CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 22 número 129 octubre - noviembre 2012
Ejemplar en la Argentina $29

EVOLUCIÓN HUMANA

- Cambio climático, insectos y bosques
- Caracoles invasores
- Daguerrotipos de próceres

CIENCIA HOY

¡Suscríbase al conocimiento!

Sea parte de nuestra comunidad de suscriptores y esté al tanto de los temas y las discusiones de la ciencia y la tecnología en la Argentina y el mundo.

Suscripciones

ARGENTINA: 6 números, **$ 170**
EXTRANJERO: 6 números, **US$ 40** + envío
Artículos digitalizados: **$15**

Costo de envío

Países limítrofes de la Argentina: **US$ 33**
Resto de América: **US$ 54**
Resto del mundo: **US$ 60**
(American Express - Visa)

Cupón disponible en
http://www.cienciahoy.org.ar/suscripcion/

CIENCIA HOY
Av. Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Ciudad de Buenos Aires
Telefax (011) 4961-1824 y 4962-1330 / E-mail: pab@retina.ar

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de la revista puede reproducirse, por ningún método, sin autorización escrita de los editores, los que normalmente la concederán con liberalidad, en particular para propósitos sin fines de lucro, con la condición de citar la fuente.

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A
(C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330
Correo electrónico: *pab@retina.ar*
http://www.cienciahoy.org.ar

Editores responsables

Federico Coluccio Leskow
Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Omar Coso
Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias, UBA-Conicet

María Luz Endere
Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Alejandro Gangui
Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

Aníbal Gattone
UNSAM

José X Martini
Asociación Ciencia Hoy

Paulina E Nabel
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

Pablo Enrique Penchaszadeh
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

María Semmartin
Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Susana Villavicencio
Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, UBA

Lo expresado por autores, corresponsales y avisadores no necesariamente refleja el pensamiento del comité editorial, ni significa el respaldo de Ciencia Hoy *a opiniones o productos.*

Consejo científico

Coordinadora: Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), Jorge Crisci (FCNYM, UNLP), Roberto Fernández Prini (FCEYN, UBA), Stella Maris González Cappa (FMED, UBA), Francis Korn (Instituto y Universidad Di Tella), Juan A Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo Míguez (IEHS, UNCPBA), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), Marcelo Montserrat (Academia Nacional de Ciencias), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Jacques Parraud (UVT, INTA), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP), Eduardo H Rapoport (Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, UNLP)

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

Administración: Adelina Blanco

Representante en Bariloche
Edgardo Ángel Bisogni (Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche);
Av. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400)
San Carlos de Bariloche, Prov. de Río Negro

Representante en Mar del Plata
Raúl Fernández (Facultad de Ciencias de la Salud y Servicio Social, UNMDP)
Saavedra 3969 (7600) Mar del Plata,
Buenos Aires. Tel: (0223)474-7332
Correo electrónico: *raferna@mdp.edu.ar*

Corresponsal en Río de Janeiro
Revista Ciência Hoje
Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27,
CEP 22290-140, Río de Janeiro - RJ - Brasil
Teléfono: (55) 21-295-4846
Fax: (55) 21-541-5342
Correo electrónico: *cienciahoje@cienciahoje.org.br*

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $ 170
EXTRANJERO: 6 números, US$ 40 + envío

Artículos digitalizados: $15

Costo de envío
PAÍSES LIMÍTROFES DE LA ARGENTINA: US$ 33
RESTO DE AMÉRICA: US$ 54
RESTO DEL MUNDO: US$ 60
(American Express - Visa)

Distribución

En Ciudad de Buenos Aires y Gran Buenos Aires:
Rubbo SA
Río Limay 1600 (C1278ABH)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Teléfono: (011) 4303-6283/85

En el resto de la Argentina:
Distribuidora Interplazas SA
Pte. Luis Sáenz Peña 1836
(C1135ABN) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISSN 0327-1218
N° de Registro DNDA: 5025233

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Callao 132, E.P. (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4372-0117
Correo electrónico: *estudiomassolo@fibertel.com.ar*

Impresión
Latingráfica SRL
Rocamora 4161 (C1184ABC)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: **(a)** divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; **(b)** promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; **(c)** estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; **(d)** editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; **(e)** promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; **(f)** colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

COMISIÓN DIRECTIVA

Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

La revista Ciencia Hoy *se publica merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe –ni ha recibido en toda la historia de la revista– remuneración económica. Fundada en 1988.*

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Octubre -noviembre 2012
Volumen 22 - Número 129

CARTA DE LECTORES

6 **MINERÍA A CIELO ABIERTO**

EDITORIAL

4 **LOS CIENTÍFICOS Y LA DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA**

ARTÍCULO

7 **DE PLAGIOS Y FRAUDES**
Ivan Domingues

El plagio, el fraude y otras prácticas ilícitas en la ciencia preocupan a los investigadores y a las entidades oficiales. Se están debatiendo directrices y sanciones que apuntan a lo específico de cada disciplina, por ejemplo las humanidades y ciencias sociales o las matemáticas.

ARTÍCULO

13 **DESTINOS PÚBLICOS DE LOS DAGUERROTIPOS**
Laura Malosetti Costa

Con la invención del daguerrotipo en Francia, la fotografía comenzó una rápida difusión que en poco tiempo se extendió por todo el mundo. Llegó al Río de la Plata en 1840 a bordo de un buque francés, a Montevideo pero no a Buenos Aires. Entre los cambios que trajo se contó proporcionar imágenes 'verdaderas' de los próceres nacionales, que contrastan con las idealizadas pinturas ilustrativas de los relatos de construcción de las naciones modernas.

22 **ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS HUMANOS**
La historia de la divergencia de los primates
S Ivan Perez

En los últimos veinte años, los avances de la genética molecular, en especial la secuenciación completa del ADN de varias especies de homínidos, han complementado los conocimientos obtenidos del análisis morfológico de fósiles y permitido entender una parte importante de la historia evolutiva de la especie humana. El artículo analiza el desprendimiento o *divergencia* de los homínidos del tronco de los primates y el origen del género *Homo*.

ARTÍCULO

31 **LOS OCULTOS DEL INFIERNILLO**
Aldo I Vassallo y Federico Becerra

Estudios en realización por biólogos tanto de la Argentina como del Uruguay y del Brasil van descubriendo las tendencias evolutivas que llevaron a un amplio grupo de roedores del género *Ctenomys*, llamados coloquialmente tucu-tucos, a la vida subterránea. Los integrantes de una especie de ese grupo, *Ctenomys tuconax*, que los lugareños llaman 'ocultos', viven en praderas húmedas y laderas hasta unos 3000m sobre el nivel del mar en la cuesta del Infiernillo, cerca de Tafí del Valle.

39 **UN GIGANTE AFRICANO INVADE LA ARGENTINA**
Diego E Gutiérrez Gregoric, Verónica Núñez y Roberto E Vogler

El caracol terrestre conocido como gigante africano (*Achatina fulica*), oriundo del este del África, fue llevado del Brasil a Misiones y se está diseminando en el medio natural en el norte de esa provincia. Por su carácter invasor se lo cuenta entre las plagas más importantes del mundo, con potenciales efectos negativos sobre la salud, la economía y la biodiversidad. ¿Cómo es y qué conviene hacer?

ARTÍCULO

45 **CAMBIO CLIMÁTICO E INSECTOS HERBÍVOROS**
Lucas A Garibaldi y Juan Paritsis

Los insectos herbívoros o fitófagos constituyen componentes esenciales de los ecosistemas terrestres, son importantes para la biodiversidad y tienen destacadas funciones en el ciclo y estado sanitario de los cultivos. Tanto su abundancia como su actividad varían marcadamente en el espacio y en el tiempo en función de diversos factores entre los que sobresale la temperatura media ambiental. ¿Tiene influencia sobre ellos el cambio climático global?

CIENCIA EN EL AULA

58 **UNA NARRACIÓN EN EL AULA: LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS**
Gabriel Gellon

Un recurso pedagógico valioso para enseñar ciencias en el nivel secundario de enseñanza es enlazar en una narración las características de un problema científico y las alternativas que condujeron a su solución. Con el ejemplo de la extinción de los dinosaurios, el autor procura mostrar a los docentes una manera de hacerlo y el abanico de posibilidades que permite esta forma de trabajar en el aula.

CIENCIA Y SOCIEDAD

61 **EL ALMÍBAR Y LOS CAPRICHOS DE LA CRISTALIZACIÓN**
Mariana Koppmann

Preparar la mezcla de azúcar y agua que llamamos almíbar, lograr que tenga la concentración y consistencia deseadas y conseguir que no aparezcan trastornos como la formación de cristales de azúcar son tareas que tienen algunas complejidades explicadas por la química.

Los científicos y la divulgación de la ciencia

En uno de sus números recientes, la revista estadounidense *Science* dedicó su página editorial a difundir la importancia de que los propios investigadores comuniquen regularmente al público el conocimiento que construye la ciencia (Alan I. Leshner, 'Capably Communicating Science', 337: 777, 17 de agosto de 2012). El argumento central del escrito es la necesidad de que los académicos 'realicen un mejor trabajo en comunicar tanto el sentido como el alcance de su labor', entre otras razones porque la falta o deficiencia de esa comunicación 'afecta la capacidad de la gente de apreciar y usar a pleno los productos de la ciencia', y ha llevado a que 'los políticos, los periodistas y el público en general malinterpreten, tergiversen o dejen de lado' el conocimiento científico necesario para comprender determinados asuntos y tomar decisiones de política pública en la materia.

Science es una *revista científica* (y una de las más influyentes y respetadas del mundo), es decir, tiene por propósito difundir el nuevo conocimiento entre los propios científicos. Por ello, igual que su semejante *Nature* e infinidad de otras revistas científicas, está escrita en un lenguaje técnico que pone a la mayoría de sus artículos fuera de la comprensión de 'los políticos, los periodistas y el público en general', para usar la expresión del citado editorial. De ahí la necesidad de una comunicación sistemática específica dirigida al 'público en general'.

Los conceptos 'comunicación de la ciencia al público' y 'comprensión pública de la ciencia', que hemos usado como traducción literal del inglés, suelen expresarse en castellano por la fórmula menos precisa *divulgación de la ciencia*. Por ser la denominación consagrada, la usamos habitualmente en Ciencia Hoy y la pusimos en el título de esta página, pero le damos el significado específico que tienen las expresiones empleadas por *Science*.

El editorial comentado nos toca de cerca, porque nuestra revista fue fundada hace veinticinco años con el propósito de ser un vehículo del tipo de comunicación al público que ese texto defiende. Nacimos animados por los mismos motivos y concebimos nuestra acción editorial en términos semejantes a los que promueve el editorialista norteamericano: que los propios investigadores divulguen su ciencia. No nos hemos apartado de esa línea, sobre la que creemos haber aprendido algo. Ciencia Hoy, lo mismo que *Scientific American* o *La Recherche*, es una *revista de divulgación* y, como tal, tiene la misión de promover y mejorar la calidad de la divulgación de la ciencia en nuestro medio.

La divulgación de la ciencia enfrenta varios obstáculos. Para empezar, es una tarea difícil, porque no solo incluye hacer comprender un cierto número de contenidos básicos de la disciplina de que se trate –aquellos que en un contexto escolar se recogen de los manuales y por ello pueden explicar, entre otros, buenos profesores del secundario o periodistas especializados–, sino, sobre todo, transmitir, como dice el editorialista de *Science*, 'el sentido y el alcance' de la labor científica, más la ciencia nueva, que aún no llegó a los manuales, algo que solo pueden hacer los investigadores activos, los que producen esa ciencia nueva. Esos son los autores que publica Ciencia Hoy, lo mismo que las otras revistas de divulgación mencionadas.

No solo es difícil la divulgación para quien la produce: también lo es para quien la consume, porque entender siquiera un poco de disciplinas que no se domina exige concentración y esfuerzo. En esto se advierte una diferencia sustancial entre la divulgación y el *periodismo científico*, que en los últimos tiempos ha florecido y alcanzado muy buena calidad en nuestro medio. Este informa sobre la ciencia y crea conciencia sobre su importancia, mientras que la divulgación la explica. No son actividades que se oponen sino que se complementan. El periodismo tiene la capacidad de alcanzar audiencias mucho más amplias que la divulgación científica, a la que constituye un excelente camino de entrada.

Producir divulgación encuentra también una dificultad de índole técnica. En sus largos años de formación

universitaria los científicos no fueron entrenados en el oficio de divulgar, ni lo adquirieron necesariamente en la práctica profesional de la investigación. Saben comunicarse en lenguaje altamente técnico con sus colegas de disciplina. En algunas ramas del conocimiento, esa comunicación se realiza en forma exclusiva –o por lo menos principal– en lenguaje matemático avanzado, lo que hace extremadamente difícil ponerla al alcance de quienes no dominen la matemática necesaria, y marca límites a lo que se puede divulgar. Pero aun en las humanidades y las ciencias sociales, que rara vez usan matemática, el lenguaje académico suele incluir abundante jerga poco comprensible para el lego. Por ello los científicos necesitan aprender a manejar el lenguaje de la divulgación, lo que les requiere tiempo y esfuerzo.

Otro obstáculo es que las instituciones del sistema científico no se suelen distinguir por una tradición de estímulo a la divulgación. Fueron diseñadas para promover la producción de ciencia y para darla a conocer en las revistas científicas (o, en tiempos recientes, patentarla si es conocimiento tecnológico): sus integrantes reciben honores, ascensos en la jerarquía institucional, premios y mejoras salariales por esa producción, y escasamente por su divulgación. Es cierto que, incluso en instituciones argentinas como el Conicet, se comienza a apreciar un cambio de actitud, del que el artículo de *Science* es buena muestra.

Pero la divulgación realizada por científicos también enfrenta factores favorables. El más importante es su credibilidad. En la mayoría de los casos, el público tiende a interpretar que los académicos no se mueven por intereses, como piensa que principalmente lo hacen los gobiernos, los políticos, las empresas y los medios. Por eso confía en lo que le llega de fuentes académicas. Diversos estudios de opinión realizados en muchos países han llegado a esa conclusión, por ejemplo uno emprendido por investigadores de la Universidad de Queensland, en Australia (Laurie Buys *et al.*, 'Perceptions of climate change and trust in information providers in rural Australia', *Public Understanding of Science*, 24 de julio de 2012), que interrogaron a residentes de dos áreas rurales en ese país y encontraron que confiaban más en la información sobre cambio climático que les llegaba de investigadores científicos que en aquella emitida por políticos u organismos públicos.

Esta es una ventaja muy valiosa, que debe preservarse con el mayor cuidado, entre otras maneras, asegurando a rajatabla que la divulgación científica no se contamine con opiniones interesadas, sean de motivación económica o política. Muchos de los temas en los que subyace ciencia que necesita divulgarse son objeto de intensos debates políticos: pensemos en cuestiones como la contaminación ambiental por minería, industrias o explotaciones agropecuarias, el mencionado cambio climático, la modificación genética de plantas o animales destinados a alimento, el uso terapéutico de nuevas drogas, la medicina no convencional o la reproducción humana asistida. El público confía en lo que le explican los científicos si percibe que estos no se mueven por intereses o enarbolan banderas políticas, y descarta sus explicaciones, incluida la ciencia legítima que pudiesen contener, si advierte lo contrario.

Los ejemplos del párrafo anterior son una buena muestra de temas sobre los que puede ser necesario legislar o establecer políticas públicas, lo que necesariamente requiere apoyarse en buena ciencia cuya índole, sentido y alcances puedan comprender los encargados de sancionar esa legislación o definir dichas políticas. Y el único camino razonable que conocemos para alcanzar esa comprensión es divulgar la ciencia en los términos que venimos comentando. A medida que la tecnología y las aplicaciones de la ciencia van ocupando posiciones cada vez más prominentes en las sociedades modernas, se incrementa la importancia de la divulgación. Tengamos esto presente y actuemos en consecuencia. CH

Cartas de lectores

Minería a cielo abierto

El número 128 de Ciencia Hoy me ha desilusionado profundamente. El tema de la minería a cielo abierto es de enorme actualidad y genera fuertes disputas. Por eso la ilustración de la tapa me despertó gran expectativa sobre la posibilidad de escuchar –por fin– una voz confiable. Esa esperanza fue reforzada por el excelente editorial. Pero luego vino la decepción: el único artículo sobre el tema, cuyo autor es Raúl R Fernández, de la Universidad Nacional de La Plata, no dice una palabra sobre los aspectos polémicos de la actividad. Es solo una descripción general de la minería –por lo demás, bastante superficial–. Elude toda mención de sus consecuencias ecológicas y sociales, así como sus aspectos económicos. Además de la gran foto de la tapa, hubiese sido deseable que la revista incluyera una discusión seria sobre esas cuestiones controvertidas para que el lector pueda sacar conclusiones propias y se haga más luz sobre el delicado asunto de si la minería a cielo abierto es conveniente para el país.

Tomás Buch
San Carlos de Bariloche

Tiene razón el lector en que el artículo 'Minería a cielo abierto' (Ciencia Hoy, 22, 128: 6-13) es solo una descripción general de esa actividad, aunque posiblemente quedaría mejor calificado de introductorio que de superficial. Los editores coincidimos en la deseabilidad de analizar las consecuencias y los condicionamientos ambientales, sociales y económicos de la minería, a los que cabría agregar otros de índole legal y política. Nuestra intención había sido publicar por lo menos un segundo artículo dedicado a presentar esas cuestiones –propósito que aún puede cumplirse en una futura entrega–, pero para el número 128, a pesar de haber puesto empeño en la búsqueda, no encontramos en el medio académico autores que escribiesen esas notas adicionales. Téngase presente que Ciencia Hoy está escrita por investigadores que hayan trabajado en cada tema y puedan en consecuencia presentarlo con autoridad. Tal vez la publicación de esta carta estimule la presentación de artículos con los análisis que reclama Tomás Buch.

Ivan Domingues
Departamento de Filosofía,
Universidad Federal de Minas Gerais

De plagios y fraudes

En los últimos tiempos, el Colegio de Abogados de Brasil (OAB, su sigla en portugués), la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (Capes, su sigla en portugués) y el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq, su sigla en portugués) se han ocupado del tema del plagio y del fraude en las ciencias, que preocupa realmente a la comunidad académica, y justifica por ello una reevaluación. Los dos delitos son diferentes, a pesar de compartir más de un punto en común, y su adecuado abordaje conceptual debe estar atento tanto a los contextos como a las especificidades de cada área.

En este caso se abordará el tema desde la perspectiva de las humanidades, con excepción de las artes, dada su especificidad. A fin de proveer una base comparativa, se citarán algunos casos emblemáticos que ocurrieron en las ciencias naturales. Y en el final, se abordarán otros casos de distorsiones preocupantes, como la repetición de artículos y el 'recorte' de la producción. Se dejará de lado, por falta de espacio y por su naturaleza diferente, la cuestión del conflicto de interés, así como también la práctica de esconder resultados negativos de las investigaciones o la falta de transparencia, muy común en el área médica y que tiene también incidencia en las ciencias humanas y sociales.

Aunque en principio pueda extenderse a tiempos remotos y pueda dar lugar a cuestionamientos y verificaciones, el tema del plagio y del fraude en la ciencia, más allá de la carga moral de la que viene siempre acompañada, recién empezó a ser tratado como un asunto legal o jurídico en la época moderna, en especial a partir del siglo XIX, cuando se le dio vía libre a una serie de requerimientos policiales y sanciones económicas. El elemento jurídico que circunscribe esta temática y disciplina las sanciones es el derecho de la propiedad intelectual, que surgió en la época de la Revolución Francesa.

De acuerdo con los historiadores de las ciencias, el fraude más famoso de todos los tiempos, desenmascarado en los años 50, fue el 'hombre de Piltdown', el supuesto

¿DE QUÉ SE TRATA?

El tema del plagio, el fraude y otras prácticas ilícitas en los medios científicos preocupa a la comunidad académica y a las entidades que prestan apoyo a la investigación. Esta preocupación va más allá del plagio o del fraude, dado que abarca también otras acciones reprobables de la misma índole. Sería aconsejable que las instituciones del sector definieran líneas directrices y sanciones para controlar el problema, cuidando que sean adecuadas a las diferentes disciplinas.

descubrimiento del 'eslabón perdido' de la evolución humana, llevado a cabo por Charles Dawson (1864-1916) en 1912, cerca de Piltdown, en el sur de Inglaterra. El esqueleto que presentó (bautizado como *Eoanthropus dawsonii*) parecía dar la clave de la familia de los homínidos: tenía el cráneo del hombre moderno, la mandíbula de un mono y dientes atípicos. Parecía un hallazgo extraordinario y consiguió gran credibilidad en la época, pero todo era falso. El esqueleto era un ensamble y el autor era un mero falsificador, lo que se hizo evidente cuarenta años después. A esa altura Dawson estaba muerto y apenas se dañó su reputación; su retrato desapareció de los museos de historia natural.

Otro fraude famoso, en este caso en el campo de la física, fue el del alemán Jan Hendrik Schön, investigador del Laboratorio Bell, conocido por haber publicado en 2001 en la revista científica *Nature* un artículo revolucionario sobre un transistor hecho con moléculas orgánicas, con aplicaciones extraordinarias en microelectrónica y medicina. Más tarde se descubrió que los datos habían sido falsificados y que todo lo que había publicado antes era falso. El autor fue despedido de Bell en 2002 y su título de doctor fue anulado por la Universidad de Konstanz (Alemania) en 2004.

Estos tipos de fraude son sumamente graves y todos concuerdan en que el falsificador debe ser duramente castigado. Además de los fraudes, hay otros tipos de delitos, como el plagio, que a su vez también varía y cuyos ejemplos más notorios se comentarán más adelante. Por ahora, basta mencionar algunos ejemplos como la copia de artículos, tesis y disertaciones. La palabra *fraude* viene del término latino *fraus*, *fraudis*, que significa daño hecho a alguien, que involucra la astucia o farsa, quien lo practica saca provecho y resulta en un engaño o perjuicio para quien es objeto o víctima del mismo. Los romanos acuñaron los términos *plagiato* y *plagiarum* –cuyo sentido original es 'aquel que roba esclavos o vende a una persona libre como esclavo'–, que dieron origen al *plagio*, es decir, robo literario o científico, y cuyo significado se aproxima al de *compilare*, que significa que alguien 'pesca' algo y se presenta como autor de la obra ajena. Por lo tanto, el plagio y el fraude son acciones diferentes, que tienen en común la intención de engañar a alguien o la mala fe, además de querer sacar algún provecho personal.

Diferentes fraudes

Existe más de un tipo de fraude. Uno de ellos, como en el caso de Dawson y su 'eslabón perdido', es la fabricación de una pieza para comprobar un hallazgo. Otro es la fabricación o el arreglo de datos, más común en otros campos del conocimiento y de la acción humana. Los ejemplos en el área de las ciencias biológicas y de la salud abarcan desde la alteración de resultados en investigaciones para favorecer al fabricante de un producto bajo sospecha (medicamentos, por ejemplo), hasta la invención de datos o evidencias para salvar la carrera de alguien o confirmar una tesis y respaldar una línea argumental.

Un ejemplo excelente es el caso de Marc Hauser, famoso biólogo de Harvard, que hoy se encuentra en cuarentena, a la espera de los resultados de la investigación de un comité, después de haber sido acusado de falsificar datos sobre el comportamiento de los primates. En el campo de las relaciones humanas, el arreglo de datos en economía es utilizado por gobiernos y especuladores con el objeto de sacar algún provecho. En el derecho y en otras áreas, existen cada vez más casos que involucran la adulteración de documentos.

Tal como sucede en otros campos, seguramente también habrá arreglo de documentos e invención de datos en diferentes áreas de las humanidades. Sin embargo, es más difícil encontrar casos espectaculares, como los de la física, la medicina y la biología. Las ciencias humanas y sociales son ante todo ciencias interpretativas y es difícil que el dato en bruto, fraguado o no, salga a la luz. Como resultado, en estas ciencias no es tanto la falsificación de datos lo que escandaliza, aunque ocurra y sea condenado, sino el plagio y otras prácticas, tales como el embuste (o adulteración), como bien lo mostró el físico Alan Sokal, que logró publicar en 1996 un artículo deliberadamente fraguado en la revista académica *Social Text*, que no tenía revisión por parte de especialistas. El caso se hizo conocido como *Sokal Hoax*, algo así como el 'embuste', la 'parodia' o 'el cuento del tío' de Sokal.

Sin embargo, existen dos ejemplos de fraude en el terreno de las humanidades que dan mucho que pensar. Uno proviene del filósofo Michel de Montaigne (1533-1592), que había fraguado un verso, cuya autoría atribuyó a un indígena brasileño. El otro fue un ruidoso episodio que viene de la antropología; involucró enfermedades, epidemias y vacunas (sarampión), además de la falsificación de datos, y tuvo como protagonistas a un antropólogo norteamericano, Napoleon Chagnon, y a la tribu de los yanomamis.

Los *Ensayos* de Montaigne, en la parte dedicada a los caníbales (libro 1, capítulo 31), hay una estrofa que, según el filósofo, fue compuesta por un salvaje del Nuevo Mundo, y que nada le debe a los mejores poetas griegos y latinos: 'Cobra, permanece erguida, permanece erguida, ¡oh! Cobra, para que mi hermana copie del modelo de tu estampa, tu estilo y entramado para un rico cinturón que pueda entregar a mi amada; para que tu belleza y tu estampa siempre sean las preferidas entre todas las serpientes'. El refinamiento de la canción amorosa, las metáforas y la comparación de la estampa de la cobra como adorno femenino sugieren que el indígena estaba lejos de ser un bárbaro, como reconocía el filósofo. Sin embargo, los estudiosos no tardaron en darse cuenta de que los versos no eran del caníbal, sino de Montaigne, que lo atribuyó a los nativos de las Américas: por lo tanto, una especie de fraude.

THE ILLUSTRATED LONDON NEWS.

Portada de *The Illustrated London News* de diciembre de 1912, donde se presenta una reconstrucción artística del hombre de Piltdown.

Pero eso no es todo. Cerca de cuatrocientos años después, en Brasil Wally Salomão compuso un poema en el que es imposible no ver, ya no un nuevo fraude, sino el plagio de la canción indígena: 'Deja de ensortijarte, ahora, víbora coral: para que pueda copiar tus colores, para que pueda hacer un collar para la mujer amada, para que tu belleza, tu languidez, tu elegancia, reinen por sobre todas las otras víboras'. El poema, publicado en el libro *Tarifa de embarque* (2000), fue musicalizado por Caetano Veloso, sin saber que era de Montaigne. El tema *Cobra coral* tiene que ver con los dos bahianos, sin embargo en su origen podemos ver la mano y la mente del filósofo francés.

El caso Chagnon involucra al antropólogo que, junto con James Neel, genetista también norteamericano, convivió con los yanomamis en la Amazonia y, en 1968, publicó el libro (con gran éxito) *Yanomamo: the fierce people*, que los describe como un 'pueblo feroz' y 'muestra' las evidencias. En 2000, el periodista norteamericano Patrick Tierney publicó *Darkness in Eldorado*, libro impactante en el cual, entre otras cosas, acusa al antropólogo de haber entregado armas y fomentado los conflictos para comprobar su hipótesis de que eran un pueblo belicoso. En 2009, el cineasta brasileño José Padilha también realizó el documental *Secrets of the tribe* sobre este caso.

Años antes del documental, la Asociación Americana de Antropología abrió una investigación contra Chagnon y recogió parte de las denuncias, excepto la acusación de que habría esparcido la epidemia de sarampión que prácticamente diezmó a la tribu. Finalmente, los aspectos éticos, o mejor dicho bioéticos, del caso fueron analizados por la antropóloga brasileña Débora Diniz, en el artículo aparecido en la revista *Bioética* (2007), en el cual habla de las distorsiones de los datos etnográficos del trabajo de Chagnon y condena su proceder ética y científicamente. Sin embargo, no es esta la opinión en los Estados Unidos: además de ser profesor emérito en la Universidad de California en Santa Bárbara, el antropólogo es considerado en el país como una autoridad en el estudio de esa tribu. Como contrapartida, fue y sigue siendo repudiado por los antropólogos brasileños y es considerado *persona non grata* por los yanomamis.

La cuestión del plagio

En el caso del plagio, presente en todas las áreas del conocimiento y en los diversos segmentos de la cultura, cabe destacar por lo menos dos tipos diferentes de gravedad. Una es el plagio de un texto, como por ejemplo la copia de disertaciones y tesis, que hoy en día se facilita por el uso de internet y que se considera un delito gravísimo. El otro es el plagio de una idea, cosa muy común y más difícil de comprobar. En el campo de la salud y la biología, es conocido el caso del jordano Elias Alsabti, que publicó más de sesenta artículos pirateados durante la época en que hizo su doctorado en cáncer en la Universidad de Boston, en los años 60.

