

CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 22 número 130 diciembre 2012 - enero 2013

Ejemplar en la Argentina \$29

El lago NAHUEL HUAPI erupciones, deslizamientos y tsunamis

Mamíferos carnívoros sudamericanos

Premios Nobel 2012

Guía del cielo nocturno



Foto G. Villarosa



ISSN: 0327-1218

9 770327 121009 00130

CIENCIAHOY

¡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/>

CIENCIAHOY

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



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.cienciahoj.org.ar>

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

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

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 LIMÍTROFOS 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

Nº 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 Sabato, 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.



www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario



Diciembre 2012-enero 2013

Volumen 22 - Número 130

ARTÍCULO

- 7 MAMÍFEROS CARNÍVOROS TERRESTRES EN AMÉRICA DEL SUR**
Un experimento de aislamiento geográfico, conexiones continentales y millones de años
Francisco Prevosti, Analía M Forasiepi y Natalia Zimicz

Los mamíferos carnívoros de América del Sur descienden de aquellos que ingresaron en el continente sudamericano desde América del Norte cuando se produjo la conexión entre las dos Américas. ¿Qué les ocurrió a los mamíferos carnívoros que existían en América del Sur a su llegada?

EDITORIAL

- 4 DESAFÍOS DEL SECTOR ACADÉMICO**



ARTÍCULO

- 17 SOBRE VACUNAS, MONOS, AZÚCARES Y CÁNCER**
Valeria I Segatori y Mariano R Gabri

El ácido neuramínico glicolilado es un azúcar que forma parte de muchos tejidos animales, en los que aparece como resultado de la actividad de una enzima llamada CMAH, encontrada en todos los mamíferos salvo el ser humano. Su ausencia es el resultado de mutaciones genéticas que tuvieron lugar en los albores de la aparición del género *Homo*. Sin embargo, se ha encontrado este azúcar en las células tumorales de personas afectadas por diversos tipos de cáncer, lo cual las diferencia de las células sanas y, por lo tanto, se presenta como un blanco terapéutico seductor para el desarrollo de nuevas terapias oncológicas.

CIENCIA EN EL MUNDO

- 23 LOS PREMIOS NOBEL 2012**
por Leandro Arozamena, Federico Weinschelbaum, Juan Pablo Paz, Fernando Pitossi, Carlos Davio y Omar Coso

Como todos los años desde 1901, la Fundación Nobel anunció en Estocolmo el otorgamiento de los premios Nobel de, según sus denominaciones tradicionales, medicina o fisiología, física, química, literatura y la paz. A ese grupo se agregó la economía en 1968, con el premio Banco de Suecia en memoria de Alfred Nobel, que ha pasado a considerarse equivalente a los otros tres en ciencias. Los cuatro se comentan en este número.

31 EL DORADO DE LA CARNE

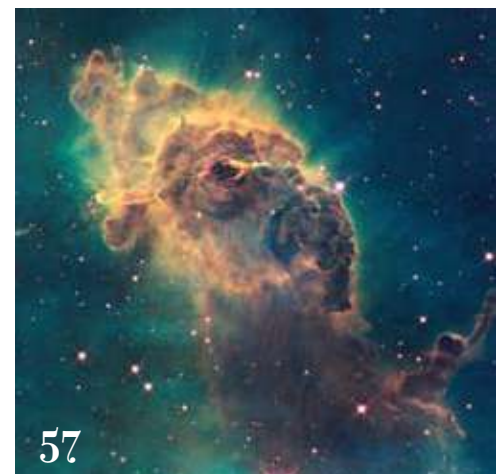
Mariana Koppmann

Se ha constatado que si se prueban dos trozos de carne asada a la misma temperatura y durante igual tiempo, a uno de los cuales se le haya dorado o sellado el exterior y al otro no, se percibe que el primero es más jugoso que segundo. De ahí salió la convicción generalizada de que para conseguir una carne jugosa se debe dorarla, porque esa acción sella sus poros y retiene el jugo en su interior. La afirmación anterior es falsa, pero sin embargo el resultado de la degustación no lo es. ¿Cómo se explica la paradoja?

38 LA ESFERA ARMILAR

Alejandro Gangui

Antiguas representaciones tridimensionales de la esfera celeste, llamadas esferas armilares, sirvieron a astrónomos griegos, árabes y renacentistas como instrumentos para realizar observaciones y calcular algunas magnitudes astronómicas. Hoy vemos esas esferas como mecanismos sumamente ingeniosos que, además, resultan de utilidad en un contexto escolar para que los alumnos entiendan el itinerario histórico de nuestra comprensión de la geometría del cosmos, y aprecien que la visión de Copérnico superó pero no descalificó la de Ptolomeo.



ARTÍCULO

43 CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES Y MINERÍA EN LA ARGENTINA

Carlos Reboratti

Como documentación de base para permitir un análisis de las ventajas y los inconvenientes de promover la minería moderna en la Argentina, luego de un artículo introductorio sobre la índole de las explotaciones a cielo abierto, publicado en el número anterior, en este se presenta una faceta que ha ido tomando creciente importancia: las protestas y la oposición a la minería por parte de muy diversos grupos sociales, y la ausencia de diálogo y negociación entre partidarios y opositores de la actividad.

ARTÍCULO

51 EL LAGO NAHUEL HUAPI: un registro de erupciones, deslizamientos y tsunamis

Débora Beigt, Gustavo Villarosa, Valeria Outes, M Andrea Dzenoletas y Eduardo A Gómez

El lecho del lago Nahuel Huapi es un ambiente altamente dinámico desde el punto de vista físico. Las pronunciadas pendientes costeras y la gran profundidad que caracterizan a éste y a otros lagos de origen glaciario de la región favorecen la ocurrencia de deslizamientos subacuáticos. La situación geológica de la región andina norpatagónica, expuesta a frecuente actividad sísmica y volcánica, nos permite comprender el origen de estos fenómenos, que a su vez pueden provocar grandes olas o tsunamis como el que destruyó el puerto de Bariloche en 1960.

ASTRONOMÍA

57 GUÍA DEL CIELO NOCTURNO

Enero-junio de 2013
por Jaime García

Desafíos del sector académico

En las últimas dos décadas se fue produciendo en la Argentina una sucesión sostenida de reformas institucionales y operativas en el mundo de la educación superior y de la investigación científica. Como consecuencia de esos cambios, a poco que se mire se podrán advertir bastantes diferencias entre la situación actual de lo que podríamos denominar el sector académico y la que tenía, digamos, en 1990.

Las innovaciones respondieron más a un propósito global de modernización que a un plan explícito, y se concretaron mediante iniciativas tomadas en distintos momentos por, en primer lugar, el gobierno nacional, ya sea por su rama legislativa, que en 1995 sancionó la ley 24.521 de educación superior, o por el ministerio correspondiente del Poder Ejecutivo. A resultas de esas iniciativas, y a veces también de manera independiente de ellas, las universidades y los organismos de investigación variaron muchas veces sus concepciones y sus prácticas, o se fundaron nuevas instituciones, por ejemplo, el cinturón de recientes universidades nacionales instaladas en el Gran Buenos Aires.

Entre las reformas que contribuyeron a modificar el panorama podemos citar, entre otras, la puesta en marcha de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), en un esfuerzo por promover la racionalidad y la calidad de los estudios y diplomas de posgrado; el programa de incentivos a docentes investigadores de universidades nacionales, orientado a apuntalar la creación de conocimiento en estas; el programa nacional de becas universitarias, para estudiantes carentes de medios económicos; los ajustes institucionales del Conicet y la creación de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, acciones dirigidas a sostener la investigación científica sistemática, y la constitución del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, unida a una sensible ampliación de los recursos oficiales canalizados a esa actividad, que permitieron hacer cruciales inversiones en edificios y equipos.

El resultado es que en estos momentos tenemos un sector dinámico, con la capacidad de emprender y concretar iniciativas importantes, pero al mismo tiempo sumamente dispar e incapaz de solucionar viejos problemas, como los que aquejan a las mayores y más antiguas universidades nacionales.

Esa disparidad salta a la vista en el mundo universitario, que se compone en estos momentos de unas 120 instituciones: 54 universidades nacionales, una provincial, 46 privadas, 19 institutos universitarios, una universidad extranjera y una internacional. Esa constelación incluye a la Universidad Nacional de Córdoba, fundada hace unos cuatrocientos años en tiempos coloniales; a la casi bicentenaria Universidad de Buenos Aires, y a la centenaria Universidad Nacional de La Plata, pero incluye también a instituciones que aún no cumplieron su primera década de vida. Abarca desde entidades que cuentan su alumnado en decenas de miles hasta otras que solo atienden a un puñado de cientos; desde algunas que realizan investigación científica de alta calidad internacional y aportan nuevo conocimiento en las ciencias, las humanidades y la tecnología, hasta otras que solo imparten en modesta escala la capacitación aceptada para profesiones tradicionales o nuevas.

