

Crónicas de la extinción

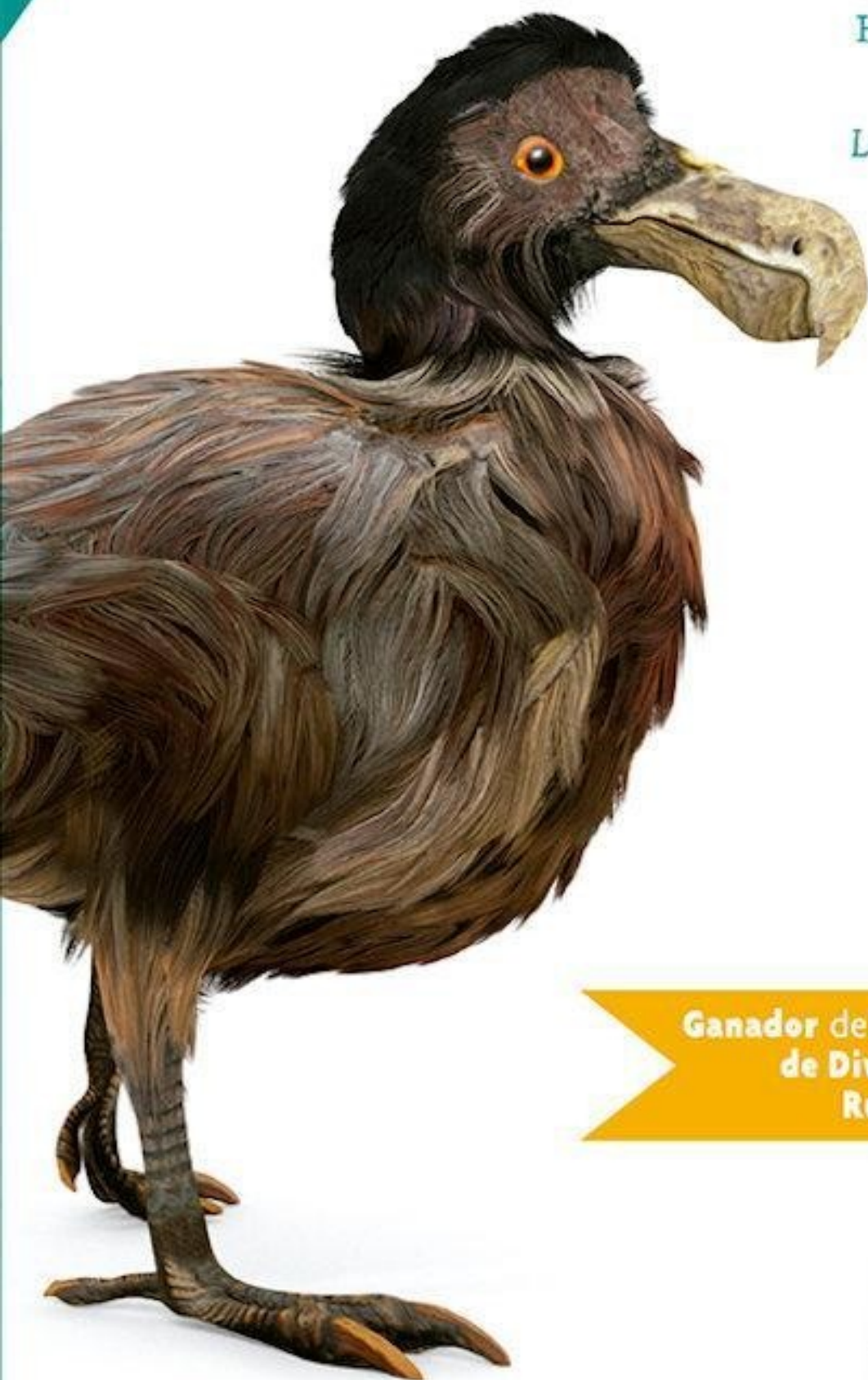
244

LA
CIENCIA
PARA
TODOS

BIOLOGÍA

HÉCTOR T.
ARITA

*La vida y la muerte
de las especies
animales*



**Ganador del Premio Internacional
de Divulgación de la Ciencia
Ruy Pérez Tamayo 2016**

Lectulandia

Todas las especies están condenadas a la extinción. A pesar de que esta realidad científica se reconoció hace apenas doscientos años, el registro fósil que desde entonces los investigadores han leído en las rocas muestra que los animales que habitan hoy en el planeta son verdaderos sobrevivientes y herederos de otro 99.9% de especies que cumplió apaciblemente su ciclo de vida, o que encontró su inevitable fin en uno de los episodios de extinción masiva que han ocurrido en la Tierra. Grupos completos —como el de los trilobites— o individuos únicos de su especie —como el Solitario George—, así como dinosaurios, mamuts, dodos, moas y parientes extintos del ser humano moderno, vuelven a vivir en estas *Crónicas de la extinción*, cuya lectura nos hace preguntarnos quién escribirá el relato del *Homo sapiens* cuando éste ya se haya extinguido.

Las *Crónicas de la extinción* comienzan con la historia de las tortugas de las islas Galápagos, y continúan en los episodios II y III con el recuento histórico de la manera en que la ciencia comprobó a través del registro fósil la extinción de las especies. La llamada extinción de los dinosaurios se detalla en el episodio IV; mientras que los capítulos V y VI narran las extinciones de la llamada megafauna de la Era de Hielo y la de los parientes extintos del ser humano. En el capítulo VII se abordan las historias de extinción de algunas especies contemporáneas al hombre, y finalmente, en los episodios VIII y IX, se aborda la manera en la que la ciencia enfrenta el problema de las extinciones modernas.

Héctor T. Arita

Crónicas de la extinción

La vida y la muerte de las especies animales

ePub r1.0

Titivillus 30.01.2023

Héctor T. Arita, 2016

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

La Ciencia para Todos

En 1984 el Fondo de Cultura Económica concibió el proyecto editorial *La Ciencia desde México* con el propósito de divulgar el conocimiento científico en español a través de libros breves, con carácter introductorio y un lenguaje claro, accesible y ameno; el objetivo era despertar el interés en la ciencia en un público amplio y, en especial, entre los jóvenes.

Los primeros títulos aparecieron en 1986 y, si en un principio la colección se conformó por obras que daban a conocer los trabajos de investigación de científicos radicados en México, diez años más tarde la convocatoria se amplió a todos los países hispanoamericanos y cambió su nombre por el de *La Ciencia para Todos*.

Con el desarrollo de la colección, el Fondo de Cultura Económica estableció dos certámenes: el concurso de lectoescritura «Leamos *La Ciencia para Todos*», que busca promover la lectura de la colección y el surgimiento de vocaciones entre los estudiantes de educación media, y el Premio Internacional de Divulgación de la Ciencia Ruy Pérez Tamayo, cuyo propósito es incentivar la producción de textos de científicos, periodistas, divulgadores y escritores en general cuyos títulos puedan incorporarse al catálogo de la colección.

Hoy, *La Ciencia para Todos* y los dos concursos bienales se mantienen y aun buscan crecer, renovarse y actualizarse, con un objetivo aún más ambicioso: hacer de la ciencia parte fundamental de la cultura general de los pueblos hispanoamericanos.

Comité de selección de obras

Dr. Antonio Alonso
Dr. Francisco Bolívar Zapata
Dr. Javier Bracho
Dr. Juan Luis Cifuentes
Dra. Rosalinda Contreras
Dra. Julieta Fierro
Dr. Jorge Flores Valdés
Dr. Juan Ramón de la Fuente
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer[†]
Dr. Adolfo Guzmán Arenas
Dr. Gonzalo Halffter
Dr. Jaime Martuscelli
Dra. Isaura Meza
Dr. José Luis Morán López
Dr. Héctor Nava Jaimes
Dr. Manuel Peimbert
Dr. José Antonio de la Peña
Dr. Ruy Pérez Tamayo
Dr. Julio Rubio Oca
Dr. José Sarukhán
Dr. Guillermo Soberón
Dr. Elías Trabulse

AGRADECIMIENTOS

A la memoria de mi padre, Luis K. Arita, quien me regaló mi primer Scientific American.

Las presentes crónicas de la extinción se forjaron en un tiempo muy corto, en apenas unos meses. Sin embargo, las ideas tanto sobre el contenido técnico como sobre el estilo narrativo son resultado de muchos años de interesantes pláticas y enriquecedoras discusiones con varios colegas y amigos. Por temor a dejar fuera algunos nombres, prefiero agradecer en forma colectiva a todos mis maestros, colaboradores y alumnos, de los que he aprendido tantas cosas a lo largo de mi carrera como investigador en ecología.

Mi estilo personal para divulgar la ciencia ha ido tomando forma a través de los años gracias a las muy sustanciosas charlas y discusiones que he tenido con los profesionales de la divulgación. Deseo agradecer en particular a César Carrillo, a Patricia Magaña y a los colaboradores de la revista *Ciencias* por abrirme un espacio, donde pude expresarme libremente —tanto en estilo como en temática— por casi dos décadas.

Julia Tagüeña y Julieta Fierro me han honrado con su amistad y con su constante aliento y apoyo a mi labor de divulgación. Las ideas conceptuales sobre la divulgación científica de Ana María Sánchez Mora han tenido desde siempre una influencia importante en el lado creativo de mis obras de divulgación. Más recientemente, he aprendido muchísimo sobre la comunicación de la ciencia gracias a las conversaciones, en ocasiones críticas, pero siempre constructivas, con Martín Bonfil, Estrella Burgos, Javier Cruz, Mónica Genis, Luisa Fernanda González, Rolando Isita, Ernesto Márquez, Ana Claudia Nepote, Sergio de Régules, Elaine Reynoso, Leonor Solís y Juan Tonda.

Gran parte de la inspiración para escribir el presente volumen proviene de la lectura de un importante número de los más de 240 títulos que han aparecido en esta colección. Reconociendo que omito a muchos autores que han tenido una notable influencia en mi carrera, deseo agradecer en particular

a Juan Luis Cifuentes, Luis Felipe Rodríguez, José Sarukhán y Ruy Pérez Tamayo, por ser para mí verdaderos modelos de vida profesional y personal.

Ana María, Ángela y Carolina son la inspiración fundamental de mi trabajo. Además de ello, Ángela aceptó realizar las ilustraciones principales de los capítulos del libro, y Ana y Carolina contribuyeron con comentarios a algunos de los textos.

PRESENTACIÓN

El ser humano es un animal cuentacuentos, una especie particular capaz de disfrutar tanto de crear o recopilar historias como de escuchar o leer esas narraciones. En todas las culturas del mundo, las historias más perdurables son aquellas que tienen que ver con los ancestros y, en general, con la historia antigua y reciente de cada pueblo. Estas crónicas del pasado contribuyen a entender los orígenes y fomentan la unidad y la identidad de los grupos humanos; son componentes centrales en el establecimiento de su cultura y de su idiosincrasia.

Las *Crónicas de la extinción* que constituyen este libro son también narraciones sobre la historia antigua y reciente de nuestro linaje. Sus protagonistas son también seres ancestrales que, sin embargo, no son humanos, sino algunas de las casi cien mil millones de especies animales que han existido sobre la Tierra. Las historias de este libro no son acerca de héroes de antaño sino sobre las vicisitudes de las especies que ya no existen, aquellas que se han extinguido en algún momento de la historia de cientos de millones de años de la vida en el planeta. Estas crónicas nos muestran cómo el proceso natural de la extinción puede darse para especies particulares o para grupos de especies, clasificadas en las categorías taxonómicas que se explican en el apéndice 1.

Abre esta serie la historia de las tortugas gigantes de las islas Galápagos, y en particular la del último individuo de una de esas especies, la tortuga de la isla Pinta. Para hacer más ágil y amena la lectura de las crónicas, se hace referencia a las especies con su nombre común, pero se proveen los nombres científicos en el apéndice 2, organizado en forma de un bestiario o lista comentada de especies. La historia de las tortugas del archipiélago Galápagos es también la historia de los piratas, de los balleneros y de los naturalistas que en diferentes tiempos visitaron las islas. Incluye además la historia de los

científicos que han estudiado por décadas la diversa fauna y flora de las islas y que ahora se preocupan por la conservación de esos organismos.

Los capítulos II y III son recuentos históricos de la manera en la que los científicos han podido interpretar el registro fósil para constatar la realidad del proceso de extinción de las especies. También veremos en las narraciones de estos capítulos cómo la ciencia ha podido establecer la enorme antigüedad — medida en millones de años— de la gran mayoría de las especies extintas y de las diferentes eras geológicas que se detallan en el apéndice 3.

La evolución y el final de las especies involucradas en la más conocida de las extinciones masivas de la historia del planeta —la llamada extinción de los dinosaurios— se detallan en el capítulo IV. Los capítulos V y VI, por su parte, presentan el recuento de las extinciones de los últimos dos y medio millones de años, que incluyen las de la llamada megafauna de la Era de Hielo y las de nuestros parientes más cercanos, las especies que comparten con *Homo sapiens* el linaje evolutivo de los homíninos.

En el capítulo VII veremos las historias de extinción de algunas especies representativas de los numerosos animales que han desaparecido en los últimos seis mil años, es decir, en el periodo que los humanos llamamos historia. Veremos cómo la gran mayoría de las extinciones en ese tiempo pueden atribuirse a la actividad humana. El alto número de extinciones causadas por el ser humano en un periodo tan corto ha llevado a algunos especialistas a asegurar que nuestros tiempos se corresponden con una auténtica extinción masiva, la sexta en la historia del planeta.

Los capítulos VIII y IX tratan sobre la manera en la que la ciencia enfrenta el problema de las extinciones modernas. Veremos en las crónicas de esos capítulos que se han desarrollado métodos y estrategias que, al menos en principio, se hicieron para evitar extinciones futuras e incluso revertir en algunos casos un proceso aparentemente definitivo. Se mencionan también algunas iniciativas para, por el contrario, provocar la extinción intencional de algunas especies consideradas como nocivas para los seres humanos.

El ser humano es una criatura única en muchos sentidos. Sin embargo, como veremos a lo largo de las *Crónicas de la extinción*, es también una especie sujeta a las mismas reglas evolutivas que el resto de los miles de millones de especies que han existido. Es, al igual que ese ingente conjunto de organismos, uno de los millones y millones de posibles resultados del proceso de evolución biológica. Una consecuencia directa de esta realidad es que el destino final de *Homo sapiens*, como el de cualquier otra especie, es la

extinción. Si esta extinción se da en un futuro cercano o dentro de millones de años depende en gran medida de nosotros mismos.

Mientras eso sucede, extiende una cordial invitación para que aprovechemos una de las cualidades exclusivas de nuestra especie, la capacidad de disfrutar la escritura y la lectura de crónicas sobre la vida y sobre la muerte.

I. #SolitarioGeorge ha muerto: la muerte y la extinción son los mejores inventos de la vida

¿Cómo podemos saber sobre la muerte si no sabemos sobre la vida?

CONFUCIO

El 24 de junio de 2012 fue el día más triste en la vida de Fausto Llerena. Poco después de las ocho y media de la mañana, tal como lo había hecho desde hacía más de treinta años, el guarda del Parque Nacional Galápagos de Ecuador entró en el encierro de la tortuga gigante conocida como *Solitario George*. Esta vez el veterano cuidador encontró a *George* en una posición extraña, con el cuello colgante, las patas extendidas y el caparazón en contacto con el suelo. Llerena se dio cuenta de inmediato de lo que había sucedido: *George* estaba muerto y el galápagos de la isla Pinta se había extinguido. Al poco rato, la dirección del parque publicó en Twitter la noticia: «La DPNG lamenta informar que el #SolitarioGeorge, último individuo de la especie de la isla Pinta, ha muerto. Se practicará necropsia»^[1]. Miles de personas en Ecuador y en otras partes del mundo reprodujeron el tuit y lamentaron con enorme tristeza la noticia. En pocas horas, la etiqueta #SolitarioGeorge se colocó en primer lugar de las tendencias de Twitter en Ecuador y permaneció ahí varios días. ¿Quién era este famoso *Solitario George* y por qué su muerte suscitó tal reacción del público?

George era un galápagos, una tortuga de tierra de gran tamaño. Pero no se trataba de un animal cualquiera, sino del único representante de una especie en particular, la tortuga gigante de la isla Pinta^[2]. Esta isla es la más septentrional del archipiélago Galápagos, un grupo de promontorios volcánicos localizados a la altura del ecuador, a unos mil kilómetros al oeste de la costa de Sudamérica. Los navegantes españoles y portugueses que llegaron al archipiélago en el siglo XVI le otorgaron su nombre por la gran cantidad de tortugas gigantes que observaron allí. En ese tiempo la isla Pinta contenía miles de tortugas, los ancestros de *George*.

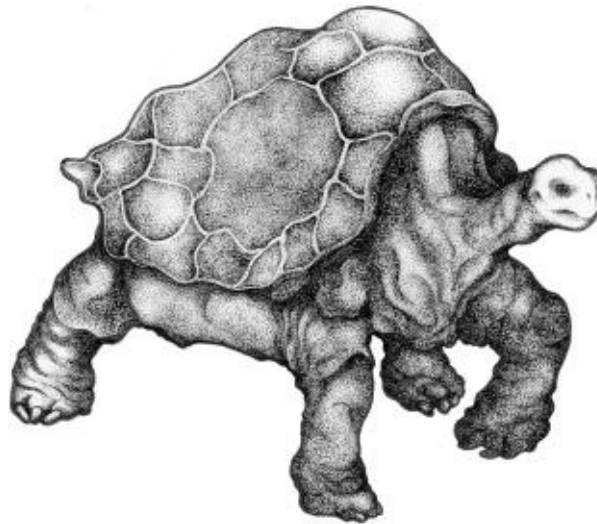


FIGURA I.1. Solitario George. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

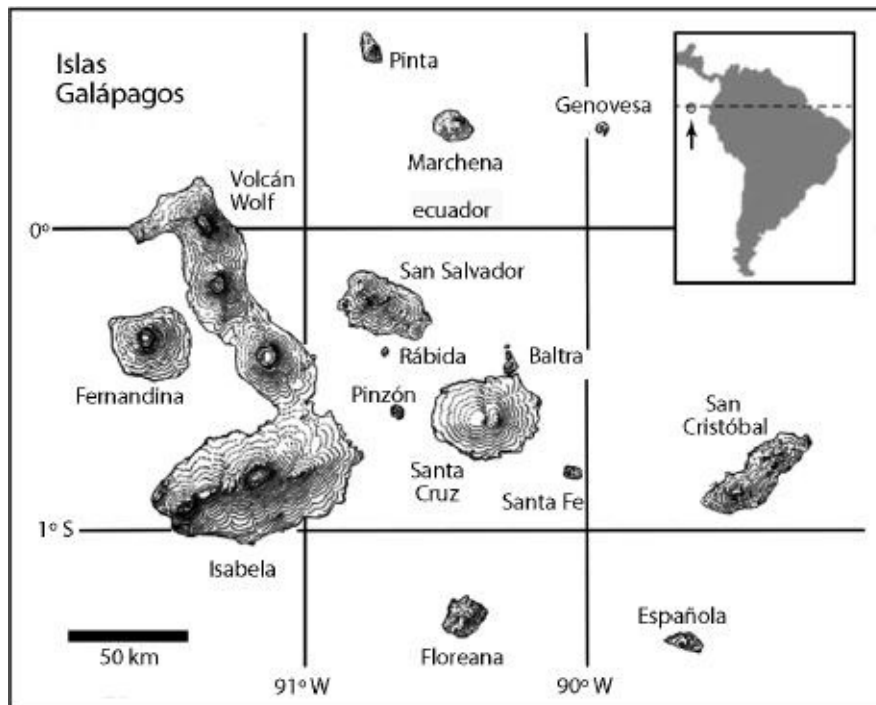


FIGURA I.2. El archipiélago Galápagos se encuentra a mil kilómetros al oeste de la costa del Pacífico de Sudamérica, a la altura del Ecuador.

Cuando *George* nació, a principios del siglo xx, la población de tortugas en Pinta había sido diezmada por la cacería y la destrucción del hábitat natural. El último registro científico de una tortuga en la isla ocurrió en 1906, y por mucho tiempo se pensó que el galápagos de la isla Pinta había desaparecido^[3]. La vida de *George* en su tierra natal debe haber sido una de aislamiento y soledad en la que la gigantesca tortuga vagaba día tras día a lo largo y ancho de la isla sin encontrar a otros de su especie sino en muy contadas ocasiones. Una a una, las tortugas de Pinta fueron muriendo sin

dejar descendencia. Finalmente, en algún momento de los años sesenta, sólo quedó *George*.

En diciembre de 1971, Joseph Vagvolgyi se encontraba en Pinta tomando muestras para su proyecto de investigación sobre la evolución de los caracoles. De pronto, en la ladera sur del volcán que domina el paisaje de la isla, Vagvolgyi se topó con una tortuga gigante, similar a las que había visto en otras de las islas del archipiélago. Se trataba por supuesto de *George*, pero Vagvolgyi no se percató en ese momento de la gran importancia de su encuentro con la tortuga. El científico se dio tiempo para tomar una fotografía del animal y, sin mayor sobresalto, continuó con la colecta de caracoles. Semanas después, Vagvolgyi platicó cándidamente con el experto en tortugas Peter Pritchard sobre su fugaz encuentro con el animal, y fue entonces cuando el distraído naturalista comprendió la relevancia de su hallazgo; la tortuga gigante de la isla Pinta no estaba extinta, después de todo.

En marzo de 1972, una expedición organizada por la Estación Científica Charles Darwin del gobierno de Ecuador se encaminó hacia la isla Pinta. Alertados por los rumores sobre el encuentro de Vagvolgyi, los miembros de la expedición, entre los que se encontraba el joven Fausto Llerena, emprendieron la búsqueda de tortugas en la isla. Dos de los técnicos encontraron a *George* a la sombra de un árbol del que el animal se estaba alimentando. Se tomó la decisión de capturar al gigantesco galápagos y trasladarlo a la estación científica de Santa Cruz, donde había instalaciones adecuadas para la manutención y reproducción en cautiverio de las tortugas. El nombre que se le puso, *Solitario George* (*Lonesome George*, en inglés), fue inspirado por el apodo de un comediante norteamericano, pero describe muy bien la condición de este animal como el último y solitario sobreviviente de su especie.

Desde el momento de su captura, y hasta su muerte en 2012, *Solitario George* vivió en un corral especialmente acondicionado para él, con la esperanza de algún día encontrar una hembra de su especie y poder preservar el linaje de las tortugas de la isla Pinta; desde 1983 Fausto Llerena fue el encargado personal de cuidarlo. A lo largo de las décadas se intentó cruzar a *George* con hembras de especies de tortugas provenientes de islas cercanas a la Pinta, con el objetivo de conservar al menos parcialmente el legado genético del carismático galápagos. Desafortunadamente, aunque hubo varias puestas de huevos, nunca se pudo lograr descendencia viable. Así, el 24 de junio de 2012, con la muerte de *George* llegó a su fin un otrora numeroso

linaje de tortugas gigantes. Con el último respiro de la solitaria tortuga, el galápagu de la isla Pinta se extinguió.

LA EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES

La extinción es por definición la desaparición de una especie o, en general, la de un conjunto de organismos agrupados por algún parentesco evolutivo. Así, además de la extinción de especies como el galápagu de la isla Pinta o el dodo —un símbolo de la extinción, como veremos en el capítulo VII—, puede haber extinciones de grupos que incluyan varias especies, como las moas —una familia de nueve especies de aves cuyo caso veremos en el capítulo VII— o los trilobites —una clase de invertebrados marinos con miles de especies que examinaremos en el capítulo III—. Por el contrario, puede suceder que una población particular de una especie se extinga pero que la especie subsista representada por otras poblaciones en otros sitios. Por ejemplo, el oso gris mexicano se extinguió en los años sesenta, pero existen todavía varias poblaciones de la misma especie en los Estados Unidos y Canadá, donde se le conoce como oso pardo u oso *grizzly*.

Todos estos conjuntos —la población del oso gris mexicano, la especie del dodo, la familia de las moas y la clase de los trilobites— constituyen también clados o grupos naturales de organismos. El biólogo evolutivo Julian Huxley acuñó a mediados del siglo xx el término *clado* para referirse a un grupo biológico que incluye un ancestro y todos sus descendientes. La clase de los mamíferos, por ejemplo, forma un clado porque todos los animales a los que llamamos mamíferos descienden de un ancestro común, y todos esos descendientes están incluidos en el linaje. Lo que tradicionalmente se llama la clase de los reptiles, en cambio, no es un clado, ya que el grupo excluye a algunos de los descendientes del ancestro común, como las aves y los mamíferos (véase el apéndice 1).

La extinción de una especie o de un clado se produce cuando muere sin descendencia el último individuo de ese grupo, como sucedió con la muerte de *Solitario George*. En una definición más amplia del término, se habla de la extinción funcional de una especie cuando las poblaciones son tan pequeñas que su desaparición es inminente e inevitable, aunque existan todavía individuos vivos de ese clado. Se dice, por ejemplo, que el galápagu de la isla Pinta se extinguió funcionalmente desde los años sesenta, cuando la especie estaba representada por unos cuantos individuos. A finales de esa década,

cuando *George* era el último y solitario miembro de la especie, era por demás claro que la tortuga de Pinta había entrado desde años atrás en una trayectoria inexorable hacia la extinción.

En la práctica es imposible documentar con absoluta certeza la extinción de una especie o grupo. Formalmente hablando, no podemos asegurar que la extinción de una especie sea una realidad científica, pues siempre cabe la posibilidad de que algún individuo de esa especie exista todavía en algún rincón remoto del planeta. De esta manera, hay todavía esperanzas de encontrar con vida algún pájaro carpintero imperial, una especie de los bosques mexicanos que no se ha observado desde 1956^[4], o algún baiji o delfín chino de río, un cetáceo sin registros verificados desde finales del siglo XX^[5].

La historia de *Solitario George* y del resto de las tortugas de Galápagos es muy instructiva para entender los conceptos básicos sobre el fenómeno de la extinción.

LOS GALÁPAGOS

En 1835, Charles Darwin arribó a las islas Galápagos a bordo del *Beagle*, un buque de exploración inglés; el joven naturalista encontró ahí una serie de animales totalmente extraños para él. Entre otras estrambóticas criaturas, observó iguanas que nadaban con gran agilidad en el mar, cormoranes incapaces de volar, pinzones con picos de una gran variedad de formas y tamaños y, sobre todo, las tortugas gigantes, los galápagos que le habían dado a las islas su nombre. «Estos enormes reptiles —escribió Darwin años después— se veían a mi entender como algún tipo de animal antediluviano.»^[6]



FIGURA I.3. *Retrato de Charles Darwin a los pocos años de regreso de su viaje de exploración en el Beagle. Acuarela de George Richmond.*

En una conversación que tuvo con el vicegobernador de las islas, Darwin escuchó que para un habitante del archipiélago bastaba observar el caparazón de un galápago para saber de qué isla provenía. De manera similar, los balleneros que visitaban las islas afirmaban que la apariencia y sobre todo el sabor de la carne de las tortugas variaba de isla a isla. Darwin se dio cuenta de que el patrón que el vicegobernador le describía para las tortugas ocurría también para las extrañas aves que había observado. Años más tarde, al recordar estas observaciones, escribió:

La distribución de los habitantes de este archipiélago no sería ni de cerca tan maravillosa si, por ejemplo, una isla tuviera un tipo de cenizote y una segunda isla tuviera algún otro género de ave totalmente distinto [...] Pero lo que me llena de asombro es el caso de que varias de las islas poseen sus propias especies de tortugas, cenizotes, pinzones y numerosas plantas, y que estas especies tienen los mismos hábitos generales, ocupando lugares análogos y desempeñando los mismos puestos en la economía natural de este archipiélago^[7].

Esta observación —que diferentes islas tenían diferentes variedades de las mismas formas básicas— fue una de las piezas fundamentales en las que se basó Darwin para postular su teoría de la evolución por selección natural. Si la población de cada isla se desarrolla por separado de las otras, razonó el naturalista inglés, cada una debe adaptarse a las condiciones particulares de su isla y a lo largo de las generaciones se desarrollarían diferencias entre ellas hasta que en algún momento existirían especies diferentes en cada isla^[8].

Hoy en día, a más de ciento cincuenta años de la publicación de *El origen de las especies* en 1859, los biólogos evolutivos cuentan con herramientas nunca soñadas por Darwin para confirmar la validez de sus ideas y reconstruir la historia evolutiva de las especies. Adalgisa Caccone, profesora de la Universidad de Yale, en los Estados Unidos, y un gran número de colaboradores han estudiado la distribución y la evolución de las tortugas de las islas Galápagos desde hace más de quince años usando métodos de comparación del ADN. En particular, utilizando el ADN mitocondrial de las tortugas de las diferentes poblaciones, se han podido reconstruir las relaciones de parentesco y de ancestros en común entre las especies^[9].

Para empezar, es claro que las tortugas de las islas Galápagos constituyen un clado. Caccone y sus colegas han establecido que hace unos dos y medio millones de años llegó a las islas Galápagos un tipo de tortuga terrestre proveniente de Sudamérica, similar a la tortuga del Chaco, y se estableció en el archipiélago. Los datos genéticos indican que la población original estuvo formada por muy pocos individuos que probablemente arribaron al archipiélago en un solo evento; en el caso de animales como los galápagos, no es descabellado pensar que una sola hembra cargada con huevos pudiera haber sido la fundadora del clado que hoy incluye todas las tortugas de todas las islas del archipiélago. Se sabe por los relatos de los piratas y los balleneros que las tortugas pueden sobrevivir varios meses prácticamente sin comida ni agua, además de que flotan en el agua de mar, aunque son incapaces de nadar. Es posible entonces que la fundadora o los fundadores del clado de los galápagos hayan llegado desde Sudamérica flotando o quizá transportados entre restos de vegetación arrojados al mar durante una tormenta.

El equipo de Caccone ha establecido también que las primeras islas colonizadas fueron las más sureñas y las más orientales. En particular, las poblaciones actuales de las islas Española y San Cristóbal, en el extremo sureste del archipiélago, son las más parecidas al hipotético ancestro. La reconstrucción histórica indica que a partir de las islas del sureste las tortugas paulatinamente colonizaron el resto de las islas, en un proceso que tomó

cientos de miles de años. Como el movimiento de las tortugas de una isla a otra es un suceso muy poco frecuente, las poblaciones en cada isla evolucionaron en forma separada hasta producir las diferencias que los balleneros y el propio Darwin observaron entre las tortugas de las diferentes islas. En general, las tortugas de islas cercanas son más parecidas entre sí que las tortugas de islas geográficamente lejanas, aunque hay excepciones. El ADN de *Solitario George*, por ejemplo, muestra que las tortugas de la isla Pinta estaban muy cercanamente relacionadas con las de la Española, a pesar de que las dos islas se encuentran a casi doscientos kilómetros una de la otra.

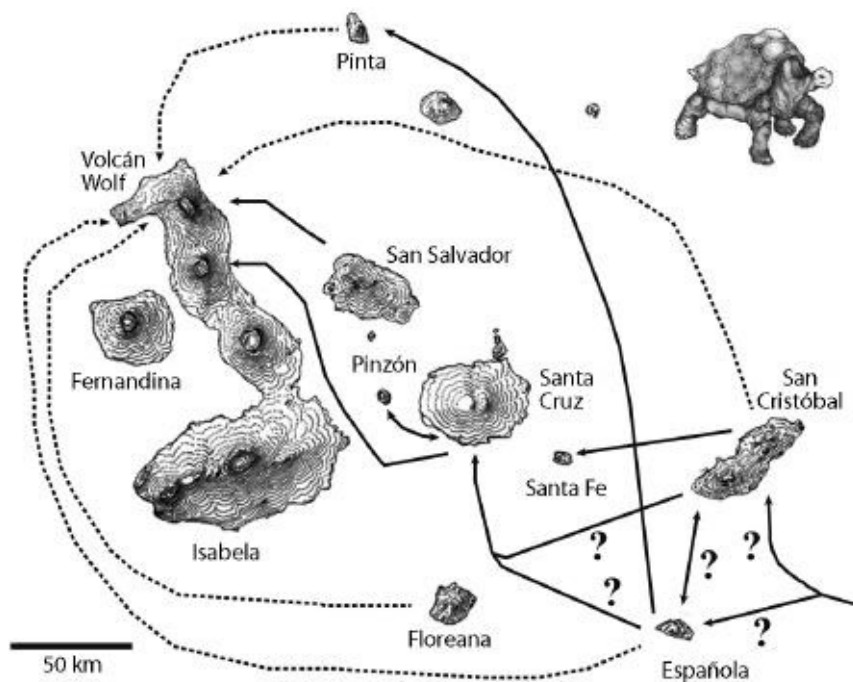


FIGURA I.4. Posibles rutas de colonización de las tortugas gigantes en las islas Galápagos (basado en Caccone et al., 2002, y actualizado con datos de Poulakakis et al., 2008, y Edwards et al., 2013). Las líneas continuas muestran rutas naturales; las punteadas representan movimientos causados por el ser humano. No se sabe si la primera isla colonizada fue la Española o San Cristóbal.

La evidencia genética apunta a que las poblaciones en cada isla constituyen también grupos naturales, es decir, son también clados —o subclados del clado de todas las tortugas del archipiélago—. Esta evidencia, apoyada también por la consideración de la posición geográfica de las islas, ha llevado al grupo de Caccone a postular que las poblaciones de galápagos en cada isla constituyen especies separadas, con historias evolutivas propias. Otros especialistas han propuesto una clasificación diferente en la que todas las tortugas en Galápagos son parte de una sola especie, y cada población en cada isla es una subespecie, es decir, una variedad geográfica. Según esta clasificación, la muerte de *George* habría significado la extinción no de una

especie completa sino de la subespecie de la isla Pinta. Si se reconoce la presencia de múltiples especies, entonces han existido en tiempos históricos al menos doce de ellas y posiblemente hasta dieciséis. Nueve de las especies son únicas de una isla en particular, mientras que la isla Isabela, la más grande del archipiélago, contiene cinco especies, cada una restringida a un volcán de los seis que formaron la isla.

Más allá de las diferencias de opinión respecto a la clasificación, el hecho importante es que cada una de las poblaciones reconocidas es un clado, el resultado de miles de años de evolución independiente. En el ADN de cada individuo viviente persiste la información genética heredada a lo largo de numerosas generaciones y representa el carácter único de cada especie. La muerte de *Solitario George* representó no sólo el fin de la larga vida de un individuo carismático y simbólico; constituyó además el lamentable final de un clado, el de los galápagos de la isla Pinta, con una historia evolutiva irrepetible.

EXTINCIÓN NATURAL

Meses antes de la visita del *Beagle* a las islas Galápagos, la expedición pasó por varios puntos en Sudamérica. Allí, Darwin tuvo la oportunidad de examinar los restos fósiles de un gigantesco armadillo conocido ahora como gliptodonte, al que encontraremos de nuevo en el capítulo VI^[10]. Darwin comprendió que los fósiles de gliptodontes y de otros animales que observó durante su paso por América del Sur eran evidencia de la presencia en ese continente de especies ya desaparecidas. Años más tarde, el entonces joven naturalista se percató de que los animales extintos que había encontrado como fósiles eran similares a los que hoy en día se encuentran en América del Sur, como los armadillos y los perezosos. ¿Será posible —se preguntó— que esos animales extintos hayan sido parecidos a los ancestros de las especies actuales? Darwin dedujo que la extinción era un fenómeno natural que, en equilibrio con la generación de nuevas especies, determinaba el ritmo y la dirección del proceso de evolución.

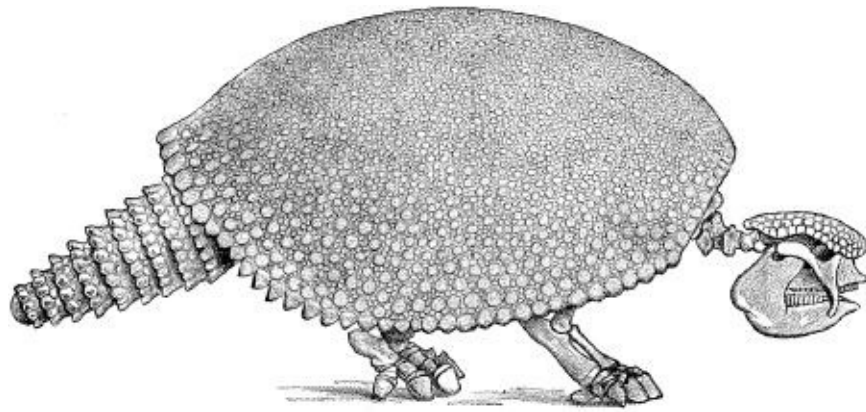


FIGURA I.5. Reconstrucción del siglo XIX de un gliptodonte. Ilustración de *Extinct animals* de E. R. Lankester, 1905.

Darwin se dio cuenta de que la especiación (la aparición de formas nuevas) y la extinción (la desaparición de especies) son en muchos sentidos los equivalentes a la reproducción y a la muerte de los individuos, respectivamente^[11]. En un famoso ejemplo explicado en *El origen de las especies*, Darwin calculó que en quinientos años un solo par de elefantes podría producir una descendencia de más de quince millones de individuos, suponiendo que ninguno de ellos muriera y todos se reprodujeran a la misma tasa. Por supuesto, en el mundo real los elefantes mueren, muchos de ellos a edad temprana e incluso antes de llegar a la etapa reproductiva. Es el balance entre el nacimiento de nuevos individuos y la muerte de los viejos lo que permite que las poblaciones mantengan sus niveles naturales y el mundo no esté lleno de elefantes, de bacterias o de hongos. De igual manera, razonó Darwin, la extinción es el proceso que equilibra la especiación y evita que en el mundo haya un número infinito de especies de tortugas, de moscas o de pinos. En *El origen de las especies*, Darwin escribió: «A medida que se producen nuevas formas de manera lenta pero continua, a menos que creamos que el número de formas específicas continúa a perpetuidad y se incrementa sin fin, muchas formas deben, inevitablemente, extinguirse»^[12].

En un emotivo discurso ante los estudiantes de la Universidad de Stanford en 2005, Steve Jobs llamó a la muerte «el mejor invento de la vida», porque es el agente de cambio que se deshace de lo viejo y abre espacio para lo nuevo^[13]. Parafraseando a Jobs, podemos decir que tanto la muerte como la extinción son los mejores inventos de la vida; la extinción natural de las especies, al igual que la muerte, permite el remplazo de lo viejo por lo nuevo. El pensamiento de Jobs es en cierta forma una reflexión no sólo sobre el sentido de la vida y la muerte del ser humano, sino sobre algo más profundo, sobre el mecanismo mismo que ha permitido la evolución de la vida sobre el planeta Tierra.

Para comprender el papel de la extinción natural en la evolución de las tortugas de las islas Galápagos, es necesario conocer algo de la historia geológica del archipiélago. Las islas Galápagos son de origen volcánico; de hecho, la mayoría de ellas no son otra cosa que volcanes marinos que se formaron entre medio millón y dos millones de años en el pasado. La isla más grande, la Isabela, es resultado de la fusión de seis de esos volcanes. Existen también volcanes más antiguos que alguna vez, hace tres a ocho millones de años, formaron antiguas islas ahora sumergidas. Como ya vimos, se estima que la llegada de las tortugas gigantes al archipiélago sucedió hace alrededor de dos y medio millones de años. En ese momento, varias de las islas actuales, sobre todo las del occidente del archipiélago, no existían aún. Esto significa que las primeras poblaciones de tortugas evolucionaron en islas que hoy en día están sumergidas. La colonización de cada isla actual probablemente se dio a los pocos miles de años después de su formación, como lo muestran los datos genéticos de Caccone y sus colegas^[14].

Todo este escenario significa que a lo largo de la historia del clado de las tortugas del archipiélago de los Galápagos deben haber existido numerosas especies ya extintas, habitantes de las islas ahora sumergidas. Estas especies desaparecidas han sido sustituidas por nuevas variedades que se fueron desarrollando en las islas más jóvenes. El patrón biogeográfico que observamos actualmente, es decir, la distribución de las diferentes especies entre las islas, es solamente un cuadro de una película muy antigua, un largometraje de más de dos millones de años de duración. Si pudiéramos visitar el archipiélago de Galápagos como era hace, digamos, un millón de años, encontraríamos también varias especies de tortugas gigantes, cada una en su propia isla. Sin embargo, la localización, la forma y el tamaño de las islas sería diferente, y también diferentes serían las especies particulares que encontraríamos en cada una de ellas. Aunque el número total de especies probablemente no haya cambiado mucho en el último millón de años, la identidad y la distribución de esas especies sí se han modificado a través de la dinámica determinada por los procesos de especiación y de extinción natural.

LA EXTINCIÓN CAUSADA POR EL SER HUMANO

Desde la llegada de los europeos en el siglo XVI, las poblaciones de galápagos han sufrido presiones nunca antes experimentadas. Estas presiones, debidas a la despiadada cacería y a la transformación y destrucción de los ambientes

naturales, han producido la extinción de al menos dos, y quizá hasta cinco, de las especies de tortugas de las islas Galápagos. Como veremos en el capítulo VII, estas extinciones forzadas, que han sucedido en periodos de apenas unos cuantos cientos de años, han producido un desequilibrio en los procesos naturales de evolución, pues no existe un mecanismo de generación de nuevas especies que pueda contrarrestar la acelerada tasa de extinción impuesta por la actividad humana. Los relatos sobre la visita del *Essex* ilustran vívidamente los trágicos efectos de la presencia humana en las islas Galápagos.

El *Essex* era un navío ballenero de bandera estadounidense proveniente de Nantucket, en Nueva Inglaterra. En octubre de 1820, el barco hizo una parada en las islas Galápagos, en preparación para su exploración de los recién descubiertos bancos del océano Pacífico en los que, según los relatos de otros marineros, abundaban las ballenas. Lo que sucedió después con el *Essex* y su tripulación es el tema del libro *En el corazón del mar*, de Nathaniel Philbrick, recientemente adaptado a la pantalla grande en el filme de Ron Howard^[15]. El *Essex* fue atacado y destruido por un gigantesco cachalote —una gran ballena dentada—, en una historia que posteriormente inspiró a Herman Melville para escribir su clásico *Moby Dick*.

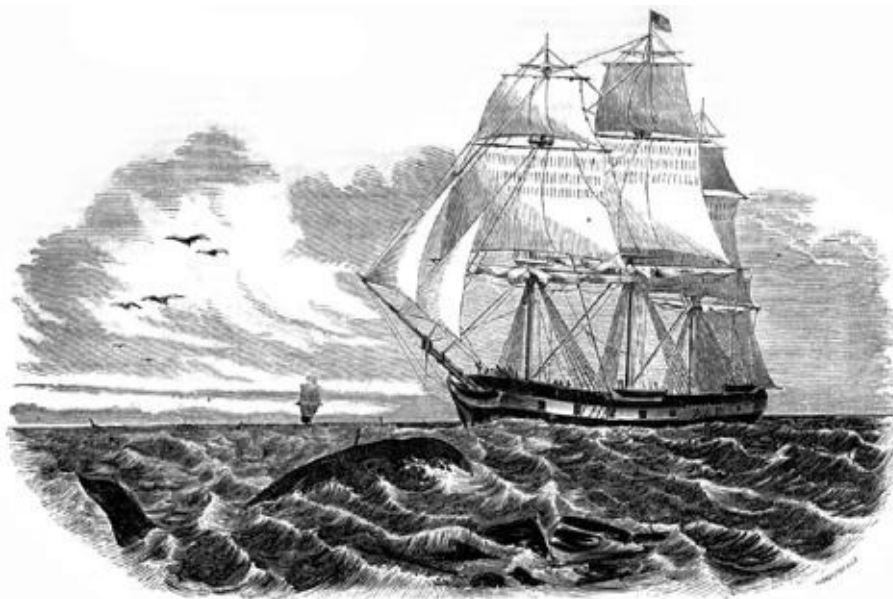


FIGURA I.6. Un barco ballenero de mediados del siglo XIX. Ilustración de *The Mariner's Chronicle of Shipwrecks, Fires, Famines, and Other Disasters at Sea*, volumen I, 1835.

Thomas Nickerson era un mozalbete de catorce años que formaba parte de la tripulación del *Essex*. Gracias a las memorias que Nickerson escribió sobre la epopeya de los balleneros del navío, podemos saber algo sobre el estado de las poblaciones de tortugas en las islas Galápagos a principios del siglo XIX^[16]. El *Essex* llegó primero a la isla Española; en una rada del noroeste de

la isla se hicieron reparaciones al barco y los marineros aprovecharon para aprovisionarse de tortugas. Nickerson describe la manera en la que se capturaban y transportaban las tortugas; los marineros hacían recorridos por la isla, en solitario o en parejas, para localizar tortugas. Los dóciles animales no ofrecían resistencia y los marineros los sometían poniéndolos con el dorso sobre el suelo y colocando una gran roca sobre su vientre. Improvisaban unos tirantes hechos con pedazos de tela de las velas de los barcos y con cuerdas en los extremos, con las que ataban las tortugas para luego echárselas al hombro, cargándolas como si fuesen mochilas. Los marineros tenían que caminar largas distancias al rayo del sol con sus pesadas cargas (treinta y cinco kilos en promedio, según Nickerson, pero con algunos individuos de más de cien kilos). En cuatro días en la isla Española se capturaron ciento ochenta tortugas, según Nickerson, aunque otro cronista del viaje del *Essex*, el primer oficial Owen Chase, habla de trescientos animales.

El *Essex* se dirigió después a la isla Floreana, a unos sesenta kilómetros al oeste de la Española. Aunque los marineros encontraron que las tortugas eran allí más bien escasas, pudieron capturar cien de ellas. «Las tortugas de esta isla tienen la más deliciosa y apetitosa de las carnes con las que me he topado», recalcó Nickerson al comparar las tortugas de Floreana con las de la Española. Esta observación fue ratificada por Chase, quien encontró que «estas tortugas [eran] una comida absolutamente deliciosa». Esta notable diferencia en sabor es evidencia adicional de que la población de tortugas de Floreana era una especie diferente de la que existe todavía en la Española.

El 23 de octubre, el último día del *Essex* en Floreana, un tal Thomas Chappel, «un inglés bastante deschavetado y afecto a la diversión, sin importar el costo que pudiera producir», inició un fuego, aparentemente como una broma. El incendio se extendió rápidamente por el seco matorral de la isla y puso en peligro no sólo a la tripulación del barco, sino también a todos los habitantes naturales de Floreana. «No es posible estimar la destrucción sobre la creación animal causada por este fuego —se lamentó Nickerson—; debió de haber habido miles y miles de tortugas, aves, lagartijas [iguanas] y serpientes que fueron destruidas.» Furioso por la imprudente broma, el capitán del *Essex* ordenó zarpar y alejarse de la isla. Después del atardecer se podía ver todavía en la lejanía el resplandor del incendio, que se había extendido por toda la isla.

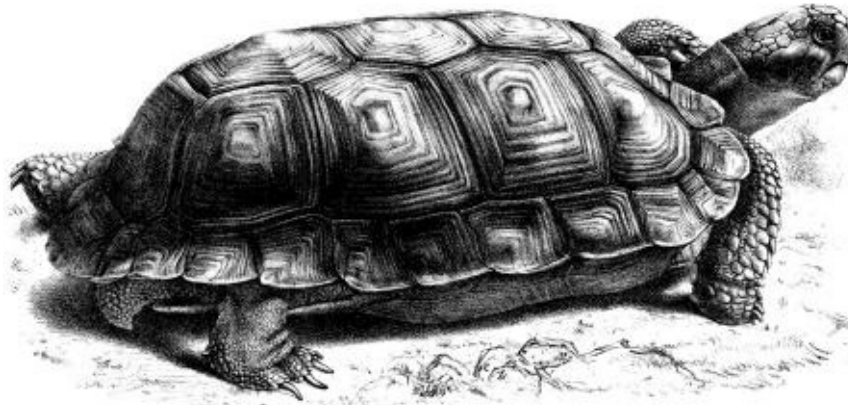


FIGURA I.7. La tortuga terrestre del Chaco es similar al posible ancestro de las tortugas gigantes de las islas Galápagos. Dibujo de G. H. Ford en la descripción científica original de la especie por J. E. Gray (1870).

Es muy posible que el penoso incidente provocado por el loco Chappel haya terminado por condenar a la extinción al galápagos de Floreana, de por sí ya amenazado por la continua explotación de los piratas y balleneros. Quince años después del viaje del *Essex*, en 1835, Darwin alcanzó a observar algunas tortugas en Floreana, pero recalcó que los exiliados políticos que se habían establecido en la isla las cazaban a una tasa que no podía sostenerse por largo tiempo: «En dos días de cacería tenían suficiente comida para el resto de la semana», escribió en su diario. En efecto, en 1850 no quedaba galápagos alguno en la isla Floreana. Una especie de tortuga, con el legado de cientos de miles de años de evolución, se extinguió en unas cuantas décadas de cacería desmedida y por la insensata broma de un pirómano.

En total, de las dieciséis especies de tortugas gigantes de las islas Galápagos, cinco han desaparecido. Éstas son las tortugas de Pinta —las de *Solitario George*—, las de Floreana —las que sucumbieron al incendio provocado por Chappel— y las de las islas Fernandina, Rábida y Santa Fe. Sobre las tres últimas existe muy poca información, y de hecho hay controversia respecto a si realmente esas islas albergaron alguna vez poblaciones significativas de tortugas. En el resto de las islas varias de las poblaciones estuvieron al borde de la extinción y algunas sobreviven actualmente de manera precaria.

AL BORDE DE LA EXTINCIÓN

Aunque sólo esté bien documentada la extinción de dos de las especies de galápagos, es necesario recalcar que el resto de las poblaciones ha sufrido

también graves descensos en su abundancia, e incluso algunas otras especies han estado al borde de la extinción. Como conjunto, se calcula que a principios del siglo XVI, antes de que la actividad humana comenzara en las islas Galápagos con las visitas de los piratas, había alrededor de un cuarto de millón de tortugas en todas las islas. «En verdad creo que no hay lugar en el mundo que sea tan abundantemente provisionado con estos animales», escribió William Dampier, un famoso navegante y bucanero de mediados del siglo XVII, en su *Nuevo viaje alrededor del mundo*. «Las tortugas de tierra son aquí tan numerosas —calculó el pirata naturalista— que quinientos o seiscientos hombres podrían subsistir sólo con ellas por varios meses, sin ningún otro tipo de provisión.»^[17]

En 1850 el número se había reducido enormemente por la actividad de los balleneros y de los primeros colonizadores permanentes. Ya en el siglo XX la introducción de animales domésticos puso en un difícil predicamento a las poblaciones de tortugas de todas las islas; las cabras acabaron con la vegetación en amplias zonas y los cerdos se comían los huevos de las tortugas y atacaban a las más pequeñas. Para los años setenta quedaban solamente poco más de tres mil individuos en todas las islas. Gracias a los programas de protección y de reproducción en cautiverio que se iniciaron a principios de esa década, las poblaciones en la mayoría de las islas han crecido significativamente, aunque aún no a los niveles que había antes de que comenzara la actividad humana en el archipiélago. Un ejemplo del gran éxito de estos programas es el caso del galápagos de la isla Española.

La población de tortugas de la isla Española, en la que los balleneros del *Essex* capturaron cientos de individuos en 1820, estuvo a punto de tener un destino fatal, similar al que tuvo la de la isla de Floreana. Hacia 1850 la población había sido tan diezmada que ya era difícil encontrar tortugas en la isla, pero de alguna manera la especie persistió, hasta que una expedición a principios de los años setenta encontró catorce sobrevivientes, dos machos y doce hembras, los cuales fueron trasladados a la Estación Científica Charles Darwin. Poco después, se encontró un macho adicional de esta especie en el zoológico de San Diego, en los Estados Unidos, el cual también se incorporó al programa de reproducción en cautiverio y recuperación de la especie.

A partir de 1975 se empezaron a liberar tortugas criadas en cautiverio al hábitat natural de la isla Española, y así se siguió haciendo durante veinte años. Un estudio publicado en 2014 encontró que la población de tortugas en la isla es actualmente de alrededor de setecientos cincuenta individuos^[18]. Más relevante fue la comprobación de que la reproducción natural se está

dando a tasas tan elevadas que la población da muestras de estar creciendo vigorosamente, a pesar de la gran reducción en diversidad genética que se dio antes de 1970^[19]. Se puede decir que el galápagos de la Española está, por lo pronto, a salvo de la extinción.

¿DESEXTINCIÓN?

«En este mundo nada puede considerarse seguro, excepto la muerte y los impuestos», ironizó alguna vez Benjamin Franklin. De igual manera, para las especies existen pocos fenómenos tan irremediables e irreversibles como la extinción, o al menos eso es lo que el sentido común nos haría creer. Si es imposible resucitar a un organismo tiempo después de su muerte, sería lógico pensar que la extinción de una especie debería ser también un proceso sin retorno. Sin embargo, dependiendo de qué tan laxa o estricta sea nuestra definición de «extinto», podría ser posible traer de regreso a la vida a algún tipo de organismo considerado extinto.

Durante una prospección que los científicos de la Universidad de Yale hicieron para analizar la variación genética de las tortugas de las islas Galápagos, se encontraron en la isla Isabela varios individuos con enigmáticas secuencias de ADN, que contenían segmentos característicos de las especies de otras islas. Además, en estas poblaciones se encontró una gran variación en la forma de los carapachos, con individuos con caparazones redondeados, en forma de silla de montar, o con morfologías intermedias. En otras islas generalmente sólo se ven carapachos redondeados o en forma de silla de montar, pero no intermedios.

Los análisis de las diferencias en las secuencias de ADN, publicados en 2008, arrojaron un resultado sorprendente y al mismo tiempo alentador para los esfuerzos de conservación de los galápagos^[20]. Las secuencias de ADN extrañas provenían de tortugas de la isla Floreana que se habían cruzado con tortugas nativas de la isla Isabela en tiempos recientes. En otras palabras, las tortugas con carapachos intermedios eran híbridos entre individuos de las dos islas. Recordemos que Floreana es la isla que fue incendiada por el marinero del *Essex* y cuya especie de tortuga se extinguió a mediados del siglo XIX. ¿Cómo era posible que el ADN de las tortugas extintas de Floreana apareciera de pronto en individuos en la isla Isabela?

Aunque la distancia entre las dos islas no es muy grande, es poco probable que las tortugas de Floreana ancestrales de los híbridos hayan podido llegar a

Isabela flotando por sí solas. Una explicación más plausible es que hayan sido los propios balleneros y pescadores que cazaban cantidades ingentes de tortugas quienes hayan llevado algunos individuos desde Floreana hasta Isabela. Unos pocos galápagos de Floreana que hubieran sido abandonados en Isabela en algún momento del siglo XIX podrían explicar la presencia de los híbridos.

Pero había noticias aún más sorprendentes. A finales de 2013, el grupo de investigación dio a conocer que, entre más de mil seiscientas tortugas del volcán Wolf en la isla Isabela, se encontraron diecisiete individuos con características genéticas que indicaban tener un ancestro de la especie de la isla Pinta, es decir, de la misma especie que *Solitario George*. Más aún, al menos cuatro de ellos podrían ser descendientes de primera generación de galápagos de Pinta, es decir, hijos directos de una tortuga de la especie de *George*. Estos resultados indican que en el volcán Wolf ha habido galápagos de Pinta puros desde hace algunas décadas, y no se descarta incluso que pudiera haber todavía algunos de estos animales, ya de edad muy avanzada, deambulando en algún lugar del volcán^[21].

En noviembre de 2015, una expedición organizada por el Parque Nacional Galápagos y la organización Galapagos Conservancy se dio a la tarea de encontrar en las laderas del volcán Wolf a los individuos híbridos descendientes de los galápagos de Pinta y de Floreana. En total se capturaron treinta y dos tortugas con caparazones de tipo silla de montar, los cuales fueron transportados a la estación científica en la isla Santa Cruz, la misma en la que el *Solitario George* pasó los últimos cincuenta años de su vida. El centro de crianza de tortugas del lugar lleva ahora el nombre de Fausto Llerena, el fiel guardaparques que cuidó de *George* hasta el día de su muerte.

El equipo de genetistas de la Universidad de Yale se encargará de analizar las muestras de sangre tomadas a todos los individuos y de establecer su grado de parentesco con las especies de Pinta y de Floreana. Con esa información se establecerá una estrategia de reproducción en cautiverio, con el objetivo de que la descendencia sea cada vez más parecida a las tortugas originales de esas islas. Estrictamente hablando, no será posible restablecer una línea pura equivalente a los clados que existieron en Pinta y Floreana, por lo que, también en un sentido estricto, no será posible revertir la extinción de las tortugas de esas islas. Sin embargo, al menos una parte sustancial de su legado genético y evolutivo podrá vivir en los descendientes de los híbridos encontrados en la Isabela.

A finales de 2015, el equipo de genetistas de la Universidad de Yale informó sobre el descubrimiento de una especie de galápagos desconocida hasta entonces^[22]. Los científicos encontraron que la población de la isla Santa Cruz consta en realidad de dos clados diferentes que habitan los lados este y oeste de la isla. A una de ellas, la población del oriente de la isla, la presentaron como una especie nueva para la ciencia y la bautizaron con el nombre científico *Chelonoidis donfaustoi*. El epíteto *donfaustoi* se acuñó «en honor de Fausto Llerena Sánchez, quien dedicó cuarenta y tres años de servicio (1971-2014) a la conservación de las tortugas como guardaparques en la Dirección del Parque Nacional Galápagos». En los agradecimientos del artículo de 2013 sobre el descubrimiento de híbridos del galápagos de la isla Pinta, el mismo equipo de Yale escribió escuetamente: «Este trabajo está dedicado a *Solitario George*»^[23].

Con este par de gestos de agradecimiento y admiración, los científicos de Yale rindieron tributo a los protagonistas principales de nuestra historia de extinción y sobrevivencia de las tortugas gigantes de las islas Galápagos.

II. Los elefantes extintos, en tres actos: el descubrimiento del proceso de extinción

Qué lástima.

Ya se acabaron los gigantes.

Nunca habrá otro mamut sobre la tierra.

JOSÉ EMILIO PACHECO, Prehistoria

El concepto de extinción de las especies como realidad científica tiene apenas doscientos veinte años de existencia. El 4 de abril de 1796, un joven e irreverente naturalista de veinticinco años, Georges Cuvier, presentó ante el pleno del Instituto de Francia la ponencia «Memoria sobre las especies de elefantes, vivientes y fósiles» [*Mémoire sur les espèces d'éléphants vivants et fossiles*]. En ella, Cuvier postuló tres ideas concretas: en primer lugar, el elefante africano y el asiático eran especies diferentes y no sólo variedades de un mismo animal; segundo, los animales conocidos como mamut de Siberia y el *incognitum* de Ohio constituían a su vez especies diferentes; finalmente, Cuvier puntualizó que no se conocían ejemplares vivos de estas dos últimas especies, y por tanto debían verse como animales desaparecidos de la faz de la tierra, es decir, como especies extintas^[1].

Al comparar un ejemplar de elefante proveniente de Ceilán (hoy Sri Lanka) con otro proveniente de la Colonia del Cabo (en lo que ahora es Sudáfrica), era claro para el perspicaz naturalista que los elefantes africanos y los asiáticos no podían considerarse miembros de una sola especie, como se pensaba en la época. La diferencia más importante que observó Cuvier entre los dos elefantes fue la estructura de los dientes molares; los de los elefantes asiáticos presentan un patrón de desgaste de las cúspides que el naturalista describió como una serie de listones, mientras que los de los elefantes africanos muestran un patrón en forma de diamantes. Para Cuvier era evidente que «el elefante de Ceilán difiere más del elefante de África que lo que difiere un caballo de un asno o una cabra de un borrego».

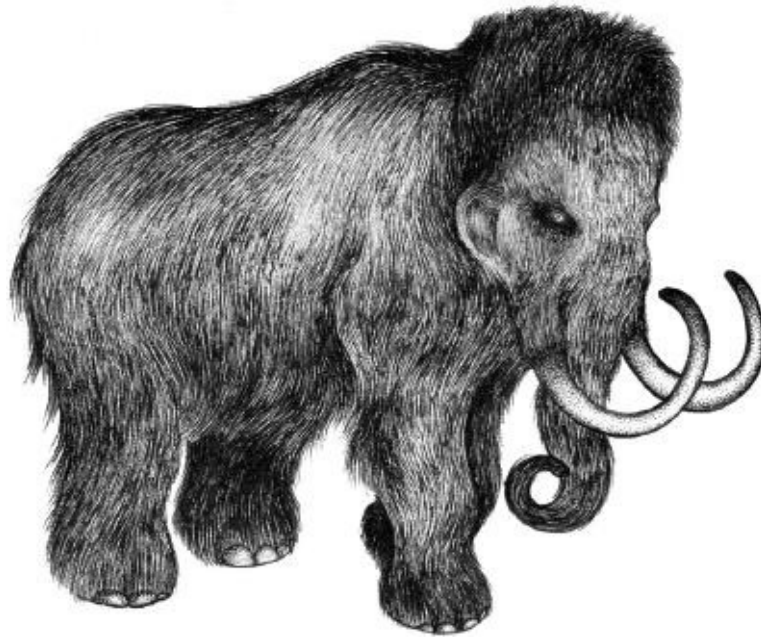


FIGURA II.1. *Mamut lanudo*. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

El joven naturalista encontró también que los dientes y las mandíbulas del mamut de Siberia eran sin duda diferentes de los de cualquiera de las dos especies vivientes de elefantes, y que las mismas partes en el animal de Ohio eran todavía más diferentes, tan distintas que «un simple vistazo [era] suficiente» para convencerse de tal hecho. A continuación, Cuvier, siguiendo la línea de la lógica que la evidencia le mostraba, concluyó que esos dos animales debían pertenecer a especies extintas. Después de la presentación de Cuvier y su posterior publicación en el *Magasin encyclopédique*, pocos naturalistas volvieron a dudar de la realidad del proceso de extinción de las especies.

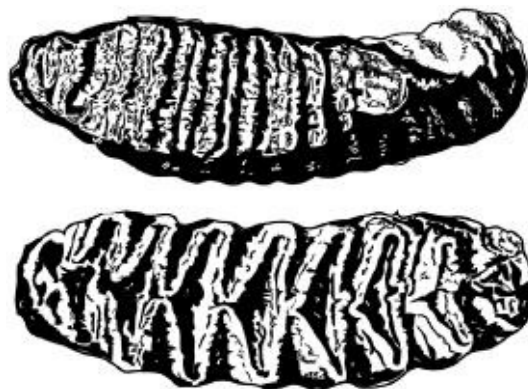


FIGURA II.2. Vista oclusal de los dientes molares de un elefante asiático (arriba) y de uno africano (abajo). Dibujos a partir de una ilustración del libro de W. H. Flower y R. Lydekker, *An Introduction to the Study of Mammals*.