En el campo de las ciencias humanas y sociales, un ejemplo reciente de plagio de un texto, de graves implicancias, sucedió en la Escuela de Economía de Londres (London School of Economics), prestigiosa facultad inglesa. Saif al-Islam, hijo del entonces presidente de Libia, Muammar Kadafi, defendió su tesis doctoral que contenía varios fragmentos plagiados, sin embargo la dirección de la escuela se resistió a tomar medidas. Luego se comprobó que la resistencia se debía a las grandes donaciones que la Escuela de Londres recibía del coronel-dictador, ya que estaba aliada a los intereses particulares del director y del consultor, contratados para realizar consultorías para el gobierno libio. Después de la guerra contra Libia, la tesis fue denunciada y se encuentra bajo investigación, y el director fue despedido.

En cuanto al plagio de ideas, es necesario considerar que los individuos, hasta el siglo XIX, parafraseaban mucho y citaban poco. Esa situación cambió después del surgimiento del 'derecho de autor', cuando la misma paráfrasis pasó a ser considerada un disfraz en el robo de ideas. Es por eso que el plagio de ideas –más camuflado– puede ser algo controvertido, además de llevar a condenas injustas. Es

bien conocida la polémica que involucró a Isaac Newton (1643-1727) y a Robert Hooke (1635-1703) en torno al descubrimiento de la gravedad, pero ¿quién puede negar que el talento matemático del primero lo colocaba en un camino mucho más avanzado que al segundo? En cuanto a la proposición *cogito ergo sum* (pienso, luego existo) de René Descartes (1596-1650), los antecedentes del argumento fueron formulados antes por San Agustín (354-430) en *De la Trinidad* (existo, dudo, pienso), sin embargo la economía y el objetivo del argumento de ambos eran diferentes, lo que aleja la acusación de plagio.

Estos contraejemplos no deben dejarnos tranquilos: en última instancia, el plagio de ideas debe combatirse y exige una vigilancia constante. El sentimiento moral que acompaña en estos casos es el de repudio y no debe sorprender que la comunidad académica, de tanto en tanto, se muestre indignada y forzada a verse expuesta a acusaciones de esta naturaleza. Eso es lo que demuestran los episodios recientes ocurridos en la Universidad de San Pablo, que involucraron a una ex rectora y a un grupo de investigadores de la Facultad de Odontología y Farmacia de Ribeirão Preto, y que terminó con el despido de un profesor, después de un largo y ruidoso proceso.

Sanciones y especificidades

Además del fraude, del plagio y del llamado autoplagio, las preocupaciones del CNPq incluyen otras prácticas tales como el fraccionamiento de la producción, la multiplicación de autores y el intercambio de citas ('yo te cito, vos me citás'). No todas estas alcanzan a las humanidades por igual, y eso se debe a más de un motivo. Esta área, por ejemplo, no es amiga de la multiplicación de autores, y tiene una fuerte tradición autoral, que viene de las artes y la reverencia ante el genio solitario. En cuanto a los 'arreglos' e 'intercambios', estos ciertamente existen, e incluyen lealtades institucionales de individuos y grupos, pero no es especialmente preocupante.

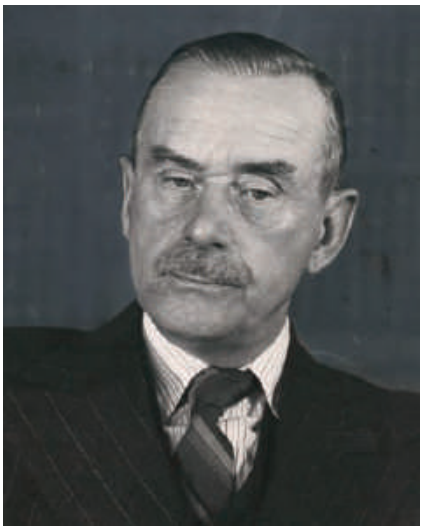
El fraccionamiento de la producción y el retraso en las publicaciones, que generan una situación dañina para el rumbo de la investigación, ya son una realidad, aunque de modo incipiente o al menos en menor escala que en las ciencias biológicas y exactas, y están asociadas al fenómeno opuesto, es decir al apuro en la publicación, esa sí muy común, en especial entre investigadores principiantes, que no pueden perder tiempo. A eso se suma el refrito y la repetición de publicaciones, que parecen relacionados al autoplagio (término poco adecuado, ya que el plagio es robo y no tiene sentido robarse a sí mismo, como sugiere el 'autoplagio'). Esta práctica, bastante difundida, no es menos deleznable y exige combatirla rápidamente.

Sin embargo, antes de calificar los delitos y proponer sanciones, es necesario examinar lo que está en juego. Al tipificar las infracciones, grandes o pequeñas, se ha mencionado el fraude y el plagio, demostrando que son diferentes: uno está relacionado a la mala fe (falsificación o engaño) y el otro al robo. Tanto demorar como apurar la producción, el refrito y la repetición, la multiplicación de autores y el arreglo de citas, a mi entender, no entran dentro de esas categorías: no son robo (plagio), ni mala fe en el sentido de astucia o farsa en busca de sacar algún provecho.

Se podría decir que el fraccionamiento, la inflación de autores y el arreglo de citas son instancias de engaño, pero no sucede lo mismo con el apuro, la repetición o el refrito. En todas estas acciones, no siempre el daño y la responsabilidad pueden individualizarse, así como la reparación o la sanción, y ese punto es decisivo, si no para la moral, al menos para el derecho. En estos casos, cada uno de nosotros se ve engañado y burlado, pero no por mala fe o un hecho deliberado y exclusivo de un individuo, sino

Christopher Marlowe

Johann von Goethe



Thomas Mann

debido a las distorsiones que se generan en un sistema cada vez más *taylorista* (en el sentido de 'producir más en menos tiempo'). Por lo tanto, se trata de una distorsión del sistema y de un engaño generalizado, y no debido a robo o mala fe.

Cuando se trata de la producción e investigación en las humanidades, es importante considerar, antes de decidir si algo es fraude o plagio, que estas ciencias son de naturaleza esencialmente interpretativa y dialéctica, que se caracterizan por retomar incesantemente las ideas y su reconfiguración en otros contextos y líneas argumentativas. Este punto decisivo fue aludido antes en el ejemplo de Descartes y San Agustín. El hecho de verificar el uso de la misma idea o del mismo argumento en un autor y en otro que lo sucedió no nos autoriza a decir que una producción es original y la otra copia, es decir, plagio.

La historia de la literatura abunda en estos ejemplos. Existen tres *Fausto* –del inglés Christopher Marlowe (1564-1593) y de dos alemanes, Johann von Goethe (1749-1832) y Thomas Mann (1875-1955)– y el mismo Goethe creó dos versiones. ¿Cómo podemos suponer que Goethe o Mann actuaron de mala fe? En filosofía, está el caso de Descartes y de sus predecesores. Quien se tome el trabajo, podrá verificar que hay pasajes de ese filósofo tomados de Charron y pasajes de Charron tomados de Montaigne. ¿Sería robo de robo o mala fe elevada al cuadrado? ¿O se trata más bien de compartir, de ideas comunes y de reconocimiento de una herencia o de cierta influencia? Las humanidades están plagadas de estos casos.

Cabe preguntarse, volviendo al fraude, al plagio y a las otras prácticas distorsivas: ¿cómo se entiende que ocurran con tanta frecuencia y por qué siguen sucediendo a pesar de ser combatidas por todos lados? Según los estudiosos del tema, una explicación de orden psicológico es el vedetismo o a la búsqueda de notoriedad a cualquier costo. Asociado a esto –agrego yo–, está la vanidad, una especie de psicopatología que sufre el medio académico e intelectual. Otra explicación, de orden estructural y sistémico, es la presión que ejerce la carrera académica para hacer nuevos descubrimientos y más publicaciones ('publique o muera'). En paralelo, se encuentra el hecho de que la actividad intelectual se transformó en un negocio que mueve mucho dinero y que precisa constantemente nuevos productos. El resultado de esto es el fin del estereotipo del científico distraído y soñador; en su lugar, aparece el emprendedor exitoso y ocupado con sus negocios de investigación, como Craig Venter.

El problema es que la actividad que implica la investigación es, en gran parte, gris, rutinaria, sujeta a errores y puede fracasar, sin llevar a ningún lugar, mientras que la invención y la novedad son algo raro, y los grandes descubrimientos capaces de revolucionar un campo del conocimiento son más raros todavía. De ahí viene la tentación, el plagio y el fraude, el fraccionamiento de la producción de algunos y el apuro de otros, las falsas coautorías 'invitadas' e impuestas, así como también el arreglo de citas. De ahí también la necesidad de vigilancia constante y de normas escritas para proteger la ciencia y combatir los delitos.

Lo expresado hasta ahora basta para establecer que las agencias que prestan apoyo a la investigación y las instituciones académicas deberían establecer una serie de directrices y sanciones, adecuadas a las prácticas y especificidades internas de cada área. De este modo, hechos gravísimos como fraguar datos y plagiar textos, una vez detectados, deben llevar a apartar al investigador del sistema. Las infracciones menores, tales como ciertos tipos de plagio de ideas, muchas veces ambiguos y difíciles de comprobar, podrían conducir a una advertencia, si se comprobara la intención de engañar. Otros delitos podrían acarrear sanciones más fuertes o con mayor carga simbólica, incluso sanciones financieras. Pero las sanciones no bastan y no todo tiene que pasar por penalidades o medidas netamente negativas. Hay que establecer una serie de medidas positivas que corrijan las distorsiones del sistema e impidan el taylorismo, que favorezcan la calidad de las publicaciones y que impidan que el ciclo de producción sea medido por el año calendario y solo se tome un año como referencia. CH

Traducido y adaptado de Ciência Hoje, *vol. 49, Nº 289, enero-febrero de 2012, pp. 36-41.*

El artículo original se basó en un documento presentado al Área de Ciencias Agrarias, Biológicas y Salud del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil (CNPq). Fue parte de un trabajo colectivo por el cual esta institución publicó normas disciplinarias con el título de Ética e integridad en la práctica científica.

Ivan Domingues

Doctor en filosofía, Universidad de París (Sorbona).
Profesor titular de la Universidad Federal de Minas Gerais.
Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones del Brasil (CNPq).

LECTURAS SUGERIDAS

ASOCIACIÓN MÉDICA MUNDIAL, 2000, *Declaración de Helsinki VI* (disponible en varias páginas de internet).

CASTELFRANCHI Y, 2006, 'Ciência, mentiras e vídeotape', *ComCiência. Revista Electrónica de Periodismo Científico* (SBPC/Labjor), 10 de noviembre.

DINIZ D, 2007, 'Avaliação ética em pesquisa social: o caso do sangue Yanomami', *Bioética*, vol. 15, Nº 2, p. 284.

NATIONAL COMISSION FOR THE PROTECTION OF HUMAN SUBJECTS OF BIOMEDICAL AND BEHAVIORAL RESEARCH, 1978, *Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects*, Government Printing Office, Washington.

Daguerrotipo de José de San Martín (1778-1850) tomado en París en 1848, dos años antes de su muerte, por un fotógrafo anónimo que pudo haber sido el conde Olympe Aguado, del que San Martín fue tutor. 12 x 10cm. MHN.

Laura Malosetti Costa
Universidad Nacional de San Martín

Destinos públicos de los daguerrotipos

Es difícil hoy medir las repercusiones que tuvieron la invención de la fotografía a fines de la tercera década del siglo XIX y su difusión por el mundo en la década siguiente. La pintura al óleo alcanzaba por entonces niveles de refinamiento inéditos en la creación de efectos lumínicos, teatrales y dramáticos: mediante el uso del color, la perspectiva y el claroscuro producía una extraordinaria y conmovedora sensación de realidad. Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851), que entró en la historia como el inventor del daguerrotipo, fue uno de los pintores que exploraban nuevas técnicas para crear no solo pinturas de caballete sino también escenografías para el teatro y la ópera, *dioramas*, *panoramas* y otras representaciones.

Daguerre, en otras palabras, producía dispositivos diversos para crear en el espectador la perfecta ilusión de sentirse inmerso en una escena de batalla o en un jardín. Lo hacía mediante pinturas dispuestas en círculo a su alrededor en una habitación oscura (en el caso de los panoramas de rotonda), o mediante pantallas transparentes y la combinación de pintura y objetos tridimensionales (en el caso de los dioramas). En uno de sus escritos sobre fotografía, Walter Benjamin dice que Daguerre dio a conocer su invento poco después de que se incendiara su estudio de panoramas.

Hacía mucho tiempo que los pintores utilizaban métodos mecánicos para lograr efectos de parecido cada vez más precisos: la *cámara oscura* había sido empleada por pintores del Renacimiento, tanto en Flandes como en los centros artísticos italianos –Leonardo dejó una famosa descripción de su funcionamiento–, y desde el siglo XVIII la *cámara clara* y el *fisionotrazo* permitían seguir los contornos de las sombras y proyectar las imágenes en un plano para dibujar sobre ellas. Esos métodos fueron utilizados por los pintores de género histórico, de escenas costumbristas, de bodegones, pero sobre todo por los retratistas.

La exigencia de semejanza, la permanente búsqueda por parte de los artistas de nuevos métodos para reproducir, e incluso mejorar idealizando un poco, los rasgos

¿DE QUÉ SE TRATA?

La invención del daguerrotipo tuvo lugar casi treinta años después de las guerras de emancipación de América. José de San Martín alcanzó a ser fotografiado en Francia en 1848, en su ancianidad. El Museo Histórico Nacional conserva uno de sus retratos fotográficos, un daguerrotipo que ha sido mucho menos difundido que una pintura anónima atribuida a la maestra de dibujo de su hija Mercedes.

del retratado, fue probablemente el motor principal que empujó y estimuló la invención de la fotografía. Giselle Freund sostuvo en su tesis doctoral –defendida en la Universidad de París y publicada en 1936– precisamente eso: el principal impulso hacia la invención de la fotografía fue la proliferación de los retratos que acompañó el ascenso de la burguesía.

El retrato no sería nunca más prerrogativa exclusiva de los reyes y miembros de la nobleza. Freund escribió: *Hacerse retratar fue uno de esos actos simbólicos por los cuales los individuos de la clase social ascendente hacían visible su ascensión a sí mismos y a los otros, y se clasificaban entre aquellos que disfrutaban de la consideración social. Por otra parte, esa evolución transformó la producción artesanal del retrato en una forma cada vez más mecánica de la reproducción de los rasgos humanos. El retrato fotográfico es el último grado de esta evolución.* Cuando se inventó la fotografía, el retrato era la ocupación principal de la mayoría de los pintores, y no solo en París, entonces el centro del mundo del arte, donde el prestigioso y tradicional Salón se encontraba inundado de retratos.

General Tomás Guido (1788-1866), que tomó parte de las campañas sanmartinianas en Chile y Perú, fotografiado en Buenos Aires en 1854, supuestamente por Carlos Enrique Pellegrini. 12 x 9cm. MHN.

En ese clima el pintor Daguerre inventó el dispositivo que lleva su nombre, con el auxilio de la química que logró hacer dejar a la luz una impronta duradera sobre una placa sensible. La historia de esa invención fue narrada una y otra vez, pero sigue estando confusa. Al parecer, ese procedimiento fotográfico se inventó simultáneamente en varios lugares por diferentes personas, entre ellos Nicéphore Niépce (1765-1833), William Henry Fox Talbot (1800-1877), Hercule Florence (1804-1879) e Hippolyte Bayard (1807-1887). Para la extraordinaria e inmediata difusión del daguerrotipo resultó decisiva la intervención del gobierno francés, tomada por iniciativa de François Arago (1786-1853), director del Observatorio de París y secretario de la Academia de Ciencias desde 1830. En 1839 el Estado compró la patente de Daguerre y la puso en el dominio público, como hizo con otros inventos.

Quizá ningún invento tuvo los efectos del daguerrotipo, que permitía capturar la naturaleza de modo mecánico en sus más mínimos detalles. Si bien al principio fue casi imposible tomar retratos, por lo prolongado del tiempo de exposición, casi enseguida ese inconveniente se superó y el rostro humano fue motivo casi excluyente de las tomas, en detrimento de los paisajes urbanos. El daguerrotipo hacía posible atesorar la propia imagen como se la veía en el espejo, con absoluta confianza en su fidelidad y sin recurrir a la mano experta de un pintor. La combinación de esos dos factores aceleró la revolución provocada por el invento. El mundo de las imágenes fotográficas –que poco después adquirió movimiento en el cine– comenzó una incontenible expansión, con una catarata de nuevos inventos que hicieron su producción cada vez más anónima y veloz, y su difusión cada vez más instantánea.

En ese proceso, sin embargo, la existencia del daguerrotipo fue efímera. Estuvo, para empezar, reservado a especialistas, era costoso, daba como resultado un ejemplar único irreproducible (salvo por otro daguerrotipo) y permaneció envuelto en el aura de la creación artística. Muy pronto fue sustituido por métodos más baratos y

sencillos, con placas negativas de vidrio que permitían hacer múltiples copias a bajo costo y que dieron lugar a la fotografía de estudio, artificiosa y especializada. Sobre el fin del siglo, la llegada de la cámara Kodak portátil hizo florecer el amateurismo y los clubes de fotografía. El negativo de celuloide en rollo sustituyó la placa de vidrio en la fotografía hogareña y puso en marcha la desaparición de las galerías de pose.

El daguerrotipo consistía en una placa de cobre bañada en plata bruñida como un espejo y sensibilizada con yodo; luego de expuesta, se revelaba con vapores de mercurio, los cuales se adherían a las zonas que habían recibido más luz y dejaban bruñidas aquellas menos iluminadas. La imagen resultante –según el ángulo desde el que se la mirara– resultaba positiva o negativa, con una alternancia de zonas brillantes y opacas. Los daguerrotipos se montaban en estuches cuidadosamente construidos, para que la imagen reflejara algo oscuro, como un paño negro, y se pudiera verla con claridad en positivo. Estas características de objeto único, precioso y caro, no reproducible en serie, ponían al daguerrotipo a medio camino entre la pintura y la fotografía.

El invento se difundió de forma inmediata tanto por Europa como por América y Australia. A partir de cartas y documentos y, sobre todo, por su repercusión en periódicos, los estudiosos de la fotografía en la Argentina, Uruguay y Brasil han reconstruido la llegada a esos países de la primera cámara de daguerrotipos, una de las primeras realizadas, firmada por Daguerre, su inventor, y por Alphonse Giroux (1775-1848), que la construyó. En enero de 1840 arribó a Río de Janeiro y, poco más tarde, a Montevideo, a bordo del buque francés *L'Oriental*, que daba la vuelta al mundo con un contingente de escolares, al mando del capitán Augustin Lucas.

Operaba la cámara el clérigo Louis Comte, según algunas fuentes capellán de a bordo y según otras, profesor de música. Para cumplir la tarea educativa, el capitán Lucas había obtenido ayuda del Ministerio de la Marina, la Academia de Ciencias, la Sociedad Geográfica de Francia y la *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* (Sociedad para el Fomento de la Industria Nacional). En la sede de esta en París, poco antes de zarpar la nave, Daguerre había dado una de las primeras conferencias sobre la técnica y los usos de su invento.

Además de tomar vistas de todos los puertos de escala, como había anunciado, el abate Comte hacía demostraciones públicas del daguerrotipo, como la que hizo en Montevideo en 1840, probablemente también con fin comercial. Comte permaneció en la capital uruguaya cuando la embarcación partió, y publicitó en la prensa sus actividades como profesor, así como la venta de cámaras de daguerrotipo. Al parecer, los productos de sus demostraciones quedaron a bordo del navío y naufragaron con este frente a Valparaíso pocos meses después. Por eso no se conservaron más que en el recuerdo de quienes presenciaron las tomas y resultaron fascinados con su resultado.

Lucas aparentemente llegó a Australia y Nueva Zelanda al mando de otro barco. En 1841 hizo allí las primeras imágenes daguerreanas y condujo sesiones de toma en forma de espectáculos públicos, como Comte había hecho en Río de Janeiro y Montevideo. También ofreció cámaras en venta.

El barco francés no recaló en Buenos Aires, pues Francia estaba en pleno conflicto con el gobierno de Juan Manuel de Rosas. Las noticias de las demostraciones de Comte en Montevideo llegaron a la banda occidental del Plata por la correspondencia y algunas publicaciones de varios exiliados, como Juan Bautista Alberdi, Florencio Varela y Mariquita Sánchez de Thompson. Estos no solo se hicieron tomar daguerrotipos, sino que escribieron a sus amigos y familiares en Buenos Aires comentando la impresión que les produjo el invento. El 4 de marzo de 1840 Varela publicó en *El Correo* de Montevideo un largo artículo con una descripción minuciosamente técnica del daguerrotipo. Una notable carta de Mariquita a su

Cámara para tomar daguerrotipos de 16 x 22cm, fabricada por Susse Frères, con lente de 382mm de distancia focal de la casa Charles Chevalier, 1839. Foto Nelson Ramírez de Arellano, Wikimedia Commons. La cámara se conserva en el Fotomuseum Westlicht, Viena. Daguerre acordó la producción de cámaras con esa firma y con Alphonse Giroux et Cie.; ambas usaban iguales lentes.

LOS DAGUERROTIPOS Y LA CIENCIA

Otra cuestión vinculada con los daguerrotipos que seguramente interesará a los lectores de Ciencia Hoy —y que cae fuera del tema de este artículo— es su relación con la ciencia. Advertir el crucial cometido del físico y astrónomo Arago en la difusión del invento lleva de inmediato a preguntarse sobre esa relación.

Se puede conjeturar que lo primero que debe haber interesado a Arago y a sus colegas de la Academia de Ciencias fue comprender los procesos fisicoquímicos por los que se lograba formar una imagen y fijarla de modo indeleble sobre una lámina metálica, pero enseguida deben haberse puesto a considerar las implicancias y variadas aplicaciones del daguerrotipo; para explorar ambos asuntos la Academia designó una comisión integrada por el propio Arago, su colega el físico y académico Jean-Baptiste Biot (1774-1862) y Alexander von Humboldt (1769-1859).

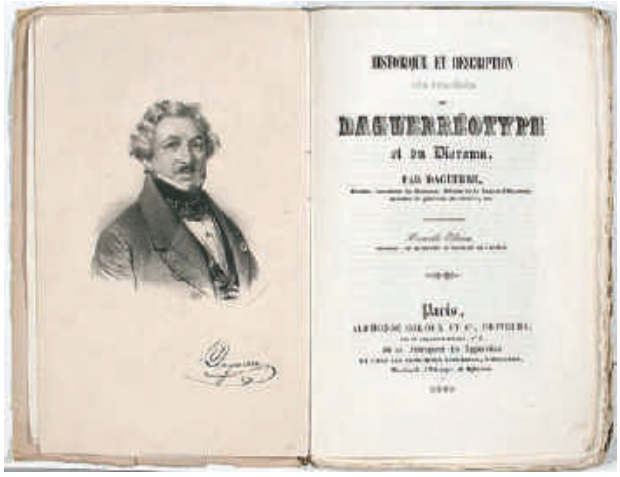
No pasó mucho tiempo hasta que las posibilidades del daguerrotipo encontraran aplicación en la búsqueda de conocimiento. En 1839, el diplomático estadounidense John L. Stephens (1805-1852), considerado uno de los precursores de la arqueología mexicana, recorrió el Yucatán con el arquitecto y dibujante británico Frederick Catherwood (1799-1854). Este documentó minuciosamente con dibujos y fotografías las ruinas mayas de dicha región, supervisó la confección con ese material de planchas litográficas y en 1843 Stephens publicó el libro *Incidents of Travels in Yucatán* (Harpers & Bros.), que dio a conocer por primera vez esos monumentos.

En 1845, Antoine-Étienne Serres (1786-1866), presidente de la Société Ethnologique de París propuso la creación de un 'museo fotográfico de las razas humanas'. Ese mismo año, el alemán Adolf Schaeffer tomó cincuenta daguerrotipos de relieves en los templos de Borobudur, en las entonces Indias Orientales holandesas. De la misma manera, se tomaron por entonces las primeras fotografías de monumentos arqueológicos egipcios, con detalles de sus relieves e inscripciones. Así se incorporó la fotografía desde sus mismos inicios daguerreanos a disciplinas como la etnografía, la antropología y la arqueología.

Otro campo de investigación que buscó tempranamente aprovechar las posibilidades del daguerrotipo fue la astronomía, aunque las largas exposiciones requeridas limitaron su utilidad. En 1840, John William Draper (1811-1882) logró tomar en Nueva York una pequeña imagen de la Luna, algo borrosa por haber necesitado una exposición de veinte minutos. En 1845, luego de algunos intentos fracasados, se tuvo éxito en hacer en Europa un daguerrotipo del Sol. Lo consiguieron Léon Foucault (1819-1868) e Hippolyte Fizeau (1819-1896), en el Observatorio de París, a instancias del propio Arago. En 1842, Giovanni Alessandro Majocchi (1795-1854), profesor de física en Milán, tomó un daguerrotipo de un eclipse solar. Y en el ámbito médico se realizaron tempranos intentos de hacer daguerrotipos de preparados vistos con microscopios ópticos.

LECTURA SUGERIDA

BARGER MS & **BLAINE WHITE W**, 1991, *The Daguerreotype: Nineteenth-Century Technology and Modern Science*, Smithsonian Institution Press (reedición Johns Hopkins University Press, 2000).



Libro publicado por Daguerre en 1839 en el que explicó su invento.

hijo Juan comentó lo mismo que el corresponsal del *New York Star* en París cuando conoció los primeros daguerrotipos en octubre de 1839: la cuestión de su escala. En tanto que la pintura obtenía sus mejores efectos en los grandes formatos, no había cómo igualar la capacidad del nuevo artefacto de reproducir detalles increíblemente pequeños: en un daguerrotipo tomado en Río de Janeiro se podía distinguir con una lupa la ropa colgada en sogas y las juntas de muros de ladrillo a la vista.

En el daguerrotipo no había artificio, o por lo menos no era posible advertirlo, ni siquiera con una lupa. Sin embargo, no tenía color, por lo que muchos daguerrotipos se colorearon a mano, delicadamente, para poner un poco de rojo en las mejillas de las damas y resaltar las vestimentas. Los entorchados y las condecoraciones de los uniformes militares con frecuencia se retocaron con oro disuelto en goma arábiga, aplicado directamente a la placa revelada.

Como los daguerrotipos son sumamente frágiles, basta intentar limpiar su superficie con un trapo para destruir la imagen. Los que sobrevivieron, deben conservarse en condiciones de humedad y temperatura adecuadas, en sus estuches originales o bajo vidrio. De muchos que se han perdido se conservan copias fotográficas posteriores, impresas en el formato *carte de visite* (6 x 9cm), que inició la popularización masiva de la fotografía.

Si bien prácticamente todos los retratos al daguerrotipo fueron encargados por los propios retratados o sus familias para uso privado, en la Argentina se conservan dos importantes colecciones, de 121 piezas cada una, en los museos Histórico Nacional y Enrique Udaondo de Luján respectivamente. Desde el momento de su fundación, una de las preocupaciones de los directores de esos museos fue presentar un rostro 'verdadero' para quienes señalaban como héroes o próceres de la nación y cuya memoria deseaban venerar. Enviaron numerosas cartas a sus familias, lo mismo que a coleccionistas e instituciones, pidiendo que donaran documentos y objetos como

Daguerrotipo de Juan Bautista Alberdi (1810-1884) tomado en Valparaíso por Thomas Columbus Helsby (1821-1879), angloargentino nacido en Buenos Aires y muerto en el Perú. 14 x 10,3cm. MHN.

espadas o uniformes y, sobre todo, retratos. Desde que empezaron a construirse los relatos nacionales y se erigieron panteones de héroes o padres fundadores de las naciones iberoamericanas, se consideró imprescindible ponerles un rostro, identificar sus retratos y establecerles una imagen canónica, lo que dio lugar a búsquedas que en algunos casos fueron difíciles.

En este sentido, se podría pensar que la invención de la fotografía puso fin a las especulaciones acerca de la apariencia de los grandes personajes públicos, y no solo en América. Recuérdense, como ejemplos notables, las discusiones sobre los retratos de Napoleón Bonaparte desde la primera recopilación de su iconografía realizada en 1895 por Armand Dayot (1851-1934) y las largas –y todavía encendidas– discusiones acerca de la apariencia de Simón Bolívar. Unos pocos de los veteranos sobrevivientes de las guerras de independencia alcanzaron a ser retratados al daguerrotipo en su vejez, entre ellos José de San Martín.

Pero aun en los casos en que una imagen alcanzó a ser fijada con el dispositivo daguerreano, estuvo lejos de ser tomada como definitiva. Es mucho más reconocido como retrato de San Martín el que lo representa joven, envuelto en la bandera argentina, pintado en Bruselas tal vez por una maestra de pintura de su hija, que el daguerrotipo para el que posó en París en 1848, cuando tenía más de setenta años.

IMÁGENES INVERTIDAS

Una característica curiosa de los primeros daguerrotipos es que producían una imagen invertida en sentido horizontal. Así, si un personaje presentaba en la fotografía su perfil derecho, se trataba en realidad del izquierdo. Ese es el caso del retrato de San Martín que reproduce esta nota y que una fotografía fiel hubiese mostrado como lo indica la ilustración de este recuadro.

