia. Se trata de una población que se originó cuando unos pocos individuos quedaron atrapados en la isla como consecuencia de los cambios climáticos que se dieron al final del Pleistoceno, es decir hace unos 10 mil años. Al aumentar la temperatura promedio de la Tierra, el nivel medio del mar subió y creó islas al separar terrenos antes conectados por tierra firme. De esta manera, en Wrangler quedó atrapado un grupo de mamuts que sufrió, como población, un proceso típico en grupos de individuos en islas: la tendencia de las especies de gran tamaño a producir enanos. En unos pocos miles de años, el tamaño de los individuos de la población de mamuts lanudos de Wrangler disminuyó sensiblemente hasta producir los pequeños mamuts cuyos fósiles de 4 mil años se conservan hasta nuestros días.

Existen numerosos casos de poblaciones de animales que al invadir islas experimentan una disminución en el tamaño promedio de sus individuos. En la isla de Cozumel, al este de la península de Yucatán, por ejemplo, se encuentran poblaciones de coati (género *Nasua*), de mapache (género *Procyon*) y de pecarí cuyos individuos son más pequeños que sus contrapartes en el continente. Existe todavía controversia respecto a si estas poblaciones representan o no especies separadas. Parece ser que los primeros pecaríes de Cozumel fueron llevados a la isla por los mayas hace apenas unos cuantos cientos de años, lo que indica que la tendencia hacia el



tamaño pequeño puede manifestarse en tiempos evolutivos muy cortos. Otro ejemplo interesante parece ser la fauna de dinosaurios de Rumania de finales del Cretácico, que está representada por formas anormalmente pequeñas. La explicación que se ha dado al diminuto tamaño de estos dinosaurios es que Europa Central hace cerca de 70 millones de años era un archipiélago, y que los fósiles de Rumania provienen de poblaciones que se encontraban aisladas en algunas de las islas, y por lo tanto experimentaron la tendencia al enanismo, tal como las poblaciones insulares actuales.

Un aspecto curioso de la evolución del tamaño corporal en las islas es que mientras las especies de gran tamaño desarrollan formas enanas, las especies pequeñas tienden a formar gigantes. Existen numerosos casos documentados de ratones, tortugas y lagartijas insulares que son más grandes que sus parientes en el continente. El caso extremo es el llamado dragón de Komodo

¿Qué tienen de especial los mamíferos de 100 gramos que los hace tan comunes? ¿Por qué hay pocas especies de tamaño muy pequeño y muy pocas especies de gran talla?

do (*Varanus komodensis*), que con casi tres metros de longitud y un peso de hasta 135 kilos es la lagartija más grande del mundo. Esta especie se encuentra solamente en la isla de Komodo y en otras pequeñas islas del archipiélago de la Sonda pertenecientes a Indonesia.

En la isla Ángel de la Guarda, en la parte norte del Golfo de California, se presenta un caso particularmente ilustrativo de las tendencias evolutivas en las poblaciones insulares. En la isla existen dos especies de serpientes de cascabel, *Crotalus mitchelli* y *Crotalus ruber* que también se encuentran en la parte continental de México. En el continente, *C. mitchelli* es mucho más pequeña que *C. ruber*, pero en Ángel de la Guarda la relación se ha invertido, de manera que ahí *C. mitchelli* es casi del doble de tamaño que la otra especie. Ted Case, ecólogo de la Universidad de California en San Diego, explica este fenómeno proponiendo el siguiente escenario: es posible que *C. mitchelli* (la especie pequeña en el continente) haya llegado primero a la isla y evolucionado hacia individuos de mayor tamaño. Mucho tiempo después, al invadir la isla *C. ruber*, esta serpiente “tuvo” que evolucionar hacia tamaños pequeños para evitar la competencia con la ahora serpiente grande *C. mitchelli*.

¿Qué hace que en las islas los gigantes se conviertan en enanos y los enanos en gigantes? Evidentemente, como en otros fenómenos biológicos, no existe una explicación sencilla, sino una combinación de factores. Tal como nos enseña el caso de las víboras de Ángel de la Guarda, la historia y el azar juegan un papel preponderante en estos procesos. Para hacer aún más interesante el misterio de los enanos y los gigantes insulares, existe un patrón muy curioso que fue descrito por Lomolino a mediados de los años 80. En los mamíferos, la tendencia general es que las especies cuyos individuos pesan más de 100 gramos en el continente tienden a hacerse más chicas al invadir islas, mientras que las especies de peso menor a 100 gramos tienden a hacerse grandes. Las especies que en promedio pesan cerca de 100 gramos no presentan cambios morfológicos notables una vez que se establecen en las islas. ¿Qué tiene de especial un peso de 100 gramos en los mamíferos? Para tratar de contestar debemos regresar a la pregunta hipotética que planteamos al principio de este artículo: si pudiéramos diseñar al mamífero ideal, ¿de qué tamaño sería?