Hablar sobre la extinción fue durante siglos casi un tabú para los naturalistas. La idea de que las especies pudiesen desaparecer iba no sólo en

contra de las ideas religiosas dominantes, sino que contradecía el sentido común. ¿Acaso no había salvado el arca de Noé a todas las especies del diluvio universal? Si las especies pueden desaparecer, ¿no se rompería el orden natural de las cosas? ¿No nos quedaríamos pronto sin plantas y animales? Muchas mentes brillantes, desde Aristóteles y Plinio el Viejo hasta algunos pensadores contemporáneos de Cuvier, tenían aparentes buenas razones para dudar de la extinción. La historia de los tres animales involucrados en el estudio de Cuvier —los elefantes, el mamut de Siberia y el *incognitum* de Ohio— es muy ilustrativa para entender la reticencia de los naturalistas a aceptar la realidad de la extinción como proceso natural.

PRIMER ACTO: LOS ELEFANTES DE ANÍBAL

En los primeros años del siglo v, la costa norte de África era, como lo había sido desde hacía más de quinientos años, una provincia de los dominios romanos. Agustín de Hipona, o san Agustín, era el obispo de Hippo Regius, en lo que hoy en día es Argelia. En *La ciudad de Dios*, Agustín describe un diente de gran tamaño que había sido encontrado cerca de su lugar de residencia: «Yo mismo vi, y otros conmigo, en la costa de Útica, un diente molar de un hombre, de tamaño tal que, si se partiera y se hicieran con él dientes como los nuestros, me parece que se podrían hacer cien de ellos. Pero ése era, pienso yo, el molar de algún gigante»^[2]. *La ciudad de Dios* trata la existencia en tiempos bíblicos de seres humanos de talla enorme. «Existían entonces los gigantes en la tierra —detalla el libro del Génesis— y también después, cuando los hijos de Dios se unieron con las hijas de los hombres y les engendraron hijos.»^[3] Si Agustín aceptaba la veracidad del relato bíblico, entonces ¿cómo podía explicar la ausencia actual de gigantes sobre la tierra? El filósofo respondió argumentando que tal vez los hombres se han reducido en tamaño y que su tiempo de vida también se ha ido acortando con el paso de las generaciones. Así, razonó el pensador cristiano, en nuestra época ya no vemos a los gigantes de antaño vagando por el mundo ni nos topamos con algún matusalén de más de novecientos años de edad. En todo caso, el gigantesco molar de Útica era para el ilustre padre de la Iglesia una prueba irrefutable de la existencia de los gigantes antediluvianos de la Biblia.

El diente que observó Agustín de Hipona perteneció no a un gigante humano sino a uno animal, tal vez un elefante. Los elefantes son fácilmente reconocibles por su gran tamaño, su trompa y sus colmillos, pero además

tienen otra característica menos visible aunque igual de particular: la forma y estructura de sus dientes molares. Las piezas dentales más notables de un elefante son sin duda los colmillos, que son los dos incisivos superiores del animal. El resto de la dentadura está formada por veinticuatro molares. En un momento de su vida, un elefante tiene expuestos sólo cuatro molares, dos superiores y dos inferiores, y uno en cada lado de la boca.

A lo largo de la vida del animal, los demás molares crecen de atrás hacia delante, remplazando paulatinamente a las muelas que se van desgastando. En total, un elefante tiene seis juegos de molares, pero sólo uno de ellos es funcional en un momento particular de la vida del animal. Como corresponde a un animal de la talla de un elefante, sus molares son también enormes e impresionantes; cada uno de ellos tiene dimensiones similares a las de un ladrillo de construcción, aunque la forma es más oblonga y el peso es de más de dos kilos.

Por las dimensiones de los molares del elefante, es comprensible el asombro que debe haber suscitado en Agustín la muela que le mostraron, sobre todo considerando que el ilustre pensador probablemente no haya conocido nunca un elefante vivo. En los tiempos de Agustín de Hipona no existían elefantes en el norte de África, aunque apenas unos siglos antes estos animales eran relativamente comunes al norte del desierto del Sahara, más allá de la cordillera del Atlas. De hecho, los elefantes norafricanos son los famosos animales de batalla utilizados por el general cartaginés Aníbal para combatir a los romanos durante la segunda Guerra Púnica del siglo III antes de nuestra era.

Cuando la República romana envió a su ejército a batirse contra las tropas de Cartago en su propio territorio, el general Escipión desembarcó justamente en Útica, en donde siglos después sería hallado el molar que observó Agustín. Para recibir a los romanos, Aníbal tenía dispuestos ochenta elefantes de batalla. Se dice que Escipión utilizó trompetas para asustar a los elefantes cartagineses y lograr que los animales, confundidos por el ruido, embistieran al propio ejército cartaginés, lo que llevó a una humillante derrota para el orgulloso Aníbal. Varias décadas después de este episodio, y con la dominación romana sobre el norte de África, el elefante de la región se extinguió, probablemente por la cacería excesiva de la que fue sujeto.

Hoy en día existen tres especies reconocidas de elefantes: el elefante asiático y dos especies africanas. Desde el estudio de Cuvier de 1796 y hasta el año 2001 se pensaba que en África existía un solo tipo de elefante, pero en ese año se demostró que los típicos elefantes de las sabanas son una especie

separada de otro tipo de paquidermo que habita los bosques tropicales del oeste de África; este animal se conoce ahora como el elefante africano de bosque^[4]. Se piensa que el elefante norafricano fue una subespecie o variedad geográfica del elefante de sabana, aunque también es posible que haya sido una especie separada, un tercer tipo de elefante africano.

Las ilustraciones de la época de Aníbal muestran que el elefante norafricano tenía un aspecto similar al de los elefantes de sabana, aunque más pequeño. Además, los relatos hablan de un elefante que podía ser domado y entrenado para la guerra, siendo capaz de cargar en su lomo varios soldados cartagineses a la vez. Este uso de los elefantes en las cacerías o en batalla aparece también en la India en el caso del elefante asiático, pero no existe registro alguno de un elefante africano de sabana que haya podido ser domado de esa manera. Todo esto apunta a la posibilidad de que el elefante norafricano haya sido realmente una especie separada de las dos africanas que existen ahora, pero la verificación de esta idea tendrá que esperar un análisis científico detallado. En cualquier caso, ya sea que haya sido una especie o sólo una variedad, el hecho es que el elefante norafricano es un animal extinto.

La otra especie de elefante actual, el asiático, es igualmente un sobreviviente de un clado con un pasado muy diverso. Este linaje se originó en el este de África y de ahí se extendió hacia el oriente hasta las islas de la Sonda, en el sureste de Asia, y también hacia el norte hasta Europa. En diferentes épocas —desde hace unos dos millones de años hasta apenas hace unos miles de años— se extinguieron diez especies del género del elefante asiático. Según estudios recientes, los parientes más cercanos de estos elefantes son los mamuts^[5], los protagonistas de nuestra siguiente historia.



SEGUNDO ACTO: EL ENIGMÁTICO MAMUT DE SIBERIA

Nicolaes Witsen, un cartógrafo y constructor naval neerlandés, publicó en 1692 una monografía titulada *La Tartaria meridional y occidental [Noord en Oost Tartarye]*. Se trataba de un minucioso compendio geográfico de la región que hoy en día comprende partes de Siberia, Manchuria, Turquestán y Mongolia. En sus relatos, Witsen habla de la existencia de restos óseos de gran tamaño en las estepas del norte de Asia, considerados por los colonizadores rusos como pertenecientes al *mamont* o *mamot*, un misterioso animal que, a semejanza de los topos, se desplazaba siempre bajo la tierra, por lo que era prácticamente imposible observarlo vivo. Sus restos, por el contrario, podían encontrarse fácilmente en forma de enormes dientes, huesos y «cuernos» esparcidos por las tierras de las congeladas estepas^[6].

La monografía de Witsen no sólo llevó a Europa Occidental los relatos míticos de la gente del norte de Asia, sino que fue la primera referencia a la existencia de una gran cantidad de huesos fósiles de gran tamaño en Siberia. Actualmente sabemos que la mayoría de tales huesos son de mamut lanudo, pero en los tiempos de Witsen constituían todo un misterio. La obra de Witsen es también la primera en Europa en la que aparece una palabra semejante a *mamut* para referirse a los animales gigantes de Siberia.

La imagen de los mamuts lanudos es hoy en día fácilmente reconocible por la mayoría de la gente gracias a la aparición de estos animales extintos en relatos y películas recientes de gran popularidad. Por los dibujos de mamuts lanudos que existen en las pinturas rupestres sabemos que estos animales tenían una cabeza enorme y abombada en la parte superior, que los colmillos se acomodaban de tal forma que se curvaban apreciablemente y, sobre todo, que estos gigantes tenían un pelaje largo y rojizo que les cubría todo el cuerpo. Más recientemente se han recuperado en Siberia ejemplares de mamut lanudo preservados en los hielos perpetuos de la tundra, y se ha confirmado que en efecto estos gigantes del pasado tenían un aspecto similar al que se ve en las pinturas rupestres.

El mamut lanudo de Siberia es sólo una de la decena de especies de mamuts que alguna vez habitaron el planeta. Varias de esas especies, en especial las que habitaron latitudes más cercanas al ecuador, tenían poco pelo, y las había en muy diversos tamaños. Si tuviéramos la oportunidad de

observar un mamut colombino, una especie que habitó hasta hace apenas unos doce mil años lo que ahora son los Estados Unidos y México, tal vez tendríamos dificultad en distinguirlo de un elefante asiático de gran tamaño^[7].

Otras especies de mamuts eran de tamaño mucho más pequeño. En la isla mediterránea de Creta se han hallado huesos de un mamut que se extinguió apenas hace unos cuantos miles de años^[8]. Las reconstrucciones de este animal muestran a un pequeño paquidermo de apenas poco más de un metro de altura que, por sus dimensiones y aspecto, semejan el bebé de un elefante.

El linaje de los mamuts apareció en África hace unos cinco millones de años. Desde allí el grupo se expandió primero hacia Europa y el norte de Asia, para después cruzar por el estrecho de Bering hacia Norteamérica. A lo largo de este peregrinaje, el clado de los mamuts desarrolló la variedad de formas, tamaños y aspectos que ya discutimos. Hacia finales del periodo geológico conocido como Pleistoceno, hace unos doce mil años, la mayoría de las poblaciones de mamuts desaparecieron, probablemente como consecuencia de una combinación de drásticos cambios en el clima y el efecto de la cacería por los seres humanos, como veremos en el capítulo VI. En regiones remotas de Rusia y en algunas islas del Mediterráneo, algunas especies lograron sobrevivir hasta hace apenas cuatro o cinco mil años. Hoy en día no queda ningún mamut vivo.

Los mamuts fueron en su época tan abundantes que sus restos fósiles son relativamente comunes. Así como Agustín de Hipona vio en el diente del elefante de Útica una prueba de la existencia de los gigantes bíblicos, diferentes culturas incorporaron los fósiles de mamut a sus propias leyendas sobre seres gigantes. Los cráneos de los mamuts de Creta, por ejemplo, se distinguen fácilmente porque presentan en su centro un hueco, la cavidad nasal, en el que se insertaba la trompa del mamut. Como las órbitas de los ojos están a los lados y no en el frente, los cráneos tienen un hueco justo en la parte media, como si los animales a los que corresponden estos cráneos tuvieran un único y enorme ojo. Es posible que estos cráneos hayan inspirado entre los griegos de la Antigüedad la leyenda de los cíclopes, aquella raza de gigantes con un solo ojo a la que perteneció Polifemo, el vengativo gigante que atormentó a la tripulación de Ulises en *La Odisea* de Homero.

Adrienne Mayor, una historiadora de la ciencia de la Universidad de Stanford, ha recopilado y analizado decenas de otras fascinantes historias de la mitología que podrían también haber tenido su origen en los restos de animales extintos^[9]. Por ejemplo, el gigantesco omóplato de marfil de Pélope,

que según los relatos griegos clásicos estaba resguardado en un santuario en Olimpia, podría haber sido en realidad el hueso del hombro de un mamut.

Según Pausanias, un viajero escritor del siglo II, la reliquia fue transportada por los aqueos a Troya durante la famosa guerra porque un oráculo de la ciudad sitiada había predicho que sólo la presencia del hueso podría provocar la caída de Troya. En la mitología griega, los dioses habían dotado con un omóplato de marfil a Pélope en compensación por el hueso original perdido en un grotesco banquete en el que había sido el platillo principal. Mayor señala que en el Peloponeso abundan los fósiles de mamut y que no es descabellado pensar que el venerado omóplato de Olimpia, suponiendo que realmente existió, pudo haber sido un hueso de mamut profusamente pulido, lo que explicaría su aspecto como de marfil^[10].

En el Nuevo Mundo, los enormes huesos de mamut también inspiraron historias sobre gigantes, en el contexto de las mitologías locales. «Hállanse hacia aquellos lugares —escribió fray Diego Durán en el siglo XVI, refiriéndose a la región ocupada hoy en día por las ciudades mexicanas de Puebla y Tlaxcala— huesos de gigantes grandísimos, los cuales yo muchas veces he visto sacar en lugares ásperos.»^[11] Cuando en 1519 las huestes de Hernán Cortés llegaron a la antigua Tlaxcala, los locales mostraron a los conquistadores españoles un fémur que supuestamente provenía de uno de esos gigantes. El hueso era «muy grueso, el altor tamaño como un hombre de razonable estatura —comenta el cronista Bernal Díaz del Castillo— [...] y todos nos espantamos de ver aquellos zancarrones, y tuvimos por cierto haber habido gigantes en esta tierra»^[12]. El hueso en cuestión seguramente provenía en realidad de un mamut colombino u otra de las especies de elefantes de las que hay abundantes huesos fósiles en el centro de México (capítulo VI).

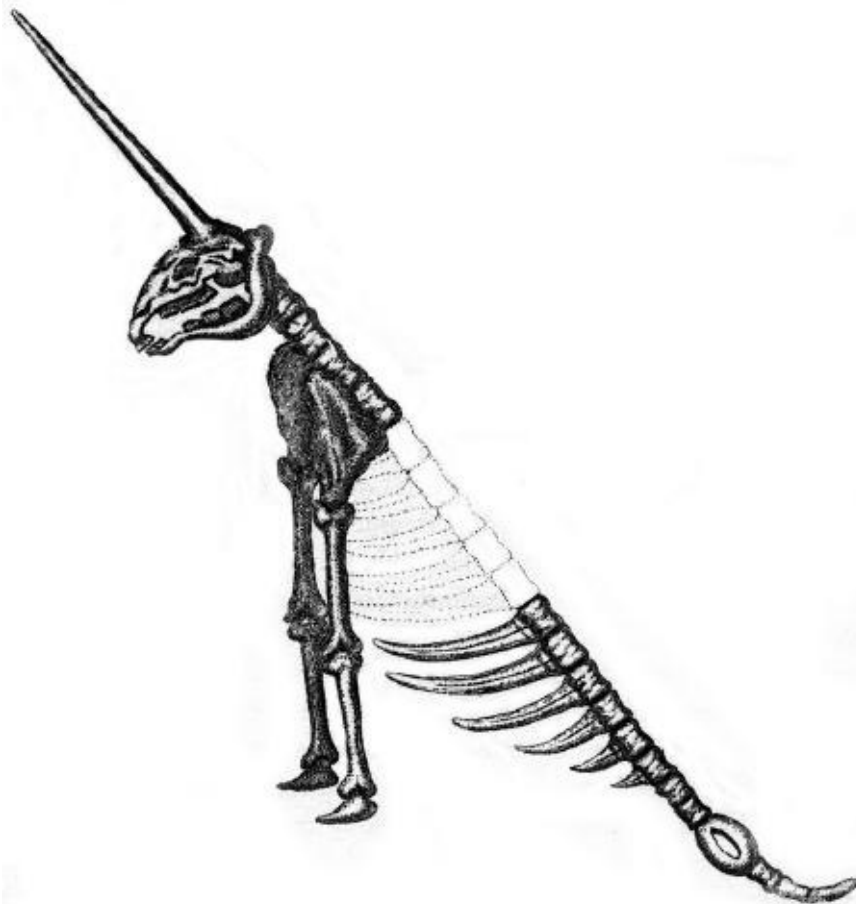


FIGURA II.4. «Esqueleto de un unicornio fósil» en la *Protogaea* de Leibniz.

Mientras tanto, en Europa los eruditos del mundo cristiano siguieron a Agustín de Hipona y vieron en los huesos y dientes de mamuts evidencia tangible de los gigantes bíblicos. Todavía en el siglo xvii se publicaron meticulosos informes de lo que, se afirmaba, eran los restos de gigantes humanos antediluvianos como los descritos en los textos bíblicos.

En este contexto, es interesante que uno de los primeros intentos de reconstruir un mamut como un animal y no como un gigante humano fue un estudio de Gottfried Leibniz, el famoso filósofo conocido como «el último genio universal» por sus importantes contribuciones a prácticamente todas las áreas del pensamiento cultivadas en su época. *Protogaea* es una curiosa obra escrita por un Leibniz joven en la última década del siglo xvii, pero publicada en 1749^[13]. En ese ensayo, el pensador se refiere a «su antiquísima historia según los vestigios» de la Tierra, es decir, a los fósiles y a otros objetos geológicos que pueden darnos pistas sobre el pasado de nuestro planeta. Una de las ilustraciones en la *Protogaea* presenta «el esqueleto de un unicornio fósil». En la imagen efectivamente vemos la reconstrucción a partir de varios huesos de lo que parece ser una extraña criatura cuya cabeza está coronada con una especie de cuerno recto y erecto. Un examen detallado de la

ilustración muestra que entre los huesos representados en la imagen hay partes de mamut y partes del rinoceronte lanudo, otra especie extinta^[14]. Lo que supuestamente es el cuerno del animal es en realidad un colmillo de mamut particularmente recto. La reconstrucción del mamut se ve ridícula a los ojos modernos, pero en el contexto de siglo xvii constituyó sin duda una contribución de la mayor relevancia para el estudio de los restos fósiles y su correcta interpretación.

Para la época en que se publicó la *Protogaea*, ya varios naturalistas europeos sospechaban que el misterioso mamut de Siberia era algún tipo de elefante. Sin embargo, los elefantes sólo se conocían de las regiones tropicales de África y Asia, y nadie había visto ningún animal de tal tamaño en Siberia. Para resolver el misterio se necesitó la aparición en escena de otro gigante extinto, el llamado *incognitum* de Ohio o mastodonte.

TERCER ACTO: EL *INCOGNITUM*, EL MISTERIOSO ANIMAL DE OHIO

Claverack, en el estado de Nueva York en los Estados Unidos, es un pequeño pueblo de unos seis mil habitantes. Desde la época de las colonias inglesas, el lugar ha sido hogar de inmigrantes neerlandeses y sus descendientes. En el verano de 1705, un agricultor de esa localidad encontró en su finca un diente «más grande que el puño de un hombre» que había sido expuesto en un banco del río Hudson durante una fuerte lluvia. El diente de alguna manera llegó a manos de Lord Cornbury, el gobernador de Nueva York, quien lo envió a Londres con la etiqueta «diente de un gigante». Tal como Agustín de Hipona lo había hecho mil trescientos años antes, Cornbury apeló al texto del Génesis para referirse a los gigantes antediluvianos^[15].

Años más tarde, en 1739, una expedición militar francesa que viajaba por el río Ohio hizo una parada cerca de donde hoy en día se encuentra la ciudad de Cincinnati. Una partida de exploradores que habían salido en busca de alimento se topó con una gran cantidad de huesos de dimensiones enormes, entre ellos un fémur, colmillos y molares de gran tamaño. Tanto llamaron la atención estos fósiles que el comandante del contingente decidió cargar con los gigantescos huesos durante toda la campaña y enviarlos a la corte de Luis XV en Francia.



FIGURA II.5. Reconstrucción de un mastodonte. © 2011-2016 Dantheman 9758.

El diente de Claverack y los huesos de Ohio se hicieron pronto famosos y despertaron la imaginación tanto entre los americanos como entre los europeos. ¿Eran esos huesos en realidad los restos de los gigantes bíblicos? ¿Se trataba, en cambio, del mismo animal que había sido encontrado en Siberia, el mamut? ¿Podría ser que los huesos pertenecieran a algún monstruoso animal que habitaba los extensos territorios aún no explorados del oeste de Norteamérica? Pronto la misteriosa bestia adquirió el nombre de *incognitum*, el animal desconocido de Ohio.

En 1762, el curador del Gabinete Real de Historia Natural francés, Louis Jean-Marie Daubenton, declaró que los restos de la bestia de Ohio representaban en realidad dos animales: los huesos del cuerpo y los colmillos eran de mamut, pero los dientes eran probablemente de un hipopótamo. Por la misma época, William Hunter, un médico escocés, especuló que los dientes del animal de Ohio indicaban que se trataba de un carnívoro de enormes proporciones.

A mediados del siglo XVIII, Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon, era el naturalista más renombrado del mundo. Su enorme *Historia natural*, publicada en treinta y seis volúmenes entre 1749 y 1789, recopiló y examinó todo el conocimiento de la época sobre la naturaleza. Después de su muerte se publicaron otros ocho volúmenes que completaron la monumental obra. En este contexto, la opinión de Buffon sobre el animal misterioso de Ohio suscitó un nivel muy alto de expectativa. Buffon estuvo de acuerdo con Daubenton en que el *incognitum* era en realidad una combinación de varios animales. Sin embargo, el conde añadió la idea de que el más grande de esos animales probablemente ya no existía en ningún lado del mundo y que la búsqueda de ese animal sería por tanto inútil. En el contexto de nuestros días, lo que Buffon afirmaba era que el animal de Ohio muy probablemente estaba

extinto. En el contexto del siglo XVIII, sin embargo, la idea era revolucionaria y generó una nueva ola de acaloradas discusiones entre los naturalistas.

Thomas Jefferson, el redactor de la Declaración de Independencia de los Estados Unidos, se involucró de manera personal en el debate. El estadista dedicó grandes esfuerzos para rebatir a Buffon, e incluso, cuando fue presidente de los Estados Unidos, financió expediciones para explorar el desconocido oeste de Norteamérica con la consigna de hallar con vida al gigantesco *incognitum*. En sus *Notas sobre el estado de Virginia*, una monografía publicada en 1787, Jefferson proporciona una lista de los cuadrúpedos nativos de su estado natal en la que aparece en primer lugar el mamut, de lo que se concluye que este animal aún existía en la región^[16].

Para Jefferson, el asunto iba más allá de una discusión académica o incluso más allá de su nacionalismo estadounidense. En la mente de muchos de los naturalistas de la época, una idea central era que existía un orden natural de las cosas, una cadena de eslabones ordenados que no podía romperse sin que el sistema natural completo se colapsara. En palabras de Jefferson: «Si un eslabón en la cadena de la naturaleza se pudiera perder, se podría perder otro, y otro adicional hasta que el sistema completo de las cosas se esfumara pieza por pieza»^[17]. En la mente de la mayoría de los naturalistas de la época, Jefferson incluido, la idea de la extinción de las especies era una imposibilidad lógica. Una especie no podía dejar de existir porque, si lo hiciera, dejaría un hueco imposible de llenar en el orden natural. Las primeras ideas sobre la evolución biológica no habían sido todavía propuestas en la época de Jefferson, de manera que no había ningún mecanismo plausible que pudiera generar especies nuevas que tomaran el lugar de las extintas. La conclusión lógica era, por tanto, que la extinción de las especies era imposible.

El debate entre Jefferson y Buffon incluyó nutridos intercambios epistolares y visitas personales del político norteamericano a Francia. En uno de sus viajes, Jefferson se aseguró de llevar consigo pieles y huesos de gran tamaño para convencer al naturalista francés de la existencia en los Estados Unidos de animales de gran talla. Según Jefferson, Buffon finalmente se convenció con los argumentos presentados y prometió que en los siguientes volúmenes de su *Historia natural* haría las aclaraciones pertinentes. Sin embargo, la promesa no se cumplió, pues Buffon murió en 1788.

ENCORE: CUVIER Y LAS REVOLUCIONES DE LA NATURALEZA

Nuestras tres historias de elefantes convergen en aquella velada de 1796 en la que la extinción se volvió una realidad científica con los contundentes argumentos de Cuvier. El joven naturalista se había convertido, tras la muerte de Buffon, en la nueva estrella francesa de las ciencias naturales. Como nos han revelado nuestras tres historias, la idea de la extinción tenía ya tiempo de estar en la mente de los naturalistas, pero un sector muy influyente seguía teniendo serias dudas sobre su realidad. Cuvier despejó esas dudas con su pulcra aplicación del método de la anatomía comparada.

Los molares del elefante asiático eran tan diferentes de los del elefante africano que Cuvier no tuvo duda en reconocer la existencia de dos especies separadas. Al examinar los dientes del animal de Ohio, Cuvier entendió de inmediato que tal bestia no pertenecía a ninguna de las dos especies vivientes. Los molares del *incognitum* presentaban notables protuberancias, llamadas cúspides por los especialistas, muy marcadas y voluminosas en comparación con los dientes de los elefantes. Años más tarde, Cuvier propuso que el *incognitum* fuera llamado mastodonte, que significa algo así como «diente con mamas», en alusión a la semejanza de las cúspides con las glándulas mamarias.

Cuvier dedujo que los mastodontes tenían una dieta diferente de la de los mamuts y los elefantes. Los científicos modernos piensan que los mastodontes se alimentaban de las hojas y otras partes frescas de los árboles o arbustos, mientras que los mamuts basaban su dieta en plantas más difíciles de masticar y de digerir. Esas diferencias en la dieta, razonó correctamente Cuvier, se reflejan en la morfología de los dientes molares.

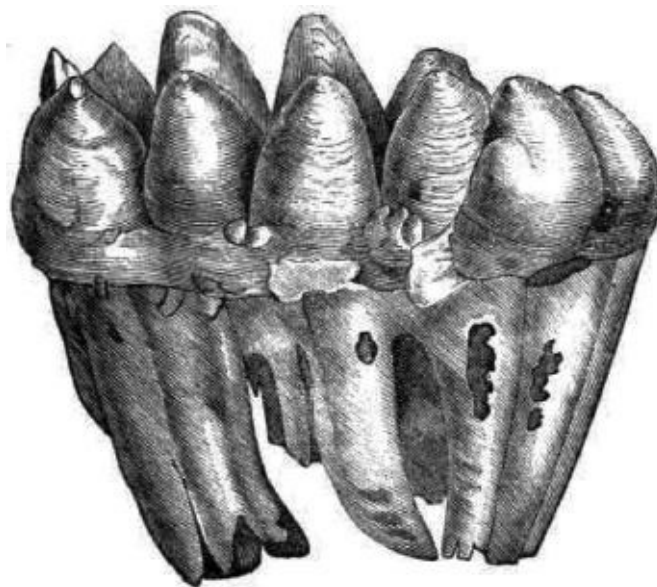


FIGURA II.6. Diente molar de mastodonte, donde se aprecian sus cúspides en forma de mamas. Ilustración del libro *The World Before the Deluge*, de Louis Figuier.

Anteriormente a su presentación en el Instituto de Francia, Cuvier había tenido la oportunidad de examinar unas ilustraciones de los huesos fosilizados de una extraña y gigantesca bestia proveniente de Sudamérica conocida simplemente como «el animal de Paraguay». De nueva cuenta, Cuvier utilizó la anatomía comparada para deducir la identidad del misterioso fósil. Los enormes huesos apuntaban a que el animal al que pertenecían debía de haber medido unos cuatro metros de largo y dos de alto, pero los detalles de las extremidades, y sobre todo del cráneo, convencieron a Cuvier de que el curioso animal de Paraguay no era pariente de ninguno de los otros animales gigantescos conocidos en la época, sino de los modestos osos hormigueros y perezosos de Sudamérica. Cuvier acuñó el nombre de megaterio («bestia enorme») para el animal de Paraguay, y declaró que se trataba ni más ni menos que de un perezoso de hábitos terrestres cuya existencia en el mundo actual era bastante improbable:

Se añade a los numerosos hechos que nos indican que los animales del mundo antiguo son diferentes a los que vemos hoy en día en la tierra, ya que es muy escasamente probable que, de existir aún este animal, pudiera esta notable especie haber escapado de las observaciones de los naturalistas^[18].

Tanto el megaterio como el mamut y el mastodonte debían ser entonces especies que no podían ser halladas vivas en ningún lugar del planeta. Ahora bien, ¿cómo explicar la desaparición de estos animales? Para Cuvier sólo había tres posibilidades: la migración, la evolución o la extinción. Como no había evidencia de que los mamuts pudieran haberse movido desde Siberia y existieran en algún lugar del planeta, Cuvier descartó de inmediato la hipótesis de la migración. En cuanto a las otras dos explicaciones, es importante recalcar que en el contexto de la época se trataba de explicaciones excluyentes. Cuando Cuvier intentó explicar la desaparición de las especies del pasado, debía escoger entre pensar que esos animales se habían transformado en otras especies existentes hoy en día o considerar que se habían extinguido. La idea moderna de la evolución, que incluye la extinción como un componente fundamental, se desarrolló varias décadas después.

Cuvier nunca aceptó las primeras ideas sobre la evolución biológica que defendían sus compatriotas Jean-Baptiste de Lamarck y Étienne Geoffroy Saint-Hilaire. Para Cuvier no había evidencia de que una especie de animal pudiera transformarse en otra, además de que era difícil imaginar cómo una forma intermedia entre dos especies podría sobrevivir. En la concepción de

Cuvier, las especies podían desaparecer, pero no parecía haber un mecanismo que permitiera la aparición de especies nuevas. ¿Cómo se podía entonces reconciliar la idea de la extinción, la pérdida de especies, si no se aceptaba la existencia de un mecanismo que generara nuevas formas? Cuvier, propuso entonces su teoría catastrofista: «Todos estos hechos, consistentes unos con otros, y no opuestos a ningún otro informe, me parece que demuestran la existencia de un mundo previo al nuestro que fue destruido por algún tipo de catástrofe»^[19].

En escritos posteriores, a medida que la lista de especies extintas iba creciendo con nuevos descubrimientos de fósiles de grandes animales, Cuvier propuso que en el pasado debieron haber ocurrido varios episodios catastróficos que destruyeron todas las formas de vida existentes anteriores. Cuvier examinó una serie de fósiles hallados en las inmediaciones de París que el avezado anatomista identificó como los restos de caballos diminutos, tlacuaches, carnívoros de gran talla y cocodrilos; todos estos animales ya no existen en Europa y, según pudo constatar el naturalista francés, son diferentes de las especies correspondientes de otras partes del mundo. Se trataba, por tanto, no sólo de unas pocas especies extintas aisladas, sino de toda una fauna desaparecida del planeta.

Este tipo de faunas, en la visión de Cuvier, eran conjuntos de especies representativas de eras anteriores a la nuestra, destruidas cada una de ellas por alguna catástrofe, una *revolución* de la naturaleza. Aunque Cuvier nunca propuso un mecanismo que explicara el surgimiento de nuevas especies después de cada episodio devastador, sus ideas fueron bien recibidas por la comunidad científica, en particular en el contexto del pensamiento que imperaba entre los naturalistas parisinos a los pocos años de la Revolución francesa. Las revoluciones de la naturaleza, los cambios radicales en las estructuras, parecían ser una explicación bastante razonable para el proceso de la extinción de las especies.

En el siguiente capítulo veremos cómo la idea de que las catástrofes pueden causar extinciones fue perdiendo aceptación entre los científicos hasta que, en 1980, como se ve en el capítulo IV, surgió un nuevo tipo de teoría catastrofista sobre la extinción de las especies.

III. La platija de Mr. Lhuyd: el destino de todas las especies es la extinción

*¡Qué importa un día! Está el ayer alerta
al mañana, mañana al infinito,
hombre de España; ni el pasado ha muerto,
ni está el mañana —ni el ayer— escrito.*

ANTONIO MACHADO, El Dios ibero

En 1697, el naturalista galés Edward Lhuyd envió a Martin Lister, a la sazón miembro de la prestigiosa Real Sociedad de Londres, una carta «concerniente a varias piedras marcadas con figuras regulares recientemente halladas por mí mismo». La misiva incluía una serie de ilustraciones de aquellas «figuras regulares» grabadas en las rocas. La ilustración número 15 correspondía a material recolectado en Llandeilo, en el sur de Gales, y «[debía] sin duda ser referida al esqueleto de algún pez plano», de una platija, de acuerdo con las notas de Lhuyd^[1].

Hoy en día cualquier aficionado a la historia natural que observara la ilustración de Lhuyd reconocería en ella un trilobite, un tipo de invertebrado marino extinto. En particular, la «platija» de Lhuyd es un individuo de la especie *Ogygiocarella debuchii*, un trilobite muy común en los afloramientos del sur de Gales. Sabemos ahora que los depósitos cercanos a Llandeilo tienen una antigüedad de poco más de cuatrocientos sesenta millones de años. Sabemos también que tanto el trilobite de Lhuyd como el resto de las especies de este grupo, miles y miles de ellas, se extinguieron hace más de doscientos cincuenta millones de años.

Lhuyd no tenía manera siquiera de imaginar que todos estos datos sobre su supuesta platija se pudieran conocer algún día con tanta certidumbre. Lhuyd era un erudito bien versado en varios temas filosóficos de actualidad en su tiempo, y su errónea interpretación del trilobite de Llandeilo no refleja otra cosa que el pobre conocimiento que sobre los fósiles se tenía en su época. Ha sido gracias al estudio de los fósiles y de otras huellas geológicas que

durante los trescientos años luego de la carta de Lhuyd se ha podido reconstruir la historia de miles de millones de años del planeta y de los miles de millones de especies de organismos que la han habitado. En este capítulo veremos el desarrollo de las ideas que han llevado a la moderna interpretación de la naturaleza de los fósiles y de la extinción de las especies como un proceso natural.

LOS FÓSILES Y LOS TRILOBITES

Los fósiles de trilobites son muy abundantes en algunos lugares y han sido bien conocidos desde tiempos antiguos. A través de los escritos de historiadores como Heródoto sabemos que los fósiles de organismos marinos eran conocidos en la Grecia clásica, aunque su verdadera naturaleza era un misterio para los pensadores de la época. Aristóteles se convenció de que los fósiles de conchas y plantas eran restos de seres vivos grabados en las rocas, tal vez por la acción de algún tipo de exhalación vaporosa en el interior de la tierra. Siglos después, en 1027, Avicena retomó la idea de Aristóteles y propuso que los organismos vivos podían quedar plasmados en las rocas por efecto de un fluido petrificante, el *succus lapidificatus*. Esta explicación, que hoy en día sonaría más como un hechizo de *Harry Potter y la piedra filosofal* que como una hipótesis científica, fue sin embargo aceptada por la gran mayoría de los naturalistas, incluso hasta la época de Lhuyd.

El propio Lhuyd, intrigado por la presencia de rocas con figuras de animales marinos en las montañas de Gales, tenía su propia variante de las ideas de Aristóteles y Avicena. Según él, los fósiles se generaban gracias a que el vapor de agua de mar arrastraba consigo las «semillas» de los animales de los océanos. Cuando esta agua se asentaba en forma de neblina o caía como lluvia en las montañas, las semillas se introducían en la tierra y germinaban entre las rocas para dar a éstas la forma total o parcial de los seres marinos de donde provenían las semillas^[2]. El ejemplar de Llandeilo debía entonces corresponder a alguna especie viviente, tal vez algún tipo de pez plano, dedujo Lhuyd.

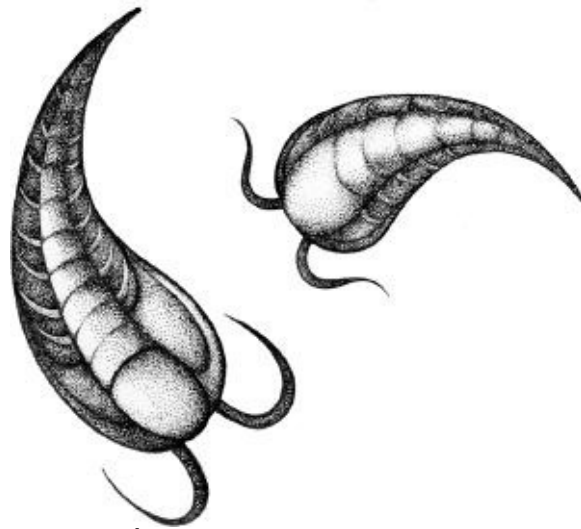


FIGURA III.1. *Trilobites*. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

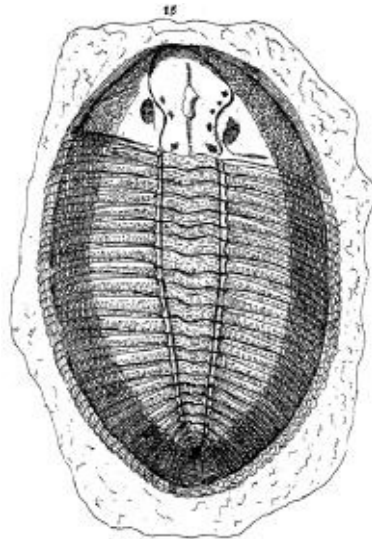


FIGURA III.2. La «platija» de E. Lhuyd, que aparece como la figura 15 en su misiva de 1697.

A pesar de la prevalencia de las explicaciones aristotélicas, algunos naturalistas habían tenido ideas diferentes muchos años antes de la época de Lhuyd. El manuscrito conocido como *Códice Leicester*, escrito por Leonardo da Vinci hacia 1508, contiene sesudas disquisiciones del multifacético pensador sobre el origen de las conchas fósiles^[3]. Para Leonardo era claro que la presencia de tales fósiles en las montañas no podía explicarse de otra manera sino admitiendo que en el pasado esas zonas habían estado cubiertas por las aguas.

Los fósiles que Leonardo conoció eran restos de conchas de almejas y de caracoles, formas fácilmente reconocibles para cualquier persona. No hay evidencia de que Leonardo se haya planteado la posibilidad de que algunos de sus fósiles correspondieran a especies desaparecidas. Aunque los mares se hubieran retirado de algunos sitios, eso no implicaba que las especies que los

habitaran tuvieran que haber desaparecido; podían en cambio simplemente haber seguido el movimiento de las aguas y migrar a nuevos hogares. Leonardo no tenía razón alguna para pensar en la extinción de las especies.

«La casualidad favorece a las mentes preparadas», sentenció alguna vez Louis Pasteur^[4]. Una de las mentes más preparadas de la historia, la de Leonardo, se vio favorecida por la casualidad de que los fósiles a los que tuvo acceso tenían formas conocidas para él. ¿Qué habría pasado si Leonardo se hubiera topado en cambio con fósiles de trilobites o de algún otro tipo de animal extinto? Vimos en el capítulo II cómo otra de las mentes más brillantes de la historia, Leibniz, creyó ver un unicornio en los restos fósiles del mamut. ¿Habría Leonardo deducido la verdadera naturaleza de un fósil de trilobite?

La platija de Lhuyd y otros trilobites encontraron su verdadero lugar en la clasificación de la naturaleza apenas en la segunda mitad del siglo XVIII, más de doscientos cincuenta años después de los tiempos de Leonardo^[5]. Su parentesco con los artrópodos fue reconocido por un naturalista alemán de nombre Johann Ernst Immanuel Walch en 1771, quien parece que también fue el primero en usar la palabra *trilobite*. En poco tiempo el nombre se popularizó entre los naturalistas, y ya en 1822 el francés Alexandre Brongniart pudo publicar una monografía a la que tituló simplemente *Los trilobites*. En ella aparece por primera vez el nombre *debuchii* para el animal de la ilustración número 15 de Lhuyd^[6].

Hoy en día sabemos que los trilobites eran verdaderos artrópodos, pero de un tipo que ya no existe sobre la tierra. Los trilobites se clasifican como una clase propia dentro del filo de los artrópodos, la clase Trilobita^[7]. Una de las características de los artrópodos, el exoesqueleto —la cubierta rígida que protege su cuerpo y que constituye, por ejemplo, el caparazón de los crustáceos—, es lo que vemos preservado en los trilobites fósiles. Esta estructura era una coraza protectora colocada sobre el dorso que protegía las partes blandas del animal, que se encontraban en la parte ventral. Fue por la forma y segmentación del exoesqueleto del fósil de Llandeilo que Lhuyd lo confundió con un pez plano. En algunos ejemplares muy bien preservados se puede constatar que las patas de los trilobites eran semejantes a las de los artrópodos modernos, excepto que carecían de la cubierta dura.

Los trilobites evolucionaron hasta desarrollar una gran diversidad de formas, tamaños y hábitos. La mayoría eran de tamaño pequeño —entre cinco y diez centímetros de largo—, pero los hubo diminutos —de apenas un par de milímetros— y gigantescos —hasta de setenta centímetros—. Muchas

especies tuvieron morfologías muy austeras, pero algunos grupos desarrollaron grandes espinas o antenas, además de que las proporciones de las partes del cuerpo variaban ampliamente. Muchas de las especies tenían ojos compuestos, con configuraciones similares a la de los ojos de los artrópodos modernos, pero con la particularidad de que estaban formados con cristales de calcita.

Se han descrito más de diecisiete mil especies de trilobites. Esta cifra es sin duda una muy grosera subestimación de la verdadera diversidad de este grupo, ya que el registro fósil es muy incompleto y fragmentado. Conservadoramente se puede calcular que deben de haber existido al menos unos cuantos millones de especies diferentes. Hoy en día no hay un solo trilobite vivo sobre el planeta.

LOS ESTRATOS DE LEONARDO Y EL TIEMPO PROFUNDO

Una de las primeras obras que se conocen de Leonardo da Vinci es un paisaje de la Toscana que dibujó en 1473. Los trazos del dibujo muestran una extraordinaria combinación de equilibrio estético y realismo geológico, realizado por los primeros intentos de Leonardo por emplear sus revolucionarias técnicas de la perspectiva. En el centro del paisaje hay una cascada cuyas aguas caen partiendo una colina en la que Leonardo dibujó extensas bandas horizontales que corresponden, ahora sabemos, a los depósitos de sedimento de diferentes eras geológicas. Leonardo aprovechó esa disposición geométrica para establecer la perspectiva y la composición estética del dibujo, pero al mismo tiempo abrió las puertas que permitieron la interpretación científica de esos bellos patrones naturales.

Muchos años después, en 1669, el naturalista Nicolaus Steno sentó las bases de lo que ahora llamamos la sedimentología. Steno postuló su principio de la superposición de estratos con la sencilla premisa de que las rocas de formación más reciente se encuentran por arriba de las más antiguas. Mostró que las rocas pequeñas tienden a sedimentarse formando capas extendidas horizontalmente, tal como en el dibujo de Leonardo. Lógicamente, las rocas que forman parte de un mismo estrato horizontal deben de ser de la misma edad, y los límites entre los estratos deben de corresponder a cambios abruptos en el proceso de sedimentación. Por extensión, los fósiles que se encuentran en los estratos inferiores deben de corresponder a organismos más antiguos.



FIGURA III.3. Paisaje del valle del Arno, de *Leonardo da Vinci*. El dibujo tiene inscrita la fecha 5 de agosto de 1473.

En 1785, James Hutton propuso que los patrones geológicos que observamos hoy en día son el resultado de cambios graduales en la configuración del planeta. Para explicar la presencia de sedimentos y fósiles de origen marino en lo que hoy son montañas, Hutton concluyó que estos procesos deben de haber operado a lo largo de periodos de tiempo muy extensos. Las ideas de Hutton y otros naturalistas británicos de la época explicaban la desaparición de las especies como resultado no de grandes cataclismos, como afirmaba Cuvier (capítulo II), sino como consecuencia de cambios pequeños acumulados a lo largo de periodos muy extensos. Estas ideas opuestas fueron llamadas «catastrofismo» y «uniformismo» en 1833, en un comentario a los *Principios de geología*, la monumental obra de Charles Lyell, cuya premisa central era que los procesos geológicos que operan hoy en día son los mismos que siempre han funcionado desde la aparición del planeta Tierra.

Entre 1820 y 1850 los naturalistas europeos se dieron a la tarea de clasificar los estratos geológicos basados en los principios de Steno y Lyell y en la observación de que estratos similares contenían fósiles similares, aunque en ocasiones fueran distantes geográficamente. Así, por ejemplo, los trilobites se encontraban siempre en sedimentos con características parecidas, aunque fueran hallados en Gales, en Francia o en Rusia. Además, estos animales se encontraban siempre en los sedimentos inferiores, los más antiguos. Por el contrario, en los estratos superiores —los más modernos— nadie halló jamás un solo fósil de trilobite.

Con base en estos patrones, John Phillips identificó en 1841 tres eras geológicas principales, cada una con varios periodos^[8]. Los trilobites eran abundantes en los estratos de la era más antigua, la paleozoica, pero estaban completamente ausentes de los sedimentos de las eras mesozoica —la intermedia— y la cenozoica —la más reciente—^[9]. Para entonces era ya claro que los trilobites habían sido extremadamente abundantes y diversos en los mares del Paleozoico, pero que habían desaparecido de la Tierra en algún momento al final de esa era. Los cambios en las faunas incluso dentro del Paleozoico indicaban además que durante esa era muchas especies de trilobites se habían extinguido y varias otras habían surgido. Aunque con algunas fluctuaciones, las tasas de extinción y de especiación parecían no cambiar mucho, y parecía más bien haber una disminución gradual en la diversidad de los trilobites, hasta su desaparición total al final de la era paleozoica.

Estas observaciones, y los estudios sobre la velocidad de los procesos geológicos hacían suponer que cada uno de los periodos geológicos debía haber tenido una muy larga duración, pero ¿qué tan larga? Algunos naturalistas hablaban de miles de años, otros de unos pocos millones de años y otros aventuraban la posibilidad de decenas o incluso centenas de millones de años, pero nadie podía en realidad establecer edades absolutas para las eras geológicas.

La asombrosa realidad del «tiempo profundo», es decir, el hecho de que la historia geológica debe medirse en cientos o incluso miles de millones de años, se corroboró apenas en el siglo xx con el desarrollo de las técnicas de fechado con isótopos radiactivos. Hoy en día es posible establecer con asombrosa precisión la antigüedad de las rocas asociadas a las diferentes eras y a los periodos geológicos, y se ha podido establecer una cronología de los sucesos más importantes en la historia del planeta (véase el apéndice 3).

Esta cronología nos permite poner en contexto temporal la historia de los trilobites. Poco después de su aparición en el registro fósil a principios del Cámbrico —hace poco más de quinientos cuarenta millones de años—, los trilobites alcanzaron su máxima diversidad hacia finales de ese periodo, cuarenta millones de años después. Durante el Ordovícico aumentó la diversidad de formas y funciones, pero el número de especies disminuyó, y continuó su descenso gradual en el Silúrico y el Devónico. Ya hacia el inicio del Carbonífero, hace trescientos cincuenta y nueve millones de años, sólo quedaba uno de los diez órdenes de la otrora diversa clase Trilobita. Durante el Pérmico los trilobites se hicieron muy poco comunes y desaparecieron por

completo al final de ese periodo, hace doscientos cincuenta y un millones de años^[10].

Estas fluctuaciones en la diversidad de los trilobites parecen mostrar una dinámica de cambios graduales, con tasas de extinción variables, pero sin brincos considerables. La extinción definitiva de los trilobites parece ser simplemente el final de un muy largo y gradual proceso de disminución en la diversidad de este grupo a lo largo de los doscientos noventa millones de años de existencia de estos organismos.

LA EXTINCIÓN DE LOS GRUPOS DE ESPECIES

En el apogeo de su diversificación, los trilobites contribuían con casi 75 % de todas las especies de los océanos del mundo, y se les hubiera podido observar por doquier, algunos desplazándose por los fondos arenosos, otros perforando galerías en los sedimentos lodosos y otros nadando apaciblemente en el mar abierto. Toda esa diversidad perdida constituye un solo ejemplo de un patrón generalizado; la inmensa mayoría de las especies que alguna vez existieron están ya extintas.

Se calcula que en la actualidad hay alrededor de nueve millones de especies de animales en el mundo^[11]. Si consideramos que esta cifra corresponde a un momento particular de la historia de miles de millones de años del planeta, podemos intuir que la cantidad total de especies que alguna vez han existido debe ser un número astronómico. El paleobiólogo David Raup aventura una estimación de entre cinco mil y cincuenta mil millones de especies que han habitado la Tierra en algún momento de su historia^[12]. Si cerramos el dato de Raup en nueve mil millones de especies, podemos ver que la impresionante diversidad biológica que vemos hoy en día representa apenas una milésima parte, 0.1 %, de la biodiversidad histórica del planeta. En otras palabras, 99.9 % de las especies que han existido ya están extintas.

El registro fósil nos muestra que una especie promedio existe en la Tierra por apenas uno o dos millones de años. Por supuesto, alrededor de ese promedio hay una gran variación; existen muchas especies que se conocen de un solo instante geológico en la historia del planeta, y las hay también cuya existencia se extiende por decenas de millones de años. Estas especies son como los *struldbrugs* de *Los viajes de Gulliver*, personajes que nunca morían pero que inexorablemente se iban haciendo viejos^[13]. A diferencia de los

inmortales *struldbrugs*, sin embargo, en el mundo real todas las especies en este planeta han desaparecido... o desaparecerán.

Si todas las especies están condenadas a la extinción, ¿cómo es que la vida no se ha acabado? Hay que recordar que el proceso de especiación, la aparición de nuevas especies a partir de formas ancestrales, provee el balance con la extinción para mantener la diversidad del planeta. De hecho, en el registro fósil generalmente no es posible distinguir entre una extinción en el sentido estricto (el final de un linaje, con la muerte de todos sus individuos) y lo que se llama una pseudoextinción, que es la transformación gradual, a través de cientos de miles de años, de una forma ancestral en una nueva especie.

Si la extinción de miles de especies de trilobites no es un fenómeno extraordinario, lo que sí es muy poco común en la historia del planeta es la desaparición total de una clase, como la de los trilobites. Para entender lo que significa una clase en términos de diversidad de especies y formas, revisemos el caso de los insectos actuales, que forman la clase Insecta.

En los ambientes terrestres de hoy, los insectos son por mucho el grupo dominante en número de especies. Existen alrededor de dos millones de especies de organismos que han recibido un nombre científico; de ellas, cerca de la mitad son insectos, y de éstos, más de cuatrocientos mil son escarabajos^[14]. En otras palabras, una de cada cinco de las especies conocidas por la ciencia es un escarabajo. Imaginemos que desaparecieran todas las especies de insectos del mundo. ¿Qué tipo de ecosistema terrestre podría funcionar sin ellos? ¿Qué sería de los muchos otros animales que dependen de los insectos para su alimentación? ¿Quién polinizaría las miles de especies de plantas que dependen de estos artrópodos para su reproducción? La única conclusión a la que podríamos llegar al imaginar la desaparición de los insectos sería que los ecosistemas terrestres serían completamente diferentes, incluso disfuncionales, sin estos animales.

Un observador de los ecosistemas marinos del pasado habría llegado a conclusiones similares si se hubiese imaginado la extinción de los trilobites. Estos artrópodos eran para los ambientes marinos lo mismo que son hoy en día los insectos para los ecosistemas terrestres. Imaginarse un mundo sin trilobites habría sido tan difícil entonces como lo es ahora fantasear sobre un planeta sin insectos. Ahora bien, ¿es la extinción total de un grupo como el de los trilobites un caso excepcional o es sólo un episodio normal en la historia de la vida sobre el planeta?

David Raup se planteó esa pregunta en 1981^[15]. Para contestarla, comenzó mostrando que, aunque la extinción de las especies es inexorable, la desaparición de grupos enteros de ellas es mucho más difícil, por una razón muy sencilla: el efecto de masa, es decir, del número de especies. Si un género animal tiene, por ejemplo, diez especies, es necesario que todas ellas se extingan para que el género completo desaparezca. De igual forma, se necesitan cien extinciones para que se esfume una familia con ese número de especies. Para que la clase Insecta dejara de existir, sería necesario que se extinguieran todas las especies que forman ese grupo, millones y millones de insectos diferentes. Es por ello que, aunque la extinción de especies y de géneros sea un fenómeno muy común en la historia del planeta, la desaparición de familias o de órdenes enteros es mucho menos probable, y la de clases enteras es extraordinariamente improbable.

Este patrón es justamente lo que observamos en el registro fósil. En periodos extendidos de millones de años, o durante las extinciones en masa que veremos más adelante, el porcentaje de especies que se extingue es altísimo, hasta de 95 %. Sin embargo, aunque numerosos géneros perecen o algunas familias enteras desaparecen, el número de órdenes o clases que se pierden es bastante más bajo. La extinción de una clase completa, como la de los trilobites, es un suceso extraordinariamente raro.

Aún más improbable que la extinción de una clase completa lo es la desaparición de un *phylum*, o filo. Cada filo representa no sólo la categoría taxonómica más general dentro del reino animal, sino que corresponde con uno de los planes fundamentales de configuración morfológica. Los artrópodos, por ejemplo, representan un tipo de animal con exoesqueleto, el cuerpo segmentado, una serie de apéndices arreglados en pares, ojos compuestos y otras características que en conjunto definen la configuración morfológica general del filo Arthropoda. Como variantes de la forma básica, existen artrópodos con mandíbulas —los insectos y sus parientes— o con quelíceros —las arañas y grupos afines—, con tres, cuatro, cinco o múltiples pares de patas o con diferentes tipos y números de ojos compuestos.

Existen alrededor de treinta y cinco filos animales. Algunos de los más conocidos son también los más ricos en especies, como el de los cordados —que incluye todos los vertebrados—, el de los equinodermos —estrellas, erizos y pepinos de mar—, el de los moluscos —almejas, caracoles, pulpos—, el de los anélidos —algunas lombrices— y el de las esponjas de mar. Existen varios otros filos menos comunes con nombres tan extraños como su propio aspecto, como es el caso de los onicóforos, los tardígrados y los sipuncúlidos.

Contrariamente a lo que se pensaba hace unas décadas, al parecer ningún filo se ha extinguido en la historia del planeta. Existen dudas sobre la identidad de algunos de los fósiles animales más antiguos, pertenecientes a la llamada fauna ediacárica del periodo anterior al Cámbrico, hace unos seiscientos millones de años. Se ha propuesto que algunos de estos enigmáticos animales podrían haber pertenecido a algún filo ya extinto, pero hasta ahora no hay evidencia contundente que lo pruebe. Fuera de estos casos de difícil clasificación, todos los filos presentes en el registro fósil cuentan con representantes en el mundo actual. En otras palabras, los mismos planes fundamentales de organización morfológica que existieron en los primeros tiempos de la evolución animal perduran hasta la actualidad, aunque por supuesto representados por especies diferentes.

En la era de los trilobites existieron otros animales con formas tan extrañas que algunos expertos los clasificaron en filos diferentes de los de hoy en día^[16]. Por ejemplo, un estrambótico animal en forma de gusano inspiró a Simon Conway Morris a adjudicarle en 1977 el nombre de *Hallucigenia*^[17]. A partir de los fósiles preservados en el esquisto de Burgess, un sitio en las montañas de la Columbia Británica en Canadá, Conway Morris se imaginó al animal caminando sobre una serie de extremidades puntiagudas y alimentándose a través de unas estructuras semejantes a tentáculos localizados en una hilera sobre el dorso del animal. En ese tiempo se pensó que este animal y otros misteriosos habitantes de los mares primitivos, como *Opabinia* y *Anomalocaris*, podrían haber pertenecido a filos extintos, ya que era imposible asignarles membresía en alguno de los grupos principales de hoy en día.

Años más tarde, con más material de estudio disponible, se descubrió que la reconstrucción original de *Hallucigenia* había colocado al animal completamente al revés; lo que Conway Morris pensó que eran las patas en realidad eran espinas dorsales, y los tentáculos eran en realidad las extremidades ventrales, que estaban de hecho acomodadas en dos hileras y no en una sola, como parecía en los fósiles examinados en la descripción original de *Hallucigenia*. Visto de esta manera, el animal tenía cierta semejanza con los onicóforos, los llamados gusanos de terciopelo, un grupo que existe aún hoy en día. Más recientemente, un análisis detallado de las estructuras ventrales confirmó la sospecha de que *Hallucigenia* perteneció no a un filo extinto, sino que fue parte del linaje evolutivo que desembocó en los onicóforos de hoy en día^[18]. De igual forma, *Opabinia* y *Anomalocaris* han encontrado su lugar en el árbol de la vida, en la línea evolutiva de los

artrópodos^[19]. Todos estos datos indican que, desde la primera aparición en el registro fósil de varios de los filos actuales, no se ha producido la extinción de ninguno de estos grandes grupos.

LAS EXTINCIONES MASIVAS

En la historia del planeta se han producido cinco episodios de extinción masiva, es decir, momentos en los que se ha dado la desaparición repentina de un gran número de especies. La existencia de estos episodios fue descubierta por John Phillips, sólo que el geólogo británico del siglo XIX nunca se dio cuenta de su hallazgo. En 1860, Phillips publicó *La vida en la Tierra: su origen y su descendencia*, un importante tratado en el que resumió los estudios de toda su vida sobre la historia geológica del planeta. La ilustración 4 de esta obra muestra los cambios en la diversidad de los fósiles a través de las eras geológicas, y señala los límites entre las tres eras principales —que, recordemos, el propio Phillips había definido unos años antes— como momentos de fuerte disminución en esa diversidad. Se ven claramente las fuertes caídas en diversidad en los límites entre el Paleozoico y el Mesozoico y entre esta era y el Cenozoico.

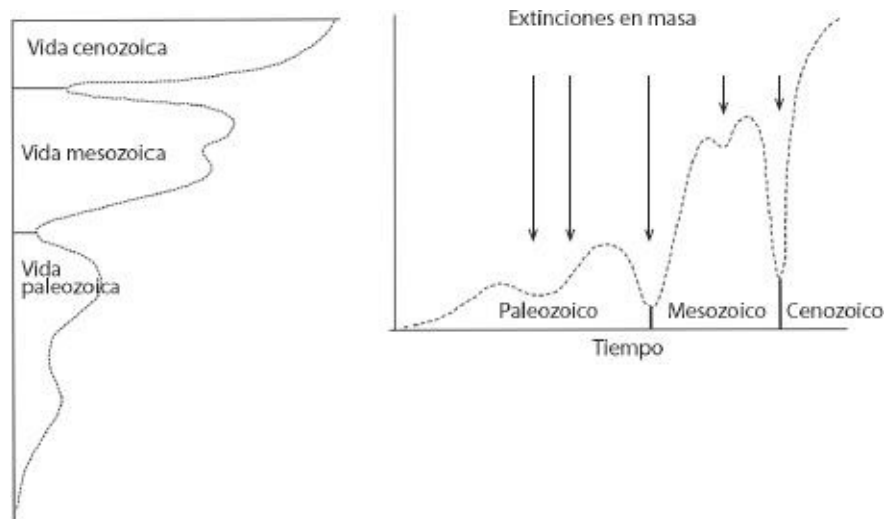


FIGURA III.4. Izquierda, gráfica original de J. Phillips. Derecha, misma gráfica, pero aquí se muestra la posición de las extinciones masivas conocidas hoy en día.

La fuerte disminución en diversidad que se ve en la gráfica de Phillips en el límite entre el Paleozoico y el Mesozoico corresponde justamente con la extinción masiva que sucedió a finales del Pérmico. El segundo de los límites marca el final del Mesozoico y el inicio del Cenozoico y corresponde con la

extinción masiva de finales del Cretácico, el llamado episodio de la extinción de los dinosaurios —que veremos con detalle en el siguiente capítulo—. En la gráfica de Phillips también se observan otras dos caídas en la diversidad, una a la mitad del Paleozoico y otra a la mitad del Mesozoico. Estas disminuciones en diversidad corresponden también con episodios de extinción masiva, aunque de menor intensidad.

Recordemos que en la época de Phillips el uniformismo de Hutton y Lyell dominaba el pensamiento de la gran mayoría de los naturalistas. En ese contexto, era difícil interpretar la ilustración de Phillips como una serie de extinciones de gran magnitud y, como consecuencia, como una serie de catástrofes. Era más consistente con el pensamiento de la época pensar en esos cambios como transiciones entre eras geológicas diferentes. Así, el esquema de Phillips mostraba que un incremento gradual en diversidad era la norma en la mayor parte de la historia del planeta; los límites entre las eras geológicas representaban simplemente fluctuaciones en la tendencia general hacia la generación de mayor diversidad.

Tuvieron que pasar más de ciento veinte años desde la publicación de Phillips para que alguien se interesara en estudiar la extinción como un proceso determinante de los patrones de diversidad. En 1982, David M. Raup y Jack Sepkoski analizaron los cambios en el número de familias de organismos marinos a lo largo de las eras geológicas. Construyeron una figura equivalente a la de Phillips en la que mostraron esos cambios en la diversidad a lo largo del tiempo geológico. Comprobaron, entre otras cosas, un aumento gradual en el número de familias desde el Cámbrico hasta nuestros días y la existencia en el tiempo geológico de varios episodios de disminución repentina en la diversidad.

Estas secuencias —con alguna tendencia a largo plazo, pero con fluctuaciones que parecen aleatorias— son similares a las de procesos como el crecimiento de una población o el comportamiento de las bolsas de valores o de los precios de las materias primas en los mercados internacionales. Los índices de las bolsas de valores en todo el mundo tienen una tendencia a crecer en el largo plazo, pero es difícil pronosticar su valor en un día determinado debido a las fluctuaciones provocadas por un gran número de factores. Por ejemplo, el 17 de octubre de 1987 los índices en todas las bolsas se desplomaron hasta en 50 % en unas pocas horas, en un fenómeno que todavía es analizado por los economistas para tratar de entender las causas. Otras caídas importantes tienen explicaciones más claras, como las que se produjeron después del inicio de la primera Guerra Mundial en 1917, y

después del ataque a las torres gemelas de Nueva York el 11 de septiembre de 2001.

Raup y Sepkoski encontraron este tipo de fluctuaciones en el registro fósil. Los cambios normales de pequeña y moderada magnitud son el resultado neto de sumar cada cierto tiempo las especies nuevas y restar las extintas; este número de especies extintas en un tiempo determinado constituye la tasa de extinción promedio normal o «de fondo». Existen, en cambio, cinco descensos importantes en el número de familias cuya magnitud es mucho mayor que las pequeñas fluctuaciones de fondo. Estas caídas en la diversidad representan eventos de extinción inusitados, mucho más intensos que la extinción de fondo. Los cinco episodios identificados por Raup y Sepkoski son las ahora famosas cinco extinciones masivas, los cinco grandes sucesos de pérdida de diversidad biológica. Al igual que las grandes caídas en la bolsa de valores, algunos de esos acontecimientos tienen ya una explicación plausible, pero las causas de otros son desconocidas.

