

RODOLFO SALAS GISMONDI

VERTEBRADOS FÓSILES DEL PERÚ

Archivos sobre el origen
de la biodiversidad





UNMSM

Vertebrados fósiles del Perú: archivos sobre el origen de la biodiversidad
© Rodolfo Martín Salas Gismondi, 2024

De esta edición:

© Universidad Peruana Cayetano Heredia - Fondo Editorial Cayetano
Av. Honorio Delgado 430, San Martín de Porres, Lima 150135, Perú
fondo.editorial@oficinas-upch.pe
<https://fondoeditorial.cayetano.edu.pe>

Primera edición: julio de 2024
Producción editorial: Fondo Editorial Cayetano

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2024-07196
ISBN: 978-612-5139-15-3

Se terminó de imprimir en julio de 2024 en:
Impresión y Soluciones TI S.A.C.
Calle Riso 572, Lince, Lima
Tiraje: 300 ejemplares

El contenido de este libro ha sido elaborado en el marco del proyecto «Valorización del Patrimonio Paleontológico y el Origen de la Megadiversidad del Perú», correspondiente al Contrato N° 104-2018-FONDECYT, financiado por PROCIENCIA - CONCYTEC.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso de la editorial.

Las ideas, afirmaciones y opiniones expresadas en la presente publicación pertenecen al autor; por lo tanto, nuestra casa de estudios no asume ningún tipo de responsabilidad sobre estas.

A mi abuelita Julia
A Fico
A mi mamá Mafalda

ÍNDICE

I

P.	PREFACIO	7
I.	¿CÓMO ESTUDIAMOS LA VIDA DEL PASADO?	11
II.	EL TERRITORIO PERUANO Y SU REGISTRO	27
III.	SACACO Y EL ORIGEN DEL SISTEMA DE HUMBOLDT	107
IV.	ESPINAR: UN VISTAZO A LA ANTIGUA MEGAFUNA DE LOS ECOSISTEMAS ANDINOS	163
V.	IQUITOS ANTES DEL RÍO AMAZONAS	197
VI.	VALORIZACIÓN DEL REGISTRO PALEONTOLÓGICO DEL PERÚ	239
A.	ANEXO	263
G.	GLOSARIO	273
C.	COLABORADORES	277
A.	AGRADECIMIENTOS	279
C.	CRÉDITOS Y ATRIBUCIONES	281

PREFACIO

P

Quise escribir este libro en el año 1999, cuando junto a Mario Urbina –mi hermano paleontológico–, el Dr. Niels Valencia –a la sazón director del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)– y el profesor Jesús Córdova, todos, hicimos posible la consolidación del Departamento de Paleontología de Vertebrados (DPV-MUSM) en el Museo. Al final del siglo XX, las localidades y sus vertebrados se podían listar en unas cuantas páginas. Aunque no fueran muchas, igual, yo pensaba que las criaturas del pasado peruano eran fantásticas y su historia, lejana, ajena, escrita en inglés o francés, debía ser contada para las peruanas y los peruanos. Y es que esas interesantes investigaciones habían sido realizadas por científicos extranjeros, y los fósiles peruanos, salvo un par de excepciones, habían sido llevados a legendarios museos en el hemisferio norte. En el Perú, no había bibliotecas especializadas en paleontología de vertebrados ni colecciones de fósiles de

vertebrados ni lugares donde se enseñara o se pudiera aprender sobre estos temas.

Escribí una veintena de páginas y ahí quedó. Fue un proyecto prematuro. En el nuevo DPV-MUSM había mucho que hacer: conseguir libros, artículos científicos, esqueletos de animales actuales y, sobre todo, pasábamos largo tiempo buscando y colectando fósiles en diferentes partes del Perú. Y luego, lo mejor, en medio de discusiones bizantinas disfrutábamos tratando de identificarlos.

Pero nuestra historia paleontológica empezó unos años antes. Al poco tiempo de conocer a Mario y de hacer nuestras primeras expediciones en bus a Sacaco (Arequipa), en 1993, también conocí a Christian de Muizon, paleontólogo francés que había estudiado casi todo lo que se sabía sobre los vertebrados de la formación Pisco. Le contamos sobre nuestro interés en estudiar fósiles y la pasión que teníamos (¡tenemos!)

por la paleontología. Christian pensó que teníamos potencial y decidió acondicionar un laboratorio de preparación de fósiles en una pequeña sala del Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA) en Miraflores. Pasamos cientos de horas en ese lugar. Christian nos enseñó a preparar fósiles, a consolidarlos (es decir, infiltrarlos con pegamentos diluidos para que no se deterioren), pero lo más importante para mí fue que Christian me enseñó cómo estudiar los fósiles, cómo ser un paleontólogo. Realizamos muchas expediciones a Sacaco y logramos hacer una colección importante de fósiles gracias al ojo infalible de Mario. Esta colección formó parte de un primer Laboratorio de Paleontología en la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) entre 1995 y 1997, gracias al apoyo del Dr. Carlos Monge, el Dr. José Vidal Layseca, la Dra. Fabiola León Velarde y la Dra. María Rivera. A partir de 1999, esos fósiles fueron la base de, ahora, la más importante colección de fósiles de vertebrados de todo el país –en el Perú o en extranjero–, la del Departamento de Paleontología de Vertebrados del Museo de Historia Natural de la UNMSM. En el 2021, en plena pandemia, empezamos un nuevo reto: la apertura del Laboratorio de Paleontología y Evolución de Vertebrados (PalEo-V) en la UPCH. Y aquí estamos hoy, con el primer libro de paleontología de vertebrados del Perú terminado.

Este libro lo concebí pensando en lo que todos aprendimos en el colegio: el Perú tiene tres grandes regiones naturales, la costa (y el mar), la sierra y la selva. Estaba claro que esto es absolutamente cierto y que es un territorio único y extraordinario, absolutamente sorprendente en diversidad de climas y ecosistemas, con el mar más abundante en recursos del mundo, con la mayor biodiversidad del planeta en la Amazonía y los Andes, majestuosos, induciendo esa abundancia y diversidad de múltiples maneras.

La característica física dominante del Perú es la elevada cordillera de los Andes que se encuentra cerca del Océano Pacífico y forma una barrera entre la estrecha franja de la costa desértica y las extensas llanuras boscosas del Amazonas. En consecuencia, se reconoce comúnmente que el país presenta tres regiones naturalmente definidas que difieren en sus características físicas y clima; a saber, la costa, la sierra y la selva, o “montaña”, como se le llama en el Perú.

Adams, 1908, en *An outline review of the geology of Peru*.

Pero siempre pensé que algo faltaba. Nadie siquiera me habló en el colegio, y pocas veces en la universidad, sobre qué procesos, qué historia había detrás de nuestros paisajes y biodiversidad. ¿Siempre fue así? ¿La Amazonía siempre fue un bosque tropical? ¿Siempre hubo lobos marinos en nuestras costas? ¿Y antes? ¿Hubo dinosaurios en el Perú?