La práctica habitual en las publicaciones sobre historia de la fotografía es reproducir las imágenes como aparecen en el original, pero no todas están invertidas, porque con el tiempo las cámaras fueron dotadas de un dispositivo óptico que corregía el efecto, por lo que normalmente solo detalles del modelo revelan si hubo inversión. Tratándose de retratos, ello suele advertirse en los botones de sacos o chaquetas. De los acá reproducidos, además de San Martín, están invertidos Juan B. Alberdi y Justo J. de Urquiza, mientras Tomás Guido no lo está. De los otros dos nada se puede decir porque el uniforme de Las Heras no revela botones y están ocultos los de Mansilla/ Ortiz de Rozas.

General Juan Gregorio de Las Heras (1780-1866), con el uniforme de gala del ejército de Chile correspondiente a su grado y las condecoraciones de la campaña de los Andes y del Perú. Tomado posiblemente en Santiago a comienzos de la década de 1850. Los dorados y celestes fueron aplicados a la placa después de revelada. 10,5 x 7,7cm. Museo de Luján.

Con alguna excepción, la mayoría de los retratos hechos por los *procedimientos fotográficos tempranos* –daguerrotipos, ferrotipos, ambrotipos, calotipos– que se conservan en los museos históricos es apenas conocida por el público. En general, personajes como Gregorio de Las Heras, Tomás Guido, Ignacio Álvarez Thomas, Mariquita Sánchez de Thompson, Manuelita Rosas y Esteban Echeverría, entre otros, son mucho más reconocibles por sus retratos al óleo. Estas relaciones particulares entre fotografía y pintura plantean cuestiones interesantes sobre los usos públicos del retrato. Pues, en realidad, no es la 'verdad' o la estricta semejanza lo que cuenta, sino la adecuación de la imagen a las ideas aceptadas sobre su figura.

Varios oficiales del Ejército de los Andes se hicieron retratar en Buenos Aires, Santiago de Chile o París mucho tiempo después de sus tiempos heroicos, cuando tenían edad avanzada y aspecto un tanto decadente. Tal vez por esa razón, esos daguerrotipos no alcanzaron la difusión que tuvieron óleos o miniaturas, y muchos son hoy casi desconocidos. Todo hace pensar que San Martín temía por su vida cuando le hicieron en Francia el mencionado daguerrotipo en 1848 (en realidad, le hicieron dos, pero uno se perdió). Había estallado una revolución en París y decidió abandonar la ciudad con su hija, probablemente rumbo a Londres, aunque finalmente pasó los dos últimos años de su vida en Boulogne-sur-Mer. El anciano de ese retrato tiene la mirada baja y una expresión sombría. En el rostro ajado solo parece haber tristeza y desencanto.

Ese mismo año había muerto su amigo y vecino en Grand Bourg, el marqués Alejandro Aguado, acaudalado banquero y antiguo compañero de armas en el ejército español, y lo había designado albacea testamentario de su fortuna y tutor de sus dos hijos, Onésipe y Olympe, quienes poco después comenzaron una intensa actividad como fotógrafos aficionados. No sería de extrañar que el

Retrato de autor desconocido catalogado en el Museo Histórico Nacional como *Lucio V Mansilla?*, con un signo de interrogación porque hay indicios convincentes (aunque no pruebas) de que se trataría de León Ortiz de Rozas (1828-1871), primo de Mansilla y, como este, sobrino de Juan Manuel de Rosas. 12,9 x 10,9cm. MHN.

segundo fuera el autor de ese par de daguerrotipos anónimos, pues no era anónima la actividad de los daguerrotipistas comerciales, ni en París ni en otras ciudades.

La mayoría de los daguerrotipos del Museo Histórico Nacional de personajes conocidos nos provoca cierta extrañeza, pues cambia la imagen que nos habíamos formado de cada personaje, posiblemente desde nuestras épocas escolares y por lo común sobre la base de retratos al óleo. Recordemos, por ejemplo, el cuadro en 1873 de Esteban Echeverría recreado como un Byron americano por Ernest Charton (1815-1877) varios años después de su muerte; o el retrato romántico pintado por Johann Moritz Rugendas (1802-1858) en 1845 de Mariquita Sánchez de Thompson, también en el Museo Histórico Nacional; o el de Manuelita Rosas pintado en 1851 por Prilidiano Pueyrredón (1823-1870). Hay una cuota de idealización en los relatos sobre esos personajes, que se plasma en los retratos pintados y que el daguerrotipo casi siempre desmitifica.

Existe, sin embargo, alguna excepción, como el retrato de Juan Bautista Alberdi realizado en Valparaíso, que ha pasado a formar parte de los relatos históricos difundidos, a pesar de que se conoce del mismo fotografiado una manifestación de su preferencia por los retratos pintados por sobre los fotográficos, consignada en el volumen sobre los daguerrotipos de los museos Histórico Nacional y de Luján incluido entre las lecturas sugeridas. Algo parecido sucedió con daguerrotipos de Justo José de Urquiza.

También se conoce algún ejemplo en el sentido inverso: las descripciones y los retratos fotográficos de Lucio V Mansilla le crearon la personalidad de un elegante *dandy*, tanto en su juventud como en su vejez. Fue uno de los hombres públicos más retratados de su tiempo, o por lo menos de quien más retratos fotográficos se conservan. Eso llevó a

pensar que fuera suyo un daguerrotipo de un hombre joven no identificado, que se conserva en el Museo Histórico Nacional y así estaba rotulado. Lo que se sabía de Mansilla y sus propias descripciones de su apariencia juvenil parecían coincidir con lo que sugerían los rasgos del retratado en ese daguerrotipo. Investigaciones recientes han puesto esa identificación en duda y concluido (aunque no probado) que se podría tratar de su primo León Ortiz de Rozas.

A la luz de estas reflexiones, las imágenes –incluso las fotografías, que en apariencia son las más objetivas– comienzan a dejar de considerarse solo ilustraciones o documentos visuales de una época, para ser comprendidas como parte de los acontecimientos que la componen. Ellas modifican en mayor o menor medida el entramado de esos acontecimientos y moldean la sensibilidad colectiva.

La celebración de los bicentenarios de las guerras y las declaraciones de independencia iberoamericanas, que comenzaron en 2010, brindaron la oportunidad de analizar la cultura visual de los tiempos de las revoluciones emancipadoras, la construcción de las imágenes de sus héroes y la historia de sus símbolos y emblemas, que suelen ser percibidos como atributos eternos de las naciones. Esto quedó de manifiesto en, por ejemplo, la exposición *El éxodo mexicano. Los héroes en la mira del arte*, realizada en ese país en 2010, en el Museo Nacional de Arte.

Los primeros retratos fotográficos, en síntesis, aparecen como objetos fascinantes, no solo por su carácter de documentos visuales sino también como sujetos de una historia muchas veces sorprendente de publicidad y ocultamientos. CH

Justo José de Urquiza (1801-1870), de quien se conoce una decena de daguerrotipos, ya que su actuación más importante, en la década de 1850, coincidió con los cortos años de imperio de esa técnica fotográfica. 13,7 x 10,5cm. Fecha exacta y autor desconocidos. MHN.

BREVE GLOSARIO

Ambrotipo. Placa húmeda al colodión con el reverso pintado de negro o cubierto por una tela o cartón de ese color para que la imagen negativa se viera en positivo.

Calotipo. Complejo procedimiento inventado por William Talbot que producía una imagen negativa sobre un papel sucesivamente bañado en nitrato de plata, yoduro de potasio y ácido gálico. La imagen se pasaba a positiva por contacto a otro papel.

Cámara clara. Un instrumento óptico utilizado para facilitar el dibujo. Si bien su nombre evoca a la cámara oscura, no está relacionada con ella: es un artefacto liviano y portátil formado por visores, lentes y espejos en números y posiciones variables según los modelos.

Cámara oscura. Caja cerrada con paredes interiores negras y un pequeño orificio circular en una de ellas que permitía entrar la luz, de suerte que en la pared opuesta se veía una imagen invertida del exterior. La colocación de una lente en el orificio la hizo más eficiente y, además de servir para ayudar a dibujar, fue el germen de la cámara fotográfica.

Carte de visite. Formato (9 x 5cm) inventado en Francia en 1854 por André Adolphe Eugène Disdéri (1819-1889), que se popularizó en los comienzos de la fotografía, a mediados de la década de 1850. Existieron cámaras especiales con entre cuatro y doce objetivos para producir igual número de imágenes por toma.

Diorama. Forma de entretenimiento inventada en Paris, en 1822, por Daguerre, quien también lo explotaba. Consistía en un pequeño teatro para unas 350 personas en el que se mostraba un paisaje o una escena pintada a mano sobre una sucesión de telas colgadas una detrás de otra. Ese arreglo permitía simular cambios mediante variaciones de la iluminación, y creaba la ilusión de estar viendo el mundo real. Hoy el término se usa para designar ciertas representaciones de ámbitos silvestres en los museos de ciencias naturales, siguiendo un modelo cultivado con éxito por Carl Akeley (1864-1926) en el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York.

Ferrotipo. También llamado *melanotipo*, era semejante al ambrotipo pero no usaba vidrio como soporte sino latón o hierro pintados de negro.

Fisionotrazo. Instrumento usado para trazar el perfil o la silueta de una persona, semejante al pantógrafo usado para magnificar dibujos. Lo inventó en Francia, en 1784, Gilles-Louis Chrétien (1754-1811), quien lo usó para retratar a muchos personajes prominentes de la Revolución Francesa.

Panorama. Forma de representación de paisajes, ámbitos o escenas históricas usada por el pintor Robert Barker (1739-1806), que acuñó el término, para mostrar en Londres en 1792 su pintura del paisaje urbano de Edimburgo, desplegada alrededor del observador sobre el interior de una superficie cilíndrica. Panoramas de ese tipo fueron muy populares en la segunda mitad del siglo XIX, incluso en la Argentina.

Placa húmeda al colodión. Placa de vidrio cubierta con una película de yoduro de potasio, colodión (solución de nitrocelulosa en alcohol y éter) y nitrato de plata. Se exponía húmeda en una cámara fotográfica y la imagen negativa se revelaba con ácido gálico y fijaba con hiposulfito de sodio. Los positivos, de colores sepia o café, se obtenían sobre papel albuminado, tratado con clara de huevo, bromuro de potasio y ácido acético. Ese fue el comienzo de la fotografía con negativos sobre placa de vidrio. En la década de 1880 las placas húmedas fueron reemplazadas por las conocidas de gelatina seca.

Procedimientos fotográficos tempranos. Además de aludir a daguerrotipos, el nombre se aplica a ambrotipos, calotipos y ferrotipos.

Laura Malosetti Costa

Doctora en historia del arte, UBA.
Investigadora independiente
del Conicet.

LECTURAS SUGERIDAS

BENJAMIN W, 1931, 'Pequeña historia de la fotografía', publicado en el semanario berlinés *Die literarische Welt*, y en castellano, con traducción de Jesús Aguirre, en *Discursos interrumpidos I*, Taurus, Buenos Aires, 1989. Accesible (agosto de 2012) en *http://www.fotoclub.org.uy/Articulos/pequena-historia-de-la-fotografia-por-walter-benjamin.html*.

BROQUETAS M (ed.), 2011, *Fotografía en Uruguay. Historia y usos sociales 1840-1930*, Centro de Fotografía de Montevideo.

FREUND G, 1936, *La photographie en France au dix-neuvième siècle. Étude de sociologie et d'esthétique,* La Maison des Amis des Livres, Paris.

MARTINI JX y **PRIAMO L** (eds.), 2009, *Los años del daguerrotipo 1843-1870. Primeras fotografías argentinas*, Ediciones de la Antorcha, Buenos Aires.

MORAND S (ed.), 1997, *Olympe Aguado (1827-1894) photographe*, Musées de Strasbourg.

MUJICA PINILLAS M (ed.), 2006, *Visión y símbolos: del virreinato criollo a la República Peruana*, Banco de Crédito, Lima.

WEYNANTS T, 2003, 'Early visual media', en (julio de 2012) *http://users.telenet.be/ thomasweynants/precursors.html*.

Origen y evolución

Cráneos de primates. De abajo hacia arriba: macaco, orangután, gorila y humano moderno. Foto Museo de Zoología Comparada, Universidad de Harvard. Wikimedia Commons

S Ivan Perez
División Antropología, Museo de La Plata

de los humanos

La historia de la divergencia de los primates

El lugar de la especie humana en la evolución de la vida

Desde la antigüedad, el origen y la evolución de nuestra especie han desvelado a investigadores de múltiples áreas del conocimiento. Asimismo, las diferentes religiones han proporcionado y proporcionan explicaciones sobre nuestro origen y nuestra relación con otros seres vivos.

En los últimos tiempos, el tema ha ocupado el centro de la reflexión de varias áreas del conocimiento científico, principalmente la antropología biológica, la paleoantropología, la primatología y la biología molecular. Son disciplinas que abordan la *evolución de los grandes primates* y la divergencia de nuestra especie como parte de ese grupo.

Los primates son el orden de mamíferos del que forman parte, entre otros, los humanos modernos y sus ancestros extinguidos más cercanos (véase el recuadro 'Posición taxonómica de los humanos y de los grandes simios'), y están estrechamente relacionados con los roedores y los conejos. Estudios recientes basados en datos genómicos y paleontológicos sugieren que los primates se diferenciaron de los roedores y los conejos alrededor de 80 millones de años atrás (figura 1). Luego, los primates mismos se diferenciaron con el correr de los milenios: la primera divergencia que nos interesa señalar se produjo hace unos 45 millones de años, cuando los monos del Nuevo Mundo se separaron de los del Viejo Mundo. Más tarde, hace aproximadamente 30 millones de años, ocurrió entre los segundos la divergencia de los gibones y de los primates superiores u *homínidos*, grupo que comprende a los grandes simios (orangután, gorila y chimpancé) y a los *homíninos* (humanos y parientes cercanos extinguidos).

Este artículo procura guiar al lector en un recorrido de la historia evolutiva de nuestra especie, iluminado por la evidencia más reciente tomada de estudios tanto del genoma como de la morfología de especies actuales y extinguidas. El punto de partida es el grupo evolutivo o *clado* de los *primates homínidos*. Algunas de las preguntas más relevantes que se plantean en el recorrido son: ¿Qué divergencias

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los seres humanos (*Homo sapiens*) somos la única especie viva del género *Homo*. Integramos el grupo de los homínidos con los orangutanes, los chimpancés y los gorilas, grupo del que también formaron parte otras especies extinguidas. Las relaciones entre todas ellas merecen ser revisadas a la luz de la información genética actualmente disponible.

ocurrieron en la historia evolutiva de grandes simios y los homínidos? ¿Cuándo y dónde se produjeron? ¿Qué cambios en la morfología y el comportamiento ocurrieron durante la evolución humana? ¿Qué factores o procesos condujeron a esas divergencias y, por lo tanto, son responsables del origen de nuestra especie?

La divergencia del linaje humano de los grandes simios

Desde la publicación en 1859 de la obra de Charles Darwin *El origen de las especies*, las ciencias biológicas han discutido intensamente sobre el origen del linaje humano y su divergencia de otras especies vivientes de primates que reconocen con aquel un ancestro común. En particular, se han centrado en las relaciones de parentesco evolutivo entre los grandes simios (chimpancé, gorila y orangután) y el hombre actual.

Hasta aproximadamente fines de la década de 1980, las hipótesis sobre relaciones de parentesco evolutivo entre los primates se basaban en el análisis de rasgos anatómicos como las características del cráneo o la dentadura (ver recuadro 'Relaciones filogenéticas y tiempos de divergencia'). Un problema de esos estudios es que distintos rasgos conducen a diferentes agrupamientos de las especies. Algunos investigadores, por ejemplo, postularon que el chimpancé, el gorila y el orangután conforman un grupo evolutivo emparentado divergente de los humanos, mientras para otros las dos especies vivientes de chimpancé y el hombre están estrechamente relacionadas, en contraste con el gorila y el orangután que conforman dos ramas más distantes del árbol evolutivo.

POSICIÓN TAXONÓMICA DE LOS HUMANOS Y LOS GRANDES SIMIOS

Las clasificaciones taxonómicas modernas son útiles para comprender la evolución de los organismos porque suelen reflejar la historia de las especies que componen cada grupo. Los seres humanos –igual que sus cercanos parientes los simios– son *mamíferos placentarios*, un grupo que se diferenció hace más de 200 millones de años del resto de los *vertebrados*, es decir, de los animales dotados de columna vertebral. Los mamíferos placentarios tienen sangre caliente (técnicamente, son *homeotermos*), pelos, glándulas mamarias que producen leche y sus hembras llevan las crías durante un período relativamente prolongado en el vientre, al cabo del cual las paren. Por lo último, se los llama vivíparos. Un grupo de mamíferos placentarios son los *primates*; incluye a los *prosimios* (lemures y otros), los *simios* (monos del Viejo y Nuevo Mundo) y los *homínidos* (orangután, gorila, chimpancés y humanos). Nuestra especie pertenece al género *Homo*, que junto con los integrantes de varios géneros extinguidos (*Ardipithecus, Australopithecus, Kenyanthropus, Orrorin, Paranthropus, Sahelanthropus*) integra el grupo de homínidos llamado *homíninos*.

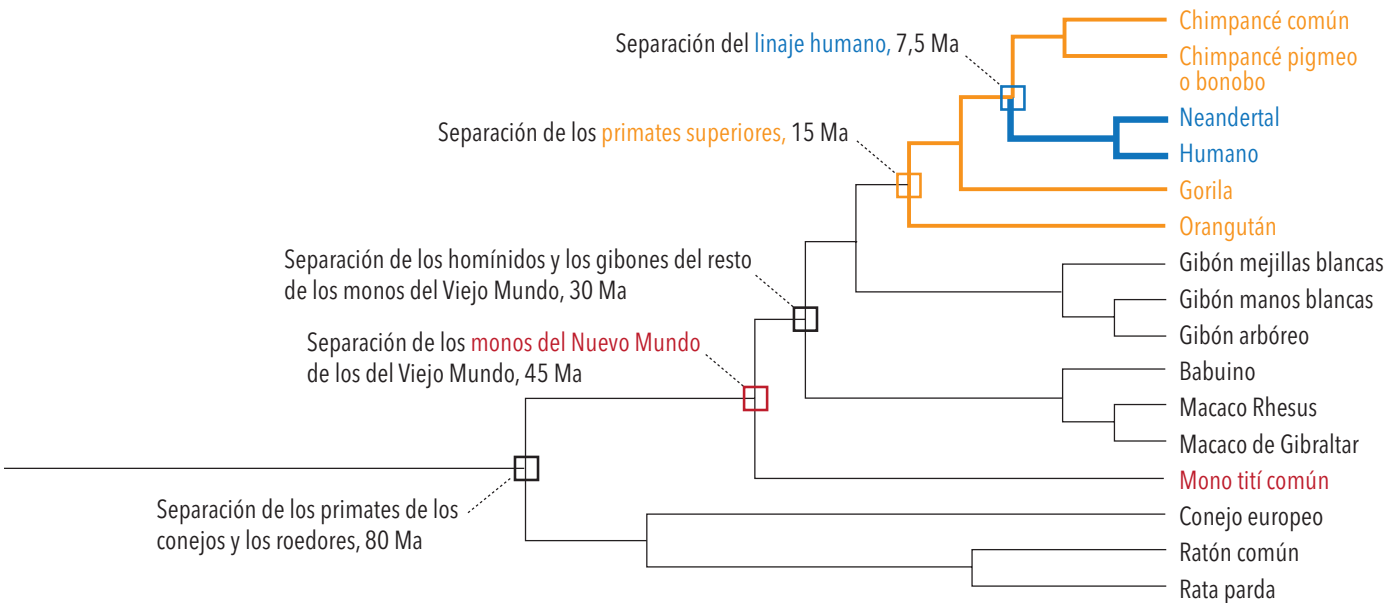


Figura 1. Esquema de las relaciones filogenéticas o de parentesco evolutivo de los primates. Está basado en el genoma mitocondrial completo y muestra los momentos en que ocurrieron las divergencias más importantes que menciona la nota. Ma significa millones de años atrás. Fuente: GenBank.

A partir de 1990 se produjo un apreciable avance de las técnicas de la biología molecular y en la obtención de datos genómicos. A diferencia de los estudios morfológicos, que permiten postular hipótesis muy dispares según qué rasgo morfológico se elija, los análisis genómicos sugieren un único árbol de relaciones de parentesco basado en la información almacenada en las secuencias de ADN nuclear o mitocondrial. En el caso comentado, la información genómica apoya la hipótesis que vincula a chimpancés y humanos, y aleja a ese grupo de gorilas y orangutanes. La mencionada figura 1, que indica los resultados de dichos estudios, se basa en análisis del genoma mitocondrial completo.

Los mismos estudios filogenéticos sugieren que la divergencia de los humanos de las especies de primates más cercanas ocurrió en África, donde viven actualmente los gorilas y los chimpancés. Esta conclusión coincide con datos del registro fósil, en el que los paleontólogos han encontrado en ese continente fósiles con caracteres que relacionan a los humanos con los chimpancés. En la región del Chad, en el África central, así como en Kenia y Etiopía, en el África del este, han desenterrado numerosos fósiles de especies que probablemente integraron el linaje humano, entre ellas *Sahelanthropus tchadensis*, *Ardipithecus ramidus* y *Orrorin tugenensis* (figura 2). Uno de los últimos hallazgos, realizado en Chad, corresponde a un conjunto de individuos de la primera de esas especies, para los que se estimó una antigüedad de entre 6 y 7 millones de años, es decir, serían muy cercanos al ancestro común de nuestra especie y de los chimpancés, pues según los estudios más recientes la divergencia de los humanos y de estos grandes simios de su ancestro común se habría producido hace alrededor de 7,5 millones de años. Por lo tanto, dichos fósiles hallados en el Chad indican la edad mínima de la aparición en la Tierra de nuestro linaje.

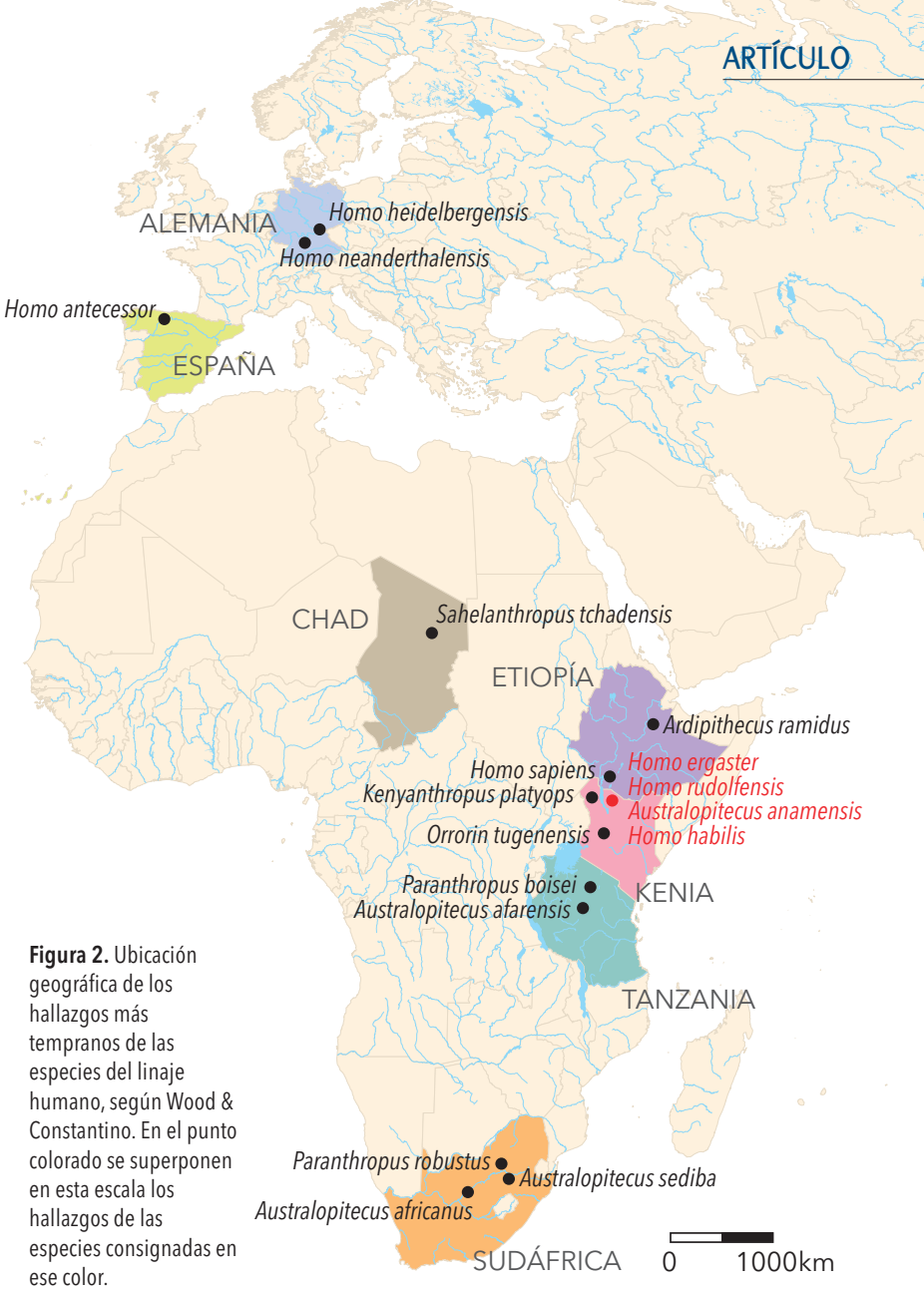


Figura 2. Ubicación geográfica de los hallazgos más tempranos de las especies del linaje humano, según Wood & Constantino. En el punto colorado se superponen en esta escala los hallazgos de las especies consignadas en ese color.

RELACIONES FILOGENÉTICAS Y TIEMPOS DE DIVERGENCIA

Se da el nombre de *filogenia* o *filogenética* a la historia evolutiva de un grupo taxonómico, es decir, a las hipotéticas relaciones evolutivas o de parentesco entre las especies. Esas hipótesis generalmente se representan por un esquema con forma de árbol y proveen una buena estimación de los acontecimientos evolutivos del pasado de un clado, entre ellos la sucesión de divergencias que dieron lugar a las especies actuales y a sus inferidos ancestros extinguidos. Tradicionalmente, la filogenia se basó en los rasgos morfológicos; en la actualidad, muchos investigadores argumentan que es necesario apoyarse en la genética molecular para reconstruir la evolución de esos rasgos morfológicos y poder fundamentar una filogenia como la presentada en la figura 3.

Desde la década de 1990, los estudios de las relaciones filogenéticas se han renovado con el avance de las técnicas de la biología molecular y con la obtención de datos genómicos. Estos datos se analizan hoy con el auxilio de métodos estadísticos y de complejos modelos matemáticos sobre cambio de diferentes regiones del genoma. Los últimos permiten calcular los tiempos de divergencia de las especies de manera conjunta con el registro fósil.

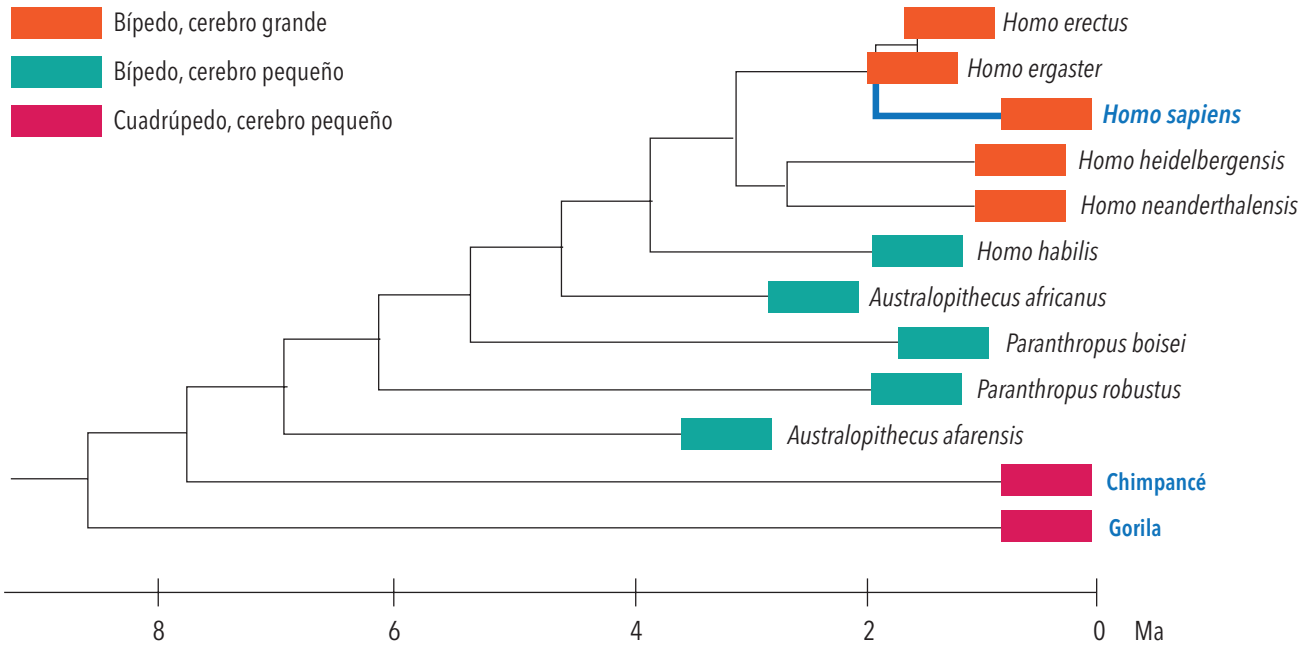


Figura 3. Esquema de las relaciones filogenéticas de algunos homínidos de África. Está basado en información anatómica y muestra los más importantes cambios en la morfología asociados con la evolución del linaje humano. Las líneas y los nombres en azul corresponden a especies actuales; las demás están extintas. Ma significa millones de años. Fuente: González-José *et al.* y Wood & Constantino.