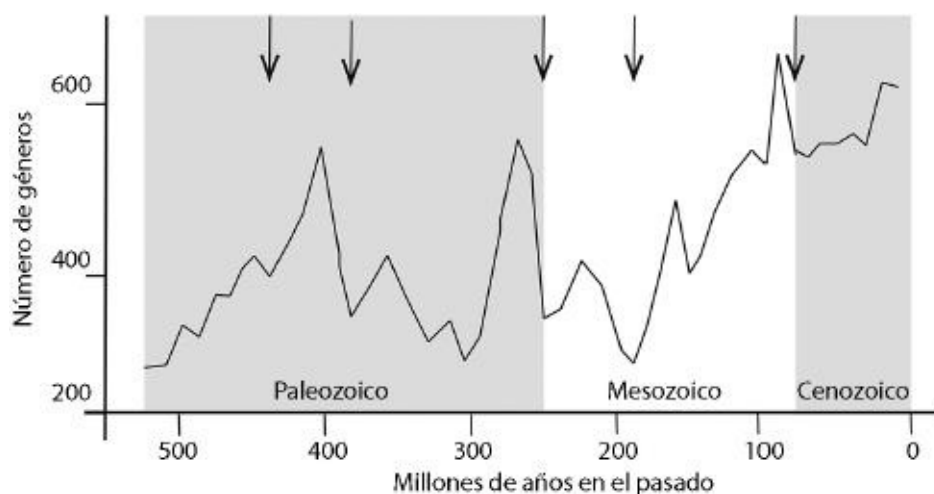


FIGURA III.5. *Diversidad de géneros marinos a lo largo de las eras geológicas. Las flechas señalan los episodios de extinción masiva. Redibujada a partir de los datos de J. Alroy et al.*

La extinción masiva más antigua es la que marca el final del periodo Ordovícico, hace cuatrocientos cuarenta y cuatro millones de años. En ese episodio se extinguieron varios grupos de organismos marinos que habían remplazado las faunas del Cámbrico, que consistían primordialmente en trilobites. Se estima que se extinguieron 60 % de los géneros y 26 % de las familias, principalmente de organismos como trilobites, braquiópodos (invertebrados marinos con concha), lirios de mar (una forma de equinodermos) y algunas formas primitivas de corales. Se piensa que esta extinción se produjo en primera instancia por una glaciación que provocó un

descenso pronunciado y repentino del nivel de los océanos, lo que causó la desaparición de prácticamente todos los ecosistemas en los mares someros.

Hace trescientos cincuenta y nueve millones de años, al final del Devónico, se produjo la segunda extinción en masa. Los grupos más afectados fueron los de los trilobites, braquiópodos y corales sobrevivientes de la extinción del final del Ordovícico. En total, alrededor de 22 % de las familias y 57 % de los géneros de organismos marinos perecieron por causas que aún se desconocen, pero que probablemente involucraron cambios en el clima o fluctuaciones extremas en el contenido de oxígeno de los mares.

Al final del Pérmico se produjo la tercera, y la más destructiva, de las extinciones masivas. Junto con los trilobites desaparecieron varios otros grupos de animales que habían sido dominantes durante el Paleozoico. Los euriptéridos, que eran unos artrópodos depredadores marinos pertenecientes a la misma rama evolutiva que las arañas y los alacranes, son uno de estos grupos. De entre los equinodermos desaparecieron por completo varias clases, como la de los blastoideos y tres de las cuatro clases de lirios de mar. Desaparecieron también los corales tabulares, que eran los principales formadores de arrecifes en el Paleozoico.

Varios otros grupos, que como conjunto sobrevivieron al final del Pérmico, sufrieron enormes pérdidas de especies. Entre los grupos más afectados —con pérdidas de más de 90 % de sus géneros— se encuentran los braquiópodos, las esponjas de mar, los amonites^[20] (moluscos con conchas espirales), los gasterópodos (caracoles y babosas de mar) y los foraminíferos (organismos microscópicos con conchas calcáreas).

El final del Pérmico fue el momento en el que más cerca estuvo la vida de desaparecer del planeta Tierra^[21]. No parece que haya habido una causa única para este evento de extinción, pues se ha documentado la coincidencia en el tiempo de diferentes fenómenos potencialmente destructivos, como gigantescas erupciones volcánicas, cambios abruptos en el nivel del mar, la liberación de enormes cantidades de gases venenosos y de efecto invernadero y, aún sin confirmar, evidencias de colisión de cuerpos espaciales. Un estudio reciente ha mostrado que la formación de los *traps* siberianos —que son enormes extensiones cubiertas con roca volcánica— coincide en el tiempo con la extinción masiva de finales del Pérmico^[22]. Esto sugiere que la actividad volcánica a lo largo de miles de años podría haber desencadenado este evento de extinción.

La cuarta extinción masiva se produjo al finalizar el Triásico, hace ciento noventa y nueve millones de años, causando la desaparición de 53 % de los

géneros y 22 % de las familias de organismos marinos. En los continentes, esta extinción terminó con los muy pocos sobrevivientes de la extinción del Pérmico y abrió la puerta para la diversificación de los gigantes animales que caracterizaron las fases finales del Mesozoico y que veremos en el próximo capítulo.

La más reciente de las extinciones masivas se dio hace sesenta y seis millones de años, al final del Cretácico. Se trata del episodio conocido popularmente como «la extinción de los dinosaurios», y es el evento más estudiado y mejor comprendido. Como veremos en el siguiente capítulo de estas *Crónicas*, esta extinción masiva no involucró a todos los dinosaurios, pero sí acabó con varios grupos importantes de animales. También veremos cómo esta extinción masiva muy probablemente se produjo luego de la colisión de un gigantesco cuerpo espacial contra la Tierra.

Ya sea durante alguno de los episodios de extinción masiva o en algún momento de los extensos periodos dominados por la extinción de fondo, ha desaparecido de la Tierra 99.9 % de todas las especies animales que alguna vez la han habitado. El conocimiento y la interpretación del registro fósil han dado saltos gigantes en los últimos trescientos años, desde la publicación de la carta de Lhuyd, lo que ha permitido un entendimiento mucho más profundo acerca de la vida —y de la muerte— de ese enorme contingente de formas animales que ya no existen, pero cuyo legado se perpetúa en las formas vivientes actuales.

IV. La pluma del *Archaeopteryx*: no todos los dinosaurios se extinguieron

La esperanza es aquello con plumas que se posa en el alma y entona la melodía sin palabras y que nunca se detiene^[1].

EMILY DICKINSON

En 1860 apareció en las calizas de Solnhofen, en el sur de Alemania, un fósil extraordinario. Impresa con fino detalle en la laja calcárea, se podía observar en el ejemplar la figura de una pluma, en todo semejante a las de las aves. Los yacimientos de Solnhofen eran ya en esa época famosos por numerosos fósiles correspondientes al final del periodo Jurásico, pero el nuevo ejemplar era realmente impresionante por el detalle que había preservado. Hermann von Meyer hizo la descripción formal de la preciosa pluma, y acuñó para ella el nombre *Archaeopteryx*, cuyas raíces en griego clásico significan «ala antigua» o «pluma antigua». Como las plumas se consideraban una característica exclusiva de las aves, Von Meyer concluyó que el fósil demostraba la presencia de esos animales en el Jurásico, haciéndolos contemporáneos de los dinosaurios. Se trataba sin duda de un descubrimiento de la mayor importancia, pero las calizas de Solnhofen reservaban para los naturalistas una sorpresa aún más asombrosa.

Al año siguiente del descubrimiento de la pluma fósil, se halló un ejemplar casi completo cuyo esqueleto parecía ser el de un dinosaurio pequeño, como del tamaño de un cuervo, y muy similar al *Compsognathus* que se había encontrado en las mismas calizas en la década anterior^[2]. El nuevo ejemplar, sin embargo, mostraba claramente el contorno del animal, que dejaba ver la forma de la cola y de las extremidades anteriores, que semejaban las alas de un ave. En ambas se podían ver impresiones de plumas muy semejantes al fósil de Von Meyer. Los científicos quedaron perplejos ante el ejemplar; los pequeños dientes en la mandíbula, las garras en las extremidades anteriores y los huesos en la cola eran definitivamente los de un

dinosaurio, pero las alas y las plumas eran sin duda prueba de que el animal había sido un ave. Se decidió salomónicamente que el ejemplar había sido un ave primitiva —la más antigua conocida entonces— que retenía varias características de los reptiles y que era del mismo tipo que el de Von Meyer, es decir, se trataba también de un arqueoptérix.



FIGURA IV.1. *Anchiornis huxleyi*, un dinosaurio emplumado. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

Recordemos que apenas un par de años antes, en 1859, había aparecido la primera edición de *El origen de las especies*, el libro en el que Charles Darwin proponía la evolución por selección natural como un proceso que podía explicar la aparición de formas nuevas de plantas y animales. En ese contexto, varios naturalistas señalaron que el arqueoptérix era una forma intermedia entre los reptiles y las aves, lo que sugería que las aves modernas habían evolucionado a partir de alguna forma ancestral de reptiles. *Archaeopteryx* era, en otras palabras, un fósil de transición, o como se le llamó por un tiempo, un *eslabón perdido* entre los reptiles y las aves.

Thomas Henry Huxley, el biólogo británico conocido como el *bulldog* de Darwin por su fiera defensa de la teoría de la evolución, puntualizó las grandes semejanzas entre el arqueoptérix y algunos dinosaurios. En 1876 escribió:

Hemos tenido que estirar la definición de la clase de las aves para poder incluir aves con dientes y aves con extremidades anteriores con garras y colas largas. No hay evidencia de que *Compsognathus* haya tenido plumas, pero si las tuvo, sería entonces en verdad difícil decir si debería ser llamado un ave con características de reptil o un reptil con características de ave^[3].

En su momento, la idea de Huxley de que un dinosaurio pudiera haber tenido plumas era demasiado radical. En la rígida mentalidad que prevaleció por casi un siglo, las aves eran los únicos animales con plumas, y los reptiles—incluyendo los dinosaurios— tenían escamas u otras cubiertas duras; además, en contraste con las aves, eran animales de «sangre fría». Casi cien años después, en la década de 1970, John Ostrom examinó algunos ejemplares de arqueoptérix y de pequeños dinosaurios similares al *Compsognathus*. Usando las técnicas cladísticas, que reconstruyen las relaciones entre los linajes de los organismos mediante la comparación de caracteres compartidos, Ostrom llegó a la conclusión de que los dinosaurios y las aves no sólo estaban cercanamente emparentados, sino que las aves habían surgido a partir de un tipo particular de dinosaurios, los terópodos. Especuló asimismo que era posible que varios de los terópodos hubieran estado cubiertos de plumas.

Las ideas de Ostrom fueron bien recibidas entre los científicos y naturalistas jóvenes, pero el escepticismo prevaleció entre los paleontólogos tradicionalistas. En la década de 1980, la imagen de los dinosaurios como criaturas lentas y torpes, cubiertas de escamas, fue sustituida en los libros de divulgación por una nueva visión que los mostraba como animales homeotermos —de «sangre caliente»—, cubiertos con plumas y muy activos^[4]. En los círculos académicos, sin embargo, estas ideas tardaron más tiempo en ser aceptadas. Después de todo, nadie había hallado nunca un fósil de dinosaurio con plumas, y las propuestas de Ostrom no eran sino especulaciones, a decir de los escépticos. Fue entonces cuando se encontró el *Sinosauropteryx*.

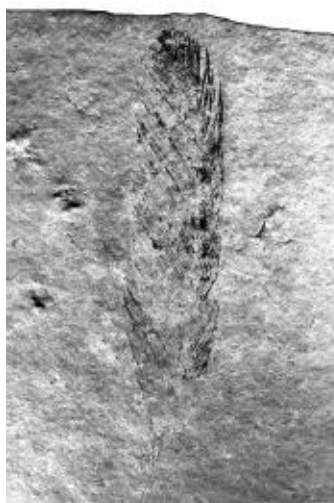


FIGURA IV.2. La pluma fósil de Solnhofen, descubierta en 1860 (izquierda). El llamado ejemplar de Berlín, uno de los fósiles de cuerpo completo de *Archaeopteryx*, descubierta en 1874 (derecha).

En 1996, un comerciante de fósiles encontró en la localidad china de Liaoning un ejemplar que mostraba con gran detalle el cuerpo de un pequeño dinosaurio de unos setenta centímetros de largo, incluyendo la extensa cola. En Liaoning se ha hallado un gran número de fósiles del principio del Cretácico que preservan asombrosos detalles del cuerpo de los animales. Cuando los especialistas examinaron el ejemplar de dinosaurio, constataron la presencia de impresiones de filamentos que se podían interpretar como plumas simples. Bautizaron al nuevo dinosaurio como ave dragón de China o *Sinosauropteryx* («ala de reptil china») y reconocieron el parentesco cercano de esta nueva especie y los *Compsognathus* de Alemania. Finalmente, tras más de un siglo de espera, se había encontrado el hipotético dinosaurio con plumas de Huxley. En los últimos veinte años, los paleontólogos han identificado restos de plumas en al menos cuarenta dinosaurios terópodos diferentes, e incluso han hallado estructuras filamentosas (protoplumas) en especies de la línea evolutiva de los saurópodos —un clado diferente de los terópodos—, lo que indica que todos los dinosaurios tenían al menos el potencial de desarrollar plumas.

Algunas de las plumas fósiles muestran detalles tan finos que es posible reconstruir los pigmentos que tenían, por lo que ahora podemos saber de qué color eran algunos dinosaurios^[5]. Por ejemplo, *Anchiornis huxleyi* —un terópodo llamado así en honor de T. H. Huxley— era mayormente gris, pero con las extremidades cubiertas de plumas con bandas blancas; tenía además manchas rojizas en el rostro y un copete de color rufo —similar al color del óxido— sobre la cabeza^[6]. Es posible que los dinosaurios hayan usado las plumas de colores vivos como un mecanismo de comunicación visual, tal como el que emplean muchas especies actuales de aves^[7].

A raíz de estos descubrimientos, en los años noventa comenzó a cobrar fuerza otra de las ideas de Huxley y Ostrom, que es en realidad una consecuencia lógica directa de la presencia de plumas en los dinosaurios. Ya que las plumas no son más una característica única de las aves, y la son ahora de los dinosaurios, el linaje de las aves debe considerarse una parte del clado de los dinosaurios; es decir, las aves deben ser descendientes de un tipo de dinosaurio, los terópodos. Si ése es el caso, continúa el razonamiento, las aves son representantes vivos del clado de los dinosaurios. Por tanto, se debe concluir que 1) las aves son dinosaurios, y 2) no todos los dinosaurios están extintos.

En efecto, los dinosaurios no están extintos, sólo que hoy en día los llamamos pájaros, o aves. Encontramos dinosaurios de brillante plumaje y elegante vuelo desde las frías tundras siberianas hasta las selvas del Amazonas. Los hay nadadores, carnívoros, comedores de semillas, carroñeros, frugívoros e insectívoros. Algunas personas desayunan todos los días huevos de dinosaurio, y en muchas culturas se conmemoran las fechas importantes con banquetes de dinosaurio horneado o rostizado. Usamos sus plumas para elaborar objetos decorativos, o para rellenar almohadas, y muchos países tienen dinosaurios en sus banderas, escudos nacionales o monedas. Los dinosaurios, representados por más de diez mil especies de aves, son de hecho uno de los grupos de vertebrados más diversos en el mundo moderno.

Desde esta nueva perspectiva, el evento de extinción por antonomasia — la supuesta desaparición de los dinosaurios a finales del Cretácico— cobra una dimensión diferente. Por ejemplo, si en verdad todos los dinosaurios se hubieran extinguido, no existiría hoy en día animal alguno con plumas. En otras palabras, junto con las aves sobrevivió al evento de extinción del Cretácico un atributo único de los dinosaurios, la pluma.

Cuando el grupo de los trilobites se extinguió a finales del Pérmico, desapareció del mundo un órgano único de estos animales, el ojo compuesto formado por calcita (capítulo III). La extinción de la clase Trilobita determinó entonces la extinción de ese órgano de composición única. La revelación de la existencia en el mundo actual de dinosaurios no extintos —las aves— y de uno de sus atributos principales —las plumas—, aunada a una serie de descubrimientos recientes sobre la biología de los dinosaurios, ha cambiado la perspectiva que se tenía sobre la vida y la muerte de esos animales. Revisaremos en este capítulo los detalles del evento geológico en el que (no todos) los dinosaurios se extinguieron.

LOS GIGANTES (Y LOS ENANOS) MESOZOICOS

Vimos en el capítulo anterior que el Mesozoico es la era intermedia en la historia de la vida sobre la Tierra. La era mesozoica se divide en tres periodos: Triásico, Jurásico y Cretácico, y sus límites están marcados por los eventos de extinción más dramáticos, el del final del Pérmico de hace doscientos cincuenta y dos millones de años, y el del límite Cretácico-Paleógeno, que sucedió hace sesenta y seis millones de años^[8]. Vimos

también que el geólogo John Phillips identificó a mediados del siglo XIX los principales periodos geológicos basado en la presencia de fósiles característicos.

En los tiempos de Phillips apenas se empezaban a conocer los grandes vertebrados que habitaron la Tierra en el Mesozoico. En 1842, Richard Owen acuñó el término *dinosaurio* para referirse a algunos reptiles fósiles de gran tamaño que habían sido descubiertos veinte años atrás, como el iguanodonte. Los dinosaurios se clasificaron tradicionalmente como un grupo de vertebrados extintos que se distinguen de otros reptiles, entre otros aspectos, por la posición y estructura de las patas, las cuales se articulan hacia abajo y no hacia los lados, como sucede en los cocodrilos y las lagartijas. Hoy en día se conocen más de quinientos géneros extintos, pero se estima que deben haber existido casi dos mil de ellos^[9]. Los primeros registros de estos animales son de la mitad del Triásico, hace unos doscientos treinta millones de años, y los últimos —sin contar, claro, los fósiles de aves— son del final del Cretácico, hace sesenta y seis millones de años.

La palabra *dinosaurio* significa «lagarto terrible», lo que en realidad es doblemente engañoso, porque los dinosaurios ni son lagartos ni todos ellos se pueden considerar «terribles». Al hablar de dinosaurios lo primero que se nos viene a la mente son las imágenes de las especies carnívoras de gran tamaño o ferocidad, como el tiranosaurio, el espinosaurio y los famosos raptores de *Parque Jurásico*. Ciertamente, la imagen de un amenazante depredador de doce metros de largo y más de ocho toneladas es aterradorante. Sin embargo, aun entre los dinosaurios carnívoros había formas de tamaño pequeño, como los *Compsognathus*, los diminutos pero agresivos dinosaurios que sembraron el terror de los protagonistas de *Mundo perdido: Parque Jurásico*.

Por otra parte, muchos de los dinosaurios de gran tamaño eran pacíficos herbívoros. Por supuesto, un triceratops de ocho metros de largo y diez toneladas de peso podía ser, con sus tres enormes cuernos, mucho más peligroso que un rinoceronte moderno, pero es probable que no haya sido un animal agresivo. También existieron dinosaurios herbívoros parcial o totalmente bípedos que aparentemente formaban grandes manadas, como es el caso del lambeosaurio de finales del Cretácico.

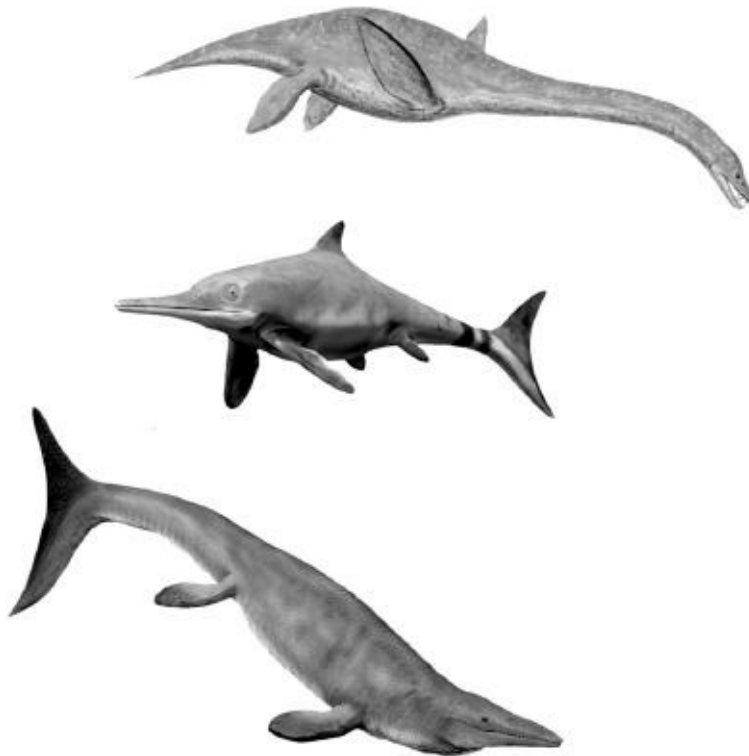


FIGURA IV.3. Reptiles marinos del Mesozoico. De arriba hacia abajo: plesiosaurio, ictiosaurio y mosasaurio (a diferentes escalas). Imágenes de Nobu Tamura.

Los verdaderos gigantes entre los dinosaurios, los animales terrestres más grandes que han existido, fueron los saurópodos, representados por los clásicos brontosaurios y apatosaurios de larguísimos cuellos^[10], y por los enormes titanosaurios, como el *Dreadnoughtus schrani*, descubierto en 2014. Se calcula que este animal medía cerca de veintiséis metros de largo y pesaba cerca de cuarenta toneladas, que equivalen al peso de siete elefantes africanos de tamaño promedio^[11].



FIGURA IV.4. Pteranodon, un tipo de pterosaurio. Dibujo de MR1805/Thinkstock.

En los mares del Mesozoico habitaron otros animales de gran tamaño que no eran dinosaurios, pero en ocasiones se les confunde con ellos. Éstos son los ictiosaurios —reptiles marinos semejantes en su forma a los peces espada modernos—, los plesiosaurios —enormes animales de cuerpo robusto y cuello alargado— y los mosasaurios —semejantes en forma, tamaño y hábitos a algunos cetáceos actuales, como las orcas, incluso en la coloración con patrones contrastantes de tonos claros y oscuros—^[12].

Los aires del Mesozoico estuvieron dominados por los pterosaurios, los famosos reptiles voladores. Esos «lagartos alados» tampoco eran dinosaurios, aunque sí estaban emparentados con ellos. Los pterosaurios son llamados a veces pterodáctilos, pero el nombre *Pterodactylus* se aplica formalmente a una sola especie de entre los cientos de pterosaurios de diversos tamaños y hábitos que vivieron durante casi todo el Mesozoico. Las alas de la especie más grande, el *Quetzalcoatlus*, medían más de doce metros de punta a punta, una envergadura casi cuatro veces mayor que la de un cóndor de los Andes, el ave voladora más grande de hoy en día.

Estos grupos —la mayoría de los dinosaurios y los grandes reptiles marinos y voladores— fueron muy diversos en diferentes tiempos del Mesozoico, pero ninguno de ellos sobrevivió más allá del Cretácico. Es decir, hace poco menos de sesenta y seis millones de años todos estos grupos estaban ya totalmente extintos. ¿Cómo es que podemos saber esto? La respuesta está en los estratos geológicos y en una de las discontinuidades que descubrió Phillips.

En diversos afloramientos fosilíferos alrededor del mundo, el límite entre las eras Mesozoica y Cenozoica está marcado por un cambio brusco en el color y la textura de los sedimentos. El límite se conoció por mucho tiempo como K-T, ya que *K* es la abreviatura estándar del Cretácico^[13], y *T* se refería al Terciario, un nombre alternativo para el Cenozoico. En publicaciones más recientes se usa la abreviatura K-Pg, que hace alusión al Paleógeno, que es el periodo más antiguo del Cenozoico. En algunos lugares, entre la última capa del Cretácico y la primera del Paleógeno existe una delgada capa de arcilla que hace aún más claro el límite entre los dos periodos.

Esta disposición ha permitido la observación de que a finales del Cretácico sucedió algo que llevó a la extinción a un gran número de especies, tanto marinas como terrestres. Se han encontrado fósiles de dinosaurios, pterosaurios, mosasaurios y plesiosaurios en depósitos del Cretácico, en ocasiones cerca del límite K-Pg, pero jamás se ha encontrado un solo fósil de dinosaurio —exceptuando, por supuesto, a las aves— por arriba de ese límite.

Esto indica que los dinosaurios prosperaron hasta el final del Cretácico, pero que la mayoría desapareció antes del inicio del Paleógeno^[14].

Este patrón se repite y es mucho más claro para algunos organismos marinos, como los amonites o los belemnites, pues sus fósiles son mucho más abundantes que los de los dinosaurios, y por tanto son indicadores más precisos de los patrones de extinción. Los amonites eran unos moluscos parientes de los pulpos y calamares que vivieron en los mares del Paleozoico y del Mesozoico; estos animales formaban unas bellas conchas de forma espiral que han quedado plasmadas en abundantes fósiles. En algunos afloramientos, como los de Zumaya —en el País Vasco, en España—, se puede encontrar un buen número de especies de amonites en los sedimentos cretácicos, pero nunca en sedimentos por arriba del límite K-Pg^[15]. Esto nos muestra que los amonites y sus parientes los belemnites —moluscos extintos semejantes a los calamares— fueron grupos de gran diversidad en el Mesozoico, pero que desaparecieron justo al final del Cretácico.

De igual forma, hay especies características de foraminíferos y de otros organismos microscópicos, como los radiolarios y los coccolitofóridos, cuyos fósiles son muy abundantes en sedimentos hasta unos cuantos centímetros por abajo del límite K-Pg, pero que están totalmente ausentes de los sedimentos por arriba de este límite^[16]. En Gubbio, una localidad de Italia, los sedimentos cretácicos están formados casi en su totalidad por conchas de foraminíferos —conocidas técnicamente como testas—, lo que le da a la roca su característica composición calcárea. Por encima de este sedimento hay una delgada capa de arcilla sin rastro alguno de foraminíferos, y luego otra capa ligeramente más oscura —ya correspondiente al Paleógeno— que contiene foraminíferos, pero en menor cantidad y, sobre todo, con una mucha menor variedad de formas. Esto muestra que los foraminíferos apenas lograron sobrevivir el paso del Cretácico al Paleógeno; no desaparecieron como grupo, pero muchísimas de sus especies sí se extinguieron justo al final del Cretácico.

Observando estos patrones, los paleontólogos reconocieron desde hace tiempo que a finales del Cretácico sucedió un recambio importante en la composición de las faunas, tanto en el medio marino como en el terrestre. Junto con los pterosaurios, plesiosaurios, amonites y belemnites desaparecieron otros grupos, como los rudistas y los inocerámidos —ambos grupos de moluscos bivalvos—. Además, varios de los grupos que sobrevivieron, como los foraminíferos, los tiburones, los mamíferos y muchos

otros, sufrieron la pérdida de numerosas especies. ¿Cuál podría haber sido la causa de todas estas extinciones?

Durante gran parte del siglo xx, la discusión sobre el proceso de extinción a finales del Cretácico se concentró en los dinosaurios (todavía sin incluir a las aves), cuya misteriosa desaparición era motivo de asombro entre los científicos. En 1964, el paleontólogo Glenn Jepsen presentó una lista de los factores que hasta entonces se habían propuesto para explicar la extinción de los dinosaurios^[17]. Entre muchos otros sospechosos, la lista incluía cambios en el clima, falta de nutrientes, el efecto de enfermedades o parásitos, fluctuaciones en la composición de la atmósfera, movimientos de los continentes, competencia de los mamíferos o depredación de éstos sobre los huevos de los dinosaurios, ciclos en las manchas solares, radiación cósmica y varios otros factores.

Como comentó Jepsen, estas hipótesis iban desde ideas científicas serias hasta propuestas casi místicas o incluso jocosas. En tono de burla, la lista terminaba con otras hipótesis: «la voluntad de Dios, el crecimiento de las montañas, invasiones de pequeños cazadores verdes en platillos voladores, falta de espacio en el arca de Noé o algún tipo de paleodepresión [en los dinosaurios]». Jepsen también comentó sobre una encuesta levantada por un estudiante entre los expertos de la época. La pregunta era muy directa: ¿cuál fue la causa de la extinción de los dinosaurios? Las respuestas fueron muy variadas, pero una en particular apareció con mucha mayor frecuencia que las demás: «Nadie lo sabe».

En los quince años siguientes a la publicación de Jepsen, surgieron nuevas explicaciones sobre la extinción de los dinosaurios, aunque la mayoría de ellas eran variantes de las mismas hipótesis generales en la lista original. Aunque algunas de las hipótesis tenían más credibilidad, ninguna podía razonablemente explicar el carácter global de la extinción de finales del Cretácico. No se había encontrado un factor que pudiera explicar la extinción no sólo de los dinosaurios, sino también de los grandes reptiles marinos y voladores, así como de los amonites y otros invertebrados de los océanos y de la multitud de organismos microscópicos, como algunos grupos de foraminíferos. La realidad es que hacia finales de la década de 1970 la respuesta a la pregunta sobre la causa de la extinción K-Pg seguía siendo la misma que quince años antes: nadie lo sabía.

Fue entonces cuando se publicó el artículo que revolucionó los estudios sobre las extinciones masivas.

El 6 de junio de 1980 la prestigiosa revista *Science* publicó un extenso artículo con el título «Una causa extraterrestre para la extinción del Cretácico-Terciario»^[18]. Los autores, encabezados por el físico Luis Álvarez y su hijo el geólogo Walter Álvarez, proponían una explicación concreta para la extinción K-Pg: la colisión con la Tierra de un cuerpo espacial, probablemente un asteroide o un cometa. El choque de un asteroide, explicaba el artículo, podría haber generado una explosión de tal magnitud que una enorme cantidad de material rocoso pulverizado —proveniente del propio asteroide y de la roca madre en el lugar del impacto— habría sido inyectada en la atmósfera y habría permanecido flotando allí por años. Esto habría reducido considerablemente la fotosíntesis en todo el mundo, provocando una serie de extinciones, como las que se observan en el registro fósil.

El agente 77

La evidencia de más peso con la que contaban los Álvarez tenía que ver con el elemento 77 de la tabla periódica, el iridio. El iridio es un metal de gran densidad que es extremadamente raro en la corteza terrestre, pero más abundante en los cuerpos espaciales. Frank Asaro y Helen Michel —coautores en el artículo de los Álvarez— midieron la cantidad de iridio en las rocas de Gubbio, que, recordemos, contienen justo la transición K-Pg. Los investigadores encontraron valores muy parecidos en los sedimentos calcáreos del Cretácico y del Paleógeno: apenas minúsculas cantidades del metal. Al hacer la misma medición en la capa arcillosa que se encuentra entre esos dos sedimentos, los científicos se encontraron con valores totalmente inesperados, hasta treinta veces más altos que en los sedimentos «normales». Por alguna razón, justo en el límite K-Pg había un auténtico pico de concentración de iridio.

La explicación de estas observaciones fue clara para Luis Álvarez, un físico que ya había sido galardonado con el Premio Nobel; la única fuente plausible para una gran cantidad de iridio tenía que ser un cuerpo extraterrestre, probablemente un fragmento de asteroide. Para que el iridio se depositara homogéneamente, tendría que haber sido incorporado en forma de polvo flotando en la atmósfera. La colisión de un asteroide, razonó el físico,

podría haber producido una explosión que habría dispersado el iridio, junto con material del asteroide y de la roca madre de la tierra, en toda la atmósfera.

Álvarez hizo unos cálculos rápidos —uno casi se lo puede imaginar garabateando números en una servilleta—. Considerando la concentración de iridio en los asteroides, la cantidad de polvo que se genera en una explosión por una colisión, el área del planeta Tierra y la concentración de iridio medida en los sedimentos, Álvarez calculó que un asteroide debía medir entre siete y diez kilómetros de diámetro para generar el patrón observado. Una colisión de esa magnitud podría producir un cráter de cerca de doscientos kilómetros de diámetro.

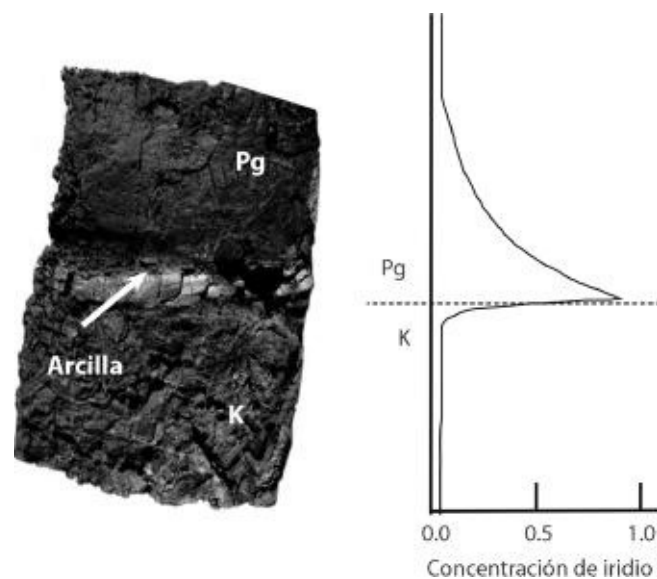


FIGURA IV.5. Izquierda: pedazo de roca (de Wyoming, Estados Unidos) que muestra la transición K-Pg (Cretácico-Paleógeno) y la capa intermedia de arcilla. Derecha: concentración de iridio en la muestra de la transición K-Pg de Gubbio, Italia, en diferentes profundidades de los sedimentos. El pico de concentración de iridio es de 1.0 partes por mil millones.

La gran cantidad de polvo que se habría incorporado en la atmósfera explicaba no sólo el patrón observado de iridio, sino que proveía un mecanismo adicional para explicar las extinciones globales en todo tipo de ecosistemas. En el momento de la explosión, cientos o miles de especies —las más cercanas al punto de colisión— podrían haber desaparecido en cuestión de minutos. Aún más, el efecto global posterior habría podido tener muchas más víctimas. Si el polvo generado por la explosión permaneció por años en la atmósfera, se habría producido una gigantesca sombra que, además de modificar los patrones del clima, habría suspendido casi por completo la fotosíntesis en todo el planeta, provocando la extinción de miles de especies de plantas y, por efectos a través de la cadena alimenticia, también de miles de especies de herbívoros y carnívoros.

La escéptica respuesta del gremio de los paleontólogos al artículo de los Álvarez fue casi tan violenta como la explosión postulada en ese trabajo. Los tradicionalistas argumentaban que el registro fósil mostraba que la extinción de los dinosaurios había sido un proceso relativamente rápido, pero había tomado varios millones de años para completarse^[19]. No se trataba, como lo indicaba la teoría del asteroide, de un evento repentino. Además, reclamaban los detractores, una colisión de la magnitud postulada por Álvarez debía haber dejado huellas claras, más allá de evidencias indirectas como el pico de iridio. ¿Dónde está —se preguntaban los escépticos— el cráter que debió haberse formado por la explosión?

Al mismo tiempo, un grupo de geólogos postuló una hipótesis alterna a la de los Álvarez. Hace poco más de sesenta y cinco millones de años, también coincidiendo con la transición K-Pg, se dio en el norte de la India una serie de tremendas erupciones volcánicas que generaron los llamados *traps* del Decán —extensas áreas cubiertas por lava volcánica—^[20]. Según los geólogos, encabezados por Charles Drake y Charles Officer, las erupciones pudieron durar cientos de miles de años y pudieron producir fenómenos similares a los postulados para el choque de un asteroide. Incluso el iridio podría provenir de las capas interiores de la Tierra —donde es relativamente más abundante que en la corteza— y no de una fuente extraterrestre. Al igual que sus colegas paleontólogos, Drake y Officer se preguntaban respecto a la hipótesis de los Álvarez: ¿dónde está la prueba física?, ¿por qué nadie ha encontrado un cráter que corresponda en tamaño y edad al postulado por los Álvarez?^[21]

El cráter de la muerte

Curiosamente, en los años ochenta, cuando se dio el acalorado debate entre los Álvarez y sus detractores, el cráter más buscado de la historia ya había sido detectado, pero no se le había identificado como la huella del supuesto asteroide de finales del Cretácico^[22]. A principios de esa década, Pemex, la compañía paraestatal de petróleo de México, había financiado una prospección en la península de Yucatán en busca de terrenos propicios para la explotación petrolera. En esos trabajos se hizo un estudio de variación gravitacional, lo que permitió localizar anomalías en la estructura de la roca madre; estas anomalías en ocasiones están relacionadas con la presencia de

depósitos de hidrocarburos, por lo que son de interés para las empresas petroleras. En el norte de la península de Yucatán se detectó lo que en un momento fue un gran hueco de unos ciento ochenta kilómetros de diámetro, con el centro localizado cerca del pequeño pueblo costero de Chicxulub. Por supuesto, el hueco sólo podía ser detectado indirectamente, porque hoy en día está totalmente cubierto por sedimentos acumulados por millones de años. La zona no resultó de interés para Pemex, y los resultados de la exploración se olvidaron en algún rincón de los archivos muertos de la empresa.

A finales de los años ochenta la información volvió a salir a la luz en un congreso de geólogos, y pronto algunos investigadores se dieron a la tarea de averiguar si la anomalía de Chicxulub podía ser el buscado «cráter de la muerte». En pocos años, con perforaciones y análisis de científicos de los Estados Unidos y de México, se pudo constatar que el cráter de Chicxulub era justo del tamaño y de la edad adecuados como para corresponder con el asteroide postulado por los Álvarez.

Más aún, en el sitio se encontraron también restos de cuarzo de impacto (*shocked quartz*), que son pedazos de cuarzo con una estructura particular que sólo puede formarse por una presión enorme y repentina, como la que se esperaría durante la colisión de un asteroide. Con esta información es claro hoy en día que el cráter de Chicxulub se formó justo en el límite K-Pg por la explosión detonada por el choque de un objeto extraterrestre, y que tiene el tamaño justo que se puede predecir a partir de la concentración de iridio en los sedimentos de la transición K-Pg.

Durante los últimos veinte años se ha ido acumulando más y más información que hace que la hipótesis original de los Álvarez sea la más plausible para explicar la extinción de finales del Cretácico^[23]. Por ejemplo, en lo que hace sesenta y seis millones de años eran zonas costeras se ha encontrado evidencia del efecto de enormes tsunamis, con olas de cientos de metros de alto. Como la intensidad de estos tsunamis fue mayor en las áreas cercanas a Chicxulub, es lógico inferir que esas inundaciones repentinas fueron provocadas por el impacto del asteroide. Se ha encontrado también evidencia de fuegos de gran extensión que pudieron producirse por la caída de material incandescente poco después de la explosión del asteroide.

El efecto de los eventos volcánicos que formaron los *traps* del Decán así como de cambios en el clima mundial y en el nivel del mar no se pueden descartar del todo como una contribución a la extinción^[24]. Sin embargo, son cada vez menos los escépticos que niegan un papel preponderante del impacto del asteroide de Chicxulub en la extinción masiva de finales del Cretácico^[25].

Tal vez hoy en día Jepsen finalmente encontraría una respuesta más positiva a la encuesta de su estudiante hace cincuenta años, pero con un giro nuevo. ¿Cómo se extinguieron los dinosaurios? No todos los dinosaurios se extinguieron, contestaría una considerable mayoría de los especialistas actuales, pero los que sí lo hicieron tal vez desaparecieron a consecuencia de la colisión de un enorme asteroide contra la Tierra.

EPÍLOGO EXTRATERRESTRE

El modelo de Luis Álvarez se puede aplicar sin definir con precisión la identidad del objeto espacial involucrado, que pudo haber sido un asteroide o un cometa. Un modelo de trayectorias de fragmentos de asteroides después de una colisión identificó en 2007 un posible responsable del evento K-Pg: el asteroide conocido como 298 Baptistina^[26]. Según William Bottke y sus colaboradores, hace ciento sesenta millones de años, Baptistina —que es parte del cinturón de asteroides que se encuentra entre Marte y Júpiter— se estrelló con otro cuerpo espacial, y sus fragmentos se esparcieron siguiendo diferentes trayectorias. Uno de esos fragmentos, luego de noventa y cinco millones de años de peregrinaje, entró en la órbita de la Tierra y se estrelló contra el planeta. El resto de la historia ya lo conocemos.

Más recientemente, Lisa Randall y sus colegas han propuesto una hipótesis todavía más asombrosa^[27]. Según la astrofísica de Harvard, hace poco más de sesenta y seis millones de años, el Sistema Solar podría haber atravesado el plano central de nuestra galaxia, la Vía Láctea, donde, hipotéticamente, podría encontrarse un disco de materia oscura. La materia oscura es, según algunos modelos cosmológicos recientes, una enorme cantidad de materia que no emite ni absorbe luz —por ello es «oscura»— pero que sí produce campos gravitacionales al interactuar con la materia «normal». Cuando el Sol atravesó el campo gravitacional producido por la materia oscura, quizá se generaron inestabilidades en los confines del Sistema Solar, produciendo que un gran número de cometas se precipitaran hacia el interior del sistema planetario. Uno de esos cometas podría haber sido, de acuerdo con Randall, el cuerpo espacial que se estrelló contra el planeta Tierra hace sesenta y seis millones de años.

Las dos hipótesis resultan fascinantes, sobre todo porque vinculan fenómenos a muy diferentes escalas de espacio y de tiempo y que aparentemente no tendrían relación alguna. Ambas explicaciones son

también, en este momento, altamente especulativas y basadas en modelos teóricos. «Permítanme decir de entrada —aclara Randall en la introducción de su reciente libro *Materia oscura y los dinosaurios*— que no sé todavía si esta idea es correcta.» El tiempo y las investigaciones científicas sobre el tema nos dirán si en los próximos años se hallará evidencia tangible sobre cualquiera de estas dos hipótesis.

V. En el mundo perdido de los *hobbits*: extinción en el linaje de los seres humanos

Y así la nieve viene luego del fuego, y hasta los dragones encuentran su final.

J. R. R. TOLKIEN, *El hobbit*

Según relatan los sabios de mayor edad, hace miles de años, en una isla a la mitad del mar profundo, existió una comarca habitada por hombres diminutos. Se dice que esos hombrecillos vivían en la oscuridad de las cuevas y que se alimentaban de ratas gigantes y de elefantes pigmeos, a los que daban caza con sus primitivas lanzas de punta de piedra. Se afirma que en la isla pululaban dragones de descomunal tamaño y horripilantes aves depredadoras que sembraban el terror de quien osaba enfrentarlas. Se cuenta que este mundo increíble llegó a su fin cuando un volcán cercano hizo erupción y cubrió la isla entera con una colosal nube de asfixiantes cenizas.

Esta historia parecería referirse a *El mundo perdido* de Arthur Conan Doyle o a la isla Calavera de alguna de las películas de *King Kong*, en las que los exploradores se topan con grupos humanos desconocidos que coexisten con dinosaurios, algún mamífero gigantesco y otra serie de criaturas monstruosas. El relato de arriba, sin embargo, contiene únicamente información verídica extraída no de una obra de ficción sino de los informes científicos acerca del descubrimiento de una especie extinta emparentada con los seres humanos modernos.

En octubre de 2004, un equipo de arqueólogos y antropólogos australianos e indonesios publicó en la revista *Nature* un par de artículos con noticias espectaculares^[1]. En la cueva Liang Bua de la isla indonesia de Flores se habían descubierto partes de varios esqueletos humanos, entre ellos el cráneo casi completo y otros huesos de un individuo al que se le denominó LB1 (LB por el nombre de la cueva). La reconstrucción de los restos indicaba que los huesos correspondían a una especie desconocida del género *Homo* que había habitado la isla hasta hacía sesenta mil años^[2]. Se habían hallado también

piezas de piedra trabajadas para formar herramientas en sedimentos de hasta ochocientos mil años de antigüedad, lo que demostraba que los misteriosos seres habían llegado a la isla desde mucho tiempo antes.



FIGURA V.1. Posible aspecto de un hobbit, *Homo floresiensis*. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

Por las características y el tamaño de los huesos y dientes, se determinó que LB1 había sido una hembra adulta, pero de un tamaño sorprendente: apenas un poco más de un metro de estatura. El cráneo de LB1, además, presentaba características primitivas, como un volumen interno muy pequeño (comparable al de un chimpancé), las cejas prominentes y la ausencia de barbilla. Los científicos acuñaron el nombre *Homo floresiensis* («ser humano de Flores») para la nueva especie^[3], pero pronto se les empezó a llamar *hobbits* en la literatura popular por su pequeño tamaño y su posible aspecto, similar al de los habitantes de la Comarca de *El señor de los anillos* y otras novelas de J. R. R. Tolkien^[4].

Junto con los huesos humanos se hallaron restos de otros animales, algunos de ellos igual de extraños que los propios *hobbits*. Por ejemplo, se encontraron abundantes huesos de estegodonte, un tipo de elefante extinto

relativamente común en depósitos de fósiles en Asia. El estegodonte de Flores era, sin embargo, una forma enana de apenas el tamaño de un toro grande, cuando algunas especies de estegodontes de otros sitios eran más grandes que un elefante africano contemporáneo. Por marcas halladas en los huesos del estegodonte, se podía inferir que los diminutos *hobbits* cazaban y destazaban a los elefantes pigmeos usando instrumentos tallados en piedra.

Se sabe también que los *hobbits* cazaban varios tipos de ratas gigantes — del tamaño de conejos grandes— pertenecientes a especies ya extintas, pero emparentadas con roedores actuales de Flores y de otras islas cercanas^[5]. También se han hallado restos del llamado dragón o varano de Komodo, un reptil de tres metros de largo y de hasta setenta kilos de peso que existe todavía en Flores y en otras islas cercanas. El dragón de Komodo, por su gran tamaño, pudo haber sido un depredador de cuidado, aunque es plausible pensar que los pequeños *hobbits* podrían haberse defendido de los ataques de los reptiles gigantes con sus armas o, más probablemente, ponerse a salvo aprovechando los movimientos lentos de estos animales.

Tal vez un animal más peligroso para los *hobbits* era el marabú de Flores, una especie extinta de cigüeña carnívora y carroñera que medía hasta 1.8 metros de alto. Las especies de marabúes que existen hoy en día en Asia y África se alimentan de lagartijas y de roedores pequeños. La especie de Flores, que era mucho más grande que las vivientes, muy probablemente era capaz de capturar las ratas gigantes con las que coexistió. No es descabellado pensar que pudiera también atacar a los *hobbits* o disputar con ellos los despojos de sus cacerías, especialmente si consideramos que el marabú era casi del doble de estatura que un *hobbit* adulto.

¿Cómo explicar la presencia de este extraño contingente de animales en Flores? Para empezar, Flores es un sitio muy aislado del resto del mundo. Aunque está relativamente cerca de otras islas, el mar que lo separa de ellas es muy profundo, de manera que son pocas las especies que han podido llegar allí. En estas condiciones de aislamiento se produce un fenómeno conocido como la regla de las islas: los animales de gran talla tienden a evolucionar hacia formas enanas, mientras que las especies pequeñas evolucionan en la dirección contraria, originando formas gigantes. En la isla mediterránea de Creta, por ejemplo, existieron en el pasado los mamuts enanos que vimos en el capítulo II, así como un tipo de hipopótamo pigmeo también ya extinto. En varias islas del Mar Caribe existieron hasta hace unos cuantos miles de años roedores de hasta doscientos kilos de peso^[6] —las llamadas hutías gigantes—, y formas de tamaño reducido de perezosos de tierra, unos animales que en

el continente llegaron a ser enormes, como veremos en el siguiente capítulo^[7]. En Flores, en ausencia de competidores, las especies que generalmente son de tamaño pequeño o moderado (las ratas, los marabúes, las lagartijas) se hicieron gigantes, y las grandes (los estegodontes, los *hobbits*) redujeron su tamaño hasta volverse pigmeas.

Otro hecho interesante de la fauna de Flores es su desaparición repentina. En los depósitos inmediatamente arriba del estrato en el que se halló el ejemplar LB1 se detectó una capa de ceniza volcánica que indica que hace miles de años se produjo la violenta erupción de algún volcán cercano. Este evento geológico posiblemente causó efectos ambientales de tal magnitud que precipitó la extinción de los estegodontes, los marabúes, algunas de las ratas gigantes y los *hobbits*, entre otras especies. De los animales de gran talla, sólo el varano de Komodo sobrevivió a esta hecatombe.

El descubrimiento de los *hobbits* demostró que apenas unos cuantos miles de años en el pasado vivía sobre la tierra una especie de ser humano diferente de la nuestra^[8]. Mostró también cómo esos humanos, al igual que los de nuestra propia especie, convivieron con extraños animales que ya se extinguieron, pero que fueron muy comunes hasta hace apenas unos once mil años. En este capítulo de las *Crónicas de la extinción* daremos un vistazo a la asombrosa diversidad de seres humanos que han existido en los últimos millones de años de historia de la Tierra, y en el siguiente capítulo revisaremos la historia de los animales que coexistieron con esos humanos ancestrales. Para nuestro relato de la evolución del linaje humano, comenzaremos viajando a África, la cuna de la humanidad.

ÁFRICA MÍA: AVENTURAS EN LA CUNA DE LA HUMANIDAD

Rick Hunter y Steve Tucker seguramente no tenían en su mente que el día que hallaron todos esos huesos en la tenebrosa cámara de la cueva era un viernes 13. Esa mañana de septiembre de 2013, los espeleólogos aficionados encontraron una chimenea en la cueva Rising Star en Sudáfrica, cercana a Johannesburgo. El estrecho pasaje vertical, de unos doce metros de alto y en algunas partes de apenas veinticinco centímetros de ancho, los llevó hasta una amplia cámara que los exploradores apenas alcanzaban a iluminar con sus lámparas. Lo que vieron allí los dejó azorados; el piso de la cueva parecía estar completamente cubierto con pedazos de huesos fósiles. Hunter y Tucker no lo sabían aún, pero ante ellos se encontraban los restos de una especie de

ser humano hasta entonces desconocida que había habitado la zona varios cientos de miles de años en el pasado.

A las pocas semanas del hallazgo, el arqueólogo Lee Berger colocó un anuncio en Facebook en el que solicitaba personas altamente calificadas para participar en la excavación científica de los restos fósiles de Rising Star. Además de los requisitos académicos, la convocatoria establecía otros atributos: «la persona debe ser muy delgada y de preferencia menuda. No debe ser claustrofóbica, debe estar en buena condición física, debe tener experiencia en la exploración de cuevas, de preferencia con experiencia en escalada en roca». Berger, un curtido explorador estadounidense, sabía que las condiciones de la cueva iban a hacer de la recuperación de los fósiles un proceso muy difícil. Los técnicos involucrados debían ser capaces no sólo de atravesar el aterrador paso de veinticinco centímetros de ancho, sino de extraer por ahí mismo el material fósil, registrando al mismo tiempo toda la información con el rigor científico que se requiere en estos estudios.

De entre varias decenas de solicitantes, Berger finalmente escogió seis personas, todas ellas mujeres con excelentes antecedentes escolares y el tamaño y la complexión adecuados para enfrentar el reto de la cueva sudafricana. Durante varios meses este equipo de osadas científicas hizo gala de su fortaleza física y de su pericia técnica para rescatar cientos de pedazos de fósiles de lo que parecía —cada vez más claramente— una nueva especie de humano fósil.

El 10 de septiembre de 2015, apenas unos días antes del segundo aniversario del descubrimiento de Hunter y Tucker, se presentó ante la comunidad científica al *Homo naledi*, una nueva especie perteneciente a la misma línea evolutiva que nuestra propia especie, *Homo sapiens*^[9]. *Homo naledi* era de tamaño pequeño, similar al de las más antiguas especies del género *Homo*, pero con complexión más parecida a la de especies de primates todavía más antiguas, que vivieron hace más de dos millones de años. Las extremidades de la nueva especie, particularmente las manos, tenían características muy similares a las de los humanos modernos, pero su capacidad cerebral era bastante menor. No se sabe aún la antigüedad de la nueva especie, pero sus características físicas y el contexto de la zona donde se encontró permiten especular tentativamente una antigüedad de entre uno y dos millones de años.

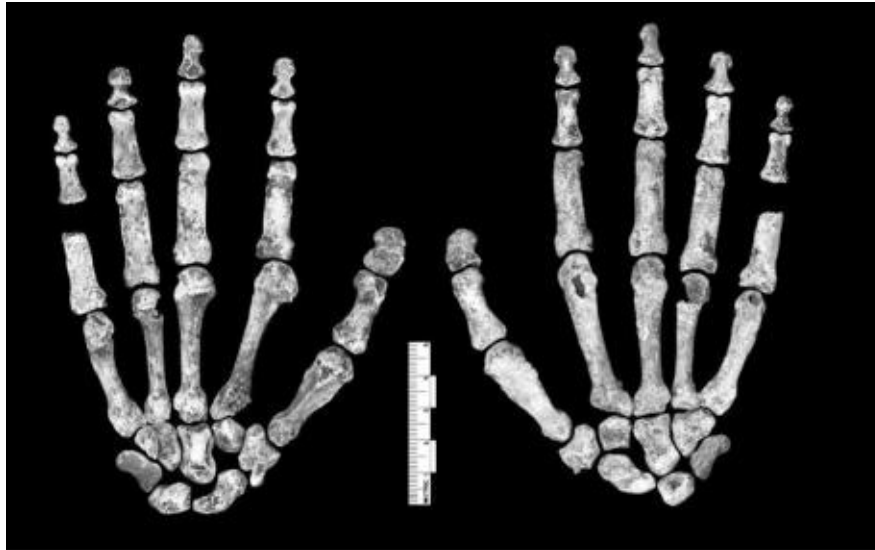


FIGURA V.2. Vista palmar y dorsal de una mano derecha de *Homo naledi*.

Homo naledi es la más reciente adición al catálogo de especies desaparecidas del linaje al que pertenecen los humanos actuales. Por mucho tiempo, la línea evolutiva que se separó de la de otros primates, y que incluye a *Homo sapiens*, se conoció como la familia Hominidae, por lo que los miembros del grupo eran llamados *homínidos*. En clasificaciones más recientes, la familia Hominidae incluye también a los chimpancés y gorilas, por lo que hoy en día se acostumbra llamar *homíninos* a los seres humanos y sus parientes más cercanos.

En la región en la que se encuentra la cueva Rising Star se ha hallado un gran número de restos fósiles de homíninos de gran antigüedad, y algunos hallazgos recientes indican que en esta zona se dieron algunos de los eventos más importantes en la evolución temprana del linaje humano. Por todo ello, el gobierno de Sudáfrica ha llamado oficialmente a esta región la Cuna de la Humanidad, y la UNESCO la ha reconocido como un sitio de patrimonio mundial.

Los orígenes

Hoy en día los científicos están convencidos de que el linaje humano se originó en África, pero no siempre ha existido ese consenso. Cuando Charles Darwin publicó *El origen de las especies* en 1859, no se conocía ningún fósil humano fuera de Europa, y los pocos hallados en ese continente no habían sido examinados científicamente. Darwin, convencido de que el origen de nuestra propia especie tenía que haber sido similar al de otros grupos

animales, se aventuró a especular que tarde o temprano se hallarían restos fósiles de los ancestros de la humanidad, y que esos fósiles serían hallados en África, por ser ese continente la región en la que hoy en día se encuentran nuestros parientes más cercanos, los gorilas y los chimpancés^[10]. Años más tarde, en *El origen del hombre*, Darwin escribió:

Es probable que África haya sido habitada en el pasado por simios extintos semejantes al gorila y el chimpancé, y como estas dos especies son ahora las más emparentadas con el hombre, es en cierta forma más probable que nuestros progenitores hayan vivido en el continente africano que en cualquier otro sitio^[11].

Una conclusión de este razonamiento era que en el pasado debían de haber existido especies de seres humanos ya extintos, una noción nada bien vista desde la perspectiva religiosa predominante en la época de Darwin. Como en muchos otros temas, la investigación científica ha corroborado la predicción de Darwin. Aunque el registro fósil de la línea evolutiva del ser humano es muy fragmentario, hoy en día es posible tener una buena idea de la historia de nuestro propio linaje, y parece ya no haber duda entre los especialistas de que el sitio de origen de nuestra especie es, tal como lo predijo Darwin, el continente africano.

La historia de nuestro linaje comienza hace unos siete millones de años, en algún lugar de África, cuando la línea evolutiva que deriva en los chimpancés y los bonobos actuales se separó de la nuestra^[12]. Es posible que una especie conocida por un fósil de más o menos esa antigüedad, *Sahelanthropus tchadensis*, sea el más antiguo representante del linaje homínino. Por el momento no es posible establecer la posición exacta de esta especie en el árbol evolutivo, pues sólo se conoce un ejemplar, que fue hallado en 2001 en la República de Chad, en el África Central.

Hace unos seis millones de años apareció otro homínino, conocido como *Orrorin tugenensis*. Poco después —poco, en términos geológicos— surgió el género *Ardipithecus*, representado por dos especies, *A. kadabba* y *A. ramidus*; esta última es la especie de Ardi, una hembra cuyos restos fósiles se encontraron en el valle de Afar, en Etiopía, y que han permitido conocer muchos detalles de la anatomía de estos ancestros. Se calcula para Ardi una antigüedad de 4.4 millones de años^[13], pero la de *A. kadabba* podría ser mucho mayor, hasta de 5.8 millones de años^[14].

La anatomía del *Ardipithecus* indica un avance gradual en una de las características distintivas de los homíninos: la locomoción bípeda, es decir, el caminar erguido sobre las extremidades inferiores, como lo hace el ser humano moderno. Los gorilas y los chimpancés también son capaces de caminar impulsándose con las extremidades inferiores, pero para hacerlo se apoyan en los nudillos de las anteriores, y su postura es mucho menos erguida que la de los humanos. Se piensa que el *Ardipithecus* se desplazaba en una posición más erguida que los chimpancés, pero la anatomía de su mano indica que también era capaz de trepar ágilmente a los árboles.

La diversificación

La posición completamente erguida surgió hace unos cuatro millones de años, cuando apareció el género *Australopithecus*. Uno de los fósiles más antiguos de este género es Lucy, una hembra de la especie *Australopithecus afarensis* cuyos restos fueron hallados en 1974 en Etiopía^[15]. La anatomía de Lucy indica que los de su especie caminaban en una posición tan erguida como los humanos modernos. Además, unas huellas fósiles de 3.7 millones de años, atribuidas a esta especie, muestran que estos ancestros caminaban apoyando primero el talón y al final los dedos, justo como lo hacen los humanos modernos^[16]. Más recientemente, se halló en la Cuna de la Humanidad de Sudáfrica otro fósil de australopiteco, tentativamente asignado a la especie *A. prometheus*, al que se le llamó Pie Pequeño. Este fósil de 3.7 millones de años de antigüedad confirma que los australopitecos caminaban erguidos, aunque el estudio completo del esqueleto está todavía en proceso^[17].

El género *Australopithecus* estuvo representado por una decena de especies conocidas del este y del sur de África que existieron por cerca de dos y medio millones de años, hasta que la última especie del género (*A. boisei*) se extinguió hace un millón y medio de años. Las especies más recientes, como *A. africanus*, eran de mayor tamaño que la especie de Lucy, y aparentemente estaban adaptadas a ambientes menos boscosos, parecidos a las sabanas africanas actuales. Una especie descubierta en 2010 en la Cuna de la Humanidad de Sudáfrica, *A. sediba*, vivió hace unos dos millones de años, y tenía una anatomía más parecida a la del género *Homo* que el resto de los australopitecos, por lo que sus descubridores especulan que se podría tratar de una forma de transición entre *A. africanus* y las primeras especies del género *Homo*^[18].

El género *Homo* surgió en África hace unos 2.8 millones de años, a juzgar por la mandíbula fósil con características humanas que se halló recientemente en Etiopía^[19]. Este género se distingue de los australopitecos por la forma achatada del cráneo, los dientes reducidos y acomodados en forma de U y, sobre todo, el gran volumen de la cavidad cerebral. La capacidad craneana, que se mide en centímetros cúbicos (cm³), es una medida indirecta del tamaño del cerebro, que a su vez es un indicador —muy aproximado— de la capacidad de razonamiento o inteligencia.

En las especies recientes del género *Homo*, la capacidad craneal promedio es de alrededor de 1.400 cm³ para *Homo sapiens*, y cerca de 1.650 cm³ para los neandertales (*Homo neanderthalensis*). En los años sesenta, Mary y Louis Leakey descubrieron en Olduvai —en el noreste de Tanzania— el primer fósil del homínino al que llamaron *Homo habilis*. Decidieron asignar la especie al género *Homo* por su capacidad craneal de cerca de 600 cm³, mayor que la de los australopitecos (de entre 450 y 550 cm³) o la de los chimpancés (de hasta 500 cm³)^[20]. *Homo habilis*, que surgió hace dos millones de años y que se extinguió medio millón de años después, se consideró por mucho tiempo la más antigua especie del género y la primera en ser capaz de fabricar instrumentos de piedra. En los últimos años, la mandíbula de Etiopía ha mostrado que el género *Homo* es bastante más antiguo, y el reciente descubrimiento de rudimentarias piezas de piedra tallada en sedimentos de 3.3 millones de años de antigüedad demuestra que la capacidad de elaborar herramientas líticas antecede por mucho a *Homo habilis*, y tal vez al propio género *Homo*^[21].



FIGURA V.3. Cráneo de *Australopithecus sediba*.

Por la época en la que surgió *H. habilis*, hace unos dos millones de años, se produjeron cambios climáticos importantes que provocaron en África la disminución de las zonas boscosas y el desarrollo de ambientes más secos y con vegetación más abierta, hasta llegar a las actuales sabanas. En estos ambientes surgieron varias especies del género *Homo*, entre las que destacan *Homo erectus*, *H. ergaster* y *H. rudolfensis* en el este de África, y tal vez *H. naledi* en Sudáfrica. Podemos ver entonces que el cambiante clima existente en los primeros cientos de miles de años del Pleistoceno —que inició hace 2.6 millones de años— desencadenó la diversificación de los géneros *Homo* y *Australopithecus*. Así, en el primer millón de años del Pleistoceno existieron al menos seis especies del primer género y cinco del segundo. Más aún, un estudio reciente de la morfología comparada de los ejemplares fósiles de *Homo* de esa época muestra una gran diversidad de formas que no se ve reflejada en el número de especies conocidas hasta ahora^[22]. Es posible, entonces, que la diversidad verdadera en esa época haya sido mayor de lo que se estima actualmente por el registro fósil.

Como en la actualidad la humanidad consta de una sola especie, la nuestra, es un tanto difícil entender que en el pasado existieran varias y muy diversas especies de seres humanos. Sin embargo, al igual que en otros grupos de animales, el linaje humano ha tenido periodos de diversificación y periodos de pérdida de especies. Lo que observamos hoy en día, una sola especie de homínino, es solamente un momento en la historia de una rama evolutiva con un pasado accidentado.

FUERA DE ÁFRICA I: EL VERDADERO HOMBRE DE JAVA

Por millones de años, todos los ancestros de los seres humanos vivieron en África. Por lo que se puede inferir del registro fósil, algunos individuos de *Homo erectus* fueron los primeros homíninos en aventurarse a migrar fuera del continente africano. Dentro de África, los fósiles más antiguos de este humano ancestral datan de hace 1.9 millones de años, pero existe un registro de 1.8 millones de años de antigüedad en la actual república de Georgia, en los límites de la Europa Oriental y el Asia Occidental.