Luego de buscar y estudiar fósiles peruanos por años, visitar centenares de sitios paleontológicos y trabajar en colaboración con colegas peruanos y extranjeros de diferentes especialidades y disciplinas, tenemos algunas respuestas a estas preguntas, muchas de ellas gracias a ese registro fósil, el muchas veces olvidado e ignorado registro fósil. Por ello, en este libro, en el Capítulo I, introduzco al lector o lectora en las generalidades sobre la paleontología y los fósiles. En el Capítulo II, presento una extensa exploración por el abundante registro paleontológico del territorio nacional, empezando por la Era Mesozoica, hace unos 250 millones de años. En los siguientes tres capítulos, planteo que el registro fósil del territorio peruano es un archivo que explica el origen de nuestra biodiversidad y ecosistemas. Para probarlo, escogí tres sitios

paleontológicos de gran relevancia: uno de la costa –Sacaco (Capítulo III)–, uno de la sierra –Espinar (Capítulo IV)–, y otro de la selva –Iquitos (Capítulo V)–, porque son archivos valiosos que comprenden periodos clave, que cuentan con una preservación extraordinaria y que nos explican, finalmente, cómo fueron las etapas del proceso ocurrido en los últimos millones de años que devino en la singularidad de nuestra riqueza natural y nos ayudan a entender por qué nuestro territorio no es igual a ningún otro. Por último, el Capítulo VI trata de los diferentes aspectos que hoy le otorgan valor al registro fósil del Perú.

Además de ello, el lector encontrará diecinueve contribuciones realizadas por notables científicos y científicas que han estudiado y estudian, desde diferentes perspectivas, el registro fósil del Perú. Estas son las «Inmersiones»: textos cortos, exquisitos, donde los investigadores desarrollan a profundidad temáticas de su especialidad, que han sido tratadas someramente en el texto principal. Así, como en la paleontología de vertebrados del Perú es hoy el producto de colaboraciones, este libro también lo es.

El objetivo de este libro es dar a conocer la riqueza del registro fósil de vertebrados existente en el territorio peruano. No son solo unos cuantos huesos y dientes por aquí y por allá. Es un registro copioso, diverso e incomparable en muchos aspectos al documentado en otras partes del mundo. Es necesario que las peruanas y peruanos sepamos de su existencia y lo apreciemos. El libro está especialmente orientado a estudiantes de los últimos años del colegio, de institutos y de universidades que se interesen en la historia de la vida, que tengan vocación científica o simplemente curiosidad por entender el mundo que los rodea. También pensé en aquellas y aquellos con

interés en la educación o el turismo, u otras disciplinas que puedan encontrar útil el conocimiento que proporciona la paleontología. Incluso, algunos jóvenes podrían estar interesados en ser paleontólogos. Para ellos, espero que este libro sea inspirador y los ayude a exaltar sus anhelos. El libro está dirigido también a profesores de colegios y universidades para que puedan incluir algunos temas sobre el pasado de nuestra biodiversidad en sus clases. Siento que autoridades locales y regionales de todo el país pueden encontrarlo útil para saber sobre las características de los sitios paleontológicos según la región donde se encuentren y cómo podría ser su manejo, protección y valorización. Y, por supuesto, al público en general interesado en estos temas.

Sin embargo, tengo que hacer una advertencia. Este libro no es una obra totalmente objetiva. Está cargado de la pasión y los sentimientos intensos que genera un fósil, al verlo y examinarlo en el campo o en el laboratorio para tratar de entenderlo. Un fósil es un objeto del pasado traído al presente, representa un problema científico, un enigma, un acertijo, y como tal, induce curiosidad obsesiva, al menos en mí. En algunos pasajes he querido transmitir esas experiencias, sensaciones e ideas que surgen de la interacción con esas reliquias.

La paleontología de vertebrados recién empieza a ser contada por peruanas y peruanos. Todavía hay mucho por descubrir.



FIGURA 1.1. FÓSILES Y PALEONTOLOGÍA ↑

El cráneo y mandíbula de *Thalassocnus littoralis* (MUSM 223) es parte de archivo de la vida. Si no existieran fósiles de *Thalassocnus*, no sabríamos que durante el Mioceno tardío un perezoso terrestre empezó a ingresar al mar, adaptarse y evolucionar hasta convertirse en un animal semiacuático. Era un animal herbívoro que se alimentaba de pastos marinos y algas. Se sabe que los perezosos terrestres del pasado excavaban muy bien con sus formidables garras y en ocasiones hacían cuevas. Tal vez *Thalassocnus* excavaba galerías en las playas de arena; también se piensa que usaba sus garras para aferrarse de las rocas mientras se alimentaba de pastos en el fondo marino. Era un animal que habitaba aguas poco profundas cercanas a la costa. Se extingue durante el Plioceno, cuando, a raíz de un descenso en el nivel del mar, se perdieron muchos hábitats neríticos en todo el mundo, incluida la costa de lo que hoy es el Perú. ¿Quién puede negar que acabamos de hacer un viaje en el tiempo gracias a un fósil y la paleontología? Este fósil tiene 6 millones de años de antigüedad y fue descubierto por Mario Urbina en Aguada de Lomas, Sacaco, norte de Arequipa. Escala = 5 cm.

¿CÓMO ESTUDIAMOS LA VIDA DEL PASADO?

I.

UNA MÁQUINA DEL TIEMPO

La paleontología es la ciencia natural que estudia los organismos que existieron en el pasado y su evolución. También podríamos definirla como una «máquina del tiempo», pues nos permite viajar a ambientes y ecosistemas desaparecidos hace miles o millones de años y apreciar la fascinante historia de la vida. Como aquella afamada máquina del tiempo del novelista H. G. Wells, la nuestra —la paleontología— también está compuesta de varias «partes» que contribuyen con su funcionamiento.

La paleontología encuentra sus bases científicas en la biología y la geología, pero además cuenta con piezas distintivas —los fósiles—, aquellas reliquias de 12 000 años antes del presente (AP) o más que documentan la existencia de organismos extintos (Figura I.1). Los fósiles son los objetos esenciales que nos otorgan la oportunidad de viajar al pasado, pues suelen atesorar valiosa información sobre el modo de vida, relaciones de parentesco, evolución y distribución histórica de las especies. Si los fósiles no existieran, ignoraríamos que la vida se originó hace 3500 millones de años (Ma), que existieron los dinosaurios y que nuestros ancestros homínidos recién evolucionaron 6 millones de años atrás en África.

Encontrar un fósil —en palabras del paleontólogo norteamericano G. G. Simpson— es como encontrar un tesoro. Yo además añadiría que el verdadero tesoro —la información que alberga— siempre se encuentra cifrado. Aunque el fósil esté en gran estado de preservación y sea espectacular, nuestra máquina del tiempo nos llevará al pasado recién cuando la información alojada en el fósil sea interpretada. En otras palabras, no basta con descubrir fósiles y admirarlos por su belleza o singularidad; es necesario estudiarlos rigurosamente para que el viaje se consume.