Divergencias dentro del propio linaje humano

Aunque el estudio de los primates vivientes arroja luz sobre las relaciones de parentesco entre nuestra especie y las que le están más relacionadas, no permite comprender la evolución de nuestro linaje. Esto se debe a que las especies más cercanas a nosotros están hoy extintas. Para ello, la única fuente directa de información es el registro fósil, del que se procura deducir cuándo y cómo aconteció la divergencia entre nuestra especie y las más estrechamente emparentadas con ella (véase recuadro 'Fósiles de homíninos').

La figura 3 indica las relaciones de parentesco evolutivo entre integrantes de la familia de homínidos: el hombre moderno (*Homo sapiens*), otras especies del género *Homo*, varias especies de homíninos de los géneros *Australopithecus* y *Paranthropus*, los chimpancés (*Pan troglodytes* y *Pan paniscus*) y los gorilas (*Gorilla gorilla*). El árbol de esa figura se obtuvo mediante análisis morfométricos de los cráneos, pero también refleja hipótesis basadas en otros datos morfológicos. Como se podía esperar, todas las especies de *Homo* están emparentadas y tienen un ancestro común relativamente cercano; más distantes (es decir, con un ancestro común más lejano) están los australopitecos y parantropos, y más lejanos aún, los chimpancés y gorilas.

Los únicos estudios genómicos sobre esas especies fósiles han sido realizados sobre hombres de Neandertal,

FÓSILES DE HOMÍNINOS

Fósiles de algunos géneros de homíninos nombrados en el texto. La lista no es exhaustiva y evita las arduas discusiones sobre el nivel taxonómico (especie o género) de muchos de los hallazgos.

Sahelanthropus tchadensis. Proviene de Koro Toro, en el Chad, y fue datado entre 6 y 7 millones de años atrás. Tiene características similares a los chimpancés.
Ardipithecus ramidus. Encontrado en Awash Medio, en Etiopía, y fue datado entre 4,5 y 5,7 millones de años.
Orrorin tugenensis. El primer espécimen de esta especie fue desenterrado en Tugen Hills, en Kenia, y datado entre 5,6 y 6,2 millones de años. Es morfológicamente similar al chimpancé, pero algunos análisis sugieren que podría haber caminado erguido.
Australopitecus (anamensis, afarensis, africanus y ***sediba)*** y ***Paranthropus (boisei*** y ***robustus)***. Hallados en Etiopía, Kenia, Tanzania y Sudáfrica, con edades entre 1,3 y 4 millones de años. Constituyen el primer registro indiscutible de cambios anatómicos asociados con el caminar bípedo. Los *Paranthropus* eran extremadamente robustos.
Homo (habilis, rudolfensis, ergaster, erectus, antecessor, heidelbergensis, neanderthalensis y ***sapiens)***. Los ejemplares más tempranos fueron encontrados en Kenia, Tanzania, Sudáfrica, España y Alemania, con edades entre algunos miles y 2,4 millones de años. El cráneo de todas estas especies es similar al del hombre moderno, y exhibe los cambios anatómicos del esqueleto asociados con caminar bípedo.

para los cuales se ha secuenciado el genoma completo. Ellos demostraron la relación cercana de esa especie del género *Homo* con la nuestra que se advierte en la figura 1.

La mayoría de los restos fósiles más antiguos de nuestros ancestros han sido hallados en África, en Chad, Kenia, Tanzania, Etiopía y Sudáfrica (vuélvase a la figura 2). Además de destacarse *Sahelanthropus tchadensis*, por ser cercano al momento de separación del linaje humano de los chimpancés, de Tanzania y Kenia provienen los restos más tempranos de una especie ancestral cercana a la nuestra, *Homo ergaster*, con una antigüedad entre 1,5 y 1,9 millones de años. Otras especies más recientes indicadas en dicha figura, seguramente divergentes de nuestro linaje, como *Homo heidelbergensis* (entre 100 y 600 mil años) y *Homo neanderthalensis* (entre 30 a 200 mil años), han sido desenterradas fuera de África. *Homo erectus* es una especie de gran interés en la evolución de los homíninos; su registro más temprano fuera de África (del este de Asia) data de hace aproximadamente 150 mil años. Su vinculación con nuestra especie es en estos momentos objeto de discusión.

Cambios en la morfología y el comportamiento ocurridos durante la evolución de los humanos

Los estudios genómicos han mostrado que existen grandes similitudes genéticas entre nuestra especie y otras del mismo género, como *Homo neanderthalensis*, lo mismo que con los restantes homínidos o grandes simios. Pero estudios anatómicos llevados a cabo en los últimos 150 años han destacado sustanciales diferencias en la morfología (véase recuadro 'Metodos para estudiar el cambio morfológico en la evolución de los homínidos') y en el comportamiento.

De particular interés para el análisis de la evolución humana es que gran parte de los cambios observados entre los homínidos han ocurrido aparentemente de manera asociada. Esos cambios pueden agruparse en los dos ejes principales que indica la figura 3: la alteración de los miembros inferiores relacionada con la postura erecta y locomoción bípeda, y la modificación del tamaño y la forma del cráneo, con el consecuente aumento del tamaño cerebral. Lo último se vincula con un período más prolongado de crecimiento y maduración, con el desarrollo del lenguaje, con el uso de herramientas y con el control del fuego. Aunque estos no son los únicos cambios observados, son posiblemente los de mayor importancia para diferenciar a nuestra especie del resto de los primates.

La anatomía del fémur –el hueso superior de nuestra pierna– presenta características típicas de un organismo bípedo en especies tan antiguas como *Orrorin tugenensis* (unos 5,8 millones de años atrás), el segundo en antigüedad de nuestros ancestros homíninos, luego de *Sahelanthropus tchadensis*. En *Australopitecus afarensis* también se advierten muchas de las modificaciones anatómicas de las extremidades inferiores que permiten el desplazamiento bípedo y son características de todas las especies de *Homo*. A esas modificaciones anatómicas se agregan evidencias encontradas en la región de Laetoli, en Tanzania, como huellas de pisadas de varios individuos que, en la opinión de muchos investigadores, caminaban de una manera muy similar a los humanos actuales. La figura 4 muestra tres esqueletos de australopitecos que revelan grandes similitudes con la pelvis y la pierna de nuestra especie.

Las figuras 5 y 6 muestran la compleja modificación de la estructura del cráneo de los homíninos, con una mayor flexión de la base, la región facial más retraída y un aumento en el tamaño relativo y absoluto de la caja cerebral. Esto se ha considerado de tal importancia que generalmente se emplea para caracterizar al género *Homo* y resolver la pertenencia a él de determinados taxones. Así, el tamaño cerebral, que es de 400-500cm^3 en *Australopitecus afarensis*, de 650-800cm^3 en *Homo habilis* y de 800-1200cm^3 en *Homo erectus*, alcanza los 1400-1500cm^3 en nuestra especie *Homo sapiens*. Se piensa que a estas variaciones correspondieron una mayor complejidad cerebral y el desarrollo de formas más eficientes de comunicación, particularmente el lenguaje articulado, lo mismo que un comportamiento más complejo y el desarrollo de la cultura propia de las especies más recientes del género *Homo*.

Procesos y mecanismos responsables de la evolución del linaje humano

Si bien en los últimos años se han registrado grandes avances en nuestra comprensión del origen y la evolución de la especie humana, todavía resta mucho por conocer. El lugar de origen, el tiempo de divergencia y el patrón de parentesco del linaje humano y del de los otros grandes primates han sido intensamente discutidos desde finales del siglo XIX y están relativamente claros; las incógnitas subsistentes corresponden a los factores o mecanismos responsables de los cambios morfológicos y del comportamiento de las diferentes especies de homínidos.

Muchos de los cambios mencionados, lo mismo que los episodios de divergencia, estuvieron asociados con modificaciones en los ambientes ocupados por las especies en cuestión. A la luz de los estudios comparativos de las especies actuales de primates, es posible deducir que el ancestro común del linaje humano y de los

Figura 4. Reconstrucción de esqueletos. Centro: un ejemplar de *Australopithecus afarensis* llamado Lucy, desenterrado en 1974 en Etiopía, que data de unos 3,2 millones de años atrás y mide unos 110cm de alto. Costados: dos ejemplares de *Australopithecus sediba* encontrados en Sudáfrica en 2008, que datan de unos 1,9 millones de años atrás y miden unos 130cm. Fuente: Wikipedia.

MÉTODOS PARA ESTUDIAR LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN LA EVOLUCIÓN DE LOS HOMÍNIDOS

Los estudios morfológicos de especies cercanas, como las que integran la familia de los homínidos, consideran principalmente diferencias de grado; por ejemplo, el cráneo humano y el de ambas especies de chimpancés están conformados por el mismo conjunto de huesos, pero difieren en su tamaño y proporciones. El estudio de esas variaciones recurre a técnicas denominadas *morfométricas*, que registran y confeccionan estadísticas de las diferencias de tamaño y forma de estructuras anatómicas. A partir de la década de 1980 las técnicas morfométricas fueron revolucionadas por la aplicación de métodos geométricos basados en las coordenadas cartesianas de puntos anatómicos (figura 6).

chimpancés vivió en una selva tropical, que tenía hábitos entre arbóreos y terrestres, y que su dieta era rica en frutas. Asimismo, se puede concluir que el posible primer miembro del linaje humano, *Sahelanthropus tchadensis*, probablemente ocupó un ambiente diferente. Por la fauna asociada con esa especie y por el contexto geológico en que vivió, se puede pensar que habitó un ambiente de bosques en galería, más abiertos que la selva tropical, y que esos humanos debieron ser menos arbóreos y no basar tanto su alimentación en fruta.

Los ambientes abiertos también fueron característicos de otras especies del linaje humano, como los australopitecos y las numerosas especies del género *Homo*. En esta historia debemos también prestar atención a los cambios ambientales que comenzaron a ser generados por los propios humanos. Al ambiente natural se agregaron las interacciones sociales, que adquirieron progresiva complejidad, y sumadas a la transmisión de conocimientos generaron lo que hoy conocemos con el nombre de cultura. El pensamiento antropológico tradicional vio estos cambios como responsables de la evolución de los homínidos, en particular de la del género *Homo*.

Si bien no se puede negar esta asociación del ambiente en que habitaron las especies de homínidos con los cambios morfológicos y de comportamiento que experimentaron, para la ciencia moderna una asociación no es prueba de causalidad. Muchos estudios recientes señalan, además, que el ambiente no fue el motor central de esa clase de cambios. Se piensa que homíninos de diversas especies fueron capaces de explorar nuevos ambientes impulsados por cambios debidos a otros mecanismos, particularmente aquellos acaecidos durante la vida de los individuos (técnicamente, cambios *ontogénicos*). En esto nuestros conocimientos son aún exiguos y reclaman más estudios. Estamos todavía a cierta distancia de comprender los factores y mecanismos que condujeron la evolución del linaje humano y generaron los rasgos característicos de los humanos modernos.

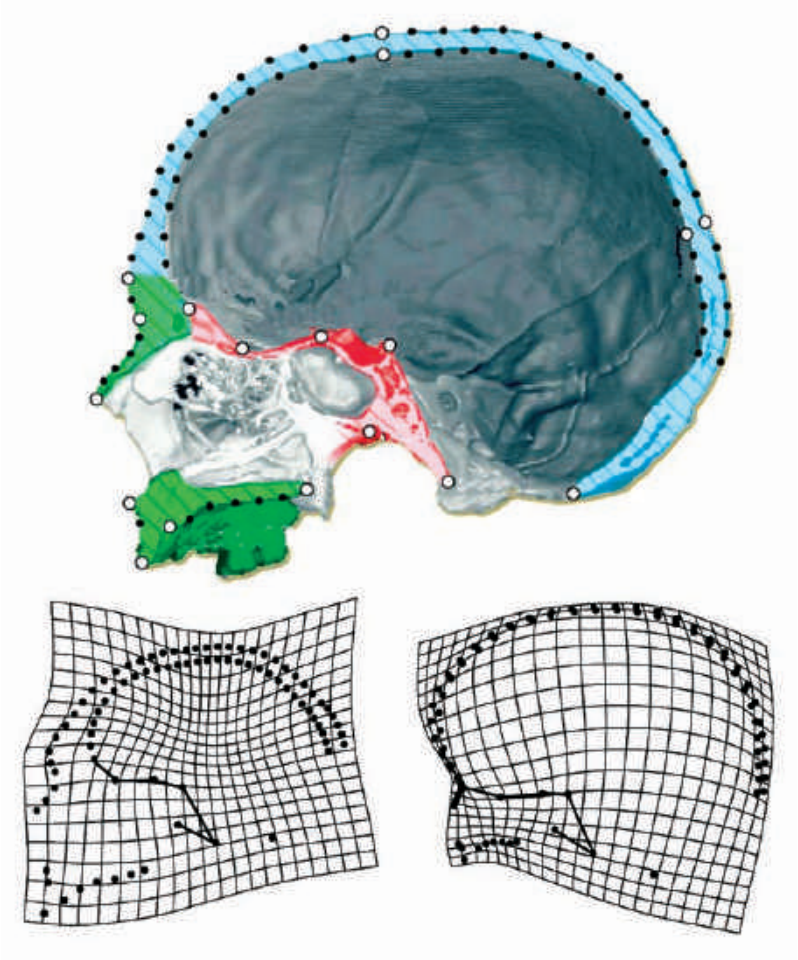


Figura 5. Cráneos de tres especies del linaje humano. De arriba a abajo: un humano moderno, un neandertal y un australopiteco. Fotos del autor.

Figura 6. Puntos anatómicos empleados para describir el contorno sagital de los homínidos (imagen superior) y mallas de deformación que representan variaciones de individuos del género *Homo*. Ambas mallas tienen el mismo tamaño pero varían en la posición de cada punto. Fuente: FL Bookstein *et al.*, 'Cranial integration in *Homo*: singular warps analysis of the midsagittal plane in ontogeny and evolution', 2003, *Journal of Human Evolution*, 44: 167-187.

Consideraciones finales

Debido a que muchas de las preguntas a que nos hemos referido en esta nota son de carácter histórico, el avance del conocimiento que permita responderlas depende de las evidencias que se obtengan de especies actuales y extinguidas, así como del refinamiento de los modelos teóricos que intenten explicarlas. El futuro cercano de esta área de conocimiento promete ser agitado, particularmente por el rápido avance de las técnicas de obtención de datos moleculares de especies extinguidas, y por la comprensión creciente de los mecanismos que controlan el desarrollo ontogénico de los primates.

Los sensibles avances en la secuenciación y en el análisis de genomas completos resultaron de gran importancia para entender cómo se produjeron los cambios morfológicos y de comportamiento que nos interesan. Hoy disponemos de secuencias completas del genoma de alrededor de veinticinco especies de primates, incluidos *Homo sapiens* y *Homo neanderthalensis*. Pero para comprender las causas de los cambios acaecidos durante la evolución de los primates necesitamos teorías más elaboradas, que permitan tomar en cuenta una mayor complejidad de variables e interrelaciones entre las poblaciones y su ambiente. CH

GLOSARIO

Antropología biológica, bioantropología o antropología física. Rama de la antropología que estudia el desarrollo físico y la evolución de la especie humana (y por extensión de las otras especies de primates), así como la interacción de ellas con el ambiente. Dos de sus capítulos importantes son la paleoantropología y la antropología forense.

Biología molecular. Disciplina que estudia las características y funciones de las moléculas que componen a los organismos vivos para entender los procesos que estos experimentan.

Clado. Es el conjunto de especies que descienden de un ancestro y forman una rama del árbol filogenético. Se denomina también *grupo evolutivo monofilético*.

Divergencia filogenética. Es la separación en ramas o líneas de parentesco diferentes de un linaje evolutivo. La evolución divergente coincide con la formación de nuevas especies o especiación, y se representa generalmente por un gráfico con forma de árbol, denominado *árbol filogenético*.

Genoma. Es el conjunto completo de la información hereditaria de un individuo. Está contenida principalmente en el ADN o ácido desoxirribonucleico, una macromolécula que contiene la información necesaria para el desarrollo y funcionamiento de los organismos.

Homínidos. El grupo de primates que integran los grandes monos (chimpancés, gorilas y orangutanes) y los humanos de la especie actual y de las extinguidas.

Homíninos. El conjunto de especies consideradas humanas, que incluye a la nuestra (*Homo sapiens*), las extinguidas del género *Homo* (como *H. habilis*, *H. rudolfensis*, *H. erectus*, *H. ergaster*, *H. heidelbergensis*, *H. antecesor*, *H. neanderthalensis* y otros) y las de géneros extinguidos como *Ardipithecus*, *Australopithecus*, *Kenyanthropus*, *Orrorin*, *Paranthropus*, *Sahelanthropus*.

Paleoantropología. Rama de la antropología biológica enfocada en la temprana evolución humana y la de especies extinguidas de homínidos.

Primatología. Es el estudio científico de los primates, un amplio campo de investigación que abarca, entre otros temas, su anatomía, comportamiento y evolución.

LECTURAS SUGERIDAS

GONZÁLEZ-JOSÉ R *et al.*, 2008, 'Cladistic analysis of continuous modularized traits provides phylogenetic signals in *Homo* evolution', *Nature*, 453: 775-778.

GREEN RE *et al.*, 2010, 'A draft sequence of the Neandertal genome', *Science*, 328: 710-722.

MARQUES-BONET T, RYDER OA & **EICHLER EE**, 2009, 'Sequencing primate genomes: what have we learned?', *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 10: 355-386.

PILBEAM DR & **YOUNG NM**, 2004, 'Hominoid evolution: synthesizing disparate data', *Comptes Rendus Palévol*, 3, 4: 303-319.

WILKINSON RD *et al.*, 2011, 'Dating primate divergences through an integrated analysis of palaeontological and molecular data', *Systematic Biology*, 60: 16-31.

WOOD B & **CONSTANTINO P**, 2004, 'Human origins: life at the top of the tree', en CRACRAFT J & DONOGHUE MJ (eds.), *Assembling the Tree of Life*, Oxford University Press, Nueva York, pp. 517-535.

S Ivan Perez

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Profesor adjunto de estadística de la UNCPBA.
Investigador adjunto del Conicet en la división Antropología del Museo de La Plata.
iperez@fcnym.unlp.edu.ar

Aldo I Vassallo y Federico Becerra
Universidad Nacional de Mar del Plata

Los ocultos del Infiernillo

El Infiernillo

El valle de Tafí, en el noroeste de la provincia de Tucumán y al poniente de su capital, conecta la llanura chacopampeana con los valles Calchaquíes. Corre del sudeste al noroeste entre la sierra del Aconquija –a la izquierda a medida que se eleva–, que lo separa de Catamarca, y las cumbres calchaquíes hacia Salta a la derecha. Húmedo y verde en su extensión sudoriental, con praderas, bosques y selvas cubiertas de nubes, se hace más árido y hasta semidesértico con su avance rumbo al noroeste. Desde el abra del Infiernillo se suele apreciar bien esa diferencia de ambientes según la dirección en que se mire.

Pasando el pueblo de Tafí del Valle, que está a unos 2000m sobre el nivel de mar, en la cuesta del Infiernillo y en un paisaje dominado por pastizales de altura que ascienden por las laderas de los cerros, viven bajo tierra en praderas húmedas y en dichas laderas hasta unos 3000m sobre el nivel del mar unos robustos roedores que poseen muy particulares adaptaciones al ambiente subterráneo. Es habitual cruzarse en ese medio con aves rapaces, como chimangos (*Milvago chimango*) y lechucitas de las vizcacheras (*Athene cunicularia*), lo mismo que con chingolos (*Zonotrichia capensis*) y algún zorrino (*Conepatus chinga*), pero por lo común con no mucho más.

En las banquinas de la ruta y en los campos, unos montículos de tierra constituyen indicios de la presencia de los mencionados roedores (figura 4). Se trata de una especie de tucu-tucos que los científicos denominaron *Ctenomys tuconax* y los lugareños prefieren llamar 'ocultos', aunque a veces se los menciona con el nombre de 'tucu-tucos robustos'. Son de color castaño, con el vientre agrisado, y miden unos 23cm, más una corta cola de unos 7cm (figuras 5 y 6).

Si bien algunas de las especies del género son sociales, como *Ctenomys sociabilis*, en la mayoría cada animal adulto ocupa una cueva individual, es decir, su comportamiento es de animales solitarios y muy territoriales. Para algunas especies se ha comprobado un sistema de apareamiento *poligínico*, por el que un macho dominante adquiere esa posición de manera agresiva con sus congéneres y accede a varias hembras

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo la evolución condujo a un grupo de roedores sudamericanos a la vida subterránea, qué ventajas tiene esa forma de vida y qué adaptaciones experimentaron los animales para adaptarse a ella.

Los tucu-tucos y sus parientes

En distintas zonas de la Argentina, tanto en ambientes secos como húmedos, viven unas cuarenta especies de tucu-tucos, todas del género *Ctenomys* y todas de hábitos subterráneos (véase el recuadro 'Especies de tucu-tucos encontradas en el territorio argentino'). Otras veinte pueblan la porción sur del resto de Sudamérica, desde el Perú y el centro del Brasil. Suelen ocupar sitios con suelos aptos para la excavación, si bien estos pueden variar mucho en su dureza. Salen esporádicamente a la superficie y recorren cortos trechos para cortar la vegetación con que se alimentan. Por lo general, sus especies tienen áreas de distribución que no se superponen, igual que otros roedores subterráneos en el resto del mundo. Esto indicaría que el nicho ecológico subterráneo de los roedores no es divisible, lo que evitaría la coexistencia de varias especies en la misma localidad.

El género acredita una larga historia evolutiva en el continente sudamericano, al igual que sus parientes cercanos, entre los cuales muchos son más conocidos que ellos, por ejemplo, las maras de la Patagonia (*Dolichotis patagonum*), las vizcachas (*Lagostomus maximus*), los cuises (*Cavia* spp.), los carpinchos (*Hydrochoerus hydrochaeris*) y las chinchillas (*Chinchilla* spp.). Este grupo de parentesco se denomina colectivamente roedores *caviomorfos*.

Si bien hoy los caviomorfos solo viven en Sudamérica, están evolutivamente relacionados con roedores que pueblan el África, lo cual se explica por la existencia entre 500 y 180 millones de años atrás del supercontinente Gondwana, que hasta fragmentarse reunía en una sola masa a ambos continentes nombrados, más Australia y la Antártida. Se estima que hace unos 37 millones de años se produjo la divergencia entre las formas africanas y sudamericanas de roedores, y que entre las segundas hace alrededor de 15 millones de años se diferenció la familia *Ctenomyidae*, que incluye entre otros a los tucu-tucos (figura 7). Según Diego Verzi y sus colaboradores, del Museo de La Plata, el género *Ctenomys* tendría una antigüedad de unos 3,5 millones de años, alrededor de 1 millón más que el género *Homo*, que dataría de unos 2,5 millones de años atrás.

Uno de los aspectos llamativos de los caviomorfos es la extrema diversidad de sus modos de vida, tamaño corporal, formas de locomoción y hábitats ocupados en Sudamérica y las islas del Caribe. Un cuis puede pesar 500g; un carpincho, 60kg, y ciertas formas extinguidas eran aun más grandes. Algunos caviomorfos son acuáticos, como el carpincho y el coipo (*Myocastor coypus*); otros (además de los que tratamos en esta nota) son subterráneos o semisubterráneos, como el coruro chileno (*Spalacopus cyanus*) y la rata vizcacha colorada (*Tympanoctomys barrerae*) que habita las provincias del centro y oeste de la Argentina; los hay arbóreos como el coendú o puercoespín americano (*Coendou* spp.), y existen especies adaptadas a la carrera, como las maras y las pacas (*Agouti paca*).

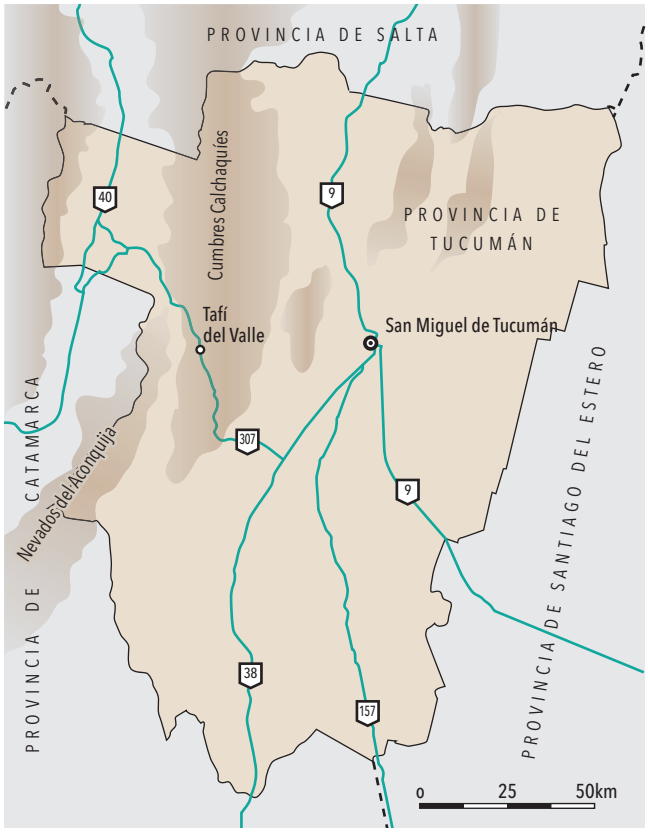


Figura 1. Mapa de ubicación. La ruta 307 recorre el valle de Tafí de sudeste a noroeste.

Ventajas de la vida subterránea

La *endotermia* –la capacidad fisiológica de estabilizar la temperatura corporal alrededor de los valores más adecuados para las actividades celulares y enzimáticas necesarias para la vida– es una característica evolutiva que adquirieron en forma independiente aves y mamíferos. Confiere cierta autonomía de los factores climáticos externos, lo que permite a los animales, entre otras cosas, permanecer activos en las estaciones frías del año y durante la noche, cuando la temperatura suele descender.

No ocurre lo mismo con muchas especies de reptiles y anfibios, que son *exotérmicos*: dependen de fuentes externas de calor para regular la temperatura corporal. Pero la endotermia también tiene sus límites, como podemos apreciar al advertir que la evolución ha llevado a algunas especies a evitar la pérdida del calor y regular la temperatura corporal por otros caminos, entre ellos la construcción de cuevas y –una forma extrema del uso de estas– la vida subterránea.