De la información estadística oficial se concluye que el sistema incorporó en estos momentos a cerca de 1,7 millones de estudiantes, lo que representa alrededor del 40% de la población entre dieciocho y veinticinco años, una proporción relativamente alta en el contexto internacional. Pero la tasa de graduación no alcanza al 20%, un valor marcadamente bajo en ese contexto, y todavía inferior si solo se cuenta a la universidad pública, al punto de ser cuestionable la definición de estudiante que se aplica en las estadísticas sobre esta.

También llama la atención la diversidad de requisitos de ingreso y de títulos de pregrado y grado que se otorgan. Esos títulos ascienden a unos 1600, unas diez veces más que España, que tiene 15% más población, y no guardan relación unos con otros, de suerte que diplomas semejantes de dos universidades pueden muy bien referirse a capacitaciones muy distintas, algo que hace extremadamente difícil la movilidad estudiantil entre universidades y prácticamente imposibles las comparaciones nacionales e internacionales y el intercambio de alumnos con universidades de otros países, incluidos los de la región.

Considerando esta situación, ¿cuáles son los desafíos que enfrenta hoy el sistema académico argentino? Si recordamos las tres funciones básicas de cualquier sistema académico –investigación, extensión o transferencia y en-

señanza—, quizá se podría afirmar que la primera parece estar cumpliéndose sin dificultades mayores. Hay sin duda cuestiones que resolver, como la búsqueda del mejor equilibrio entre el fomento de las áreas de investigación tradicionales en el país (en determinadas ramas básicas de las ciencias biomédicas y fisicoquímicas) y el apoyo a otras disciplinas, en especial algunas orientadas a tecnologías promisorias para el crecimiento económico; y el equilibrio entre la investigación impulsada por la búsqueda desinteresada del conocimiento en un marco de libertad académica, y aquella orientada a resolver problemas sociales diversos. También hay discusión en torno a la ubicación de las humanidades y las ciencias sociales, lo mismo que sobre variadas cuestiones más técnicas, como los sistemas de evaluación de la calidad, de asignación de recursos, de incorporación de investigadores y de promoción. Pero sea esto como fuere, no se perciben mayores dudas conceptuales en cuanto al cometido de la investigación ni sobre la dirección en que conviene marchar para cumplirlo.

Un juicio benigno como este es más difícil de emitir para la segunda función, la de extensión o transferencia: la universidad argentina simplemente no está ayudando todo lo necesario a la sociedad a comprender los variados y complejos problemas que esta enfrenta, que con frecuencia son objeto de artículos en nuestra revista, y que suscitan intensos debates en ámbitos políticos y los medios. Abarcan tanto cuestiones sociales como la educación elemental, la pobreza o la violencia, hasta otras de contenido más tecnológico como la minería, la energía nuclear, los organismos genéticamente modificados o la contaminación ambiental, para solo citar algunas. Y también se refieren a procurar la transmisión del conocimiento tecnológico en la dirección de desarrollos de interés económico, un área en que se están comenzando a ver signos de progreso.

En materia de enseñanza las cosas son bastante más complejas, puesto que si bien habría amplio acuerdo en diagnosticar sus deficiencias, no parecen abundar las ideas innovadoras en cuanto al modo de solucionarlas. Permítasenos, pues, unas reflexiones sobre esta cuestión, empezando por señalar que se daría un saludable paso adelante si se partiera de aceptar que la indicada gran diversidad institucional del sistema universitario no solo es un hecho irreversible sino, también, una característica positiva. En otras palabras, en todo el mundo, los sistemas de educación superior abarcan un universo más complejo y variado que el definido por el clásico concepto de universidad de raíz medieval ampliado en Berlín en el siglo XIX por Wilhelm von Humboldt con la inclusión de la investigación científica.

En un editorial publicado en 1995 (‘¿Hacia dónde va la universidad?’, *Ciencia Hoy*, 6, 31: 7-8) adelantamos esta idea. Esbozamos allí la conveniencia de que pudieran convivir en nuestro sistema universitario (aunque no necesariamente en cada una de sus instituciones) por lo menos

tres formas de educación superior: (i) la enseñanza e investigación de las ciencias, las humanidades y la tecnología, propias de la mencionada tradición académica occidental; (ii) la capacitación para las profesiones liberales mayores, que requiere una sólida base en dichas disciplinas académicas y que históricamente fue el centro de la universidad argentina; y (iii) la capacitación para ejercer todo tipo de profesiones más nuevas, que se logra con programas más cortos y académicamente menos exigentes, y que a menudo se obtiene también en instituciones de enseñanza terciaria no universitaria. Reiteramos estas ideas en otro editorial hecho público en 2006 (‘La universidad argentina hoy’, *Ciencia Hoy*, 16, 92: 8-9).

Acoger y valorar la diversidad institucional del sistema universitario no es incompatible con buscar una mayor eficiencia y racionalidad de los programas educativos y de los títulos otorgados. En ese sentido, parece aconsejable considerar si sería factible que las universidades aplicaran a sus programas de grado, con todas las salvaguardias del caso, un ordenamiento que condujera a lograr una oferta educativa menos anárquica.

Muy cercana a esta cuestión están otras dos que también merecen ser consideradas: conseguir en el sistema un razonable equilibrio de disciplinas, orientaciones y especialidades, y estimular una mejor alineación de la formación para las profesiones liberales con sus respectivos mercados de trabajo. Se suele señalar que por lo común egresan de las universidades abultados números de contadores, administradores de empresas o psicólogos, mientras que son pocos por comparación los ingenieros, matemáticos o físicos, un resultado sobre cuya razonabilidad, por lo menos, se han expresado dudas. De la misma manera, son frecuentes las afirmaciones acerca de las reducidas destrezas que exhiben médicos y abogados recién egresados cuando se enfrentan con sus primeros compromisos profesionales.

En todo lo relacionado con la enseñanza, creemos, residen los mayores desafíos actuales del sector académico argentino. La diversidad del sistema evidencia vigor y creatividad, pero al mismo tiempo llevó a resultados caóticos, además de ineficientes. Parte de esos desafíos consisten en introducir el mínimo requerido de orden sin afectar esa creatividad, ni la libertad académica, es decir, la libre elección de los estudiantes de la orientación que prefieran, y de las instituciones de enseñar lo que crean más adecuado. Para esto posiblemente convenga revisar cómo funciona el sistema de aprobación de títulos que dan acceso a profesiones reguladas, como las dos últimas que mencionamos, trabajar con las asociaciones profesionales y experimentar con fórmulas nuevas.

En síntesis, este es un buen momento para contemplar el panorama, apreciar los cambios de los últimos veinte años, evaluar sus efectos y esbozar líneas de la acción futura. **CH**



JORGE
BLANCO
2007

Francisco Prevosti

Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia

Analía M Forasiepi

Museo de Historia Natural de San Rafael

Natalia Zimicz

Universidad Nacional de Salta

Mamíferos carnívoros terrestres en América del Sur

Un experimento de aislamiento geográfico, conexiones continentales y millones de años

Los ecosistemas terrestres de América del Sur actualmente albergan alrededor de 46 especies de mamíferos carnívoros. Todas las especies sudamericanas de félidos, cánidos, úrsidos, prociónidos y mustélidos son descendientes de las especies que ingresaron al continente en tiempos geológicos relativamente recientes. La diversidad de morfologías es amplia, con formas adaptadas a la carrera (cursoriales), terrestres generalizadas, trepadoras, arborícolas y nadadoras de los cursos de agua. Los carnívoros en América del Sur alcanzan tamaños diversos que rondan desde el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) con unos 175kg, hasta la coma-

dreja de cola larga (*Mustela frenata*) con unos 120gr. Si bien en otros continentes la disparidad de las masas corporales es mucho mayor, con animales de 300kg de porte como el oso polar, los rangos alcanzados en nuestro continente no son menos significativos y más aún si consideramos las formas extinguidas como el oso *Arctotherium angustidens* con casi una tonelada, o el tigre dientes de sable *Smilodon populator* de unos 300kg. En el caso de la dieta, los carnívoros sudamericanos incluyen una amplia gama que se enmarca entre formas omnívoras como los coatíes (*Nasua nasua*) y los ositos lavadores (*Procyon cancrivorus*), a hipercarnívoros como los pumas (*Puma concolor*) y los yaguaretés (*Panthera onca*).