EL MAMÍFERO IDEAL, ¿EXISTE TAL COSA?

En México existen (o han existido en tiempos históricos) 289 especies de mamíferos terrestres, excluyendo

a los murciélagos (por ser animales voladores) y a las especies insulares. En este conjunto de especies, el peso varía desde un poco más de 3 gramos en las musarañas más pequeñas, hasta la media tonelada del bisonte o del wapiti. La distribución estadística no es uniforme (aspecto que se discutirá más adelante), por lo que en realidad la gran mayoría de las especies presentan pesos de menos de 200 gramos. La media geométrica del peso de las 289 especies es de 171.5 gramos, que corresponde con la talla de una rata de tamaño grande (género *Neotoma*) o de una ardilla de tierra pequeña (por ejemplo, *Spermophilus mexicanus*). Estos animales podrían considerarse los mamíferos mexicanos promedio en cuanto a tamaño. Otra manera de tratar de encontrar un mamífero promedio es determinando el punto medio de la distribución, es decir la mediana. En el caso de los mamíferos terrestres mexicanos, la mediana del peso corporal es de 92 gramos, que corresponde al de una rata canguro de tamaño intermedio (*Dipodomys gravipes*). Estar situado en la mediana significa para la rata canguro que 144 especies mexicanas pesan menos que ella y 144 especies tienen una talla mayor. Podemos decir que si existe un mamífero promedio para México, tal animal sería un roedor de entre 90 y 180 gramos. Antes de discutir con detalle las implicaciones de este resultado, llamaremos la atención sobre el hecho de que los valores de la mediana y de la media geométrica del peso de los mamíferos de México son bastante cercanos a los 100 gramos que Lomolino encontró como límite para la tendencia hacia el gigantismo o el enanismo en los mamíferos insulares. ¿Casualidad? Algunas teorías recientes parecen indicar que esta concordancia es más que una simple coincidencia.

A finales de los años 50, dos de los más grandes ecólogos de la historia, George E. Hutchinson y Robert MacArthur, recopilaron datos de tamaño para los mamíferos de Michigan y los de Europa. Hutchinson y MacArthur encontraron un patrón común: existen más especies de tamaño pequeño que de tamaño grande. Para los mamíferos, esto significa que hay más tipos de musarañas y de ratones que de carnívoros o de venados, tal como sucede en el caso de los mamíferos de México. La explicación standard de este patrón fue que los animales más pequeños podían dividir el espacio y los recursos en una manera más fina que los de mayor talla, permitiendo así la existencia de más formas chicas que grandes. Las observaciones parecían ajustarse a un modelo definido por la competencia entre las especies y la forma en la que éstas se repartían los recursos.

Estudios posteriores, sin embargo, mostraron patrones más finos e interesantes que contradecían la teoría de Hutchinson y MacArthur. Para empezar, se ha demostrado que la categoría que comprende los animales de tamaño más pequeño no es la más rica en especies. En realidad, hay pocas especies de musaraña y de otros mamíferos diminutos en comparación con el número de especies de ratones y otros roedores, por ejemplo. Los mamíferos más comunes, en términos del número de especies que existe, no son los más pequeños, sino los de aproximadamente 100 a 120 gramos de peso, según datos de Brown y colaboradores. Como ya vimos, este patrón se cumple para la fauna de mamíferos de México, ya que existen sólo 25 especies que pesan menos de 10 gramos, mientras que 119 pesan entre 10 y 100 gramos, y 85 pesan entre 100 gramos y un kilo. En segundo lugar, existen cada vez menos especies a medida que nos movemos hacia tamaños mayores, y hay realmente muy pocas especies de gran talla. Podemos, por ejemplo, contar con los dedos de las manos las especies de mamíferos que pesan más de una tonelada (de hecho en México no existe ninguna de ellas), pero hay algunas docenas que pesan cientos de kilos (en México existen seis) y un número mayor que pesan decenas de kilos (en México hay 14). El número se incrementa siguiendo esta secuencia hasta alcanzar el pico alrededor de las especies de cerca de 100 a 200 gramos. En tercer lugar, la cantidad de especies de las diferentes tallas varía según el tamaño del área estudiada y, por tanto del número total de especies: en continentes completos o grandes regiones se observa el patrón unimodal con el pico en los 100 gramos, pero en regiones pequeñas con menos especies la distribución es más pareja, con un número similar de especies en cada categoría.