Si bien desplazarse por un medio relativamente denso como el suelo implica gastar unas 300 veces más energía que hacerlo por la superficie, estudiando los tucu-tucos de los talares (*Ctenomys talarum*), unos parientes bonaerenses del oculto tucumano, el grupo de los investigadores Carlos Daniel Antenucci y Roxana Zenuto, de la Universidad

ESPECIES DE TUCU-TUCOS ENCONTRADAS EN EL TERRITORIO ARGENTINO

Nombre coloquial	Nombre científico	Hábitat
Tucu-tuco rojo	*Ctenomys opimus*	Turbales en el altiplano de Salta y Jujuy a unos 3500m de altitud. Hábitos diurnos.
Tucu-tuco boliviano	*Ctenomys boliviensis*	Sabanas arenosas en la provincia de Formosa.
Tucu-tuco misionero	*Ctenomys perrensi*	Sabanas húmedas cerca de ríos o esteros en el norte de la Mesopotamia.
Tucu-tuco de collar	*Ctenomys torquatus*	Médanos en la Mesopotamia.
Tucu-tuco gigante	*Ctenomys conoveri*	Sabanas de la provincia de Formosa.
Tucu-tuco de los talares	*Ctenomys talarum*	Praderas arenosas con talares cerca de las costas marinas o de esteros.
Tucu-tuco colorado	*Ctenomys frater*	Cerros boscosos de Salta y Jujuy hasta 4500m de altitud.
Tucu-tuco jujeño	*Ctenomys juris*	Sabanas y montes en Salta y Formosa.
Tucu-tuco marrón	*Ctenomys pontifex*	Matorrales áridos y arenales en San Luis y Mendoza.
Tucu-tuco salteño	*Ctenomys saltarius*	Montes y campos arenosos en Salta.
Tucu-tuco montés	*Ctenomys viperinus*	Campos arenosos hasta 2000m de altitud en provincias del noroeste.
Tucu-tuco robusto	*Ctenomys tuconax*	Praderas húmedas y laderas hasta 3000m de altitud.
Tucu-tuco tucumano	*Ctenomys tucumanus*	Campos húmedos de Tucumán.
Tucu-tuco montaraz	*Ctenomys occultus*	Montes y matorrales áridos de noroeste.
Tucu-tuco coludo	*Ctenomys fulvus*	Zonas áridas arenosas de Mendoza a Salta hasta 2700m de altitud.
Tucu-tuco catamarqueño	*Ctenomys knighti*	Pastizales húmedos en los cerros hasta 1000m de altitud.
Tucu-tuco de matorral	*Ctenomys fochi*	Matorrales áridos de Córdoba y Santiago de Estero.
Tucu-tuco cordobés	*Ctenomys bergi*	Campos áridos arbustivos a 200m de altitud en los cerros de Córdoba.
Tucu-tuco chico	*Ctenomys pundti*	Campos húmedos cerca de cursos de agua en San Luis y La Pampa.
Tucu-tuco pampeano	*Ctenomys azarae*	Campos áridos con matorrales en La Pampa.
Tucu-tuco chasiquense	*Ctenomys chasiquensis*	Campos arenosos en el área de Bahía Blanca.
Tucu-tuco acanelado	*Ctenomys porteousi*	Arenales en el área de Bahía Blanca.
Tucu-tuco de los médanos	*Ctenomys australis*	Médanos costeros en el sur de la provincia de Buenos Aires.
Tucu-tuco mendocino	*Ctenomys mendocinus*	Campos arbustivos áridos de Mendoza.
Tucu-tuco de las dunas	*Ctenomys emilianus*	Arenales y zonas áridas de Neuquén.
Tucu-tuco válido	*Ctenomys validus*	Arenales y médanos del sur de Mendoza.
Tucu-tuco patagónico	*Ctenomys haigi*	Matorrales y campos áridos de Neuquén a Chubut.
Tucu-tuco vientriblanco	*Ctenomys colburni*	Cañadones basálticos en la provincia de Santa Cruz.
Tucu-tuco enano	*Ctenomys sericeus*	Páramos montañosos en Santa Cruz.
Tucu-tuco magallánico	*Ctenomys magellanicus*	Estepas arenosas entre Chubut y el estrecho de Magallanes. Tierra del Fuego.
Tucu-tuco argentino	*Ctenomys argentinus*	Campo Aráoz, Chaco. Formosa.
Tucu-tuco chaqueño	*Ctenomys bonettoi*	Chaco húmedo en Colonia Elisa.
Tucu-tuco coludo	*Ctenomys coludo*	Monte de sierras y bolsones en Catamarca.
Tucu-tuco guaraní o anguyá tutú	*Ctenomys dorbignyi*	Esteros de Iberá. Entre Ríos.
Tucu-tuco	*Ctenomys famosus*	Monte de sierras y bolsones en La Rioja.
Tucu-tuco	*Ctenomys fodax*	Estepa de Chubut.
Tucu-tuco oculto	*Ctenomys latro*	Chaco seco en Tucumán.
Tucu-tuco de Reig	*Ctenomys osvaldoreigi*	Chaco seco en Córdoba.
Tucu-tuco de Río Negro	*Ctenomys rionegrensis*	Delta e islas del Paraná.
Tucu-tuco sociable	*Ctenomys sociabilis*	Estepa patagónica en Neuquén.

Fuentes: Olrog CC y Lucero MM 1980, *Guía de los mamíferos argentinos*, Fundación Miguel Lillo, Tucumán. Bidau C, 2006, 'Familia Ctenomyidae´, en Bárquez RM, Díaz MM y Ojeda RA (eds.), *Los mamíferos de la Argentina: sistemática y distribución*, Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, Tucumán. Los hábitats están indicados de manera aproximada.

Nacional de Mar del Plata, concluyó que esa especie gasta en excavar y mantener sus cuevas menos energía que la que ahorra en termorregulación corporal por vivir en el ambiente subterráneo en vez de hacerlo en la superficie.
Las dunas costeras al sur de la provincia de Buenos Aires están habitadas por otros parientes de los ocultos del Infiernillo, los tucu-tucos de los médanos (*Ctenomys australis*). A quien se exponga en una tarde lluviosa de invierno sobre uno de esos médanos al viento del sudeste no le extrañará que la evolución haya en casos avanzado hacia la vida subterránea.
Ese tipo de vida terminó siendo un resultado evolutivo en la porción más fría del continente sudamericano, en la que predominan los ambientes abiertos de pastizales, como los altiplanos andinos, las llanuras pampeanas y las estepas patagónicas. Las tierras tropicales con ambientes cerrados de selvas presentan menos incentivos al desarrollo de formas de vida subterránea de mamíferos. No sorprende, pues, que los tucu-tucos se hayan diversificado en la porción sur del continente sudamericano.
Se puede suponer que otra ventaja de la vida subterránea sería la protección de predadores. Sin embargo, la importante presencia de algunas especies de tucu-tucos en la dieta de, por ejemplo, el zorro gris patagónico (*Dusicyon griseus*) o del aguilucho (*Buteo polyosoma*) pone en duda esa suposición.

Garras y dientes

Si bien la energía que emplean los tucu-tucos para excavar sus cuevas es una porción reducida de toda la que despliegan, para hacerlo requieren no poca fuerza, pues deben tanto disgregar el suelo como transportarlo para despejar galerías muy ramificadas de 20 o 30 metros de largo. El examen de su esqueleto y su musculatura revela que su historia evolutiva los dotó de adaptaciones adecuadas a aplicar mucha fuerza, tanto con las garras como con los incisivos.
Excavan primordialmente con las uñas de las patas delanteras, en lo que se parecen a muchos otros animales que también excavan aunque no posean hábitos estrictamente subterráneos. Pero se ha observado

Figura 2. Pastizales de altura en la zona del Infiernillo, a unos 3000m sobre el nivel del mar, en la que habita el tucu-tuco *Ctenomys tuconax*, conocido en la zona como 'oculto'. La foto fue tomada desde ese sitio hacia Tafí del Valle, en ese momento libre de nubes.
Figura 3. Pastizales del Infiernillo con Tafí del Valle cubierto de nubes en un día nublado.

Figura 4. Montículos de tierra dejados por los tucu-tucos al excavar las galerías donde viven.
Figura 5. Uno de los autores sostiene un tucu-tuco del Infiernillo de edad juvenil.
Figura 6. Un ejemplar macho adulto de tucu-tuco del Infiernillo. Adviértanse los grandes incisivos, la fuerte musculatura mandibular y las pequeñas orejas. Su cabeza mide unos 7cm de largo y unos 6cm de ancho.

en varias especies de tucu-tucos, entre ellas los ocultos del Infiernillo, que cuando se enfrentan con suelos muy duros o con raíces fibrosas, usan los incisivos en lugar de las garras (figura 8).

Los roedores poseen dos pares de incisivos de crecimiento continuo, cuya punta biselada se afila al utilizarlos para roer. Los roedores subterráneos que los usan para excavar tienen, además, una potente musculatura mandibular, la que les permite ejercer enorme fuerza con los incisivos y disgregar suelos compactos. Como parte de nuestros estudios hemos medido la fuerza de mordida en varios tucu-tucos del Infiernillo. Hemos obtenido, por ejemplo, valores de 100 newtons (unos 10kg) para un macho adulto con peso corporal de 600g. La fuerza de mordida de los seres humanos es solo unas seis veces mayor que la de estos animalitos, pero nosotros pesamos cerca de cien veces más. Una persona muerde con una fuerza equivalente al 70% de su peso; un tucu-tuco, con una del orden de 16 veces su peso. Más allá del hecho de que los tucu-tucos muerdan con fuerza, esto significa que, por lo menos en los mamíferos, la fuerza de mordida no crece de manera proporcional a la masa corporal, lo que en jerga técnica se llama *alometría*.

La fuerza de mordida que es capaz de ejercer un animal puede echar luz sobre varios aspectos de su comportamiento y de su ambiente. Por ejemplo, la que pueden ejercer los pinzones de Darwin, relacionada con la diversa robustez de la musculatura que cierra sus picos y con la capacidad de estos de triturar y procesar diferentes tipos de alimento, ayuda a comprender el itinerario evolutivo

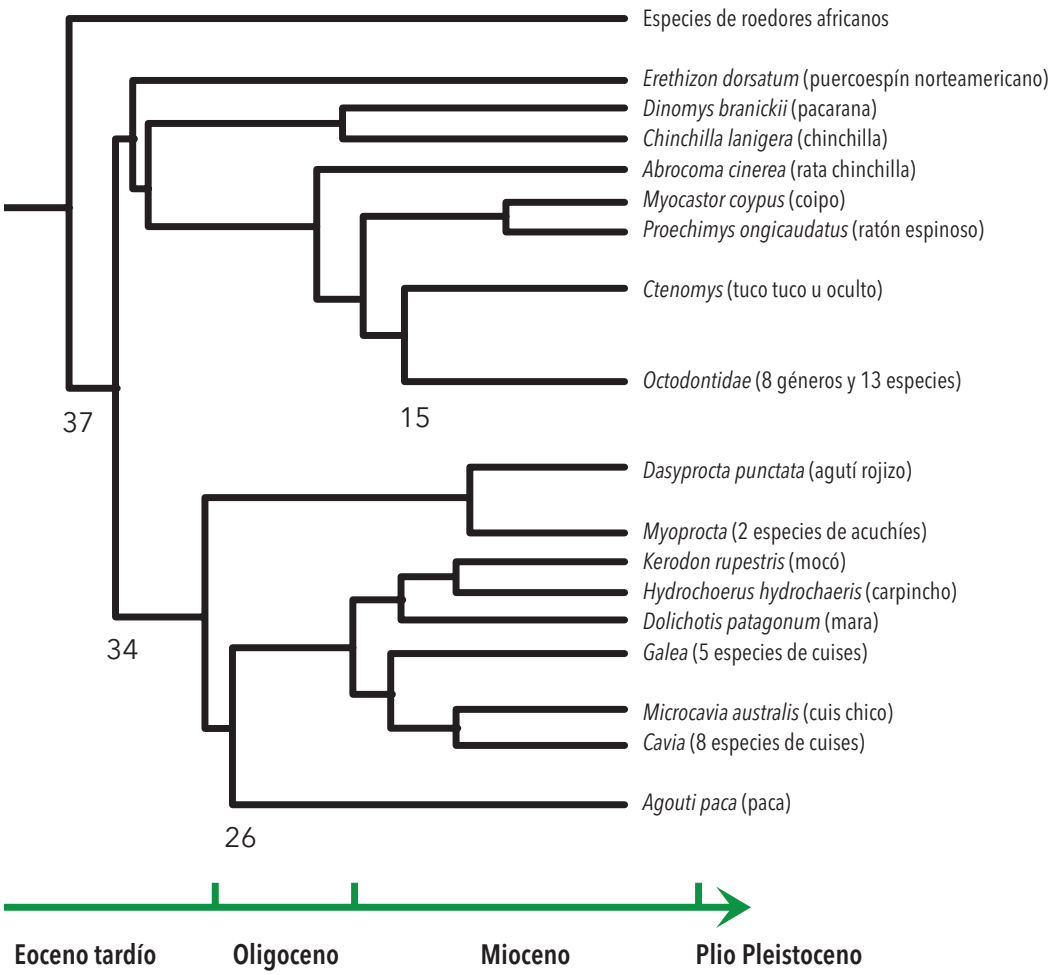


Figura 7. Cladograma de la evolución de los roedores caviomorfos, un grupo de distribución exclusivamente sudamericana. Preparado por los autores sobre la base de un artículo publicado en 2005 por Juan C Opazo, de la Universidad Austral de Chile ('A molecular timescale for caviomorph rodents', *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 37: 932-937). Los valores indican millones de años.

que los llevó a ocupar diferentes nichos ecológicos en las islas Galápagos.

Se ha medido en forma directa la fuerza de mordida de varias especies. Para otras se la ha estimado haciendo un estudio de la musculatura y del comportamiento mecánico de sus mandíbulas. Con esos datos se han establecido las relaciones entre masa corporal y fuerza de mordida para los diferentes grupos de animales indicados en la figura 9. Se aprecia, como era de esperar, que esa fuerza se incrementa con el aumento del peso corporal, pero también que existe cierta dispersión de los datos con relación a un hipotético valor teórico representado por una recta de regresión. Esa dispersión se debe posiblemente a la adquisición de adaptaciones particulares por parte de algunas especies de mamíferos.

Así, los roedores subterráneos y un marsupial, la comadreja overa, pueden ejercer fuerzas proporcionalmente

Figura 8. Uno de los autores estudia el comportamiento de un tucu-tuco macho adulto mientras excava con sus garras e incisivos en un terrario emplazado en la zona del Infiernillo. La instalación consta de una plancha de acrílico transparente fijada con ganchos metálicos a un corte del terreno y un tubo blanco de plástico para hacer entrar al roedor.

mayores que las esperadas en función de su masa corporal. Por el contrario, los seres humanos ejercemos mordidas relativamente débiles, quizá un correlato de nuestras dietas blandas con respecto a las de nuestros ancestros, o del hecho de que no usemos las mandíbulas como arma. Objetivamente, el aparato masticatorio de los humanos modernos es más grácil que el de formas ancestrales que nos precedieron.

El biólogo británico John Maynard Smith (1920-2004) y el estadounidense Milton Hildebrand, profesor emérito de la Universidad de California en Davis, entre otros, se han servido de los principios de la mecánica para comprender el funcionamiento y las adaptaciones de sistemas musculares y de esqueletos. Han dado con ello nacimiento a los estudios de biomecánica. Sus conclusiones nos ayudan a apreciar cómo la evolución biológica ha ido modificando ciertas características morfológicas de los animales, con el resultado de que estos adquirieron la capacidad de realizar mejor determinadas funciones, como la que estamos comentando de cavar (figura 10).

La figura 11 muestra el cráneo de un tucu-tuco y la aplicación del análisis biomecánico para analizar la fuerza (Fe) que ejercen sus mandíbulas sobre sus incisivos. Los roedores que excavan con los dientes, como los del género *Ctenomys*, adquirieron durante el curso de la evolución la capacidad de incrementar dicha fuerza mediante dos

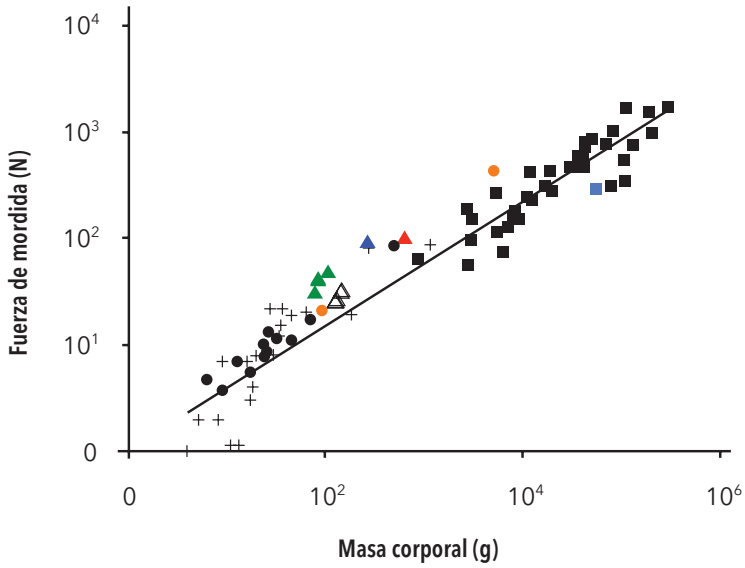


Figura 9. Relación entre la fuerza de mordida y el tamaño corporal de diferentes especies de mamíferos. Los círculos negros indican roedores (de ellos, los subterráneos están marcados por triángulos); las cruces, quirópteros; y los cuadrados negros, carnívoros. La fuerza de mordida de los humanos (cuadrado azul) es relativamente débil para su masa corporal, contrariamente a lo que acaece con los roedores subterráneos. Los valores del gráfico están en escala logarítmica. Fuente: Van Daele P *et al*., 2009, 'Biting performance in teeth-digging African mole-rats', *Physiological and Biochemical Zoology*, 82, 1: 40-50.

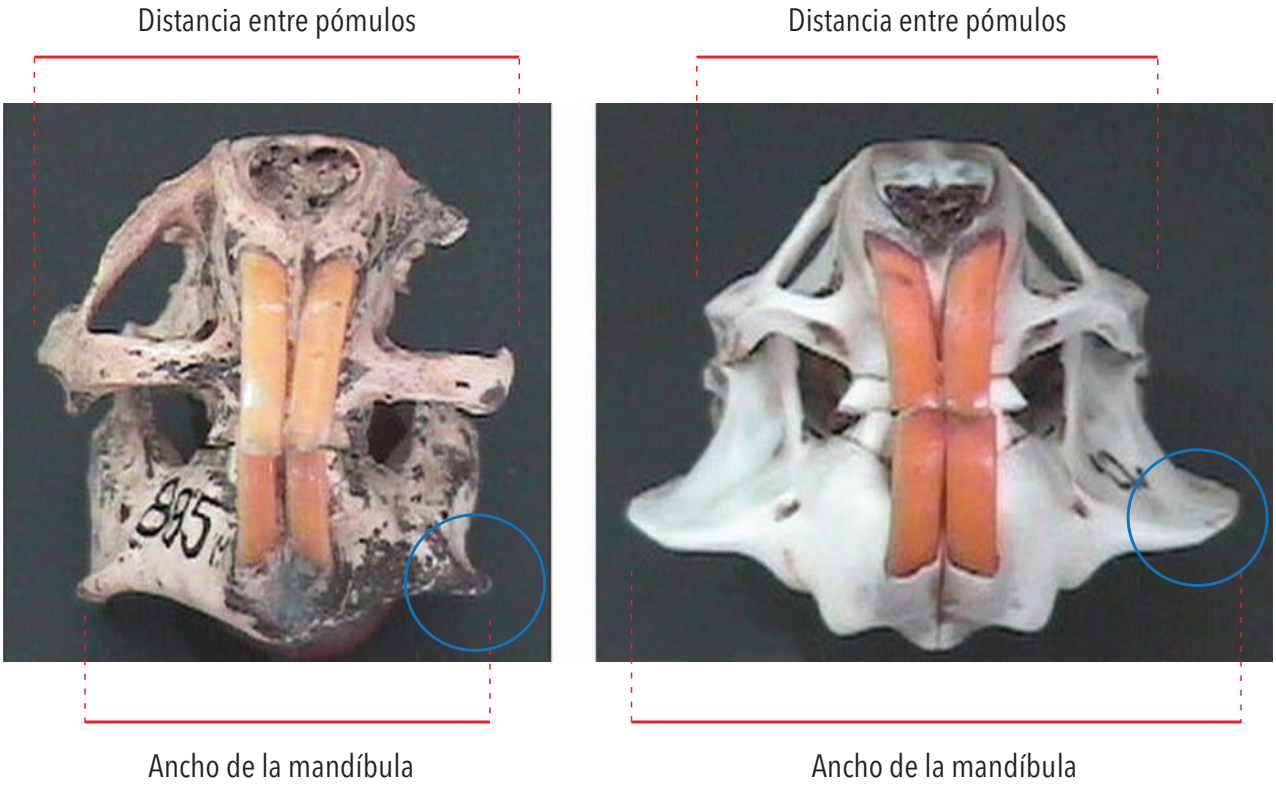
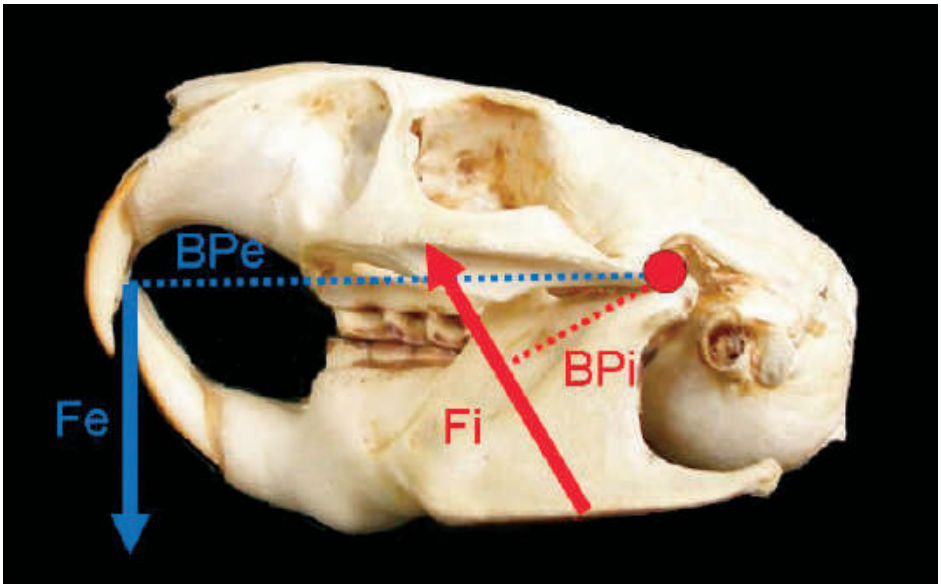


Figura 10. Cráneos de un roedor extinguido del Plioceno, ancestro de los actuales tucu-tucos (izquierda) y de un ejemplar moderno. El primero, del género *Actenomys*, proviene de acantilados costeros al sur de Mar del Plata y está en al museo Lorenzo Scaglia de esa ciudad; data de entre 2,5 y 5,5 millones de años atrás. Adviértase el mayor desarrollo de la mandíbula del tucu-tuco actual, que sobresale a ambos lados del cráneo: los círculos azules indican los lugares de ese hueso en que se anclan sus robustos músculos maseteros.

Figura 11. Cráneo de un tucu-tuco. Fi representa la fuerza muscular ejercida por los músculos de la mandíbula, principalmente los llamados maseteros, Fe es la fuerza ejercida sobre el extremo de los incisivos inferiores. En el equilibrio, el producto de la fuerza ejercida por dichos músculos y su brazo de palanca (Fi x BPi) es equivalente al de la fuerza ejercida por los incisivos y su brazo de palanca (Fe x BPe).



cambios importantes. Por un lado, sus músculos masticatorios (como el masetero) se desarrollaron más que los de otros grupos de roedores no enfrentados con la necesidad de excavar de esa forma, con lo que se incrementó la fuerza que podían ejercer (Fi). Por otro lado, su cráneo experimentó un robustecimiento general y un acortamiento, que resultaron en un menor brazo de palanca externo (BPe) de la musculatura masticatoria.

En términos mecánicos, la situación se puede describir por la igualdad:

$$Fe \times BPe = Fi \times BPi$$

En otras palabras, la fuerza ejercida por los incisivos multiplicada por su brazo de palanca (Fe x BPe) es igual a la ejercida por los músculos masticatorios multiplicada por su brazo de palanca (Fi x BPi). La fórmula permite calcular con facilidad Fe, la fuerza de la mordida.

La capacidad de ejercer fuertes mordidas es solo una de las adaptaciones de los tucu-tucos sudamericanos a la vida subterránea. Biólogos tanto de la Argentina como del Uruguay y el Brasil están estudiando otras relacionadas con el comportamiento, la fisiología y la estructura poblacional de estos pequeños roedores, muchas veces trabajando en estrecha y fructífera colaboración. Entre ellos, en el Brasil, el grupo de Thales Renato Ochotorena de Freitas, de la Universidad Federal de Río Grande del Sur, trabaja en citogenética y estructura genético-poblacional; en el Uruguay, el de Enrique Lessa, de la Universidad de la República, lo hace en análisis filogenéticos; y en la Argentina, el mencionado equipo de Daniel Antenucci y Roxana Zenuto se ocupa de fisiología y comportamiento; Marcelo Kittlein, de la Universidad Nacional de Mar del Plata, y Patricia Mirol, del Museo Argentino de Ciencias Naturales, realizan con sus colaboradores estudios metapoblacionales y de conservación, mientras que el también mencionado grupo de Diego Verzi aborda la historia evolutiva y el registro fósil de los tucu-tucos. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ANTENUCCI CD *et al.*, 2007, 'Energy budget in subterranean rodents: insights from the tucu-tuco *Ctenomys talarum*', en KELT DA *et al.* (eds.), *The quintessential naturalist: honoring the life and legacy of Oliver P Pearson*, The University of California Press, Berkeley, pp. 111-140.

HILDEBRAND M, 1992, *Anatomía y embriología de los vertebrados*, Limusa, México.

HILDEBRAND M & GOSLOW G, 1998, *Analysis of Vertebrate Structure*, John Wiley & Sons.

LESSA EP *et al.*, 2008, 'Evolution of morphological adaptations for digging in living and extint ctenomyid and octodontid rodents', *Biological Journal of the Linnean Society*, 95: 267-283.

MORRONE JJ, CIGLIANO MM y **CRISCI JV**, 1992, 'Cladismo y diversidad biológica', *Ciencia Hoy*, 4, 21: 26-34.

VERZI DH, 2002, 'Patrones de evolución morfológica en Ctenomyinae', *Mastozoología Neotropical*, 9: 309-328.

Aldo I Vassallo

Doctor en ciencias biológicas, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Profesor de Evolución, UNMDP.
Investigador independiente del Conicet.

Federico Becerra

Licenciado en ciencias biológicas, UNMDP.
Becario doctoral del Conicet.

Diego E Gutiérrez Gregoric
Verónica Núñez
Roberto E Vogler
Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP

Un gigante africano invade la Argentina

Las invasiones biológicas, el cambio climático y la fragmentación de ambientes se cuentan entre las amenazas más graves a la conservación de la biodiversidad, tanto en la escala global como en la local. Las *especies exóticas* o foráneas, al entrar de modo deliberado o accidental en un ecosistema –sobre todo si proliferan abundantemente, es decir, se vuelven *invasoras*– pueden tener efectos disruptivos sobre las nativas, alterar procesos ecológicos, cambiar los sistemas naturales, poner en riesgo la salud humana y trastornar la economía.

La Argentina ha sido afectada por la introducción de numerosas especies exóticas, algunas de las cuales se han comportado como invasoras y provocado alteraciones ecológicas y perjuicios económicos. Entre los trastornos sufridos se cuentan obstrucción de tomas de agua, plagas agrícolas y transmisión de enfermedades (véase Gustavo Darrigran, 'Invasores en la cuenca del Plata', Ciencia Hoy, 7, 38: 17-22, y Gustavo y Jorge Darrigran, 'El mejillón dorado: una obstinada especie invasora', Ciencia Hoy, 11, 61: 20-23), aunque a veces se advierten consecuencias ambientales más difíciles de calificar (véase Esteban Paolucci *et al.*, 'Un mejillón invasor alimenta las crías de peces nativos', Ciencia Hoy, 22, 127: 40-45). Limitándonos a moluscos, en la Argentina, tenemos noticias de treinta y cuatro especies introducidas en diferentes ambientes naturales (tres de bivalvos de agua dulce, una de bivalvos marinos, cinco de caracoles de agua dulce, dos de caracoles marinos y veintitrés de caracoles terrestres). En ciertos casos se trató de introducciones accidentales, por ejemplo, por la descarga de agua de lastre de embarcaciones o por haberse escapado de acuarios. En otros, los animales fueron liberados al medio en forma intencional, principalmente con propósitos alimentarios.

Al último grupo pertenece el molusco *Achatina fulica*, un gasterópodo cuyo nombre vulgar es *caracol gigante africano*. La literatura mundial (por ejemplo, la lista de las cien especies más invasivas publicada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss*) lo incluye

¿DE QUÉ SE TRATA?

En la Argentina se están realizando esfuerzos para controlar la diseminación de unos caracoles africanos invasores traídos del Brasil, donde la especie está prohibida y, sin embargo, se ha dispersado por todo el territorio. Aquí se procura impedir que eso suceda, pero no existe una legislación específica sobre su cría y comercialización. Sería oportuno que las autoridades la sancionaran antes de que el molusco amplíe su distribución en estas tierras.

Últimas etapas de crecimiento del caracol gigante africano (*Achatina fulica*).

entre las plagas más perjudiciales, pues es un exitoso invasor debido a su alta resistencia a cambios ambientales, su voracidad y su elevado potencial reproductivo.

Su cuerpo es negruzco y lleva una conchilla cónico-ovalada de hasta 20cm de longitud, que en los adultos tiene color castaño claro con bandas longitudinales anchas castaño oscuras. Los juveniles recién eclosionados y hasta los 4cm poseen una conchilla más clara y solo la mitad de la última vuelta tiene bandas longitudinales más oscuras, aunque más finas que en los adultos. Su abertura, tanto de juveniles como adultos, no es continua y se ve interrumpida por un pliegue de su eje interno (llamado *columela*).