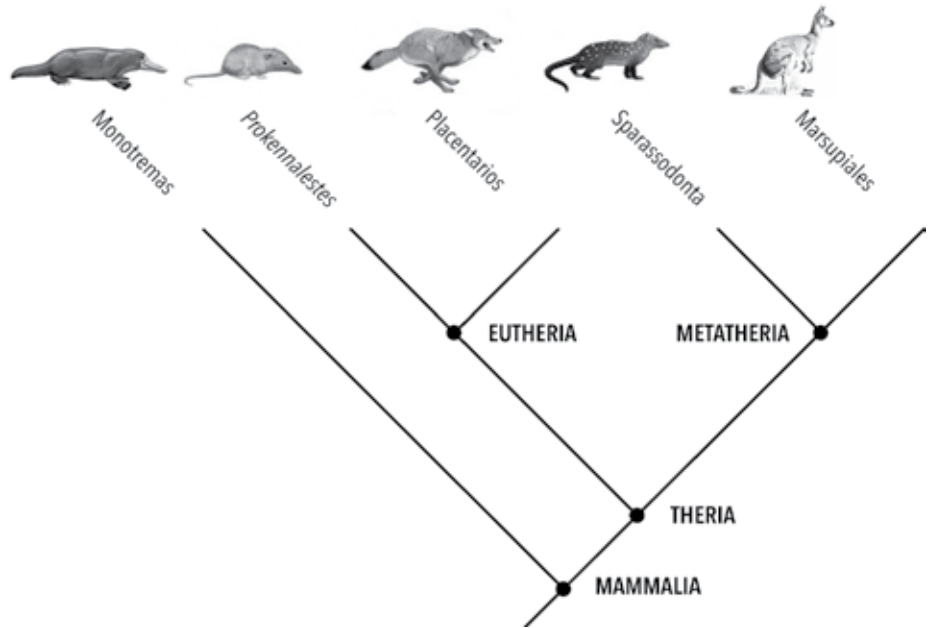
¿DE QUÉ SE TRATA?

Este relato da cuenta de las relaciones existentes entre los mamíferos carnívoros placentarios, que llegaron desde América del Norte por el actual istmo de Panamá, y los mamíferos carnívoros esparasodontes que existían en el continente sudamericano a su llegada. Se discute las causas probables de la extinción de estos últimos.

El orden *Carnivora* es el grupo taxonómico que incluye a los mamíferos placentarios (figura 1) con inclinaciones carnívoras en su dieta. Los carnívoros representan un grupo natural y se conocen desde el Paleoceno (60Ma), siendo los registros más antiguos hasta ahora conocidos el de los viverrávidos (animales parecidos a las martas). Sin embargo, los primeros restos fósiles relacionados a los grupos vivos (por ejemplo los cánidos, félidos y

osos) se registran desde el Eoceno tardío (33-36Ma). Los fósiles muestran una mayor diversidad tanto en número de especies como en tipos adaptativos que las formas vivientes, ya que contaron con morfotipos hoy extinguidos como los tigres dientes de sable, osos de rostro corto y nutrias gigantes, entre otros. La historia evolutiva de los carnívoros se centró en los continentes del hemisferio norte y en menor medida en África. Varios de los linajes

Figura 1. Árbol filogenético (cladograma) mostrando las relaciones de parentesco de los euterios y los metaterios. El término *Metatheria* se refiere a los marsupiales y a todos los taxones que están más cercanamente relacionados a los marsupiales que a los *Eutheria*; *Marsupialia* incluye al ancestro común más cercano de las especies vivientes de marsupiales y a todos sus descendientes. De forma similar, *Eutheria* incluye a los placentarios y a todos los taxones cercanamente relacionados, mientras que *Placentalia* incluye al ancestro común más cercano de las especies vivientes y a todos sus descendientes. Una diferencia clave entre marsupiales y placentarios radica en el tipo de reproducción. Los marsupiales nacen a los pocos días de gestación (entre once y quince días en el caso de didéridos y dasiúridos) y en un estadio ontogénico poco avanzado, por lo cual completan el desarrollo adheridos al pezón, en el interior del marsupio materno. Los placentarios, al contrario, pasan un tiempo mucho más prolongado en el útero materno (nueve meses para nuestra especie) y por lo tanto nacen en un estadio de desarrollo más avanzado.



RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA DE LOS CONTINENTES

Hacia mediados del Mesozoico las masas continentales estaban agrupadas en dos grandes supercontinentes: Laurasia al norte y Gondwana al sur. Hacia fines del Mesozoico medio comenzó la fracturación de Gondwana, que separó paulatinamente América del Sur de África para ir tomando su configuración actual.

En el Eoceno temprano existía aun una comunicación terrestre entre América del Sur y Antártida dado que la completa separación y total apertura del pasaje de Drake ocurrió en el Eoceno más tardío. Para el límite Eoceno-Oligoceno, las temperaturas en América del Sur

disminuyeron drásticamente con relación a la formación de la corriente circumpolar antártica y con esto se produjo un importante cambio en los ecosistemas terrestres sudamericanos. Desde el Eoceno más tardío y hasta el Plioceno, América del Sur conformó un "continente isla" separado de las otras masas continentales. Durante el Plioceno, hace unos 3Ma, se formó un puente terrestre, el actual istmo de Panamá, comunicando América del Norte y América del Sur. Este puente propició los movimientos faunísticos entre ambas Américas y dio fin al aislamiento geográfico sudamericano que caracterizó la mayor parte del Cenozoico.

CRETÁCICO: 95 Ma



EOCENO: 45 Ma





Figura 2. *Prothylacynus patagonicus* (*Sparassodonta* del Mioceno). Su talla habría sido similar a la de un lobo y habría tenido la capacidad de trepar a los árboles.

sufrieron una diversificación muy marcada y en muchos casos estuvo restringida a un único continente. En América del Sur, los primeros registros del orden *Carnivora* datan del Mioceno tardío (entre 7 y 8Ma) y corresponden a prociónidos del género *Cyonasua* que se extinguió para el Pleistoceno medio (entre 1,8-0,5Ma). Sobre la base de reconstrucciones paleogeográficas del Mioceno (ver recuadro ‘Reconstrucción paleogeográfica de los continentes’), los prociónidos debieron haber ingresado al continente por un corredor de islas en el Caribe. De todos modos, los movimientos faunísticos más importantes entre América del Norte y América del Sur se produjeron luego del establecimiento de un corredor de tierra uniendo las dos Américas, que corresponde al actual istmo de Panamá, hace unos 3Ma. Durante el Plioceno tardío y el Pleistoceno temprano (entre 2,9-1,8Ma) ingresaron a América del Sur los hurones y los zorros, y recién en el Pleistoceno medio ingresaron el resto de los grupos taxonómicos como los osos, los félidos, los zorrinos, otros prociónidos y los grandes cánidos. Una vez en América del Sur, los grupos radiaron y dieron origen a las diversas especies nativas que pueblan nuestro continente.

Para la llegada de los carnívoros placentarios, América del Sur estaba poblada por otros mamíferos de hábitos carnívoros: las especies del orden *Sparassodonta*. Los esparasodontes son un grupo natural de metaterios extinguidos cercanamente relacionados a los marsupiales vivientes, como las cuicas o zarigüeyas (*Didelphis albiventris*) o los canguros australianos (*Macropus rufus*). Los esparasodontes se encuentran muy cercanamente relacionados al grupo natural que incluye a todos los marsupiales vivientes pero no son parte de este (figura 1). Muy probablemente, el linaje de los esparasodontes y el de los marsupiales se originó y radió en América del Sur a comienzos del Cenozoico o incluso a partir del Cretácico tardío. Los esparasodontes son registrados desde el Paleoceno hasta su extinción en el Plioceno. Durante aproximadamente 55Ma, los esparasodontes fue-

ron el grupo de mamíferos que ocupó el nicho de los carnívoros en América del Sur, nicho que además fue compartido por otros animales no mamíferos como grandes aves corredoras (*Phorusrhacidae*), cocodrilos terrestres (*Sebecidae*) y serpientes constrictoras gigantes (*Madtsoiidae*). Los esparasodontes son un grupo estrictamente sudamericano y sus restos fósiles fueron hallados en Colombia, Brasil, Bolivia, Chile, Uruguay y Argentina. En particular en nuestro territorio se ha recuperado el mayor número de restos fósiles de este grupo que representan casi el 80% de la diversidad taxonómica total conocida, compuesta por 58 especies válidas. Entre estas se destacan morfotipos y tamaños diversos, desde animales pequeños similares a una zarigüeya (como *Sipalocyon gracilis*) hasta formas de gran tamaño, similares a un lobo (como *Prothylacynus patagonicus*; figuras 2), un oso (como *Arctodictis munizi*; figuras 3 y 4) y otros con morfologías inexistentes en los ecosistemas actuales como el dientes de sable marsupial (*Thylacosmilus atrox*; figuras 5 y 6). Las similitudes morfológicas observadas en algunas especies de esparasodontes y de carnívoros placentarios han hecho que varias de las especies aparezcan citadas como clásicos ejemplos de evolución convergente (ver recuadro ‘Convergencias y homologías’), como es el caso entre el *Thylacosmilus* y el *Smilodon* o tigre dientes de sable (figuras 7 y 8).

Relaciones ecológicas entre los carnívoros de América del Sur

Las primeras hipótesis sobre las relaciones ecológicas entre los esparasodontes y los carnívoros placentarios sugirieron que el ingreso de estos últimos a América del Sur habría resultado en un solapamiento de nichos, con la consecuente competencia y la extinción de los esparasodontes. Esta idea fue sostenida durante décadas, y estuvo influenciada por el pensamiento de científicos provenientes del hemisferio norte, quienes sostenían que las faunas holárticas estaban “mejor adaptadas” que las del sur, sometidas durante gran parte del Cenozoico a un aislamiento geográfico.