Hace al menos setecientos mil años, *H. erectus* ya había llegado hasta los confines del oriente de Asia, como lo demuestran los fósiles de los homíninos que originalmente se llamaron «el hombre de Java» y «el hombre de Pekín», y que hoy en día se clasifican como miembros de la especie *Homo erectus*. En

1891, Eugène Dubois halló en la isla de Java, Indonesia, los fósiles de lo que parecía ser —en la mentalidad de la época— un *eslabón perdido* entre los seres humanos y los simios. Este hallazgo parecía dar crédito a las ideas de científicos como Alfred Russel Wallace —el codescubridor con Darwin del proceso de evolución por selección natural—, quienes pensaban que el ser humano había surgido en Asia y que sus parientes vivos más cercanos eran los orangutanes y los gibones, que son simios nativos de ese continente. A principios del siglo xx se pensó que el hombre de Java era el más antiguo ancestro de los humanos, con una edad cercana a tres cuartos de millón de años.

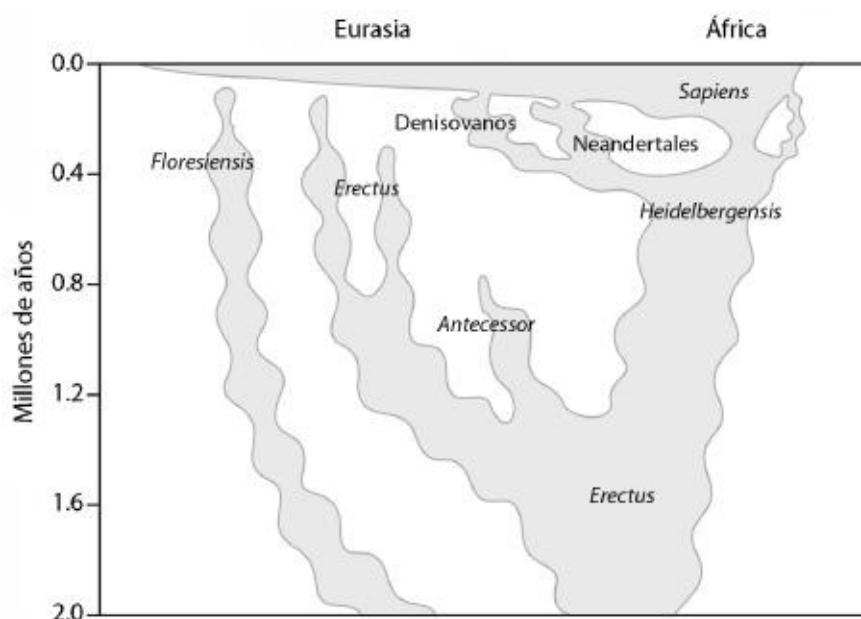


FIGURA V.4. La diáspora del género *Homo* desde África hacia Eurasia. La escala vertical marca el tiempo y la horizontal la localización geográfica. *Homo erectus* fue probablemente el ancestro de la mayoría de las especies del género. El origen de *Homo floresiensis* es incierto. *Homo sapiens* es el resultado del flujo génico entre varias otras formas de género, como los denisovanos y los neandertales. Esquema adaptado a partir del trabajo de Stringer (2012), p. 34.

El descubrimiento de los fósiles de australopitecos y de formas muy antiguas del género *Homo* en África ha demostrado que el origen de nuestra especie no se dio en Asia. Asimismo, la idea de los eslabones perdidos se ha abandonado, pues en la visión moderna de la evolución no cabe el concepto de que alguno de los simios actuales (gibones, orangutanes, gorilas o chimpancés) sea el ancestro del humano moderno. Más bien, cada uno de estos grupos de animales representa un pariente evolutivo con el que compartimos ancestros en común. Ninguno de esos simios es abuelo nuestro, sino que todos ellos son primos evolutivos de nuestra especie.

En 2015, un grupo europeo de investigación multidisciplinaria reanalizó los fósiles originales de Dubois, así como el contexto geográfico e histórico^[23]. Encontraron que los ejemplares son menos antiguos de lo que se pensaba: las técnicas de isótopos radiactivos revelaron una antigüedad de cerca de quinientos mil años. Entre las piezas arqueológicas asociadas a los huesos humanos se halló una gran cantidad de conchas de moluscos de los que seguramente *H. erectus* se alimentaba. Entre esas piezas se identificaron algunas que claramente habían sido talladas en forma decorativa, y al menos una con un grabado de una figura geométrica. Estos análisis le han restado antigüedad al original hombre de Java, pero han mostrado que estos humanos ancestrales eran capaces de crear arte y posiblemente de tener pensamiento abstracto.

Mientras esta rama humana colonizaba el sureste asiático, otros descendientes de los primeros *Homo erectus* que salieron de África prosperaron en lo que hoy es Europa y el norte de Asia. Una especie descubierta en los años noventa, *Homo antecessor*, habitó lo que hoy es el norte de España hace unos novecientos mil años^[24]. Más recientemente, le sucedieron las especies *Homo heidelbergensis*, que vivió entre hace seiscientos mil y doscientos mil años, y *Homo neanderthalensis*, la gente neandertal^[25], que surgió hace poco más de doscientos mil años y que subsistió hasta hace apenas cuarenta mil años^[26].

Como se puede ver en esta breve historia, hace unos cincuenta mil años la diáspora de *Homo erectus* abarcaba prácticamente toda Eurasia, incluyendo al menos algunas islas de la Sonda, en el sureste asiático, así como los más remotos confines de Siberia y el norte de Europa. En cambio, no hay evidencia de que los individuos de *H. erectus* o de sus descendientes directos hayan llegado a Australia o Nueva Guinea o de que hayan alcanzado América. Esos continentes fueron descubiertos por un pariente cercano, el *Homo sapiens*.

FUERA DE ÁFRICA II: ENCUENTRO CON EL NEANDERTAL

Mientras los descendientes de *Homo erectus* se expandían por Eurasia, surgía en África una especie diferente, conocida como el ser humano moderno, o como «el humano sabio» (*Homo sapiens*). El registro más antiguo de un homínido con la morfología moderna característica de nuestra especie corresponde con fósiles hallados en sedimentos de doscientos mil años de

antigüedad en el río Omo de Etiopía. Por lo que se sabía hasta hace unos pocos años, la historia de las migraciones de esta nueva especie hacia fuera de África comenzó hace unos sesenta mil años. Hay evidencia sólida de la presencia de humanos modernos en Israel hace 55 000 años, en Europa hace 45 000 años y en Australia hace 47 000 años. También de acuerdo con las teorías más aceptadas hasta hace unos años, *Homo sapiens* cruzó al Nuevo Mundo a través del estrecho de Bering hace unos quince mil años, y alcanzó Sudamérica menos de un milenio después.

Según las reconstrucciones estándar, en su camino desde África hasta los confines de Eurasia, los humanos modernos se encontraron con poblaciones ya establecidas de otras especies del género *Homo*, como los neandertales en Europa y los últimos *Homo erectus* en Asia. En esos lugares, los modernos habrían llevado a la extinción a sus primos residentes al poseer tecnologías más avanzadas y, en general, una mayor capacidad de adaptación a los cambios ambientales repentinos que caracterizaron el final del Pleistoceno. En cambio, los humanos modernos habrían encontrado en el Nuevo Mundo y en Australia terrenos vírgenes nunca antes habitados por homínino alguno.

Esta crónica de la epopeya humana —la más aceptada hasta hace pocos años— está en proceso de revisión a la luz de varios hallazgos recientes. Por ejemplo, el descubrimiento de los *hobbits* de Flores demostró la existencia de una especie de humano diferente de la nuestra en las islas del sureste de Asia antes de que los humanos modernos se expandieran hacia esa región. En 2016 se anunció el descubrimiento en Sulawesi, una isla vecina a Flores, de artefactos de piedra que muestran que la región estuvo habitada por humanos —diferentes de los modernos— desde hace doscientos mil años y hasta hace cien mil años^[27]. Aún no es claro si los artefactos fueron elaborados por algún grupo humano emparentado con los *hobbits* de Flores o por los últimos sobrevivientes de *Homo erectus* de la región. En cualquiera de los dos casos, el hecho es que la región estaba ya ocupada por humanos cuando los primeros modernos arribaron a ella.

La gente neandertal

Otro aspecto que se está reconsiderando es el encuentro con los neandertales y la supuesta superioridad intelectual del humano moderno sobre esos homíninos. Se ha mostrado que los neandertales tuvieron una cultura y un grado de desarrollo intelectual más altos de lo que tradicionalmente se

suponía. Asimismo, los estudios genéticos —que se han hecho posibles gracias a las modernas técnicas que permiten extraer ADN de muestras fósiles de miles de años de antigüedad— muestran una gran cercanía de los neandertales con los humanos modernos. Aparte de que más de 99.8 % de las secuencias de ADN son iguales entre estas dos especies, existen genes compartidos que son definitivamente modernos. Por ejemplo, un tipo de genes asociados con el habla en los humanos modernos se encuentra también en el genoma neandertal, lo mismo que los genes que determinan el color rojo del pelo y la tez clara, e incluso otros asociados con el funcionamiento del sistema inmune y, consecuentemente, con la propensión a las alergias.

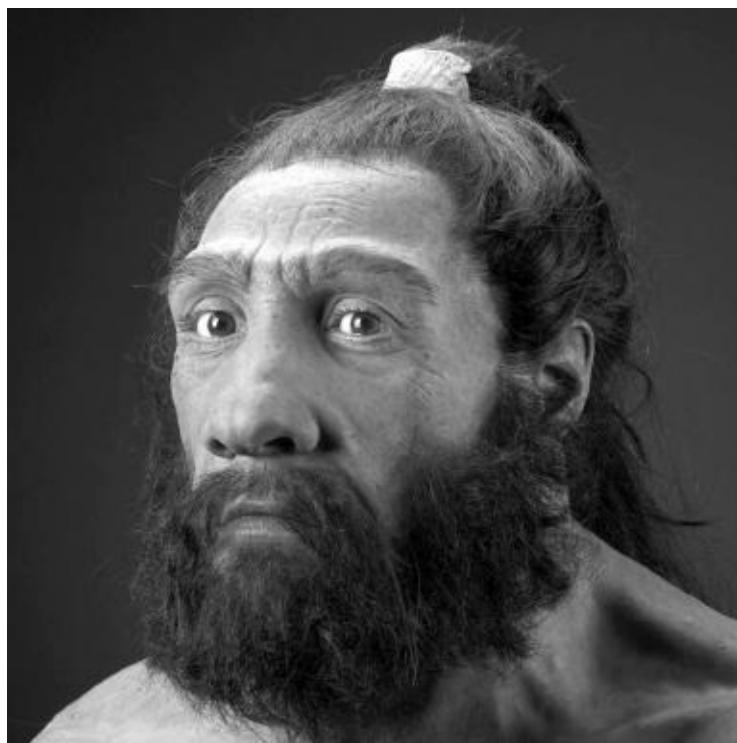


FIGURA V.5. *Reconstrucción de un neandertal en el Museo Nacional Smithsoniano de Historia Natural.*

Las reconstrucciones del siglo pasado, que mostraban a los neandertales como brutos trogloditas que caminaban con la espalda arqueada y blandiendo un tosco mazo de madera, se han tenido que modificar drásticamente. Ahora las reconstrucciones los muestran como seres humanos muy semejantes a los modernos —si bien más robustos y con las facciones de la cara menos afinadas—, capaces de comunicarse verbalmente, fabricar instrumentos relativamente complejos, crear arte, edificar construcciones, venerar divinidades, cuidar de los enfermos y enterrar ceremonialmente a sus muertos^[28]. Se ha dicho que si pudiéramos acicalar y vestir a un neandertal con ropas modernas, la mayoría de la gente no lo distinguiría como miembro

de una especie separada; tal vez parecería un extranjero particularmente fortachón y un tanto tosco, pero su aspecto general no sería realmente muy diferente del de algunos humanos modernos^[29].

Un tercer aspecto que se está reevaluando es el hecho de que los humanos modernos no sólo se encontraron con otras especies, sino que se entrecruzaron con ellas. Gran parte de la evidencia de ese flujo de genes entre especies proviene de análisis de ADN de huesos fósiles hallados en una cueva del sur de Siberia.

Los denisovanos

El macizo de Altái es una cordillera que se levanta en el Asia Central, justo donde convergen Rusia, Kazajistán, China y Mongolia. En territorio ruso, cerca de la población de Barnaul, hay una cueva que, según se dice, fue habitada en el siglo XIX por un ermitaño llamado Denis, por lo que es conocida como la cueva Denisova. Desde los años setenta, se ha hallado allí un gran número de huesos fosilizados que tradicionalmente se han identificado como pertenecientes a humanos modernos y a neandertales. Los estratos en los que se han hallado los fósiles tienen una edad que va de los treinta mil a los cincuenta mil años.

Uno de estos fósiles tenía escondida una sorpresa mayúscula. Se trata de una falange —uno de los huesos que forman los dedos de la mano— que perteneció a una niña que murió en la cueva de Denisova hace cuarenta mil años. Se pensaba que el hueso correspondía a un neandertal, y como no era de particular importancia para los estudios morfológicos, se le eligió para extraer de él muestras para el análisis de ADN, un procedimiento que implicó la destrucción del hueso. En 2010, el análisis de ADN mitocondrial de la falange mostró que la niña no había sido neandertal, ni humana moderna, sino miembro de una tercera población hasta entonces desconocida^[30]. Los individuos de este nuevo grupo se conocen como homíninos de Denisova, o simplemente como denisovanos, sin que hasta la fecha se les haya asignado un nombre científico formal.

También en 2010 se publicaron los resultados del análisis del genoma de los neandertales, específicamente el de tres individuos de esta especie cuyos restos fósiles fueron encontrados en Croacia^[31]. Este análisis reveló que entre 1 y 4 % del ADN de los humanos modernos nativos de Asia y Europa proviene del genoma neandertal, pero que ese componente neandertal no está presente

en los humanos modernos de África. Los investigadores dedujeron que esos pedazos de información genética deben ser remanentes de apareamientos más o menos frecuentes entre neandertales y humanos modernos. Estos apareamientos deben haber ocurrido poco después de que los modernos salieron de África, pero antes de que colonizaran Europa y el norte de Asia. De acuerdo con el modelo estándar de la diáspora humana, esto debe de haber sucedido en la península Arábiga o en Medio Oriente hace unos sesenta mil años.

Sin embargo, un estudio más reciente, que examinó ADN extraído de un hueso fósil proveniente de la cueva Denisova, pero perteneciente a una mujer neandertal de hace cincuenta mil años, sugiere que los encuentros reproductivos entre neandertales y humanos modernos sucedieron mucho antes de lo que se suponía, hace cien mil años^[32]. Los autores del estudio deducen que en ese tiempo debe de haber habido una migración temprana de humanos fuera de África —cuarenta mil años antes de la migración principal—, y que ese grupo encontró una población de los ancestros de los neandertales en algún lugar del suroeste de Asia. Después de una amplia interacción entre estos dos grupos, el de humanos modernos se extinguió, pero dejó su huella en forma de pequeños fragmentos en el genoma de los neandertales, cuyos descendientes migraron hacia el noroccidente, alcanzando la actual zona de Altái por el tiempo en que vivió la mujer de Denisova.

El análisis del ADN nuclear de la falange denisovana, además del material genético de otros fósiles de la misma cueva, ha arrojado otros resultados aún más sorprendentes. Para empezar, en el genoma denisovano no se encontraron rastros del ADN de los humanos modernos que se encontró en los neandertales, pero sí hay fragmentos de material genético de algún homínino muy antiguo todavía no identificado^[33].

Por el contrario, el ADN de los denisovanos está representado en proporciones de hasta 4 o 6 % en poblaciones humanas actuales de la Melanesia (que incluye Nueva Guinea y varios grupos de islas cercanas del Pacífico sur)^[34]. ¿Cómo es posible que el ADN de una población del centro de Asia aparezca representado en las lejanas y aisladas tierras de Nueva Guinea? Los paleoantropólogos todavía se están rascando la cabeza tratando de dilucidar este misterio. Lo más probable es que los denisovanos hayan tenido una distribución hasta el sureste de Asia continental y que en ese lugar hayan interactuado con los grupos de humanos modernos que tiempo después cruzarían desde las islas de la Sonda hasta Nueva Guinea^[35]. El ADN de los

habitantes actuales de Melanesia sería el rastro que dejaron los denisovanos de esta interacción con los humanos modernos.

El modelo prevaleciente con los datos que se tienen hasta ahora indica que los neandertales y los denisovanos son linajes hermanos, es decir, que tienen un ancestro común que vivió hace cerca de medio millón de años. A su vez, el linaje combinado de esos dos grupos se separó de la línea de los humanos modernos hace unos setecientos mil años. Sin embargo, los tres linajes no son completamente independientes, ya que en el pasado hubo flujo génico entre los humanos modernos, tanto en los neandertales como en los denisovanos, como se vio antes. Además de ello, un estudio reciente ha mostrado que también hubo varios episodios de flujo génico entre los neandertales y los denisovanos, lo que complica aún más la historia^[36].

Como nos muestran los estudios genéticos, la historia se vuelve mucho más complicada por los diferentes eventos de flujo de genes que sucedieron entre las tres especies. («Flujo génico» es la transferencia de material genético del genoma de una especie a otro genoma; esto sucede —por supuesto— cuando hay apareamientos entre miembros de poblaciones diferentes.)

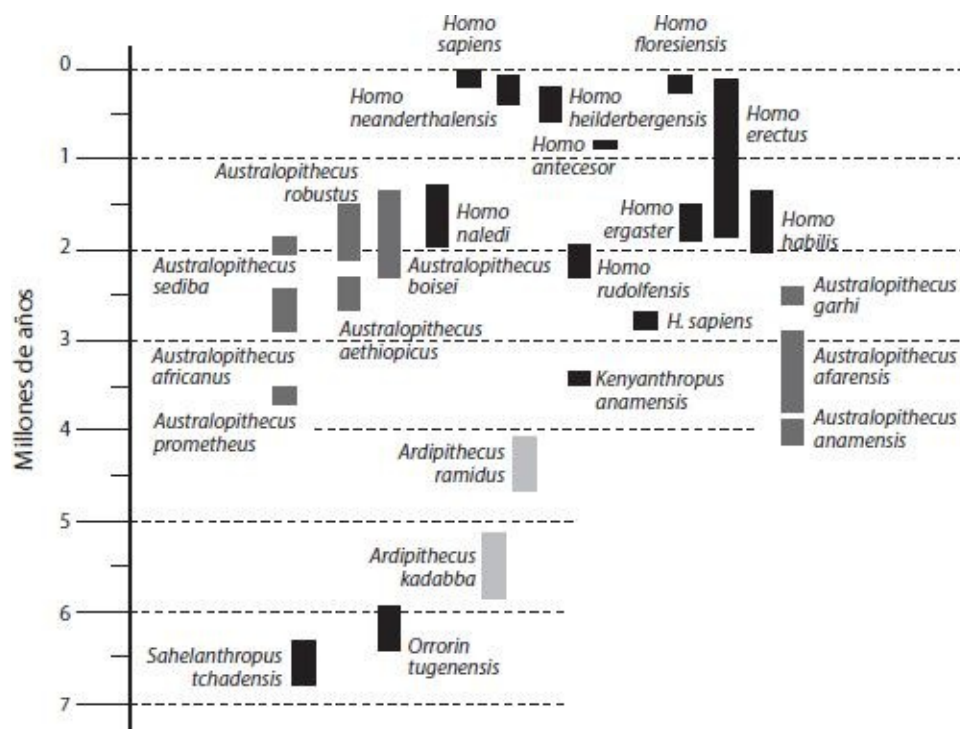


FIGURA V.6. Extensión en el tiempo de las especies de homíninos. La escala de tiempo es en millones de años hacia el pasado. En algunos momentos de la historia evolutiva existieron hasta siete u ocho especies vivientes de homíninos.

La lección que nos dejan todas estas historias de los humanos ancestrales es que en diferentes etapas del pasado el linaje de los humanos fue más diverso y rico en especies de lo que es actualmente. La África de hace dos

millones de años albergaba varias especies de australopitecos y de miembros del género *Homo*. Hace apenas cuarenta mil años existían en el mundo al menos cuatro o cinco especies diferentes del género *Homo*, varias de las cuales estaban muy cercanamente emparentadas con los humanos modernos. La gran diversidad de tamaños, aspectos, culturas e ideologías que a veces queremos ver en nuestra propia especie es apenas una pequeña muestra de la enorme diversidad representada en todos nuestros parientes homíninos extintos.

VI. Un banquete pleistoceno: la megafauna de la Era de Hielo

Ellos son gigantes, y si tienes miedo, quítate de ahí, y ponte en oración en el espacio que yo voy a entrar con ellos en fiera y desigual batalla.

MIGUEL DE CERVANTES, Don Quijote

El banquete anual del Club de Exploradores suscitó aquella vez una expectación inusitada. El 13 de enero de 1951, los miembros de la exclusiva sociedad se prepararon para degustar un platillo excepcional: carne asada de perezoso gigante, un animal extinto desde hace miles de años. Unas semanas antes, el *Times* de Nueva York ya había anunciado que el banquete tendría como tema central la carne de «algún animal prehistórico» que había sido recuperada, según la nota, de los congelados parajes de Alaska. Para completar el tema polar, los cocteles se habrían de servir con hielo proveniente de un glaciar del Ártico, y los platillos se iban a aderezar con plantas de la tundra y con ceniza del volcán Veniaminof^[1]. El menú era ciertamente extraordinario, aun para los estándares de una sociedad que acostumbraba ofrecer tarántulas fritas y ojos de carnero en sus ya famosas cenas.

El convivio resultó todo un éxito, y los comensales encontraron muy apetitoso el exótico manjar, que complementó a la perfección una rica sopa de tortuga que se sirvió como entrada. Los relatos del exótico festín fueron tan emotivos que Paul G. Howes, miembro del club que no pudo asistir al evento, solicitó al organizador una muestra del exquisito platillo de aquella noche. Howes, quien a la sazón era curador de un museo de historia natural en Connecticut, recibió unas pequeñas lonjas de carne, las cuales preservó en un frasco que rotuló cuidadosamente como una muestra de carne de megaterio, un perezoso gigante extinto^[2].

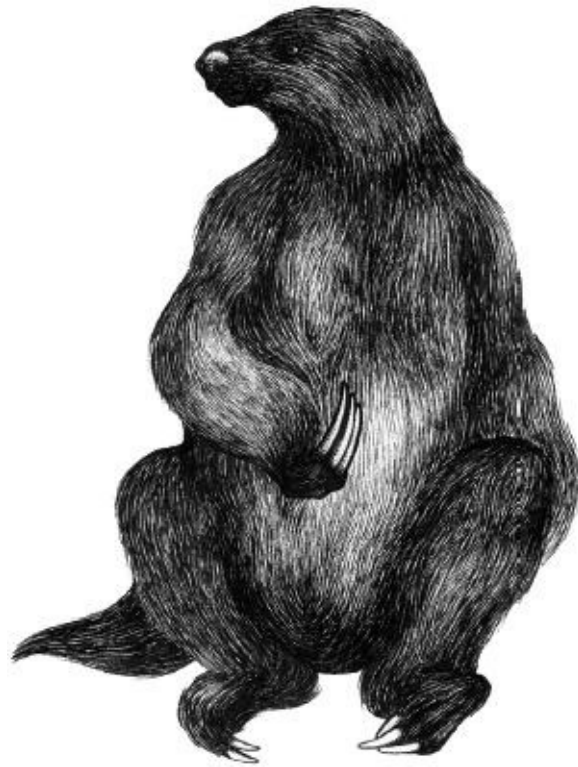


FIGURA VI.1. *Perezoso gigante norteamericano. Dibujo de Ángela Arita Noguez.*

El frasco permaneció por décadas en los anaqueles de varias colecciones de historia natural hasta que en 2015 un grupo de investigadores decidió utilizar las modernas técnicas de comparación de ADN para determinar la identidad de los supuestos bocados de perezoso y esclarecer de una buena vez la veracidad o falsedad de la famosa historia del banquete antediluviano de 1951^[3].

Los científicos sabían de antemano que la probabilidad de que los pedazos de carne hubieran pertenecido realmente a un perezoso gigante era muy baja. A finales del Pleistoceno, hace cerca de doce mil años^[4], existían en América numerosos tipos de perezosos de gran talla, además de los dos géneros de tamaño mediano que subsisten hasta nuestros días, los perezosos de dos y de tres dedos. El megaterio era una gigantesca bestia del tamaño de un elefante y de un peso de hasta seis toneladas, pero esta especie vivió solamente en América del Sur, y su presencia en Alaska —tal como afirmaban los organizadores de la cena— era una posibilidad muy remota.

Cerca de Alaska existieron otros perezosos de tierra. En Norteamérica, la mayoría de las especies eran un poco menores que el megaterio^[5], variando en tamaño desde el perezoso de Shasta —del tamaño de un oso— hasta los verdaderos gigantes de más de una tonelada, como los eremoterios y el perezoso gigante de Harlan. Asimismo, había especies de tamaño intermedio, como el perezoso terrestre de Jefferson, un animal que hace miles de años

habitó en los bosques del este de los Estados Unidos y que fue descrito originalmente por Thomas Jefferson en medio del debate sobre la extinción que sostuvo el estadista norteamericano con el naturalista francés Buffon, como vimos en el capítulo II.

Los perezosos como grupo se extendieron alguna vez desde Alaska hasta la Patagonia, pero las especies actuales se restringen a las selvas de la América tropical. La mayoría de las especies extintas habitaban también las regiones templadas, de manera que es muy raro encontrar restos de estos animales en las zonas más norteñas y frías de Norteamérica. Por eso mismo, es muy poco común hallar restos de piel o de tejido blando de los perezosos, a diferencia del caso de los mamuts lanudos, cuyos cuerpos congelados son relativamente comunes en los hielos perpetuos de Siberia.

Todas estas consideraciones hacían que los investigadores que examinaron el trozo de carne del banquete de 1951 fueran muy cautos respecto al supuesto origen pleistoceno de la muestra. Por ello, además de comparar el ADN del pedazo de carne con secuencias correspondientes a perezosos y mamuts, los científicos emplearon además muestras de animales no extintos. Aunque se supone que un científico debe tener una actitud neutral y objetiva en el momento de hacer un experimento u observación, es comprensible en este caso que los investigadores mantuvieran hasta el final la esperanza de encontrar ADN de perezoso gigante, o de algún otro animal extinto, en los bocados que examinaron.

Desafortunadamente para ellos, y para el resto de los fanáticos de las historias increíbles, resultó que el pedazo de carne no era de perezoso, ni de mamut, ni de ninguna especie extinta. Más aún, ni siquiera era de un mamífero; el trozo de tejido muscular resultó ser de tortuga marina verde. Aparentemente, los chefs del banquete del Club de Exploradores utilizaron la carne de los quelonios para preparar no solamente la sopa de tortuga con la que abrieron la cena, sino también para cocinar el plato principal, la supuesta carne de perezoso gigante. El extraordinario banquete de 1951 resultó ser, tal vez no tan sorprendentemente, una elaborada broma de los organizadores.

El hecho de que la leyenda del festín de carne de perezoso gigante haya perdurado por tantos años como una historia creíble nos recuerda lo cercano en el tiempo que estuvieron de nosotros los animales de la llamada Era de Hielo^[6]. Se le llama así al periodo correspondiente a la última glaciación del Pleistoceno, que a su vez es la época geológica que se extiende desde el final del Plioceno —hace 2.6 millones de años— hasta el principio del Holoceno —hace once mil setecientos años—. La historia de los perezosos nos recuerda

también la existencia, no hace mucho tiempo, de los enormes animales ya extintos que dominaron el planeta durante millones de años y que desaparecieron apenas hace unos pocos milenios. Era la época de los gigantes, eran los tiempos de la megafauna del Pleistoceno.

LA MEGAFUNA

Se llama megafauna al contingente de animales de gran talla que han existido sobre la tierra durante el periodo cuaternario, es decir, en los últimos 2.6 millones de años de la historia geológica^[7]. Tradicionalmente se ha considerado como miembro de la megafauna a cualquier especie animal de más de cuarenta y cinco kilogramos de peso promedio; los verdaderos gigantes, sin embargo, son los herbívoros de más de una tonelada de peso y los depredadores de más de cien kilos, los cuales han sido llamados megaherbívoros y megacarnívoros, respectivamente^[8]. En las faunas actuales existen sólo diez megaherbívoros, todos ellos restringidos al Viejo Mundo: las tres especies de elefantes que vimos en el capítulo II, la jirafa, el hipopótamo y cinco especies de rinocerontes. Entre los megacarnívoros actuales se encuentran depredadores como el tigre, el león y varias especies de osos, así como algunas variedades de cocodrilos, como el de mar y el del Nilo. El carnívoro terrestre más grande hoy en día es el oso polar, del que se conocen individuos de hasta ochocientos kilos^[9].

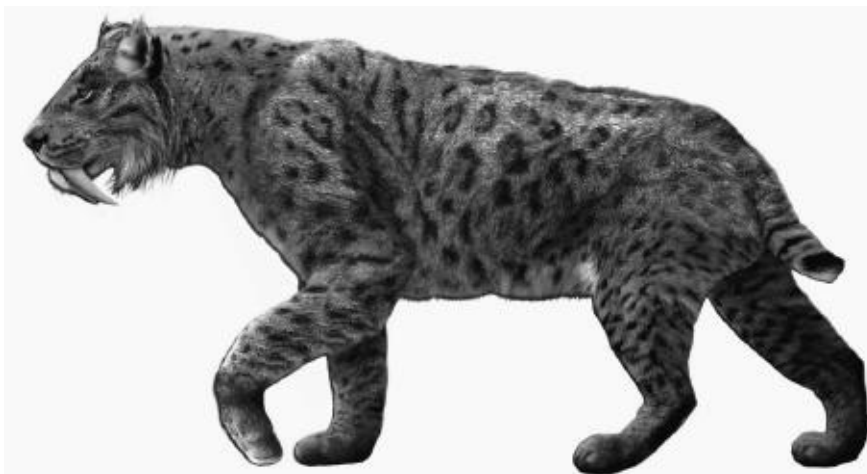


FIGURA VI.2. *Felino dientes de sable* (*Smilodon fatalis*). © 2011-2016 Dantheman 9758.

Los herbívoros grandes incluyen especies que van en tamaño desde un venado grande —de alrededor de cuarenta y cinco kilos— hasta especies con peso cercano a una tonelada, como el rinoceronte de Sumatra, el gaur —un

bóvido asiático pariente de las vacas domésticas— y el alce. Además de estos mamíferos, hay que considerar las tortugas gigantes de tierra y a algunas aves no voladoras, como el avestruz. Los carnívoros terrestres grandes varían en tamaño desde el lobo gris hasta los leopardos y jaguares de cerca de cien kilos, pero incluyen también reptiles como el dragón de Komodo y varios tipos de lagartos y cocodrilos de tamaño moderado.

Durante la Era de Hielo, la megafauna era mucho más diversa de lo que es hoy en día. En Norteamérica, por ejemplo, existieron hasta el final del Pleistoceno veintisiete géneros de megaherbívoros y una decena de megacarnívoros. De todos ellos, han sobrevivido hasta nuestros días dos de los carnívoros, el oso polar y el pardo, pero ninguno de los herbívoros existe ya. Resulta lamentable que hoy en día no podamos ya azorarnos con la vista de un perezoso gigante —del tamaño de un elefante— recargado en un enorme tronco. Tampoco podemos sentir la tierra cimbrándose al paso de las manadas de mamuts, mastodontes y otros elefantes que alguna vez fueron comunes. Los humedales ya no tienen gliptoterios —gigantescos armadillos de más de una tonelada—, ni cobijan poblaciones de los enormes roedores de más de cien kilos, como el castor pleistoceno y el carpincho norteamericano.

Hoy en día ya no se escuchan los rugidos de los felinos dientes de sable o de los leones americanos que alguna vez aterrorizaron a las numerosas manadas de caballos y de gigantescos camellos también ya extintos. El mamífero depredador más grande y feroz, el enorme oso chato de casi una tonelada de peso, no acecha más en los parajes norteamericanos actuales^[10]. Los raudos berrendos no huyen ya de los vertiginosos ataques del campeón pleistoceno de la velocidad, el *cheetah* americano. «Vivimos en un mundo empobrecido zoológicamente —apuntó Alfred Russel Wallace en 1876— del que han desaparecido recientemente todas las formas más enormes, las más feroces y las más extrañas.»^[11]

La extinción de los grandes mamíferos pleistocenos y sus posibles causas fueron motivos de gran debate desde principios del siglo XIX, una vez que Cuvier había establecido en 1796 la realidad de la extinción de las especies (capítulo II). El propio Cuvier propuso, en el contexto de su teoría catastrofista, que la desaparición de los mamíferos del Pleistoceno se había debido a algún repentino cambio de gran magnitud, una *revolución* que había afectado toda la superficie del planeta. Ya en el siglo XIX, algunos naturalistas ingleses identificaron la revolución de Cuvier con el diluvio universal narrado en el Génesis. Uno de ellos fue el geólogo William Buckland, quien en 1821

creyó haber encontrado evidencia tangible del gran diluvio en una cueva de Inglaterra.

LAS HIENAS DE YORKSHIRE

En el verano de 1821 se descubrió en Kirkdale, en el condado histórico de Yorkshire, Inglaterra, una cueva en cuyo interior había una gran cantidad de pedazos de hueso. Alertado por un colega naturalista sobre el hallazgo, Buckland se dispuso a explorar la caverna en busca de *reliquiae diluvianae*, vestigios del diluvio bíblico. En una primera inspección, Buckland identificó trozos de hueso y dientes de una gran cantidad de animales desconocidos en Inglaterra: elefantes, hipopótamos, rinocerontes, leones, ciervos gigantes, hienas y osos de las cavernas. El hecho de que los restos estuvieran desperdigados por todo el suelo de la cueva hizo pensar a Buckland que efectivamente aquellos huesos habían sido arrastrados por una inundación de gran magnitud.



FIGURA VI.3. Ilustración humorística de William Buckland en la cueva de Kirkdale, con las hienas pleistocenas.

Sin embargo, Buckland era, además de un devoto cristiano, un escéptico intérprete de la evidencia geológica. Un rápido vistazo a la cueva le hizo ver que la única entrada a la caverna, un pequeño hueco de menos de un metro de alto, hacía imposible que el cuerpo de un animal de la talla de un hipopótamo

podiese haber sido arrastrado al interior. Además, todos los huesos estaban rotos y mostraban marcas que parecían huellas de mordiscos de algún animal. Finalmente, Buckland halló también lo que parecían ser restos fosilizados de excremento, con pedazos de hueso y una alta concentración de carbonato de calcio. El lado científico de Buckland prevaleció sobre el devoto, la razón sobre la fe, y una nueva hipótesis surgió de las observaciones del naturalista; la cueva de Kirkdale había sido en algún pasado remoto una guarida de hienas, y los huesos acumulados ahí habían sido arrastrados no por las aguas de un diluvio de origen divino sino por aquellos terrenales animales de carroña.

Buckland mostró a un conocido suyo, dueño de una casa de fieras, algunos de los huesos y los pedazos de excremento fosilizado^[12]. El experto en animales confirmó que las marcas de mordidas en los huesos y las características del excremento correspondían cercanamente con las que había observado en los encierros de las hienas en su zoológico. De todas maneras, Buckland solicitó a sus contactos en la colonia del Cabo (hoy Sudáfrica) que le enviaran lo más pronto posible una hiena joven viva. Buckland planeaba sacrificarla para examinar en detalle los huesos de su cráneo, pero cuando finalmente el animal llegó a Inglaterra nadie se atrevió a darle muerte. En cambio, se le bautizó con el nombre de *Billy* y se rogó por su vida ante Buckland, quien finalmente le otorgó el indulto. *Billy* vivió otros veinticinco años en buenas condiciones, en la seguridad de una casa de fieras londinense^[13].

La cueva de Kirkdale y las interpretaciones de Buckland mostraron que en el pasado existió en lo que ahora es Inglaterra una fauna totalmente diferente de la actual, pero semejante a la africana de hoy en día. Un análisis más reciente ha mostrado que los fósiles de Kirkdale datan del periodo anterior a la Era de Hielo, cuando en Europa prevalecía un clima templado. Con el inicio de una fase más fría de la última glaciación del Pleistoceno, hace poco más de sesenta mil años, los animales como las hienas, los elefantes y los hipopótamos desaparecieron de Inglaterra, pero subsistieron en África o en la parte meridional de Asia. Otras especies, como los rinocerontes lanudos, los osos y leones cavernarios y los alces irlandeses, subsistieron en Europa todavía hasta las fases finales de la glaciación, hace unos veinte mil años, pero se extinguieron poco después.

Más adelante en su carrera, Buckland abandonó la idea de que un diluvio había sido la causa de la extinción de los mamíferos del Pleistoceno. Llegó a convencerse, en cambio, de la veracidad de la teoría glacial de Louis Agassiz,

quien postuló en 1837 un final gélido para las especies, las que habrían sucumbido ante una repentina y estrepitosa caída en la temperatura del planeta. Según Agassiz,

La temperatura de la tierra se mantiene sin oscilación considerable durante una época geológica dada [...], pero entonces decrece repentinamente al final de cada época, con la desaparición de los seres organizados característicos de esa época, para surgir de nuevo con la aparición de una nueva creación al inicio de la siguiente época^[14].

El patrón de extinción de especies en el Pleistoceno europeo coincide muy bien con los cambios climáticos. En particular, la desaparición de grupos de especies —como la fauna que Buckland halló en Kirkdale— se dio generalmente durante caídas notables en la temperatura promedio. Un estudio reciente ha mostrado que los cambios climáticos probablemente fueron la causa principal de la extinción de la mayoría de las especies de la megafauna europea, pero las trayectorias de extinción fueron diferentes para cada especie^[15]. Así, mientras algunas especies desaparecieron muy al principio de la Era de Hielo, otras, como los mamuts y rinocerontes lanudos, subsistieron hasta el final del Pleistoceno, y otras más, como los bisontes y los renos, sobrevivieron hasta el presente. Se debe mencionar, además, que el estudio indica que otros factores, como la actividad humana, podrían también haber contribuido a la extinción de la megafauna europea.

En contraposición a las ideas catastrofistas de Cuvier, Buckland y Agassiz, pensadores como Charles Lyell, argumentaban que la extinción podía ser un fenómeno gradual que respondía a cambios, también graduales, en las condiciones ambientales. Estos modelos uniformistas postulaban que las extinciones pleistocenas eran consecuencia de

leyes fisiológicas que hacen de los cuadrúpedos de sangre caliente [los mamíferos] menos capaces, en general, de acomodarse a una gran variedad de condiciones, y en consecuencia de sobrevivir las vicisitudes a las que la superficie de la tierra se expone en los grandes tiempos de las eras geológicas^[16].

Como premisa central del uniformismo, los mismos procesos que habían actuado durante el Pleistoceno y que habían causado las extinciones debían

existir en el presente. En consecuencia, la extinción debía ser también un proceso continuo y por tanto actual. La pérdida de especies debía de ser, por tanto, un fenómeno normal. Estas ideas parecen difíciles de conciliar con lo que se observa en las extinciones europeas, pero tienen más concordancia con los patrones descubiertos en otras regiones, como en África.

ÁFRICA: LA FAUNA DE OLDUVAI

Por más de sesenta años, la garganta de Olduvai, en el noreste de Tanzania, ha sido escenario de algunos de los hallazgos más importantes de homíninos extintos. Ahí fue donde se descubrió *Homo habilis*, que por mucho tiempo se creyó la más antigua de las especies del género *Homo* (capítulo V). Junto con los restos de homíninos, se cuenta para la zona con una extensa colección de fósiles de mamíferos, que permiten reconstruir el escenario ecológico en el que vivieron los *Homo habilis* y otros homíninos contemporáneos.

Hace 1.8 millones de años, el ecosistema de la garganta de Olduvai era muy parecido a las sabanas y bosques abiertos de las reservas naturales de la Tanzania moderna, como la de Serengeti^[17]. En el antiguo Olduvai podríamos haber observado grandes manadas de una veintena de tipos de gacelas, impalas, kudús y otros antílopes, así como cebras, jabalíes medianos y grandes; también veríamos hipopótamos y cocodrilos del Nilo en las zonas inundadas y chacales, licaones, algún veloz *cheetah*, hienas y algunos leones acechando a sus presas en las sabanas. A lo lejos, alcanzaríamos a divisar manadas de elefantes y una que otra jirafa extendiendo su cuello para alimentarse del follaje de los árboles más altos. La mayoría de estos animales nos parecerían muy familiares, pues pertenecieron a géneros que subsisten todavía en las sabanas africanas modernas.

Tal vez alguno de los antílopes tendría una coloración diferente, o sería un tanto más grande, o tal vez tendría los cuernos más torcidos. Posiblemente las cebras tendrían las rayas en una disposición diferente de las de hoy en día, o los leones tendrían la melena más corta o de color más oscuro. En general, sin embargo, nos costaría trabajo encontrar diferencias entre el paisaje de Olduvai y el de las famosas reservas africanas de hoy en día. Los únicos animales que nos llamarían la atención por su aspecto extraño serían las pocas especies extintas, como un par de especies de antílopes, otra de jabalí y, sobre todo, el dinoterio —pariente de los elefantes con los colmillos curvados hacia abajo—

y el sivaterio —una robusta y gigantesca jirafa de cuello relativamente corto y enormes «cuernos»—.

Lo que ha sucedido en el este de África parece confirmar las afirmaciones de Lyell y otros uniformistas; desde hace casi dos millones de años se han producido cambios climáticos graduales que han impulsado a su vez cambios en las especies de mamíferos. Sin embargo, la tasa de extinción a nivel de género ha sido sumamente baja (algunas especies han cambiado, pero la gran mayoría de los géneros siguen existiendo). En el caso de África no se puede hablar realmente de una extinción generalizada de la megafauna pleistocena. Un caso muy diferente es el de Australia.

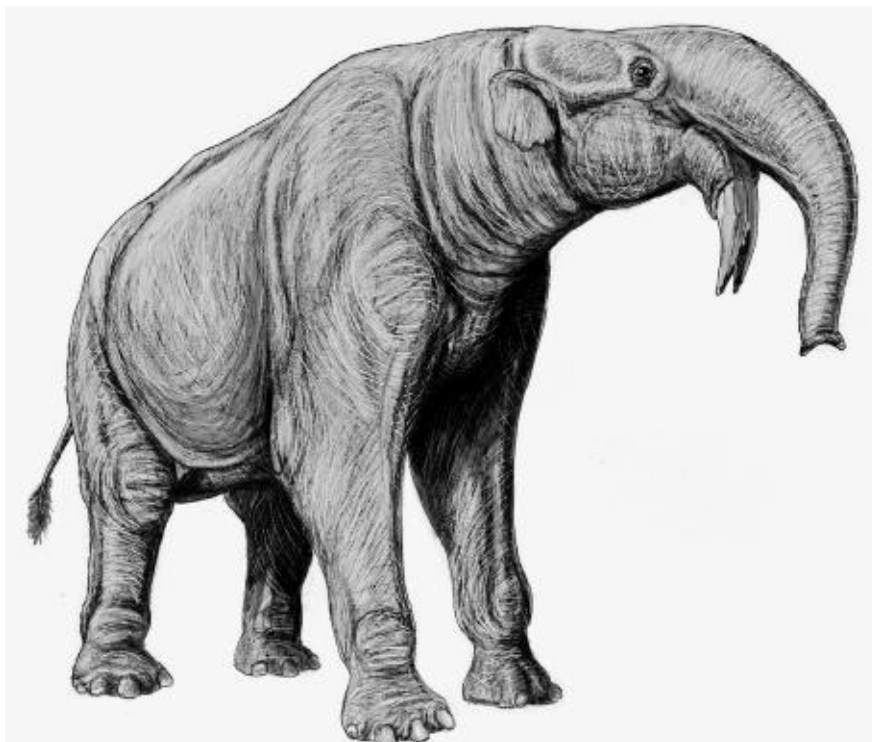


FIGURA VI.4. *Dinoterio* (*Deinotherium giganteum*). Imagen de Wikimedia Commons por Dmitry Bogdanov.

AUSTRALIA: HUEVOS DE GANSO GIGANTE PARA LA CENA

Cuando el ser humano llegó a Australia, hace poco más de cincuenta mil años, se encontró con un mundo de extrañas plantas y animales. Estos primeros australianos probablemente estaban familiarizados con bestias de gran tamaño en sus tierras ancestrales del sureste de Asia, pero lo que hallaron en su nuevo territorio se veía completamente diferente. Una de esas extrañas criaturas era el geniornis, una gigantesca ave de la familia de los patos y gansos, pero incapaz de volar. Los geniornis medían hasta dos metros

de alto y pesaban hasta doscientos kilos; los científicos piensan que este animal no era carnívoro porque su pico carecía de gancho en el extremo y las patas no tenían talones como en las aves de presa actuales. De todas maneras, debe de haber sido un animal imponente.

Se sabe, por dos tipos de evidencia, que los humanos convivieron con los geniornis. En primer lugar, hay pinturas rupestres que muestran claramente la imagen de aves con características morfológicas que coinciden con las reconstrucciones que se han hecho de los geniornis. En segundo lugar, hay evidencia de que los primeros australianos consumían huevos cocidos de este animal. Gifford Miller y sus colaboradores examinaron pedazos de cáscaras de huevos de geniornis asociados con restos de fogatas de decenas de miles de años de antigüedad^[18]. Al reconstruir la posición de los pedazos de cáscara y examinar la estructura de aminoácidos, los investigadores encontraron asimetrías que indican que los huevos, en el momento de estar expuestos al fuego, estaban acomodados con su parte más ancha hacia abajo. La única explicación razonable para este patrón es que los australianos ancestrales acomodaban los huevos de esa manera en sus fogatas para cocinarlos y después consumirlos.



FIGURA VI.5. *Genyornis newtoni*, un ave no voladora del Pleistoceno australiano. Dibujo de Nobu Tamura.

Hay restos de huevos de geniornis asociados a fogatas hasta hace aproximadamente 47 000 años. Esto nos muestra, en primer lugar, que los primeros australianos se alimentaban con frecuencia de los huevos de las aves gigantes. Los datos sugieren, además, que los geniornis se extinguieron, o al menos se volvieron muy raros, hace unos 47 000 años. Finalmente, el patrón

indica también que el ser humano podría haber jugado un papel importante en la desaparición de la gigantesca ave.

Los geniornis son sólo un ejemplo de las decenas de gigantescos y extraños animales con los que los humanos se encontraron al llegar a Australia. La megafauna de mamíferos de Australia se distingue porque todos sus miembros son marsupiales, a diferencia de los placentarios, que constituyen las faunas de gran talla del resto de los continentes. El *Diprotodon*, por ejemplo, era un enorme marsupial parecido en aspecto exterior al inofensivo *wombat* moderno (un marsupial con aspecto de oso pequeño, rechoncho y con las patas cortas), pero del tamaño de un hipopótamo y con un peso de más de dos toneladas. Un pariente de menor talla era el *Zygomaturus*, que se veía tanto en aspecto como en tamaño como un hipopótamo pigmeo del África Oriental —como de un metro de alto y de unos doscientos cincuenta kilos de peso— y que probablemente era semiacuático.

Uno de los más curiosos representantes de la megafauna extinta australiana era el canguro chato gigante, semejante al canguro rojo actual pero mucho más grande —de hasta tres metros de alto y más de doscientos cincuenta kilos de peso— y con el hocico achatado y los ojos más dirigidos hacia el frente, lo que hace suponer a los científicos que este animal tenía visión estereoscópica. El león marsupial fue el mamífero depredador más grande de Australia; de más de un metro y medio de largo y poco más de cien kilos de peso, este megacarnívoro —que no era pariente de los leones africanos sino de los *wombats* y los koalas— seguramente generó respeto entre los primeros australianos, quienes lo representaron con frecuencia en sus pinturas rupestres.

Por impresionante que el león marsupial pudiera haber sido, los verdaderos megacarnívoros del Pleistoceno australiano eran reptiles y no mamíferos. Tanto el *goanna* gigante —que era un varano emparentado con el dragón de Komodo— como el cocodrilo *quinkan* llegaban a medir más de seis metros de largo y pesaban cerca de dos toneladas.

Toda esta megafauna, así como veintitrés de los veinticuatro géneros de mamíferos con especies de gran tamaño, desaparecieron de Australia hace aproximadamente cuarenta y seis mil años^[19]. Hoy en día, el único mamífero australiano que puede considerarse grande es el canguro rojo. En 2016 se publicó el análisis de una extensa base de datos sobre las extinciones pleistocenas en Australia. Los datos muestran claramente que algunos grupos de especies experimentaron extinciones en forma sincronizada, es decir que

hay momentos en los que se produjeron varias extinciones simultáneas. Empero, estos periodos de alta extinción no se correlacionan con cambios en aridez o en otros parámetros ambientales de gran escala. En suma, como el título del artículo expresa, no se puede culpar al cambio climático por las extinciones del final del Cuaternario en Australia^[20].

Si los cambios ambientales no produjeron las extinciones pleistocenas en Australia, ¿qué las desencadenó? El artículo sugiere otro posible sospechoso; la megafauna australiana se extinguió por completo 13 500 años después de la llegada del ser humano, y varios de sus componentes desaparecieron mucho antes de ese límite. Como lo muestran los huevos cocidos de *geniornis*, el ser humano depredó directamente sobre algunas de las especies de la megafauna australiana. También es posible que las alteraciones ambientales producidas por los humanos, particularmente el fuego y la pérdida de hábitat natural, hayan desempeñado un papel importante en la extinción de la megafauna. Un caso aún más extremo de exterminio de la megafauna por los humanos podría ser el de Norteamérica.

AMÉRICA: LOS HUESOS DE HOYO NEGRO

Hace más de doce mil años, una adolescente de pequeña estatura y delicada complexión se aventuró en una profunda caverna situada cerca de lo que hoy en día es Tulum, en el noreste de la península de Yucatán. La joven de alguna manera se desorientó y se desplomó en un abismo de más de cuarenta metros de profundidad; la caída le provocó una severa fractura en la pelvis y seguramente su muerte fue instantánea. El cuerpo de la adolescente quedó descansando en la profundidad de la sima, cerca de restos de animales prehistóricos que habían caído al abismo desde cientos de años antes, extraños compañeros de tumba para la desafortunada jovencita.

Pasaron los años; cientos, miles de años. La última glaciación del Pleistoceno llegó a su fin, los hielos continentales se derritieron, los mares subieron de nivel y la cueva se inundó hasta cubrir con más de cuarenta metros de agua los huesos de la joven y los de los animales. El abismo se convirtió en un cementerio sumergido de oscuridad perpetua que preservó las osamentas, que permanecieron inmóviles en el fondo de la sima inundada hasta que, un día de mayo de 2007, llegaron los buzos.

Aquel día un grupo de exploradores descubrió la enorme cámara subterránea, a la que llamaron Hoyo Negro por lo oscuro y tenebroso del sitio.

En exploraciones posteriores, los buzos encontraron los huesos de la joven y de inmediato dieron aviso a las autoridades arqueológicas. Siete años después, luego de arduas labores de exploración y de análisis del material, se publicó finalmente el informe científico, con asombrosas noticias^[21].

El esqueleto de Hoyo Negro resultó ser el vestigio humano más antiguo registrado hasta ahora en el Nuevo Mundo, con una edad de entre doce mil y trece mil años. El ADN extraído de un diente reveló afinidad de la jovencita con las poblaciones actuales de indígenas americanos, lo que refutó la hipótesis de que los más antiguos pobladores de América habían formado parte de un linaje diferente del de los pueblos nativos de hoy en día. En todo caso, la gran antigüedad del esqueleto fue prueba de la presencia del ser humano en el norte de la península de Yucatán hace cerca de trece mil años.

El estudio confirmó también la coexistencia de los humanos con algunos de los mamíferos pleistocenos hace apenas unos cuantos miles de años. Se encontraron restos de animales extintos como el gonfoterio de Cuvier —un pariente de los elefantes—, el felino dientes de sable, el perezoso terrestre de Shasta y otro tipo de perezoso todavía no identificado. Además, se hallaron huesos de animales que hoy en día no existen en la península de Yucatán, como el gato montés americano, el coyote y un tipo de úrsido emparentado con el oso de anteojos sudamericano. Finalmente, se identificaron también los restos de especies que todavía existen en algunas regiones del sur y del este de la península, como el puma, el tapir centroamericano, el jabalí de collar y el coatí de nariz blanca.

En otras cuevas de la península, en ocasiones asociados con restos de seres humanos, se han encontrado fósiles de otros animales pleistocenos, como el caballo mexicano, el gliptoterio y una especie de llama del Pleistoceno^[22]. Estos datos muestran que a finales del Pleistoceno la península de Yucatán mantenía una rica fauna que incluía varios miembros extintos de la megafauna. Hoy en día, en la mayor parte de la península no existe ningún mamífero que pueda considerarse grande, ya no digamos miembro de la megafauna. Sólo en los remanentes de selva del sur de la península habitan —en cantidades cada vez menores— especies como el jaguar y el tapir centroamericano. Los verdaderos gigantes desaparecieron del ecosistema yucateco hace miles de años.

En Norteamérica, la desaparición de la megafauna coincide en el tiempo con la llegada y dispersión del ser humano en el continente, y en particular con la aparición de un tipo de herramienta particularmente adecuada para la cacería de grandes mamíferos: la llamada tecnología clovis^[23]. Uno de los

instrumentos característicos de esta tecnología es la punta clovis, que consiste en una piedra afilada en un extremo y redondeada en el otro, lo que permitía fijarla en el extremo de una lanza de madera. Este tipo de instrumentos se han hallado asociados en depósitos con fósiles de grandes mamíferos, particularmente mamuts, lo que generalmente se interpreta como evidencia de cacería de los animales de la megafauna.



FIGURA VI.6. Cacería de un mamut colombino en el centro de México. Diorama del Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México. Archivo Digital de las Colecciones del Museo Nacional de Antropología INAH-CANON. Secretaría de Cultura, México.

La evidencia más antigua de la tecnología clovis data de hace unos trece mil años. Un análisis reciente del genoma de un esqueleto humano enterrado ceremonialmente junto con herramientas clovis reveló un parentesco genético muy cercano entre la gente clovis y los grupos indígenas modernos, lo que sugiere que los propios clovis, o algún otro grupo de la misma población, podrían ser los ancestros directos de la mayoría de los pueblos nativos de América^[24]. Las piezas clovis desaparecen del registro arqueológico al mismo tiempo que varios miembros de la megafauna se esfuman del registro fósil. Esta coincidencia ha llevado a algunos científicos a postular que la extinción de finales del Pleistoceno pudo haber sido causada por el exterminio de la megafauna por los cazadores clovis. En particular, Paul Martin ha propuesto su hipótesis de la *blitzkrieg* para explicar la extinción de la megafauna.

El término *blitzkrieg* («guerra relámpago», en alemán) se refiere a una estrategia militar usada en la segunda Guerra Mundial en la que se empleaban rápidos movimientos de las tropas, con apoyo aéreo, para lograr un rápido aniquilamiento del enemigo. Martin propuso en 1973 un modelo de

poblamiento humano del Continente Americano en el que las poblaciones se expandían a partir del estrecho de Bering hacia el sur hasta alcanzar la punta meridional de Sudamérica en menos de mil años. A su paso por el continente, la densidad de población humana en determinados momento y lugar era suficiente para provocar la extinción de los grandes mamíferos debido a la cacería en gran escala. En poco tiempo, tal vez en unos cuantos cientos de años, el ser humano habría llevado a la extinción a la mayoría de los grandes mamíferos.

Desde su postulación, y hasta hoy en día, la hipótesis de la *blitzkrieg* ha generado gran interés y controversia y ha estimulado un nutrido número de contribuciones científicas que han abordado el tema de las extinciones pleistocenas. Después de décadas de intenso debate, a finales de 2015 la postura de los investigadores parece no haber cambiado mucho; hay grupos de investigación, que tienden a ser los liderados por ecólogos o paleobiólogos, que ven en la correlación temporal de las extinciones con la aparición de los seres humanos una prueba evidente de la hipótesis de Martin^[25]. En contraposición, hay otros equipos, que tienden a ser aquellos dirigidos por los arqueólogos y antropólogos, que no encuentran suficiente evidencia^[26]. Un argumento importante en favor de esta última postura es el hecho de que la depredación humana sobre la megafauna sólo ha sido fehacientemente demostrada para cinco géneros (mamuts, mastodontes, gonfoterios de Cuvier, caballos y camellos)^[27]. Aun suponiendo que se pudiera achacar la extinción de estos géneros a la cacería, ¿cómo explicar la desaparición del resto de los géneros de la megafauna, más de treinta de ellos?

¿QUÉ CAUSÓ LA EXTINCIÓN DE LA MEGAFUNA PLEISTOCENA?

Cuando en 1876 publicó *La distribución geográfica de los animales*, Alfred Wallace pensaba que la causa de las extinciones pleistocenas residía «en el gran y reciente cambio físico conocido como la “época glacial”»^[28]. Muchos años después, Wallace se convenció de que la actividad humana había tenido también un efecto fundamental en la extinción de la megafauna. En 1911 escribió:

[E]stoy convencido de que la rapidez de [...] la extinción de tantos mamíferos de gran talla es debida a la acción del hombre, actuando *en operación conjunta con esas causas generales* que

al final de cada era geológica han provocado la extinción de las formas más grandes, más especializadas y más extrañamente modificadas^[29].

Este punto de vista, que invoca un efecto conjunto de la actividad humana y los factores climáticos —sean éstos catastróficos o graduales—, parece ser el más consistente con los datos disponibles hoy en día. Como hemos visto con los ejemplos de cuatro continentes, el porcentaje de formas desaparecidas y los tiempos y los modos de las extinciones son diferentes, y no parece haber una explicación única que pueda ser aplicada en todos los casos^[30].

El patrón de extinción de la megafauna europea, que es el que más se ajusta a un modelo basado puramente en el efecto de cambios drásticos en el clima, es completamente diferente del de África, en el que el número de extinciones es mínimo y parece haber sido determinado por cambios climáticos graduales. Por otro lado, estos dos casos tienen un factor común: la presencia de seres humanos en buena parte del Pleistoceno (durante toda esta época en África y por casi un millón de años en Europa). Es posible que este hecho haya minimizado el efecto de la actividad humana por haber existido un proceso de evolución conjunta (coevolución) entre homínidos y megafauna, que habría aminorado los efectos catastróficos de un encuentro repentino entre estos dos tipos de mamíferos.

En Australia y Norteamérica, por el contrario, hay signos evidentes de que al menos algunas especies de la megafauna desaparecieron por el efecto directo de la actividad humana (la cacería desmedida) o por un efecto indirecto (la modificación de los hábitats). En Norteamérica, sin embargo, es difícil desdeñar el efecto de los cambios climáticos, pues hay una coincidencia casi perfecta entre la llegada de los primeros cazadores y el último periodo de frío extremo del Pleistoceno.

Tal como dedujo Wallace hace más de cien años, es poco probable que una causa única pueda explicar las extinciones pleistocenas en todos los continentes. Es más probable que una combinación de factores, muy probablemente un *uno-dos* de cambio climático y actividad humana, sea la mejor explicación en la mayoría de los casos. Si es así, los sucesos del Pleistoceno en los que se perdió un porcentaje importante de la megafauna deberían servir de lección para enfrentar la crisis actual de pérdida de biodiversidad, que, como veremos en el siguiente capítulo, podría estar siendo causada por una combinación, precisamente, de cambios ambientales y de influencia humana.

VII. Viaje a la tierra de las moas: extinciones en tiempos históricos

El Dodo: «La carrera ha terminado [...] Todos hemos ganado, y todos debemos recibir los premios».

LEWIS CARROLL, Alicia en el País de las Maravillas

Fue en algún momento del año 1280 cuando Kupe, el líder de un grupo de arrojados navegantes polinesios, observó en el horizonte una nube muy brillante que le indicó la presencia de tierra firme. Se trataba de lo que ahora es Nueva Zelanda, y aquellos viajeros eran los primeros seres humanos en alcanzar las islas en donde sus descendientes formarían la etnia de los maoríes. Aún hoy en día, Nueva Zelanda se conoce en maorí como *Aotearoa*, que significa algo así como «la tierra de la blanca nube alargada»^[1].

Ante los ojos de Kupe y su gente se abría una extensa tierra virgen cubierta casi completamente de exuberantes bosques y poblada por un numeroso y curioso contingente de animales. Aparte de tres especies de murciélagos, los recién llegados eran los únicos mamíferos presentes en aquel maravilloso y, en muchos sentidos, primitivo lugar. No había reptiles de gran tamaño, ni serpientes, pero las lagartijas eran abundantes y muy diversas. Los maoríes ancestrales encontraron también la tuátara, un reptil semejante a las iguanas, pero que en realidad es el último representante de un linaje único de reptiles que sobrevive solamente en Nueva Zelanda.

La fauna de aves que encontraron los viajeros incluía toda suerte de formas exóticas, desde los risibles kiwis —las emblemáticas aves de aguzado pico y de tamaño apenas mayor que el de una gallina— hasta la majestuosa águila de Haast, el ave de presa más grande que ha existido. En poco tiempo, los primeros maoríes conocieron también muchas otras aves únicas del lugar, varias de ellas incapaces de volar, como el *kakapo* —un curioso perico nocturno y con aspecto de lechuza—, los *aptornis* —enigmáticas aves no voladoras del orden de las grullas— y hasta un tímido pingüino de ojos

amarillos, el *hoiho*^[2]. Aun entre este sorprendente elenco de estrambóticos animales, los más extraños habitantes de las islas eran, por mucho, las moas.

Las moas eran las aves no voladoras más especializadas del mundo. Su aspecto era realmente curioso porque, a diferencia de los ñandúes y los avestruces, no tenían ni siquiera vestigios de alas y su esternón no tenía la quilla que en el resto de las aves da soporte a los músculos que propulsan las alas. Existieron nueve especies de estas aves, que iban en tamaño desde la moa oriental —apenas un poco mayor que un pavo doméstico— hasta la moa gigante, que con sus tres metros y medio de estatura fue el ave más alta que existió en tiempos históricos. Había moas especializadas en diferentes tipos de alimentación y en todo tipo de ambientes, como la moa de patas robustas en las zonas secas, la moa crestada en los humedales de tierra baja y la de montaña en los bosques de las serranías^[3].