Hace unos 300 años, cuando empezaron a asentarse los cimientos de la paleontología, el estudio de los fósiles era meramente anatómico. Los paleontólogos de esa época analizaban la morfología preservada en los fósiles y la comparaban con aquella de las especies vivientes más parecidas. ¡Claro, no fue sencillo establecer la identidad y reconstruir la apariencia externa de criaturas desconocidas que parecían sacadas de la mitología! Estudiar los huesos de un dinosaurio, un reptil volador o un perezoso gigante es fascinante, pero además un reto de análisis e interpretación toda vez que estos animales distan en gran medida de los patrones anatómicos observables en especies vivientes.

En poco tiempo, los fósiles se convirtieron en sólidos pilares de la teoría evolutiva y del carácter cambiante de nuestro planeta, y sirvieron para ajustar la escala temporal de la historia de la Tierra. Con cada nuevo descubrimiento, los avances en el entendimiento de los mecanismos evolutivos, el desarrollo de métodos filogenéticos reproducibles y el progreso de la tecnología, la paleontología dejó de ser un saber de curiosidades. Actualmente, los estudios de anatomía son asistidos por imágenes tomográficas y análisis cuantitativos de la forma, permitiendo extraer de los fósiles valiosa información otrora inaccesible (Figura I.2).

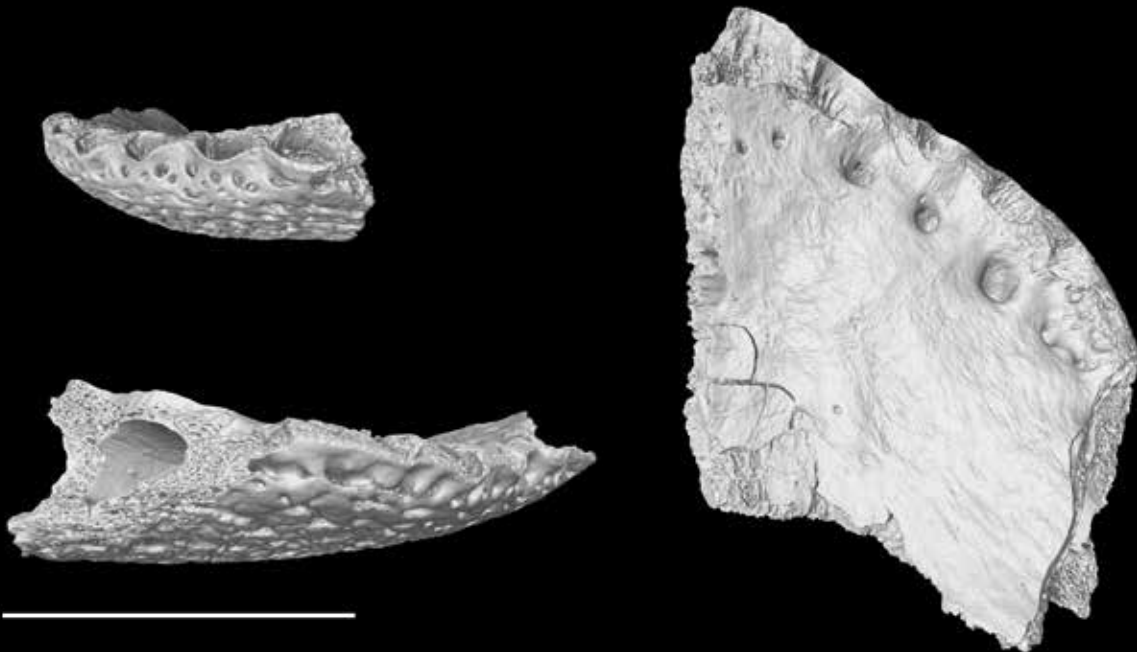


FIGURA I.2. ANTIGUOS FÓSILES, NUEVAS TÉCNICAS ↑

Imagen de una porción del dentario de *Gnatusuchus pebasensis* (MUSM 923) generada por un microtomógrafo de alta resolución. Estas imágenes permiten observar detalles anatómicos muy precisos, tanto en la superficie como en el interior de los huesos, incluso en huesos aún cubiertos por la matriz rocosa que usualmente los rodea luego de la colecta. Así se puede analizar el interior de los huesos sin realizar cortes, como antes se hacía. *Gnatusuchus pebasensis* fue un caimán excavador descubierto en rocas de 13 millones de años de la formación Pebas, área de Iquitos, Loreto. Escala = 5 cm.