Los ecólogos utilizan diversos modelos para entender las relaciones entre dos grupos evolutivamente independientes y de morfologías convergentes ocupando una misma área geográfica en un mismo momento. Entre las variables ecológicas analizadas tienen en cuenta el número total de especies involucradas, las masas corporales, el tipo específico y la composición de la dieta, los patrones de actividad (diurnos, crepusculares, nocturnos) y el tipo de sustrato donde se mueven (arborícolas, trepadores, terrestres), entre otras. Para analizar el caso de los esparasodontes y los miembros del orden *Carnivora*, las variables a analizar son más restringidas ya que los primeros están extinguidos, y por lo tanto los datos se basan en estimaciones realizadas a partir del registro fósil. Para comparar ambos grupos desde una perspectiva ecológica, se calculó



Figura 3. *Arctodictis munizi* (*Sparassodonta* del Mioceno). De acuerdo con la estructura de la mandíbula y de los dientes, este esparasodonte habría tenido la capacidad de romper objetos duros como los huesos de las presas.

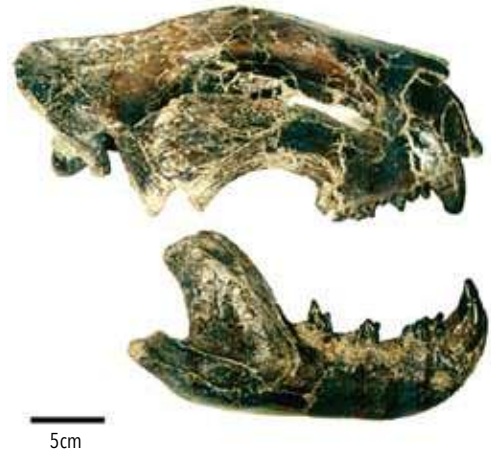


Figura 4. *Arctodictis munizi*. Cráneo y mandíbula en vista lateral.

Figura 5. *Thylacosmilus atrox* o dientes de sable marsupial (*Sparassodonta* del Plioceno). Es uno de los esparasodontes más extraordinarios, con los caninos superiores hipertrofiados y una prolongación ósea en la mandíbula que le habría servido de protección a los caninos.

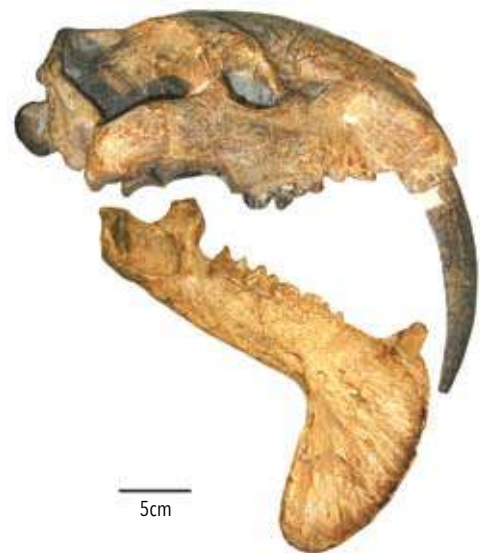


Figura 6. *Thylacosmilus atrox*. Cráneo en vista lateral.



Figura 7. *Smilodon populator* o tigre dientes de sable (*Carnivora*). Habitó en América del Sur durante el Plioceno. Este felino, caracterizado por los caninos hipertrofiados convertidos en dagas, habría alcanzado una masa corporal de 300kg.

CONVERGENCIAS Y HOMOLOGÍAS

Muchos animales poseen características que a simple vista parecieran ser iguales aunque no lo son, mientras que otras veces sucede lo contrario. Las alas de un pterosaurio y las de un murciélago son estructuras que tienen una forma similar dada su función y utilizamos un mismo nombre para denominarlas, pero han surgido independientemente en los dos grupos taxonómicos. Dado que los pterosaurios no comparten un ancestro en común cercano con los murciélagos, entonces los dos tipos de alas son estructuras *convergentes* o *análogas*.

Al contrario, el brazo de una zarigüeya, un mono, el ala de un murciélago y la aleta de una foca o una ballena son estructuras con un aspecto general diferente dado que realizan funciones específicas y distintas cada una de ellas. Sin embargo, todas tienen un origen en común cercano, es decir, un antepasado próximo que tuvo un brazo generalizado del cual derivaron todas estas morfologías. Estas son estructuras *homólogas*. Las homologías son la clave para descubrir los patrones evolutivos ya que indican la existencia de antepasados comunes.

la diversidad contando las especies reconocidas que fueran coetáneas o que compartieron un lapso temporal equivalente (figura 9). Asimismo, se estimaron la masa corporal y la dieta utilizando índices y ecuaciones matemáticas. De esta forma, el tamaño corporal fue dividido arbitrariamente en pequeños (por debajo de 7kg), medianos (entre 7 y 15kg) y grandes (mayor a 15kg), y la dieta en hipercarnívoros (especies que se alimentan mayormente de otros vertebrados), mesocarnívoros (especies con dietas mayormente compuestas por insectos, frutas y vertebrados) y omnívoros (especies que incorporan insectos y frutas en mayor proporción que vertebrados).

El análisis de los datos sugirió que la diversidad de los esparasodontes es relativamente baja (cinco especies) para la mayor parte del Cenozoico y en particular durante el Paleógeno, lo que sin duda está reflejando un sesgo en el registro fósil. El pico máximo de diversidad se registra en el Mioceno temprano con once especies (figura 10); posteriormente la riqueza de especies disminuye progresivamente hasta el Plioceno temprano, donde se registran los últimos representantes del grupo (figura 9). Los esparasodontes incluyen especies mayormente hipercarnívoras, con denticiones altamente especializadas para una dieta carnívora. Las especies mesocarnívoras u omnívoras son

muy poco abundantes. Para el Mioceno tardío, momento en el que se registra el ingreso de los carnívoros en América del Sur, los esparasodontes estaban representados por siete especies. La mayoría eran hipercarnívoros de tallas pequeñas a grandes. La única excepción fue *Stylocynus paranensis*, un omnívoro o mesocarnívoro de gran tamaño posiblemente de aspecto similar al aguará-guazú. Para el Plioceno, y previo a su extinción, la diversidad de los esparasodontes está restringida a solo dos especies: el dientes de sable marsupial (*Thylacosmilus atrox*), un hipercarnívoro de gran tamaño, y un hipercarnívoro de pequeño tamaño (*Borhyaenidium riggsi*).

Los primeros carnívoros placentarios registrados en América del Sur datan del Mioceno tardío-Plioceno temprano y están representados por tres o cuatro especies de prociónidos. Estos tenían dietas omnívoras y eran de pequeño tamaño (*Cyonasua*, con unos 6kg; figura 11); tallas mayores se reconocen recién para el Plioceno temprano más tardío (*Chapalmalania*, con una masa mayor a los 22kg; figura 12). Para el Plioceno tardío, momento en el cual los esparasodontes dejaron de ser registrados, la diversidad de carnívoros se incrementó con el registro de los primeros hipercarnívoros y mesocarnívoros de pequeño y mediano tamaño (por ejemplo, hurones y zorros). Sin embargo, no es hasta el Pleistoceno medio cuando el incremento fue mayor, con el registro de unas veinte especies nuevas que representan a todas las familias que reconocemos actualmente en la fauna sudamericana. Este incremento en diversidad continuó hasta el Holoceno (figura 9).

Para sostener la hipótesis de que la extinción de los esparasodontes fue consecuencia de un desplazamiento competitivo con los carnívoros placentarios debería existir superposición temporal de tipos ecológicos semejantes. Sin embargo, hay un lapso de casi 0,8Ma entre el primer registro de pequeños hipercarnívoros placentarios (*Galictis sorgentinii*) y los últimos pequeños esparasodontes (i.e., *Borhyaenidium riggsi*), un lapso aproximado entre 1,2 a 2Ma entre los primeros registros de hipercarnívoros medianos a grandes (*Smilodon populator*) y los últimos grandes esparasodontes (*Thylacosmilus atrox*). Si se consideran las formas omnívoras de gran talla, existe un lapso mayor a 1Ma entre el primer omnívoro placentario (*Chapalmalania*)

Figura 8. *Smilodon populator*. Fotografía del esqueleto.