Los primeros maoríes encontraron en las moas una fuente de alimento que parecía inagotable. Los huesos de moa, algunos de ellos con signos de haber sido roídos o destazados, son elementos constantes en los restos arqueológicos de campamentos y fogatas de los maoríes en los primeros años de ocupación de las islas de Nueva Zelanda. Se han hallado huesos de moas asociados con vestigios humanos desde finales del siglo XIII, pero estos restos se van haciendo cada vez menos comunes en sitios arqueológicos más recientes, hasta que desaparecen por completo hacia finales del siglo XIV. Esto indica que tomó a los maoríes apenas cien años para llevar a la extinción a la mayoría de las especies de moas, aunque es posible que algunas variedades hayan sobrevivido unas décadas más en lugares remotos de las islas neozelandesas^[4].

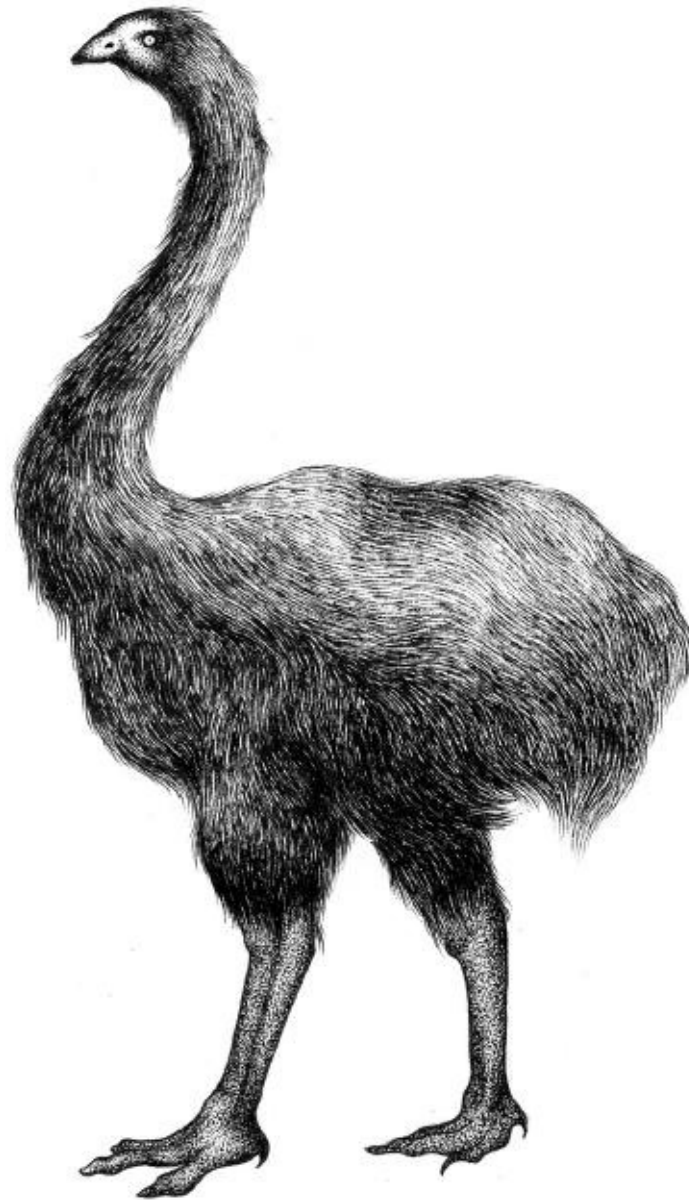


FIGURA VII.1. *Moa gigante*. Dibujo de Ángela Arita Noguez.

La desaparición de las nueve especies de moas significó la pérdida de un clado único^[5]. Las más de diez mil especies de aves que han vivido en los últimos dos mil años se clasifican en cuarenta órdenes, uno de los cuales era el clado de las moas. Este linaje se separó del de sus parientes actuales más cercanos, los tinamúes de Sudamérica, hace millones de años, y evolucionó en forma independiente en las aisladas tierras de Nueva Zelanda^[6]. El exterminio de las moas significó el fin de ese clado, la desaparición de un orden entero de aves y la pérdida de toda la diversidad genética, morfológica y ecológica acumulada durante millones de años de evolución independiente.

El trágico final del linaje de las moas es un ejemplo de los numerosos episodios de extinción en tiempos históricos, es decir, que han sucedido en los

últimos seis mil años^[7]. Se trata también del caso mejor documentado de una extinción rápida provocada por la acción directa del ser humano. Algunos autores —como Jared Diamond en su libro *Armas, gérmenes y acero*— ven en la historia de las moas una prueba de que la *blitzkrieg*, la rápida aniquilación de especies por la cacería desmedida, es un proceso no sólo posible sino frecuente. Sin embargo, existen varios otros episodios de extinción provocada por el ser humano que han sido mucho menos repentinos, en ocasiones extendiéndose por cientos de años. Tal es el caso de las extinciones en Madagascar.

EXTINCIÓN EN EL MUNDO DE LOS LÉMURES

Madagascar es la gran isla del Océano Índico que se localiza al este de las costas del sur de África. En esta isla se ha dado la extinción de numerosas especies de aves y mamíferos, en diferentes pulsos a lo largo de varios siglos desde la llegada del hombre hace más de dos mil años. Los primeros asentamientos humanos fueron pequeños y efímeros, de manera que nunca hubo una densidad de población muy alta, por lo que siempre existieron lugares remotos en las montañas donde al menos algunos de los animales encontraron refugio. Es muy probable que la actividad humana haya sido la causa última de la extinción de la gran mayoría de las especies en Madagascar, pero el proceso ha sido mucho más lento que en Nueva Zelanda^[8].

Igual que en Nueva Zelanda, en Madagascar se registró la desaparición en tiempos históricos de un orden completo de aves, en este caso el de las aves elefante. Algunas de las siete especies que componían este grupo, entre las que se encontraba un ave de hasta media tonelada de peso, se extinguieron a finales del siglo XVII o a principios del XVIII, más de dos mil años después de la llegada de los primeros humanos, y ya con la presencia de europeos en la gran isla. Igual suerte corrieron algunos de los mamíferos endémicos de la isla, como el *aardvark* malgache —un tipo de cerdo hormiguero—, tres especies de hipopótamos pigmeos y una forma gigante de la fosa, un carnívoro único de Madagascar lejanamente emparentado con las mangostas.

El grupo de mamíferos malgaches con más extinciones es el de los lémures, los primates característicos de Madagascar. Una especie de lémur gigante —del tamaño de un gorila macho— se extinguió al poco tiempo de la llegada del ser humano, hace más de dos mil años. Desde entonces, otras

dieciséis especies de este grupo se han extinguido en diferentes momentos de la historia. La sorprendente y diversa fauna de lémures de hoy en día, que incluye un centenar de especies, es apenas una muestra bastante disminuida del conjunto de especies que alguna vez existió en la isla.

Hay poca duda de que ha sido la actividad humana —directa, a través de la cacería, o indirecta, mediante la alteración de los hábitats naturales— la que ha causado la mayoría de las extinciones de la fauna malgache en los últimos dos mil años. Sin embargo, la desaparición de las aves elefante y de los diferentes tipos de mamíferos ha ocurrido en Madagascar de forma más bien gradual, contrastando con la rápida extinción de las moas de Nueva Zelanda.



FIGURA VII.2. *El lémur gigante era del tamaño de un gorila. Imagen de Wikimedia Commons por Smokey bjb, 2010.*

DIFERENTES CAMINOS HACIA LA EXTINCIÓN

Desde el año 1600 hasta la fecha se ha documentado la extinción de unas noventa especies de mamíferos y ciento quince de aves. Una buena mayoría de estas especies eran nativas de islas, y desaparecieron al poco tiempo de la llegada de los colonizadores europeos. Aunque la mayoría de los eventos de extinción se pueden atribuir a un pequeño número de causas (sobrexplotación, destrucción del hábitat e introducción de animales domésticos, entre otras), los detalles del proceso de extinción son diferentes en cada caso. Revisaremos

en esta sección las historias de extinción de algunas de estas especies perdidas.

El silencio de las alcas inocentes

El alca gigante fue en algún momento de su historia una de las especies más abundantes de las frías costas del Atlántico Norte; se trataba de un ave incapaz de volar, muy semejante a los pingüinos, aunque no tenía parentesco cercano con esas aves del hemisferio sur. Hay evidencia de que las alcas gigantes sirvieron de alimento a varios grupos humanos, desde los neandertales del norte de Europa hace más de cuarenta mil años hasta los pueblos nativos de Norteamérica del siglo XIX. Durante milenios, los humanos cazaron alcas, sin que las poblaciones del ave parecieran estar en problemas.

El surgimiento de una moda en la Europa del siglo XVII anunció el principio del fin para esta especie. El plumón de las alcas gigantes comenzó a usarse como relleno de almohadas, y la demanda creció a tal grado que se organizaban expediciones a las islas árticas con el único propósito de cazar a las indefensas aves. En 1794 las poblaciones estaban ya tan diezmadas que el gobierno británico prohibió la caza de alcas para obtener plumas de almohada; la medida fue muy tardía, pues para entonces las poblaciones de alcas habían entrado en una fase irreversible rumbo a la extinción.

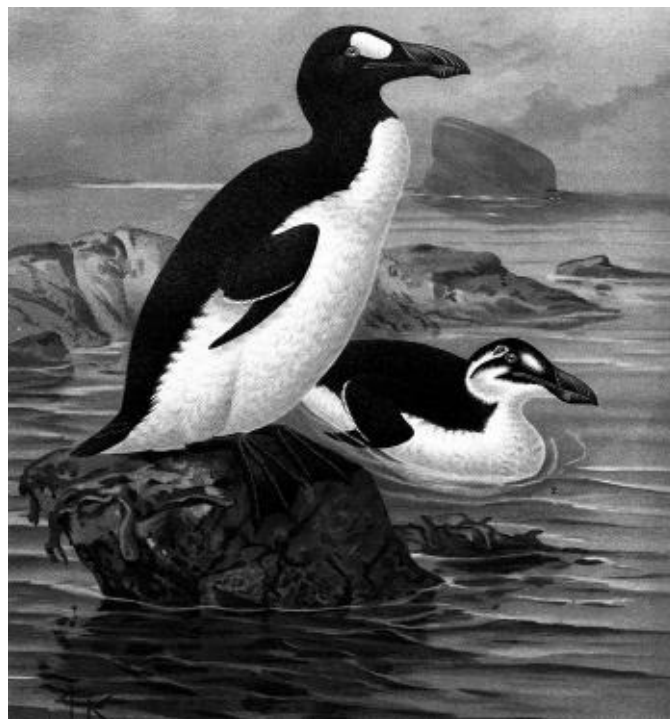


FIGURA VII.3. *Alcas gigantes, con plumaje de verano y de invierno, por John Gerrard Keulemans, ca. 1912.*

En 1835 se descubrió en un islote volcánico de Islandia la última población de alcas gigantes. Pocos años después, el 3 de julio de 1844, murieron los dos últimos ejemplares a manos —literalmente— de unos cazadores islandeses, quienes además aplastaron a pisotones los huevos de su nido. Uno de los cazadores relató así el momento de la muerte de la última alca gigante: «Tomé [al ave] del pescuezo. [Ella] batió sus alas. No hizo sonido alguno. La estrangulé». Así, con el cuello en manos de un despiadado cazador y los huevos bajo las botas del otro, en medio del horroroso silencio de los inocentes, el alca gigante se extinguió.

El alca gigante cayó víctima del poder depredador del ser humano, aunque los datos históricos muestran que la especie sobrevivió a miles de años de aprovechamiento humano. Fue la intensificación de la explotación comercial, detonada por la demanda de un producto baladí, la que finalmente llevó a su fin a la magnífica ave ártica.

La paloma que eclipsaba el sol

Una mañana de agosto de 1803, John James Audubon iba en camino a Louisville, en el estado norteamericano de Kentucky. Según recuerda en su *Biografía ornitológica*, cuando se encontraba a unos noventa kilómetros de esa población, el naturalista e ilustrador notó que una densa parvada de palomas comenzó a pasar sobre su cabeza. Horas después, cuando Audubon llegó a su destino, las palomas seguían volando sobre él, «y siguieron haciéndolo por tres días en sucesión», en cantidades tales que «oscurecían la luz del mediodía como si se tratara de un eclipse». Audubon calculó conservadoramente que la parvada que observó aquel día debía de haber contenido más de mil millones de aves^[9].

Lo que Audubon observó fue un fenómeno natural que ya no existe. La paloma pasajera del este de los Estados Unidos fue hasta finales del siglo XIX el vertebrado más abundante del mundo. Las parvadas de esta especie, como la que embelesó a Audubon, se esfumaron hacia finales del siglo XIX, cuando las palomas pasajeras comenzaron a desaparecer, víctimas de la feroz cacería.

En la segunda mitad del siglo XIX la carne de paloma era la más barata y accesible para la creciente población humana del este de los Estados Unidos. La especie era tan abundante y fácil de cazar que un pequeño equipo podía

obtener, en un solo día, millones de palomas para enviarlas por tren a los centros de distribución. A través del telégrafo se informaba a los grupos de cazadores sobre la localización de los grandes grupos de anidación de las palomas, los cuales eran entonces completamente exterminados, junto con los polluelos y los nidos.

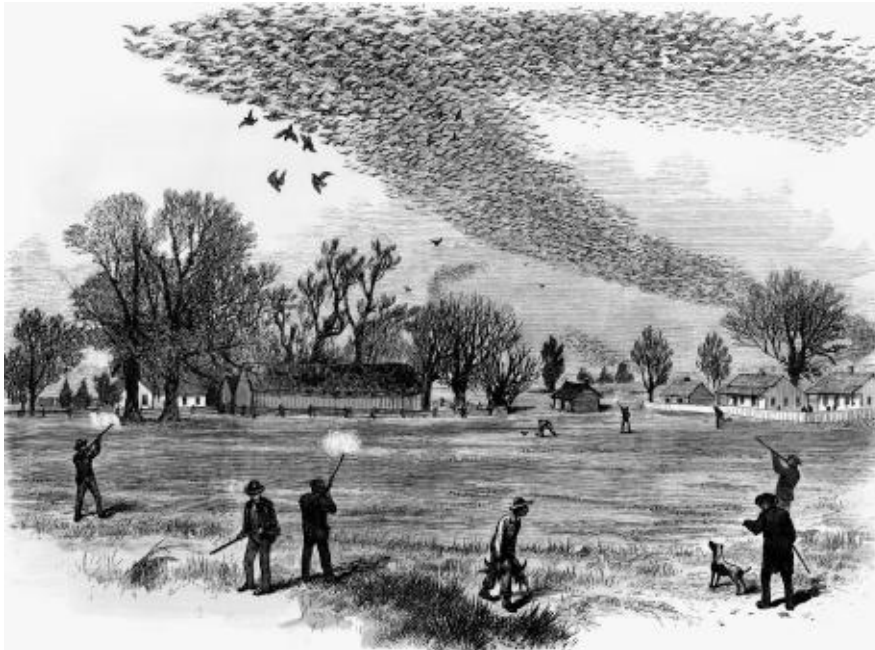


FIGURA VII.4. Cacería de palomas pasajeras en Louisiana, Estados Unidos. Ilustración de Smith Bennett en la revista *Illustrated Shooting and Dramatic News*, 1875.

Todavía en 1896, cuando la especie estaba ya al borde de la extinción, una partida de cazadores mató a un grupo de más de doscientas mil palomas, las cuales fueron empacadas y enviadas por ferrocarril a Nueva York. El tren en el que iban las palomas, sin embargo, descarriló antes de llegar a su destino, y cientos de miles de cuerpos quedaron abandonados, pudriéndose bajo los rayos del sol.

Cien años después de la experiencia de Audubon, en los albores del siglo XX, la paloma pasajera no existía más en estado silvestre, y los últimos individuos de la especie subsistían precariamente en cautiverio. El 1.º de septiembre de 1914 murió en el zoológico de Cincinnati el último individuo de la especie, una hembra llamada *Martha*. El ocaso de la extinción alcanzó aquella tarde de septiembre a la mismísima especie que unas décadas antes había sido capaz de eclipsar con sus multitudes el sol del mediodía^[10].

Extinción en la isla Guadalupe

La tarde del sábado 1.º de diciembre de 1900 fue la última vez que alguien vio con vida un caracara de la isla Guadalupe. Ese día, Rollo Beck, un colector profesional de ejemplares científicos, se topó con once de esas aves de la familia de los halcones y, sin pensarlo mucho, descargó su escopeta contra ellas. Beck pudo recuperar nueve de las aves, y de manera expedita las preparó como ejemplares de museo. Los otros dos caracaras, heridos por los perdigones de la escopeta, alcanzaron a escapar, pero seguramente murieron al poco tiempo. Beck escribió años después:

Sin saberlo yo en ese momento parece probable que haya yo asegurado los últimos caracaras de Guadalupe [...] Las once aves fueron todas las que pude ver, pero a juzgar por su mansedumbre y, considerando el poco tiempo que tenía yo en la isla, supuse en ese momento que [esas aves] debían ser abundantes^[11].

Guadalupe, una isla volcánica a doscientos sesenta kilómetros de la costa oeste del estado mexicano de Baja California, es el único sitio conocido en el que el lobo fino de Guadalupe, una especie de lobo marino del Pacífico norte, forma una colonia de reproducción^[12]. La isla fue además hogar de varias especies de aves endémicas ya extintas, incluyendo el caracara de nuestra historia. Si bien es cierto que los últimos ejemplares de esta especie fueron aniquilados por un recolector científico, sería injusto achacar la extinción del caracara de Guadalupe únicamente a Beck, o en forma más general a la codicia de los naturalistas que se afanaban en conseguir ejemplares de las especies más raras. Se trata más bien de uno de los pocos casos documentados de extinción dirigida, es decir, de la desaparición de una especie que se considera una plaga o una amenaza y que se le caza hasta provocar su extinción.

A principios del siglo XIX se introdujeron en la isla de Guadalupe unas pocas cabras; al poco tiempo, estos animales se reprodujeron de manera exponencial hasta que en algún momento llegó a haber más de cincuenta mil cabezas. Las cabras acabaron con casi todo rastro de vegetación natural, lo que seguramente provocó la extinción de al menos tres especies de aves endémicas. Peor aún para los caracaras, la gente comenzó a acusar a estas aves de depredar sobre los cabritos, algo que es muy improbable, por el tamaño relativamente pequeño de las aves. Los caracaras, en problemas ya por la pérdida de hábitat natural, se convirtieron en presa fácil para los cazadores que buscaban exterminarlos. Cuando se describió científicamente la

especie, en 1876, la población del caracara había ya sido fuertemente diezmada. Para finales de siglo quedaban solamente unas pocas decenas de estos animales, hasta que en diciembre de 1900 los últimos sobrevivientes se convirtieron en ejemplares de museo.

En prácticamente todo el mundo, en diferentes épocas ha habido campañas dirigidas al exterminio de depredadores que se consideran una amenaza para los animales domésticos, o para los propios seres humanos. En campañas de este tipo han desaparecido al menos unas ocho subespecies del lobo gris, como el *shamanu* o lobo gris japonés, el lobo negro de Florida y el lobo de Kenai, una región de Alaska. Peor aún, la especie como conjunto ha visto disminuida su distribución, además de que varias otras subespecies están en grave peligro de desaparecer, por ejemplo el lobo mexicano.

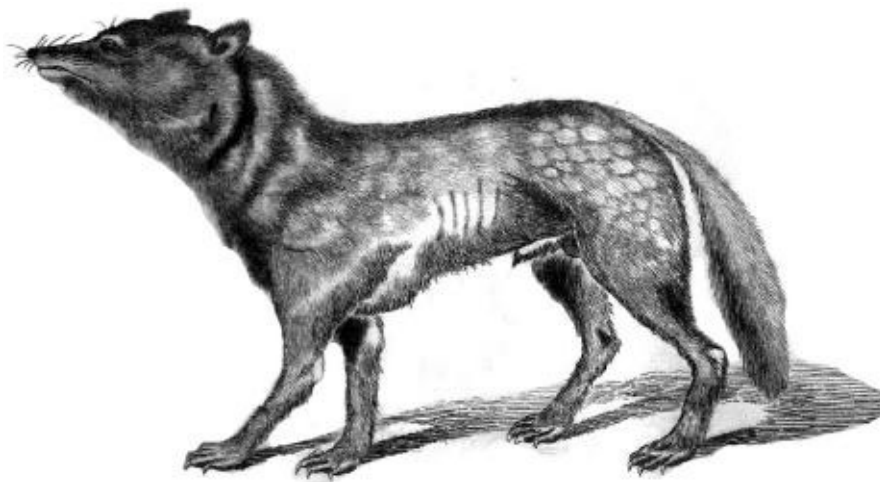


FIGURA VII.5. *El lobo japonés o shamanu, subespecie extinta. Ilustración de la revista Chrisantemum, diciembre-enero de 1891.*

Un caso muy similar es el del oso pardo, que ha sido perseguido en toda su distribución por ser, supuestamente, una amenaza para el ganado o los cultivos. Las variedades originarias del norte de México y de las montañas Atlas del norte de África, por ejemplo, fueron extirpadas por los cazadores. De igual manera, varias subespecies de leones y de tigres han sucumbido a la persecución de los cazadores, y las únicas poblaciones que quedan de estos depredadores de gran talla están confinadas en reservas especiales o en lugares muy remotos.

La vaca marina de Steller

En 1741, Georg Steller y el resto de la tripulación del *San Pedro*, un navío de exploración ruso, se hallaban en una situación desesperada. Después de descubrir para el imperio de Pedro el Grande las costas de lo que ahora es Alaska, el *San Pedro* había encallado en una isla cercana a la península de Kamchatka. El capitán del barco, Vitus Bering, había enfermado y agonizaba junto con varios marineros, aparentemente debido al escorbuto. El resto de la tripulación sobrevivió por varios meses cazando los mamíferos marinos de la isla y algunas aves. Steller, un naturalista de origen alemán, se dio tiempo para levantar un cuidadoso catálogo de la flora y fauna de la isla. Hoy en día, la isla lleva el nombre del capitán Bering y su elevación mayor es el monte de Steller.

Steller encontró cantidades ingentes de osos marinos del Ártico, unos mamíferos pinnípedos de la familia de los leones marinos. «Eran incontables, la costa se cubría por completo con ellos», escribió años después en *Sobre las bestias del mar*, el recuento de sus experiencias como naturalista en la expedición de Bering^[13]. También se refirió a grandes cantidades de nutrias marinas e informó por primera vez sobre un enorme animal al que comparó —correctamente, en parte— con un manatí. Se trataba en efecto de un sirenio —un pariente de los manatíes y dugongos— de proporciones gigantescas al que ahora llamamos vaca marina de Steller.

Según las descripciones de Steller, el animal medía nueve metros, lo que permite calcularle un peso aproximado de unas diez toneladas. Como los sirenios actuales, este animal nadaba apaciblemente en busca de alimento, que en este caso eran las gigantescas algas de los bosques de *kelp*.

De acuerdo con Steller, la vaca marina estaba «cubierta con un cuero muy grueso, más parecido a la corteza de un encino ancestral que a la piel de un animal; el cuero del manatí [de la vaca marina] es negro, tiñoso, arrugado, duro y resistente; carece de pelos, y es casi impenetrable para un hacha o para la punta de un arpón».

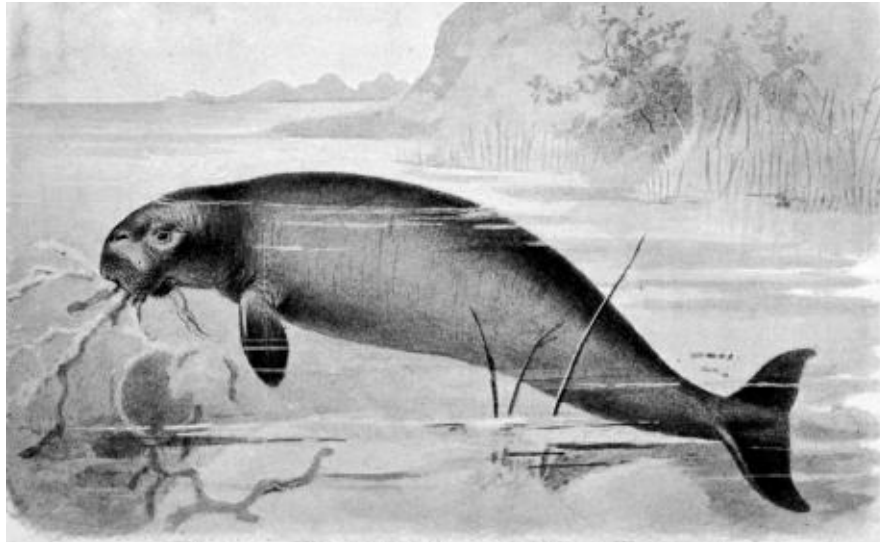


FIGURA VII.6. *Reconstrucción de la vaca marina de Steller, por J. F. Brandt, 1846.* Wikimedia Commons.

Cuando finalmente los sobrevivientes de la expedición lograron salir de la isla y regresaron a Kamchatka, Steller llevó consigo las noticias de la gran abundancia de animales en la zona. En poco tiempo, los *promyshlenniki*, los famosos cazadores y traficantes rusos de pieles, organizaron expediciones a la isla de Bering en busca de los animales descritos por Steller. Los *promyshlenniki* cazaron en tierra cantidades ingentes de zorras árticas, y en la costa, osos y nutrias marinas así como las menos abundantes vacas marinas. De estas últimas aprovechaban la carne, la piel, pero sobre todo la grasa, de la que se podía extraer un aceite muy fino. La eficiencia de los cazadores fue asombrosa. En 1768, apenas veintisiete años después de su descubrimiento para la ciencia, la vaca marina de Steller se extinguió.

El de la vaca marina de Steller parecería ser un caso claro de una especie llevada a la extinción por la cacería sin control. Evidentemente los últimos individuos fueron exterminados por los cazadores, pero al parecer el proceso fue más complejo. En un tiempo la vaca marina de Steller tuvo una distribución muy amplia —hasta las costas de California— que coincidía con los bosques de *kelp*. Una especie clave en estos bosques es la nutria marina, que al alimentarse de los erizos de mar mantiene las poblaciones de este equinodermo en niveles bajos. La cacería de las nutrias y la reducción en su abundancia resultó en una sobrepoblación de erizos, los que a su vez acabaron poco a poco con el *kelp*. Al acabarse su alimento, las vacas marinas también desaparecieron. La isla de Bering era el último refugio, tanto de los bosques intactos de *kelp* gigante como de las vacas marinas. Los *promyshlenniki* en efecto dieron muerte a las últimas vacas marinas, pero sólo dieron la puntilla

a una especie que llevaba decenas o tal vez cientos de años en camino a la extinción^[14].

El icono de la extinción

El dodo era una paloma incapaz de volar, endémica de Mauricio —una isla del Océano Índico localizada a unos mil kilómetros al este de Madagascar—. Los navegantes árabes y portugueses conocieron la isla Mauricio desde el siglo xv, pero no fue hasta 1598 que los holandeses la colonizaron y le impusieron su nombre actual, en honor de Mauricio de Nassau. Los nuevos colonos conocieron pronto al dodo y se asombraron tanto por su extraña apariencia como por su absoluta falta de temor ante la presencia de los hombres. Aunque ocasionalmente se le cazaba, no parece que el dodo haya sido muy apreciado como alimento, pues su carne no era particularmente apetitosa. Aun así, los dodos desaparecieron de Mauricio hacia 1645, debido principalmente a la introducción en la colonia de ratas y cerdos que depredaban sobre ellos o sobre sus huevos. Una de las aves más curiosas que ha existido se extinguió apenas medio siglo después de la llegada a su hábitat de los primeros colonizadores humanos.



FIGURA VII.7. *El dodo de Mauricio. Dibujo de Frederick William Frohawk, publicado como la lámina 24 en Extinct Birds de Lionel Walter Rothschild (1907).*

Las noticias sobre la desaparición del dodo en Mauricio llegaron pronto a oídos de los naturalistas europeos. Faltaba aún siglo y medio para que Cuvier

convenciera a la comunidad científica de la realidad del proceso de extinción, de manera que los eruditos de la época se mostraron escépticos ante la historia del dodo. Algunos de ellos llegaron a sugerir que se trataba ni más ni menos que del producto de la imaginación de los colonos holandeses, que no tenían mejor cosa que hacer en aquella isla tropical que inventar relatos fantásticos.

Ya en el siglo XIX, la figura del dodo se popularizó en Europa, llegando incluso a ser protagonista de historias como la de la carrera de comité en *Alicia en el País de las Maravillas*. El dodo se convirtió en el símbolo de las especies extintas, de los animales ineptos y mal adaptados que por ello estaban condenados a desaparecer. Si las modernas redes sociales hubieran existido en el siglo XIX, el dodo habría sido el símbolo del *epic fail*, es decir, de un yerro espectacular de alguien ante un reto normalmente fácil de superar. Como años más tarde escribió el humorista Will Cuppy, el dodo «parecería haber sido inventado con el único propósito de extinguirse, y eso fue lo único para lo que servía»^[15].

La emblemática extinción del dodo es uno de los muchos casos de desaparición de una especie animal causada por la actividad humana, pero no directamente por la cacería. Es más probable que el dodo haya sucumbido a los ataques de los animales introducidos y, en menor medida, a la destrucción de su hábitat natural.

El sapo y El Niño

La reserva biológica de Monteverde, en las montañas de Costa Rica, es uno de los sitios más diversos del planeta. El bosque tropical de niebla que cubre la región es el ecosistema con más especies de orquídeas en el mundo, además de que es hogar de un centenar de especies de mamíferos y cerca de cuatrocientos tipos de aves, entre las que destaca el quetzal centroamericano. En 1966, el zoólogo Jay Savage publicó un artículo en el que se informaba sobre el descubrimiento en la zona de Monteverde de «un extraordinario nuevo sapo (*Bufo*) de Costa Rica»^[16].

El sapo dorado era un anfibio pequeño, del largo de un pulgar humano que habitaba una pequeñísima área de apenas tres kilómetros de diámetro dentro de la reserva de Monteverde. Los machos eran de color anaranjado brillante que, dependiendo de la iluminación, podía parecer dorado —de ahí el nombre de la especie—; las hembras, de mayor tamaño que los machos, tenían en cambio colores menos llamativos. El tiempo pretérito en el que está

escrita esta breve descripción del sapo dorado nos da una pista sobre su estado de conservación: se trata de una especie oficialmente extinta.

El sapo dorado era, al igual que muchas otras especies de anfibios, muy dependiente de los ciclos climáticos de las montañas costarricenses. Cada año, entre abril y junio, los sapos emergían desde sus refugios subterráneos para aprovechar las primeras lluvias y aparearse. Las hembras depositaban los huevos fecundados en pequeñas pozas de agua, algunas de apenas unos centímetros de profundidad. Luego de un mes, los renacuajos emergían de los huevos, pero seguían dependiendo de los pequeños depósitos de agua para su desarrollo.

Los investigadores normalmente detectaban cientos de individuos durante la época de reproducción. Sin embargo, en la temporada de 1988 apenas se observó una decena de individuos —ocho machos y dos hembras—, y en 1989 únicamente apareció un solitario macho en inútil espera de las hembras para aparearse. Este infortunado individuo, un efímero *Solitario George* de los anfibios, fue el último sapo dorado que se observó.

La extinción del sapo dorado dejó perplejos a los científicos. Aunque se trataba de una especie vulnerable, por ser endémica de un área pequeñísima, los estudios a lo largo de los años setenta y ochenta jamás mostraron cambios en la población que pudieran sugerir algún peligro inminente para la especie. Al estar dentro de un área natural protegida, el hábitat del sapo no había sufrido alteraciones obvias. Finalmente, no se trataba de una especie que fuese cazada o consumida por los humanos. ¿Qué había causado la extinción del sapo dorado?

Se propusieron varias explicaciones. Se hablaba de cambios en el clima, del efecto de un incremento en la radiación ultravioleta causada por la disminución en la capa de ozono de la Tierra y del surgimiento de la quitidriomicosis, una enfermedad de los anfibios causada por hongos microscópicos. La más plausible de estas hipótesis es la que tiene que ver con el clima. En 1986 y 1987 se produjo un periodo inusualmente seco en la vertiente del Pacífico de Centroamérica, en respuesta al fenómeno de El Niño. Este fenómeno climático, conocido técnicamente como El Niño-Oscilación del Sur, o ENSO por sus siglas en inglés, es una perturbación en la corriente fría que nutre las costas de América del Sur. Sus efectos son variables en diferentes partes del continente, pero en Centroamérica generalmente causa una disminución en el número y la intensidad de los huracanes en el Pacífico, lo que conlleva una disminución en la cantidad de lluvia en las montañas.

En 1986 y 1987, las primeras lluvias en Centroamérica fueron escasas. En Monteverde, las pozas de agua fueron pocas y se secaron muy rápidamente, impidiendo el desarrollo de los huevos y de los renacuajos de los sapos. Es posible entonces que el fuerte fenómeno de El Niño haya sido el culpable de la extinción del sapo dorado, lo que significaría una extinción no directamente imputable al ser humano. Sin embargo, en el contexto del actual debate sobre el cambio climático causado por la actividad humana, se ha dicho que el incremento en la intensidad de los fenómenos de El Niño es una de las manifestaciones de ese cambio artificial en el clima. Si éste es el caso, no se puede exculpar completamente al ser humano de la lamentable desaparición del curioso sapo dorado. Se ha dicho, en efecto, que éste es el primer caso de una extinción animal provocada por el cambio climático global causado por la actividad humana^[17].

Cada evento de extinción es único

Las historias de las moas y la de la tortuga de la isla Floreana que vimos en el capítulo I atestiguan el tremendo poder destructivo de la cacería y la explotación de los animales como recurso. Nos enseñan también que, aun en estos ejemplos extremos de sobrexplotación, hay otros factores que contribuyen a la extinción, como la deforestación en el caso de Nueva Zelanda y el fuego intencional en la isla Floreana. Las extinciones del alca gigante y de la paloma pasajera nos enseñan cómo la demanda de un producto (las plumas del alca o la carne de la paloma) puede desencadenar acciones con el potencial de llevar a la desaparición de especies superabundantes que podrían parecer invulnerables a la extinción. El caso de la vaca marina de Steller muestra cómo la cacería puede dar la puntilla a especies que por otras razones se encuentran al borde de la extinción.

El caracara de Guadalupe y varias subespecies de animales depredadores —lobos, osos, leones, tigres— han desaparecido por la persecución directa del ser humano sobre estos animales, que en su momento se consideraron una amenaza para las actividades humanas. En el siguiente capítulo veremos otros ejemplos de iniciativas que pretenden la extinción deliberada de algunas especies que hoy en día se consideran nocivas.

El dodo, el símbolo de la extinción, es sólo una de las muchas especies que se han extinguido por el efecto indirecto de la presencia humana, a través de la alteración del ambiente y de la introducción de especies domésticas.

Finalmente, el caso del sapo dorado nos enseña la posibilidad de que hoy en día se estén extinguiendo numerosas especies sin que lo sepamos. Este caso nos muestra también el efecto indirecto de la actividad humana mediante la alteración de los patrones climáticos.

Las extinciones en tiempos históricos tienen una constante: todas ellas parecen haber sucedido por efecto, directo o indirecto, de la actividad humana. Sin embargo, existen muchas maneras en las que ese efecto ha causado la desaparición de especies. Cada historia de extinción es diferente, con sus peculiaridades geográficas, históricas y biológicas y con su propio ritmo de acción. Como lo revelan las crónicas de este capítulo, son diversos los caminos que llevan hacia la extinción.

LA SEXTA EXTINCIÓN MASIVA

Como hemos visto en los dos últimos capítulos de las *Crónicas de la extinción*, son muchas y muy variadas las especies animales que han desaparecido del planeta desde el surgimiento del ser humano moderno. Considerando que estas extinciones han tenido lugar en unos pocos miles de años, que en la escala geológica representan apenas un pestañeo, se ha dicho que lo que estamos observando es ni más ni menos que el sexto episodio de extinción masiva en la historia del planeta^[18]. Como vimos en el capítulo IV, los cinco episodios tradicionales se han identificado por notables descensos en el número de especies presentes en el registro fósil. ¿Se puede equiparar la magnitud del proceso de extinción actual con la de las extinciones en el tiempo geológico?

En 2011, el paleobiólogo Anthony Barnosky y sus colaboradores compararon el número de extinciones que han sucedido en los últimos miles de años con las que se pueden inferir a partir del registro fósil en los últimos 540 millones de años. Cualquier comparación de este tipo debe, por supuesto, tomar en cuenta las diferencias en la escala de tiempo (cientos o miles de años contra millones de años) y el número de especies existentes en un momento dado. Barnosky y sus colegas calcularon entonces la tasa de extinción relativa como la proporción de especies (no como el número absoluto) que se han perdido por unidad de tiempo, lo que permitió hacer comparaciones entre datos recientes y datos paleontológicos. La conclusión general del estudio, corroborada por análisis más recientes, es que las tasas de extinción actuales, es decir, las de extinciones provocadas por la presencia humana, son más altas

que las que se pueden observar en el registro fósil en periodos «normales», es decir, entre los episodios de extinción masiva^[19].

Este tipo de análisis se ha criticado por la comparación entre las tasas de extinción calculadas con datos históricos (en una escala de tiempo de cientos de años) y las calculadas con métodos paleontológicos o de reconstrucción de árboles evolutivos (con escalas de millones de años). No se puede equiparar, señalan los críticos, procesos con escalas de tiempo tan diferentes. De cualquier manera, aunque no se pudiera hablar literalmente de una sexta extinción masiva, los datos de Barnosky y de otros estudios nos muestran una realidad científica que no podemos ocultar: la velocidad con la que ocurren las extinciones se ha incrementado notoriamente en correspondencia con la expansión y el crecimiento de las poblaciones humanas.

Como los mecanismos de generación de especies nuevas no pueden compensar esa acelerada tasa de pérdida de especies, el resultado neto es una disminución apreciable de los niveles de diversidad biológica. Esta brutal pérdida de diversidad, independientemente de si se trata o no de un episodio de extinción masiva equiparable a los cinco originales, es un asunto que potencialmente puede poner en peligro a la especie humana misma.

VIII. La cabra que se extinguió dos veces: la desextinción y la extinción dirigida

Nacer dos veces no es más sorprendente que nacer una. En este mundo todo es resurrección.

VOLTAIRE, La princesa de Babilonia

El 30 de julio de 2003, el bucardo o cabra montés ibérica regresó del mundo de los animales extintos... y se extinguió por segunda vez. El bucardo era una subespecie de cabra silvestre de los Pirineos españoles que se extinguió en el Día de Reyes del año 2000, cuando *Celia*, la última representante de su estirpe, murió aplastada por un árbol que cayó durante una tormenta. Meses antes, los científicos habían obtenido de la oreja de *Celia* una muestra de tejido, la cual mantuvieron en congelación. Ante la inminencia de la extinción del bucardo, se había decidido que como último recurso se preservaría al menos la muestra de tejido, para tener disponible una línea de células vivas del animal cuando *Celia* muriera.

A partir de 2002, se comenzaron a usar las células preservadas en varios intentos para clonar a *Celia* y traer al bucardo de regreso de la extinción. La clonación consiste en crear individuos genéticamente idénticos a un donador; esto se logra insertando un núcleo celular proveniente de algún tejido del organismo que se intenta clonar —por ejemplo, *Celia*— en una célula reproductiva de una hembra del organismo receptor —el óvulo de una cabra hembra, por ejemplo—. El ADN del núcleo insertado toma el control del crecimiento y desarrollo de la célula reproductiva, la cual se convierte en una copia genéticamente idéntica al donador, un clon del organismo original.

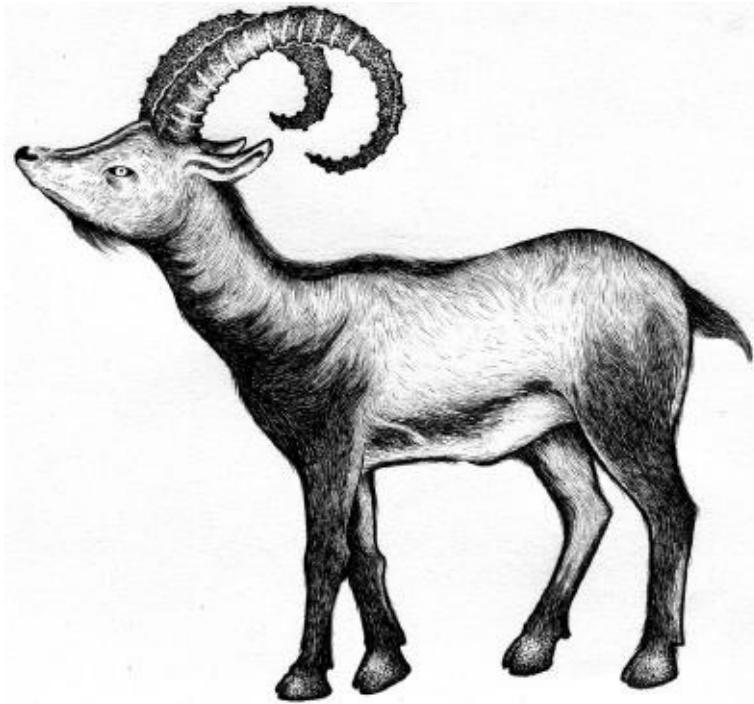


FIGURA VIII.1. *Bucardo o cabra montés ibérica. Dibujo de Ángela Arita Noguez.*

En 1996, un equipo de científicos escoceses logró por primera vez crear un clon de un vertebrado. Los investigadores insertaron un núcleo celular proveniente de la glándula mamaria de una oveja adulta en un óvulo no fecundado proveniente de otra oveja. El óvulo, luego de ser implantado en el útero de una hembra, se desarrolló normalmente y meses después nació *Dolly*, una oveja que en su composición genética era idéntica al animal del que se había obtenido el núcleo celular^[1]. Aunque murió joven, a los seis años de edad, *Dolly* se cruzó en varias ocasiones y tuvo descendencia perfectamente normal.

En el intento por clonar a *Celia*, la cabra ibérica, un equipo de investigadores españoles usó la misma técnica empleada para crear a *Dolly*. Se extrajeron núcleos celulares del tejido que se había obtenido de la oreja de *Celia* y se implantaron en lugar de los núcleos originales en óvulos de una cabra doméstica. Los pocos óvulos manipulados que no murieron se implantaron en cabras hembras, pero sólo uno de ellos subsistió hasta formar un embrión y luego un feto aparentemente viable^[2]. En la mañana del 30 de julio de 2003 nació el clon de *Celia*; lamentablemente, la cabrilla tenía una grave malformación en los pulmones y murió ocho minutos después de su nacimiento. El bucardo existió de nuevo durante unos breves y dolorosos momentos, sólo para volver a extinguirse cuatrocientos ochenta segundos después.

En la definición estricta de extinción, la que admite que ésta se produce en el momento en que muere sin descendencia el último individuo de una especie o de un clado, el bucardo efectivamente se extinguió en el año 2000, regresó de la extinción en la mañana del 30 de julio de 2003, y volvió a extinguirse ocho minutos después. De hecho, el caso de la cabra ibérica es el primer ejemplo de lo que se ha dado en llamar la *desextinción*, que es el proceso de revertir —en forma artificial, por supuesto— la extinción de una especie.

En principio, el procedimiento aplicado a la cabra ibérica podría permitir la clonación de especies que se han extinguido recientemente y de las cuales se ha preservado algún tipo de tejido vivo. La tortuga gigante de la isla Pinta podría ser una de las especies candidatas para este tipo de procedimientos, pues existen muestras de tejido tomadas de *Solitario George*. La idea de clonar a *George* es, por lo pronto, sólo un sueño. Los críticos de iniciativas de este tipo señalan las dificultades técnicas y, sobre todo, las cuestiones éticas sobre si es adecuado crear copias idénticas de una tortuga que de todas maneras fue el último y solitario representante de su especie por más de cincuenta años.

La experiencia con la cabra montés ibérica también ha hecho renacer el viejo sueño de regresar del mundo de las especies extintas a animales desaparecidos hace mucho tiempo. Entre los candidatos favoritos para ese tipo hipotético de desextinción, sobre todo en la literatura popular, figuran el dodo, las moas, los mamuts lanudos y otros elementos de la megafauna pleistocena, y, por supuesto, los dinosaurios.

LA (IMPOSIBLE) CLONACIÓN DE UN DINOSAURIO

En *Parque Jurásico*, la película de Steven Spielberg basada en el libro de Michael Crichton, los técnicos logran reconstruir dinosaurios vivos a partir de ADN de esos animales; el ADN se obtiene de sangre de dinosaurio contenida en mosquitos conservados en piezas de ámbar. Las realistas imágenes del enorme tiranosaurio y los astutos raptos que aterrorizaron a los empleados y visitantes del parque inspiraron a toda una generación de jóvenes fascinados con las criaturas extintas y con la posibilidad de revivirlas. Así, muchas personas estarían fascinadas con la posibilidad de observar alguna vez un mamut lanudo vivo, o al menos un dodo o una paloma pasajera. O, si somos más ambiciosos, ¿por qué no un dinosaurio del Cretácico como en la película?

[3] ¿O qué tal reconstruir algunos trilobites y crear, en lugar de un parque jurásico, un acuario cámbrico? En la realidad, la reconstrucción plena de una especie extinta es imposible con la tecnología disponible actualmente; es más, algunos especialistas opinan que tal reconstrucción es intrínsecamente imposible^[4].

En las obras de ficción y en la literatura popular se habla frecuentemente de la clonación de especies extintas. Sin embargo, la verdadera clonación — como vimos en el caso de la cabra ibérica— requiere la existencia de células vivas, o al menos de núcleos celulares intactos, de un donador de la especie que se quiere desextinguir. Debe existir además una especie viviente cercanamente emparentada para contar con una hembra que provea los óvulos necesarios para la clonación, además del útero, en el caso de los mamíferos. Estos requerimientos hacen que la técnica de clonación usada para *Celia* sea totalmente inviable para la inmensa mayoría de las especies extintas.

Entre más antigua sea la especie, más difícil sería hallar células viables, y más complicado también encontrar una especie receptora. Aun para especies de reciente extinción, como el tilacino o lobo de Tasmania, que se extinguió en 1936, podría ser muy difícil encontrar una especie receptora. El tilacino era un marsupial depredador del que no existen parientes cercanos. De hecho, el tilacino era la única especie de su propia familia —la de los tilacínidos, naturalmente—, de la cual no se conoce otro representante sino en fósiles de más de treinta millones de años. Aun en el remotísimo caso de que se encontraran núcleos celulares con el genoma del tilacino, no habría manera de insertar esos núcleos en una célula reproductiva de alguna especie cercana. Por ello, entre otras razones, se ha cancelado un proyecto del Museo Australiano de Sídney que hace unos años había propuesto la clonación de un tilacino.

Desde 2008 ha habido anuncios de iniciativas para clonar mamuts lanudos a partir de células de ejemplares preservados en el *permafrost* —la capa de suelo permanentemente congelado— de Siberia. En algunos lugares de esa región existen depósitos cuya temperatura se ha mantenido muy por abajo del punto de congelación desde hace miles de años. Como vimos en el capítulo II, desde hace cientos de años se sabe de la existencia de restos de mamut lanudo preservados de manera asombrosa en estos congeladores naturales. Es posible —muy poco probable, pero posible— que algún día se hallen células viables, o al menos núcleos celulares completos, en los tejidos de mamuts congelados en el *permafrost*. Si eso sucede, la idea de los proyectos de desextinción sería insertar estos núcleos celulares de mamut en células reproductivas de elefante

asiático, para luego gestar el producto en alguna elefanta. El producto sería un clon de mamut, un representante de una especie extinta hace miles de años.

Sin embargo, la secrecía con la que se manejan estos proyectos, aunada a la mala reputación de algunos de los participantes y a la extrema dificultad intrínseca de los procedimientos, hacen dudar de su viabilidad^[5]. Hasta mediados de 2016 no ha habido avances sustanciales en ninguno de estos proyectos, y es poco probable que alguna vez los haya. En opinión de científicos escépticos, como Beth Shapiro, autora del libro *Cómo clonar un mamut*, es prácticamente imposible que los cromosomas puedan sobrevivir por miles de años, incluso en restos animales perfectamente preservados en el *permafrost*^[6]. En opinión de Shapiro, la clonación clásica jamás podrá reconstruir un mamut.

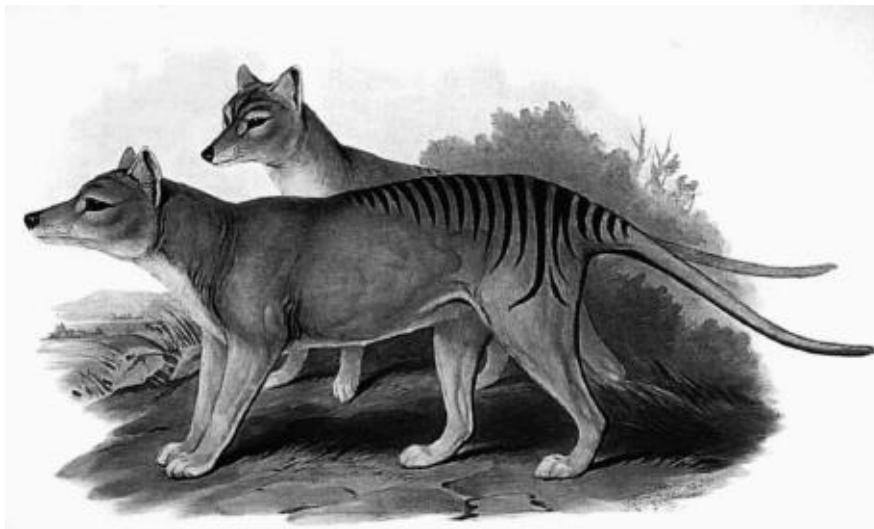


FIGURA VIII.2. El tilacino o lobo de Tasmania en una ilustración en el libro de John Gould, *Los mamíferos de Australia* (1863).

Si la clonación de un animal de la Era de Hielo es prácticamente imposible, como parece ser el caso, la de un dinosaurio del Cretácico es todavía más improbable. En algunos fósiles de dinosaurio de más de 66 millones de años se ha hallado lo que parece ser tejido blando, e incluso fibras de colágeno —una proteína de los cartílagos, ligamentos, tendones, así como de la piel en los vertebrados— con su estructura molecular original^[7]. Aun así, la probabilidad de hallar fragmentos de ADN (ya no digamos un núcleo celular) es extraordinariamente baja. El sueño de ver un dinosaurio vivo seguirá perteneciendo al mundo de la ficción, al menos en el futuro previsible.

Si estamos dispuestos a estirar un poco la definición de lo que significa la desextinción de una especie, entonces existen otras opciones tecnológicas en lugar de la clonación para traer de regreso, al menos parcialmente, a una

especie extinta. Está, por ejemplo, la clásica y efectiva técnica de la selección artificial.

DESEXTINCIÓN POR SELECCIÓN ARTIFICIAL

En 1886 se extinguió la quagga, una variedad de cebra que habitaba las planicies semiáridas de lo que hoy en día es Sudáfrica. Se trataba de un équido de aspecto singular, pues tenía rayas bien marcadas solamente en la cabeza y el cuello, además de que el color de fondo era pardo y las patas eran blancas. Desde el establecimiento de los primeros colonizadores europeos en el siglo XVIII, la quagga fue perseguida sin piedad hasta que se extinguió en su hábitat natural a finales del siglo XIX.



FIGURA VIII.3. *Un macho de quagga en una pintura de Jacques-Laurent Agasse, ca. 1800.*

En los años ochenta revivió el interés por el estudio de las quaggas cuando se logró aislar ADN de esa cebr a partir de pieles preservadas como trofeos o como ejemplares de museo. El sorprendente resultado del análisis de ese ADN fue que la quagga, considerada hasta entonces una especie separada, resultó ser una subespecie de la cebr a común. Fue entonces cuando se propuso la desextinción de la quagga a través de cruza s selectivas de individuos de la cebr a común.

La técnica es tan antigua como la domesticación de las plantas y animales. Se trata simplemente de favorecer la reproducción de los individuos que contienen el mayor número de atributos positivos desde el punto de vista del domesticador. A lo largo de las generaciones se producen plantas o animales que son muy diferentes de las variedades silvestres originales. Gracias a este

proceso de selección artificial existen los perros domésticos —descendientes del lobo gris—, el ganado vacuno —seleccionado a partir de bóvidos ancestrales como el uro europeo—, el maíz —seleccionado a partir del teocintle— y muchas otras variedades de plantas y animales domesticados.

El mismo principio de la selección artificial se puede aplicar para intentar la desextinción de al menos algunos animales. Desde 1987 se ha seguido un estricto programa de selección artificial para recrear, a partir de cebras comunes, un grupo de individuos que tienen el aspecto de quaggas auténticas. En cada generación se seleccionan para cruzar aquellos individuos que tienen menos rayas en los cuartos traseros, que tienen la coloración más parda y las patas más blancas. Con el tiempo se han logrado criar individuos que no solamente tienen la coloración típica de las quaggas, sino que muestran la complexión general del cuerpo similar a la de la cebra extinta^[8].

En este experimento de selección artificial no se ha revertido, en sentido estricto, la extinción de la quagga. El clado de ese animal se perdió sin remedio cuando murió el último de ellos, y con él toda la historia evolutiva y su composición genética particular. Las «quaggas» que han resultado del programa de desextinción son una suerte de réplicas artificiales de la auténtica subespecie que alguna vez dominó las sabanas sudafricanas.

Algo más cercano a la verdadera desextinción se podría lograr en el caso de las tortugas gigantes de las islas Galápagos. Al final del capítulo I vimos cómo en la isla Isabela se han encontrado galápagos que son híbridos entre la especie de esa isla y las de las islas Pinta y Española, que se extinguieron en sus sitios de origen. Vimos también que se ha iniciado ya un programa de cruza selectiva para tratar de reconstruir el aspecto que tenían las variedades desaparecidas. Como en este caso parte del genoma de los híbridos es auténtico ADN proveniente de las especies extintas, el programa de desextinción debe dar resultados positivos en poco tiempo. Nunca tendremos otro *Solitario George* con 100 % del genoma de la especie de la isla Pinta, pero al menos tendremos algunas tortugas con un aspecto muy parecido y, más importante, con un porcentaje alto del genoma original de esa especie.

DESEXTINCIÓN CON TÉCNICAS GENÉTICAS

¿Se podría reconstruir un mamut lanudo a través de cruza selectiva de elefantes? En principio, sí sería posible emprender un programa de selección artificial para producir elefantes con cierto aspecto de mamut. Sin embargo,

hay al menos dos problemas importantes en este caso. La selección artificial requiere de reiterar la cruce selectiva de los animales durante varias generaciones para empezar a obtener resultados notorios. El proyecto de las quaggas va ya en la quinta generación de cebras seleccionadas y los resultados hasta ahora, aunque muy alentadores, son todavía incipientes. En el caso de especies longevas y con ciclos generacionales muy largos, como los elefantes, los atributos propios del mamut podrían tardar siglos en manifestarse de manera apreciable.

Un problema más grave es la lejanía genética y evolutiva entre elefantes y mamuts. Las quaggas y las cebras comunes pertenecen a la misma especie, y sus linajes se separaron apenas hace unos cuantos miles de años. Esto hace que en el genoma de las cebras comunes exista todavía un porcentaje elevado de información genética de atributos propios de la quagga, como se ha visto en el éxito del Proyecto Quagga. El caso de los mamuts es muy diferente; los mamuts y el elefante asiático pertenecen a líneas evolutivas que se separaron hace más de dos millones de años, por lo que las diferencias entre los dos animales son mucho más profundas que entre la quagga y la cebra común. En consecuencia, una buena parte del genoma que determinaba algunos de los atributos típicos de los mamuts muy probablemente no está presente en el ADN de los elefantes. Por más cruces selectivas que se hicieran entre elefantes modernos, la información genética faltante para producir atributos de mamut no tiene forma de aparecer en las generaciones subsecuentes.

Para subsanar este problema, existen procedimientos biotecnológicos que constituyen una tercera opción, junto con la clonación y la selección artificial, para intentar la reconstrucción de un animal extinto. La idea básica de estas técnicas es insertar fragmentos de ADN de especies extintas en células reproductivas de especies vivientes. De esta manera, el ADN de la especie extinta se expresa en los individuos que se desarrollan a partir de esas células y se manifiesta también en las siguientes generaciones. Para entender este procedimiento y sus alcances, revisemos un ejemplo concreto, el de la paloma pasajera.

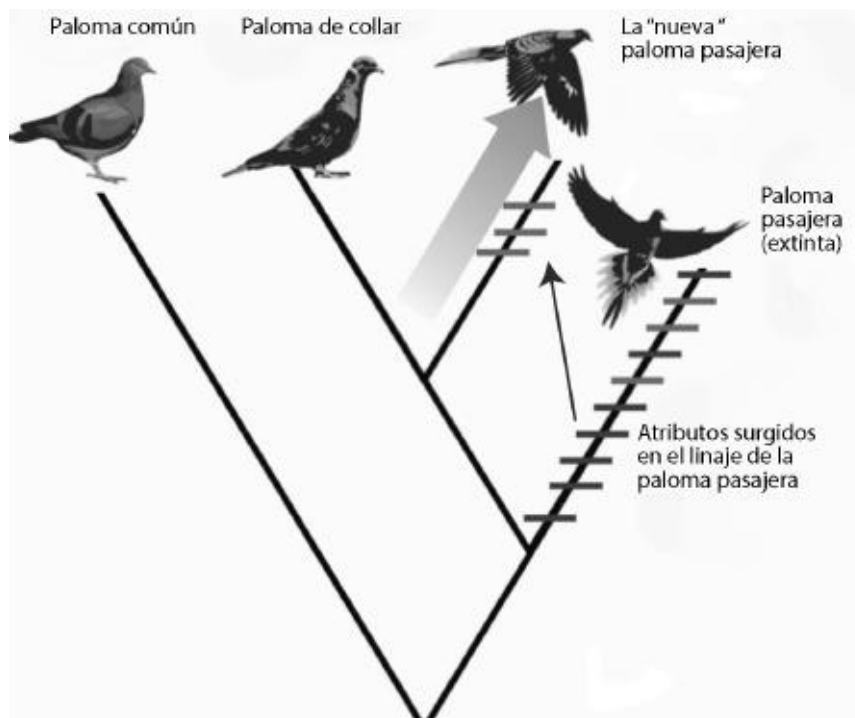


FIGURA VIII.4. El programa de desextinción de la paloma pasajera no pretende resucitar esta especie; se trata de crear poblaciones a partir de la paloma de collar que tengan atributos similares a la paloma pasajera original. Ésta sería una «nueva paloma pasajera». Imagen adaptada de la página de la iniciativa Revive & Restore.

El proyecto de desextinción de la paloma pasajera pretende construir individuos muy parecidos a esas aves usando ADN obtenido a partir de los ejemplares de museo que quedaron después de la extinción de la especie en 1914 (capítulo VII). Los responsables del proyecto explican claramente que «la meta no es recrear copias idénticas de las palomas pasajeras históricas; eso es algo imposible de lograr»^[9]. Se trata en cambio de insertar fragmentos relevantes del ADN de la paloma pasajera en una especie viviente, la paloma de collar, para crear una suerte de híbridos que presenten características cada vez más parecidas a las que tenía la paloma pasajera.

Se buscaría, por ejemplo, que el aspecto externo de los híbridos —las «nuevas palomas pasajeras»— fuera similar al de *Martha* y sus congéneres. En particular, la forma de las alas, la cola triangulada y los patrones de coloración son características que se pueden manipular genéticamente. Algo más complicado es el conjunto de rasgos de conducta que tendrían que modificarse en la paloma de collar. Reconstruir el comportamiento de migración y de agrupación en grandes parvadas sería uno de los grandes retos del proyecto, así como lograr que los ritos de apareamiento y de crianza de la paloma pasajera se manifestaran en los híbridos.

¿Lograría esta iniciativa desextinguir a la paloma pasajera? No, como lo admite la propia fundación financiadora del proyecto, en el sentido estricto de

la palabra, pero sí en un sentido más amplio. Lo que se lograría crear sería un tipo nuevo de paloma que, con ciertos límites, tendría un nicho ecológico — un papel en el ecosistema— muy semejante al que tenía la paloma pasajera original en los ambientes propios del este de los Estados Unidos. De tener éxito el proyecto, es posible que las generaciones del futuro puedan azorarse, como lo hizo J. J. Audubon en 1803, con enormes parvadas de palomas que eclipsen el sol del mediodía (capítulo VII).

Este tipo de desextinción es también potencialmente viable en el caso del mamut lanudo, aunque existen dificultades técnicas importantes. Para este animal, se pueden usar los elefantes asiáticos como especie receptora, y los fragmentos de información genética de mamut pueden identificarse con relativa facilidad, pues el genoma del mamut lanudo se conoce relativamente bien^[10]. En este proyecto, hay tres atributos de los mamuts —relacionados los tres con la adaptación a climas fríos— que se intentaría desarrollar en los elefantes modificados genéticamente: 1) la capacidad respiratoria y de circulación del oxígeno en condiciones de frío extremo; 2) el desarrollo de una gruesa capa de grasa aislante; 3) el pelaje denso que le da el nombre al mamut lanudo.

Si este proyecto fructifica, el resultado sería una serie de elefantes asiáticos con aspecto similar al de los mamuts lanudos del Pleistoceno. Más adelante, al generar una población de estos elefantes, mediante cruza dirigidas se podría ir haciendo que los animales tuvieran cada vez más marcados los atributos propios de los mamuts. Al final, igual que en el proyecto de la paloma, el resultado no sería un mamut «histórico» (es decir, igual a la especie pleistocena) sino un «nuevo mamut lanudo», un linaje artificial creado a partir de la línea evolutiva de los elefantes asiáticos.

Al igual que con el proyecto de la paloma pasajera, la iniciativa del mamut lanudo no pretende únicamente producir animales desextinguidos para exhibición como curiosidades de un zoológico o colección privada. El ambicioso objetivo final es constituir una población silvestre de mamuts que pudiera volver a poblar las áreas que alguna vez habitó. La meta, en otras palabras, no es sólo construir animales parecidos a los mamuts, sino reconstruir el papel ecológico de estos animales extintos en los ecosistemas boreales de Eurasia y Norteamérica. Esta idea va de la mano con otra iniciativa de gran alcance que empezó a gestarse como una idea extravagante a mediados de la primera década del siglo XXI: la de traer de regreso la megafauna pleistocena de Norteamérica.

La iniciativa de recrear los ambientes en los que se desarrolló la megafauna de la Era de Hielo empezó a tomar forma en un taller que se organizó en 2004. En el taller se estudiaron opciones para hacer volver a su estado silvestre original extensas porciones de los terrenos protegidos de Norteamérica, usando para describir ese proceso el término en inglés *rewilding* (que puede traducirse como «reasilvestrar», donde *asilvestrar* significa volver —a una planta o animal— al estado silvestre)^[11]. Por «estado silvestre original» los participantes en el taller entendían el aspecto, la composición y las funciones que tenían los ambientes antes de la extinción de la megafauna a finales del Pleistoceno^[12].