¿Cómo se pueden explicar estos patrones? Brown y sus colaboradores propusieron en 1993 un modelo energético que explica la existencia de un tamaño óptimo para un mamífero terrestre. El modelo incluye algunas inferencias complicadas basadas en las relaciones entre el tamaño corporal y diversas funciones fisiológicas, pero, en síntesis, propone una relación directa entre la masa corporal de un mamífero y dos atributos fisiológicos básicos: su capacidad para adquirir energía del medio para sobrevivir y crecer, y su capacidad para la reproducción. Según Brown y sus colegas, los mamíferos demasiado pequeños serían muy eficientes para adquirir energía del ambiente, pero poco eficientes para transformar esa energía en descendientes. Los mamíferos más grandes, en cambio, serían más eficientes para la reproducción, pero su deficiente capacidad de captura de energía les impediría aprovechar al máximo esa

capacidad reproductora. Usando varios modelos alométricos, Brown y sus colaboradores concluyen que el mamífero ideal que aprovecharía al máximo la capacidad de adquisición de energía y su transformación en crías debe pesar alrededor de 100 gramos, cifra que coincide con la categoría de tamaño más rica en especies para diferentes faunas de mamíferos y con el límite descubierto empíricamente por Lomolino. Más recientemente, en 1997, Kozlowzki y Weiner, presentaron una teoría diferente en la que no existe un tamaño óptimo general para un mamífero, sino que aquel varía de especie a especie en función de las tasas de asimilación de energía, respiración y mortalidad.

Ambos modelos (el de Brown y colaboradores, y el de Kozlowzki y Wiener), predicen que los factores fisiológicos determinan el tamaño ideal para los mamíferos. La hipótesis de Brown y colaboradores habla de un ideal para todos los mamíferos, mientras que la de



Kozlowzki y Wiener propone que el tamaño óptimo varía entre las especies. Las dos teorías predicen que el tamaño ideal debe ser el más rico en especies, mientras que los tamaños más pequeños y más grandes estarían menos representados en las faunas de mamíferos. Aunque ambas teorías siguen siendo acaloradamente debatidas en la literatura científica actual y no han sido universalmente aceptadas, al menos han propuesto un sustento teórico a las observaciones empíricas sobre la distribución de tamaños entre los mamíferos y han desencadenado una discusión muy fructífera entre los científicos interesados en el tamaño corporal como una variable ecológica.

MARCHA DE CABALLOS FÓSILES Y CAÍDA DE TITANES

Entre las implicaciones de las teorías fisiológicas de un tamaño óptimo para los mamíferos destaca la conclusión de que debe haber mecanismos selectivos de producción de nuevas especies y de extinción para producir el patrón típico de distribución de frecuencias de masas corporales que observamos en la actualidad. ¿Qué nos puede decir la paleobiología sobre este asunto?

Entre las “reglas” biológicas que han intentado explicar los patrones evolutivos de los mamíferos en relación con el tamaño destaca la llamada regla de Cope, que propone la existencia de una tendencia evolutiva hacia el desarrollo de tamaños cada vez más grandes. Se ha invocado esta regla para explicar el enorme tamaño que llegaron a adquirir algunos dinosaurios y se ha aplicado para describir las tendencias evolutivas de algunos grupos de mamíferos. Por ejemplo, todavía en algunos textos se presenta la evolución de los proboscídeos (el orden de los elefantes) como un ejemplo de la regla de Cope, que llevó a este grupo de animales a evolucionar desde el primitivo *Moeritherium* de finales del Eoceno, que era un proboscídeo relativamente pequeño (de 250 kilos) y más parecido a un hipopótamo que a un elefante, hasta los enormes mamuts del Pleistoceno, que deben haber pesado unas 10 toneladas. Sin embargo, un análisis más cuidadoso de la evolución en este grupo muestra la existencia de una gran variedad de formas y tamaños durante el Oligoceno, Mioceno y Plioceno, incluyendo especies de enormes dimensiones, pero también formas de tamaños intermedios.