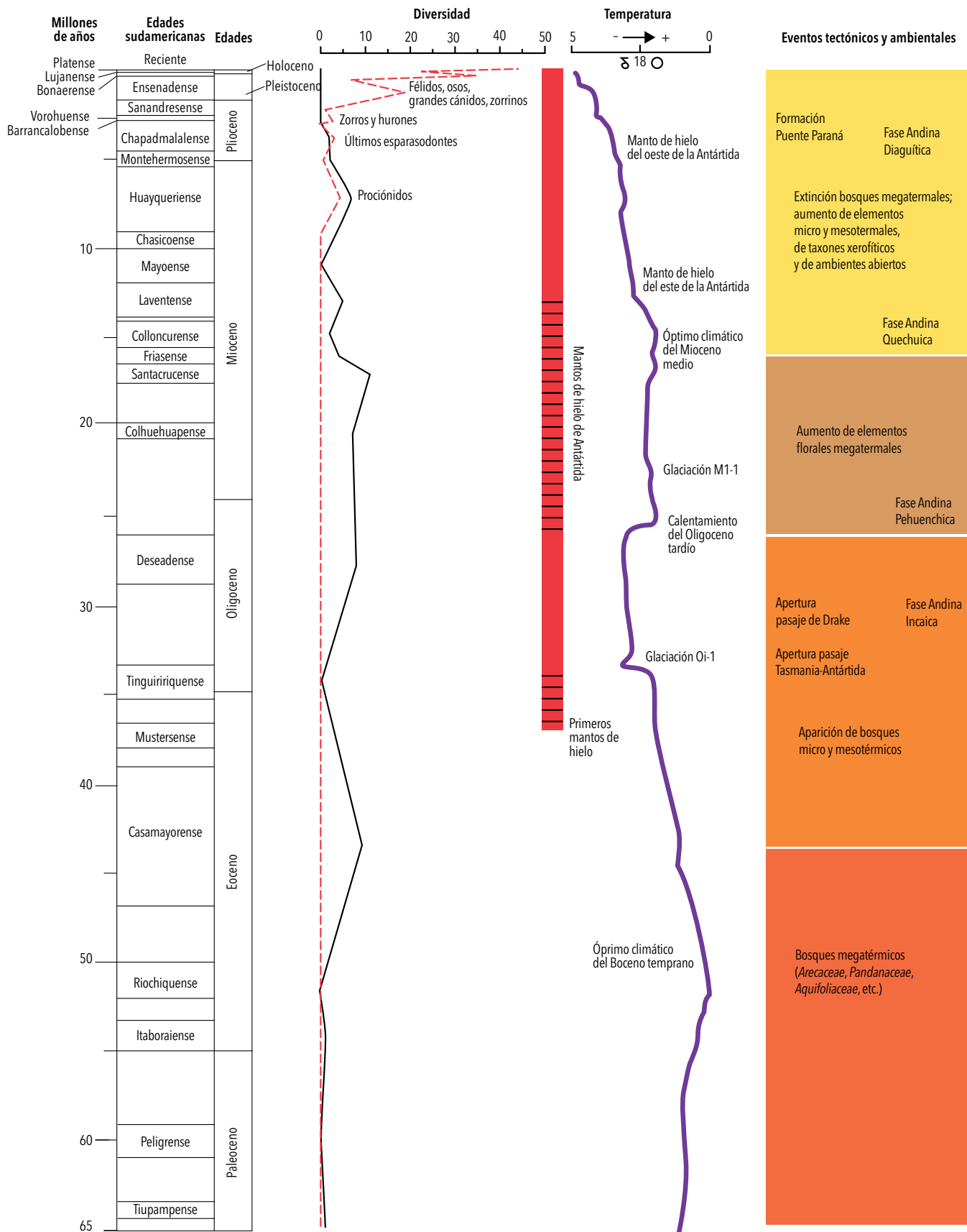


Figura 9. Escala temporal y diversidad de carnívoros placentarios y esparasodontes durante el Cenozoico de América del Sur (a la izquierda) e inferencias paleoclimáticas y ambientales (a la izquierda). La diversidad está representada de acuerdo con el número de especies conocidas para cada edad (la línea negra continua representa a los *Sparassodonta* y la roja punteada a los *Carnivora*). El solapamiento de las curvas sugiere que las fluctuaciones climáticas (estimadas a partir de las oscilaciones en las proporciones de los isótopos estables O^{16} y O^{18} detectados en el agua) y los principales eventos diastróficos (es decir, los fenómenos geotectónicos involucrados en el levantamiento de la cordillera de los Andes) han influenciado en la curva de diversidad de los esparasodontes.

y el último omnívoro esparasodonte (*Stylodycynus paranensis*).

En síntesis, los datos analizados sugieren que no hubo una superposición temporal de tipos ecológicos equivalentes entre los esparasodontes y los carnívoros sino por el contrario existieron importantes lapsos temporales mediando entre cada uno de ellos. Además, la declinación de los esparasodontes fue gradual y se inició previamente al arribo de los placentarios a América del Sur. De esta forma se desprende que la extinción de los esparasodontes no estuvo relacionada con la llegada de los mamíferos carnívoros a América del Sur, contrariamente a lo sostenido en las hipótesis clásicas. La relación entre los esparasodontes y los carnívoros debiera tomarse como un fenómeno de reemplazo oportunista (ver recuadro) en el que los carnívoros placentarios ocuparon, y ocupan hasta nuestros días, el nicho ecológico dejado vacante por los esparasodontes.

Extinción de los *Sparassodonta*

La historia evolutiva de los esparasodontes y su gran radiación adaptativa durante el Cenozoico se interdigita con la evolución de la geografía del continente desde fines del Mesozoico, la evolución de otras poblaciones de vertebrados con los que sin duda tuvieron un vínculo trófico dependiente y las restricciones biológicas propias del grupo.

Según la evidencia del registro fósil, la declinación de los esparasodontes data de fines del Mioceno hasta el Plioceno. Como se mencionó anteriormente, no hay evidencias de que el arribo de los carnívoros placentarios a América del Sur haya sido la causa de su extinción. Hipótesis alternativas sostuvieron que las grandes aves *Phorusrhacidae* (figura 13) y algunos reptiles como las serpientes *Madtsoiidae* (figura 14) o los cocodrilos *Sebecidae* (figura 15) podrían haber jugado un rol importante en su declinación y posterior extinción. Sin embargo, los tres grupos tienen una diversidad menor que la de los esparasodontes durante el Cenozoico y los dos últimos se extinguieron antes que los esparasodontes. En particular los fororracos compartieron con los esparasodontes un pico de diversidad durante el Mioceno temprano, con seis especies conocidas para ese intervalo. Posiblemente la extinción de ambos grupos haya sido sincrónica o solo algo posterior. La evidencia aquí sintetizada permite des-



Figura 10. Afloramientos del Mioceno temprano en la provincia de Santa Cruz. La riqueza fosilífera de estos depósitos los ubica entre los más importantes de América del Sur. El estudio de estas unidades y sus fósiles data de más de un siglo y remite a científicos argentinos destacados como Florentino y Carlos Ameghino y Francisco P Moreno, entre otros.

DESPLAZAMIENTO COMPETITIVO Y REEMPLAZO OPORTUNISTA

Según algunos autores, como el paleontólogo MJ Benton, un fenómeno puede considerarse un desplazamiento competitivo si: (1) un grupo taxonómico natural o monofilético (es decir que incluye un ancestro en común y a todos sus descendientes) declina en diversidad mientras que un segundo grupo aumenta, y (2) estos cambios en diversidad son independientes de variaciones climáticas o ambientales. El punto (1) requiere un solapamiento temporal, geográfico y ecológico entre los grupos considerados en el proceso.

Al contrario, un reemplazo oportunista implica que (1) un grupo taxonómico monofilético se diversifica luego de la extinción del otro; (2) la velocidad de reemplazo es rápida; (3) los dos grupos no son hallados juntos o el grupo que será reemplazado se encuentra cuando el otro no es dominante, y (4) el reemplazo puede estar asociado a cambios climáticos o ambientales.

cartar las hipótesis de desplazamiento competitivo entre los esparasodontes y los restantes grupos de depredadores como las aves, las serpientes y los cocodrilos. Por el contrario, los datos sugieren la existencia de una notable y bien definida separación de nichos ecológicos entre los depredadores continentales de América del Sur durante el Cenozoico. Considerando el caso particular de los más pequeños esparasodontes hipercarnívoros, existe un solapamiento temporal con marsupiales de similar dieta y talla corporal de la familia *Didelphidae* (grupo que reúne las comadrejas vivientes) durante el Mioceno tardío-Plioceno. La radiación de estos marsupiales carnívoros podría haber influenciado en la declinación de los más pequeños esparasodontes, aunque no explica la extinción del grupo.

Entonces, resulta necesario analizar otros eventos que pudieron ejercer su influencia en la desaparición de los



Figura 11. *Cyonasua brevirostris* (*Carnivora*) fue un prociónimo de tamaño pequeño, posiblemente similar al coatí actual aunque de hocico corto registrado en América del Sur, en rocas del Mioceno tardío. Estos registros del Mioceno representan además los más antiguos conocidos para el grupo de los *Carnivora* en América del Sur.



Figura 12. *Chapalmalania altaefrontis* (*Carnivora*) fue un prociónimo del tamaño de un oso, robusto y de dieta omnívora que habitó América del Sur durante el Plioceno.