Un componente central, y altamente controvertido, de la iniciativa es la idea de recrear los ecosistemas pleistocenos con la introducción de especies emparentadas con los miembros originales de la megafauna de la Era de Hielo. En un principio se propuso, por ejemplo, la liberación de caballos de Przewalski, cebras comunes y asnos salvajes para tomar el lugar de los équidos nativos de Norteamérica, todos los cuales se extinguieron a finales del Pleistoceno^[13]. Asimismo, los dromedarios y los elefantes podrían remplazar a las diferentes especies de llamas y camellos pleistocenos y a los mamuts y mastodontes nativos. Se habló incluso de introducir especies carnívoras como el león africano y el *cheeta* para recrear los nichos de los depredadores nativos pleistocenos (el león y el *cheeta* americanos del Pleistoceno). Estas introducciones de especies se complementarían con esfuerzos para repoblar con especies como el berrendo y el bisonte aquellas zonas en las que estas especies nativas han desaparecido.

En una primera acción para mostrar la viabilidad y la relevancia del *rewilding*, se ha introducido de regreso en los Estados Unidos una especie de tortuga extinta en ese territorio desde el Pleistoceno. Se trata de la tortuga de Mapimí, una especie terrestre de gran tamaño que se conoce en forma silvestre sólo de la región del Bolsón de Mapimí en el norte de México. Esta tortuga típica del desierto chihuahuense se descubrió para la ciencia apenas a finales de los años cincuenta, a pesar de que la gente del lugar la conocía perfectamente. Se sabe que en el Pleistoceno la especie habitaba partes de lo que ahora son los Estados Unidos, pero no se conocen poblaciones vivas en esa área. Recientemente se liberaron unos cuantos ejemplares de esta tortuga en áreas naturales protegidas en el estado de Nuevo México. Por supuesto, hay una gran diferencia en la percepción pública entre reintroducir una

especie de tortuga y liberar leones o elefantes en áreas naturales de los Estados Unidos. Es por ello que la iniciativa del *rewilding* sigue siendo muy controvertida.

A pesar de todas las controversias, la idea de reconstruir de alguna manera la megafauna pleistocena sigue viva, al menos como una posibilidad a largo plazo. Además, los avances en la desextinción parcial de algunas especies con técnicas de ingeniería genética han abierto nuevos horizontes. Por ejemplo, para los objetivos del *rewilding* sería mucho mejor la introducción de los «nuevos mamuts» que de elefantes asiáticos o africanos, que son especies que no están adaptadas a las condiciones climáticas de Norteamérica. De igual manera, algunas especies modernas podrían alterarse genéticamente para ser más parecidas a sus ancestros pleistocenos. Esto se podría lograr, por ejemplo, insertando ADN de bisonte ancestral en bisontes americanos actuales, o realizando la misma operación con ADN de équidos pleistocenos en caballos domésticos modernos.



FIGURA VIII.5. El *rewilding* pretende reconstruir paisajes del Pleistoceno, como esta imagen con animales pleistocenos de España, como mamuts lanudos, rinocerontes lanudos, caballos silvestres y leones cavernarios. Ilustración de Mauricio Antón en Wikimedia Commons.

Tanto la idea del *rewilding* como la desextinción con técnicas genéticas están en fases muy incipientes de su concepción y desarrollo. Se trata de iniciativas de muy largo alcance y con consecuencias de gran importancia para el futuro del cuidado de la diversidad biológica, pero que por lo pronto no dejan de ser ideas. En todo caso, es importante recalcar —reiteradamente— que ninguna de estas dos iniciativas intenta reconstruir especies extintas. Lo que se intenta en las dos instancias es devolver a los ecosistemas naturales

algunas de las funciones que se perdieron con la extinción de la megafauna pleistocena.

La desextinción plena de un animal pleistoceno o cretácico sigue perteneciendo, por lo pronto, al mundo de la imaginación. Sin embargo, no es totalmente imposible —aunque sí extraordinariamente improbable—, que en el futuro se desarrolle alguna tecnología que pudiera hacer realidad lo que hoy consideramos imposible: el sueño de ver vivo un mamut o un tiranosaurio.

EXTINCIÓN DIRIGIDA: EL *ESPECICIDIO*

Mientras los científicos se reúnen para discutir iniciativas para la desextinción de los animales, otros investigadores están desarrollando tecnologías para emprender la acción contraria: la extinción deliberada de algunas especies. Estas iniciativas han cobrado fuerza con el reciente surgimiento o resurgimiento de enfermedades tropicales, como la fiebre de Zika^[14].

A mediados de 2015 se detectó en el noreste de Brasil un número extraordinario de casos de recién nacidos con microcefalia. En esta condición médica, el cerebro de los gestantes no se desarrolla adecuadamente y los bebés nacen con cabezas de tamaño muy pequeño. Se trata de una condición que puede desencadenarse por diversos factores, algunos de ellos genéticos y otros ambientales. En el caso de Brasil se especuló sobre diferentes causas posibles, pero los estudios más recientes muestran que el culpable de la actual epidemia de casos de microcefalia es un virus, el de Zika^[15].



FIGURA VIII.6. Un mosquito tigre asiático, *Aedes albopictus*. Estos insectos son candidatos para campañas de especicidio. Imagen de los Centers for Disease Control and Prevention, de los Estados

Unidos.

El Zika es una enfermedad que se conoce desde los años cincuenta en su lugar de origen, en el África tropical (su nombre deriva del bosque de Zika, en Uganda). Su aparición en Brasil, y sobre todo la gravedad de sus efectos sobre el desarrollo de los fetos humanos, puso en alerta a la comunidad médica del mundo. Normalmente, la infección por el virus de Zika se manifiesta con síntomas como fiebre, dolores musculares y de cabeza y erupciones en la piel, que van desde leves hasta severos, pero que rara vez dejan secuelas graves. Por razones aún no muy claras, en ocasiones el virus de Zika puede producir efectos mucho más graves, como la microcefalia en los gestantes y el síndrome de Guillain-Barré, un trastorno autoinmune que afecta la capa de mielina que cubre las conexiones de las neuronas.

El virus de Zika, igual que otro virus de reciente aparición en América, el del chikunguña, se transmiten por la picadura de mosquitos del género *Aedes*. En particular, el mosquito de la fiebre amarilla y el mosquito tigre son especies invasoras —no nativas de América— que son muy eficientes en la transmisión de algunas enfermedades tropicales de gran importancia médica, como la fiebre amarilla, el dengue y, recientemente en América, las fiebres chikunguña y de Zika.

Con el surgimiento en los últimos años de las epidemias en América de estas enfermedades tropicales, se ha vuelto a discutir una idea propuesta en 2003 por Olivia Judson. «La idea básica es simple —escribió la bióloga y divulgadora científica en un editorial en el *Times* de Nueva York—: el *especicidio*, la extinción deliberada de una especie completa.»^[16] Judson se refería en aquel tiempo a la posibilidad de llevar a la extinción al mosquito anófeles —que en realidad es un complejo de unas treinta especies— para acabar con la enfermedad que ese mosquito transmite, el paludismo^[17]. Judson apelaba a las herramientas de la ingeniería genética para crear un «gen de la extinción», un fragmento de ADN que pudiera ser autodestructivo en los individuos que lo portaran y que se podría insertar en las poblaciones naturales para causar la desaparición de al menos algunas de las especies del complejo anófeles.

En 2016, con la presión de la crisis del virus de Zika en Sudamérica y con los avances en las técnicas genéticas, la idea de llevar a cabo una campaña de extinción dirigida sobre una especie de mosquito ha cobrado relevancia y viabilidad. Desde años antes, la empresa de biotecnología Oxitec desarrolló un tipo de mosquito macho transgénico —es decir, al que se le ha insertado un fragmento de ADN proveniente de otro organismo— que es capaz de

fecundar a las hembras, pero cuyos descendientes mueren antes de llegar a la fase adulta. De esta manera, los machos transgénicos introducidos a las poblaciones naturales compiten con los machos naturales por las hembras, pero no dejan descendencia. Usando estos machos transgénicos se ha logrado en condiciones naturales la eliminación de entre 80 y 95 % de los mosquitos de la fiebre amarilla^[18]. ¿Se debería usar esta tecnología para extinguir los mosquitos que son vectores de enfermedades graves?

La extinción definitiva de la especie no es necesaria para controlar la dispersión de una enfermedad, argumentan los críticos. Además, se plantea la pregunta ética de si es adecuado el llevar a la extinción, con conciencia de estar haciéndolo, a una especie, aunque ésta sea un molesto y potencialmente peligroso mosquito. ¿Sería igual de justificado llevar a la extinción a los tigres de Bengala o a los tiburones blancos, ambos animales que provocan algunas muertes humanas cada año? ¿O qué tal si hablamos de una araña venenosa, como la viuda negra, o de un alacrán?

La misma pregunta se ha planteado para un parásito que produce uno de los padecimientos más dolorosos conocidos por la humanidad. El gusano de Guinea es un nematodo que produce la dracunculiasis, una condición médica que hace cientos de años era muy común en las zonas semiáridas del norte y centro de África y del occidente de Asia. La enfermedad se contrae cuando una persona bebe agua contaminada con copépodos —diminutos crustáceos de agua dulce, similares a las pulgas de agua— que contienen larvas del gusano. Los gusanos se desarrollan en el intestino de la persona afectada, alcanzando en el caso de las hembras hasta ochenta centímetros de largo. Después de un tiempo, el gusano comienza un lento y doloroso —para el hospedero— tránsito hacia el exterior. En la gran mayoría de los casos, los gusanos comienzan a emerger en una pierna, produciendo una llaga de gran tamaño y extraordinariamente dolorosa. El enfermo, para aminorar el dolor y la comezón, tiende a sumergir sus piernas en alguna poza. Es entonces cuando el gusano hembra termina de emerger, liberando al mismo tiempo miles y miles de larvas, que infestan los copépodos de la poza. Estos copépodos, al ser ingeridos junto con el agua por una nueva persona, inician un nuevo ciclo en la vida del gusano.

A mediados de los años ochenta se registraron más de tres millones de casos de dracunculiasis en más de veinte países. A inicios del siglo XXI el número anual de casos bajó a menos de cien mil y en 2015 hubo solamente veintidós personas afectadas en cuatro países africanos: Sudán del Sur, Chad, Malí y Etiopía. Esta dramática caída en el número de casos es una señal de

éxito para un programa de erradicación de la enfermedad que fue iniciado a finales de los ochenta por la fundación encabezada por el ex presidente de los Estados Unidos Jimmy Carter y que continúa con el apoyo de la Organización Mundial de la Salud.

A diferencia de los mecanismos para erradicar los mosquitos *Aedes*, que se basan en complejos procesos biotecnológicos, la campaña para extinguir el gusano de Guinea se sustenta en estrategias muy simples. En principio, basta con proveer de agua potable limpia a las poblaciones humanas donde persiste el gusano para cortar de tajo el ciclo de vida del parásito. Al añadir procedimientos de bajo costo, como usar filtros para eliminar los copépodos, la eficacia de la estrategia se multiplica considerablemente. Por supuesto, toda la estrategia está apuntalada por una campaña de educación ambiental que, al convencer a los pobladores de las zonas afectadas de la importancia de controlar el gusano, ha sido parte fundamental del éxito de la operación.

Se espera que en pocos años el gusano de Guinea esté extinto, o al menos que no existan más casos de dracunculiasis. El éxito del programa de erradicación del gusano de Guinea ha llevado a algunos investigadores a proponer iniciativas similares para controlar o llevar a la extinción a otros organismos patógenos, como los gusanos del género *Schistosoma*, causantes de la esquistosomiasis, un padecimiento tropical que en África causa miles de muertes anualmente^[19]. Como hemos visto en otras crónicas de la extinción, en muchos casos es difícil declarar la extinción definitiva de una especie. En el caso del gusano de Guinea, existe la posibilidad de que el parásito persista en algún otro mamífero aun después de la inminente erradicación de la dracunculiasis.

Hasta ahora, la extinción dirigida se ha propuesto solamente para atacar especies causantes o transmisoras de enfermedades. Se trata, por supuesto, de animales que difícilmente generarían simpatía o que nunca podrían inspirar una campaña de conservación para oponerse a su desaparición. Sin embargo, desde un punto de vista puramente biológico, cada una de esas especies representa, al igual que cualquier otra especie, el resultado de millones de años de evolución. Se ha argumentado que, aunque se pudiera lograr la extinción total de alguna de estas especies, sería conveniente conservar, en condiciones controladas, algunos individuos para futuros estudios o como reservorios de información genética que podría ser útil en el futuro.

Las herramientas modernas que nos permiten pensar seriamente en llevar deliberadamente a alguna especie a la extinción, o a desextinguir alguna otra, nos plantean dilemas éticos de difícil resolución.

IX. La maldición del cuerno del unicornio: para evitar las extinciones futuras

La vida sólo se puede entender hacia atrás, pero se debe vivir hacia adelante.

SØREN KIERKEGAARD

En marzo de 2016 circuló en Internet la noticia del supuesto descubrimiento de restos fósiles de un unicornio en algún lugar de Siberia. «Encuentran restos de un verdadero unicornio», decía por ejemplo un encabezado en la página de CNN en español^[1]. Recordemos que la romántica idea de unicornios vagando libremente en las tierras siberianas ha rondado la mente incluso de grandes pensadores, como Leibniz (capítulo II). En esta ocasión, por supuesto, la noticia resultó falsa, o más bien mucho menos espectacular de lo que sugerían los llamativos encabezados y los numerosos tuits.

La verdad atrás del bulo era un oscuro artículo de un equipo de paleontólogos rusos y kasajos en el que se informaba del descubrimiento de fósiles de elasmoterio —un rinoceronte extinto— en una localidad de Kazajistán, en el Asia central, con una antigüedad de veintiséis mil años^[2]. La relevancia científica del hallazgo radicaba en que hasta ese momento se pensaba que el elasmoterio había desaparecido hacía más de trescientos cincuenta mil años; los nuevos especímenes mostraban que la extinción de este rinoceronte era más reciente, y, más importante, que muy probablemente hubiera coexistido con los seres humanos. De todas maneras, ¿qué tenía que ver el unicornio con este hallazgo?

El elasmoterio era un rinoceronte de gran talla; medía cerca de tres metros de largo y dos de alto, y pesaba unas cuatro o cinco toneladas. Lo más notable de su anatomía era, sin embargo, el único cuerno que tenía sobre la cabeza, en una posición más frontal que la que tienen los cuernos de los rinocerontes actuales. Además, el cuerno era muy largo —de casi un metro—, recto y comparativamente delgado. En algunas reconstrucciones, la silueta del elasmoterio realmente semeja la de un unicornio, si bien un tanto tosco y

pasado de peso. El «unicornio» de las notas era una criatura igual de fascinante, pero no tan idílica: el elasmoterio o rinoceronte siberiano.

El cuerno de los rinocerontes dista mucho de ser el prodigioso apéndice atribuido al mítico unicornio. Según la mitología clásica, el cuerno del unicornio tenía propiedades mágicas que le permitían sanar a otros animales e incluso proveerles de agua potable. En la vida real, el cuerno de los rinocerontes está formado en su totalidad por queratina, que es la misma proteína que constituye las uñas y el pelo de los mamíferos. A pesar de que es muy poco probable que la queratina tenga alguna propiedad medicinal, el polvo de cuerno de rinoceronte es muy apreciado en los pueblos del oriente asiático por sus supuestas propiedades curativas.

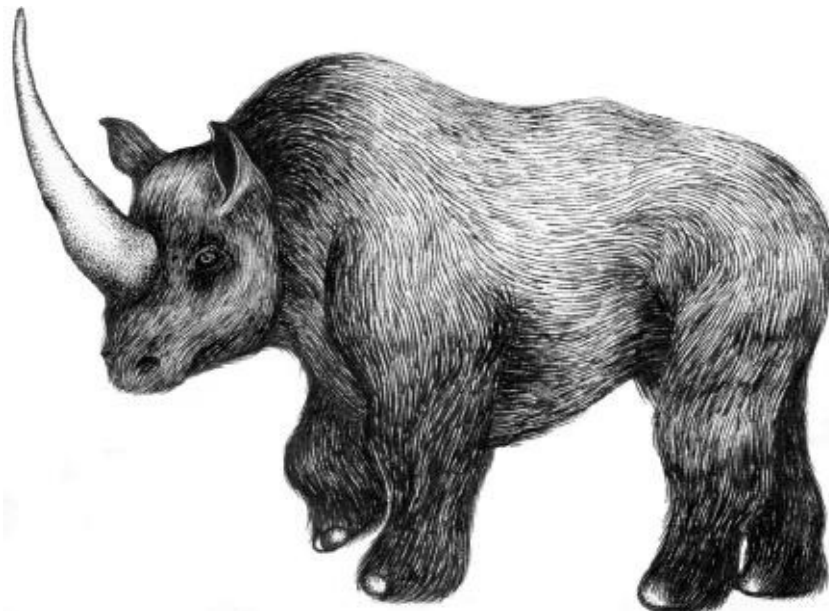


FIGURA IX.1. *Elasmoterio o rinoceronte gigante pleistoceno. Dibujo de Ángela Arita Noguez.*

La demanda de polvo de cuerno de rinoceronte es tan alta en China y Vietnam que existen cárteles de comerciantes con capacidad para pagar miles de dólares por un cuerno de rinoceronte de cualquier parte del mundo. Esta demanda ha puesto en severo riesgo de extinción a las cinco especies vivientes de rinocerontes. En África, la subespecie occidental del rinoceronte negro se extinguió en 2011, y las poblaciones del oriente del continente suman apenas unos cinco mil individuos. En algunas reservas africanas se han dado casos de grupos criminales fuertemente armados que cazan rinocerontes solamente por los cuernos, para luego venderlos en los mercados asiáticos. Tan grave es el problema que en algunas reservas africanas los administradores han emprendido como estrategia desesperada de

conservación la remoción de los cuernos de los rinocerontes (estos animales pueden vivir en forma casi normal sin los cuernos).

En Asia, la situación es todavía más desesperada para las tres especies de rinocerontes de ese continente. En abril de 2010 se halló en la reserva Cat Tien de Vietnam el cuerpo del último rinoceronte de Java en la parte continental de Asia. El rinoceronte, una hembra, había sido ultimado por cazadores furtivos, quienes solamente se llevaron el cuerno del infortunado animal, cuyo cuerpo dejaron abandonado en la selva. Con la desaparición de esta especie en Vietnam, la única población remanente es la de la isla de Java, donde unos cuarenta individuos representan la última esperanza de supervivencia para este magnífico animal.

Un caso similar es el del rinoceronte de Sumatra, la más pequeña de las especies vivientes. Esta especie, que alguna vez habitó los bosques tropicales del sureste de Asia, incluso hasta el sur de China, sobrevive precariamente en pequeñas poblaciones en las islas de Sumatra y Borneo. Se estima que deben existir apenas unos ochenta individuos de esta especie, dispersos en los pocos sitios de selva en los que ha sobrevivido.



FIGURA IX.2. *Pintura rupestre de un rinoceronte lanudo en la gruta de Chauvet, Francia. Imagen disponible en Wikimedia Commons.*

Los cuernos del rinoceronte —el carácter distintivo de estos animales— se están convirtiendo en una maldición que, como consecuencia de la ignorancia y la codicia humanas, podría provocar la extinción de estas carismáticas criaturas. La condición actual de las poblaciones de rinocerontes es reminiscente del caso del alca gigante que revisamos en el capítulo VIII; recordemos que la triste historia terminó con la extinción de esa ave, como

consecuencia de la demanda en Europa de sus plumas como relleno de almohadas.

El caso de los rinocerontes, en el contexto de una sociedad globalizada y con acceso a tecnologías modernas, es aún más crítico que el del alca gigante. Los esfuerzos para evitar la extinción de los rinocerontes involucran la labor de los gobiernos de los países en los que subsisten las últimas poblaciones, pero requieren también de la participación de organismos internacionales y de fundaciones privadas. Se trata de un esfuerzo multinacional que implica inversiones millonarias para evitar la extinción de varios de los últimos representantes de la megafauna pleistocena (capítulo VI).

La saga de los rinocerontes y de los denodados esfuerzos para su conservación nos indica que para las sociedades modernas hay motivos de peso para tratar de evitar la extinción de las especies. Ahora bien, si algo hemos aprendido en las *Crónicas de la extinción* es que la desaparición de las especies es un proceso natural y que todas ellas están condenadas a la extinción, tarde o temprano. Entonces, ¿qué sentido tiene invertir miles de millones de dólares en la protección de animales como los rinocerontes, si estas especies con toda seguridad no existirán dentro de uno o dos millones de años?

La respuesta tiene que ver con la diferencia entre las extinciones naturales, que inexorablemente llevan a su desaparición a todas las especies, y las extinciones causadas por el ser humano. La diferencia fundamental entre las dos es que el primer tipo, que se manifiesta en periodos de cientos de miles o de millones de años, se compensa con el otro gran proceso del fenómeno de la evolución biológica: la especiación. Las extinciones causadas por el ser humano, en cambio, no tienen esa contraparte; no existe fenómeno alguno que pueda compensar la rápida pérdida de especies que se está dando, en cuestión de décadas, debido a la actividad humana.

«Se debe evitar la extinción de las poblaciones y de las especies», reza uno de los principios fundacionales que Michael Soulé postuló en 1985 para la nascente ciencia de la biología de la conservación^[3]. La afirmación se refiere, por supuesto, a las extinciones a corto plazo causadas por la actividad humana. A largo plazo, y debida a fenómenos naturales, la extinción es un proceso normal e inevitable que es componente fundamental de la evolución. Soulé lo recalca en otro de sus principios; «la evolución debe continuar», afirma el fundador de la moderna biología de la conservación. La aceptación de la extinción natural como un proceso inevitable llevó a los pioneros de la biología de la conservación a desarrollar un marco teórico novedoso para el

estudio y la protección de las especies en riesgo de extinción. El primer estudio de este tipo involucró a los osos grises del parque nacional Yellowstone, en los Estados Unidos.

LOS OSOS Y LOS CARNEROS

A finales de los años setenta, Mark Shaffer estaba realizando su tesis de doctorado sobre la población de osos grises en Yellowstone. Su investigación coincidió con el desarrollo de las primeras ideas de la nueva disciplina de la biología de la conservación, y Shaffer decidió aplicarlas en su estudio. Para empezar, Shaffer aceptó la idea de que la pregunta que debe plantearse un conservacionista no es si una especie se va a extinguir o no; la pregunta correcta es ¿cuándo se va a extinguir? El joven tesista enfocó entonces su análisis en los factores que determinan el tiempo que puede subsistir una población o una especie antes de extinguirse.

Existe una relación muy cercana entre el tamaño de una población —es decir, el número de individuos que la constituyen— y el tiempo esperado de sobrevivencia. Obviamente, entre más grande es la población mayor es el tiempo que podemos esperar que subsista; es lógico suponer, por ejemplo, que es mucho más probable que una población de diez osos se extinga en determinado tiempo que un grupo de doscientos. Los biólogos de la conservación se percataron de que existen cuatro tipos de factores principales que determinan esta relación estadística entre el tamaño poblacional y la probabilidad de extinción: los factores demográficos, los genéticos, los ambientales y los causados por catástrofes^[4].



FIGURA IX.3. *El oso gris o grizzly del parque nacional Yellowstone es una variedad de oso pardo. Foto: US Fish and Wildlife Service.*

Los factores demográficos son las fluctuaciones en las tasas de nacimiento y de muerte que suceden en forma natural en todas las poblaciones. Los factores genéticos aparecen en poblaciones muy pequeñas en las que todos los individuos están cercanamente emparentados; se manifiesta entonces el fenómeno de la endogamia, que es la propensión a padecer enfermedades o desórdenes hereditarios cuando los padres son parientes cercanos. Los factores ambientales son las fluctuaciones de intensidad baja a media en las condiciones del medio en el que habita la población; éstas pueden ser, por ejemplo, los cambios estacionales en el régimen de lluvias o de temperatura ambiental. Finalmente, los factores catastróficos son procesos de gran magnitud que se manifiestan muy esporádicamente, tales como huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones, fuegos de gran extensión, etcétera.



FIGURA IX.4. Borrego cimarrón de la subespecie propia del suroeste de los Estados Unidos. Foto de Magnus Kjergaard, disponible en Wikimedia Commons.

Considerando estos factores para los osos grises, Shaffer pudo calcular probabilidades de sobrevivencia para poblaciones de diferentes tamaños. Por ejemplo, encontró que una población de alrededor de cincuenta osos tenía una probabilidad de alrededor de 95 % de sobrevivir al menos cien años. Con estos modelos, Shaffer desarrolló el concepto de población mínima viable, que se define como el tamaño de población más pequeño que permite predecir su subsistencia (con 95 % de certeza) en un tiempo determinado. Por ejemplo, si nos interesa garantizar que dentro de quinientos años siga existiendo una población de osos grises en el parque Yellowstone, podemos aplicar el modelo de Shaffer y calcular cuántos individuos necesitamos en este momento para tener 95 % de certeza de que la población no se extinga en los próximos quinientos años.

El caso de los borregos cimarrones es ilustrativo para entender mejor el concepto de las poblaciones mínimas viables. Joel Berger analizó en 1990 los datos históricos de 122 poblaciones de borregos en el suroeste de los Estados Unidos, documentando su tiempo de persistencia^[5]. Los resultados fueron muy claros: todas las poblaciones de menos de cincuenta cabezas se esfumaron en menos de cincuenta años, pero todas las de más de cien individuos seguían existiendo más de setenta años después. Alrededor de la mitad de las poblaciones de entre cincuenta y cien individuos seguían existiendo cincuenta años después, pero ninguna de ellas subsistió más de

setenta años. Esta información es útil para planear estrategias de conservación para esta especie, pues nos permite predecir que para mantener a largo plazo una población de este animal necesitamos al menos cien individuos en la población original.

La estrategia de conservación basada en el establecimiento o la recuperación de poblaciones mínimas viables cobró popularidad en los años ochenta y noventa, y se aplicó con éxito para varias especies en todo el mundo. Esta estrategia fue llamada en 1994 «el paradigma de las poblaciones pequeñas»^[6] por Graeme Caughley, un experto en ecología de la fauna silvestre, por el hincapié que se ponía en atender los problemas típicos de las poblaciones con muy pocos individuos. Caughley hizo el señalamiento de que esa estrategia no era adecuada para un gran número de especies cuyas poblaciones estaban decreciendo y requerían de una estrategia más pragmática y de acciones inmediatas; llamó a esta estrategia alterna «el paradigma de las poblaciones en declive», y la ilustró con el caso del rascón de Lord Howe.

LA GALLINETA DE LA ISLA LORD HOWE

Lord Howe es una pequeña isla, de apenas 25 km², localizada en el Pacífico sur a casi seiscientos kilómetros al este de Australia. La isla es de los pocos sitios del Pacífico a los que nunca llegaron los navegantes polinesios, y aparentemente los primeros seres humanos en ver la isla fueron los exploradores británicos del navío *Supply*, en febrero de 1788. En la actualidad, la isla de Lord Howe es un popular destino turístico en el que los visitantes disfrutan de las hermosas playas y de la espectacular vista de los promontorios rocosos que dominan buena parte de la isla.

Cuando los exploradores ingleses arribaron a la isla, encontraron ahí trece especies de aves, de las cuales nueve se extinguieron en menos de un siglo. En menos de cincuenta años de su descubrimiento, la isla fue colonizada por los ingleses, quienes pronto introdujeron perros, gatos, cerdos y cabras, además de provocar el arribo de las ratas negras a un lugar en el que nunca había habido mamíferos. Estos animales introducidos incrementaron la presión sobre las poblaciones de aves nativas sobrevivientes.

Entre las especies de aves que estuvieron al borde de la extinción se encuentra un tipo único de gallineta, llamado el rascón de la isla Lord Howe. Las gallinetas son aves medianas, de cuerpo más bien rechoncho, que

generalmente habitan las zonas con cubierta vegetal cercanas a cuerpos de agua. El rascón de Lord Howe, que originalmente habitaba toda la isla, vio reducida su área de distribución a las zonas altas, y para principios del siglo xx ya sólo quedaban unas diez parejas reproductivas en lo alto del monte Gower, a más de ochocientos metros de altura.

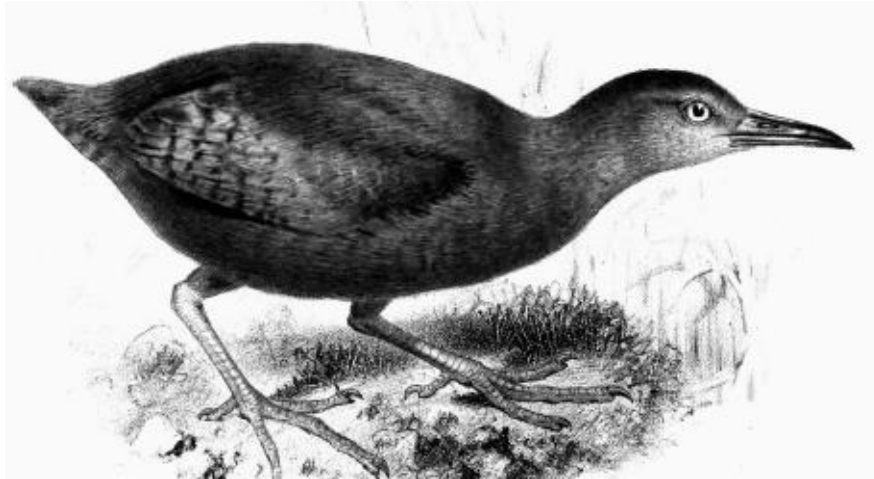


FIGURA IX.5. *El rascón o gallineta de la isla Lord Howe. Ilustración de Joseph Smit (1869).*

En los años setenta se realizaron estudios encaminados a la protección del rascón. Con observaciones y experimentos sencillos se determinó que la causa principal del colapso de las poblaciones era la actividad de los cerdos ferales (individuos asilvestrados). Los cerdos no sólo alteraban el hábitat de las aves, sino que se comían sus huevos y atacaban a las crías. A principios de la década de los ochenta inició un programa oficial cuya meta era la recuperación de las poblaciones del rascón. El programa consistió en dos actividades principales; por un lado, se estableció una estrategia de reproducción en cautiverio para producir individuos que posteriormente fueron liberados; por otro lado, se emprendió un plan de erradicación de los cerdos asilvestrados en las zonas designadas para la propagación del ave.

Con un presupuesto comparativamente bajo (doscientos mil dólares), el programa logró en menos de una década asegurar la subsistencia de una población estable de alrededor de ciento ochenta rascones, con un promedio de cincuenta a sesenta parejas reproductivas en un momento dado. Hoy, el gobierno de Australia puede presumir uno de los programas de conservación de especies más efectivo y eficiente en términos de costobeneficio^[7].

En opinión de Graeme Caughley, el éxito del programa de rescate del rascón de Lord Howe se debe al pragmatismo con el que se aplicó su paradigma de las poblaciones en declive. Esta estrategia consiste en identificar, con métodos científicos adecuados, los factores que causan la

disminución del tamaño de una población —en este caso, los cerdos—. Una vez hecha esa identificación, es relativamente sencillo implementar una serie de pasos encaminados a eliminar o aminorar el factor causal —en este caso, la extirpación de los cerdos—.

MÚLTIPLES ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Vimos en el capítulo VIII que las extinciones en tiempos históricos tienen variadas causas y diferentes trayectorias. De igual manera, las estrategias para evitar las extinciones causadas por la actividad humana deben ser diversas y dependientes del caso que se desea atender. La mayoría de las iniciativas exitosas de conservación usan varias estrategias, tomando elementos de los dos paradigmas de Caughley.

Desde los años ochenta se identificaron cuatro agentes principales responsables de las extinciones en tiempos históricos: la cacería excesiva, la destrucción y la fragmentación de los ambientes naturales, el impacto de las especies introducidas y las cadenas de extinción (es decir, la extinción de una especie como consecuencia de la extinción de otra especie). Jared Diamond llamó a estos agentes «el cuarteto del mal»; como vimos en el capítulo VIII, a este cuarteto podríamos añadir ahora un quinto agente del mal, el cambio climático global.

Para algunos casos particulares, como el del rascón de Lord Howe, una estrategia local enfocada en identificar y neutralizar al «agente del mal» principal puede ser la vía de acción más eficiente. En otros casos, como el del borrego cimarrón, una combinación de los dos paradigmas de Caughley parecería ser más efectiva. Casos como el de los rinocerontes, con todas sus ramificaciones ecológicas y económicas a nivel global, son particularmente complejos y no pueden ser resueltos con una sola estrategia ni por un solo país u organización. No hay punto de comparación entre la exitosa estrategia local implementada para evitar la extinción del rascón de Lord Howe —con una inversión total de doscientos mil dólares— y la multimillonaria estrategia mundial para proteger los rinocerontes de dos continentes de la cacería impulsada por un mercado lejano.

Para muchas otras especies ni siquiera es posible considerar la posibilidad de establecer estrategias individuales. Se calcula que alrededor de una de cada tres especies de mamíferos tiene algún tipo de riesgo de extinción. Sería muy inocente pensar que es posible establecer programas de conservación

particulares para cada una de esas especies. La estrategia en estos casos consiste en enfocar los esfuerzos en la preservación de ambientes naturales, dando prioridad a los sitios con mayor número de especies amenazadas. De esta manera, preservando su ambiente, se puede esperar brindar protección a las numerosas especies amenazadas con la extinción.

LA EXTINCIÓN DE *HOMO SAPIENS*

Las *Crónicas de la extinción* nos han revelado una y otra vez que la extinción es un proceso natural y, en analogía con la muerte, inevitable. Hemos visto que las especies actuales representan menos de 0.1 % de las especies que alguna vez han existido, y que nuestra propia especie es la única sobreviviente de un clado diverso que llegó a incluir varias especies de homíninos viviendo al mismo tiempo. Con toda certidumbre se puede afirmar que *Homo sapiens*, como cualquier otra especie animal, se extinguirá tarde o temprano.

Es imposible saber si la desaparición de nuestra especie se dará en forma repentina, por una catástrofe natural o un colapso provocado por nuestra propia actividad, o en forma gradual, tal vez dando origen a una especie diferente de homínino. Lo que es un hecho es que en unos cuantos cientos de miles de años no habrá sobre la Tierra un organismo que pueda considerarse un miembro de la especie que llamamos *Homo sapiens*.

Tampoco podemos saber si en ese futuro inevitable, un mundo sin seres humanos como nosotros, existirá alguna otra especie —descendiente o no de nuestro linaje— que se interese en escribir la crónica de la extinción de *Homo sapiens*.

APÉNDICES

1. Taxonomía: la clasificación de las especies

EL SISTEMA DE LINNEO

La clasificación de los seres vivos se basa en el sistema de categorías jerárquicas establecido por Carolus Linnaeus (conocido como Linneo en los textos en español) a mediados del siglo XVIII. El nombre científico de una especie consiste en la combinación de los epítetos del género y de la especie, el primero con la primera letra mayúscula y el segundo en su totalidad con minúsculas. Por convención internacional, los nombres científicos de las especies se escriben en cursivas. Por ejemplo, el nombre científico tradicional del perro es *Canis familiaris*, lo que nos indica que este animal pertenece al género *Canis*, que incluye otras especies como el lobo gris (*Canis lupus*), el chacal dorado (*Canis aureus*) y el coyote (*Canis latrans*).

Las categorías taxonómicas principales son la especie, el género, la familia, el orden, la clase, el filo o *phylum* (plural *phyla*) y el reino. Por ejemplo, el género *Canis* se incluye en la familia de los cánidos (*Canidae*) junto con otros géneros emparentados, como *Vulpes* (varias especies de zorras), *Lycaon* (perro salvaje africano) y *Urocyon* (zorra gris del Nuevo Mundo). La familia de los cánidos se clasifica dentro del orden de los carnívoros (*Carnivora*), que además de los cánidos comprende otras familias como las de los osos (*Ursidae*), los gatos (*Felidae*), los mapaches (*Procyonidae*) y los hurones y visones (*Mustelidae*). Los nombres de las familias tienen la terminación *-idae*.

Carnivora es uno de los veintinueve órdenes de mamíferos aceptados por la mayoría de los especialistas. Otros de estos órdenes son *Monotremata* (el ornitorrinco y los equidnas), *Rodentia* (roedores), *Chiroptera* (murciélagos), *Perissodactyla* (caballos) y *Primates* (primates). Todos los mamíferos están incluidos en el *phylum* de los cordados (*Chordata*), que es uno de los treinta y

cinco grupos de este nivel que forman el reino Animalia. Otros *phyla* son el de los moluscos (Mollusca), los artrópodos (Arthropoda) o las esponjas de mar (Porifera).

En ocasiones se necesita usar niveles taxonómicos intermedios entre las categorías principales. Por ejemplo, todas las especies vivientes de la familia *Canidae* se clasifican en la subfamilia *Caninae* para distinguirlas de las especies extintas incluidas en las subfamilias *Borophaginae*[†] y *Hesperocyoninae*[†] (nótese la terminación *-inae* para esta categoría y el uso de la daga, †, para marcar los taxones extintos). Varios estudios recientes han mostrado que el perro está tan cercanamente relacionado con el lobo gris que no es justificable considerarlo una especie separada sino una subespecie o variedad de lobo; si se acepta esa clasificación, el perro pertenece a la subespecie *Canis lupus familiaris*, y su clasificación completa sería:

Reino Animalia

Phylum Chordata

Clase Mammalia

Orden Carnivora

Familia Canidae

Género Canis

Especie *Canis lupus*

Subespecie *Canis lupus familiaris*

CLASIFICACIÓN Y FILOGENIAS

El sistema de clasificación de Linneo se basa en la visión preponderante entre los naturalistas del siglo XVIII. El esquema linneano refleja un supuesto orden natural en la creación de los seres vivos y muestra una progresión de formas cada vez más perfeccionadas, desde los organismos «inferiores» hasta la cumbre de la creación terrenal, «el hombre» (el ser humano, *Homo sapiens*). A pesar de que este pensamiento ha sido ya abandonado por los científicos modernos, el esquema general de Linneo de las categorías jerárquicas anidadas se ha mantenido vigente, por razones más pragmáticas que filosóficas.

En el pensamiento contemporáneo se intenta que las clasificaciones reflejen la historia evolutiva de los grupos de organismos. En particular, idealmente todos los taxones deberían estar constituidos por clados o grupos

naturales que incluyan un ancestro común y todos sus descendientes. En la práctica, es a veces difícil abandonar los esquemas tradicionales, aunque los estudios evolutivos muestren su inexactitud. Los vertebrados, por ejemplo, se clasifican tradicionalmente en un solo grupo, el subfilo Vertebrata del *phylum* Chordata, que se divide en siete clases:

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata

Clase Agnatha (peces sin mandíbulas, lampreas)

Clase Chondrichthyes (peces cartilagosos, tiburones y rayas)

Clase Osteichthyes (peces óseos)

Clase Amphibia (anfibios)

Clase Reptilia (reptiles)

Clase Aves (aves)

Clase Mammalia (mamíferos)

El orden en el que tradicionalmente se presentan las clases refleja, en la visión antigua, la progresión desde formas «inferiores» o «primitivas», como los peces y los anfibios, a las «superiores» o «avanzadas», como las aves y los mamíferos. Esta visión lineal y vertical de las relaciones de parentesco entre los organismos se ha sustituido por una interpretación evolutiva en la que se muestran las relaciones ancestrales, como en la figura A1.1.

El orden en el que se presentan los grupos en la parte superior de la figura es arbitrario. Esto nos muestra que entre los grupos vivientes no existen formas «superiores» o «más evolucionadas» que otras. Cualquier especie de ave, de mamífero o de anfibio es resultado de la evolución biológica, que actúa al mismo tiempo en todos los casos.

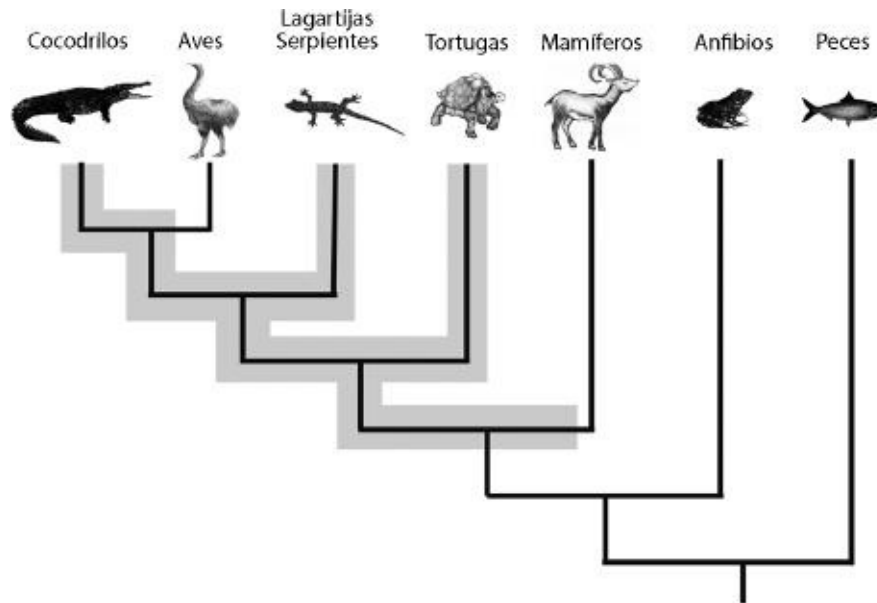


FIGURA A1.1. *Árbol evolutivo simplificado de los grupos tradicionales de vertebrados. El sombreado muestra los organismos tradicionalmente clasificados como «reptiles».*

Los anfibios, los mamíferos y las aves vivientes forman cada uno un grupo natural o clado. Todos los mamíferos actuales, por ejemplo, descienden de un ancestro común y ninguno de estos descendientes se clasifica en otro grupo. En este caso se justifica la existencia de un grupo taxonómico (Mammalia) que incluye todas estas especies.

El caso de la clase Reptilia es diferente. Los grupos principales de reptiles —las tortugas, las lagartijas y serpientes y los cocodrilos— no forman en conjunto un grupo natural porque ese grupo excluye a las aves, que comparten un ancestro común con los reptiles. Más aún, el linaje de las aves incluye todo un grupo de reptiles extintos, los dinosaurios. Asimismo, algunos de los ancestros extintos de los mamíferos se clasifican tradicionalmente como reptiles, a pesar de pertenecer a una línea evolutiva separada.

Si todas las especies de mamíferos actuales se extinguieran, desaparecería todo el clado o grupo natural de estos animales. En cambio, aunque desaparecieran todos los reptiles vivientes, el grupo natural de estos animales sobreviviría, representado por las aves. En la visión moderna de la clasificación biológica basada en las relaciones evolutivas, no hay justificación para la existencia de un grupo que incluya a los reptiles pero que excluya a las aves. Sin embargo, el nombre Reptilia prevalece, por razones de tradición, en la mayoría de los libros de texto e incluso en la literatura especializada.

2. Bestiario: del *aardvark* al *zygomaturus*

Se presentan en esta lista los nombres científicos o las categorías taxonómicas de los animales mencionados en el texto principal. Se incluye en algunos casos una nota sobre la historia natural o acerca de la clasificación de la especie particular. Se usa la daga (†) como símbolo para señalar las especies o clados extintos.

aardvark o cerdo hormiguero (*Orycteropus afer*). Mamífero africano, única especie del orden de los tubulidentados.

aardvark malgache (*Plesioorycteropus madagascariensis*)†. Mamífero de Madagascar emparentado con el cerdo silvestre africano.

águila de Haast (*Harpagornis moorei*)†. Ave de presa de gran tamaño de Nueva Zelanda, extinta desde principios del siglo xv.

alacranes (orden Scorpiones de la clase Arachnida). Grupo de arácnidos depredadores.

alca gigante (*Pinguinus impennis*)†. Ave ártica incapaz de volar, externamente similar a los pingüinos del hemisferio sur.

alce (*Alces alces*). Mamífero cérvido de grandes astas, nativo del hemisferio norte.

alce irlandés (*Megaloceros giganteus*)†. Pariante de gran tamaño de los gamos, del Pleistoceno europeo.

amonites o ammonoideos (subclase Ammonoidea)†. Grupo de moluscos cefalópodos extintos que vivieron desde el Ordovícico hasta el final del Cretácico.

anomalocharis (género *Anomalocharis*)†. Artrópodo depredador de gran talla de los mares del Cámbrico.

anchiornis (*Anchiornis huxleyi*)†. Pequeño dinosaurio emplumado del Jurásico tardío de China.

antílopes (parte de la familia Bovidae). Un centenar de especies de bóvidos nativos de África y Eurasia.

antílope eland (*Taurotragus oryx*). Antílope de gran talla de las sabanas del sur y sureste de África.

antílope enano (*Neotragus pygmaeus*). Es el antílope más pequeño; habita en el África occidental.

antílopes extintos (géneros *Megalotragus* y *Parmularius*)[†]. Parientes pleistocenos del *hartebeest*, con los cuernos alargados y curvados hacia los lados.

apatosaurio (género *Apatosaurus*)[†]. Dos especies de grandes dinosaurios saurópodos de cuello muy alargado y de hasta veinticinco toneladas de peso.

aptornis (género *Aptornis*)[†]. Dos especies de aves no voladoras de Nueva Zelanda, extintas poco después de la llegada del ser humano a las islas.

arqueoptérix (*Archaeopteryx lithographica*)[†]. Ave fósil del Jurásico europeo.

artrópodos (phylum Arthropoda).

asno africano (*Equus africanus*). La especie incluye los asnos domésticos y una población salvaje en el noreste de África.

asno salvaje asiático u onagro (*Equus hemionus*). Équido silvestre de Asia central, similar al asno doméstico.

aves elefante (orden Aepyornithiformes)[†]. Grupo de aves extintas no voladoras, endémicas de Madagascar. Incluye los géneros *Aepyornis*[†] y *Mullerornis*[†].

ave elefante mayor (*Aepyornis maximus*)[†]. Ave de Madagascar extinta en tiempos históricos. El ave más robusta que se conoce, con un peso de media tonelada.

avestruz (*Struthio camelus*). Ave no voladora de África.

australopitecos (género *Australopithecus*)[†]. Una decena de especies de homíninos extintos que habitaron el este y el sur de África.

aves (clase Aves). Vertebrados con plumas y pico sin dientes que se reproducen con huevos de cáscara dura.

ballena azul (*Balaenoptera musculus*). El animal más grande que ha existido en el mundo; de hasta treinta metros de largo y ciento cincuenta toneladas de peso.

belemnites (orden Belemnitida de la clase Molusca)[†]. Moluscos semejantes a los calamares muy diversos en el Mesozoico; se extinguieron al final del Cretácico.

berrendo (*Antilocapra americana*). Única especie viviente de la familia de los antilocápridos de Norteamérica.

berrendos pleistocenos (géneros *Capromeryx*,[†] *Stockoceros*[†] y *Tetrameryx*[†]). Antilocápridos que se extinguieron al final del Pleistoceno americano.

bisonte americano (*Bison bison*). Bóvido de Norteamérica descendiente del bisonte ancestral.

bisonte europeo (*Bison bonasus*). Bóvido del norte de Eurasia similar al bisonte americano.

bisonte ancestral (*Bison antiquus*)[†]. Bisonte de gran tamaño del Pleistoceno americano.

bonobo o chimpancé pigmeo (*Pan paniscus*). Pariente del chimpancé común de los bosques húmedos de África central.

borrego cimarrón (*Ovis canadensis*). Carnero originario de América del Norte.

brontosaurio (género *Brontosaurus*)[†]. Tres especies de dinosaurios saurópodos de gran tamaño, de finales del Jurásico.

caballo doméstico (*Equus ferus caballus*). Variedad domesticada de équido.

caballo mexicano (*Equus conversidens*)[†]. Caballo pequeño y patas cortas del Pleistoceno de México y el sur de los Estados Unidos.

caballo de Przewalski (*Equus ferus przewalskii*). Subespecie de caballo silvestre de Eurasia.

cabra o chiva (*Capra aegagrus hircus*). Mamífero domesticado apreciado por su carne y leche.

cabra montés (*Capra pyrenaica*). Cabra silvestre nativa de Europa.

cachalote (*Physeter macrocephalus*). Ballena dentada de hasta 20 metros de largo y 60 toneladas de peso.

calamar colosal (*Mesonychoteuthis hamiltoni*). Molusco cefalópodo de hasta 14 metros de largo y 700 kilos de peso.

calamar gigante (*Architeuthis dux*). Enorme molusco cefalópodo con tentáculos de hasta 13 metros de largo.

camello bactriano (*Camelus bactrianus*). Camello de dos jorobas, originario del centro de Asia.

camello pleistoceno (*Camelops hesternus*)[†]. Camello del Pleistoceno americano, de más de dos metros de alto y de casi 800 kilos de peso.

canguro chato gigante (*Procoptodon goliah*)[†]. Canguro gigante extinto en el Pleistoceno.

canguro rojo (*Macropus rufus*). El más grande de los marsupiales actuales.

caracara de Guadalupe (*Caracara lutosa*)[†]. Ave de la familia de los halcones de la isla Guadalupe, en el Pacífico norte.

caracara (género *Caracara*). Ave de presa falconiforme (pariente de los halcones y gavilanes) del Nuevo Mundo.

carpincho o capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). El roedor viviente más grande, de hasta 60 kilos. Habita en los humedales de Sudamérica.

carpincho o capibara norteamericano (*Nechoerus pinckneyi*)[†]. Gigantesco roedor de más de 100 kilos del Pleistoceno de Norteamérica.

castor (*Castor canadensis*). Roedor de gran tamaño del hemisferio norte.

castor gigante (*Castoroides ohioensis*)[†]. Castor pleistoceno extinto de más de 100 kilos de peso.

cenzontles de Galápagos (parte del género *Mimus*). Aves endémicas de Galápagos, antes clasificadas en el género *Nesomimus*.

cenzontle de Galápagos (*Mimus parvulus*).

cenzontle de Española (*Mimus macdonaldi*).

cenzontle de Floreana (*Mimus trifasciatus*).

cenzontle de San Cristóbal (*Mimus melanotis*).

cebras (parte del género *Equus*). Équidos del Viejo Mundo con rayas marcadas en el cuerpo.

cebra de montaña (*Equus zebra*).

cebra de sabana o común (*Equus quagga*).

cebra de Grévy (*Equus grevyi*).

cerdo (*Sus scrofa domestica*). Variedad domesticada del jabalí del Viejo Mundo.

chacal de lomo negro (*Canis mesomelas*). Cánido africano, similar al lobo y al coyote.

chimpancé común (*Pan troglodytes*). Primate africano de la familia de los homínidos.

cheetah o guepardo (*Acinonyx jubatus*). Félido del Viejo Mundo conocido por su gran velocidad.

cheetah americano (*Miracinonyx trumani*)[†]. Félido similar al cheetah del Viejo Mundo, de mayor tamaño, del Pleistoceno de Norteamérica.

coatí de nariz blanca o tejón (*Nasua narica*).

cocodrilo del mar (*Crocodylus porosus*). El reptil actual más grande; puede medir más de seis metros y pesar más de una tonelada.

cocodrilo del Nilo (*Crocodylus niloticus*). Cocodrilo de gran tamaño; de más de cinco metros y más de media tonelada.

cocodrilo quinkan (*Quinkana fortirostrum*)[†]. Cocodrilo de gran talla del Pleistoceno de Australia.

cocolitofóridos (orden Cocolithales). Algas unicelulares con placas de carbonato de calcio que forman depósitos fósiles.

compsognathus (*Compsognathus longipes*)[†]. Pequeño dinosaurio terópodo del Jurásico europeo.

cóndor de California (*Gymnogyps californianus*). Ave carroñera de gran tamaño, originaria de Norteamérica.

cóndor de los Andes (*Vultur gryphos*). Ave carroñera de gran tamaño de los Andes, en Sudamérica.

cormorán de anteojos (*Phalacrocorax perspicillatus*)[†]. Cormorán de gran tamaño de las islas árticas del Pacífico; extinto desde 1850.

cormorán de las Galápagos (*Phalacrocorax harrisi*). Ave pelecaniforme de las islas Galápagos que se caracteriza por ser incapaz de volar.

coyote (*Canis latrans*). Cánido norteamericano similar al lobo gris.

crinozoos (*subphylum* Crinozoa). Equinodermos muy diversos en el Paleozoico; los lirios de mar son los únicos sobrevivientes de este grupo.

cuervo común (*Corvus corax*). Ave paseriforme del hemisfero norte, de hasta 1.5 kilos de peso.

delfín chino de río o baiji (*Lipotes vexillifer*)[†].(?) Delfín del río Yangtzé, en China; muy probablemente extinto.

denisovano (género *Homo*)[†]. Población arcaica de humanos de Asia central y oriental.

dinoterios (género *Deinotherium*)[†]. Familia de elefantes del Pleistoceno del Viejo Mundo.

dodo (*Raphus cucullatus*)[†]. Especie de paloma no voladora endémica de la isla Mauricio.

Dreadnoughtus schrani. [†] Gigantesco saurópodo de 26 metros de largo y 38 toneladas de peso, del Cretácico de Sudamérica.

dromedario (*Camelus dromedarius*). Camello de una joroba, originario del norte de África y el Asia occidental.

dugongo (*Dugong dugon*). Mamífero sirenio de los mares del océano Índico y del Pacífico sur.

elasmoterio (*Elasmotherium sibiricum*)[†]. Rinoceronte pleistoceno de gran tamaño, con un solo cuerno de gran tamaño.

elefante africano de bosque (*Loxodonta cyclotis*). Especie de elefante africano de las zonas boscosas del occidente del continente.

elefante africano de sabana (*Loxodonta africana*). El típico elefante africano de gran tamaño que habita las sabanas.

elefante asiático (*Elephas maximus*). El elefante típico de la India y otros lugares de Asia.

elefante norteafricano (*Loxodonta africana pharaonensis*)†. El elefante del ejército de Aníbal que habitó el norte de África hasta poco antes de nuestra era.

emú (*Dromaius novaehollandiae*). Ave no voladora nativa de Australia; es la segunda más grande de las especies vivientes, después del avestruz.

equidnas (familia Tachyglossidae). Grupo de mamíferos monotremas con cuatro especies vivientes, en dos géneros (*Tachyglossus* y *Zaglossus*).

equinodermos (*phylum* Echinodermata).

erizos de mar (clase Echinoidea). Equinodermos en forma de globo, con espinas protectoras. Cerca de mil especies en los mares de todo el mundo.

espinosaurio (*Spinosaurus aegyptiacus*)†. Dinosaurio carnívoro de gran talla, del Cretácico de Egipto.

esponjas marinas (*phylum* Porifera).

Esquistosoma (género *Schistosoma*). Gusanos planos causantes de la esquistosomiasis, una enfermedad tropical.

estegodonte enano de Flores (*Stegodon florensis*)†. Especie de elefante enano extinto de la isla de Flores, donde coexistió con los *hobbits*.

estrellas de mar (clase Asteroidea). Equinodermos en forma de estrella; presentes en el registro fósil desde el Ordovícico hasta el presente, en el que hay unas 1.500 especies.

euriptéridos (orden Eurypterida)†. Artrópodos quelicerados marinos de gran tamaño que fueron muy diversos al final del Paleozoico.

félido dientes de sable (género *Smilodon*)†. Depredador pleistoceno llamado también gato o tigre dientes de sable.

foraminíferos (*phylum* Foraminifera). Organismos unicelulares con conchas de carbonato de calcio que se fosilizan fácilmente.

fosa (*Cryptoprocta ferox*). Mamífero carnívoro endémico de Madagascar.

fosa gigante (*Cryptoprocta spelea*)†. Fosa de gran tamaño; extinta de Madagascar hace pocos cientos de años.

gacelas (género *Gazella*). Antílopes medianos de gran agilidad y velocidad.

gato doméstico (*Felis silvestris catus*). Subespecie domesticada del gato silvestre.

gato montés o silvestre (*Felis silvestris*). Félido del Viejo Mundo, ancestro del gato doméstico.

gato montés americano (*Lynx rufus*). Llamado también lince americano.

gaur o saladang (*Bos gaurus*). Bóvido de gran tamaño, ancestro de los toros y vacas domésticos.

geniornis (*Genyornis newtoni*)†. Ganso gigantesco no volador del Pleistoceno de Australia.

gibones (familia Hylobatidae). Grupo de 17 especies de simios de las zonas tropicales del sureste de Asia.

gliptodontes (género *Glyptodon*)†. Armadillos gigantes del Pleistoceno de Centro y Sudamérica.

gliptoterios (género *Glyptotherium*)†. Armadillos pleistocenos gigantes que se extendieron desde Sudamérica hasta el sur de los Estados Unidos.

goanna gigante (*Megalania prisca* o *Varanus priscus*)†. Varano gigante del Pleistoceno australiano; de hasta siete metros de largo y 600 kilos de peso.

gonfoterio de Cuvier (género *Cuvieronius*)†. Género de elefantes extintos en el Pleistoceno.

gorilas (género *Gorilla*).

gorila occidental (*Gorilla gorilla*).

gorila oriental (*Gorilla beringei*).

gusano de Guinea (*Dracunculus medinensis*). Nematodo parásito en vías de extinción dirigida debido a un programa de erradicación.

hallucigenia (*Hallucigenia sparsa*)†. Animal marino del Cámbrico posiblemente emparentado con los onicóforos modernos.

hartebeest (*Alcelaphus buselaphus*). Antílope grande, hasta de 200 kg. El nombre *hartebeest* es el vernáculo en Sudáfrica.

hiena manchada (*Crocuta crocuta*).

hiena de las cuevas (*Crocuta crocuta spelaea*)†. Subespecie de hiena manchada que habitó en el Pleistoceno europeo.

hipopótamo común (*Hippopotamus amphibius*).

hipopótamo pigmeo (*Choeropsis liberiensis*). Pequeño hipopótamo de los bosques y zonas inundables del oeste de África.

hipopótamo pigmeo de Creta (*Hippopotamus creutzburgi*)†.

hipopótamo pigmeo de Madagascar (*Hippopotamus madagascariensis*)†. Una de las dos o tres especies de hipopótamos enanos que existieron en Madagascar hasta tiempos históricos.

hoiho o pingüino de ojo amarillo (*Megadyptes antipodes*). Pingüino endémico de las costas de Nueva Zelanda.

humano moderno (*Homo sapiens*). Último sobreviviente del linaje de los homíninos. Se distribuye en toda la Tierra con una población superior a

los siete mil millones de individuos.

humano de Flores o hobbit (*Homo floresiensis*)†. Homínino de tamaño muy pequeño que habitó la isla de Flores, en el sureste de Asia, durante el Pleistoceno.

humanos (género *Homo*). Género de homínino que apareció en África hace unos doscientos mil años y que llegó a tener una docena de especies.

hutía gigante de Anguila (*Amblyrhiza inundata*)†. Roedor de hasta 200 kilos de las islas de Anguila y San Martín, en el mar Caribe.

hutías gigantes (familia Heptaxodontidae)†. Seis especies de roedores gigantes de las islas del Caribe.

ictiosaurios (orden Ichthyosauria)†. Reptiles marinos del Mesozoico parecidos a los peces espada o los delfines.

iguana de las Galápagos (*Amblyrhynchus cristatus*). Reptil de las islas Galápagos; la única iguana marina del mundo.

iguanodonte (género *Iguanodon*)†. Dinosaurio herbívoro del Cretácico.

impala (*Aepyceros melampus*). Antílope africano de tamaño medio, de gran agilidad.

jabalí del Viejo Mundo (*Sus scrofa*). Cerdo silvestre nativo de Eurasia.

jabalí o pecarí de collar (*Pecari tajacu*). Especie nativa de América.

jabalí verrugoso o facóquero (*Phacochoerus modestus*). Jabalí africano que se conoce también como fósil del Pleistoceno de Olduvai.

jaguar (*Panthera onca*). Félido manchado de gran tamaño del trópico americano.

jirafa (*Giraffa camelopardalis*). Mamífero africano de largo cuello y cuerpo manchado.

kakapo (*Strigops habroptilus*). Perico nocturno de la familia Strigopidae, endémica de Nueva Zelanda.

kiwi (género *Apteryx*). Cinco especies de aves no voladoras endémicas de Nueva Zelanda.

koala (*Phascolarctos cinereus*). Mamífero marsupial australiano.

kudú (*Tragelaphus strepsiceros*). Antílope africano de gran tamaño.

lambeosaurio (*Lambeosaurus lambei*)†. Dinosaurio del Cretácico de Norteamérica, parcialmente bípedo y con una cresta característica sobre la cabeza.

lémur gigante (*Archaeoindris fontoynontii*)†. Lémur extinto en tiempos históricos, de hasta 200 kilos.

lémures (superfamilia Lemuroidea). Clado de primates de Madagascar con 110 especies vivientes y otras 17 extintas en tiempos históricos.

león africano (*Panthera leo*). Félido africano de gran tamaño.

león americano (*Panthera atrox* o *P. leo atrox*)[†]. Especie o subespecie del Pleistoceno de Norteamérica emparentada con el león africano.

león cavernario (*Panthera spelaea* o *P. leo spelaea*)[†]. Especie o subespecie de león pleistoceno de Europa.

leopardo (*Panthera pardus*). Félido manchado de gran tamaño del Viejo Mundo.

licaón (*Lycan pictus*). Cánido conocido también como perro salvaje africano.

lirios de mar (clase Crinoidea). Equinodermos sésiles; única clase sobreviviente de un grupo que fue muy diverso en el Paleozoico.

lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*). Lobo marino del Pacífico norte cuya única colonia de reproducción se forma en la isla Guadalupe.

lobo gris (*Canis lupus*). Cánido de amplia distribución en Norteamérica y Eurasia.

lobo gris japonés (*Canis lupus hodophylax*)[†]. Subespecie enana de lobo gris endémica de las islas japonesas.

lobo de Kenai (*Canis lupus alces*)[†]. Subespecie extinta del lobo que habitaba la península de Kenai en Alaska.

lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*). Subespecie del lobo gris, del norte de México y suroeste de los Estados Unidos.

lobo negro de Florida (*Canis rufus floridanus*)[†]. Subespecie extinta del lobo rojo del sur de los Estados Unidos, extinta desde principios del siglo xx.

llamas del Pleistoceno (género *Hemiauchenia*)[†]. Cinco especies de camélidos semejantes a la llama sudamericana actual, pero de mayor envergadura.

mamut (género *Mammuthus*)[†]. Proboscídeo extinto emparentado con los elefantes asiáticos actuales.

mamut colombino (*Mammuthus columbi*)[†].

mamut enano de Creta (*Mammuthus creticus*)[†].

mamut lanudo (*Mammuthus primigenius*)[†].

mangosta (familia Herpestidae). Mamífero carnívoro, de tamaño pequeño, de Eurasia y África. El suricato (*Suricata suricatta*) pertenece a esta familia.

marabú gigante de Flores (*Leptoptilos robustus*)[†]. Cigüeña carroñera y carnívora de gran tamaño, del Pleistoceno de la isla Flores.

mastodonte americano (*Mammuth americanum*)[†]. Elefántido del Pleistoceno de Norteamérica. Conocido en un tiempo como el *incognitum* de Ohio.

megaterio (*Megatherium americanum*)†. Perezoso terrestre de gran tamaño, del Pleistoceno de Sudamérica.

microraptor (*Microraptor zhaoianus*)†. Dinosaurio emplumado del Cretácico de China.

moas (Orden Dinornithiformes)†. Aves no voladoras nativas de Nueva Zelanda extintas desde el siglo XIV, poco después de la llegada del ser humano.

moa crestada (tres especies del género *Pachyornis*)†.

moa gigante (género *Dinornis*)†. Incluye *D. novaezealandiae* y *D. robustus*†.

moa menor (*Anomalopteryx didiformis*)†.

moa de montaña (*Megalapteryx didinus*)†.

moa oriental (*Emeus crassus*)†.

moa de patas robustas (*Euryapteryx curtus*)†.

moluscos (phylum Mollusca). Clado de unas 100 mil especies vivas y 35 mil extintas de almejas, caracoles, pulpos, calamares y otros invertebrados.

mosasaurios (familia Mosasauridae)†. Reptiles marinos extintos del Cretácico. Estaban más emparentados con las lagartijas y serpientes que con los dinosaurios.

mosquito anófeles (género *Anopheles*). Grupo de unas 50 especies de mosquitos que transmiten el protozoo que causa el paludismo.

mosquito de la fiebre amarilla (*Aedes aegypti*). Insecto díptero de África, extendido a zonas tropicales de todo el mundo. Transmite la fiebre amarilla, el dengue, el chikunguña y el zika.

mosquito tigre (*Aedes albopictus*). Díptero del sureste de Asia, extendido a África, Europa y América.

mustang (*Equus ferus*, parte). Caballo feral (asilvestrado) del suroeste de los Estados Unidos; descendiente de los caballos españoles llevados por los conquistadores.

neandertal (*Homo neanderthalensis*)†. Homínino que habitó Europa y partes de Asia hasta hace unos cuarenta mil años.

nutria marina (*Enhydra lutris*). Mamífero mustélido marino de las costas del Pacífico norte.

ofiuroideos (clase Ophiuroidea). Equinodermos con cinco brazos, parecidos a las estrellas de mar.

ogygiocarella (*Ogygiocarella debuchii*)†. Trilobite del Ordovícico de Gales.

okapi (*Okapia johnstoni*). Jiráfido de cuello corto de los bosques tropicales del centro de África.

onicóforos (*phylum Onychophora*). Grupo de 180 especies de invertebrados terrestres emparentados con los artrópodos.

orangutanes (género *Pongo*).

orangután de Borneo (*Pongo pygmaeus*).

orangután de Sumatra (*Pongo abelii*).

orca (*Orcinus orca*). Cetáceo dentado de la familia de los delfines.

ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*). Mamífero monotrema endémico de Australia y Tasmania.

oso del Atlas (*Ursus arctos crowtheri*)[†]. Subespecie del norte de África extinguida en tiempos históricos.

oso chato (género *Arctodus*)[†]. Dos especies pleistocenas de mamíferos depredadores de gran tamaño. *Arctodus pristinus*[†] y *Arctodus simus*[†].

oso chato de Florida (*Tremarctos floridanus*)[†]. Oso pleistoceno del este de los Estados Unidos y México.

oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). Úrsido nativo del norte de Sudamérica.

oso de las cavernas (*Ursus spelaeus*)[†]. Úrsido extinto relativamente común en el Pleistoceno de Europa.

oso gris o grizzly (variedades de *Ursus arctos*). Variedades de pelaje grisáceo del oso pardo de América del Norte.

oso gris mexicano (*Ursus arctos nelsoni*)[†]. Variedad del oso pardo del norte de México y sur de los Estados Unidos.

oso hormiguero o tamandúa (género *Tamandua*). Dos especies, *Tamandua mexicana* y *T. tetradactyla*.

oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*).

oso marino del Ártico (*Callorhinus ursinus*). Pinípedo de la familia de los leones marinos de las costas de Alaska y Siberia.

oso pardo (*Ursus arctos*). Mamífero depredador de gran tamaño de Eurasia y Norteamérica.

oso polar (*Ursus maritimus*). Úrsido restringido al Ártico; podría ser una subespecie del oso pardo.

pájaro carpintero imperial (*Campephilus imperialis*)[†].(?) Carpintero de gran tamaño de los bosques maduros del centro y noroeste de México.

paloma de collar (*Patagioenas fasciata*). Paloma nativa del Nuevo Mundo, emparentada con la paloma pasajera.

paloma pasajera (*Ectopistes migratorius*)[†]. Paloma extinta nativa de Norteamérica.

pavo real (*Pavo cristatus*). Ave galliforme nativa del sureste asiático.

pepinos de mar (clase Holothuroidea). Equinodermos con forma de gusano; cerca de 1.500 especies.

perezoso de dos dedos (género *Choloepus*). Dos especies tropicales de América.

perezoso de tres dedos (género *Bradypus*). Cuatro especies de la zona tropical de América.

perezoso gigante de Harlan (*Paramylodon harlani*)[†]. Perezoso terrestre mayor de una tonelada de peso del Pleistoceno de Norteamérica.

perezoso terrestre de Jefferson (*Megalonyx jeffersonii*)[†]. Perezosos terrestre del Pleistoceno de Norteamérica.

perezoso gigante norteamericano o eremoterio (género *Eremotherium*)[†]. Perezosos gigantes norteamericanos emparentados con el megaterio.

perezoso de Shasta (*Nothrotheriops shastensis*)[†]. Uno de los perezosos terrestres pleistocenos más pequeños.

perezosos terrestres de Las Antillas (parte de la familia Megalonychidae)[†]. Grupo de perezosos del Pleistoceno de Cuba, la Española, Puerto Rico y algunas de Las Antillas menores. Los géneros son *Acratocnus*[†], *Megalocnus*[†], *Neocnus*[†], *Parocnus*[†] y *Paulocnus*[†].

periquito de Carolina (*Conuropsis carolinensis*)[†]. Psitácido nativo de Norteamérica, extinto desde 1918.

perro (*Canis lupus familiaris*). Subespecie domesticada del lobo gris.

perro salvaje africano o licaón (*Lycaon pictus*). Cánido nativo de África.

pez espada (*Xiphias gladius*).

pingüinos (orden Sphenisciformes). Aves acuáticas no voladoras del hemisferio sur. La mayoría de las especies se restringen a las costas de la Antártida.

pinzones de Darwin (géneros *Geospiza*, *Camarhynchus*, *Certhidea* y *Pinaroloxias*). Grupo de quince especies de las islas Galápagos clasificadas en cuatro géneros de la familia Thraupidae.

plesiosaurios (orden Plesiosauria)[†]. Reptiles mesozoicos marinos de gran tamaño, cuello alargado y cabeza pequeña.

pterodáctilo (*Pterodactylus antiquus*)[†]. Pterosaurio del Jurásico de Europa.

pterosaurios (orden Pterosauria)[†]. Reptiles voladores del Mesozoico.

pulpos (orden Octopoda de la clase Cephalopoda). Moluscos sin concha, con ocho brazos alargados.

puma (*Puma concolor*). Félido de tamaño grande, sin manchas en la piel, que se distribuye en todo el continente americano, desde Canadá hasta la Patagonia.

quagga (*Equus quagga quagga*)[†]. Subespecie de la cebra común extinta en el siglo XIX, originaria de Sudáfrica.

quetzalcoatlus (*Quetzalcoatlus northropi*)[†]. El pterosaurio más grande conocido, del final del Cretácico de Norteamérica.

raptor (*Velociraptor mongoliensis*)[†]. Dinosaurio carnívoro del Cretácico de Asia; medía poco menos de dos metros de largo y pesaba unos quince kilos.

rata gris o noruega (*Rattus norvegicus*). Roedor, plaga asociada con los asentamientos humanos de todo el mundo.

rata negra (*Rattus rattus*). Roedor plaga frecuente en los navios.

ratas gigantes de Flores (géneros *Papagomys* y *Spelaeomys*)[†]. Roedores de gran tamaño nativos de la isla Flores, en el sureste asiático. *P. theodorverhoeveni*[†] y *S. florensi*[†] son especies extintas; *P. armandvillei* todavía subsiste en la isla.

reno o caribú (*Rangifer tarandus*).

rinoceronte blanco (*Ceratotherium simum*).

rinoceronte gigante. Véase elasmoterio[†].

rinoceronte de la India (*Rhinoceros unicornis*).

rinoceronte de Java (*Rhinoceros sondaicus*).

rinoceronte lanudo (*Coelodonta antiquitatis*)[†]. Especie relativamente común en el Pleistoceno de Europa.

rinoceronte negro (*Diceros bicornis*).

rinoceronte de Sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*).

sapo dorado (*Incilius periglenes*)[†]. Pequeño anfibio endémico del bosque de niebla de la región de Monteverde en Costa Rica. Extinto desde 1989.

sinosauropteryx (*Sinosauropteryx prima*)[†]. Pequeño dinosaurio emplumado, pariente del *Compsognathus*, del Cretácico de China.

sipuncúlidos (*phylum* Sipuncula). Grupo de gusanos marinos con un anillo de tentáculos que rodea la boca.

sivaterio africano (*Sivatherium maurusium*)[†]. Jiráfido de gran tamaño y cuello robusto que se extinguió hace apenas unos ocho mil años.

takahe (*Porphyrio hochstetteri*). Gallareta endémica de Nueva Zelanda.

tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*).

tardígrados (*phylum* Tardigrada). Invertebrados microscópicos llamados osos de agua; emparentados con los artrópodos y onicóforos.

terópodos (suborden Theropoda). Grupo que incluye el clado de las aves y varios dinosaurios carnívoros.

tiburón ballena (*Rhyncodon typus*). El pez de mayor tamaño.

tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*). El pez depredador más grande del mundo; de más de seis metros de largo y más de dos toneladas de peso.

tiburones (superorden Selachimorpha). Grupo de peces cartilaginosos con aletas libres y hendiduras branquiales (orificios laterales que permiten la respiración).

tigre (*Panthera tigris*). Félido de gran tamaño, restringido en la actualidad a Asia.

tilacoleo o león marsupial (*Thylacoleo carnifex*)[†]. Marsupial carnívoro de la megafauna extinta de Australia.

tilacino o lobo de Tasmania (*Thylacinus cynocephalus*)[†]. Marsupial carnívoro nativo de Australia y Tasmania, extinto desde 1936.

tinamúes (orden Tinamiformes). Aves del trópico americano de vuelo limitado.

tiranosaurio (*Tyrannosaurus rex*)[†]. El arquetípico dinosaurio depredador de gran tamaño del Cretácico.

tiranosaurios (familia Tyrannosauridae)[†]. Dinosaurios carnívoros de gran talla, como el tiranosaurio rex y el albertosaurio.

topo común europeo (*Talpa europaea*).

tortuga de Mapimí (*Gopherus flavomarginatus*). Tortuga terrestre del Bolsón de Mapimí, en el desierto chihuahuense del norte de México.

tortuga gigante de Galápagos (parte del género *Chelonoidis*). Dieciséis especies.

tortuga del volcán Wolf (*Chelonoidis becki*).

tortuga de la isla Isabela (*Chelonoidis guntheri*).

tortuga de la isla Pinta (*Chelonoidis abingdoni*)[†].

tortuga de la isla Floreana (*Chelonoidis nigra*)[†].

tortuga de la isla Fernandina (*Chelonoidis phantastica*)[†].

tortuga de la isla Rábida (*Chelonoidis wallacei*)[†].

tortuga de la isla Santa Cruz (*Chelonoidis porteri*).

tortuga oriental de Santa Cruz (*Chelonoidis donfaustoi*).

tortuga de la isla Santa Fe (*Chelonoidis* sp.)[†].

tortuga de la isla Española (*Chelonoidis hoodensis*).

tortuga marina verde (*Chelonia mydas*).

tortuga terrestre del Chaco (*Chelonoidis chilensis*). Tortuga de tierra de Sudamérica, semejante al ancestro de las tortugas gigantes de Galápagos.

trilobites (Clase Trilobita)[†]. Más de diecisiete mil especies de artrópodos del subfilo Trilobitomorpha que habitaron los mares del Paleozoico.

triceratops (género *Triceratops*)†. Dinosaurios del final del Cretácico con tres enormes cuernos en la frente.

tuátara (*Sphenodon punctatus*). Reptil semejante a una iguana, pero que en realidad es el único representante del orden Sphenodontia. Endémico de Nueva Zelanda.

uro o auroch (*Bos primigenius*)†. Bóvido de gran tamaño que se considera el ancestro del ganado vacuno actual. Se extinguió en Europa hacia el siglo XVII.

vaca marina de Steller (*Hydrodamalis gigas*)†. Sirenio emparentado con el dugongo, extinto desde 1768.

venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

viuda negra (parte del género *Latrodectus*). Varias especies de arañas venenosas de Norteamérica.

wombat (*Vombatus ursinus*). Marsupial australiano.

zanate (*Quiscalus mexicanus*).

zorra ártica (*Vulpes lagopus*).

zygomaturus (*Zygomaturus trilobus*)†. Marsupial pleistoceno de 250 kilos, emparentado con los wombats.

3. Las eras geológicas

El planeta Tierra tiene una edad de 4.540 millones de años (4.54×10^9 años, o 4 540 000 000 años). Aunque la vida apareció en la Tierra hace más de 3.500 millones de años, el registro fósil de los animales comienza apenas hace poco más de 541 millones de años y es abundante y diverso sólo después de ese tiempo. Estos últimos 541 millones de años —aproximadamente 10 % de la historia del planeta— constituyen el eón llamado Fanerozoico (segunda columna en la figura A3.1).

El Fanerozoico se divide, de acuerdo con el sistema desarrollado por John Phillips desde mediados del siglo XIX, en tres eras: el Paleozoico, el Mesozoico y el Cenozoico. A su vez, estas eras se dividen en varios periodos. El Paleozoico incluye los periodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico. El Mesozoico se divide en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico, mientras que el Cenozoico comprende los periodos Paleogeno, Neogeno y Cuaternario. Como se analiza en los capítulos III y IV, los límites entre las tres eras corresponden con las extinciones masivas de finales del Pérmico (hace 251 millones de años) y de finales del Cretácico (hace 66 millones de años).

El Cenozoico, que comprende los últimos 66 millones de años de la Tierra (tercera columna en la figura A3.1), tradicionalmente se divide en las épocas llamadas Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno y Holoceno. Los últimos 2.58 millones de años, que incluyen las dos últimas épocas del Cenozoico, constituyen el Cuaternario. En los últimos años se ha estado discutiendo en los congresos de geólogos y otros especialistas la idea de agregar un tiempo geológico especial al tiempo en el que la presencia humana es manifiesta en los estratos geológicos; esta época sería llamada Antropoceno.

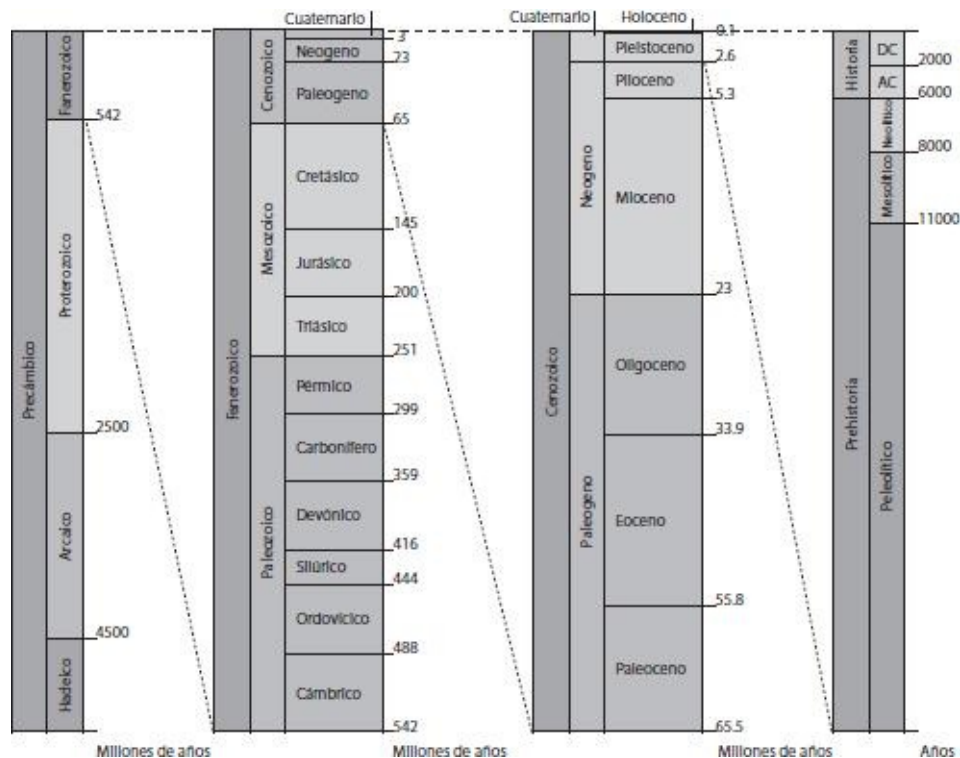


FIGURA A3.1. Eras geológicas y periodos históricos. Cada columna es una sección de la columna anterior a la izquierda. Por ejemplo, la segunda columna comprende el Fanerozoico, que incluye los últimos 542 millones de años del planeta, y que aparece en la primera columna como la sección superior. Las tres primeras columnas están basadas en la más reciente carta estratigráfica de la Comisión Internacional de Estratigrafía (versión 2015/01). La última columna muestra la clasificación tradicional de los periodos de la prehistoria y la historia humanas.

El Cuaternario, que comprende los últimos dos y medio millones de años de la historia del planeta, coincide aproximadamente con la diversificación de los homíninos y el posterior desarrollo de una especie en particular de ese grupo, el *Homo sapiens* (cuarta columna en la figura). Los arqueólogos dividen este tiempo de acuerdo con la aparición de diversas características o desarrollos tecnológicos entre los seres humanos. En particular, en una definición amplia, se considera que la historia humana comenzó hace seis mil años, con la aparición de la comunicación escrita.

Las historias que comprenden estas *Crónicas de la extinción* se pueden entender plenamente sólo si se considera el contexto temporal en el que se desarrollaron. La historia de los trilobites (capítulo III) sucede por completo en el Paleozoico, mientras que el esplendor del clado de los dinosaurios —sin contar las aves— se produjo durante el Mesozoico y llegó a su fin con los eventos del final del Cretácico. El Cenozoico se conoce informalmente como la era de los mamíferos, pues es en este tiempo cuando se dio la diversificación de ese grupo de animales. Los episodios de los capítulos V (la extinción de la mayoría de los homíninos) y VI (el apogeo y desaparición de la megafauna del Pleistoceno) se dieron en los últimos dos millones de años.

Finalmente, las extinciones narradas en el capítulo VII acontecieron en los últimos mil años, ya en tiempos históricos.

La figura incluye el sistema de división del tiempo geológico de acuerdo con la más reciente revisión (2015) de la Comisión Internacional sobre Estratigrafía (www.stratigraphy.org). El final del Cretácico (y del Mesozoico), por ejemplo, se representa ya con una antigüedad de 66 millones de años, según las más recientes mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS GENERALES

- Álvarez, W., *T. Rex and the Crater of Doom*, prólogo de Carl Zimmer, Princeton University Press, Nueva Jersey, 1997. [Versión en español: *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, trad. de Joandoménec Ros, Crítica, Barcelona, 1998.]
- Bakker, R. T., *The Dinosaur Heresies: New Theories Unlocking the Mystery of the Dinosaurs and their Extinction*, William Morrow, Nueva York, 1986.
- Barrow Jr., M. V., *Nature's ghosts. Confronting Extinction from the Age of Jefferson to the Age of Ecology*, University of Chicago Press, Chicago, 2009.
- Benton, M. J., y D. A. T. Harper, *Introduction to Paleobiology and the Fossil Record*, Wiley-Blackwell, Nueva Jersey, 2009.
- Challenger, M., *On Extinction. How We Became Estranged from Nature*, Counterpoint, Berkeley, 2012
- Cohen, C., *The Fate of the Mammoth. Fossils, Myth, and History*, University of Chicago Press, Chicago, 2002.
- Courtillot, V., *Evolutionary Catastrophes: The Science of Mass Extinction* [trad. al inglés de J. McClinton], Cambridge University Press, Cambridge [Reino Unido], 1999.
- Cuppy, W., *How to Become Extinct*. Nonpareil Books, Boston, 2001.
- Dampier, W., *Memoirs of a Buccaneer: Dampier's New Voyage Round the World, 1697*, Dover, Nueva York, 2007.
- Day, D., *Vanished Species*, Gallery Books, Nueva York, 1989.
- Diamond, J., *Guns, Germs, and Steel. The Fates of Human Societies*. W. W. Norton & Co., Nueva York, 1977. [Versión en español: *Armas, gérmenes*

- y acero. *La sociedad humana y sus destinos*, Debate, Madrid, 2007.]
- Dugatkin, L. A., *Mr. Jefferson and the Giant Moose. Natural History in Early America*, University of Chicago Press, Chicago, 2009.
- Ehrlich, P. R., y A. Ehrlich, *Extinction. The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*, Random House, Nueva York, 1981.
- Eldredge, N., *The Miner's Canary. Unraveling the Mysteries of Extinction*, Prentice Hall Press, Nueva York, 1991.
- Ellis, R., *No Turning Back. The Life and Death of Animal Species*, Harper Collins, Nueva York, 2004.
- Erwin, D. H., *Extinction. How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago*, Princeton University Press, Nueva Jersey, 2006.
- Falk, D., *The Fossil Chronicles. How Two Controversial Discoveries Changed Our View of Human Evolution*, University of California Press, Berkeley, 2011.
- Fortey, R., *Trilobite!: Eyewitness to Evolution*, Random House, Nueva York, 2000.
- Fortey, R., *Horseshoe Crabs and Velvet Worms. The Story of the Animals and Plants that Time Has Left Behind*, Random House, Nueva York, 2012.
- Gould, S. J., *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, W. W. Norton & Co., Nueva York, 1989. [Versión en español: *La vida maravillosa*, Crítica, Barcelona, 1999].
- Gould, S. J. (coord.), *The Book of Life. An Illustrated History of the Evolution of Life on Earth*, W. W. Norton & Co., Nueva York, 1993.
- Gould, S. J., *Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms*, Harmony Books, Nueva York, 1998. [Versión en español: *La montaña de almejas de Leonardo*, Crítica, Barcelona, 1999.]
- Holder, C. F., *Charles Darwin: His Life and Work*, G. P. Putnam's Sons, Nueva York, 1891.
- Johanson, D. C., y K. Wong, *Lucy's Legacy. The Quest for Human Origins*, Harmony Books, Nueva York, 2009.
- Kolbert, E., *The Sixth Extinction. An Unnatural History*, Henry Holt and Company, Nueva York, 2014. [Versión en español: *La sexta extinción. Una historia nada natural*, Crítica, Barcelona, 2015].
- Lane, N., *Life Ascending: The Ten Great Inventions of Evolution*, W. W. Norton & Co., Nueva York, 2009.
- Lankester, E. R., *Extinct Animals*, Henry Holt and Company, Nueva York, 1905.

- Leakey, R., y R. Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*. Random House, Nueva York, 1995.
- Levy, S., *Once & Future Giants. What Ice Age Extinctions Tell Us About the Fate of Earth's Largest Animals*, Oxford University Press, Nueva York, 2011.
- Martin, P. S., *Twilight of the Mammoths. Ice Age Extinctions and the Rewilding of America (Organisms and Environments)*, University of California Press, Berkeley, 2005.
- Mayor, A., *The First Fossil Hunters. Dinosaurs, Mammoths, and Myth in Greek and Roman Times*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 2000.
- Mayor, A., *Fossil Legends of the First Americans*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 2005.
- Nickerson, T., y O. Chase, *The Loss of the Ship Essex, Sunk by a Whale*, Penguin Classics, Nueva York, 2001.
- Nicholls, H., *Lonesome George: The Life and Loves of the World's Most Famous Tortoise*, Pan MacMillan, Nueva York, 2007.
- Philbrick, N., *In the Heart of the Sea*, Penguin Books, Nueva York, 2001.
[Versión en español: *En el corazón del mar*, trad. de Jordi Beltrán, Planeta, 2015]
- Phillips, J., *Life on the Earth. Origin and Succession*, MacMillan and Co., Londres, 1860.
- Powell, J. L., *Night Comes to the Cretaceous. Comets, Craters, Controversy, and the Last Days of the Dinosaurs*, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1998.
- Prothero, D. R., *After the Dinosaurs. The Age of Mammals*, Indiana University Press, Indiana, 2006.
- Quammen, D., *The Song of the Dodo. Island Biogeography in an Age of Extinctions*, Simon & Schuster, Nueva York, 1996.
- Randall, L., *Dark Matter and the Dinosaurs*, Harper Collins, Nueva York, 2015.
- Raup, D. M., *Extinction. Bad Genes or Bad Luck?* W.W. Norton & Co., Nueva York, 1991.
- Rothschild, W., *Extinct Birds*, Hutchinson & Co., Londres, 1907.
- Rudwick, M. J. S., *The Meaning of Fossils. Episodes in the History of Palaeontology*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.
- Rudwick, M. J., *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations and Interpretations of the Primary Texts*, University of

- Chicago Press, Chicago, 1997.
- Sepkoski, D., *Rereading the Fossil Record: The Growth of Paleobiology as an Evolutionary Discipline*, University of Chicago Press, Chicago, 2012.
- Shapiro, B., *How to Clone a Mammoth*, Princeton University Press, Princeton [Massachusetts], 2015.
- Sodikoff, G. M. (coord.), *The Anthropology of Extinction. Essays on Culture and Species Death*, Indiana University Press, Indiana, 2012.
- Wallace, A. R., *The Geographical Distribution of Animals*, Macmillan, Londres, 1876.
- Wilson, E. O. (coord.), *From so Simple a Beginning. The Four Great Books of Charles Darwin*, W. W. Norton & Co., Nueva York, 2005.

REFERENCIAS TÉCNICAS

- Abbott, C. G., «Closing History of the Guadalupe Caracara», *The Condor*, 35 (1): 10-14, 1933.
- Adrain, J. M., R. A. Fortey, y S. R. Westrop, «Post-Cambrian Trilobite Diversity and Evolutionary Faunas», *Science*, 280 (5371): 1922-1925, 1998
- Alvarez, L. W., W. Alvarez, F. Asaro, y H. V. Michel, «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. Experimental Results and Theoretical Interpretation», *Science*, 208 (4448): 1095-1108, 1980.
- «Ancient Meat for Party», *The New York Times*, 30 de diciembre de 1950, p. 10.
- Anderson, P. K., «Competition, Predation, and the Evolution and Extinction of Steller's Sea Cow, *Hydrodamalis gigas*», *Marine Mammal Science*, 11 (3): 391-394, 1995.
- Antón, S. C., R. Potts, y L. C. Aiello, «Evolution of Early *Homo*: An Integrated Biological Perspective», *Science*, 345 (6192): 1236828, 2014.
- Araujo, B. B., L. G. R. Oliveira-Santos, M. S. Lima-Ribeiro, J. A. F. Diniz-Filho, y F. A. Fernandez, «Bigger Kill than Chill: The Uneven Roles of Humans and Climate on Late Quaternary Megafaunal Extinctions», *Quaternary International*, [en prensa], 2016.
- Archibald, J. D., W. A. Clemens, K. Padian, T. Rowe, N. Macleod, P. M. Barrett, A. Gale, P. Holroyd, H. D. Sues, N. C. Arens, J. R. Horner, G. P. Wilson, M. B. Goodwin, C. A. Brochu, D. L. Lofgren, S. H. Hurlbert, J. H. Hartman, D. A. Eberth, P. B. Wignall, P. J. Currie, A. Weil, G. V. R.

- Prasad, L. Dingus, V. Courtillot, Angela. Milner, Andrew Milner, S. Bajpai, D. J. Ward, y A. Sahni, «Cretaceous Extinctions: Multiple Causes», *Science*, 328 (5981): 973-973, 2010.
- Arroyo-Cabrales, J., O. J. Polaco, E. Johnson, y I. Ferrusquía-Villafranca, «A Perspective on Mammal Biodiversity and Zoogeography in the Late Pleistocene of México», *Quaternary International*, 212 (2): 187-197, 2010.
- Attard, M. R. G., L. A. B. Wilson, T. H. Worthy, P. Scofield, P. Johnston, W. C. H. Parr, y S. Wroe. «Moa Diet Fits the Bill: Virtual Reconstruction Incorporating Mummified Remains and Prediction of Biomechanical Performance in Avian Giants», *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 283 (1822): 20152043, 2016.
- Baker, A. J., L. J. Huynen, O. Haddrath, C. D. Millar, y D. M. Lambert, «Reconstructing the Tempo and Mode of Evolution in an Extinct Clade of Birds with Ancient dna: The Giant Moas of New Zealand», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (23): 8257-8262, 2005.
- Balzeau, A., y P. Charlier, «What do Cranial Bones of lb1 Tell Us about *Homo floresiensis*?», *Journal of Human Evolution* 93: 12-24, 2016.
- Barnosky, A. D., P. L. Koch, R. S. Feranec, S. L. Wing, y A. B. Shabel, «Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents», *Science*, 306 (5693): 70-75, 2004.
- Barnosky, A. D., y E. L. Lindsey, «Timing of Quaternary Megafaunal Extinction in South America in Relation to Human Arrival and Climate Change», *Quaternary International* 217 (1-2): 10-29, 2010.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, K. C. Maguire, B. Mersey, y E. A. Ferrer, «Has the Earth's Sixth Mass Extinction already Arrived?», *Nature*, 471 (7336): 51-57, 2011.
- Bates, K. T., P. L. Falkingham, S. Macaulay, C. Brassey, y S. C. R. Maidment, «Downsizing a Giant: Re-evaluating *Dreadnoughtus* Body Mass», *Biology Letters*, 11 (6): 20150215, 2015.
- Beheregaray, L. B., J. P. Gibbs, N. Havill, T. H. Fritts, J. R. Powell, y A. Caccone, «Giant Tortoises Are Not so Slow: Rapid Diversification and Biogeographic Consensus in the Galápagos», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (17): 6514-6519, 2004.

- Benson, R. B. J., R. J. Butler, J. Alroy, P. D. Mannion, M. T. Carrano, y G. T. Lloyd, «Near-Stasis in the Long-Term Diversification of Mesozoic Tetrapods», *PLoS Biology*, 14 (1): e1002359, 2016.
- Benton, M., «Diversification and Extinction in the History of Life», *Science*, 268 (5207): 52-58, 1995.
- Benton, M. J., «The Red Queen and the Court Jester: Species Diversity and the Role of Biotic and Abiotic Factors through Time», *Science*, 323 (5915): 728-732, 2009.
- Benton, M. J., y R. J. Twitchett. «How to Kill (almost) All Life: the End-Permian Extinction Event», *Trends in Ecology & Evolution*, 18 (7): 358-365, 2003.
- Berger, J., «Persistence of Different-Sized Populations: An Empirical Assessment of Rapid Extinctions in Bighorn Sheep», *Conservation Biology*, 4 (1): 91-97, 1990.
- Berger, L. R., D. J. de Ruiter, S. E. Churchill, P. Schmid, K. J. Carlson, P. H. Dirks, y J. M. Kibii, «*Australopithecus sediba*: A New Species of Homo-like Australopith from South Africa», *Science*, 328 (5975): 195-204, 2010.
- Berger, L. R., J. Hawks, D. J. de Ruiter, S. E. Churchill, P. Schmid, L. K. Deleuzene, T. L. Kivell, H. M. Garvin, S. A. Williams, J. M. DeSilva, M. M. Skinner, C. M. Musiba, N. Cameron, T. W. Holliday, W. Harcourt-Smith, R. R. Ackermann, M. Bastir, B. Bogin, D. Bolter, J. Brophy, Z. D. Cofran, K. A. Congdon, A. S. Deane, M. Dembo, M. Drapeau, M. C. Elliot, E. M. Feuerriegel, D. Garcia-Martinez, D. J. Green, A. G. J. D. Irish, A. Kruger, M. F. Laird, D. Marchi, M. R. Meyer, S. Nalla, E. W. Negash, C. M. Orr, D. Radovicic, L. Schroeder, J. E. Scott, Z. Throckmorton, M. W. Tocheri, C. VanSickle, C. S. Walker, P. Wei, y B. Zipfel, «*Homo naledi*, a New Species of the Genus *Homo* from the Dinaledi Chamber, South Africa», *Elife*, 4: e09560, 2015.
- Bergstrom, A., N. Nagle, Y. Chen, S. McCarthy, Martin O. Pollard, Q. Ayub, S. Wilcox, L. Wilcox, R. A. H. van Oorschot, P. McAllister, L. Williams, Y. Xue, R. J. Mitchell, y C. Tyler-Smith, «Deep Roots for Aboriginal Australian y Chromosomes», *Current Biology*, 26 (6): 1-5, 2016.
- Bermudez de Castro, J. M., J. L. Arsuaga, E. Carbonell, A. Rosas, I. Martinez, y M. Mosquera, «A Hominid from the Lower Pleistocene of Atapuerca, Spain: Possible Ancestor to Neandertals and Modern Humans», *Science*, 276 (5317): 1392-1395, 1997.

- Berta, A. y Churchill, M., «Pinniped Taxonomy: Review of Currently Recognized Species and Subspecies, and Evidence Used for Their Description», *Mammal Review*, 42 (3): 207-234, 2012.
- Bertazzo, S., S. C. R. Maidment, C. Kallepitis, S. Fearn, M. M. Stevens, y H. Xie, «Fibres and Cellular Structures Preserved in 75-Million-Year-Old Dinosaur Specimens», *Nature Communications*, 6: 7352, 2015.
- Biknevicius, A. R., D. A. McFarlane, y R. D. MacPhee, «Body Size in *Amblyrhiza inundata* (Rodentia, Caviomorpha), an Extinct Megafaunal Rodent from the Anguilla Bank, West Indies: Estimates and Implications», *American Museum Novitates*, 3079: 1-25, 1993.
- Blakeslee, S., «Scientists Hope to Bring a Galápagos Tortoise Species Back to Life», *The New York Times*, nytimes.com, 2015.
- Boessenkool, S., J. J. Austin, T. H. Worthy, P. Scofield, A. Cooper, P. J. Seddon, y J. M. Waters, «Relict or Colonizer? Extinction and Range Expansion of Penguins in Southern New Zealand», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276 (1658): 815-821, 2009.
- Botke, W. F., D. Vokrouhlický, y D. Nesvorný, «An Asteroid Breakup 160 Myr Ago as the Probable Source of the k/t Impactor», *Nature*, 449: 48-53, 2007.
- Brown, P., T. Sutikna, M. J. Morwood, R. P. Soejono, Jatmiko, E. Wayhu Saptomo, y R. Awe Due, «A New Small-Bodied Hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia», *Nature*, 431: 1055-1061, 2004.
- Brumm, A., G. M. Jensen, G. D. van den Bergh, M. J. Morwood, I. Kurniawan, F. Aziz, y M. Storey, «Hominins on Flores, Indonesia, by One Million Years Ago», *Nature*, 464: 748-752, 2010.
- Brusatte, S. L., R. J. Butler, P. M. Barrett, M. T. Carrano, D. C. Evans, G. T. Lloyd, P. D. Mannion, M. A. Norell, D. J. Peppe, P. Upchurch, y T. E. Williamson, «The Extinction of the Dinosaurs», *Biological Reviews*, 90 (2): 628-642, 2015.
- Burgess, S. D., y S. A. Bowring, «High-Precision Geochronology Confirms Voluminous Magmatism Before, During, and After Earth's Most Severe Extinction», *Science Advances*, 1 (7): e1500470, 2015.
- Burney, D. A., L. P. Burney, L. R. Godfrey, W. L. Jungers, S. M. Goodman, H. T. Wright, y A. T. Jull, «A Chronology for Late Prehistoric Madagascar», *Journal of Human Evolution*, 47 (1-2): 25-63, 2004.
- Burney, D. A., y T. F. Flannery, «Fifty Millennia of Catastrophic Extinctions after Human Contact», *Trends in Ecology & Evolution*, 20 (7): 395-401, 2005.

- Caccone, A., G. Gentile, J. P. Gibbs, T. H. Fritts, H. L. Snell, J. Betts, y J. R. Powell, «Phylogeography and History of Giant Galápagos Tortoises», *Evolution*, 56 (10): 2052-2066, 2002.
- Caccone, A., J. P. Gibbs, V. Ketmaier, E. Suatoni, y J. R. Powell, «Origin and Evolutionary Relationships of Giant Galápagos Tortoises», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96 (23): 13223-13228, 1999.
- Carney, R. M., J. Vinther, M. D. Shawkey, L. D'Alba, y J. Ackermann, «New Evidence on the Colour and Nature of the Isolated *Archaeopteryx* Feather», *Nature Communications*, 3 (637), 2012.
- Carvalho, D. O., A. R. McKemey, L. Garziera, R. Lacroix, C. A. Donnelly, L. Alphey, A. Malavasi, M. L. Capurro, «Suppression of a Field Population of *Aedes aegypti* in Brazil by Sustained Release of Transgenic Male Mosquitoes», *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9 (7): e0003864, 2015.
- Caughley, G., «Directions in Conservation Biology», *Journal of Animal Ecology*, 63 (3): 215-244, 1994.
- Ceballos, G., P. R. Ehrlich, A. D. Barnosky, A. García, R. M. Pringle, y T. M. Palmer, «Accelerated Modern Human-Induced Species Losses: Entering the Sixth Mass Extinction», *Science Advances*, 1 (5): e1400253, 2015.
- Chatters, J. C., D. J. Kennett, Y. Asmerom, B. M. Kemp, V. Polyak, A. N. Blank, P. A. Beddows, E. Reinhardt, J. Arroyo-Cabrales, D. A. Bolnick, R. S. Malhi, B. J. Culleton, P. L. Erreguerena, D. Rissolo, S. Morell-Hart, y T. W. Stafford Jr., «Late Pleistocene Human Skeleton and mtDNA Link Paleoamericans and Modern Native Americans», *Science*, 344 (6185): 750-754, 2014.
- Cheke, A. S., «Speculation, Statistics, Facts and the Dodo's Extinction Date», *Historical Biology*, 27 (5): 624-633, 2015.
- Chiappe, L. M., y G. J. Dyke, «The Mesozoic Radiation of Birds», *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 91-124, 2002.
- Cione, A., E. Tonni, y L. Soilbenzon, «The Broken Zig-zag: Late Cenozoic Large Mammal and Tortoise Extinction in South America», *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 5 (1): 1-19, 2003.
- Claramunt, S., y J. Cracraft, «A New Time Tree Reveals Earth History's Imprint on the Evolution of Modern Birds», *Science Advances*, 1 (11): e1501005, 2015.
- Clarkson, E. N. K., y R. Levi-Setti, «Trilobite Eyes and the Optics of Des Cartes and Huygens», *Nature*, 254: 663-667, 1975.
- Constantino, J., «A Tortoise Soup for the Soul. Finding a Space for Human History in Evolution's Laboratory», en G. M. Sodikoff (coord.), *The*

- Anthropology of Extinction*, Indiana University Press, Indiana, 2012, pp. 89-102.
- Conway Morris, S., «A New Metazoan from the Cambrian Burgess Shale of British Columbia», *Palaeontology*, 20 (3): 623-640, 1977.
- Cooper, A., C. Lalueza-Fox, S. Anderson, A. Rambaut, J. Austin, y R. Ward, «Complete Mitochondrial Genome Sequences of Two Extinct Moas Clarify Ratite Evolution», *Nature*, 409: 704-707, 2001.
- Cooper, A., y C. Stringer, «Did the Denisovans Cross Wallace's Line?», *Science*, 342 (6156): 321-323, 2013.
- Cooper, A., C. Turney, K. A. Hughen, B. W. Brook, H. G. McDonald, y C. J. Bradshaw, «Abrupt Warming Events Drove Late Pleistocene Holarctic Megafaunal Turnover», *Science*, 349 (6248): 602-606, 2015.
- Cooper, R. A., y P. R. Millener, «The New Zealand Biota: Historical Background and New Research», *Trends in Ecology & Evolution*, 8 (12): 429-433, 1993.
- Courtillot, V., y F. Fluteau, «Cretaceous Extinctions: The Volcanic Hypothesis», *Science*, 328 (5981): 973-974, 2010
- Crowley, B. E., «A Refined Chronology of Prehistoric Madagascar and the Demise of the Megafauna», *Quaternary Science Reviews*, 29 (19-20): 2591-2603, 2010.
- Crowther, A., L. Lucas, R. Helm, M. Horton, C. Shipton, H. T. Wright, S. Walshawi, M. Pawlowiczj, C. Radimilahyk, K. Doukal, L. Picornell-Gelabertm, D. Q. Fullerb, y N. L. Boivinn, «Ancient Crops Provide First Archaeological Signature of the Westward Austronesian Expansion», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (24): 201522714, 2016.
- Curnoe, D., X. Ji, W. Liu, Z. Bao, P. S. Taçon, y L. Ren, «A Hominin Femur with Archaic Affinities from the Late Pleistocene of Southwest China», *PLoS ONE*, 10 (12): e0143332, 2015.
- Cuvier, G., «Notice sur le squelette d'une très grande espèce de quadrupède inconnue jusqu'à présent: trouvé au Paraguay et déposé au cabinet d'histoire naturelle de Madrid», *Magasin encyclopédique* 1: 303-310, 1796.
- Cuvier, G., «Memoire sur les espèces d'elephans tant vivantes que fossiles», *Magasin encyclopédique*, 3: 440-445, 1796.
- Demeter, F., L. L. Shackelford, A.-M. Bacon, P. Düringer, K. Westaway, T. Sayavongkhamdy, J. Braga, P. Sichanthongtipg, P. Khamdalavongg, J. Poncheh, H. Wangi, C. Lundstromj, E. Patole-Edoumbak, y Anne-Marie

- Karpoffl, «Anatomically Modern Human in Southeast Asia (Laos) by 46 ka», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (36): 14375-14380, 2012.
- Díaz del Castillo, B., *Historia verdadera de la conquista de la Nueva España* [coord. por J. Ramírez Cabañas], Porrúa, México, 2005.
- Dirks, P. H., L. R. Berger, E. M. Roberts, J. D. Kramers, J. Hawks, P. S. Randolph-Quinney, M. Elliott, C. M. Musiba, S. E. Churchill, D. J. de Ruiter, P. Schmid, L. R. Backwell, G. A. Belyanin, P. Boshoff, K. L. Hunter, E. M. Feuerriegel, A. Gurtov, J. du G. Harrison, R. Hunter, A. Kruger, H. Morris, T. V. Makhubela, B. Peixotto, y S. Tucker, «Geological and Taphonomic Context for the New Hominin Species *Homo naledi* from the Dinaledi Chamber, South Africa», *Elfe*, 4: e09561, 2015.
- Donlan, C. J., J. Berger, C. E. Bock, J. H. Bock, D. A. Burney, J. A. Estes, D. Foreman, P. S. Martin, G. W. Roemer, F. A. Smith, M. E. Soule, y H. W. Greene, «Pleistocene Rewilding: an Optimistic Agenda for Twenty-First Century Conservation», *The American Naturalist*, 168 (5): 660-681, 2006.
- Donlan, J., «Rewilding North America». *Nature*, 436: 913-914, 2005.
- Durán, F. D., *Historia de las Indias de Nueva España e islas de la tierra firme*, Porrúa, México, 2006.
- Edwards, D. L., E. Benavides, R. C. Garrick, J. P. Gibbs, M. A. Russello, K. B. Dion, C. Hysenia, J. P. Flanagan, W. Tapiaf, y A. Cacconea, «The Genetic Legacy of Lonesome George Survives: Giant Tortoises with Pinta Island Ancestry Identified in Galápagos», *Biological Conservation*, 157: 225-228, 2013.
- Estes, J. A., A. Burdin, y D. F. Doak, «Sea Otters, Kelp Forests, and the Extinction of Steller's Sea Cow», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (4): 880-885, 2016.
- Faurby, S., y J. C. Svenning, «Historic and Prehistoric Human-Driven Extinctions Have Reshaped Global Mammal Diversity Patterns», *Diversity and Distributions*, 21 (10): 1155-1166, 2015.
- Figueirido, B., J. A. Pérez-Claros, V. Torregrosa, A. Martín-Serra, y P. Palmqvist, «Demythologizing *Arctodus simus*, the “Short-Faced” Long-Legged and Predaceous Bear that Never Was», *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30 (1): 262-275, 2010.
- Folch, J., M. Cocero, P. Chesné, J. Alabart, V. Domínguez, Y. Cognié, A. Roche, A. Fernández-Arias, J. I. Martí, P. Sánchez, E. Echegoyen, J. F. Beckers, A. S. Bonastre, y X. Vignon, «First Birth of an Animal from an

- Extinct Subspecies (*Capra pyrenaica pyrenaica*) by Cloning», *Theriogenology*, 71 (6): 1026-1034, 2009.
- Foth, C., H. Tischlinger, y O. W. Rauhut, «New Specimen of *Archaeopteryx* Provides Insights into the Evolution of Pennaceous Feathers», *Nature*, 511 (7507): 79-82, 2014.
- Fox, D., «What Sparked the Cambrian Explosion?», *Nature*, 530 (7590): 268-270, 2016.
- Garrick, R. C., E. Benavides, M. A. Russello, J. P. Gibbs, N. Poulakakis, K. B. Dion, C. Hyseni, B. Kajdacs, L. Márquez, S. Bahan, C. Ciofi, W. Tapia, y A. Caccone, «Genetic Rediscovery of an “Extinct”; Galápagos Giant Tortoise Species», *Current Biology*, 22 (1): R10-R11, 2012.
- Gibbons, A., «Aboriginal Genome Shows Two-Wave Settlement of Asia», *Science*, 333 (6050): 1689-1691, 2011.
- Gibbs, J. P., E. A. Hunter, K. T. Shoemaker, W. H. Tapia, y L. J. Cayot, «Demographic Outcomes and Ecosystem Implications of Giant Tortoise Reintroduction to Española Island, Galapagos», *PloS ONE*, 9 (10): e110742, 2014.
- Gill, J. L., J. W. Williams, S. T. Jackson, K. B. Lininger, y G. S. Robinson, «Pleistocene Megafaunal Collapse, Novel Plant Communities, and Enhanced Fire Regimes in North America», *Science*, 326 (5956): 1100-1103, 2009.
- Glass, J. R., M. Davis, T. J. Walsh, E. J. Sargis, y A. Caccone, «Was Frozen Mammoth or Giant Ground Sloth Served for Dinner at the Explorers Club?», *PLoS ONE*, 11 (2): e0146825, 2016.
- Godefroit, P., S. M. Sinita, D. Dhouailly, Y. L. Bolotsky, A. V. Sizov, M. E. McNamara, M. J. Benton, y P. Spagna, «A Jurassic Ornithischian Dinosaur from Siberia with both Feathers and Scales», *Science*, 345 (6195): 451-455, 2014.
- González, A., C. R. Sandoval, A. T. Mata, M. B. Sanvicente, W. Stinnesbeck, J. Avilés, M. de los Ríos, y E. Acevez, «The Arrival of Humans on the Yucatan Peninsula: Evidence from Submerged Caves in the state of Quintana Roo, Mexico», *Current Research in the Pleistocene*, 25: 1-24, 2008.
- Gordon, E. O. B., y W. Buckland, «The Life and Correspondence of William Buckland, D.D., F. R. S., Sometime Dean of Westminster, Twice President of the Geological Society, and First President of the British Association», Cambridge University Press, Cambridge [Reino Unido], 1894.

- Granger, D. E., R. J. Gibbon, K. Kuman, R. J. Clarke, L. Bruxelles, y M. W. Caffee, «New Cosmogenic Burial Ages for Sterkfontein Member 2 Australopithecus and Member 5 Oldowan», *Nature*, 522 (7554): 85-88, 2015.
- Grayson, D. K., «Nineteen-Century Explanations of Pleistocene Extinctions: A Review and Analysis», en P. S. Martin y R. G. Klein (coords.), *Quaternary Extinctions. A Prehistoric Revolution*, The University of Arizona Press, Tucson, 1984, pp. 5-39.
- Grayson, D. K., y D. J. Meltzer, «A Requiem for North American Overkill», *Journal of Archaeological Science*, 30 (5): 585-593, 2003.
- , «Revisiting Paleoindian Exploitation of Extinct North American Mammals», *Journal of Archaeological Science* 56: 177-193, 2015.
- Green, R. E., J. Krause, A. W. Briggs, T. Maricic, U. Stenzel, M. Kircher, N. Patterson, H. Li, W. Zhai, M. Hsi-Yang Fritz, N. F. Hansen, E. Y. Durand, A. Malaspina, J. D. Jensen, T. Marques-Bonet, C. Alkan, K. Prüfer, M. Meyer, H. A. Burbano, J. M. Good, R. Schultz, A. Aximu-Petri¹, A. Butthof, B. Höber, B. Höffner, M. Siegemund, A. Weihmann, C. Nusbaum, E. S. Lander, C. Russ, N. Novod, J. Affourtit, M. Egholm, C. Verna, P. Rudan, D. Brajkovic, Ž. Kucan, I. Gušić, V. B. Doronichev, L. V Golovanova, C. Lalueza-Fox, M. de la Rasilla, J. Fortea, A. Rosas, R. W. Schmitz, P. L. F. Johnson, E. E. Eichler, D. Falush, E. Birney, J. C. Mullikin, M. Slatkin, R. Nielsen, J. Kelso, M. Lachmann, D. Reich, y S. Pääbo, «A Draft Sequence of the Neandertal Genome», *Science*, 328 (5979): 710-722, 2010.
- Guthrie, R. D., «New Carbon Dates Link Climatic Change with Human Colonization and Pleistocene Extinctions», *Nature*, 441: 207-209, 2006.
- Haile-Selassie, Y., S. M. Melillo, y D. F. Su, «The Pliocene Hominin Diversity Conundrum: Do More Fossils Mean Less Clarity?», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (23): 6364-6371, 2016.
- Haile-Selassie, Y., G. Suwa, y T. D. White, «Late Miocene Teeth from Middle Awash, Ethiopia, and Early Hominid Dental Evolution», *Science*, 303 (5663): 1503-1505, 2004.
- Haldane, J. B. S., «Some Animal Life Tables», *Journal of the Institute of Actuaries* (1886-1994), 79 (1): 83-89, 1953.
- Halligan, J. J., M. R. Waters, A. Perrotti, I. J. Owens, J. M. Feinberg, M. D. Bourne, B. Fenerty, B. Winsborough, D. Carlson, D. C. Fisher, T. W. Stafford Jr. y J. S. Dunbar, «Pre-Clovis Occupation 14,550 Years Ago at

- the Page-Ladson Site, Florida, and the Peopling of the Americas», *Science Advances*, 2 (5): e1600375, 2016.
- Harmand, S., J. E. Lewis, C. S. Feibel, C. J. Lepre, S. Prat, A. Lenoble, X. Boës, R. L. Quinn, M. Brenet, A. Arroyo, N. Taylor, S. Clément, G. Daver, J.-P. Brugal, L. Leakey, R. A. Mortlock, J. D. Wright, S. Lokorodi, C. Kirwa, D. V. Kent y H. Roche, «3.3-Million-Year-Old Stone Tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya», *Nature*, 521 (7552): 310-315, 2015.
- Harrison, T. (coord), *Paleontology and Geology of Laetoli: Human Evolution in Context, II. Fossil Hominins and the Associated Fauna*, Springer, Nueva York, 2011.
- Herridge, V. L., y A. M. Lister, «Extreme Insular Dwarfism Evolved in a Mammoth», *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 279 (1741): 3193-3200, 2012.
- Higham, T., K. Douka, R. Wood, C. B. Ramsey, F. Brock, L. Basell, M. Camps, A. Arrizabalaga, J. Baena, C. Barroso-Ruíz, C. Bergman, C. Boitard, P. Boscatto, M. Caparrós, N. J. Conard, C. Draily, A. Froment, B. Galván, P. Gambassini, A. Garcia-Moreno, S. Grimaldi, P. Haesaerts, B. Holt, M.-J. Iriarte-Chiapusso, A. Jelinek, J. F. Jordá Pardo, J. Maíllo-Fernández, A. Marom, J. Maroto, M. Menéndez, L. Metz, E. Morin, A. Moroni, F. Negrino, E. Panagopoulou, M. Peresani, S. Pirson, M. de la Rasilla, J. Riel-Salvatore, A. Ronchitelli, D. Santamaria, P. Semal, L. Slimak, J. Soler, N. Soler, A. Villaluenga, R. Pinhasi, y R. Jacobi, «The Timing and Spatiotemporal Patterning of Neanderthal Disappearance», *Nature*, 512 (7514): 306-309, 2014.
- Hildebrand, A. R., G. T. Penfield, D. A. Kring, M. Pilkington, A. Camargo, S. B. Jacobsen, y W. V. Boynton, «Chicxulub Crater: A Possible Cretaceous/Tertiary Boundary Impact Crater on the Yucatán Peninsula, Mexico», *Geology*, 19 (9): 867-871, 1991.
- Hinchliff, C. E., S. A. Smith, J. F. Allman, J. G. Burleigh, R. Chaudhary, L. M. Coghill, K. A. Crandall, J. Deng, B. T. Drew, R. Gazis, K. Gude, D. S. Hibbett, L. A. Katz, H. D. Laughinghouse IV, E. J. McTavish, P. E. Midford, C. L. Owen, R. H. Reed, J. A. Rees, D. E. Soltis, T. Williams, y K. A. Cranston, «Synthesis of Phylogeny and Taxonomy into a Comprehensive Tree of Life», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (41): 12764-12769, 2015.
- Holdaway, R. N., y C. Jacomb, «Rapid Extinction of the Moas (Aves: Dinornithiformes): Model, Test, and Implications», *Science*, 287 (5461):

- 2250-2254, 2000.
- Howell, T. R., y T. J. Cade, «The Birds of Guadalupe Island in 1953», *The Condor*, 56: (5), 283-294, 1954.
- Hsieh, M. H., y M. M. Mentink-Kane, «Smallpox and Dracunculiasis: The Scientific Value of Infectious Diseases that Have Been Eradicated or Targeted for Eradication. Is Schistosomiasis Next?», *PLoS Pathogens*, 12 (1): e1005298, 2016.
- Hull, P., «Life in the Aftermath of Mass Extinctions», *Current Biology*, 25 (19): R941-R952, 2015.
- Huxley, T. H., «On the Animals Which Are Most Nearly Intermediate between Birds and Reptiles», *Annals and Magazine of Natural History*, 2: 66-75, 1868.
- Huxley, T. H., *Lectures on Evolution*, New York Tribune Extra, 36, 1876.
- Jaubert, J., S. Verheyden, D. Genty, M. Soulier, H. Cheng, D. Blamart, C. Burllet, H. Camus, S. Delaby, D. Deldicque, R. L. Edwards, C. Ferrier, F. Lacrampe-Cuyaubère, F. Lévêque, F. Maksud, P. Mora, X. Muth, É. Régnier, J.-N. Rouzaud, y F. Santos, «Early Neanderthal Constructions Deep in Bruniquel Cave in Southwestern France», *Nature*, 534: 111-114, 2016.
- Jefferson, T., «A Memoir on the Discovery of Certain Bones of a Quadruped of the Clawed Kind in the Western Parts of Virginia», *Transactions of the American Philosophical Society*, 4: 246-260, 1799.
- , *Notes on the State of Virginia*, Penguin Classics, Nueva York, 1998.
- Jepsen, G. L., «Riddles of the Terrible Lizards», *American Scientist*, 52 (2): 227-246, 1964.
- Jones, R. T., «A “Havock Made Among Them”: Animals, Empire, and Extinction in the Russian North Pacific, 1741-1810», *Environmental History*, 16 (4): 585-609, 2011.
- Joordens, J. C., F. d’Errico, F. P. Wesselingh, S. Munro, J. de Vos, J. Wallinga, C. Ankjærgaard, T. Reimann, J. R. Wijbrans, K. F. Kuiper, H. J. Mûcher, H. Coqueugniot, V. Prié, I. Joosten, B. van Os, A. S. Schulp, M. Panuel, V. van der Haas, W. Lustenhouwer, J. J. G. Reijmer, y W. Roebroeks, «*Homo erectus* at Trinil on Java Used Shells for Tool Production and Engraving», *Nature*, 518 (7538): 228-231, 2015.
- Judson, O., «A Bug’s Death», *The New York Times*, Nueva York, 25 de septiembre de 2003.
- Katoh, S., Y. Beyene, T. Itaya, H. Hyodo, M. Hyodo, K. Yagi, C. Gouzu, G. WoldeGabriel, W. K. Hart, S. H. Ambrose, H. Nakaya, R. L. Bernor, J.-R.

- Boisserie, F. Bibi, H. Saegusa, T. Sasaki, K. Sano, B. Asfaw y G. Suwa, «New Geological and Palaeontological Age Constraint for the Gorilla-Human Lineage Split», *Nature*, 530 (7589): 215-218, 2016.
- Keller, G., T. Adatte, A. Pardo, S. Bajpai, A. Khosla, y B. Samant, «Cretaceous Extinctions: Evidence Overlooked», *Science*, 328 (5981): 974-975, 2010.
- Koch, P. L., y A. D. Barnosky, «Late Quaternary Extinctions: State of the Debate», *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 215-250, 2006.
- Koschowitz, M. C., C. Fischer, y M. Sander, «Evolution. Beyond the Rainbow», *Science*, 346 (6208): 416-418, 2014.
- Krause, J., Q. Fu, J. M. Good, B. Viola, M. V. Shunkov, A. P. Derevianko, y S. Paabo, «The Complete Mitochondrial DNA Genome of an Unknown Hominin from Southern Siberia», *Nature*, 464: 894-897, 2010.
- Kuhlwilm, M., I. Gronau, M. J. Hubisz, C. de Filippo, J. Prado-Martinez, M. Kircher, Q. Fu, H. A. Burbano, C. Lalueza-Fox, M. de la Rasilla, A. Rosas, P. Rudan, D. Brajkovic, Ž. Kucan, I. Gušić, T. Marques-Bonet, A. M. Andrés, B. Viola, S. Pääbo, M. Meyer, A. Siepel y S. Castellano, «Ancient Gene Flow from Early Modern Humans into Eastern Neanderthals», *Nature*, 530 (7591): 429-433, 2016.
- Lacovara, K. J., M. C. Lamanna, L. M. Ibiricu, J. C. Poole, E. R. Schroeter, P. V. Ullmann, K. K. Voegelé, Z. M. Boles, A. M. Carter, E. K. Fowler, V. M. Egerton, A. E. Moyer, C. L. Coughenour, J. P. Schein, J. D. Harris, R. D. Martínez y F. E. Novas, «A Gigantic, Exceptionally Complete Titanosaurian Sauropod Dinosaur from Southern Patagonia, Argentina», *Scientific Reports*, 4 (6196): 6196, 2014.
- Lammertink, M., Gallagher, T. W., Rosenberg, K. V., «Film Documentation of the Probably Extinct Imperial Woodpecker (*Campephilus imperialis*)», *The Auk*, 128 (4): 671-677, 2011.
- Lanfear, R., y L. Bromham, «Estimating Phylogenies for Species Assemblages: a Complete Phylogeny for the Past and Present Native Birds of New Zealand», *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 61 (3): 958-963, 2011.
- Leakey, M. D., y R. L. Hay., «Pliocene Footprints in the Laetolil Beds at Laetoli, Northern Tanzania», *Nature*, 278 (5702): 317-323, 1979.
- Leakey, M. G., F. Spoor, F. H. Brown, P. N. Gathogo, C. Kiarie, L. N. Leakey, y I. McDougall, «New Hominin Genus from Eastern Africa

- Shows Diverse Middle Pliocene Lineages», *Nature*, 410 (6827): 433-440, 2001.
- Leibniz, G. W., *Protogaea* [trad. al inglés y coord. de Claudine Cohen y Andre Wakefield], University of Chicago Press, Chicago, 2008. [Versión en español: Intr., trad. y notas de Evaristo Álvarez Muñoz, KrK ediciones, Oviedo, 2006.]
- Lhwyd, E., «Part of a Letter from Mr. Edw. Lhwyd to Dr. Martin Lister, Fell. of the Coll. of Phys. and R. S. Concerning Several Regularly Figured Stones Lately Found by Him», *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 20: 279-280, 1698.
- Li, Q., J. A. Clarke, K.-Q. Gao, C.-F. Zhou, Q. Meng, D. Li, L. D'Alba, y M. D. Shawkey, «Melanosome Evolution Indicates a Key Physiological Shift within Feathered Dinosaurs», *Nature*, 507 (7492): 350-353, 2014.
- Li, Q., K.-Q. Gao, Q. Meng, J. A. Clarke, M. D. Shawkey, L. D'Alba, R. Pei, M. Ellison, M. A. Norell, y J. Vinther, «Reconstruction of *Microraptor* and the Evolution of Iridescent Plumage», *Science*, 335 (6073): 1215-1219, 2012.
- Li, Q., K.-Q. Gao, J. Vinther, M. D. Shawkey, J. A. Clarke, L. D'Alba, Q. Meng, D. E. G. Briggs, y R. O. Prum, «Plumage Color Patterns of an Extinct Dinosaur», *Science*, 327 (5971): 1369-1372, 2010.
- Lindgren, J., P. Sjövall, R. M. Carney, P. Uvdal, J. A. Gren, G. Dyke, B. P. Schultz, M. D. Shawkey, K. R. Barnes, y M. J. Polcyn, «Skin Pigmentation Provides Evidence of Convergent Melanism in Extinct Marine Reptiles», *Nature*, 506 (7489): 484-488, 2014.
- Liu, W., C.-Z. Jin, Y.-Q. Zhang, Y.-J. Cai, S. Xing, X.-J. Wu, H. Cheng, R. L. Edwards, W.-S. Pan, D.-G. Qin, Z.-S. An, E. Trinkaus, y X.-Z. Wu, «Human Remains from Zhirendong, South China, and Modern Human Emergence in East Asia», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (45): 19201-19206, 2010.
- Locatelli, E., R. A. Due, G. D. van den Bergh, y L. W. Van Den Hoek Ostende, «Pleistocene Survivors and Holocene Extinctions: the Giant Rats from Liang Bua (Flores, Indonesia)», *Quaternary International*, 281: 47-57, 2012.
- Longrich, N. R., T. Tokaryk, y D. J. Field, «Mass Extinction of Birds at the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) Boundary», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (37): 15253-15257, 2011.
- Lorenzen, E. D., D. Nogues-Bravo, L. Orlando, J. Weinstock, J. Binladen, K. A. Marske, A. Ugan, M. K. Borregaard, M. T. P. Gilbert, R. Nielsen, S. Y.