Otro ejemplo clásico de la regla de Cope es la evolución de los caballos, desde el primitivo *Hyracotherium* (conocido también como *Eohippus*) del Eoceno hasta el moderno *Equus*, que apareció en el Pleistoceno, y al que pertenecen en la actualidad los caballos, cebras y burros. En la forma tradicional, se entendía la evolu-

ción de estos animales como una tendencia hacia la aparición de especies cada vez más grandes, la cual estaba asociada a otros cambios: (1) el paso de un ambiente boscoso a las sabanas abiertas; (2) la transformación de los molares, desde una estructura simple característica de los herbívoros ramoneadores, hasta los dientes grandes y complejos propios de un pastoreador; (3) una tendencia a desarrollar capacidades para correr velozmente y escapar de los depredadores, reflejada en un incremento en la longitud de las patas y en la pérdida de dedos, hasta terminar con la pezuña única, característica de los caballos modernos.

Bruce MacFadden, paleontólogo de la Universidad de Florida, ha analizado con mucho detalle la evolución de los caballos en América del Norte y ha mostrado que existieron largos periodos en los que no existe un aumento notable en el tamaño de las especies, y que los “saltos” reflejados en cambios en la masa corporal coinciden siempre con cambios dramáticos en el clima o el tipo de vegetación. Más recientemente, otros paleobiólogos han mostrado que, en otras partes del mundo, la evolución de los caballos ha producido en diferentes etapas tanto especies pequeñas como grandes. Definitivamente la regla de Cope no explica adecuadamente la evolución de los elefantes ni de los caballos.

Otra supuesta regla es que las especies de mayor talla deben ser más susceptibles a la extinción. Esta suposición parte de la imagen que se tiene sobre las extinciones masivas de vertebrados en tiempos remotos: la extinción masiva de los dinosaurios al final del Cretácico y la de la megafauna de mamíferos de varios continentes al final del Pleistoceno parecen ser ejemplos extremos de la alta vulnerabilidad de las especies de tamaño grande. Sin embargo, existen algunas complicaciones para esta explicación simplista: no hay que olvidar, para empezar, que junto con los enormes dinosaurios que todos conocemos existió toda una colección de dinosaurios de tamaños pequeños y medianos, que también desapareció hace 65 millones de años.

El caso de la megafauna de mamíferos se ha prestado a mayor debate y es posible que la aparición de un nuevo factor haya sido la causa principal de este episodio en la historia de los mamíferos. La evidencia muestra que, en efecto, los mamíferos pleistocénicos de mayor talla, entre ellos los clásicos mamuts, tuvieron una probabilidad mayor de extinción que las formas más pequeñas. Sin embargo, hay evidencias de gran peso que indican que la presencia del hombre pudo haber sido el factor determinante en la desaparición de estas especies. El hecho es que la desaparición de la megafauna coincide en varios sitios con la

aparición en esos lugares del hombre. Por ejemplo, la extinción de los canguros gigantes, del león marsupial y de otros mamíferos australianos se produjo hace 35 mil años, justo cuando el hombre primitivo llegó a la isla-continente. Más recientemente, hace 11 mil años, sucedió exactamente lo mismo con la megafauna de mamíferos de América del Norte, al aparecer los grupos humanos correspondientes con los artefactos Clovis. Finalmente, en el último milenio, la extinción de numerosas aves de gran tamaño en Madagascar, Nueva Zelandia y varias islas del Pacífico ha coincidido indudablemente con la llegada de la gente. La conclusión inescapable de esta evidencia es que la extinción masiva de las especies de mayor tamaño en el Pleistoceno y en la época actual es más una consecuencia del efecto negativo del hombre que el de una regla biológica.

Tal parece que, tanto la llamada regla de Cope, como la supuesta tendencia de las especies grandes a ser más

para dilucidar procesos que puedan explicar los patrones pasados y presentes de la distribución de masas corporales entre los mamíferos.

IMPLICACIONES HISTÓRICAS Y SOCIALES

Para concluir, discutiremos dos ideas actuales que tienen que ver con este tema y que pretenden comprender la relación del hombre con los animales. La primera es la especulación que hace Jared Diamond sobre la antigua idea de que la posesión de animales domésticos de gran talla ha constituido una ventaja considerable para grupos humanos que han logrado conquistar a otras culturas. Según algunos antropólogos e historiadores, y más recientemente según Diamond, la combinación de animales domésticos, agricultura avanzada, tecnología militar y resistencia a las enfermedades ha dado a los conquistadores las ventajas suficientes para dominar a sus conquista-

dos. En particular, la posesión de caballos y ruminantes (vacas, ovejas, cabras) por los europeos constituyó una ventaja determinante en la conquista del continente americano, Australia y otras partes del mundo.