Figura 13. *Kelenken guillermoi* (*Phorusrhacidae*) y *Borhyaena tuberata* (*Sparassodonta*). Los *Phorusrhacidae* fueron aves cursoriales de hábitos carnívoros. Sin duda ocuparon nichos ecológicos distintos del de los esparasodontes. Coexistieron por casi 55Ma y el apogeo de ambos grupos se dio en el mismo momento.



Figura 14. La familia *Madtsoiidae* incluye serpientes gigantes constrictoras, de talla mucho mayor que las boas y anacondas actuales.

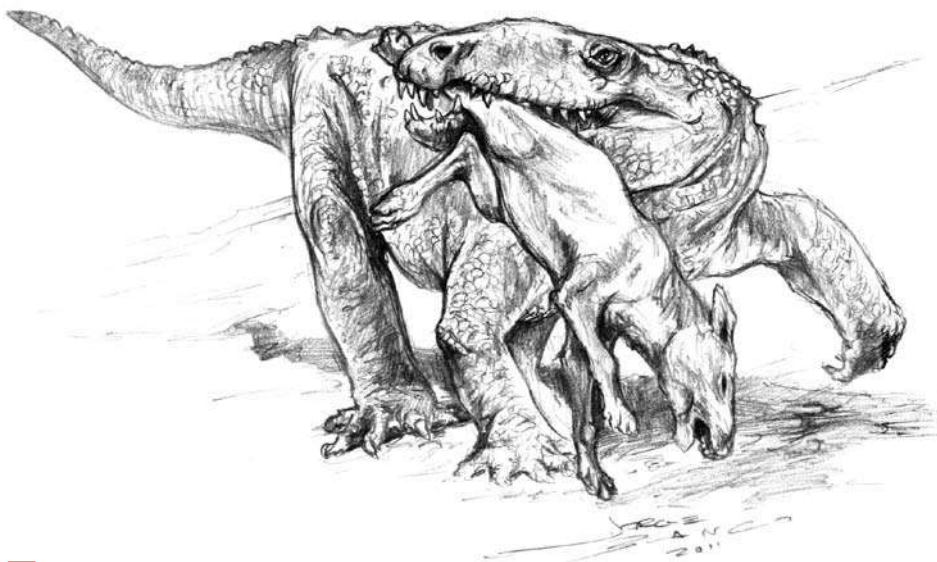



Figura 15. *Sebecus* sp. (Eoceno), cocodrilo que alcanzó tallas gigantescas. A diferencia de los cocodrilos actuales, los sebécidos habrían tenido una mayor independencia de los cuerpos de agua, ocupando la tierra firme.

esparasodontes. Desde el Oligoceno temprano las temperaturas globales disminuyeron gradualmente. La completa separación de Antártida de los continentes vecinos durante el Eoceno tardío, con la apertura del pasaje de Drake y del mar de Tasmania, y su emplazamiento en el Polo Sur, ocasionó una reorganización de las corrientes marinas. Previamente, las aguas que circulaban a lo largo de la costa de la Antártida se dirigían hacia el norte por las costas de América del Sur y Australia y retornaban a la Antártida como aguas cálidas tropicales. La ubicación de la Antártida en el Polo Sur desencadenó el origen de una corriente fría cerrada conocida como la corriente circumpolar antártica. Esta corriente propició la formación de las capas de hielo permanente en la Antártida, el enfriamiento de los océanos australes y concomitantemente de los climas globales, particularmente marcado en el extremo austral de América del Sur (figura 9).

Asimismo, desde el comienzo del Cenozoico, América del Sur estuvo afectada por los pulsos de levantamiento de la cordillera de los Andes, que ocasionó profundos cambios climáticos en el continente (figura 9). Entre estos cabe mencionar un intenso vulcanismo y los cambios en el índice de precipitaciones, con un marcado decrecimiento en el extremo sur de América del Sur a partir del Mioceno tardío-Plioceno y el consecuente emplazamiento de la vegetación xerófila. Estas modificaciones tuvieron sin duda un efecto importante en la estructura y composición de las comunidades de vertebrados continentales. Varios grupos de ungulados nativos (por ejemplo, *Astrapotheria*, *Leontinidae*, *Adianthidae* y *Notohippidae*) se extinguieron para el Mioceno medio, mientras que

otros grupos de herbívoros experimentaron una radiación adaptativa (por ejemplo, *Megalonychidae*, *Megatheriidae* y *Mylodontidae*). Este hecho motivó a algunos autores a postular que para mediados del Plioceno existió en América del Sur un recambio faunístico. Cualquier modificación en la comunidad de vertebrados sin duda debió afectar al gremio de los predadores y por lo tanto la extinción de los esparasodontes podría ser una parte de este proceso más general de recambio. Los esparasodontes fueron un grupo compuesto mayormente por hiperespecialistas y en toda especialización extrema subyace una elevada vulnerabilidad a las perturbaciones del medio que se traduce en tasas de extinción superiores a aquellas de las especies más generalizadas. En este contexto, pareciera acertado considerar que la declinación de los esparasodontes debiera analizarse en el marco del contexto general de la biota de América del Sur, donde no solo uno sino varios factores tanto biológicos como físicos se conjugaron y resultaron en la extinción de este grupo de metaterios depredadores.

Actualmente el número de especies que se extinguen anualmente es muy elevado y en los últimos quinientos años se han extinguido alrededor de noventa mamíferos. Se cree que muchas de las especies que desaparecen anualmente ni siquiera han sido identificadas por la comunidad científica. A todo esto hay que sumarle el cambio climático que según las predicciones modernas traerá aparejadas modificaciones ecológicas muy marcadas. Comprender el pasado nos da las herramientas para predecir situaciones futuras y nos provee de respuestas tentativas ante acontecimientos similares. 

LECTURAS SUGERIDAS

FORASIEPI AM, MARTINELLI AG y BLANCO JL, 2007, *Bestiario fósil. Mamíferos del Pleistoceno de la Argentina*, Albatros, Buenos Aires.

PREVOSTI EJ, FORASIEPI AM y ZIMICZ N, 2012, 'The evolution of the Cenozoic terrestrial mammalian predator guild in South America: competition or replacement?', *Journal of Mammalian Evolution*, DOI 10.1007/s10914-011-9175-9.

SIMPSON GG, 1980, *Splendid Isolation. The Curious History of South American Mammals*, Yale University Press, New Haven.

TONNI EP y PASQUALI RC, 1999, 'El estudio de los mamíferos fósiles en la Argentina', *CIENCIA HOY*, 9 (53): 22-31.

Los dibujos de este artículo fueron realizados por Jorge Luis Blanco. El de página 6 fue publicado en Forasiepi AM, 2007, *Bestiario fósil, mamíferos del Pleistoceno de la Argentina*, Albatros, Buenos Aires.

Francisco J Prevosti



Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador independiente del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.
Profesor de la Universidad Nacional de Luján.
protocyon@hotmail.com