- W. Ho, T. Goebel, K. E. Graf, D. Byers, J. T. Stenderup, M. Rasmussen, P. F. Campos, J. A. Leonard, K.-P. Koepfli, D. Froese, G. Zazula, T. W. Stafford, K. Aaris-Sørensen, P. Batra, A. M. Haywood, J. S. Singarayer, P. J. Valdes, G. Boeskorov, J. A. Burns, S. P. Davydov, J. Haile, D. L. Jenkins, P. Kosintsev, T. Kuznetsova, X. Lai, L. D. Martin, H. G. McDonald, D. Mol, M. Meldgaard, K. Munch, E. Stephan, M. Sablin, R. S. Sommer, T. Sipko, E. Scott, M. A. Suchard, A. Tikhonov, R. Willerslev, R. K. Wayne, A. Cooper, M. Hofreiter, A. Sher, B. Shapiro, C. Rahbek y E. Willerslev, «Species-Specific Responses of Late Quaternary Megafauna to Climate and Humans», *Nature*, 479 (7373): 359-364, 2011.
- Lyons, S. K., F. A. Smith, y J. H. Brown, «Of Mice, Mastodons and Men: Human-Mediated Extinctions on Four Continents», *Evolutionary Ecology Research*, 6: 339-358, 2004.
- Llamas, B., L. Fehren-Schmitz, G. Valverde, J. Soubrier, S. Mallick, N. Rohland, S. Nordenfelt, C. Valdiosera, S. M. Richards, A. Rohrlach, M. I. Barreto Romero, I. Flores Espinoza, E. Tomasto Cagigao, L. Watson Jiménez, K. Makowski, I. S. Lebreiro Reyna, J. Mansilla Lory, J. A. Ballivián Torrez, M. A. Rivera, R. L. Burger, M. C. Ceruti¹, J. Reinhard, R. Spencer Wells, G. Politis, C. M. Santoro, V. G. Standen, C. Smith., D. Reich, S. Y. W. Ho, A. Cooper, y W. Haak, «Ancient Mitochondrial dna Provides High-Resolution Time Scale of the Peopling of the Americas», *Science Advances* 2 (4): e1501385, 2016.
- Malhi, Y., C. E. Doughty, M. Galetti, F. A. Smith, J.-C. Svenning, y J. W. Terborgh, «Megafauna and Ecosystem Function from the Pleistocene to the Anthropocene», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (4): 838-846, 2016.
- Marshall, C. R., y P. D. Ward, «Sudden and Gradual Molluscan Extinctions in the Latest Cretaceous of Western European Tethys», *Science*, 274 (5291): 1360-1363, 1996.
- Martin, P. S., «The Discovery of America», *Science*, 179 (4077): 969-974, 1973.
- McKellar, R. C., B. D. E. Chatterton, A. P. Wolfe, y P. J. Currie, «A Diverse Assemblage of Late Cretaceous Dinosaur and Bird Feathers from Canadian Amber». *Science*, 333 (6049): 1619-1622, 2011.
- Meijer, H. J., L. W. van den Hoek Ostende, G. D. van den Bergh, y J. de Vos, «The Fellowship of the Hobbit: the Fauna Surrounding *Homo floresiensis*», *Journal of Biogeography*, 37 (6): 995-1006, 2010.

- Meijer, H. J. M., y R. A. Due, «A New Species of Giant Marabou Stork (Aves: Ciconiiformes) from the Pleistocene of Liang Bua, Flores (Indonesia)», *Zoological Journal of the Linnean Society*, 160 (4): 707-724, 2010.
- Meltzer, D. J., «Pleistocene Overkill and North American Mammalian Extinctions», *Annual Review of Anthropology*, 44: 33-53, 2015.
- Meyer, M., J.-L. Arsuaga, C. de Filippo, S. Nagel, A. Aximu-Petri, B. Nickel, I. Martínez, A. Gracia, J. M. Bermúdez de Castro, E. Carbonell, B. Viola, J. Kelso, K. Prüfer y S. Pääbo, «Nuclear dna Sequences From the Middle Pleistocene Sima de los Huesos Hominins», *Nature*, 531 (7595): 504-507, 2016.
- Milinkovitch, M. C., R. Kanitz, R. Tiedemann, W. Tapia, F. Llerena, A. Caccone, J. P. Gibbs, J. R. Powell, «Recovery of a Nearly Extinct Galápagos Tortoise Despite Minimal Genetic Variation», *Evolutionary Applications*, 6 (2): 377-383, 2013.
- Miller, G., J. Magee, M. Smith, N. Spooner, A. Baynes, S. Lehman, M. Fogel, H. Johnston, D. Williams, P. Clark, C. Florian, R. Holst, y Stephen DeVogel, «Human Predation Contributed to the Extinction of the Australian Megafaunal Bird *Genyornis newtoni* ~ 47 ka», *Nature Communications*, 7 (10496), 2016.
- Miller, G. H., M. L. Fogel, J. W. Magee, M. K. Gagan, S. J. Clarke, y B. J. Johnson, «Ecosystem Collapse in Pleistocene Australia and a Human Role in Megafaunal Extinction», *Science*, 309 (5732): 287-290, 2005.
- Miller, G. H., J. W. Magee, B. J. Johnson, M. L. Fogel, N. A. Spooner, M. T. McCulloch, y L. K. Ayliffe, «Pleistocene Extinction of *Genyornis newtoni*: Human Impact on Australian Megafauna», *Science*, 283 (5399): 205-208, 1999.
- Miller, W., D. I. Drautz, A. Ratan, B. Pusey, J. Qi, A. M. Lesk, L. P. Tomsho, M. D. Packard, F. Zhao, A. Sher, A. Tikhonov, B. Raney, N. Patterson, K. Lindblad-Toh, E. S. Lander, J. R. Knight, G. P. Irzyk, K. M. Fredrikson, T. T. Harkins, S. Sheridan, T. Pringle, y S. C. Schuster, «Sequencing the Nuclear Genome of the Extinct Woolly Mammoth», *Nature*, 456 (7220): 387-390, 2008.
- Mitchell, K. J., B. Llamas, J. Soubrier, N. J. Rawlence, T. H. Worthy, J. Wood, M. S. Y. Lee, y A. Cooper, «Ancient dna Reveals Elephant Birds and Kiwi are Sister Taxa and Clarifies Ratite Bird Evolution», *Science*, 344 (6186): 898-900, 2004.

- Mora, C., D. P. Tittensor, S. Adl, A. G. Simpson, y B. Worm, «How Many Species Are There on Earth and in the Ocean?» *PLoS Biol*, 9 (8): e1001127, 2011.
- Morwood, M. J., R. P. Soejono, R. G. Roberts, T. Sutikna, C. S. Turney, K. E. Westaway, W. J. Rink, J.-X. Zhao, G. D. van den Bergh, R. Awe Due, D. R. Hobbs, M. W. Moore, M. I. Bird y L. K. Fifield, «Archaeology and Age of a New Hominin from Flores in Eastern Indonesia», *Nature*, 431 (7012): 1087-1091, 2004.
- Newton, A., «XLII.—Abstract of Mr. J. Wolley's Researches in Iceland Respecting the Gare-Fowl or Great Auk (*Alca impennis*, Linn.)», *Ibis*, 3: 374-399, 1861.
- Nogues-Bravo, D., J. Rodriguez, J. Hortal, P. Batra, y M. B. Araujo, «Climate Change, Humans, and the Extinction of the Woolly Mammoth», *PLoS Biology*, 6 (4): 685-692, 2008.
- O'Connell, J. F., y J. Allen, «The Process, Biotic Impact, and Global Implications of the Human Colonization of Sahul About 47 000 Years Ago», *Journal of Archaeological Science*, 56: 73-84, 2015.
- Ochoa-Ochoa, L. M., R. J. Whittaker, y R. J. Ladle, «The Demise of the Golden Toad and the Creation of a Climate Change Icon Species», *Conservation and Society*, 11 (3): 291-311, 2013.
- Parent, C. E., A. Caccone, y K. Petren, «Colonization and Diversification of Galápagos Terrestrial Fauna: a Phylogenetic and Biogeographical Synthesis», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 363 (1508): 3347-3361, 2008.
- Pasteur, L., «Discours prononcé à Douai le 7 décembre 1854 à l'occasion de l'installation solennelle de la faculté des lettres de Douai et de la faculté des sciences de Lille».
- Paterson, J. R., D. C. Garcia-Bellido, M. S. Y. Lee, G. A. Brock, J. B. Jago, y G. D. Edgecombe, «Acute Vision in the Giant Cambrian Predator *Anomalocaris* and the Origin of Compound Eyes», *Nature*, 480 (7376): 237-240, 2011.
- Pennisi, E., «More Genomes from Denisova Cave Show Mixing of Early Human Groups». *Science*, 340 (6134): 799-799, 2013.
- Phillips, M. J., G. C. Gibb, E. A. Crimp, y D. Penny, «Tinamous and Moa Flock Together: Mitochondrial Genome Sequence Analysis Reveals Independent Losses of Flight among Ratites», *Systematic Biology*, 59 (1): 90-107, 2010.

- Poulakakis, N., D. L. Edwards, Y. Chiari, R. C. Garrick, M. A. Russello, E. Benavides, G. J. Watkins-Colwell, S. Glaberman, W. Tapia, J. P. Gibbs, L. J. Cayot, y A. Caccone, «Description of a New Galapagos Giant Tortoise Species (*Chelonoidis*; Testudines: Testudinidae) from Cerro Fatal on Santa Cruz Island», *PLoS ONE*, 10 (10): e0138779, 2015.
- Poulakakis, N., S. Glaberman, M. Russello, L. B. Beheregaray, C. Ciofi, J. R. Powell, y A. Caccone, «Historical dna Analysis Reveals Living Descendants of an Extinct Species of Galápagos Tortoise», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (40): 15464-15469, 2008.
- Poulakakis, N., A. Parmakelis, P. Lymberakis, M. Mylonas, E. Zouros, D. S. Reese, S. Glaberman, y A. Caccone, «Ancient dna Forces Reconsideration of Evolutionary History of Mediterranean Pygmy Elephantids», *Biology Letters*, 2 (3): 451-454, 2006.
- Poulakakis, N., M. Russello, D. Geist, y A. Caccone, «Unravelling the Peculiarities of Island Life: Vicariance, Dispersal and the Diversification of the Extinct and Extant Giant Galápagos Tortoises», *Molecular Ecology*, 21 (1): 160-173, 2012.
- Prüfer, K., F. Racimo, N. Patterson, F. Jay, S. Sankararaman, S. Sawyer, A. Heinze, G. Renaud, P. H. Sudmant, C. de Filippo, H. Li, S. Mallick, M. Dannemann, Q. Fu, M. Kircher, M. Kuhlwilm, M. Lachmann, M. Meyer, M. Ongyerth, M. Siebauer, C. Theunert, A. Tandon, P. Moorjani, J. Pickrell, J. C. Mullikin, S. H. Vohr, R. E. Green, I. Hellmann, P. L. F. Johnson, H. Blanche, H. Cann, J. O. Kitzman, J. Shendure, E. E. Eichler, E. S. Lein, T. E. Bakken, L. V. Golovanova, V. B. Doronichev, M. V. Shunkov, A. P. Derevianko, B. Viola, M. Slatkin, D. Reich, J. Kelso y S Pääbo, «The Complete Genome Sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains», *Nature*, 505 (7481): 43-49, 2014.
- Rasmussen, M., S. L. Anzick, M. R. Waters, P. Skoglund, M. DeGiorgio, T. W. Stafford Jr., S. Rasmussen, I. Moltke, A. Albrechtsen, S. M. Doyle, G. D. Poznik, V. Gudmundsdottir, R. Yadav, A. Malaspinas, S. Stockton White, M. E. Allentoft, O. E. Cornejo, K. Tambets, A. Eriksson, P. D. Heintzman, M. Karmin, T. S. Korneliussen, D. J. Meltzer, T. L. Pierre, J. Stenderup, L. Saag, V. M. Warmuth, M. C. Lopes, R. S. Malhi, S. Brunak, T. Sicheritz-Ponten, I. Barnes, M. Collins, L. Orlando, F. Balloux, A. Manica, R. Gupta, M. Metspalu, C. D. Bustamante, M. Jakobsson, R. Nielsen, y E. Willerslev, «The Genome of a Late Pleistocene Human from a Clovis Burial Site in Western Montana», *Nature* 506 (7487): 225-229, 2014.

- Rasmussen, S. A., D. J. Jamieson, M. A. Honein, y L. R. Petersen, «Zika Virus and Birth Defects — Reviewing the Evidence for Causality», *New England Journal of Medicine*, 374 (20): 1981-1987, 2016.
- Raup, D. M., «Taxonomic Survivorship Curves and Van Valen's Law», *Paleobiology*, 1 (1): 82-96, 1975.
- , «Extinction: Bad Genes or Bad Luck?», *Acta Geológica Hispánica*, 16 (1-2): 25-33, 1981.
- , «Extinction Models», en D. Jablonski, D. H. Ewin, y J. H. Lupp (coords.), *Evolutionary Paleobiology*, University of Chicago Press, Chicago, 1996, pp. 419-443.
- Raup, D. M., y J. J. Sepkoski, «Mass Extinctions in the Marine Fossil Record», *Science*, 215 (4539): 1501-1503, 1982.
- Raup, D. M., y J. J. Sepkoski, «Periodic Extinction of Families and Genera», *Science*, 231 (4740): 833-836, 1986.
- Régnier, C., G. Achaz, A. Lambert, R. H. Cowie, P. Bouchet, y B. Fontaine, «Mass Extinction in Poorly Known Taxa», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (25): 7761-7766, 2015.
- Reich, D., R. E. Green, M. Kircher, J. Krause, N. Patterson, E. Y. Durand, B. Viola, A. W. Briggs, U. Stenzel, P. L. F. Johnson, T. Maricic, J. M. Good, T. Marques-Bonet, C. Alkan, Q. Fu, S. Mallick, H. Li, M. Meyer, E. E. Eichler, M. Stoneking, M. Richards, S. Talamo, M. V. Shunkov, A. P. Derevianko, J.-J. Hublin, J. Kelso, M. Slatkin y S. Pääbo, «Genetic History of an Archaic Hominin Group from Denisova Cave in Siberia», *Nature*, 468 (7327): 1053-1060, 2010.
- Renne, P. R., A. L. Deino, F. J. Hilgen, K. F. Kuiper, D. F. Mark, W. S. Mitchel III, L. E. Morgan, R. Mundil, J. Smit, «Time Scales of Critical Events around the Cretaceous-Paleogene Boundary», *Science*, 339 (6120): 684-687, 2013.
- Renne, P. R., C. J. Sprain, M. A. Richards, S. Self, L. Vanderkluyzen, y K. Pande, «State Shift in Deccan Volcanism at the Cretaceous-Paleogene Boundary, Possibly Induced by Impact», *Science*, 350 (6256): 76-78, 2015.
- Roberts, R. G., T. F. Flannery, L. K. Ayliffe, H. Yoshida, J. M. Olley, G. J. Prideaux, G. M. Laslett, A. Baynes, M. A. Smith, R. Jones, y B. L. Smith, «New Ages for the Last Australian Megafauna: Continent-Wide Extinction about 46,000 Years Ago», *Science*, 292 (5523): 1888-1892, 2001.

- Roca, A. L., N. Georgiadis, J. Pecon-Slattery, y S. J. O'Brien, «Genetic Evidence for Two Species of Elephant in Africa», *Science*, 293 (5534): 1473-1477, 2001.
- Rohde, R. A., y R. A. Muller, «Cycles in Fossil Diversity», *Nature*, 434: 208-210, 2005.
- Rohland, N., D. Reich, S. Mallick, M. Meyer, R. E. Green, N. J. Georgiadis, A. L. Roca, y M. Hofreiter, 2010, «Genomic dna Sequences from Mastodon and Woolly Mammoth Reveal Deep Speciation of Forest and Savanna Elephants», *PLoS Biology*, 8 (12): 2916, 2010.
- Rosenberg, G. D., «The Measure of Man and Landscape in the Renaissance and Scientific Revolution», *Geological Society of America Memoir*, 203: 13-40, 2009.
- Roy, K., G. Hunt, y D. Jablonski, «Phylogenetic Conservatism of Extinctions in Marine Bivalves», *Science*, 325 (5941): 733-737, 2009.
- Rule, S., B. W. Brook, S. G. Haberle, C. S. Turney, A. P. Kershaw, y C. N. Johnson, «The Aftermath of Megafaunal Extinction: Ecosystem Transformation in Pleistocene Australia», *Science*, 335 (6075): 1483-1486, 2012.
- Sakamoto, M., M. J. Benton, y C. Venditti, «Dinosaurs in Decline Tens of Millions of Years before Their Final Extinction», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (18): 5036-5040, 2016.
- Saltré, F., M. Rodríguez-Rey, B. W. Brook, C. N. Johnson, C. S. Turney, J. Alroy, A. Cooper, N. Beeton, M. I. Bird, D. A. Fordham, R. Gillespie, S. Herrando-Pérez, Z. Jacobs, G. H. Miller, D. Nogués-Bravo, G. J. Prideaux, R. G. Roberts, y C. J. A. Bradshaw, «Climate Change not to Blame for Late Quaternary Megafauna Extinctions in Australia», *Nature Communications*, 7: 10511, 2016.
- Sandom, C., S. Faurby, B. Sandel, y J. C., Svenning, «Global Late Quaternary Megafauna Extinctions Linked to Humans, not Climate Change», *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 281 (1787): 20133254, 2014.
- Savage, J. M., «An Extraordinary New Toad (*Bufo*) from Costa Rica» [«Un extraordinario nuevo sapo (*Bufo*) de Costa Rica»], *Revista de Biología Tropical*, 14 (2): 153-167, 1966.
- Schoene, B., K. M. Samperton, M. P. Eddy, G. Keller, T. Adatte, S. A. Bowring, S. F. R. Khadri, y B. Gertsch, «u-pb Geochronology of the Deccan Traps and Relation to the End-Cretaceous Mass Extinction», *Science*, 347 (6218): 182-184, 2015.

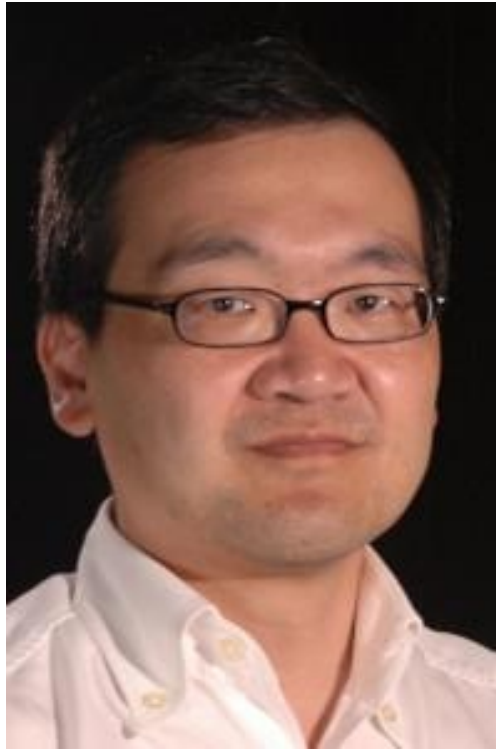
- Schulte, P., L. Alegret, I. Arenillas, J. A. Arz, P. J. Barton, P. R. Bown, T. J. Bralower, G. L. Christeson, P. Claeys, C. S. Cockell, G. S. Collins, A. Deutsch, T. J. Goldin, K. Goto, J. M. Grajales-Nishimura, R. A. F. Grieve, S. P. S. Gulick, K. R. Johnson, W. Kiessling, C. Koeberl, D. A. Kring, K. G. MacLeod, T. Matsui, J. Melosh, A. Montanari, J. V. Morgan, C. R. Neal, D. J. Nichols, R. D. Norris, E. Pierazzo, G. Ravizza, M. Rebolledo-Vieyra, W. Reimold, E. Robin, T. Salge, R. P. Speijer, A. R. Sweet, J. Urrutia-Fucugauchi, V. Vajda, M. T. Whalen, y P. S. Willumsen, «The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary», *Science*, 327 (5970): 1214-1218, 2010.
- Schweitzer, M. H., J. L. Wittmeyer, J. R. Horner, y J. K. Toporski, «Soft-Tissue Vessels and Cellular Preservation in *Tyrannosaurus rex*», *Science*, 307: 1952-1955, 2005.
- Schweitzer, M. H., W. Zheng, T. P. Cleland, M. B. Goodwin, E. Boatman, E. Theil, M. A. Marcus, S. C. Fakra, «A Role for Iron and Oxygen Chemistry in Preserving Soft Tissues, Cells and Molecules from Deep Time», *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 281 (1775): 20132741, 2014.
- Seddon, P. J., C. J. Griffiths, P. S. Soorae, y D. P. Armstrong, «Reversing Defaunation: Restoring Species in a Changing World», *Science*, 345 (6195): 406-412, 2014.
- Shaffer, M. L., «Minimum Population Sizes for Species Conservation», *BioScience*, 31 (2): 131-134, 1981.
- Shapiro, B., D. Sibthorpe, A. Rambaut, J. Austin, G. M. Wragg, O. R. P. Bininda-Emonds, P. L. M. Lee, y A. Cooper, «Flight of the Dodo», *Science*, 295 (5560): 1683, 2002.
- Shpansky, A. V., V. N. Aliyassova, y S. A. Ilyina, «The Quaternary Mammals from Kozhamzhar Locality (Pavlodar Region, Kazakhstan)», *American Journal of Applied Sciences*, 13 (2): 189-199, 2016.
- Simonti, C. N., B. Vernot, L. Bastarache, E. Bottinger, D. S. Carrell, R. L. Chisholm, D. R. Crosslin, S. J. Hebring, G. P. Jarvik, I. J. Kullo, R. Li, J. Pathak, M. D. Ritchie, D. M. Roden, S. S. Verma, G. Tromp, J. D. Prato, W. S. Bush, J. M. Akey, J. C. Denny, y J. A. Capra, «The Phenotypic Legacy of Admixture between Modern Humans and Neandertals», *Science*, 351 (6274): 737-741, 2016.
- Simpson, G. G., «The Beginnings of Vertebrate Paleontology in North America», *Proceedings of the American Philosophical Society*, 86 (1): 130-188, 1942.

- Skoglund, P., y M. Jakobsson, «Archaic Human Ancestry in East Asia», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (45): 18301-18306, 2011.
- Skoglund, P., S. Mallick, M. C. Bortolini, N. Chennagiri, T. Hünemeier, M. L. Petzl-Erler, F. M. Salzano, N. Patterson, y D. Reich, «Genetic Evidence for Two Founding Populations of the Americas», *Nature*, 525 (7567): 104-108, 2015.
- Smit, J., y J. Hertogen, «An Extraterrestrial Event at the Cretaceous-Tertiary Boundary», *Nature*, 285 (5762): 198-200, 1980.
- Smith, F. A., C. E. Doughty, Y. Malhi, J.-C. Svenning, y J. Terborgh, «Megafauna in the Earth System», *Ecography*, 39 (2): 99-108, 2016.
- Smith, M. R., y J. Ortega-Hernandez, «*Hallucigenia*'s Onychophoranlike Claws and the Case for Tactopoda», *Nature*, 514 (7522): 363366, 2014.
- Soibelzon, L. H., y B. W. Schubert, «The Largest Known Bear, *Arctotherium angustidens*, from the Early Pleistocene Pampean Region of Argentina: with a Discussion of Size and Diet Trends in Bears», *Journal of Paleontology*, 85 (1): 69-75, 2011.
- Soulé, M. E., «What is Conservation Biology?», *Bioscience*, 35 (11): 727-734, 1985.
- Spoor, F., P. Gunz, S. Neubauer, S. Stelzer, N. Scott, A. Kwekason, y M. C. Dean, «Reconstructed *Homo habilis* Type oh 7 Suggests Deep-Rooted Species Diversity in Early *Homo*», *Nature*, 519 (7541): 83-86, 2015.
- Steadman, D. W., P. S. Martin, R. D. E. MacPhee, A. J. T. Jull, H. G. McDonald, C. A. Woods, M. Iturralde-Vinent, y G. W. L. Hodgins, «Asynchronous Extinction of Late Quaternary Sloths on Continents and Islands», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (33): 11763-11768, 2005.
- Stejneger, L., «How the Great Northern Sea-Cow (*Rytina*) Became Exterminated», *The American Naturalist*, 21 (12): 1047-1054, 1887.
- Steller, G., *De bestiis marinis, or, The beasts of the sea*, Faculty Publications. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, 1751.
- Stringer, Chris, «Evolution: What Makes a Modern Human», *Nature*, 485 (7396): 33-35, 2012.
- Stuart, A. J., «Late Quaternary Megafaunal Extinctions on the Continents: a Short Review», *Geological Journal*, 50 (3): 338-363, 2015.
- Surovell, T. A., S. R. Pelton, R. Anderson-Sprecher, y A. D. Myers, «Test of Martin's Overkill Hypothesis Using Radiocarbon Dates on Extinct

- Megafauna», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (4): 886-891, 2016.
- Sutikna, T., M. W. Tocheri, M. J. Morwood, E. W. Saptomo, Jatmiko, R. D. Awe, S. Wasisto, K. E. Westaway, M. Aubert, B. Li, J.-X. Zhao, M. Storey, B. V. Alloway, M. W. Morley, H. J. M. Meijer, G. D. van den Bergh, R. Grün, A. Dosseto, A. Brumm, W. L. Jungers, y R. G. Roberts, «Revised Stratigraphy and Chronology for *Homo floresiensis* at Liang Bua in Indonesia», *Nature*, 532 (7599): 366-369, 2016.
- Trueman, C. N. G., J. H. Field, J. Dortch, B. Charles, y S. Wroe, «Prolonged Coexistence of Humans and Megafauna in Pleistocene Australia», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (23): 8381-8385, 2005.
- Tschopp, E., O. Mateus, y R. B. Benson, «A Specimen-Level Phylogenetic Analysis and Taxonomic Revision of Diplodocidae (Dinosauria, Sauropoda)», *PeerJ*, 3: e857, 2015.
- Turner, D. D., «A Second Look at the Colors of the Dinosaurs», *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 55: 60-68, 2016.
- Turvey, S. T., y A. S. Cheke, «Dead as a Dodo: the Fortuitous Rise to Fame of an Extinction Icon», *Historical Biology*, 20 (2): 149-163, 2008.
- Turvey, S. T., y S. A. Fritz, «The Ghosts of Mammals Past: Biological and Geographical Patterns of Global Mammalian Extinction across the Holocene», *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366 (1577): 2564-2576, 2011.
- Turvey, S. T., R. L. Pitman, B. L. Taylor, J. Barlow, T. Akamatsu, L. A. Barrett, X. Zhao, R. R. Reeves, B. S. Stewart, K. Wang, Z. Wei, X. Zhang, L. T. Pusser, M. Richlen, J. R. Brandon, y D. Wang, «First Human-Caused Extinction of a Cetacean Species?», *Biology Letters*, 3 (5): 537-540, 2007.
- Turvey, S. T., y C. L. Risley, «Modelling the Extinction of Steller's Sea Cow», *Biology Letters* 2 (1): 94-97, 2006.
- Van den Bergh, G. D., R. D. Awe, M. J. Morwood, T. Sutikna, y E. W. Saptomo, «The Youngest Stegodon Remains in Southeast Asia from the Late Pleistocene Archaeological Site Liang Bua, Flores, Indonesia», *Quaternary International*, 182 (1): 16-48, 2008.
- Van den Bergh, G. D., Y. Kaifu, I. Kurniawan, R. T. Kono, A. Brumm, E. Setiyabudi, F. Aziz, y M. J. Morwood, «*Homo floresiensis*-Like Fossils from the Early Middle Pleistocene of Flores», *Nature*, 534 (7606): 245-248, 2016.

- Van den Bergh, G. D., B. Li, A. Brumm, R. Grün, D. Yurnaldi, M. W. Moore, I. Kurniawan, R. Setiawan, F. Aziz, R. G. Roberts, Suyono, M. Storey, E. Setiabudi, y M. J. Morwood, «Earliest Hominin Occupation of Sulawesi, Indonesia», *Nature*, 529 (7585): 208-211, 2016.
- Van den Bergh, G. D., H. Meijer, R. D. Awe, M. J. Morwood, K. Szabó, L. W. van den Hoek Ostende, T. Sutikna, E. W. Saptomo, P. J. Piper, y K. M. Dobney, «The Liang Bua Faunal Remains: a 95 k. yr. Sequence from Flores, East Indonesia», *Journal of Human Evolution*, 57 (5): 527-537, 2009.
- Van der Merwe, N. J., «Isotopic Ecology of Fossil Fauna from Olduvai Gorge at ca 1.8 Ma, Compared with Modern Fauna», *South African Journal of Science*, 109: 1-14, 2013.
- Villmoare, B., W. H. Kimbel, C. Seyoum, C. J. Campisano, E. N. Di-Maggio, J. Rowan, D. R. Braun, J. R. Arrowsmith, y K. E. Reed, «Early *Homo* at 2.8 Ma from Ledi-Geraru, Afar, Ethiopia», *Science*, 347 (6228): 1352-1355, 2015.
- Vinther, J., D. E. G. Briggs, R. O. Prum, y V. Saranathan, «The Colour of Fossil Feathers», *Biology Letters*, 4 (5): 522-525, 2008.
- Wang, S. C., y P. Dodson, «Estimating the Diversity of Dinosaurs», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (37): 13601-13605, 2006.
- Waters, C. N., J. Zalasiewicz, C. Summerhayes, A. D. Barnosky, C. Poirier, A. Galuszka, A. Cearreta, M. Edgeworth, E. C. Ellis, M. Ellis, C. Jeandel, R. Leinfelder, J. R. McNeill, D. de B. Richter, W. Steffen, J. Syvitski, D. Vidas, M. Waples, M. Williams, A. Zhisheng, J. Grinevald, E. Odada, N. Oreskes, y A. P. Wolfe, «The Anthropocene is Functionally and Stratigraphically Distinct from the Holocene», *Science*, 351 (6269), 2016.
- Waters, M. R., S. L. Forman, T. A. Jennings, L. C. Nordt, S. G. Driese, J. M. Feinberg, J. L. Keene, J. Halligan, A. Lindquist, J. Pierson, C. T. Hallmark, M. B. Collins, y J. E. Wiederhold, «The Buttermilk Creek Complex and the Origins of Clovis at the Debra L. Friedkin Site, Texas», *Science*, 331 (6024): 1599-1603, 2011.
- Waters, M. R., T. W. Stafford, H. G. McDonald, C. Gustafson, M. Rasmussen, E. Cappellini, J. V. Olsen, D. Szklarczyk, L. J. Jensen, M. T. P. Gilbert, y E. Willerslev, «Pre-Clovis Mastodon Hunting 13,800 Years Ago at the Manis Site, Washington», *Science*, 334 (6054): 351-353, 2011.
- Welker, F., M. J. Collins, J. A. Thomas, M. Wadsley, S. Brace, E. Cappellini, S. T. Turvey, M. Reguero, J. N. Gelfo, A. Kramarz, J. Burger, J. Thomas-

- Oates, D. A. Ashford, P. D. Ashton, K. Rowsell, D. M. Porter, B. Kessler, R. Fischer, C. Baessmann, S. Kaspar, J. V. Olsen, P. Kiley, J. A. Elliott, C. D. Kelstrup, V. Mullin, M. Hofreiter, E. Willerslev, J.-J. Hublin, L. Orlando, I. Barnes y R. D. E. MacPhee, «Ancient Proteins Resolve the Evolutionary History of Darwin's South American Ungulates», *Nature*, 522 (7554): 81-84, 2015.
- Wellnhofer, P., «A Short History of Research on *Archaeopteryx* and Its Relationship with Dinosaurs», *Geological Society, London, Special Publications*, 343: 237-250, 2010.
- White, T. D., B. Asfaw, Y. Beyene, Y. Haile-Selassie, C. O. Lovejoy, G. Suwa, y G. WoldeGabriel, «*Ardipithecus ramidus* and the Paleobiology of Early Hominids», *Science*, 326 (5949): 64-86, 2009.
- Wilmshurst, J. M., A. J. Anderson, T. F. Higham, y T. H. Worthy, «Dating the Late Prehistoric Dispersal of Polynesians to New Zealand Using the Commensal Pacific Rat», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (22): 7676-7680, 2008.
- Wilmut, I., A. Schnieke, J. McWhir, A. Kind, y K. Campbell, «Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells», *Nature*, 385 (6619): 810-813, 1997.
- Wroe, S., y J. Field, «A Review of the Evidence for a Human Role in the Extinction of Australian Megafauna and an Alternative Interpretation», *Quaternary Science Reviews*, 25 (21-22): 2692-2703, 2006.
- Zhang, F., S. L. Kearns, P. J. Orr, M. J. Benton, Z. Zhou, D. Johnson, X. Xu, y X. Wang, «Fossilized Melanosomes and the Colour of Cretaceous Dinosaurs and Birds», *Nature*, 463 (7284): 1075-1078, 2010.
- Zhang, X., y D. E. G. Briggs, «The Nature and Significance of the Appendages of *Opabinia* from the Middle Cambrian Burgess Shale», *Lethaia*, 40 (2): 161-173, 2007.



HÉCTOR TAKESHI ARITA WATANABE (México D.F., 1960) es biólogo por la Facultad de Ciencias de la UNAM (1985) y doctor en ecología por la Universidad de Florida, Gainesville (1992). Desde 1992 es investigador en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), primero en el Instituto de Ecología y actualmente en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco).

Sus proyectos de investigación se enfocan a la comprensión de los patrones de composición y estructura de los conjuntos de especies a nivel local (ecología de comunidades) y regional y continental (macroecología). Realiza también investigaciones sobre las aplicaciones de estos estudios a la conservación de la diversidad biológica.

A lo largo de su carrera ha ofrecido diversos cursos en ecología, conservación biológica, estadística y fotografía científica. Actualmente ofrece el curso de Biología de la Conservación en la licenciatura en Ciencias Ambientales y Ecología de Comunidades y Estadística Aplicada a la Ecología en el posgrado en ciencias biológicas.

Dedica parte de su tiempo a la elaboración de material de docencia y a escribir artículos de divulgación sobre temas ecológicos en revistas, periódicos y medios electrónicos. Gusta también de ofrecer pláticas de divulgación para todo tipo de público, desde niños hasta especialistas.

Notas

Notas del Capítulo I

[1] Twitter: @parquegalapagos, 10:53 horas, 24 de junio de 2012. <<

[2] Los nombres científicos de las especies aparecen en el bestiaro del apéndice 2. <<

[3] En 1906, el colector profesional Rollo H. Beck capturó y preparó como ejemplares de museo a los tres últimos ejemplares conocidos entonces de la tortuga de la isla Pinta. Beck aparece de nuevo en el capítulo VII como el colector de los últimos ejemplares del caracara de la isla Guadalupe. <<

[4] Lammertink *et al.* (2011) sugieren que la especie puede haber desaparecido desde principios de los años sesenta. <<

[5] Turvey *et al.* (2007) emprendieron una búsqueda intensiva de seis semanas a finales de 2006 y no encontraron rastro alguno del delfín. <<

[6] Darwin, *El viaje del H. M. S. Beagle*, en Wilson (2005). Las citas directas son traducciones de fragmentos de los libros de Charles Darwin, en las versiones editadas por Edward O. Wilson. <<

[7] Darwin, *El origen de las especies*, en Wilson (2005). <<

[8] Si bien Darwin tenía bien claro este mecanismo de aparición de especies nuevas en regiones separadas, los conceptos formales de lo que ahora llamamos *especiación alopátrica* se desarrollaron décadas más tarde, principalmente con los trabajos de Ernst Mayr a mediados del siglo xx. <<

[9] Caccone *et al.* (2002), Beheregaray *et al.* (2004), Poulakakis *et al.* (2012). El ADN mitocondrial se hereda de las madres, de manera que se puede rastrear su evolución a lo largo de linajes matriarcales (de los ancestros hembras). <<

[10] Darwin llevó los fósiles sudamericanos a Inglaterra, donde Richard Owen los identificó como restos de formas extintas de armadillos, perezosos y otros animales típicos de América del Sur. <<

[11] Darwin no usó el término *especiación*. Al referirse a este proceso, él hablaba de «divergencia entre las especies». <<

[12] Darwin, *El origen de las especies*, capítulo IV; en Wilson (2005). <<

[13] El discurso cobró un tono especial, pues para entonces Jobs ya sabía que padecía el cáncer de páncreas que años después le produjo la muerte. Nick Lane (2009) incluyó a la muerte entre «los diez grandes inventos de la evolución». <<

[14] Caccone *et al.* (2002). <<

[15] Philbrick (2001). Los galápagos que los balleneros del *Essex* llevaron consigo fueron importantes después para mantener vivos a los sobrevivientes del ataque de la ballena. <<

[16] Nickerson y Chase (2001) incluye las narraciones, tanto de Thomas Nickerson como de Owen Chase, del desafortunado viaje del *Essex*. Todas las citas de Nickerson y Chase son traducciones de los textos de este libro. <<

[17] Dampier (2007); el libro se publicó originalmente en 1697. <<

[18] Gibbs *et al.* (2014). <<

[19] Milinkovitch *et al.* (2013). <<

[20] Poulakakis *et al.* (2008). <<

[21] Edwards *et al.* (2013). <<

[22] Poulakakis *et al.* (2015). <<

[23] Edwards *et al.* (2013). <<

Notas del Capítulo II

[1] Rudwick (1997) presenta y analiza algunos textos completos de Cuvier en el contexto del debate sobre la extinción de finales del siglo XVIII. <<

[2] Agustín de Hipona, *La ciudad de Dios*, libro XV <<

[3] Génesis 6:4, versión Nacar-Colunga de La Biblia. <<

[4] Roca *et al.* (2001) usaron técnicas de comparación de ADN para demostrar la existencia de dos especies de elefantes en África. <<

[5] Miller *et al.* (2008). <<

[6] Claudine Cohen revisa en su libro *El destino del mamut* varios aspectos de la historia del conocimiento sobre los mamuts. <<

[7] El mamut colombino es a veces llamado mamut de Columbia, por una mala traducción de su nombre científico: *Mammuthus columbi*, o mamut colombino, que significa «mamut de [Cristóbal] Colón». <<

[8] Herridge y Lister (2012) identifican el proboscídeo de Creta como un mamut, *Mammuthus creticus*. Antes se le consideraba un elefante o un género de paquidermo distinto, *Palaeoloxodon*. <<

[9] Mayor (2000, 2005). <<

[10] Mayor (2000). <<

[11] Durán (2006), capítulo II. <<

[12] Díaz del Castillo (2005). <<

[13] Existe una traducción al inglés, con comentarios de C. Cohen y A. Wakefield (Leibniz, 2008). El subtítulo de la *Protogaea* es *Del primitivo aspecto de la Tierra y su antiquísima historia según los vestigios de los propios monumentos de la naturaleza [Abhandlung von der ersten Gestalt der Erde und den Spuren der Historie in Denkmalen der Natur]*. <<

[14] Cohen (2002) y comentarios de Cohen y Wakefield en Leibniz (2008). <<

[15] Barrow Jr. (2009) y Dugatkin (2009) analizan la historia del *incognitum* y de la controversia sobre su extinción entre Thomas Jefferson y los naturalistas franceses. <<

[16] Jefferson (1998) [1787]. <<

[17] Jefferson (1799). <<

[18] Cuvier, *Notice sur le squelette...* (1796), en Rudwick (1997). Ésta es la publicación sobre el megaterio. <<

[19] Cuvier, *Memoire...* (1796), en Rudwick (1997). <<

Notas del Capítulo III

[1] La carta se publicó en Lhwyd (1698). El apellido Lhuyd, y otras variantes como Lloyd, se escribía Lhwyd todavía en el siglo XVIII. <<

[2] Carta de Edward Lhuyd a John Ray, 29 de julio de 1698. <<

[3] Stephen Jay Gould (1998, capítulo 1) estudia con amplitud los razonamientos de Leonardo da Vinci. El *Códice Leicester* fue adquirido por Bill Gates en 1994 en casi 31 millones de dólares. <<

[4] «Le hasard ne favorise que les esprits préparés», Pasteur (1939). <<

[5] Fortey (2000) analiza la historia del conocimiento sobre los trilobites en el segundo capítulo de su libro. <<

[6] Brongniart, *Histoire naturelle des crustacés fossiles: sous les rapports zoologiques et géologiques, savoir: les trilobites.* <<

[7] De hecho, constituyen su propio subfilo, los *Trilobitomorpha*. <<

[8] El apéndice 3 muestra la clasificación moderna de las eras geológicas. <<

[9] Una nomenclatura alternativa incluye cuatro eras, a saber: primaria (paleozoica), secundaria (mesozoica), terciaria (cenozoica) y cuaternaria, que ahora es un periodo del Cenozoico. <<

[10] Adrain *et al.* (1998) describen detalladamente la secuencia de extinciones de los trilobites. Analizan los patrones para dos faunas diferentes cuyas tendencias de extinción combinadas producen el patrón general descrito aquí.
<<

[11] Mora *et al.* (2011) estiman la existencia de 8.7 millones \pm 1.3 millones de organismos en la Tierra. <<

[12] Raup (1991). <<

[13] La analogía fue establecida por J. B. S. Haldane (1953), en un ensayo sobre la demografía en las poblaciones naturales. <<

[14] Existen unos dos millones y medio de especies con nombre científico (Hinchliff *et al.* 2015), pero si se excluyen sinónimos y otros problemas, hay unos dos millones de nombres científicos válidos. <<

[15] Raup (1991) analiza a profundidad las ideas originalmente planteadas en un ensayo publicado en 1981. <<

[16] Gould (1989) escribió una extensa monografía sobre la fauna del esquisto de Burgess y de las implicaciones evolutivas de la posible presencia en el Cámbrico de filos ahora extintos. <<

[17] Conway Morris (1977). <<

[18] Smith y Ortega-Hernández (2014). <<

[19] Paterson *et al.* (2011); Zhang y Briggs (2007). <<

[20] El *Diccionario de la lengua española* (23.^a edición, 2014) asienta que *amonites*, sustantivo masculino, se refiere a un «molusco fósil de la clase de los cefalópodos». El uso correcto es, entonces, «el amonites» para referirse a un individuo o especie, y «los amonites» para varios de ellos. <<

[21] Benton y Twitchett (2003) y Erwin (2006) revisan la paleobiología de la extinción masiva del final del Pérmico. <<

[22] Burgess y Bowring (2015). <<

Notas del Capítulo IV

[1] «Hope is the thing with feathers *That perches in the soul* And sings the tune without the words / And never stops at all.» <<

[2] Los *Compsognathus* aparecen en la película *Mundo perdido: Parque Jurásico*. Son los «compys», los pequeños dinosaurios que en la película forman grandes grupos para atacar a sus presas. <<

[3] Huxley (1876). <<

[4] Se habla incluso de un «renacimiento de los dinosaurios», una época de concepciones revolucionarias sobre estos animales (*renacimiento* se usa como en el periodo histórico, naturalmente, no en el sentido de volver a nacer). Véase por ejemplo Bakker (1986). <<

[5] Esto se logra examinando la cantidad y densidad de los melanosomas, que son las estructuras microscópicas que dan el color a las plumas. Un tipo de melanosomas genera los colores grises y negros, mientras que otro tipo da los colores rufos (café rojizo). Vinther *et al.* (2008) fueron los primeros en identificar melanosomas en las plumas fósiles. <<

[6] Li *et al.* (2010). <<

[7] Koschowitz *et al.* (2014). <<

[8] Renne *et al.* (2013) recientemente midieron con gran precisión los eventos asociados con el final del Cretácico, y establecieron una edad de 66.043 millones de años para ese episodio de la historia geológica. <<

[9] Esto es porque el registro fósil es incompleto. La estimación se basa en extrapolaciones fundamentadas en la tasa de descubrimiento de nuevos géneros en relación con el tiempo (Wang y Dodson, 2006). <<

[10] Según un estudio reciente, los brontosaurios y los apatosaurios pertenecían a géneros diferentes, por lo que los dos nombres son válidos (Tschopp *et al.*, 2015). Antes de ese estudio, se reconocía únicamente el nombre *Apatosaurus* para los dos dinosaurios. <<

[11] Lacovara *et al.* (2014) describieron el primer ejemplar de la especie. Bates *et al.* (2015) recalcularon el tamaño y peso probables de este animal. <<

[12] Lindgren *et al.* (2014) describen el color de un mosasaurio como oscuro en el dorso y claro en el vientre. <<

[13] El nombre *Cretácico* viene de un tipo de roca característico de ese periodo, la creta o caliza de Creta, que en alemán es *Kreide*. De ahí que se use la letra *K* para referirse al Cretácico. <<

[14] En realidad, los fósiles de los dinosaurios, por ser relativamente raros, no son los mejores indicadores de la extinción de finales del Cretácico. Los foraminíferos, radiolarios y cocolitofóridos son indicadores mucho más precisos. <<

[15] Marshall y Ward (1996) describen la extinción de algunos tipos de amonites como gradual, a lo largo de millones de años, y de otros como repentina, justo al final del Cretácico. <<

[16] Smit y Hertogen (1980). <<

[17] Jepsen (1964). <<

[18] Álvarez *et al.* (1980). Walter Álvarez (1997) narra su versión de la historia del artículo de *Science* y de la discusión académica que se suscitó en los siguientes años. <<

[19] Todavía en 2016 se siguen presentado estos argumentos —como en Sakamoto *et al.* (2016)—, que muestran que varias líneas de dinosaurios estaban en un proceso lento de extinción varios millones de años antes del evento de extinción masiva de finales del Cretácico. <<

[20] Schoene *et al.* (2015) encontraron que el inicio de la fase más importante de la actividad volcánica en el Decán comenzó doscientos cincuenta mil años antes del límite K-Pg. Renne *et al.* (2015) sugieren, en cambio, que el vulcanismo de Decán pudo haber sido desencadenado por el impacto de Chicxulub. <<

[21] Powell (1998) presenta una revisión histórica del debate que generó la postulación de las dos hipótesis. <<

[22] Álvarez (1997) y Powell (1998) reseñan la historia del descubrimiento del cráter de Chicxulub y de su asociación con el evento de extinción del final del Cretácico. <<

[23] Schulte *et al.* (2010) revisan la evidencia disponible, y encuentran que el impacto del asteroide de Chicxulub es la causa más probable de la extinción masiva de finales del Cretácico. Renne *et al.* (2013) encontraron una coincidencia temporal casi perfecta entre el límite K-Pg (definido por sedimentos) y el impacto del asteroide Chicxulub. <<

[24] Archibald *et al.* (2010), Courtillot y Fluteau (2010) y Keller *et al.* (2010) escribieron comentarios a la revisión de Schulte *et al.* (2010) para llamar la atención sobre el posible papel de otros factores en la extinción del Cretácico. Ninguno de ellos niega, sin embargo, un papel al menos parcial del impacto del asteroide de Chicxulub en el evento de extinción del final del Cretácico.
<<

[25] Schoene *et al.* (2015) calculan que las erupciones de Decán comenzaron doscientos cincuenta mil años antes del límite K-Pg y que pudieron haber iniciado el evento de extinción. Sin embargo, no niegan el papel, quizá preponderante, del impacto de Chicxulub. <<

[26] Bottke *et al.* (2007). <<

[27] Randall (2015) analiza a profundidad su hipótesis en el libro *Materia oscura y los dinosaurios*. <<

Notas del Capítulo V

[1] Brown *et al.* (2004); Morwood *et al.* (2004). <<

[2] En las primeras publicaciones se informó de una antigüedad de 17 000 años a los restos de los *hobbits* (Van den Bergh *et al.*, 2009), pero un análisis más reciente estableció para ellos una edad mínima de 60 000 años (Sutikna *et al.*, 2016). <<

[3] La interpretación de los fósiles de Flores como una nueva especie de *Homo* de tamaño diminuto ha sido criticada por algunos prominentes paleoantropólogos. A la fecha, los argumentos en favor de la identidad de los *hobbits* como una especie separada parecen tener más peso (Balzeau y Charlier, 2016). Falk (2011) analiza con gran detalle la historia de esos debates. <<

[4] Como dato curioso, la estatura estimada de *Homo floresiensis* es de 106 centímetros (Brown *et al.*, 2004). J. R. R. Tolkien, en *El señor de los anillos*, afirma que la estatura promedio de los *hobbits* es de tres pies, seis pulgadas, equivalente a 107 centímetros. <<

[5] Van den Bergh *et al.* (2009); Meijer *et al.* (2009). <<

[6] Biknevicius *et al.* (1993). <<

[7] Steadman *et al.* (2005). <<

[8] Brumm *et al.* (2010) encontraron en Flores rastros de herramientas de piedra de un millón de años de antigüedad, lo que sugiere que los ancestros de los *hobbits* llegaron a la isla al menos desde esa época. <<

[9] Berger *et al.* (2015). <<

[10] En tiempos de Darwin no se sabía de la existencia de los bonobos, una especie cercanamente emparentada con los chimpancés. <<

[11] Darwin, *El origen del hombre*, en Wilson (2006). <<

[12] White *et al.* (2009) estiman una antigüedad de entre siete y diez millones de años para la separación ente los linajes de los seres humanos y de los chimpancés y bonobos. El linaje del gorila, a su vez, se separó hace al menos ocho o diez millones de años, de acuerdo con Katoh *et al.* (2016). <<

[13] White *et al.* (2009). <<

[14] Haile-Selassie *et al.* (2004). <<

[15] La historia de Lucy y de las consecuencias de su estudio se narran por su descubridor en Johanson y Wong (2009). <<

[16] Las huellas fueron halladas por el equipo de Mary Leakey en Laetoli, un sitio de la garganta de Olduvai en el norte de Tanzania (Leakey y Hay, 1979).
<<

[17] Granger *et al.* (2015). <<

[18] Berger *et al.* (2010). <<

[19] Villmoare *et al.* (2015). <<

[20] Recientemente se reanalizó el cráneo original de *H. habilis* y, usando técnicas computarizadas, se estimó una capacidad craneal de más de 700 cm³. (Spoor *et al.*, 2015). <<

[21] Harmand *et al.* (2015) encontraron, en un sitio de 3.3 millones de antigüedad en Kenia, pedazos de piedra trabajada para elaborar herramientas rudimentarias. Los autores sugieren que alguna especie de australopiteco pudo haber elaborado esas piezas. <<

[22] Spoor *et al.* (2015). <<

[23] Joordens *et al.* (2015). <<

[24] Bermúdez de Castro *et al.* (1997). <<

[25] Aunque el nombre científico es *Homo neanderthalensis*, el nombre moderno del sitio donde por primera vez se hallaron fósiles de este homínino es Neandertal, por lo que el nombre común de la especie es gente Neandertal, neandertales o, antiguamente, el hombre de Neandertal. <<

[26] Higham *et al.* (2014) localizan el tiempo de extinción de *Homo neanderthalensis* entre hace 41 030 y 39 260 años. <<

[27] Van den Bergh *et al.* (2016). <<

[28] Recientemente se informó sobre el hallazgo de una construcción hecha con estalactitas y rocas por neandertales en el interior de una cueva en Francia, con una antigüedad de 175 000 años (Jaubert *et al.*, 2016). <<

[29] Véase, por ejemplo, Kolbert (2014), p. 264. <<

[30] Krause *et al.* (2010). <<

[31] El genoma es el conjunto de toda la información genética contenida en el ADN de un organismo. El genoma de los neandertales fue analizado por Green *et al.* (2010). <<

[32] Kuhlwilm *et al.* (2016). <<

[33] *Ibidem.* <<

[34] Reich *et al.* (2010). <<

[35] Skoglund y Jakobsson (2011) proveen evidencia genética para este hipotético escenario. <<

[36] Simonti *et al.* (2016). <<

Notas del Capítulo VI

[1] «Ancient Meat for Party» (1950). <<

[2] En el capítulo II se narra la historia de la descripción original del megaterio por Georges Cuvier a finales del siglo XVIII. <<

[3] Jessica Glass y Matt Davis, estudiantes de posgrado de la Universidad de Yale, emprendieron el estudio como una práctica. El trabajo se publicó como Glass *et al.* (2016). <<

[4] El Pleistoceno terminó hace 11 700 años, de acuerdo con la más reciente estimación de la Comisión Internacional de Estratigrafía (carta estratigráfica versión 2015/01). <<

[5] Lyons *et al.* (2004); Martin (2005); Steadman *et al.* (2005). <<

[6] *Era de Hielo* es un término popular (no técnico) usado para referirse al último periodo glacial del Pleistoceno. <<

[7] El Cuaternario se divide en dos épocas, el Pleistoceno, que terminó hace once mil setecientos años, y el Holoceno, que continúa hasta nuestros días. Recientemente se ha propuesto una nueva época, el Antropoceno, que correspondería con los tiempos en los que la huella de la actividad del ser humano moderno sería evidente en los estratos geológicos (Waters *et al.*, 2016). <<

[8] Malhi *et al.* (2016) y Smith *et al.* (2016) revisan los conceptos relacionados con la definición de *megafauna*. <<

[9] La definición de *megafauna* se aplica únicamente a especies terrestres. En los mares existen muchas especies animales de gran talla, como las ballenas azules y otros enormes cetáceos, los tiburones ballena y otros peces de gran envergadura, y los calamares gigantes. <<

[10] Recientemente se ha propuesto que el oso chato no era un depredador especializado, sino un omnívoro, como los osos de hoy en día. Véase, por ejemplo, Figueirido *et al.* (2010). <<

[11] Wallace (1876). <<

[12] Las casas de fieras (*ménageries* en Francia e Inglaterra) eran pequeños zoológicos privados con animales exóticos. <<

[13] La historia de la cueva de Kirkdale y otras anécdotas de la vida de William Buckland se pueden consultar en Gordon y Buckland (1894). <<

[14] Agassiz presentó su teoría glacial con su famoso discurso de Neuchâtel del 24 de julio de 1837 (Grayson, 1984). <<

[15] Lorenzen *et al.* (2011). <<

[16] Charles Lyell escribió estas líneas en 1833, en el tercer volumen de sus *Principios de geología* (citado por Grayson, 1984). <<

[17] Van der Merwe (2013) usó técnicas de proporción de isótopos de carbono y oxígeno para comparar huesos fósiles de hace 1.8 millones de años con huesos de animales modernos. <<

[18] Miller *et al.* (2016). <<

[19] Roberts *et al.* (2001). El único género que sobrevivió es *Macropus*, el género al que pertenece el canguro rojo. <<

[20] *Climate change not to blame for late Quaternary megafauna extinctions in Australia* (Saltré et al., 2016). <<

[21] Chatters *et al.* (2014). <<

[22] González *et al.* (2008). <<

[23] La tecnología clovis se llama así porque se halló por primera vez en la localidad de Clovis, Nuevo México. <<

[24] Rasmussen *et al.* (2014). <<

[25] Surovell *et al.* (2016). <<

[26] Meltzer (2015). <<

[27] Grayson y Meltzer (2015). <<

[28] Wallace (1876). <<

[29] Citado por Grayson (1984); cursivas en el original de Wallace de 1911.
<<

[30] Koch y Barnowsky (2006). <<

Notas del Capítulo VII

[1] Kupe es un personaje mítico de la historia tradicional de los maoríes. La fecha del arribo de los primeros humanos a Nueva Zelanda, hacia 1280, se estableció examinando huesos de ratas o semillas roídas por ellas; las ratas llegaron a Nueva Zelanda junto con los primeros humanos (Wilmshurst *et al.*, 2008). <<

[2] Boessenkool *et al.* (2009) afirman que en tiempos de los primeros maoríes habitaba la isla Sur de Nueva Zelanda una especie de pingüino de ojo amarillo diferente de la que existe hoy en día. <<

[3] Attard *et al.* (2016) examinaron la diversidad de dietas mediante la morfología de los restos fósiles. <<

[4] Holdaway y Jakomb (2000). <<

[5] Baker *et al.* (2010). <<

[6] Phillips *et al.* (2005) mostraron que los parientes más cercanos de las moas no son los kiwis, emúes o casuarios (aves no voladoras de Australia y Nueva Zelanda), sino los tinamúes de Sudamérica. <<

[7] En la definición estricta de *historia*, los eventos de los primeros años de los maoríes pertenecen a la prehistoria, pues ese grupo no contaba con un sistema de escritura. En una definición más incluyente, la historia comprende todos los eventos en cualquier parte del mundo desde hace seis mil años. <<

[8] Burney *et al.* (2004) y Crowley (2010) conjuntan datos arqueológicos, históricos y paleontológicos para reconstruir los varios pulsos de extinción animal que han sucedido en Madagascar en los últimos dos mil quinientos años. <<

[9] John James Audubon (1831), *Ornithological biography*. <<

[10] En el siguiente capítulo se describen los esfuerzos recientes para *desextinguir* la paloma pasajera. <<

[11] Carta escrita por Rollo H. Beck, *ca.* 1932, a Clinton Abbott (1933). Beck recolectó también los últimos ejemplares silvestres conocidos del galápago de la isla Pinta (capítulo I). <<

[12] El lobo fino de Guadalupe se conoce tradicionalmente con el nombre científico de *Arctocephalus townsendi*, pero una revisión reciente de Berta y Churchill (2012) lo identifica como una subespecie y le asigna el nombre *Arctophoca philippii townsendi*. <<

[13] Steller (1871). La traducción al inglés de *Sobre las bestias del mar* se puede consultar en la página de Internet de la Universidad de Nebraska: <<http://digitalcommons.unl.edu/libraryscience/17>>. <<

[14] Estes *et al.* (2016) analizan la extinción de la vaca marina de Steller en el contexto de la pérdida de los bosques de *kelp* y la extinción de la megafauna.
<<

[15] El libro de Cuppy, *How to become extinct* (2001) [1941], es una serie de ensayos humorísticos sobre diferentes especies extintas. <<

[16] Savage (1966). <<

[17] Ochoa-Ochoa *et al.* (2013). En junio de 2016 se anunció en un informe gubernamental australiano que el ratón del cayo Bramble (un islote de 300 metros) se había extinguido, probablemente debido al cambio climático global causado por el ser humano. <<

[18] La idea de un sexto episodio de extinción masiva fue propuesta por Richard Leakey y Roger Lewin (1995) en su libro *The sixth extinction: patterns of life and the future of humankind*. Más recientemente, el libro de Elizabeth Kolbert (2014), *The sixth extinction. An unnatural history*, ha popularizado el concepto. <<

[19] Barnosky *et al.* (2011), Ceballos *et al.* (2015). <<

Notas del Capítulo VIII

[1] Wilmot *et al.* (1997). El procedimiento, resumido aquí en unas pocas líneas, representa en la realidad un gran número de pasos muy complicados. *Dolly* fue un caso exitoso de entre cientos de intentos infructuosos. <<

[2] El artículo de Folch *et al.* (2009) contiene todos los detalles técnicos del experimento de clonación de la cabra ibérica. <<

[3] Muchas de las especies de *Parque Jurásico* son en realidad dinosaurios del Cretácico, como los tiranosaurios y los raptores. El apatosaurio sí vivió a finales del Jurásico. <<

[4] Beth Shapiro (2015), en su libro *Cómo clonar un mamut*, es contundente al afirmar que la desextinción plena de un animal es, en sentido estricto, imposible. <<

[5] Un participante en estos proyectos, Hwang Woo-suk, que en un tiempo fue pionero en estudios sobre células madre, fue despedido de la Universidad de Seúl en 2006 por utilizar datos falsos en sus publicaciones. <<

[6] Aunque se hallaran núcleos aparentemente intactos, señala Shapiro, el efecto acumulativo por miles de años de la radiación de alta energía que continuamente bombardea la Tierra habría producido cambios sustanciales en la estructura del ADN. <<

[7] Schweitzer *et al.* (2005, 2014), Bertazzo *et al.* (2015). <<

[8] The Quagga Project es el nombre de la iniciativa que está llevando a cabo las cruces dirigidas. <<

[9] La iniciativa se llama Revive & Restore y es un proyecto de la organización Long Now Foundation, que intenta desarrollar proyectos de muy largo plazo (miles de años). La cita está tomada de la página web del proyecto <<http://reviverestore.org/passenger-pigeon-de-extinction/>>, consultada el 18 de abril de 2016. <<

[10] Miller *et al.* (2008) descifraron un porcentaje importante del genoma nuclear del mamut lanudo. La fundación Long Now espera contar con un genoma casi completo para finales de 2016. <<

[11] Formalmente, en español *asilvestrar* no es verbo transitivo: un animal puede asilvestrarse (volverse salvaje), pero una persona no puede asilvestrar un animal. <<

[12] Las ideas surgidas del taller se publicaron en un par de artículos en revistas científicas de alto prestigio (Donlan *et al.*, 2005, 2006) y en el libro de Paul Martin *Crepúsculo de los mamuts* (2005). El tema central es el *rewilding*, el regreso al estado silvestre original de los ecosistemas de Norteamérica. <<

[13] Los mustangs no son nativos de América. Son caballos ferales que descienden de los caballos traídos al Nuevo Mundo por los conquistadores españoles en los siglos XVI y XVII. <<

[14] Los nombres correctos para la enfermedad son «la fiebre de Zika» o «el Zika». <<

[15] Un informe especial del *New England Journal of Medicine* (Rasmussen *et al.*, 2016) provee datos que establecen una relación de causa-efecto entre el virus del Zika y malformaciones en infantes durante su desarrollo uterino. <<

[16] Olivia Judson (2003), «A Bug's Death», *New York Times*, 25 de septiembre de 2003. <<

[17] El paludismo es una enfermedad tropical causada por los protozoos del género *Plasmodium*, transmitida por mosquitos del género *Anopheles*. <<

[18] Carvalho *et al.* (2015) realizaron los experimentos en las islas Caimán y en Bahía, Brasil. <<

[19] Hsieh y Mentink-Kane (2016). <<

Notas del Capítulo IX

[1] «Encuentran restos de un verdadero unicornio... y no era tan bonito como creíamos.» Consultado en <<http://cnnespanol.cnn.com/>>, 29 de marzo de 2016. <<

[2] Shpansky *et al.* (2016). <<

[3] Michael Soulé es el fundador de la biología de la conservación, una disciplina científica que aplica los conocimientos de la ecología y la evolución a la conservación de las especies y los ecosistemas. En 1985, Soulé escribió un ensayo en el que estipula los cinco principios fundamentales de la nueva ciencia. <<

[4] Los científicos llaman a estos factores «estocasticidades». Hay entonces estocasticidad demográfica, estocasticidad genética, estocasticidad ambiental y estocasticidad por catástrofes (Shaffer, 1981). <<

[5] Berger (1990). <<

[6] Un paradigma científico es un conjunto de prácticas y de conceptos que definen una línea de pensamiento. <<

[7] Caughley (1994) resume la historia del rascón de la isla Lord Howe. <<