No podemos en este artículo entrar en una detallada discusión sobre la validez de los argumentos de Diamond. Sin embargo, el punto relevante en relación al tema del artículo es la especulación de Diamond que establece que la extinción diferencial de la megafauna en diferentes partes del mundo es lo que permitió a los europeos la domesticación de los animales que posteriormente favorecieron la expansión de los

grupos humanos del viejo continente a costa de la gente de otros sitios que no poseían animales domésticos de gran talla. Según Diamond, los mamíferos de gran tamaño no se extinguieron en el viejo continente a causa de los humanos, ya que esa fauna ha evolucionado junto con poblaciones humanas por decenas o centenas de miles de años. Por el contrario, las faunas de Améri-



susceptibles a la extinción, tienen poco apoyo en la evidencia empírica. De hecho, el paleobiólogo David Jablonski ha llegado a conclusiones semejantes en el caso de los invertebrados, al no encontrar evidencia para ninguna de las dos supuestas reglas en la extensa colección de moluscos fósiles del Cretácico de América del Norte. En suma, es necesario reexaminar la evidencia fósil



ca, de Australia y de otras partes del mundo eran muy susceptibles a la acción de los humanos, lo que podría explicar las catastróficas extinciones masivas asociadas con la llegada del ser humano a esos sitios. La consecuencia última de la pérdida de los grandes mamíferos fue que todas las especies de gran talla potencialmente domesticables fueron extirpadas de América y de Australia, lo que impidió a los pueblos nativos de estos continentes contar con los equivalentes a los caballos y las vacas. Esto, a su vez, de acuerdo con Diamond, allanó el

camino, junto con otros factores, para la conquista del Nuevo Mundo y Australia por los europeos.

Una derivación más actual de los avances recientes en la comprensión de las implicaciones ecológicas y evolutivas del tamaño corporal, es el posible incremento en la susceptibilidad de los animales de mayor talla a la extinción. Además de la evidencia histórica, representada por las extinciones masivas de aves y mamíferos de gran talla ante la presencia humana, hay una serie de correlaciones ecológicas que sugieren que las especies de mayor tamaño deben ser más vulnerables a la extinción. Por ejemplo, los mamíferos más grandes existen en densidades menores que las de las especies más pequeñas. Asimismo, las especies grandes son más longevas y por lo tanto tienen tiempos generacionales más extensos, presentan camadas más pequeñas y más espaciadas en el tiempo y requieren áreas mayores para mantener poblaciones viables. Esta evidencia apunta fuertemente a que, en efecto, las especies de mayor tamaño podrían estar en mayor riesgo de extinción.

Los humanos del siglo XXI no veremos jamás a un mamut vivo, a menos que tengan éxito los intentos recientes por producir mamuts clonados a partir de material genético encontrado en fósiles congelados en Siberia. Tampoco observaremos nunca al perezoso gigante, una especie que desapareció hace apenas algunos miles de años, a menos que el animal sea encontrado en la selva del Amazonas por un científico que afirma tener pruebas de la presencia del perezoso gigante en Brasil. Sería muy triste añadir a esta lista otros representantes de las categorías de tamaño más grande entre los mamíferos. Además de ser, como hemos visto, casos excepcionales de tamaño, los elefantes, los rinocerontes, los hipopótamos y otros megamamíferos constituyen componentes clave de los ecosistemas, y son parte fundamental de la diversidad biológica del planeta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. Brown, J. H. 1995. *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago, Estados Unidos.
 Diamond, J. 1997. *Guns, germs, and steel. The fates of human societies*.
 Gould, S. J. (ed.). 1993. *The book of life*. W. W. Norton & Co., Nueva York.
 Jablonski, D., D. H. Erwin y J. H. Lipps (eds.). 1996. *Evolutionary paleobiology*. University of Chicago Press, Chicago.
 Quammen, D. 1997. *The song of the dodo, island biogeography in an age of extinctions*. Simon & Schuster, Nueva York.
 Schmidt-Nielsen, K. 1984. *Scaling, why is animal size so important?* Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido.

Wilson, E. O. 1992. *The diversity of life*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Se extrajeron algunos datos e información específica del manuscrito: Arita, H. T. y P. Rodríguez. Macroecología y ecología geográfica. Para el libro *Biogeografía* (J. J. Morrone, O. Flores y J. Llorente, eds.).

ILUSTRACIONES. Maurice Sendak.

HÉCTOR T. ARITA, PILAR RODRÍGUEZ Y LEONOR SOLÍS. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.