Analía M Forasiepi

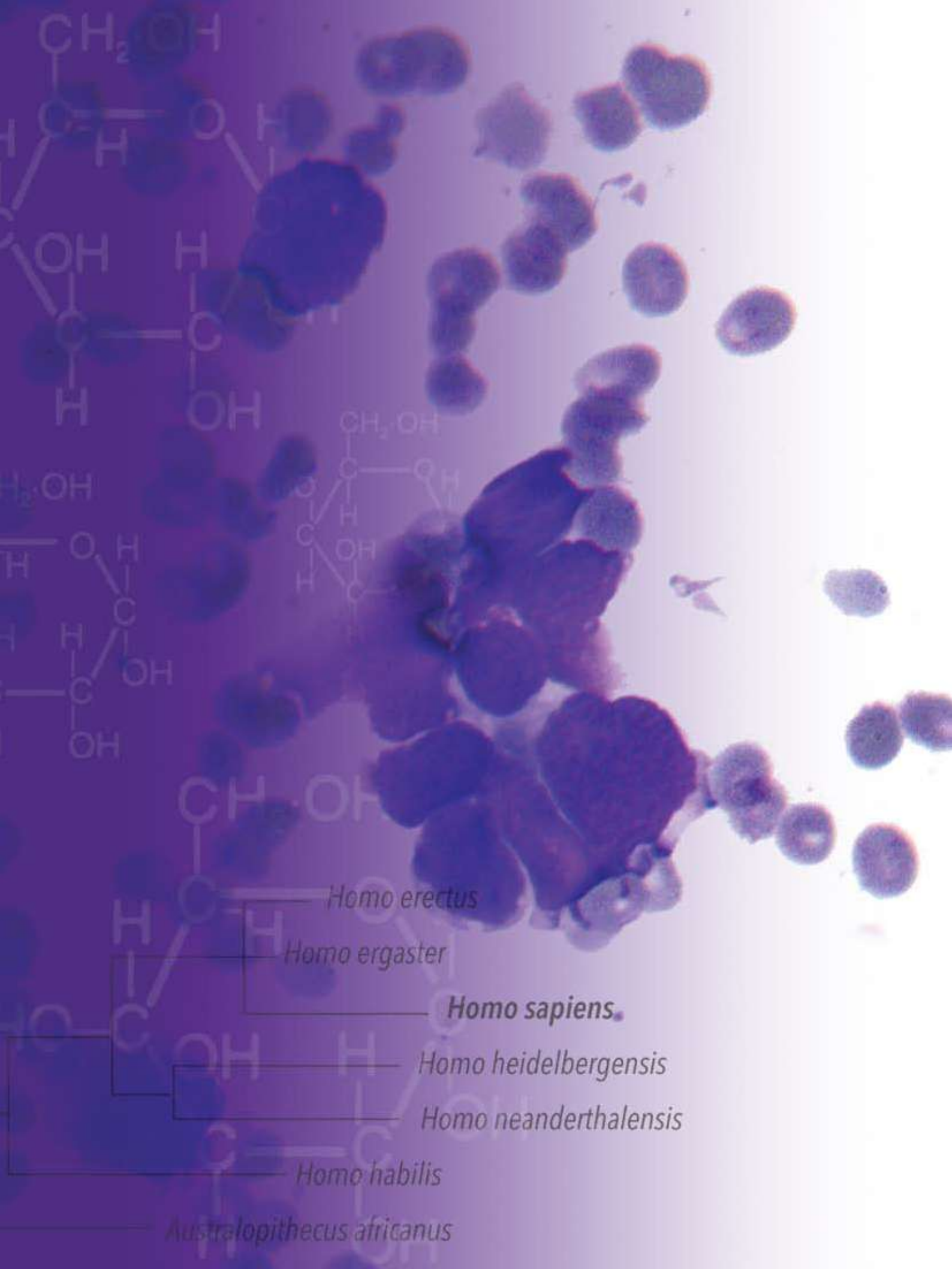


PhD, University of Louisville.
Investigadora adjunta del Conicet en el Museo de Historia Natural de San Rafael.
borhyaena@hotmail.com

Ana Natalia Zimicz



Doctora en ciencias naturales, UNLP.
Becaria posdoctoral del Conicet en la Universidad Nacional de Salta.
natalia.zimicz@gmail.com



Homo erectus

Homo ergaster

Homo sapiens

Homo heidelbergensis

Homo neanderthalensis

Homo habilis

Australopithecus africanus

Valeria I Segatori y Mariano R Gabri

Laboratorio de Oncología Molecular,
Universidad Nacional de Quilmes

Sobre vacunas, monos, azúcares y cáncer

Vacunas

En 1796, Edward Anthony Jenner (1749-1823) actuaba como médico rural en su pueblo natal de Berkeley, condado de Gloucestershire, en el sudoeste de Inglaterra lindando con Gales. Realizó entonces una serie de experimentos por los que expuso a vecinos a una variante no mortal de la viruela del ganado bovino. Los así tratados mostraron signos de la enfermedad, pero en ningún caso vieron comprometida su vida y, más importante, según las observaciones del médico —que no parece haber sido el primero en hacerlas—, resultaron refractarios a volver a contraerla. Jenner dedujo que la primera exposición a la dolencia les generó una suerte de protección y denominó a ese proceso *vacunación*, en alusión a la viruela de origen vacuno. Las experiencias de Jenner son consideradas parte de los pasos iniciales de lo que hoy llamamos *inmunología* y

constituyeron el comienzo de una historia cuyo final fue la erradicación de la viruela en el mundo.

Aun cuando Jenner no lo sabía, el organismo se defiende naturalmente del ingreso de microbios, fenómeno que se empezó a comprender a partir de los estudios de Louis Pasteur (1822-1895). La defensa del organismo es el resultado de la acción de un complejo mecanismo natural que incluye moléculas, células y tejidos, que hoy llamamos *sistema inmunológico* o *sistema inmune*, y tiene la capacidad de aprender, a lo largo de la vida del individuo, a diferenciar lo propio de lo ajeno.

El sistema inmunológico no actúa solo contra microorganismos externos o células infectadas por virus o bacterias intracelulares; también lo hace, en ocasiones, contra células propias. Ese es el caso en el que se desencadenan *enfermedades autoinmunes* o reacciones de hipersensibilidad. Y también se pone en marcha cuando células

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las membranas de las células de nuestro cuerpo están tapizadas por azúcares de distintos tipos, salvo uno llamado *ácido neuramínico glicolilado*, que, sin embargo, aparece en los seres humanos en la superficie de células tumorales.

normales y sanas inician el proceso de transformación maligna que puede derivar en un cáncer.

Monos

En noviembre de 1974, el paleoantropólogo Donald Johanson, entonces en el Museo de Historia Natural de Cleveland, llamó Lucy a un individuo de sexo femenino cuyo esqueleto había desenterrado en una fosa de la depresión de Afar, en Etiopía. Con el 40% de los huesos recuperados, resultó ser el más completo de trece esqueletos semejantes encontrados contemporáneamente en el área. Lucy vivió hace 3,2 millones de años, en un período geológico llamado *Plioceno*, y, según la clasificación taxonómica actual, perteneció a la especie *Australopithecus afarensis*. Su hallazgo marcó un hito para la paleoantropología, ya que se trató del más antiguo homínido conocido hasta ese momento.

Se llama homínidos a los integrantes del género *Homo*, al que pertenece nuestra especie (*Homo sapiens*), y a los de varios géneros extinguidos (*Ardipithecus*, *Australopithecus*, *Kenyanthropus*, *Orrorin*, *Paranthropus*, *Sahelanthropus*). Los homínidos más los grandes monos (chimpancés, orangutanes y gorilas) forman el grupo de los homínidos (véase S Ivan Perez, 'Origen y evolución de los humanos', *Ciencia Hoy*, 129: 28-36).

En 1992, Tim White, de la Universidad de California en Riverside, colega de Johanson en las excavaciones de Afar, llevó la línea genealógica humana 1 millón de años más atrás con su hallazgo en el río Awash medio, situado también en Etiopía, del esqueleto fosilizado de otro homínido al que llamó Ardi (clasificado taxonómicamente como *Ardipithecus ramidus*), de más de 4 millones de años de antigüedad.

Seguramente, tanto Ardi como Lucy hayan tenido en vida en estado activo (o expresados) muchos y variados genes que hoy se encuentran tanto en nosotros, los humanos, como en los restantes homínidos. Sin embargo, aunque las diferencias genéticas entre los grupos de primates superiores son llamativamente pequeñas, bastan para que determinen grupos taxonómicos claramente diferentes. Todas esas diferencias tienen una base genética, y mientras que algunas redundan en rasgos o características físicas fácilmente perceptibles por cualquier observador, otras no se aprecian por la observación sino que se determinan aplicando técnicas específicas de análisis, como las que provee la biología molecular.

Azúcares

En lenguaje químico, el nombre *azúcar* se aplica a una extensa gama de compuestos, solo uno de los cuales es

la sustancia dulce, cristalina y blanca que en el habla cotidiana llamamos azúcar o *azúcar de mesa*. La unidad estructural de los azúcares de los químicos es un compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno (los dos últimos en la proporción de dos a uno, como en el agua) denominado *hidrato de carbono*, *carbohidrato* o *sacárido*, que normalmente tiene entre tres y seis carbonos.

Algunos azúcares están conformados por una sola unidad estructural y se denominan *monosacáridos*. Otros son moléculas más complejas, que conforman cadenas llamadas *disacáridos*, *trisacáridos*, *oligosacáridos* y *polisacáridos*. El nombre químico de los azúcares normalmente termina en *osa*. Entre los monosacáridos más conocidos están la *glucosa*, la *fructosa* o azúcar de la fruta y la *galactosa*. Por su parte, el azúcar de mesa es un disacárido que los químicos denominan *sacarosa*.

Se llama *glicocáliz* a la suma de estructuras azucaradas arborescente asociadas con la cara externa de la membrana celular o plasmática de ciertas células eucariotas, como aquellas que conforman los epitelios. Por la naturaleza altamente higroscópica de los azúcares, anteriormente se aceptaba que el glicocáliz cumplía como única función retener agua para prevenir la deshidratación celular. Sin embargo, hoy se entiende que sus distintos elementos participan activamente en regular la relación de la célula tanto con su entorno (o *microambiente tisular*) como con otras células y agentes patógenos, por lo que el glicocáliz tiene destacada participación en la biología de la célula y se convirtió en campo de activa investigación científica.

La *glicobiología* es el estudio de los azúcares y de su participación en la biología celular. En el glicocáliz, cadenas de sacáridos con una mayor o menor complejidad se encuentran anclados a la célula por su unión con otras macromoléculas biológicas como proteínas o lípidos. Esas estructuras se conocen como *glicanos*. Es usual que esas cadenas tengan en posiciones terminales unos azúcares con estructura particular conocidos como *ácidos neuramínicos*, unos monosacáridos de nueve carbonos que, por su ubicación en el polisacárido, constituyen el primer punto de interacción de la célula con su entorno. Por ello, los ácidos neuramínicos participan en varios procesos fisiológicos y de la biología celular, y también lo hacen de manera protagónica en procesos patológicos como infecciones bacterianas y virales, inflamación y transformación maligna.