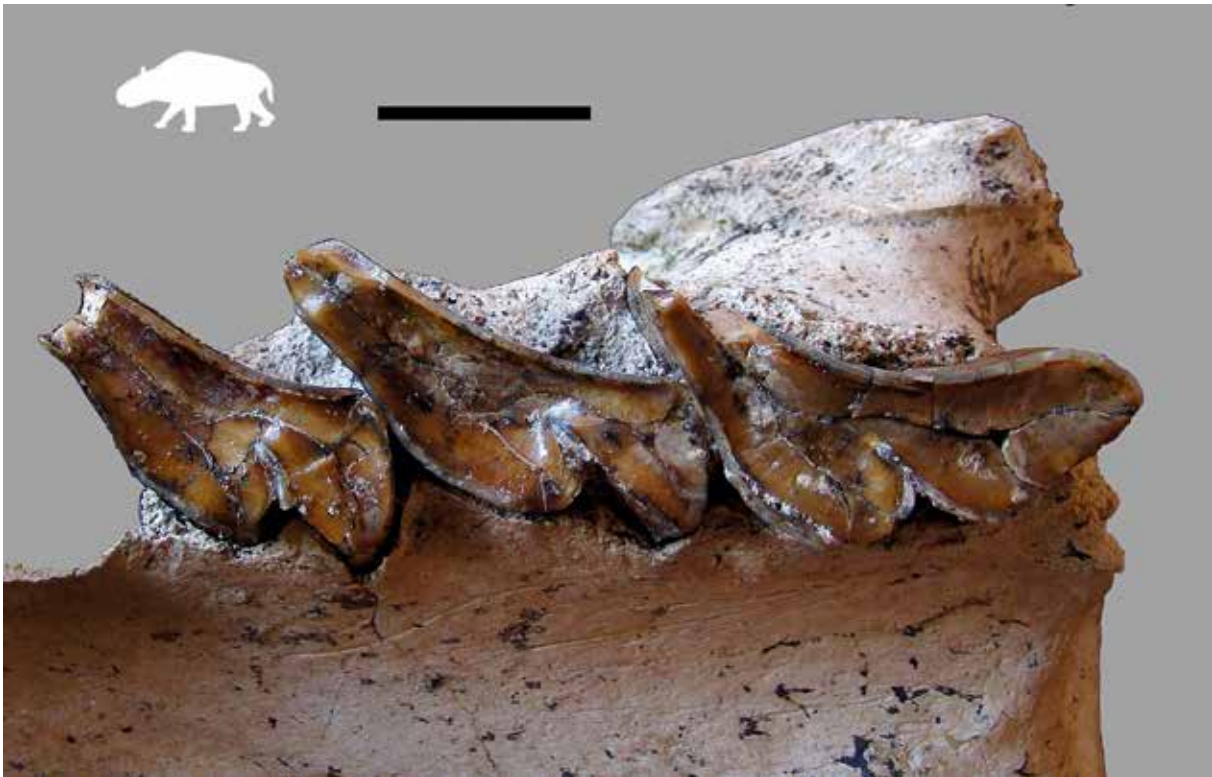


FIGURA I.3. DIENTES ↑

Molares en vista oclusal del mamífero *Posnanskytherium* (MUESP 8). Sin duda, los dientes son las piezas más estudiadas de los mamíferos. Tienen gran complejidad y gran variación en su forma. En general, la corona –la porción externa y funcional en la alimentación– está cubierta por una capa dura y translúcida, llamada esmalte. El esmalte no solo refuerza el diente, sino que también define la morfología de las cúspides. Debido a que el esmalte es 97% mineral, en general, no se altera durante la fosilización, y mediante el análisis de isótopos estables se puede extraer información sobre la dieta del animal o la temperatura del ambiente durante su vida, entre otros datos. *Posnanskytherium* fue un mamífero herbívoro nativo sudamericano habitante del Altiplano andino. En el Perú, sus restos se han descubierto en rocas de hace ~4.75 Ma en la ciudad de Yauri, Espinar, Cusco. Escala = 2 cm.

Se ha podido recuperar paleo-ADN (ADN de especies extintas) y proteínas de los huesos de animales que vivieron durante la «edad de hielo» (entre 2.58 y 0.012 millones de años atrás) e incluso más antiguos. Gracias a estos avances se ha decodificado el ADN de nuestra especie hermana, *Homo neanderthalensis*, y por fin se logró ubicar a los enigmáticos notoungulados y litopternos (ungulados nativos sudamericanos todos extintos) al lado de los perisodáctilos vivos (caballos, tapires y rinocerontes) en el árbol de la vida. Los isótopos estables de ciertos elementos almacenados por millones de años en el esmalte dentario (Figura I.3) y las conchas de invertebrados ahora ayudan a reconstruir la dieta, el ambiente e incluso el paleoclima, este último particularmente relevante en la comprensión de los efectos que tendrá el cambio climático global sobre la vida. La paleontología es, pues, más que una máquina para viajar al pasado.

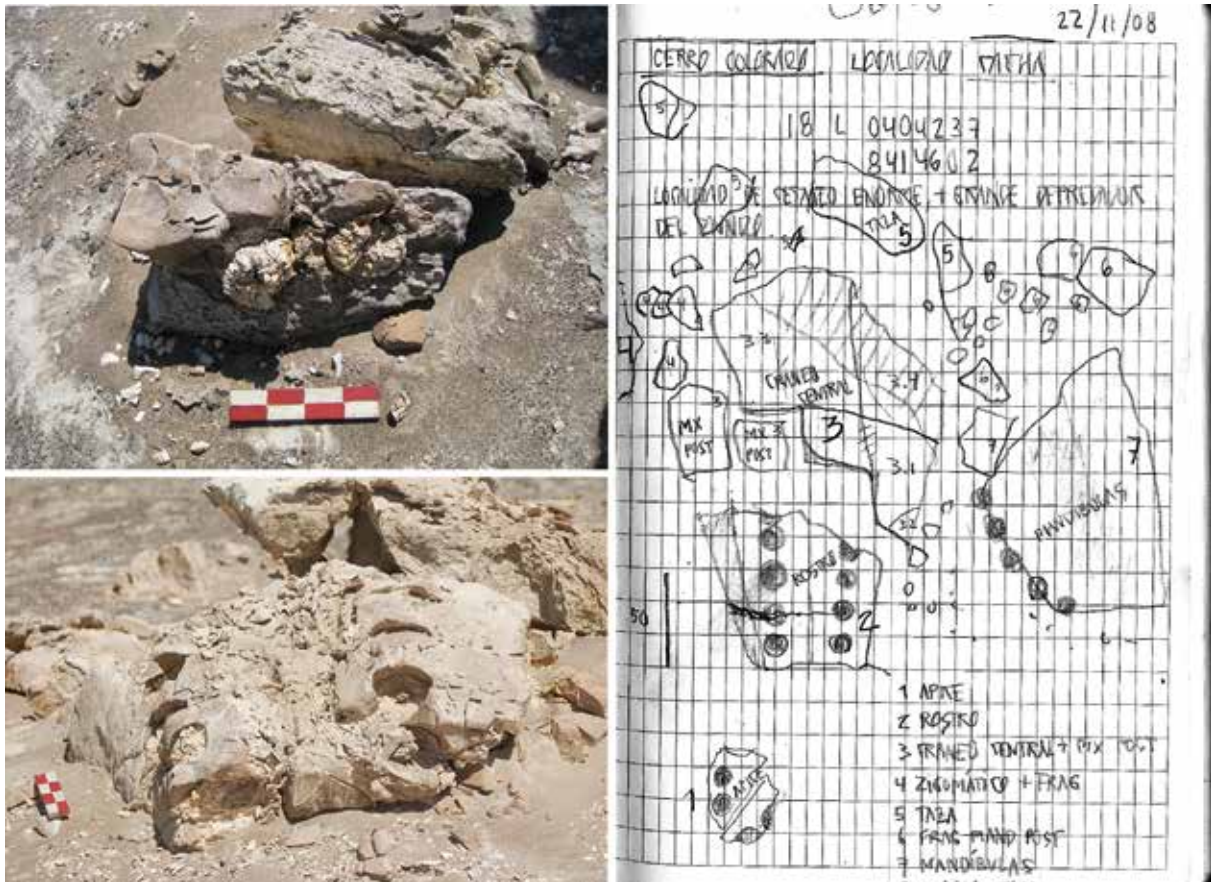


FIGURA I.4. DATOS DE COLECTA ↑

Fotografías y dibujo en el cuaderno de campo de la colecta de un fósil fantástico en Ocucaje, el *Livyatan melvillei*. Incluye los datos de la localidad, la fecha de colecta, la geología, esquemas con la posición de las partes del espécimen y anotaciones sobre características notables y la identificación preliminar.