Es un caracol principalmente herbívoro, aunque su dieta es amplia y puede ingerir alimento balanceado, desperdicios e incluso ramonear paredes o conchillas de otros caracoles para obtener calcio que endurezca su propia conchilla. Es hermafrodita simultáneo: cada individuo puede producir tanto esperma como óvulos, lo que posibilita la fecundación recíproca. Pone entre 50 a 1000 huevos por vez, hasta seis veces por año. Sus huevos miden unos 0,5cm, y los entierra hasta 15cm bajo la superficie, o los deposita entre las rocas; eclosionan en aproximadamente quince días. Dependiendo de las condiciones climáticas, puede alcanzar la madurez sexual en seis meses.

DIFERENCIAS ENTRE EL GIGANTE AFRICANO Y COMPARABLES ESPECIES NATIVAS

Los ejemplares adultos del gigante africano se pueden confundir con autóctonos del género *Megalobulimus*, que habitan en el norte del país a partir del norte de la provincia de Buenos Aires. Pueden medir hasta 10,5cm de longitud y tienen coloración más clara y uniforme de la conchilla, la que además es más globosa y posee hasta seis vueltas, contra las hasta nueve vueltas del africano. La abertura de la conchilla de *Megalobulimus* es continua, de borde grueso y generalmente rosado, mientras que la del caracol africano se ve interrumpida y es de borde fino y cortante. *Megalobulimus* tiene palpos labiales en la porción cefálica, mientras que *A. fulica* no los tiene. *Megalobulimus* pone hasta tres huevos de unos 3cm, contra los hasta 1000 de 0,5cm del invasor.

Los ejemplares más pequeños del gigante africano (hasta 5cm) pueden confundirse con nativos del género *Anthinus*, que presenta una coloración similar pero con el borde de la abertura chato y curvado hacia afuera, o con miembros de los géneros *Bostrix*, *Bulimulus* y *Drymaeus*, cuyas especies poseen conchillas más estilizadas; en las de los dos primeros, la coloración de la conchilla es homogénea y sin bandas; en las del tercero, tienen bandas oscuras dispuestas transversalmente sobre un fondo amarillento.

Es de hábitos nocturnos, aunque en épocas de humedad se lo puede ver de día. Vive en refugios, a los cuales vuelve cuando termina de alimentarse. Ante condiciones desfavorables, entre ellas clima seco o bajas temperaturas, como muchas otras especies de caracoles produce una membrana mucosa y transparente, el *epifragma*, que cubre la abertura y lo aísla del medio.

Llegó al Brasil, más precisamente al estado de Paraná, en la década del 1980, desde Indonesia (aunque es nativo del este del África), llevado expresamente para criarlo, pero por razones que se explican en el recuadro 'La experiencia del Brasil', terminó vuelto a la vida silvestre y diseminado por buena parte de ese país. Actualmente, se lo encuentra en ambientes peridomésticos, en áreas agrícolas y hasta en reservas naturales.

En marzo de 2010, los autores de esta nota verificamos su presencia en Misiones, en Puerto Iguazú. Suponemos que en la zona hubo dos focos de introducción deliberada desde Brasil, sea por parte de pescadores, para utilizarlo como carnada viva, o por artesanos, para aprovechar su concha.

En esa ciudad se lo encuentra tanto en el suelo, por ejemplo, debajo de la hojarasca, como sobre árboles, postes, paredes y techos. La abundancia de ejemplares de diferentes tamaños sugiere que existe una población estable. Los residentes declaran conocer su presencia desde aproximadamente 2007. Esa población se dispersa de

El caracol gigante africano en el norte de Misiones.

ALGUNOS MOLUSCOS CON COMPORTAMIENTO INVASOR INTRODUCIDOS EN LA ARGENTINA

Grupo taxonómico	Especie	Nombre vulgar	Origen	Distribución	Por qué llegó
			Bivalvos de agua dulce		
Mytilidae	*Limnoperna fortunei*	Mejillón dorado	China y sudeste de Asia	Cuenca del Plata	Agua de lastre
Corbiculidae	*Corbicula fluminea*	Almeja asiática	Sudeste de Asia	Cuenca del Plata	Ítem alimentario o agua de lastre
			Bivalvos marinos		
Ostreidae	*Crassostrea gigas*	Ostra del Pacífico	Japón y Corea	Bahías Anegada y San Blas	Cultivo comercial
			Caracoles de agua dulce		
Thiaridae	*Melanoides tuberculata*	Caracol malayo	Afro-asiática	Cuenca del Plata	Acuarismo
Lymnaeidae	*Lymnaea columella*		Filadelfia	Cuenca del Plata	
			Caracoles marinos		
Muricidae	*Rapana venosa*		Mar de Japón, este de China	Ambas costas del Río de la Plata	Agua de lastre. Acuarismo
			Caracoles terrestres		
Helicidae	*Cornu aspersum*	Caracol de jardín	Mediterráneo	Todo el país	
Agriolimacidae	*Deroceras* spp.	Babosas	Europa	Todo el país	
Achatinidae	*Achatina fulica*	Caracol gigante africano	África	Misiones	Carnada

Los autores pueden proporcionar a los interesados la tabla extendida con las 34 especies de cuya introducción tienen noticias a la fecha de ir a prensa.

Conchilla de ejemplares adultos de *Megalobulimus* sp. (izquierda) y del caracol africano.

Conchillas de caracoles nativos comparadas con la de un ejemplar juvenil del gigante africano (en el centro de la imagen). A. *Drymaeus interpunctus*. B. *Bostrix eudioptus*. C. *Bulimulus* sp. D. *Anthinus albolabiatus*.

LA EXPERIENCIA DEL BRASIL

La introducción del caracol africano en el Brasil se hizo en 1988 para promoverlo con fines alimentarios en una feria agropecuaria. Los productores que resolvieron criarlo, en su mayoría en instalaciones precarias no habilitadas por la Agencia Federal de Saneamiento Animal, se organizaron en cooperativas en todo el país. Pero no se había realizado una verificación de cómo reaccionarían los posibles consumidores, y los criaderos fracasaron y fueron abandonados, con las consecuencia de que los animales terminaron liberados al ambiente.

La legislación del país vecino permite la introducción de especies exóticas para cría o cultivo solo con la autorización del Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables, de la que, al parecer, carecieron los importadores del caracol gigante africano. Desde 2005, ese Instituto tiene prohibida la cría y comercialización de la especie en el Brasil.

Sin embargo en los últimos años, investigadores del Departamento de Nutrición y Producción Animal de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Pablo sugieren aprovechar las propiedades que tendría la baba de este caracol como cicatrizante, antimicrobiana, antitumoral y cosmético. Otros, en cambio, como el veterinario Mauricio Aquino, ex presidente de la Asociación de Criadores de Caracoles de Río de Janeiro, fomentan el consumo de su carne por su contenido de proteínas, aminoácidos esenciales y calcio. Debido a la abundancia de la especie en todo el país, sostienen que ese consumo ayudaría a combatir la desnutrición y que ejercería una deseable presión negativa sobre las poblaciones del caracol.

diversas maneras, que incluyen algunas completamente involuntarias para las personas, como adherirse a vehículos o a cajones de cosechas.

Si bien no disponemos de estudios científicos sobre las consecuencias de su incorporación a los ecosistemas misioneros, a la luz de lo constatado en otras latitudes podemos suponer que no serán neutras para la flora y la fauna nativas. Las altas densidades que alcanzan sus poblaciones, el hecho de entrar en competencia por alimento con especies autóctonas y aun la posibilidad de que se convierta en alimento abundante y fácil de predadores locales son rasgos que justifican dudar de esa neutralidad.

En la provincia de Misiones viven 46 especies de gasterópodos terrestres nativos, que serían las primeras afectadas por la presencia del gigante africano. En especial, las del género *Megalobulimus*, que tienen tamaño y hábitos similares al caracol africano, podrían ser vulnerables a la competencia por recursos, pues el potencial reproductivo de las especies nativas, medido por el

El caracol gigante africano en el norte de Misiones.

número de huevos puestos por camada, es muy inferior (véase el recuadro 'Diferencias entre el gigante africano y comparables especies nativas').

El caracol gigante africano es hospedador de varios parásitos, entre ellos el nematodo *Angiostrongylus cantonensis* que provoca la meningoencefalitis eosinofílica humana. Se tiene noticias de casos mortales de esta enfermedad contraída luego de comer caracoles africanos mal cocidos. Es también hospedador de *Angiostrongylus costaricensis*, causante de la enfermedad de Morera o angiostrongiliasis abdominal, que ocurre desde el sur de los Estados Unidos hasta el noreste de la Argentina. Ambos parásitos son liberados en la baba del caracol y pueden así contaminar verduras y frutas. Es igualmente hospedador del nematodo *Aelurostrongylus abstrusus*, parásito respiratorio de perros y gatos, que les produce neumonía.

Convertido en plaga de la agricultura, el caracol gigante africano podría afectar algunos de los cultivos más importantes de la provincia, como tabaco, té y mandioca; hasta el momento no se tiene noticia de que consuma yerba mate. Pero si bien se están realizando algunos controles para disminuir su número, y todavía se está a tiempo de frenar su dispersión, no existe en la Argentina legislación específica sobre la cría y comercialización de la especie. Sería necesario que la hubiese.

El método más adecuado para controlar su dispersión, que no afecta el ambiente, es la recolección y destrucción manual tanto de caracoles como de huevos. Esa tarea tendrá mayor éxito si no queda solo en manos de instituciones y se realiza con la participación activa de la comunidad. Debe llevarse a cabo con las siguientes precauciones:

Uno de los autores explica las características del caracol invasor a integrantes de la Gendarmería Nacional destacados en el norte de Misiones.

- Evitar el contacto directo con el caracol, ya que en su baba pueden hallarse larvas de parásitos. Tomarlos usando guantes impermeables o bolsas.
- No utilizarlo como carnada, mascota o adorno.
- Lavarse bien las manos, así como frutas y verduras.
- Evitar el uso de venenos, que pueden crear más perjuicios que beneficios.
- Mantener los jardines limpios de ramas, restos de madera, materiales de construcción, tejas o cualquier otro elemento que pueda ser utilizado como refugio por el caracol. CH

LECTURAS SUGERIDAS

AQUINO M, 2010, '*Achatina fulica* no Brasil', *Revista electrónica de veterinaria*, 11, 9: 1-7, en *http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910/091010.pdf*.

FISHER NL & COSTA LCM, 2010, *O caramujo gigante africano* Achatina fulica *no Brasil,* Editora Universitaria Champagnat, Curitiba.

GUTIÉRREZ GREGORIC DE *et al.*, 2011, 'Invasion of the Argentine Paranense rainforest by the giant African snail *Achatina fulica*', *American Malacological Bulletin,* 29: 135-1 37.

MARTINS MF *et al.,* 2003, 'Avaliação macro e microscópica da cicatrização de lesões experimentalmente provocadas em pele de coelhos tratadas com secreção mucoglicoproteica do escargot *Achatina fulica*', *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 40 (supl. 3): 213-218.

PENCHASZADEH PE (ed.), 2005, *Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña,* Eudeba, Buenos Aires.

THIENGO SC *et al.*, 2007, 'Rapid spread of an invasive snail in South America. The giant African snail *Achatina fulica* in Brasil', *Biological Invasions,* 9: 693-702.

Diego E Gutiérrez Gregoric

Doctor en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Ayudante diplomado, FCNYM, UNLP.
Investigador asistente del Conicet.
dieguty@fcnym.unlp.edu.ar

Verónica Núñez

Doctora en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Ayudante diplomada, FCNYM, UNLP.
Becaria posdoctoral del Conicet.
nmariaveronik@yahoo.com.ar

Roberto E Vogler

Licenciado en genética, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones.
Docente graduado adscripto, UNM.
Becario doctoral del Conicet.
robertovogler@fcnym.unlp.edu.ar

Bosques de pino contorta (*Pinus contorta*) afectados por escarabajos de corteza (*Dendroctonus ponderosae*) en el Parque Nacional de las Montañas Rocosas, estado de Colorado, Estados Unidos. Foto Quinn Dombrowski

Lucas A Garibaldi
Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro
Juan Paritsis
Laboratorio Ecotono, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente, Universidad Nacional del Comahue-Conicet

Cambio climático e insectos herbívoros

Los insectos y las plantas ocupan un lugar central en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Los insectos conforman la mayoría de las especies de animales del planeta, y ascienden aproximadamente a la mitad de todas las especies conocidas de seres vivos, incluidas las plantas y los microorganismos. Las plantas, por su lado, aunque menos diversas, representan en peso la mayor cantidad de la biomasa viva de la Tierra.

Aproximadamente la mitad de las especies de insectos dependen de tejidos vegetales vivos para su supervivencia, y en los ecosistemas silvestres consumen en promedio alrededor del 10% de la producción anual de biomasa vegetal, proporción que es mucho más alta en los ambientes agrícolas, a pesar del uso de plaguicidas y de otras medidas habituales de control. Sin embargo, esos valores medios ocultan grandes variaciones, tanto entre sitios como entre años, y lo mismo en ambientes silvestres que en agrícolas.

¿Por qué en algunos sitios prácticamente no hay insectos herbívoros mientras que en otros son extremadamente abundantes? ¿Por qué en algunos años hay plagas que destruyen íntegramente las cosechas, o consumen todas las hojas de bosques, mientras que en otros años, en los mismos sitios, esas plagas están ausentes? ¿Afecta el cambio climático global la actividad de esos organismos? ¿Cómo lo hace?

El clima cambia

Si bien la composición de la atmósfera ha variado desde los orígenes mismos de la Tierra –lo mismo que la disposición de los continentes, la extensión de los mares y hasta la propia órbita del planeta alrededor del Sol–, en una escala temporal más corta, desde mediados del siglo XIX se viene constatando un incremento en la atmósfera de gases causantes del llamado efecto invernadero, en especial, dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), asociados con el aumento de ciertas actividades humanas. En el ámbito científico, la opinión mayoritaria actual es que lo anterior constituye una de las causas principales del aumento de la temperatura media que se viene registrando en todo el

¿DE QUÉ SE TRATA?

El aumento de la temperatura del planeta asociado con el cambio climático global afecta a los insectos que se alimentan de plantas en los bosques de todo el mundo, entre ellos los andino-patagónicos, pero hay diferencias entre las regiones templadas y los trópicos.

Daño causado por un insecto minador no identificado y ausente de la foto en una hoja de lenga (*Nothofagus pumilio*) de unos 2,3cm, dentro de la que vivió y se alimentó. El color oscuro en la parte deteriorada de la hoja indica las heces del insecto; el claro, la cutícula de la hoja que este no consume. Foto EJ Chaneton

planeta, el cual, durante el último siglo, alcanzó alrededor de un grado Celsius (sobre este tema, véase Ciencia Hoy, 21, 125, octubre-noviembre de 2011).

Los animales no podrían vivir en la Tierra sin plantas, pues estas son la fuente primaria del oxígeno de la atmósfera que ellos respiran y la base de su cadena alimentaria. La cantidad de biomasa vegetal que comen los herbívoros en determinado lapso se llama *herbivoría*. Es el resultado de la interacción entre animales y plantas, y por lo tanto también depende de los factores que los afectan, entre ellos, el clima. Los estudios han revelado que la temperatura es el factor climático que más influye en los insectos herbívoros.

Debido a su corto ciclo de vida y a la movilidad que les confiere gran capacidad de dispersión, los insectos suelen reaccionar más rápidamente que las plantas que los hospedan ante cambios del clima, algo especialmente notorio en el caso de especies longevas como los árboles. Pero aun estos reaccionan ante cambios climáticos; por ejemplo, modifican los sistemas que los defienden de ser comidos por herbívoros, como las señales químicas por las que atraen a los enemigos naturales de los insectos que los consumen, entre otros, insectos depredadores y arañas.

Insectos, plantas y temperatura

Los insectos son *ectotermos*: no regulan su temperatura corporal de manera interna, como lo hacen los mamíferos y las aves, sino que están a merced de la temperatura de su entorno, igual que los reptiles. Por regla general, temperaturas más altas aceleran su desarrollo y los llevan a envejecer más rápido, además de incrementar su *tasa metabólica*, es decir, requieren más energía proporcionada por alimentos. En pocas palabras, con mayores temperaturas los insectos comen más y eso repercute sobre las plantas que consumen.

Los insectos mantienen de diversas maneras su temperatura interna en el rango adecuado para sobrevivir. Muchos migran, con lo que evitan el invierno; otros se refugian en lugares protegidos de temperaturas extremas, y algunos utilizan el calor liberado por los mús-

Larvas jóvenes de lepidópteros de la especie *Ormiscodes amphimone* alimentándose de hojas de lenga. Cada larva mide aproximadamente 1cm. Foto J Paritsis

culos de sus alas para elevar su temperatura corporal. En las plantas, en cambio, la incapacidad de regular su temperatura internamente lleva sobre todo a respuestas fisiológicas y no de comportamiento, por ejemplo, con temperaturas elevadas muchas plantas abren sus estomas para favorecer la evaporación de agua y así enfriarse.

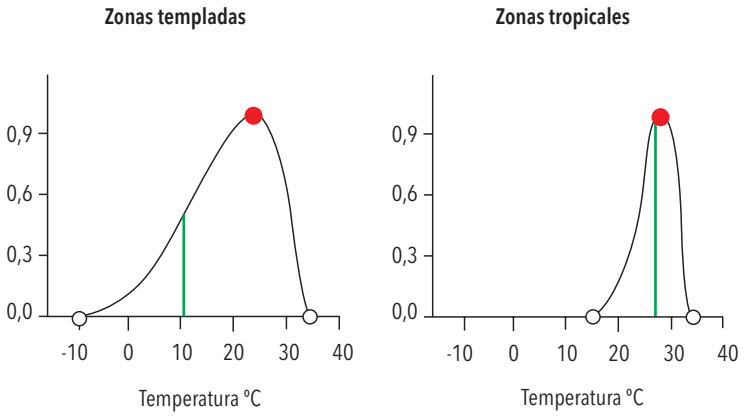
Vivir en zonas templadas o en los trópicos

Muchas plantas que toleran sequías prolongadas crecen más si se las riega regularmente. De la misma manera, muchos insectos que pueden tolerar el frío de zonas templadas se benefician ante aumentos de la temperatura media ambiental. Esta, en las zonas que hoy llamamos templadas, es inferior a la óptima para los insectos, los cuales, en cambio, encuentran en los trópicos temperaturas más cercanas a las óptimas para sus procesos fisiológicos, como lo muestra el gráfico. En consecuencia, los cambios de temperatura media en zonas tropicales –tanto aumentos como disminuciones– perjudican a las poblaciones de insectos porque las sacan de su rango ideal de temperatura, mientras que mayor calor en zonas templadas los puede beneficiar porque los acerca a ese rango. De todos modos, existe gran heterogeneidad de ambientes y temperaturas tanto en zonas tropicales como templadas, al punto que estos patrones generales conocen excepciones, por ejemplo, en altiplanos y montañas relativamente cercanas al ecuador.

Del laboratorio al campo

Para comprender los efectos del clima sobre los insectos fitófagos, es necesario complementar los estudios de laboratorio de los procesos ecológicos con experimentos de campo. Si bien los primeros permiten, entre otras cosas, constatar las respuestas de los insectos a los cambios de temperatura, no despejan la incertidumbre sobre el comportamiento de sus poblaciones en el ambiente natural, ya que allí interviene un gran número de factores que resulta difícil de manejar en el laboratorio.

Entre esos factores están las interacciones de los insectos con otros organismos, algo que resulta sumamente complejo de evaluar. Por ejemplo, un estudio sobre la mortalidad de insectos herbívoros causada por parasitoides (parásitos que terminan matando al hospedante) en áreas ubicadas entre Canadá y Brasil concluyó que cuanto más varía la temperatura, menor es el ataque de los parasitoides. Dado que el cambio climático global genera mayores extremos y una mayor incertidumbre climática, se puede esperar que disminuya el ataque a insectos por parasitoides, y por ende aumente la herbivoría.



Efecto de la temperatura media ambiental sobre el crecimiento de poblaciones de insectos en zonas templadas y tropicales. La curva indica ese crecimiento, para cada zona, en una escala relativa de 0 a 1: cero significa que las poblaciones de insectos no crecen pues no generan descendencia; uno, que su crecimiento es máximo. La línea verde marca la temperatura media de la zona, y el punto más alto de cada curva, marcado en rojo, indica la temperatura óptima para los insectos, es decir, aquella que da lugar al máximo crecimiento poblacional. Los datos provienen de experimentos de laboratorio. El gráfico fue adaptado de Deutsch CA *et al.*, 'Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude', *Proceedings of the National Academy of Science* [de los Estados Unidos], 105: 6668-6672, 2008.

El lepidóptero *Ormiscodes amphimone*, defoliador de la lenga patagónica. Larvas en estado avanzado (miden unos 5,5cm) y adulto hembra (envergadura alar de unos 6cm). Foto J Paritsis

Los efectos positivos sobre el crecimiento de las poblaciones de insectos que resultan en laboratorio de aumentar la temperatura media están también presentes en el entorno natural. Además, mayores temperaturas podrían promover una mayor supervivencia de los insectos, debido a que su desarrollo más rápido los hace cumplir su ciclo de vida en menos tiempo, con la consecuencia de que resultan menos expuestos a ataques de depredadores y parasitoides. Pero una mayor temperatura media en invierno, cuando muchos insectos disminuyen el ritmo de sus reacciones fisiológicas (técnicamente, entran en *diapausa*), podría tener efectos negativos. Por ejemplo, podría derretir la nieve del suelo y privarlos de la protección que les brinda de temperaturas extremas.

Además, un acelerado fin de la diapausa causado por mayores temperaturas ambientales podría desfasar los ciclos de vida de insectos y plantas. Así, en bosques deciduos –entre ellos los andino-patagónicos, con especies de hojas caedizas del género *Nothofagus* como lenga, ñire y raulí– podría suceder que los insectos volviesen a la actividad antes de la aparición de hojas y que se encontraran en ese momento sin alimento, dado que la mayoría consume una o unas pocas especies de plantas.

Numerosos insectos herbívoros, incluyendo a casi la mitad de los que se alimentan de cultivos de importancia económica, consumen tejidos vegetales en desarrollo que solo están disponibles por poco tiempo. Esa especialización implica que son muy susceptibles a las modificaciones del clima. La importancia relativa de los diversos efectos determina, en última instancia, las consecuencias netas de los cambios de temperatura media en las poblaciones de insectos y en la herbivoría.

Una larva de unos 1,8cm sobre una hoja de lenga (*Nothofagus pumilio*). Su color verde es el resultado de alimentarse de hojas y la protege por camuflaje del ataque por predadores. Foto J Karlanian

EVIDENCIAS DEL PASADO

¿Hay manera de obtener evidencias que se extiendan por décadas, o mejor aún por siglos, acerca de las respuesta de poblaciones de insectos a cambios del clima? ¿Existen rastros dejados por insectos a lo largo de tales lapsos que pueden ser hallados en la actualidad? Los autores han podido trabajar con esa clase de rastros en sus estudios patagónicos. Las explosiones poblacionales de ciertas especies de insectos comedores de hojas dejan signos en los anillos anuales de crecimiento de los árboles que defolian. Esos signos se pueden usar para reconstruir la historia de las defoliaciones, las que a su vez indican altas densidades de poblaciones de insectos. Ambos hechos se pueden comparar con registros climáticos. El método se ha usado para reconstruir la historia de defoliaciones en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) acaecidas en la Patagonia argentina, causadas por orugas de un lepidóptero del género *Ormiscodes*.

En su estadio larval esos insectos se alimentan de hojas, con preferencia de lenga, y llegan a defoliar completamente a los árboles atacados. Llegadas el estadio adulto, las polillas se reproducen y depositan sus huevos en grupo alrededor de ramas finas, como punto de partida de la siguiente generación. Los estudios indican que si bien las defoliaciones causadas por dichos insectos fueron un fenómeno recurrente en los mencionados bosques, en la Patagonia sur la frecuencia de las defoliaciones aumentó a partir de mediados de la década de 1970. El aumento coincide con el calentamiento climático documentado para la región a partir del mismo momento.

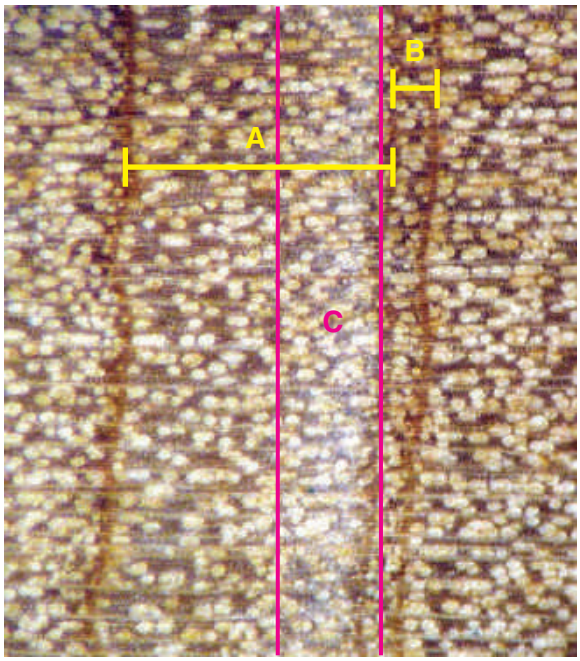


Imagen ampliada de anillos de crecimiento de lenga (A y B; miden entre 0,25 y 1,5mm de ancho) que muestran típicos signos de defoliación masiva causada por el lepidóptero *Ormiscodes amphimone*: leño claro (C) seguido por un anillo reducido (B). Foto J Paritsis

El incremento de temperatura ya ha empezado a generar respuestas en varias especies de insectos herbívoros de muchas partes del planeta. Son respuestas variadas, que van desde cambios de su área de distribución hasta incrementos de la densidad poblacional. Por ejemplo, los enormes aumentos poblacionales de escarabajos de corteza (*Dendroctonus* spp.), que habitan millones de hectáreas en Norteamérica, han sido asociados con años más cálidos que lo normal, cuyo efecto es acelerar el ciclo de vida de esos insectos y permitirles producir varias generaciones en la misma estación. Las sequías recurrentes, también vinculadas con el cambio climático global, debilitan las defensas naturales de los árboles y los tornan más susceptibles al ataque por escarabajos.

En sentido contrario, las defoliaciones causadas cada ocho a nueve años por la polilla del alerce (*Zeiraphera diniana*) en los Alpes europeos dejaron de ocurrir desde aproximadamente 1980. Se cree que el aumento de la temperatura media produjo una asincronía entre la aparición del follaje en los alerces (*Larix decidua*) y la eclosión de los huevos de la polilla. Como consecuencia, las larvas mueren por falta de alimento. Las mayores temperaturas también condujeron a un desajuste entre las áreas de distribución de las polillas y de los alerces. Como se advierte, si bien el calentamiento global parece favorecer a muchas especies de insectos herbívoros, no siempre es así.

Espacio, tiempo y complejidad

Las variaciones de las respuestas de los insectos al clima que se observan en el espacio –por las cuales los insectos enfrentan condiciones climáticas muy distintas según los sitios que habitan en la Tierra– pueden extrapolarse al tiempo, y así suponer cómo podrían haber evolucionado distintos ecosistemas en el pasado o predecir cómo lo harán en el futuro.

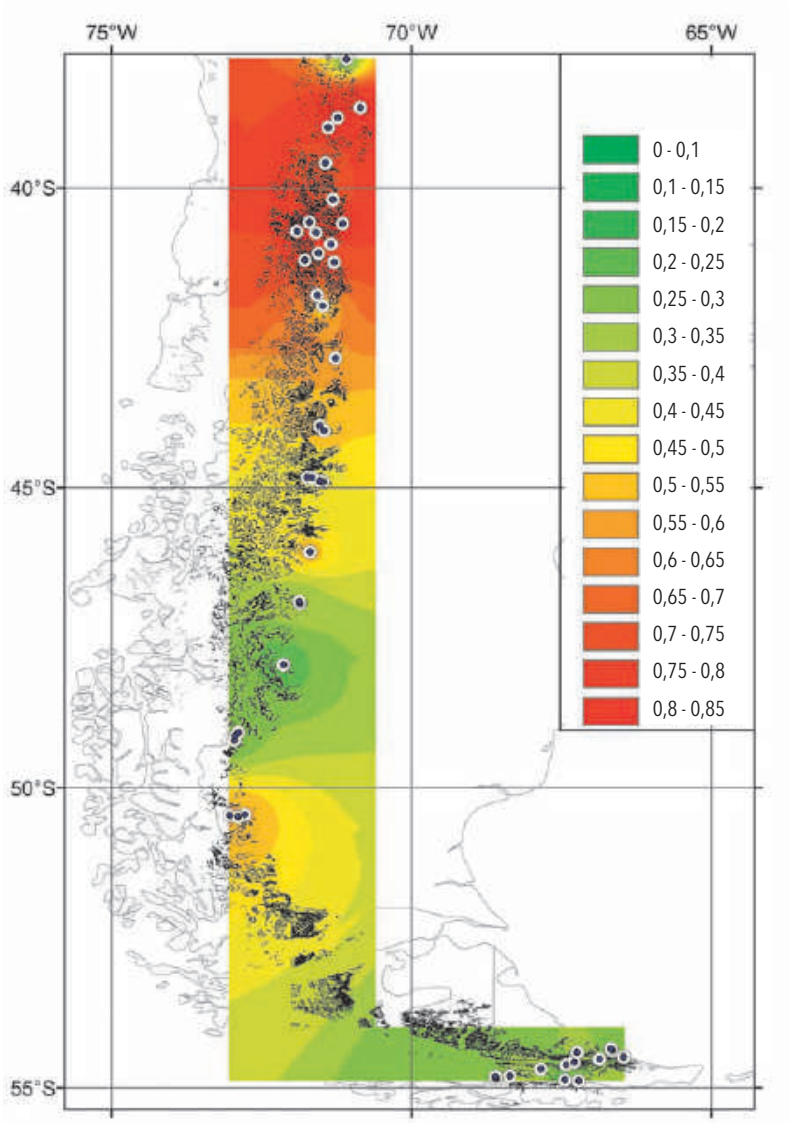
Es posible realizar esa clase de ejercicios en distintas escalas (por ejemplo, continental, regional o local). Si, como se constata, el número de especies de plantas y de insectos es mayor en los trópicos que en las zonas templadas, podemos suponer que una evolución del clima que lleve a mayores temperaturas medias conducirá también en el largo plazo a un incremento tanto de la herbivoría como del número de especies de plantas y de insectos.