ARCHIVOS DE LA HISTORIA DE LA VIDA

Junto al genoma que almacena la información genética de los organismos, el registro fósil es uno de los principales archivos de la historia de la vida en nuestro planeta. Este registro está compuesto por los fósiles y por toda la data científica asociada a su procedencia y características (Figura I.4). Por ejemplo, el registro fósil de la zona de Sacaco (Arequipa) no solo comprende los restos de ballenas, tiburones y demás evidencia paleontológica documentada en las rocas del lugar, sino también la información obtenida de los componentes de este registro sobre su identidad (taxonomía), ubicación temporal y espacial (cronología, estratigrafía, georreferenciación) y preservación (tafonomía), entre otras. Esta data resulta indispensable en cualquier investigación por lo que su pérdida puede reducir notablemente el potencial científico de los fósiles.

Los fósiles pueden ser partes del cuerpo de un organismo antiguo o cualquier manifestación de su actividad biológica. Así, son fósiles tanto los huesos, dientes, conchas, troncos y hojas como los huevos, excrementos, pisadas, dentelladas y más (Figura I.5). Los fósiles se encuentran generalmente en las rocas sedimentarias debido a que tanto los organismos como su actividad quedaban atrapados por la acumulación de sedimentos durante la formación de los estratos de roca. Por convención, si esta evidencia tiene 12 000 años de antigüedad o más es un fósil, a pesar de que no haya sufrido procesos fisicoquímicos (mineralización, disolución, compactación, reemplazo) que afecten su estructura original; en otras palabras, no es necesario que una concha o un hueso estén «petrificados» para que sean considerados como fósiles. Las alteraciones producidas por un organismo sobre un sustrato (o bioturbaciones), tales como galerías, madrigueras y túneles, también son



FIGURA I.5. SUS PASOS ↑

Huellas de un dinosaurio carnívoro en Tarapoto. Las huellas son fósiles que proveen información sobre la actividad realizada por un organismo durante su vida. Esta huella básicamente nos dice que un dinosaurio terópodo estuvo ahí hace unos 70 millones de años. Escala = 10 cm.

fósiles y ayudan a reconstruir el paleoambiente. En Sacaco es común encontrar rocas con «dibujos» ondulantes de color rojizo, los cuales son los rastros de madrigueras y túneles de alimentación excavados por invertebrados en la arena del piso marino. El ámbar —resina endurecida, producida y exudada por una planta— es un tipo de fósil que puede preservar finamente inclusiones biológicas en su interior, como polen, ácaros, insectos y hasta pequeños vertebrados (Figura I.6). A todos estos fósiles se les conoce como macrofósiles debido a que son suficientemente grandes para ser apreciados a simple vista. Sin embargo, aquellos que por su pequeño tamaño requieren lentes de aumento para su observación —los



← FIGURA I.6.
DE LA SELVA SU ÁMBAR

Pieza de ámbar con un díptero finamente preservado, *Sycorax peruensis* (IQ26IA1-10), una mosca chupasangre pariente de la manta blanca. Como se aprecia, el ámbar también capturó otros elementos orgánicos de origen animal y vegetal. La pieza de ámbar con inclusiones biológicas se formó hace 13 Ma y procede de la formación Pebas, Iquitos, Loreto. Escala = 0.2 mm.

microfósiles— son los fósiles más comunes y abundantes de la naturaleza. Entre ellos, las diatomeas, los foraminíferos y el polen son ampliamente usados en estudios científicos y actividades económicas. En la zona paleontológica de Espinar (Cusco), macro (esqueletos de mamíferos, hojas, troncos) y microfósiles (polen, diatomeas) han aportado valiosa información para reconstruir el ambiente y el clima andino (Figura I.7).

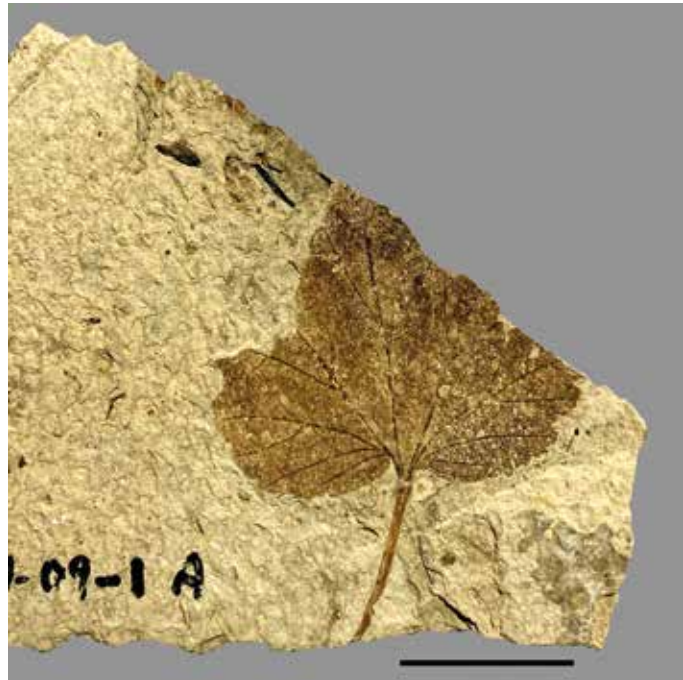
La historia de la vida se escribe y reescribe constantemente a medida que el archivo crece y se nutre con cada nuevo fósil descubierto y estudiado. Sin embargo, este archivo probablemente nunca alcance a ser una representación precisa de la verdadera biodiversidad del pasado. Y es que, en varios aspectos, el registro fósil es incompleto y sesgado. Para comprender este fenómeno debemos recurrir a la tafonomía, la rama de la paleontología que estudia las «leyes de enterramiento», y recordar que la fosilización generalmente ocurre cuando un cuerpo o parte

de él queda atrapado durante la deposición de sedimentos. El proceso es mediado por fluidos, como el agua y el viento, e influenciado notablemente por la energía del ambiente y el tiempo que transcurre entre la muerte del organismo y su enterramiento.

Entonces, decimos que es incompleto porque solo un reducido número de individuos de una especie llega a fosilizarse, descubrirse y colectarse. Muchas especies extintas son conocidas

FIGURA I.7. RESTOS VEGETALES →

Hoja fosilizada del Plioceno temprano (~4.75 Ma) descubierta en la ciudad de Yauri, Espinar. Esta hoja es relativamente grande si consideramos que la zona ya se encontraba a casi 4000 m de altitud en esa época. El tamaño y las características de la hoja, así como otros estudios geológicos y paleontológicos son consistentes con la interpretación de que el altiplano era más húmedo hace ~4.75 Ma. Escala = 2 cm.



solo por un individuo y de muchas otras tal vez nunca sabremos de su existencia. Además, los fósiles siempre representan porciones de individuos, nunca individuos completos. Incluso los mamuts momificados en el permafrost de Beringia o aquella famosa madre ictiosaurio y su retoño, perennizados durante el alumbramiento, están lejos de preservar toda la data de cuando el animal estaba vivo. Estos casos de fosilización extraordinaria contrastan con la condición fragmentaria de la mayoría de los restos conocidos, particularmente entre los animales vertebrados. Por ejemplo, *Griphodon peruvianus* es un ungulado nativo sudamericano identificado a partir de una porción de mandíbula con dos dientes descubierta en el valle del río Huallaga. Se cree que esta especie perteneció al clado de los piroterios, animales herbívoros de gran tamaño que habitaron Sudamérica en el Paleógeno. Las poblaciones de *Griphodon peruvianus* deben haberse contado por millones; sin embargo, un fragmento de mandíbula es todo lo que ha llegado hasta nuestros días (Figura I.8).