Esta predicción, sin embargo, no necesariamente se cumplirá en todos los casos. Si en los sitios con mayor temperatura también lloviera más, no sabríamos si atribuir los efectos indicados a la temperatura o a la precipitación. A pesar de ello podemos realizar experimentos en el laboratorio en los que sucesivamente hagamos variar un factor y mantengamos fijos los demás, para constatar así el efecto atribuible a cada uno.

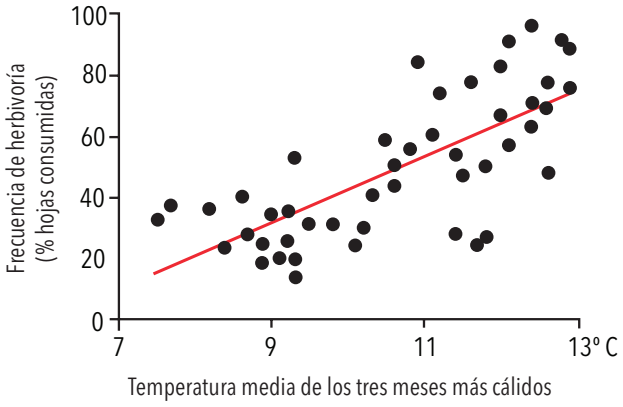
Una garrapata (color rojo) ataca a un gorgojo herbívoro de unos 0,4cm de la familia de los curculiónidos (el insecto negruzco) sobre una hoja de lenga (*Nothofagus pumilio*). Es común que los gorgojos se ubiquen del lado inferior de las hojas, donde es menos probable que los detecten predadores y parásitos, cosa que no sucedió en este caso. Foto M Oleiro

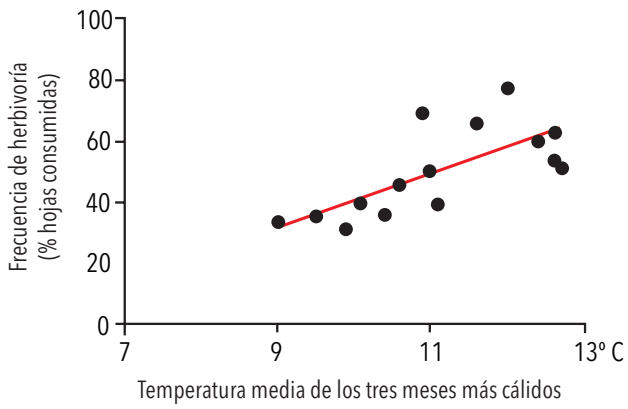
Un examen de los bosques andino-patagónicos de lenga pone de manifiesto que en algunos la herbivoría es prácticamente inexistente, mientras que en otros alcanza al consumo parcial o total de más del 90% de sus hojas. Esa enorme variación espacial, que se produce año tras año, proporciona un marco ideal para el estudio de la incidencia de los factores ambientales sobre el consumo de hojas por insectos.

Las investigaciones que los autores realizamos en esos bosques —que se extienden entre el sur de Tierra del Fuego y el norte de Neuquén— nos llevaron a concluir que en sitios con mayores temperaturas medias, sea por estar a alturas menores en las montañas o en latitudes más bajas, la herbivoría es más elevada. Esa constatación es válida para la herbivoría total y para la originada por cada una de las especies de insectos. En un estudio encontramos que por cada grado centígrado de aumento de la temperatura media a medida que se progresa de sur a norte la proporción de hojas consumidas creció un 11%. En otro estudio constatamos llamativamente que el incremento fue del 9% para los aumentos de temperatura media que se registran a medida que se desciende de altura en las laderas de montañas. A todo efecto práctico, teniendo en cuenta que trabajamos con muestras, podemos tomar ambas cifras como equivalentes.



Herbivoría y latitud. Cada punto corresponde a un bosque estudiado.





Proporción de hojas parcial o totalmente consumidas por insectos herbívoros en bosques andino-patagónicos de lenga según los cambios de temperatura ambiental registrados en distintas latitudes (izquierda) y elevaciones sobre el nivel del mar (derecha). Cada punto corresponde a un bosque y las líneas rojas indican la tendencia que se deduce del conjunto de observaciones (técnicamente, son rectas de regresión).

Predecir las consecuencias del cambio climático es una tarea compleja que requiere combinar experimentos controlados en laboratorio, que representan pobremente lo que sucede en el ambiente natural, con grandes análisis regionales, representativos pero escasamente controlados. Con estas prevenciones, los estudios llevados a cabo por el grupo de investigación de los autores muestran que en los bosques templados andino-patagónicos la herbivoría de los insectos aumenta con la mayor temperatura media, en coincidencia con lo que han concluido otros investigadores para bosques caducifolios del hemisferio norte. En Europa, por ejemplo, la cantidad de hojas de abedul pubescente (*Betula pubescens*) que comen los herbívoros es tres veces mayor en el más cálido sur que en el frío norte.

Enseñanzas del registro fósil

Según se puede deducir del estudio de fósiles, los insectos y las plantas han ocupado posiciones dominantes en los ecosistemas terrestres por más de 300 millones de años. El análisis de los ecosistemas de pasados períodos geológicos brinda información complementaria para comprender los efectos del cambio climático, porque esas investigaciones paleoecológicas proveen datos de largo plazo, en contraste con los estudios de campo o de laboratorio, que son de corto plazo. Con fósiles hallados en el estado norteamericano de Wyoming se analizó el daño causado por insectos en hojas de aproximadamente de 53 a 59 millones de años de antigüedad. Como en ese sitio no hubo en el período en cuestión cambios importantes en el tipo de suelo, se pudo analizar la asociación entre herbivoría y temperatura sin interferencias de cambios en el terreno. La conclusión fue la misma: que durante períodos con mayor temperatura hubo más herbivoría y más especies de insectos herbívoros.

Muy interesantes asimismo son algunos estudios que analizaron el calentamiento global abrupto, con aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera, que se produjo hace unos 56 millones de años, un fenómeno que tiene ciertas analogías con el actual cambio climático global. También

Hoja fosilizada de unos 45 millones de años con signos de herbivoría, desenterrada en el estado norteamericano de Colorado. Pertenece a la especie *Syzigiodes americana*. Foto EH Leckey, University of Colorado (espécimen 39195a, Museum Collections).

Bosques de pino contorta (*Pinus contorta*) afectados por escarabajos de la corteza (*Dendroctonus ponderosae*) en las Montañas Rocosas del estado de Colorado. Los colores grisáceos y amarronados indican pinos atacados y muertos. Foto J Paritsis

Hojas comidas por insectos en un bosque tropical de Costa Rica. Fueron completamente consumidas en menos de 24 horas. Foto C Quintero

Observación	Método	Escala temporal	Escala espacial
Los insectos y sus poblaciones crecen más rápido a mayor temperatura, hasta una óptima	Experimentos de laboratorio	Hasta pocos años	Principalmente laboratorio
Acontecen grandes aumentos poblacionales de escarabajos de corteza en los años más cálidos que lo normal	Constatación de epidemias de escarabajos	Años relativamente recientes	Bosques norteamericanos
La herbivoría en hojas de lenga y la abundancia de insectos aumentan con la temperatura media ambiental por cambios de altitud o latitud	Recolección de follaje y de insectos	Años recientes	60 sitios en bosques de lenga de la Patagonia
La diversidad de insectos es mayor en los trópicos que en zonas templadas	Recolección de insectos	Años recientes	Mundial
Las mayores defoliaciones coinciden con los períodos de clima más cálido	Estudio de los anillos de crecimiento de árboles	Últimos 150 años	23 sitios en bosques de lenga de la Patagonia
Durante períodos geológicos con mayor temperatura hubo en promedio mayor de herbivoría	Estudio de hojas fósiles	59 a 53 millones de años atrás	Una localidad del estado de Wyoming

Síntesis de algunos métodos que llevaron a establecer que existe por lo general una relación directa entre herbivoría por insectos y temperatura media ambiental (aunque se han constatado excepciones que requieren una explicación particular). Cada método tiene ventajas e inconvenientes.

entonces la herbivoría y el número de especies de insectos herbívoros fueron mayores que en períodos cercanos no tan calurosos.

Fósiles desenterrados en el sitio Laguna del Hunco, ubicado entre Paso del Sapo y Gastre, en el noroeste del Chubut, aportaron similar evidencia de una asociación positiva entre herbivoría por insectos y temperatura hace aproximadamente 52 millones de años. Mientras que dicho yacimiento se encuentra hoy en plena estepa patagónica, donde llueve poco y hay escasas plantas, en aquella época tenía clima subtropical y exuberante vegetación.

En síntesis

La evidencia actual indica que el aumento de la temperatura media beneficia a los insectos fitófagos que habitan ecosistemas de climas templados, como los bosques andino-patagónicos, y que en esas circunstancias aumenta su herbivoría, con las consiguientes consecuencias para las plantas. En cambio, los efectos de dicho aumento son más inciertos para los insectos y la vegetación de ambientes tropicales. En forma paralela al calentamiento global, se constata que muchas especies de insectos están colonizando sitios históricamente más frescos que sus hábitats acostumbrados, ubicados a mayor latitud o altura sobre el nivel del mar que estos. Es muy probable que, en climas templados, los agricultores tengan que hacer frente a una mayor densidad de insectos herbívoros.

Pero el hecho de que el cambio climático global favorezca a ciertos insectos no permite concluir sin más que el planeta tendrá una entomofauna más rica y saludable, pues la conclusión no toma en cuenta la incidencia de otros factores igualmente globales de origen humano, como la disminución de hábitats naturales por el incremento del territorio destinado al uso agrícola y a la urbanización, o la reducción en todo el mundo de la diversidad y abundancia de la flora y fauna, incluyendo los propios insectos. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BALE JS *et al.*, 2002, 'Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores', *Global Change Biology*, 8, 1: 1-16, enero.

GARIBALDI LA *et al.*, 2011, 'Environmental and genetic control of insect abundance and herbivory along a forest elevational gradient', *Oecologia*, 167: 117-129.

PARITSIS J & VEBLEN TT, 2011, 'Dendroecological analysis of defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* and their relation to climate variability in the Patagonian Andes', *Global Change Biology*, 17, 1: 239-253, enero.

WARD NL & MASTERS GJ, 2007, 'Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores', *Global Change Biology*, 13, 8: 1605-1615, agosto.

Lucas A Garibaldi

Doctor en ciencias agropecuarias, Facultad de Agronomía, UBA.
Profesor regular adjunto, Universidad Nacional de Río Negro.
Investigador asistente del Conicet.

Juan Paritsis

Doctor en biogeografía, University of Colorado.
Investigador asistente del Conicet.

Bioinspiración y biomimética

Imitar a la naturaleza para desarrollar mejor tecnología

El rápido vuelo del colibrí, la sincronía de las redes neuronales, la estructura de una hoja que repele el agua o la sutileza de las alas de una mosca. Investigadores del CONICET analizan la naturaleza para poder aplicar los mismos principios a soluciones tecnológicas

Por Ana Belluscio

Nada queda librado al azar en la naturaleza. Los organismos que conocemos son el resultado de millones de años de evolución, donde desarrollaron diferentes adaptaciones que les permitieron, por ejemplo, transportar cargas más pesadas que ellos, realizar micromovimientos o mantenerse suspendidos en el mismo lugar.

Diferentes grupos de investigación trabajan en las áreas de bioinspiración y biomimética, es decir, inspirarse e imitar la naturaleza, respectivamente. Estudian las estructuras microscópicas, los mecanismos y las reacciones químicas de diferentes especies para después trasladar estos conocimientos al desarrollo de soluciones tecnológicas.

Hojas de plantas: superficies autolimpiantes

Eduardo Favret, investigador adjunto del CONICET en el Centro de Investigaciones de Recursos Naturales del INTA, estudia la estructura de las hojas autolimpiantes de la planta del loto (*Nelumbo nucifera*) y de la planta del taro (*Colocasia esculenta*), entre otras, para poder trasladar esos resultados a la industria.

"Las hojas de estas plantas tienen superficies superhidrofóbicas, es decir que repelen el agua", explica, "entonces analizamos sus aspectos químicos y topográficos para determinar qué tipo de estructura les confieren estas características".

Las hojas tienen cadenas hidrocarbonadas sobre la cutícula, llamadas *ceras epicuticulares*, que son las que funcionan como barrera. Además, en la superficie de la hoja existen papilas con distintas formas que "potencian" este efecto.

"Tanto las papilas como las ceras epicuticulares actúan como una cama de clavos. La gota se apoya sobre ellas y gracias a la capa de aire que queda en el medio no se adhiere a la hoja", comenta. Así, cuando la hoja se inclina, la gota se desliza y arrastra con ella las partículas de suciedad.

Favret trabaja específicamente en el análisis de la distribución de las papilas y de las ceras en las hojas, un factor que encontró es común entre las diferentes especies. Mediante técnicas de análisis de imágenes busca un patrón único con características similares para descubrir la distribución de estas estructuras y determinar si tienen una orientación preferencial.

De acuerdo con el investigador, estos conocimientos podrían colaborar en el desarrollo de pinturas autolimpiantes y antigrafitis, o incluso aplicar estas propiedades a productos textiles.

"Hay que estudiar los sistemas naturales biológicos e inspirarse en ellos para desarrollar sistemas artificiales con propiedades funcionales determinadas. Sus aplicaciones son enormes, porque la naturaleza es una gran diseñadora con 3.800 millones de años de experiencia", concluye Favret.

Redes neuronales: modelo para monitorear la contaminación ambiental

Nélida Brignole, investigadora independiente del CONICET en la Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI, CCT CONICET-Bahía Blanca) y su grupo usaron el concepto y modelado de una red neuronal para desarrollar un programa piloto de monitoreo ambiental.

"La idea es tener un sistema de alarmas tempranas para contaminación ambiental usando un modelo similar al de una red neuronal. Si uno tiene un conjunto de datos meteorológicos, los ingresa a la red y es posible predecir resultados", comenta la investigadora.

Desarrollaron un modelo que anticipa las variaciones en los niveles de contaminación basándose en parámetros que son sensados constantemente. La red predice las concentraciones de uno de los principales contaminantes ambientales, conocido como PM10, pequeñas partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera con diámetro menor que 10 micrómetros.

Para desarrollar se debían cumplir tres etapas: el ingreso de datos, procesarlos y, finalmente, obtener resultados. Para el primer punto establecieron una colaboración con el Comité Técnico Ejecutivo (CTE) del gobierno de Bahía Blanca. El CTE cuenta con una serie de estaciones de monitoreo donde se miden en tiempo real las concentraciones de contaminantes como el PM10 y también diferentes variables meteorológicas.

El segundo punto fue desarrollar el sistema informático para procesar esta información y predecir la concentración de los niveles de polución. "Este sistema se basa en el uso de redes neuronales. Son algoritmos que intentan imitar el funcionamiento del cerebro humano, incluyendo su arquitectura y la etapa de aprendizaje basado en casos previamente conocidos", dice Brignole.

Junto con su equipo están trabajando en la etapa inicial del proyecto. Ya cuentan con una red desarrollada que actualmente se encuentra

en etapa de perfeccionamiento, y a posteriori el objetivo es ver la posibilidad de implementarla en la ciudad.

Alas de insectos: claves para desarrollar microvehículos

Hay circunstancias donde contar con vehículos de pequeñas proporciones puede significar la diferencia entre la vida y la muerte, por ejemplo en catástrofes. Y otras situaciones donde pueden ser sencillamente útiles, como para soldar pequeñas piezas o desplazar robots por los canales más reducidos de las minas.

Sergio Preidikman, investigador adjunto de CONICET en la Universidad Nacional de Córdoba, estudia junto con su grupo la estructura de las alas de los insectos para descubrir cómo es que siendo tan livianas son tan resistentes y fuertes.

"Hoy en día no se pueden copiar esas estructuras para hacer desarrollos industriales, porque no hay materiales lo suficientemente livianos y fuertes para obtener algo parecido al ala de un picaflor o una abeja", dice Preidikman.

Según explica, estos órganos no son rígidos sino que se deforman durante los diferentes estadios del vuelo, y por lo tanto hay que desarrollar un material que sea lo suficientemente flexible.

De obtenerlo, "podríamos desarrollar vehículos que vuelen del tamaño de un picaflor o de una abeja, que sean supermaniobrables, puedan mantenerse quietos en el aire o despegar y aterrizar «patas para arriba»", se entusiasma.

Las aplicaciones de instrumentos de estas características son casi infinitas: desde la inspección de lugares peligrosos para los humanos –como Chernobyl y Fukushima después de las catástrofes–, hasta para informar a los rescatistas dónde están las víctimas después de un derrumbe y llevarles pastillas o medicamentos, si es necesario.

"No buscamos copiar a la naturaleza, sino comprenderla. En este caso, entender cómo hacen las aves y los insectos para volar. Si bien son patrones muy simples, tienen una complejidad excepcional", concluye el investigador. ■

Diálogo con un investigador

Roberto Juan José Williams, investigador superior del CONICET, es doctor en Ciencias Químicas graduado en la Universidad Nacional de La Plata y recibió este año la distinción Investigador de la Nación

¿Cómo surge la propuesta de organizar el Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA)?

Partió de un interés en agrupar lo poco que se estaba haciendo en Mar del Plata sobre ese tema. No había nada parecido en los institutos de CONICET en el país, así que era como un nicho, una oportunidad enorme.

¿En qué ramas de la ciencia se focalizaron?

El INTEMA se desarrolló con grupos orientados a diversos tipos de materiales. Mis líneas de investigación estuvieron vinculadas a los polímeros y sus aplicaciones en materiales plásticos. En ese momento, hace más de treinta y cinco años, había muy poca gente haciendo investigaciones relacionadas con la industria del plástico, que es muy importante.

¿Cómo adaptaron estos trabajos a las necesidades actuales de la industria?

En mi grupo estamos trabajando ahora con nanomateriales. Son polímeros nanoestructurados, es decir que tienen una morfología particular muy pequeña, a nivel de los nanómetros, y eso les da propiedades de mucho interés para aplicaciones tecnológicas. Entre las características de interés se destacan la memoria de forma y las propiedades ópticas, eléctricas o catalíticas.

¿Qué características cree que son fundamentales para ser investigador?

Básicamente, que uno lo lleve en el alma. Que le guste, que no lo tome como un trabajo donde se entra a las 9 y se sale a las 17. Creo que esa es la característica esencial que distingue a alguien que le gusta algo y lo lleva dentro del que toma la investigación como un empleo.

A lo largo de su carrera, ¿qué cree que se modificó en el ámbito científico argentino?

El cambio es notable en todos los aspectos: cambió la percepción de la investigación científica en la sociedad, la velocidad con la que se obtienen resultados, la velocidad con la que se publica y el número de revistas. El mundo cambió y la Argentina acompañó ese proceso. Creció mucho la demanda tecnológica para institutos como el nuestro que tiene una fuerte relación con empresas.

¿Cómo cree que evolucionará la ciencia argentina de ahora en más?

En los últimos diez años ha avanzado muchísimo la cantidad de becarios e investigadores que ingresaron al sistema. Se organizan más congresos nacionales, se construyen relaciones entre grupos, se modernizó el equipamiento y se incrementó la cooperación internacional. Todo esto forma una base firme para los próximos años. El futuro en ese sentido parece promisorio. ■

En un museo de la Patagonia

Chubut, cuna de los cipreses más primitivos del mundo

Investigadores del CONICET descubrieron un tesoro paleobotánico: registros fósiles en perfecto estado de conservación de miles de árboles que habitaron durante el Jurásico

Por Mercedes Benialgo

Vivieron hace unos 170 millones de años. Fueron descubiertos una década atrás, descriptos en 2008, y todavía hoy son noticia. Se trata de los fósiles del familiar más antiguo de los cipreses, encontrados en un yacimiento en Cerro Bayo, cerca de la localidad chubutense de Gastre. Su hallazgo sorprendió a la comunidad científica paleobotánica –estudiosos de los vegetales del pasado– por su magnífico estado de conservación.

Cuando se topó con este descubrimiento, el equipo de científicos del Museo Paleontológico "Egidio Feruglio" (MEF) en Trelew, Chubut, estaba en realidad buscando restos de dinosaurios. Por eso, los fósiles quedaron guardados en la institución hasta que el investigador del CONICET Ignacio Escapa los tomó como objeto de estudio.

"Las plantas fósiles estuvieron archivadas desde su hallazgo, alrededor del año 2000, hasta que comencé el análisis para mi doctorado. Y ahí se descubrió que era un nuevo género de la familia Cupresaceae", explica Escapa en referencia a las hojas y conos (piñas) fosilizados a los que bautizaron *Austrohamia*.

"Muchas características nos aseguraban que se trataba de una conífera, como son las araucarias o pinos, y particularmente una cupresácea, como los cipreses, pero otras tantas nos mostraban que el hallazgo no coincidía con ningún género conocido, por eso definimos uno nuevo", relata Escapa. El nombre completo de la especie es *Austrohamia minuta*, debido al minúsculo tamaño de los conos encontrados, que miden apenas 2 milímetros y de los que aparecieron ejemplares masculinos, que contienen polen, y femeninos, con semillas.

El equipo de investigadores realizó varias campañas y recopiló fragmentos de casi mil especímenes. El buen estado de conservación les permitió a los científicos hacer una reconstrucción muy completa de aquel árbol que vivió en la Patagonia durante el período Jurásico, cuando reinaron los dinosaurios, entre 200 millones y 145 millones de años atrás.

Tras un detallado estudio filogenético cladístico, esto es, de las relaciones evolutivas entre organismos, el género fue descripto y publicado como novedad en 2008, y rápidamente aceptado por el mundo científico. También allí quedó determinado que *Austrohamia minuta* es el linaje más primitivo de la familia, es decir, la forma más ancestral, capaz de aportar muchas pistas en cuanto a los cambios morfológicos que han experimentado las especies asociadas.

Pero la verdadera confirmación para los científicos argentinos fue en febrero pasado, cuando Gar Rothwell, profesor de la Universidad de Ohio, Estados Unidos, y referente mundial en la temática, publicó una revisión del primer registro que existe de cada familia de coníferas, entre las que se encuentran las cupresáceas. Allí, citó a los restos de *Austrohamia minuta* hallados en la Patagonia nada menos que como el antecedente más antiguo de cipreses que existe en todo el mundo.

Asimismo, en otro estudio reciente se demostró la presencia de *Austrohamia* en el Jurásico de China, lo cual indica que el género se encontraba distribuido en ambos hemisferios durante gran parte de la llamada era de los dinosaurios.

La pista de los troncos petrificados

Desde el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Josefina Bodnar, bióloga y becaria del CONICET, colabora con Escapa en el estudio de otro descubrimiento en el mismo paleobosque: troncos petrificados que probablemente correspondan a *Austrohamia minuta*.

En marzo de este año, los investigadores encontraron troncos de dos tipos: algunos caídos, de hasta un metro de longitud; y otros cuyo hallazgo es más raro, puesto que están parados, aunque sólo conservan la base y raíces, como si estuvieran cortados al ras del suelo. En todos los casos, el diámetro ronda los 40-70 centímetros.

"Por sus características sabemos que se trataba de una conífera. Ahora las láminas de corte se están analizando en microscopio óptico y electrónico", cuenta Bodnar, y explica que, por lo que se infiere, los árboles llegaron a medir unos 20 metros.

En cuanto a la edad de los fósiles, la especialista señala que "se está ajustando, pero sabemos que son contemporáneos a los restos hallados por los investigadores del MEF". "Al ser tan porosa, la madera se rellena con minerales, pero no se convierte en piedra del todo porque algo de materia orgánica queda, por eso decimos que se petrificaron", señala Bodnar, y precisa que "se sospecha que una lluvia de cenizas volcánicas cubrió este bosque, y fue lo que permitió su preservación".

Evento con empresarios

La vinculación tecnológica requiere trabajar en conjunto

Articular en el diseño de respuestas las necesidades entre socios públicos y privados es la propuesta que plantea el CONICET

En el encuentro organizado entre el CONICET y la Cámara de Comercio Argentino-Británica, que tuvo de marco al Museo Argentino de Ciencias Naturales que cumplió doscientos años de existencia, se habló de líneas de negocios, contrapartes, vinculación, y se mostró el trabajo que se lleva adelante con más de sesenta empresas líderes argentinas.

Con la participación de la Cámara de Comercio Argentino-Canadiense, la Cámara Australiana, la Cámara Sudafricana y más de cincuenta asistentes, el director de Vinculación Tecnológica del CONICET, Santiago Villa, señaló que "los futuros proyectos de desarrollo requieren de más acercamiento entre todos los actores del sistema científico y tecnológico".

Al respecto el presidente del CONICET, Roberto Salvarezza, explicó que el organismo es el más fuerte en investigación del país y sus recursos humanos cruzan transversalmente todas las instituciones que integran el sistema nacional de ciencia y tecnología.

Destacó el rol del CONICET en las áreas disciplinares y la representación nacional que alcanza su presencia. "Esto ha sido posible gracias a una política que se propuso que la ciencia debe impactar positivamente en la sociedad".

"En el marco de las políticas públicas del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, el CONICET está trabajando en la transferencia de conocimiento en todas las áreas y nos motiva a tomar contacto con todos los agentes de la sociedad", explicó Salvarezza.

En esta articulación "surge un trabajo con las empresas dispuesto a interaccionar con las necesidades de la sociedad", destacó Salvarezza, al tiempo que Villa reafirmó que "no hay estándares rígidos y modelos fijos para acordar una forma de trabajo conjunta".

El concepto de transferencia tiene un sentido direccional, pero el CONICET quiere darle un sentido de interacción, destacó el vicepresidente Santiago Sacerdote.

Para Sacerdote, el CONICET ve a las empresas como socios para afrontar desafíos, lo cual permitirá "encontrar las posibilidades para avanzar. Para ello existen herramientas de vinculación y muchas empresas las adoptan como mecanismos de desarrollo de capacidades propias".

Al momento de abrirse a las preguntas, los asistentes realizaron consultas referidas a la interpretación de los marcos normativos, los tiempos que demandan los proyectos, las necesidades de avanzar en convenios con empresas internacionales y los nuevos escenarios globales que requieren más competitividad para ser más efectivos.

En este marco, la charla facilitó conocer las demandas y los requerimientos que ven los procedimientos y las decisiones como las respuestas que está llevando adelante el CONICET.

El vicepresidente del CONICET indicó que "dos tercios de las empresas argentinas responden a capitales extranjeros".

En tal sentido, Sacerdote afirmó que el desafío en investigación y desarrollo conjunto requiere "un ejercicio orientado en analizar las líneas de las empresas en el mundo y confluir y proponer un plan de inversión en investigación, es decir, alcanzar una lógica que potencie la inversión internacional en el país, y ahí está el CONICET".

Otro de los temas que surgieron fue la explotación de petróleo no tradicional con la que cuenta el país. Al respecto, las referencias estuvieron dirigidas a aportar ideas para desarrollar tecnologías, las que requieren recursos y tiempos. Las consultas estuvieron dirigidas a conocer el lugar del CONICET y sus acciones articuladas con otros organismos y el lugar de desarrollo de nuevos conocimientos y sus impactos.

Las ideas giraron en torno a la transferencia y la participación de múltiples actores en estos proyectos estratégicos para el país, lo cual permite contar con las pymes como actores centrales. ■

Gabriel Gellon
Expedición Ciencia

Una narración en el aula: la extinción de los dinosaurios

Podría haber sido un día como cualquier otro. Pero no fue así: el mundo como era hasta entonces llegó a un abrupto y catastrófico fin. El acontecimiento crucial ocurrió en lo que hoy llamamos península de Yucatán, en México. No sabemos si era allí de día o de noche cuando, en un par de segundos, un lugar apacible se convirtió en un gigantesco cráter y en la más vasta destrucción imaginable. Sí sabemos que sucedió hace aproximadamente 65 millones de años.