Aparte de ser incompleto, el registro fósil es sesgado porque no todas las formas de vida tienen las mismas posibilidades de fosilizarse. Por ejemplo, el registro de organismos con cuerpo blando es



FIGURA I.8. ENIGMÁTICO ↑

Porción de mandíbula de *Griphodon peruvianus* (holotipo, AMNH 17724), tal vez el animal más enigmático del registro fósil peruano. Se cree que es un piroterio. Escala = 2 cm.

extremadamente escaso debido a que sus tejidos decaen rápidamente después de la muerte. Para que ellos se preserven, el enterramiento rápido y condiciones que retrasen la descomposición orgánica son fundamentales, pero poco comunes. En contraste, las partes duras, como los troncos, las conchas de los moluscos y los huesos y dientes suelen resistir por más tiempo. Las partes duras no garantizan necesariamente la fosilización si estas son frágiles o si el deceso ocurre en lugares con altas tasas de decaimiento y bajas de sedimentación, como el interior de un bosque o un desierto. Lo mismo podría suceder en ambientes totalmente diferentes: mucha energía en la zona de rompiente producirá restos fragmentarios o todos serán destruidos a pesar de la alta tasa de sedimentación. En todos los casos, el tiempo transcurrido entre la muerte y el enterramiento es la variable determinante.

Un ejemplo puede ayudarnos a recrear los matices de la fosilización. Los depósitos de lignito de la formación Pebas en la Amazonía se acumularon en pantanos entre hace 17 y 11 Ma. En ellos los huesos de caimanes y tortugas son comunes debido a que estos animales vivían y morían en esos pantanos. En cambio, solo se ha registrado un diente de *Sebecus*, un tipo de

cocodrilo con hábitos terrestres que no vivía en los pantanos sino dentro del bosque (Figura I.9). Debido a que la tasa de acumulación de la materia orgánica que formó el lignito era relativamente baja, nunca se encuentran esqueletos completos ni en conexión anatómica, pero sí muchos huesos disociados y mezclados. Las fracturas y el aplastamiento que presentan la mayoría de los huesos se produjeron porque eran pisados o removidos por otros animales durante el largo tiempo que pasaban en el fondo de estas ciénagas antes de ser enterrados definitivamente. Es raro encontrar restos de aves, pues sus frágiles huesos no soportaban estas condiciones. Sin embargo, como estos ambientes eran de poca energía y disódicos (i.e., calmos y con muy poco oxígeno), los restos resistieron más tiempo y se encuentran en buen estado de preservación. Incluso, algunas condiciones fisicoquímicas del medio permitieron la conservación de abundantes coprolitos (es decir, excrementos fosilizados). Debido a que los depósitos de lignito se originan básicamente por el decaimiento parcial de la materia vegetal (turba) se pueden reconocer troncos y hasta semillas, pero raramente se llegan a preservar hojas. Hojas fosilizadas en la formación Pebas se preservaron en ciertos niveles con arcillas azules donde la deposición fue más rápida.

Los fósiles son el resultado de condiciones de preservación muy particulares ocurridas en el pasado que le otorgan al archivo de la vida en la Tierra su carácter de incompleto y sesgado. Los microfósiles existen en grandes cantidades en la naturaleza. Los macroinvertebrados con conchas (por ejemplo, bivalvos, gasterópodos, amonitas) son comunes y muchas veces abundantes. A pesar de que los vertebrados poseen un esqueleto óseo, sus fósiles son escasos y, por ende, de gran importancia científica. Las hojas fósiles son valiosos testimonios para reconstruir los ambientes terrestres, como lo son las bioturbaciones para los ambientes acuáticos. Existen organismos extintos que solo son conocidos por un fragmento de un individuo.

FIGURA I.9. DEPREDADOR ↓

Diente de *Sebecus* (MUSM 4745) descubierto en el río Inuya. *Sebecus* fue un cocodriliforme de hábitos terrestres del grupo de los Sebecidae, y se cree que junto con las «aves del terror» y los mamíferos marsupiales fueron los más importantes depredadores de Sudamérica durante el Cenozoico. Sus dientes comprimidos lateralmente y de bordes aserrados son muy parecidos a aquellos de algunos dinosaurios carnívoros. Hace 13 Ma, el dueño de este diente fue uno de los últimos sobrevivientes del grupo Sebecidae, pues no se encuentran restos de estos animales en rocas más recientes. Las causas de su extinción son un misterio.

Escala = 1 cm.





CUANDO LA UNIDAD ES EL MILLÓN DE AÑOS

Los paleontólogos hablamos con total naturalidad de especies o eventos que ocurrieron hace millones de años, pero que provocan reacciones de sorpresa en cualquier auditorio no familiarizado con el millón de años como unidad para medir el tiempo. ¡Hace 335 millones de años empezó la formación del supercontinente Pangea! ¡Los dinosaurios no avianos se extinguieron hace 66 millones de años! ¡Los cetáceos empiezan a colonizar ambientes marinos 50 millones de años atrás! Un millón de años es mucho tiempo para nuestras sociedades, pues las primeras civilizaciones humanas no superan los 6000 años de antigüedad, pero resulta insignificante cuando hablamos de la historia de la Tierra, que acumula ya 4600 millones de años de historia. Tal vez el cuestionamiento mayor acerca de este tema es: ¿Cómo lo saben? ¿Cómo construyeron ese calendario de eventos?

A este calendario de la historia de la Tierra se le llama Escala del Tiempo Geológico (ETG). Así como nuestros calendarios anuales se dividen en meses, semanas y días, la ETG comprende intervalos de tiempo mayores (por ejemplo, eones, eras, periodos) y menores (por ejemplo, épocas, edades), definidos a partir de eventos geológicos y biológicos de escala global o al menos regional y documentados en las rocas. Los primeros geólogos que estudiaban las rocas sedimentarias se dieron cuenta de que los sedimentos se acumulaban en capas, unas sobre otras, y que las capas inferiores se formaron antes que las superiores. Además, notaron que estas capas, a las que llamaron estratos, se podían correlacionar con otras por su contenido fosilífero. En otras palabras, estratos de lugares alejados entre ellos, con los



FIGURA I.10. CORRELACIÓN Y ESTRATIGRAFÍA ↑

Cerro Pan de Azúcar formado por estratos de la formación Moquegua. Los niveles con fósiles se encuentran en la cumbre de esta montaña. Los animales descubiertos, sobretodo mamíferos, son muy parecidos a aquellos descubiertos en la localidad de Salla, Bolivia, por lo tanto, los estratos son correlacionables y tendrían aproximadamente la misma edad. El principio de correlación se cumplió: las dataciones absolutas de ambos lugares dan fechas de entre 25 y 26 millones de años de antigüedad.

mismos fósiles, se habrían formado en similares intervalos de tiempo. Estos principios de secuencia y correlación estratigráfica fueron claves para establecer una escala temporal relativa para la historia de la Tierra. Era, pues, posible ordenar poco a poco el registro estratigráfico global en base a la identificación de eventos y formas de vida comunes (Figura I.10). Era evidente para los geólogos de los siglos XVIII y XIX que los cambios en las formas de vida documentados en el registro sedimentario habían ocurrido a lo largo de extensos lapsos, pero en esa época solo se podía establecer una secuencia, no fechas precisas. A comienzos del siglo XX, las primeras edades absolutas basadas en los descubrimientos sobre radioactividad y transmutación nuclear revelaron que la historia de la Tierra se debía contar en millones de años. Habían nacido las dataciones radiométricas y el método capaz de asignar una fecha a la formación de una roca. Las fechas absolutas se fundamentan en que los isótopos radiactivos decaen de manera natural a una tasa precisa, inmutable, y sobre todo conocida. A través del decaimiento radioactivo, el isótopo padre de un elemento se transforma en otro, el isótopo hijo, en un tiempo determinado. En realidad, el valor que nos interesa saber para cada elemento es la «vida media», el tiempo que requiere la mitad del elemento radioactivo padre en decaer. Las dataciones de Uranio-Plomo (U-Pb) son de las más usadas en paleontología. Este tipo de dataciones han servido para saber qué hace unos 4.5 Ma desaparecieron los cocodrilianos marinos de la costa peruana. A diferencia del U-Pb, con el método de carbono 14 (C14) se pueden datar restos orgánicos que no superen los

50 000 años de antigüedad. Por ejemplo, un esqueleto de megaterio que olía mal —elapestoso— cuando fue descubierto en el desierto de Ica por mi hermano paleontológico Mario Urbina —del cual hablaremos mucho en este libro—, fue datado con C14 en aproximadamente 12 000 AP.

EL CAMBIO ES LA REGLA

Hace 100 millones de años no existían los Andes y 13 millones de años atrás hubo un gigantesco lago —casi un mar— en la Amazonía peruana. Hasta hace solo 12 000 AP, enormes mastodontes deambulaban por el valle de Lima y tigres dientes de sable cazaban en los alrededores de Huancayo. Lo que nos enseña la historia de la Tierra es que la constante en nuestro planeta ha sido el cambio. Para nosotros eso no es tan evidente en el día a día o incluso a lo largo de la historia de nuestras civilizaciones. Cada vez que salimos de Lima y tomamos la Panamericana Sur vemos las mismas playas, los mismos cerros y las mismas especies de aves. El lago Titicaca se ubica hoy en el mismo lugar y casi con las mismas características que hace 600 años, cuando versadas civilizaciones florecían en sus orillas. Si la regla es el cambio, ¿cómo es que el paisaje y la vida parecen no haber cambiado en siglos? Resulta que cambios ambientales, climáticos y bióticos sí ocurren, pero generalmente a escalas de tiempo mayores, de decenas de miles y, sobre todo, millones de años. Imaginemos que observamos el último minuto de un partido de fútbol, ¿qué posibilidades tendríamos de estar presentes durante todos los goles, las expulsiones o los penales decretados en el encuentro? Es posible que veamos alguno de estos eventos, pero muy probablemente en ese intervalo corto no ocurran cambios importantes. Sin embargo, los comentarios destacarían que fue un encuentro muy dinámico, con muchos goles, expulsados y hasta penales, pero de acuerdo con lo que vimos nosotros y parafraseando a un recordado comentarista deportivo, diríamos «aquí no pasa nada» (Figura I.11).

En los siguientes capítulos, gracias al extraordinario archivo de fósiles de vertebrados del Perú, conoceremos las intrincadas historias de cambio que subyacen a la enorme riqueza y diversidad de nuestro mar y desierto costero, los Andes y la Amazonía. Viajaremos al pasado para entender la verdadera dimensión temporal de los procesos que han forjado la vida tal como la conocemos hoy y la importancia de entender su origen para valorarla y preservarla.

FIGURA I.11. ¿CABALLOS EN LOS HUMEDALES COSTEROS? →

Esqueleto fósil de caballo *Equus (Amerhippus) santeaeleae* (MUSM 408) descubierto por Mario Urbina en los depósitos del Pleistoceno de Aguada de Lomas y Sacaco (SAO-AGL-P), área de Sacaco, norte de Arequipa. Los caballos se extinguen en Sudamérica hace 12 mil años, luego son reintroducidos por los europeos hace unos 500 años. Sus restos son abundantes y yacen junto a otros de guanacos, perezosos y mastodontes, en lo que hace unos 0.2 Ma (200 000 años antes del presente) fueron extensos humedales costeros, parecidos a los Pantanos de Villa. La existencia de varias especies de animales de más de 200 kg en estos paleohumedales demuestra que las cosas han cambiado. Hoy en día los habitantes de los humedales son aves y los mamíferos de mayor tamaño son roedores.



INMERSIÓN: Fósiles, isótopos y paleoclima *Matthieu Carré*

El clima del pasado lejano (paleoclima) se puede conocer gracias a los fósiles de ciertos organismos que registraron en su química las condiciones climáticas ocurridas durante su vida. Los átomos de carbono y oxígeno presentes en todos los tejidos biológicos tienen en general una masa atómica de 12 y 16, respectivamente; pero existen también en el ambiente, en menor proporción, otros isótopos más pesados de estos mismos átomos: carbono de masa atómica 13 y oxígeno de masa atómica 18. Cuando un organismo transforma materia para sintetizar sus tejidos, estos átomos se le incorporan en sus dos versiones, en proporciones que reflejan la existente en la materia de origen. Por ejemplo, una ostra que construye su concha de carbonato de calcio (CaCO_3) a partir de elementos del agua (H_2O) contiene oxígeno en una proporción isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) que depende de la proporción del agua donde vivió. Igualmente, nuestros tejidos, huesos y dientes contienen carbono en una proporción isotópica ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) que refleja la proporción isotópica de nuestra comida. Si la química original está preservada en el fósil, el análisis de su proporción isotópica (usando un espectrómetro de masa) brinda información sobre el ambiente donde vivió. Los fósiles de organismos acuáticos con estructuras de carbonato de calcio (moluscos, corales, foraminíferos) y los dientes de vertebrados conservan mejor esa información (Figura I.12).