Se cree que desde hacía meses o incluso años, un meteorito o quizá un cometa de unos 10km de largo se desplazaba hacia la Tierra, en curso de colisión. Ingresó en la atmósfera a una velocidad de posiblemente más de 10km por segundo y la atravesó toda en un par de segundos, hasta estrellarse contra la superficie en el sitio señalado. En su paso, produjo una compresión violenta del aire, que se calentó hasta alcanzar temperaturas de miles de grados. Su choque fue tan colosal que vaporizó gran parte de las rocas, tanto propias como de la Tierra (¡solo imaginen la temperatura necesaria para convertir roca en gases!).

El cráter resultante alcanzó unos 100km de diámetro. Toda la vida del lugar, incluidas las bacterias, desapareció en forma instantánea. Además de las rocas vaporizadas, otra masa de rocas y polvo, estimada en sesenta veces la del meteorito, salió despedida con tanta violencia que se levantó hasta fuera de la atmósfera terrestre, para volver a caer en parte como una lluvia incandescente sobre una superficie mayor y ocasionar enormes incendios. En el proceso, una nube de polvo envolvió a toda la Tierra y la sumergió en una oscuridad absoluta por meses.

Por último, en algún tiempo la mayor parte de las plantas verdes murieron debido a la falta de luz, y las semillas que sobrevivieron por tener la capacidad de permanecer a oscuras durante largos períodos no podían dar lugar a nuevas plantas por la imposibilidad de que hubiera fotosíntesis. Debido a la falta de alimento, muchos animales perecieron, lo que condujo a la extinción de una enorme cantidad de especies, como los enormes y hermosos moluscos llamados amonites y, por supuesto, los dinosaurios.

Puede parecer extraño que podamos describir con cierta precisión algo que sucedió hace tantos años. Tanto la experiencia personal como el oficio del historiador sugieren que recordamos o podemos descubrir cada vez menos de los sucesos a medida que se nos alejan en el tiempo. Con el registro geológico la incertidumbre es aun mayor. ¿Cómo sabemos, entonces, que ocurrió ese cataclismo, y que tuvo lugar de la manera que lo describimos? Obviamente, no estamos absolutamente seguros; se trata de la hipótesis más probable establecida por científicos. Pero, ¿qué nos hace pensar que haya sido así, y sobre la base de qué evidencia? Esa es otra historia: la de cómo procede la ciencia.

Los Álvarez

A diferencia del episodio del meteorito, para escribir la historia de su descubrimiento se dispone de numerosas fuentes de información, las que, seguramente, nos permitirán apreciar variadas interpretaciones del episodio al que se refieren. En esta nota comentaré la que expone en un conocido libro el geólogo estadounidense Walter Álvarez, profesor emérito de la Universidad de California en Berkeley.

La historia comenzó en la localidad de Gubbio, en Italia, donde el nombrado investigaba en la década de 1970 sobre magnetismo terrestre. Observó allí de primera mano un fenómeno muy conocido por sus colegas: la transición abrupta entre las capas geológicas correspondientes a los períodos Cretácico y Terciario, en coincidencia con la extinción de los dinosaurios.

Los períodos geológicos no son divisiones arbitrarias del tiempo sino que reflejan cambios físicos en la estructura de las rocas que componen la corteza terrestre, las cuales muestran texturas, colores y composiciones diferentes; además, contienen distintas especies fósiles. Los geólogos interpretan que los estratos rocosos se formaron por acumulación de arena, barro o sedimentos marinos a lo largo de extensos períodos. Los estratos más alejados de la superficie son los más antiguos, y los fósiles que contienen, correspondientemente, también lo son. Así, en los del Cretácico aparecen fósiles de dinosaurios y no en los del Terciario. La diferencia no se limita a dinosaurios: muchísimas otras especies, incluidas formas microscópicas, abundan en el estrato inferior o más antiguo y no en el otro. Lo abrupto de la transición entre ambos se manifiesta por el hecho de que

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo aprovechar en el aula un relato de interés científico como recurso pedagógico para estimular el estudio de temas complejos de las ciencias.

fósiles encontrados en un lugar ya no están dos centímetros más arriba.

Álvarez, como muchos geólogos antes que él, reflexionó sobre la rapidez de la transición que marca la conclusión de la era de los dinosaurios. ¿Su final fue realmente abrupto o solo parece haberlo sido por alguna peculiaridad de la manera en que se formaron los estratos? ¿Se extinguieron en verdad los dinosaurios de un golpe o se trata de una apariencia? ¿Se extinguieron muchas especies al mismo tiempo o desaparecieron de manera gradual?

Álvarez advirtió que esas son preguntas de primera magnitud, pero muy difíciles de contestar formuladas así. Es habitual en la ciencia encontrarse con una pregunta muy relevante, pero prácticamente imposible de contestar. Parte del arte de ser científico consiste en encontrar preguntas contestables o, si se prefiere, problemas resolubles. Para hacer esto decidió concentrarse en una peculiaridad de la transición Cretácico-Terciario: que entre las rocas de ambos períodos hay siempre una capa de arcilla negra de unos dos centímetros de espesor carente por completo de fósiles.

Álvarez advirtió que esa capa es llamativamente delgada y se preguntó si se habría depositado a un ritmo parecido al de otros estratos pero en muy poco tiempo o de manera extremadamente lenta en un período prolongado. La respuesta es importante porque, si fuera lo primero, la extinción habría sido masiva y abrupta; si lo segundo, en cambio, hubiesen podido acontecer extinciones individuales en períodos geológicos extensos. He ahí una pregunta respondible sobre la transición.

Hacia 1976 se puso a discutir estos problemas con su padre, Luis Álvarez (1911-1988), que había recibido el premio Nobel de física en 1968. Reflexionando sobre la cuestión, este pensó que la salida podía encontrarse midiendo la cantidad de berilio 10, un isótopo de ese elemento, en la capa de arcilla. Ese isótopo se forma en las capas altas de la atmósfera y cae sobre la superficie de manera constante. Una vez atrapado en la roca, decae lentamente emitiendo radiactividad y sus átomos se transforman. Si esa arcilla se hubiera depositado en largos períodos, contendría más berilio 10 que si lo hubiese hecho en poco tiempo.

A poco de iniciar la medición, sin embargo, se difundió la noticia de que la vida media del isótopo berilio 10 era mucho más corta que lo pensado, pues por error se la había sobreestimado. En consecuencia, en rocas de 65 millones de años de antigüedad no quedaría berilio 10 que se pudiese medir.

Sin darse por vencido, Luis Álvarez decidió usar otro método, parecido al anterior: medir la cantidad de iridio en la capa de arcilla, un elemento raro en la corteza terrestre pero más abundante en el polvo estelar (y en el centro de la Tierra). El iridio también llueve constantemente sobre nuestras cabezas a una tasa muy pequeña pero medible, de modo que una capa depositada con lentitud tiene más iridio que una depositada en tiempo breve.

La sorpresa

La medición de la cantidad de iridio en una muestra no es tarea sencilla, porque se trata de magnitudes muy pequeñas. Normalmente se las expresa en *ppb* o *partes por billón* (como en la ciencia domina la literatura en inglés, un billón significa mil millones y no un millón de millones, su significado castellano). Los Álvarez esperaban resultados del orden de 0,1ppb de iridio como indicación de que la capa de arcilla se habría depositado de manera lenta, o la ausencia de iridio detectable si lo hubiera hecho rápido. A mediados de 1978 obtuvieron el primer resultado del análisis que habían pedido, de una muestra tomada en Italia. Era cien veces mayor que el anticipado: cerca de 10ppb. Walter concluyó que algo andaba seriamente mal.

A partir de ese momento tenían dos preguntas que contestar en lugar de una. La segunda era por qué hay una cantidad tan inusitadamente alta de iridio en la arcilla de la transición Cretácico-Terciario. Imaginaron varias respuestas y las fueron descartando, salvo una, que poco a poco los fue convenciendo. Si la corteza terrestre es pobre en iridio, los meteoritos y el polvo estelar no lo son. Comparado con la superficie de la Tierra, un meteorito tiene una gigantesca concentración del elemento, y si uno suficientemente grande hubiese chocado con la Tierra, podría haber aportado el suficiente iridio como para explicar lo observado en la capa de arcilla. Y la capa se habría depositado en un lapso extremadamente breve.

La idea de la colisión del asteroide era atractiva, pero ¿cómo podía explicar una extinción masiva de especies en todo el planeta? Sin duda los animales y las plantas en el lugar de la caída o cercanos a este habrían sido aniquilados, pero no parecía haber razón para que lo fueran los organismos del otro lado del planeta.

ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO DEL METEORITO

Una forma de estimar el diámetro del meteorito que con toda probabilidad extinguió a los dinosaurios es partir de suponer que todo el iridio contenido en la arcilla de la transición Cretácico-Terciario proviene de ese meteorito. Por lo tanto, hay que dar dos pasos: primero, calcular cuánto iridio hay en esa capa en toda la Tierra, y segundo, estimar el tamaño de un meteorito que hubiese contenido esa cantidad de iridio.

La capa de arcilla en cuestión cubre, en efecto, toda la Tierra. Mide unos 2cm de espesor sobre una superficie del orden de los 500 millones de km^2, es decir, contiene unos $10^{13}m^3$ de arcilla. Si suponemos que en promedio esta tiene la misma densidad que la corteza terrestre, la que asciende a unos $3000kg/m^3$, llegamos a la conclusión de que la capa de arcilla tendría una masa aproximada de $3 \times 10^{16}kg$. De esta masa, 10ppb (con el significado anglosajón de billón) son de iridio, según se desprendió de los análisis realizados por Frank Asaro para los Álvarez, de donde se llega a que en la capa de arcilla de la transición Cretácico-Terciario hay unas 300.000 toneladas de iridio.

Los meteoritos más comunes tienen 0,5ppm de iridio, por lo que se requeriría un objeto de 6×10^{11} toneladas para contener 300.000 del elemento. Por otra parte, la densidad de los meteoritos más comunes es de alrededor de $3300kg/m^3$, lo que significa que el nuestro habría sido de unos $1,8 \times 10^{11}m^3$, o $180km^3$. Si el meteorito hubiese sido perfectamente esférico, con la fórmula del volumen de ese cuerpo [$v=(4/3)\pi r^3$] llegamos a que su radio podría haber alcanzado los 3,50km (o lo que es lo mismo, un diámetro aproximado de 7km). Esta cifra está dentro del rango de los resultados hechos públicos en el artículo de *Science* de las lecturas sugeridas. Dado que cálculos de este tipo son solo aproximados, es razonable hablar de un meteorito de unos 10km de diámetro.

Finalmente a Luis se le ocurrió que el choque pudo haber levantado una enorme nube de polvo que se esparció hasta cubrir toda la superficie del globo e impedir la llegada de luz solar a las plantas y los microorganismos fotosintéticos. Sin esa energía, las plantas verdes y esos microorganismos habrían desaparecido, con la inevitable consecuencia de la muerte de los animales un tiempo después. Parecía una hipótesis posible, pero había que encontrar evidencias que la respaldasen.

Si se lograba establecer el tamaño del meteorito, se podría buscar un cráter congruente con este tamaño. Pero este solo se podía calcular de modo indirecto y mediante una cantidad de suposiciones. Es interesante advertir que cálculos de esta índole muchas veces no requieren conocimientos por encima de los de un curso básico de física o química del secundario (véase el recuadro 'Estimación del diámetro del meteorito').

Los Álvarez y sus colaboradores dieron a conocer sus hallazgos principales y una explicación de la hipótesis del impacto, entre otras publicaciones, en la revista *Science* en junio de 1980. Sus cálculos ayudaron a encontrar evidencia que respaldara la hipótesis, como un cráter del tamaño adecuado en la península de Yucatán. El tema no está cerrado y sigue siendo objeto de investigaciones, pero la historia que relata esta nota termina aquí.

Narraciones en el aula

Hemos presentado lo anterior en forma de narración. O, más bien, de dos narraciones: primero una breve historia de qué sucedió el día en que, según nuestros conocimientos actuales, se desencadenó la extinción los dinosaurios, y luego el relato de las ideas e investigaciones de Walter y Luis Álvarez, sus observaciones, preguntas, ideas y experimentos.

La narración es un recurso educativo de primera importancia, pues permite a los alumnos construir una secuencia que da significado a las ideas que analizan. La sucesión cronológica de acontecimientos puede ser la histórica o una fabulada a los efectos educativos, pero el propósito de presentarla es dar estructura al conjunto de conceptos que el docente desea examinar.

Se puede sostener que el objeto mismo de la educación es formular narraciones, es decir, concatenaciones significativas de ideas, en contraste con una amalgama de ideas sin estructura y, por lo tanto, sin significado. Además, la narración tiene otras ventajas en el aula. Una de las más atrayentes es que aporta un elemento dramático, el cual hace más memorables a las ideas expuestas, pues la dimensión emotiva refuerza la impronta cognitiva.

La visión de un meteorito avanzando por el espacio en dirección a provocar una catástrofe inevitable, la explosión devastadora, los incendios y los fragmentos rocosos volando en todas direcciones, constituyen poderosas imágenes que acompañan y dan vigor a la reflexión. Una buena narración, para cumplir este objetivo, debe contener detalles concretos que la hagan creíble y estimulen la imaginación. Los diálogos ficticios pero verosímiles entre los personajes constituyen un buen recurso, en este caso entre, por ejemplo, padre e hijo. Si bien Walter Álvarez tenía cuarenta años cuando salió la nota de *Science*, la presencia de su padre lo pone para los estudiantes en la categoría de par generacional.

Una narración también permite reconstruir las etapas de una investigación o de la definición de una idea. En la que presentamos, Walter encuentra un problema no resuelto, procura formular preguntas contestables, consulta a un experto, ensaya con este un camino que no conduce a nada –el del berilio 10– a causa de un dato erróneo, obtiene un resultado sorprendente que se transforma en una nueva incógnita a ser estudiada. La idea de la colisión del asteroide no apareció de la nada ni de manera sencilla: costó un considerable esfuerzo mental y experimental. Nuestro relato ilustra el cometido de la imaginación en la formulación de hipótesis y teorías científicas, y no tiene el solo propósito de dar color a una clase que de otro modo podría provocar tedio. Las anécdotas no son algo secundario sino una forma de transmitir contenidos centrales en una educación básica en ciencias, como son la apreciación de la manera en que estas avanzan.

A partir de un relato vinculado con una cuestión atrapante, como la extinción de los dinosaurios, se puede guiar a los estudiantes a que realicen búsquedas bibliográficas por su cuenta y saquen sus conclusiones. Se lo puede utilizar igualmente como punto de partida para estudiar asuntos como las eras geológicas, el registro fósil, las técnicas básicas de la investigación geológica o paleontológica, la evolución de la vida, la extinción de especies y tantos otros.

Nuestra historia sugiere también interesantes ramificaciones hacia la química, como la composición de la corteza terrestre y sus diferencias con el centro de la Tierra o con otros objetos celestes, la índole los isótopos, la forma de establecer de qué elementos se compone un cuerpo, el concepto de concentración y las diferencias entre situaciones en que se manejan porcentajes, ppm y ppb.

Las mediciones de iridio que mencionamos fueron realizadas por el químico Frank Asaro, de la Universidad de California en Berkeley, quien desarrolló la técnica de análisis de activación de neutrones para determinar la cantidad de iridio en las muestras. Traerlo en algún momento al relato abriría nuevos panoramas porque llevaría a cuestiones, como la estructura de los núcleos atómicos, en apariencia poco vinculadas con la extinción de los dinosaurios.

Todos estos temas requieren preparación y estudio por parte del docente, pero los beneficios para los estudiantes pueden ser considerables. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ÁLVAREZ W, 1998, *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, Crítica, Barcelona.

ÁLVAREZ W *et al.*, 1980, 'Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction', *Science*, 4448: 1095-1108, accesible (junio de 2012) en *http://users.unimi.it/paleomag/ geo2/ Alvarez+1980.pdf.*

SCHULTE P *et al.*, 2010, 'The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary', *Science*, 327, 5970: 1214-1218.

SCHWEICKART RL *et al.*, 2004, 'El remolcador de asteroides', *Investigación y Ciencia*, 328: 38-45.

Gabriel Gellon

Doctor en ciencias biológicas (PhD), Universidad de Yale.

Presidente, Asociación Civil Expedición Ciencia.

Mariana Koppmann

El almíbar y los caprichos de la cristalización

La ciencia en la cocina

Muchas recetas de alimentos dulces requieren preparar un almíbar, que es azúcar disuelto en agua. Así, debe agregarse almíbar a claras batidas para hacer merengue italiano; con almíbar se bañan tortas, se hacen recubrimientos (*fondant*) y turrones, y se elaboran salsas para postres, dulces y mermeladas.

Adviértase que dijimos merengue *italiano* (figura 1), que es distinto del francés o del suizo. Se hace agregando a las claras azúcar en forma de almíbar a 118°C. De esa forma, el calor del almíbar calienta el batido lo suficiente como para eliminar posibles bacterias y el resultado no necesita ser luego cocinado. El merengue suizo, en cambio, se hace agregando el azúcar a las claras antes de batir, calentando suavemente hasta unos 45°C y batiendo solo cuando el azúcar se haya disuelto totalmente. La variante francesa, por su lado, se usa para preparar merengues secos (figura 2): el azúcar se agrega de a poco a medida que se bate, con la lentitud necesaria para que se vaya disolviendo y no impida que las claras se levanten. Ni el merengue francés ni el suizo son adecuados para

Figura 1. Merengue italiano usado como coronamiento de una torta.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La ciencia en la cocina: un poco de química ayuda a entender los cambios que tienen lugar en los alimentos que cocinamos.

Figura 2. Merengues secos.

preparaciones sin suficiente cocción posterior, pues terminan crudos.

Como se aprecia, el almíbar es una preparación sencilla, que solo utiliza azúcar, agua y calor. Pero su aparente sencillez es engañosa, ya que a veces se forman cristales indeseados, que arruinan la preparación. Otras veces, cuando necesitamos que aparezcan, no lo hacen. La mejor manera de enterarnos por qué ocurre lo anterior, y evitar que suceda lo que no queremos, es comprender algo del mundo del azúcar, en el que encontraremos la explicación de situaciones que a primera vista creeríamos caprichosas.

Para la química, el azúcar común o de mesa se llama *sacarosa* y se obtiene principalmente de la caña de azúcar (figura 3) o de la remolacha azucarera, mediante un proceso industrial. Para el consumidor es irrelevante de qué planta provenga, porque el producto final, en forma de cristales, es idéntico e integra el gran grupo de los hidratos de carbono o carbohidratos, cuyas moléculas se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno, los dos últimos en la misma proporción que el agua (de ahí el nombre).

Hay muchas clases de azúcares, cuyos nombres normalmente terminan con *osa* y se clasifican por número de unidades básicas de carbono, hidrógeno y oxígeno que componen sus moléculas. Los más abundantes en la naturaleza son los constituidos por cinco o seis unidades; se denominan respectivamente *pentosas* o *hexosas*. Esos son los azucares químicamente más simples y se los llama monosacáridos. De este tipo son la *glucosa*, la *fructosa* o azúcar de la fruta y la *galactosa*. Por otro lado, los disacáridos son compuestos

Figura 3. Zafra de caña de azúcar en Jujuy. Foto José Luis Rodríguez

formados por la unión de dos monosacáridos; entre ellos están la mencionada *sacarosa*, la *maltosa* (presente en las harinas) y la *lactosa* (propia de la leche). El esquema al pie al pie de la página muestra la estructura química de los seis anteriores e indica que el azúcar de mesa está formado por una molécula de glucosa y una de fructosa.

Los azúcares constituidos por varios monosacáridos se denominan *oligosacáridos*, y si los forman muchos, *polisacáridos*, entre los cuales están el almidón de las plantas y el glucógeno encontrado en los músculos. Los polisacáridos, aunque están formados por azúcares, no llevan ese nombre, porque no tienen gusto dulce: sus grandes moléculas no estimulan el sensor de dulce de nuestras papilas gustativas.

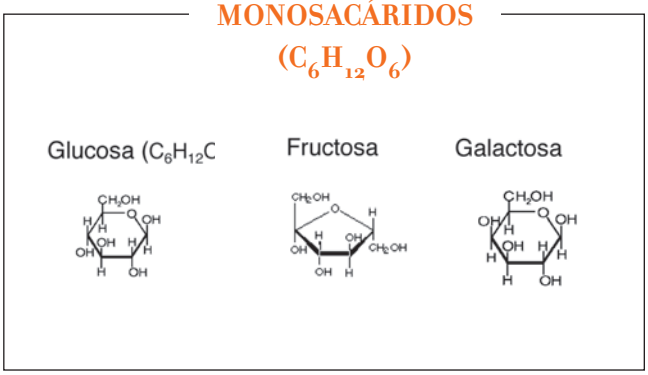
Una de las características del azúcar de mesa que más influye en las preparaciones culinarias es su alta solubilidad en agua, la que se incrementa con la temperatura, como lo muestra la tabla de la página siguiente, con datos que hemos publicado en nuestro *Manual de gastronomía molecular: el encuentro entre la ciencia y la cocina* (Siglo XXI, 2009).

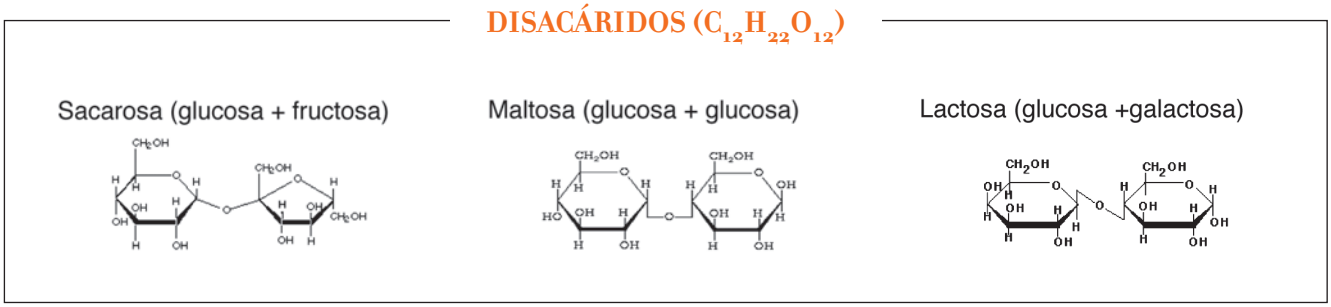
Si se agrega azúcar por encima de los límites que marca la tabla para cada temperatura, puede ocurrir que se disuelva, en cuyo caso estaremos en presencia de una solución sobresaturada, es decir una solución con más soluto disuelto del que teóricamente debería tener, lo que la hace altamente inestable. Ante cualquier perturbación, la cantidad excedente cristalizará y, como consecuencia, tendremos una solución saturada con cierto número de cristales sin fundir. Lo mismo sucederá si a una solución saturada se le baja la temperatura: empezará por quedar sobresaturada y terminará con cristales que antes no estaban (figura 4). En un caso así, la cantidad de azúcar que cristalizará será justamente el exceso para la temperatura de que se trate. Si por alguna razón queremos estimular esa cristalización, podemos agitar la solución, agregar un granito de azúcar o introducir alguna irregularidad, como un palillo de madera.

Figura 4. Cristalización del azúcar al enfriar un almíbar.

Si, en vez, queremos evitar la cristalización podemos agregar glucosa, que es parte de la molécula de sacarosa pero no puede integrar los cristales, por lo que impide que se formen. También podemos agregar una sustancia ácida mientras calentamos, por ejemplo, unas gotas de jugo de limón o de vinagre. Esto hará que la sacarosa se disgregue en glucosa y fructosa, sus componentes, lo que igualmente obstaculizará la cristalización,

La forma más sencilla de preparar un almíbar con la concentración exacta que indique una receta es mezclar el azúcar con agua en exceso, calentar hasta evaporar el agua sobrante y detener su calentamiento al llegar a dicha concentración. Se determina que se ha llegado a ese punto midiendo la temperatura, pues el punto de ebullición del agua





Temperatura de la solución (ºC)	Gramos azúcar que pueden disolverse en 100 cm^3 de agua	% de azúcar en la solución saturada (en peso)
0	179,2	64
10	190,5	66
20	203,9	67
30	219,5	69
40	238,1	70
50	260,4	72
100	487,2	83
115	669,0	87
118	809,20	89

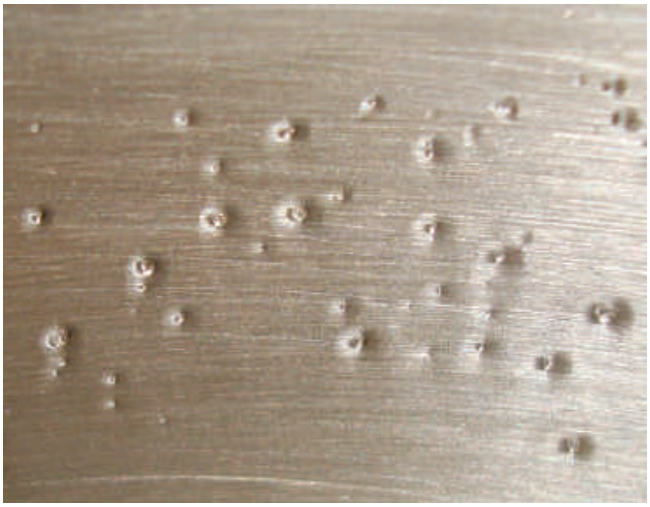


Figura 6. Cristales de azúcar formados en la pared de una olla.

aumenta a medida que lo hace la concentración de azúcar. Esa característica de las soluciones se llama *ascenso ebulloscópico*.

Para hacer merengue italiano o crema de manteca, las recetas prescriben que se debe agregar a las claras el almíbar a la temperatura indicada al comienzo de 118ºC. A esa temperatura, como lo muestra la tabla, en 100 gramos de almíbar habrá 89 de azúcar y 11 de agua (u 11cm^3 de esta). La densidad del almíbar será de 1,475g por cm^3, con la consistencia de una bola blanda. Medir la temperatura a medida que se va evaporando el agua es mucho más práctico que intentar disolver 89 gramos de azúcar en solo 11cm^3 de agua (una cucharada de sopa). Podríamos preguntarnos por qué dan las recetas tanta importancia a agregar el azúcar en forma de almíbar y a una determinada temperatura. La razón es que de esta forma logramos agregar gran cantidad de azúcar disuelta, que se mezcla fácilmente con los demás ingredientes, y que además adicionamos poca agua. Agua en exceso haría que tanto la espuma en el caso del merengue italiano, como la emulsión en el de la crema de manteca, fueran más inestables. Un merengue con exceso de agua agregada con el almíbar perderá más rápidamente su conformación espumosa.

Figura 5. Almíbar de la consistencia adecuada.

En muchas recetas, en vez de la temperatura se indica la consistencia del almíbar enfriado (figura 5), que puede ser hilo, bola blanda, bola media o bola dura. Para verificar la consistencia se debe enfriar rápidamente una muestra poniéndola sobre la mesada de mármol o en agua fría. Ese enfriamiento brusco impide que las moléculas disueltas de azúcar se junten y cristalicen, y hace que queden en un nuevo estado llamado vítreo.

Durante la preparación de almíbares hay que cuidar que no cristalicen antes de llegar a la concentración deseada. Para ello es recomendable revolver con una cuchara de madera o plástica, materiales que son malos conductores de calor y, por ende, no lo quitan a la preparación. Las cucharas metálicas, en cambio, son excelentes conductoras de calor, lo quitan enseguida del almíbar y le hacen bajar la temperatura, lo cual incrementa el riesgo de que el azúcar cristalice. También conviene remover los cristales de azúcar del borde (figura 6) de la olla con un pincel embebido en agua, pues si caen dentro del almíbar facilitan la formación de otros cristales, un fenómeno que se llama siembra. CH

Mariana Koppmann

Bioquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.
Presidenta de la Asociación Argentina de Gastronomía molecular.
mkoppmann@marianakoppmann.com

Suscríbase al conocimiento

CIENCIA HOY

Si lo apasiona la ciencia
y el descubrimiento...
no puede dejar pasar
esta oportunidad

Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5º A
(C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330

Suscríbase por internet en el sitio
http://www.cienciahoy.org.ar/suscripcion/index.php
usando la opción Dinero Mail *(solo Argentina)*

Nicolás Bonadeo, Jefe del Departamento de Física Aplicada y Ensayos No Destructivos.

130 profesionales, 249.600 horas de investigación al año.

Desde el Centro de Investigación Industrial de Tenaris en Campana se mejoran los procesos en planta mientras se estudia e investiga el producto junto a usted. Para que pueda contar con la mejor respuesta de nuestros productos hasta en la más exigente de sus operaciones. Porque para que pueda llegar lejos, necesitamos estar más cerca.

Tecnología en el producto. Innovación en el servicio.

www.tenaris.com/argentina

Tenaris