Las moléculas de agua que cargan un isótopo pesado de oxígeno (^{18}O) se evaporan con mayor dificultad que las moléculas con un isótopo «normal» (^{16}O) y precipitan más fácilmente. En consecuencia, el agua de lluvia es

pobre en ^{18}O y el agua evaporada concentra el ^{18}O , similarmente a lo que pasa con la sal. De esa manera, la proporción isotópica del agua preservada en un molusco fósil indica si el ambiente era marino, salobre o de agua dulce. En las épocas glaciales, las precipitaciones se acumulaban en los polos en forma de hielo, sin volver al mar. El nivel del mar bajaba (casi 140 m hace 20,000 años) mientras su salinidad y concentración de ^{18}O aumentaba. La historia de las glaciaciones de la llamada Edad de Hielo ha sido reconstruida a partir de los cambios en las proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del mar registrados en microfósiles abundantes en sedimentos marinos, los foraminíferos.

Si la salinidad del agua no cambia, las variaciones en la proporción $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en fósiles de carbonato de calcio son indicativas de variaciones en la temperatura. Por consiguiente, antes de que ocurran las recientes glaciaciones, cuando la salinidad global del mar no cambiaba, las variaciones de las proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ registradas en foraminíferos de testigos marinos reflejan variaciones en la temperatura del océano. Así sabemos que la Tierra soportó un clima 11°C más cálido que en la actualidad durante el Óptimo Climático del Eoceno, hace entre 54 y 50 Ma. Analizando en alta resolución organismos que acumulan durante su vida, año tras año, capas de carbonato de calcio (corales y moluscos), es posible detectar eventos calientes anormales y cortos, como El Niño. Gracias a moluscos fósiles de Perú pudimos reconstruir el nivel de actividad de El Niño durante intervalos de calentamiento global del pasado y así anticipar posibles cambios en el futuro.

La proporción isotópica del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en dientes de herbívoros da información sobre el tipo de alimento vegetal que consumen en su medioambiente. Desde hace 8 Ma, las plantas realizan dos tipos principales de fotosíntesis, llamadas C3 y C4. Las plantas de

tipo C3 tienden a requerir más humedad y se caracterizan por una concentración muy baja en el isótopo ^{13}C , mientras las plantas de tipo C4, que tienen una proporción isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ más elevada, están más adaptadas a climas secos. La proporción isotópica de la vegetación registrada en los dientes, nos indica, por lo tanto, el tipo de ecosistema vegetal y de clima en el que vivió el animal.

El estudio de la química de los restos de organismos fósiles es uno de los principales métodos para reconstruir la historia climática de la Tierra. Como hemos visto, los investigadores han ideado y desarrollado una gran diversidad de indicadores químicos. Para cada uno, la interpretación de la señal ambiental, climática o ecológica puede ser muy compleja y requiere de estudios experimentales en organismos y ecosistemas actuales.



FIGURA I.12. ISÓTOPOS Y MOLUSCOS →

Bivalvos y gasterópodos de 13 Ma colectados durante una tarde en la localidad Sula Site, formación Pisco, Ocucaje, Ica.

REFERENCIAS

- Antoine P-O, G Billet, R Salas-Gismondi, J Tejada-Lara, P Baby, S Brusset, N Espurt. 2015.** A new *Carodnia* Simpson, 1935 (Mammalia, Xenungulata) from the early Eocene of northwestern Peru and a phylogeny of xenungulates at species level. *J. Mammal. Evol.* 22: 129-140.
- Benton MJ, DAT Harper. 2009.** Introduction to Paleobiology and the Fossil Record. Wiley-Blackwell, United Kingdom.
- Briggs DEG, PR Crowther.** Palaeobiology II. Blackwell Publishing, Berlin, Germany.
- Carroll RL. 1987.** Vertebrate Paleontology and Evolution. Freeman and Company, New York, United States of America.
- Green RE, J Krause, AW Briggs, T Maricic, U Stenzel, M Kircher, et al. 2010.** A draft sequence of the Neanderthal genome. *Science* 328(5979): 710-722.
- Martínez C, C Jaramillo, A Correa-Metrío, W Crepet, JE Moreno, A Aliaga, F Moreno, M Ibañez-Mejía, MB Bush 2020.** Neogene precipitation, vegetation, and elevation history of the Central Andean Plateau. *Sci. Adv.* 6: eaaz4724.
- Muizon C De, HG McDonald. 1995.** An aquatic sloth from the Pliocene of Peru. *Nature* 375: 224–227.
- Nichols G. 2009.** Sedimentology and Stratigraphy. Wiley & Blackwell, United Kingdom.
- Petrulevičius JF, A Nel, D De Franceschi, G Goillot, P-O Antoine, R Salas-Gismondi, J Flynn. 2011.** First fossil blood sucking Psychodidae in South America: a scyoracine moth fly (Insecta: Diptera) in the middle Miocene Amazonian amber. *Insect Syst. Evol.* 42: 87-96.
- Salas R, T DeVries, M Urbina, A García, F Pujos, M Aguirre. 2004.** Los vertebrados de los humedales pleistocénicos de Aguada de Lomas y Sacaco (Arequipa, Perú): interpretaciones paleoecológicas. In Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos, pp. 529-532. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Salas-Gismondi R, P-O Antoine, P Baby, S Brusset, M Benammi, N Espurt, D De Franceschi, J Tejada, M Urbina. 2007.** Middle Miocene crocodiles from the Fitzcarrald Arch, Amazonian Peru. *Cuad. Museo Geom. Inst. Geol. Min. Esp.* 8: 355– 360.
- Salas-Gismondi R, JJ Flynn, P Baby, JV Tejada-Lara, FP Wesselingh, P-O Antoine. 2015.** A Miocene hyperdiverse crocodylian community reveals peculiar trophic dynamics in proto-Amazonian megawetlands. *Proc R Soc B* 282: 20142490.
- Salas-Gismondi R, D Ochoa, J Gamarra, F Pujos, D Foster, J Tejada. 2023.** Pliocene pre-GABI herbivorous mammals from Espinar, Peruvian Andean Plateau. *J. Vertebr. Paleontol.* e2237079 (17 pages).
- Simpson GG. 1980.** Splendid Isolation. The curious history of the South American mammals. Yale University Press.
- Simpson GG. 1983.** Fossils and the history of life. Scientific American Library Series.
- Shockey BJ, R Salas, R Quispe, A Flores, EJ Sargis, J Acosta, et al. 2006.** Discovery of Deseadan fossils in the upper Moquegua Formation (late Oligocene - ?early Miocene of southern Peru. *J. Vertebr. Paleontol.* 26: 205–208.
- Tar buck EJ, FK Lutgens. 2005.** Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Pearson Education S.A., Madrid, España.
- Welker F, MJ Collins, JA Thomas, M Wadsley, S Brace, E Capellini, ST Turvey, et al. 2015.** Ancient proteins resolve the evolutionary history of Darwin's South America ungulates. *Nature* 522: 81-84.
- Wells HG. 1895.** The Time Machine. 118 p.