Aunque los ácidos neuramínicos conforman una familia con decenas de integrantes, los más comunes en la superficie de las células de mamíferos son los ácidos neuramínicos acetilados y los glicolilados, conocidos respectivamente por sus acrónimos NeuAc y NeuGc. La reacción que convierte NeuAc en NeuGc requiere como catalizador a la enzima CMAH, sin cuya presencia no tiene lugar. No se conoce otra manera de que un organismo pueda sintetizar NeuGc.

Volviendo a los homínidos, en la actualidad se considera altamente probable que los mencionados Ardi y Lucy hayan contenido NeuGc en sus tejidos. Llamativamente, el ser humano es el único representante de los homínidos en que no se expresa la enzima CMAH y por consiguiente no muestra NeuGc en sus tejidos. En la historia de nuestros ancestros, por algún motivo que se encuentra aún en discusión, el gen que guarda la información para su síntesis fue interrumpido por un corto fragmento de ADN conocido como *secuencia Alu*. Ello dio por resultado que los humanos llevemos una versión interrumpida del gen, que lo hace incapaz de producir una forma funcional de la enzima. Tan extraño es el NeuGc para el ser humano, que el sistema inmunológico lo toma como un elemento ajeno cuando lo encuentra en el organismo y genera una respuesta inmune específica contra él. Esa respuesta fue descrita por primera vez en la década de 1970, cuando se observó que como consecuencia de inyectar sueros animales en seres humanos se producía un cuadro al que se llamó enfermedad del suero.

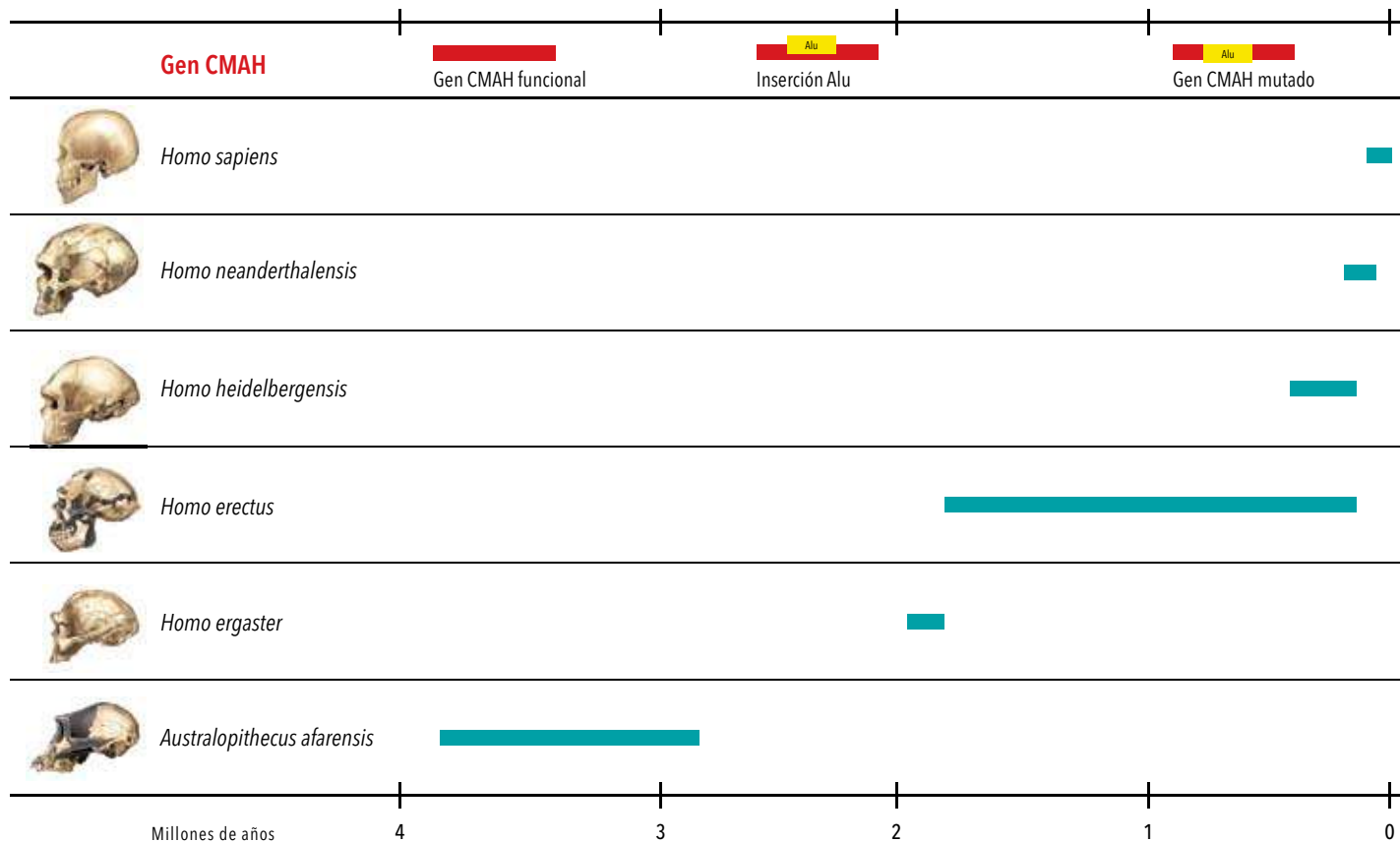
Con el propósito de establecer el momento en que apareció esa mutación en el itinerario de la evolución humana se realizaron estudios de secuenciación del ADN encontrado en fósiles de otro homínino, el hombre de Neanderthal (*Homo neanderthalensis*), que habitó en Euro-

pa y partes de Asia occidental hasta hace algo menos de 30.000 años. De esos análisis se concluyó que la *secuencia Alu* inactivante del gen de la CMAH estaba presente en dicha especie, de la misma forma como lo está en nuestro genoma. Ese dato y otros análisis moleculares de material arqueológico indicaron que la mutación genética que impide la producción de la enzima CMAH ocurrió hace unos 2,7 millones de años. Es así como, mientras todos los mamíferos actuales, incluso nuestros parientes homínidos más cercanos, los integrantes de las dos especies de chimpancés (*Pan troglodytes* y *Pan paniscus*, los de la segunda también llamados *bonobos*), producen adecuadamente la enzima CMAH y por ende son capaces de sintetizar NeuGc, este azúcar se encuentra ausente de todos los tejidos del ser humano y de su pariente extinguido, el hombre de Neanderthal.

Para los científicos que estudian la evolución de los primates, la mutación acaecida en algún punto del linaje ancestral de los homíninos que inactivó la enzima CMAH debe haber tenido lugar porque proporcionó alguna ventaja adaptativa.

Una hipótesis que se considera es que la ausencia de NeuGc en el glicocáliz celular haya conferido a nuestros ancestros resistencia a ciertas infecciones, dado que el NeuGc es la vía de entrada de algunos patógenos actuales.

Figura 1. Representación de la presencia de algunos integrantes del linaje evolutivo de la especie humana y aparición de la mutación en el gen de la enzima CMAH. En el esquema se representa la inserción de la *secuencia Alu* (bloque amarillo) en el gen de la enzima CMAH (cinta roja) y la consecuente presencia del gen CMAH mutado en el ser humano actual y sus directos antecesores.



Esto explicaría que los portadores de la mutación hayan adquirido inmunidad a una variante de la malaria que hoy afecta a primates no humanos y por lo tanto hayan resultado favorecidos en el proceso de la selección natural.

Cáncer

Hace unos diez años, la comunidad científica se sintió fuertemente atraída por la *genómica*: la identificación de genes y la regulación de su expresión dominaban la escena científica. Más tarde, los cañones de la ciencia biológica apuntaron a la *proteómica*, el mundo de las relaciones entre las proteínas. Hoy, la *glicobiología* ha tomado gran importancia y una parte significativa del esfuerzo de las ciencias biomédicas está puesto en la búsqueda de la comprensión de los glicanos y de las relaciones en las que participan.

En la actualidad, la *glicobiología oncológica* se halla en notable crecimiento. En el proceso que se da en la transformación celular maligna ocurren variadas alteraciones celulares entre las que se encuentra una plétora de modificaciones en los procesos de formación de glicanos. Como consecuencia, se habla de que las células tumorales presentan una *glicosilación aberrante*, que se refiere a la presencia de glicanos de estructura anormal. Es un proceso característico tanto de la transformación maligna inicial como de los cambios que acompañan la progresión del cuadro canceroso. Como parte de la glicosilación aberrante, se ha descrito la presencia de abundantes ácidos neuramínicos en el glicocáliz celular, particularmente

asociados con lípidos. Los lípidos glicosilados (o *glicoesfingolípidos*) que contienen ácidos siálicos conforman una familia de glicanos que se conocen como *gangliósidos*.

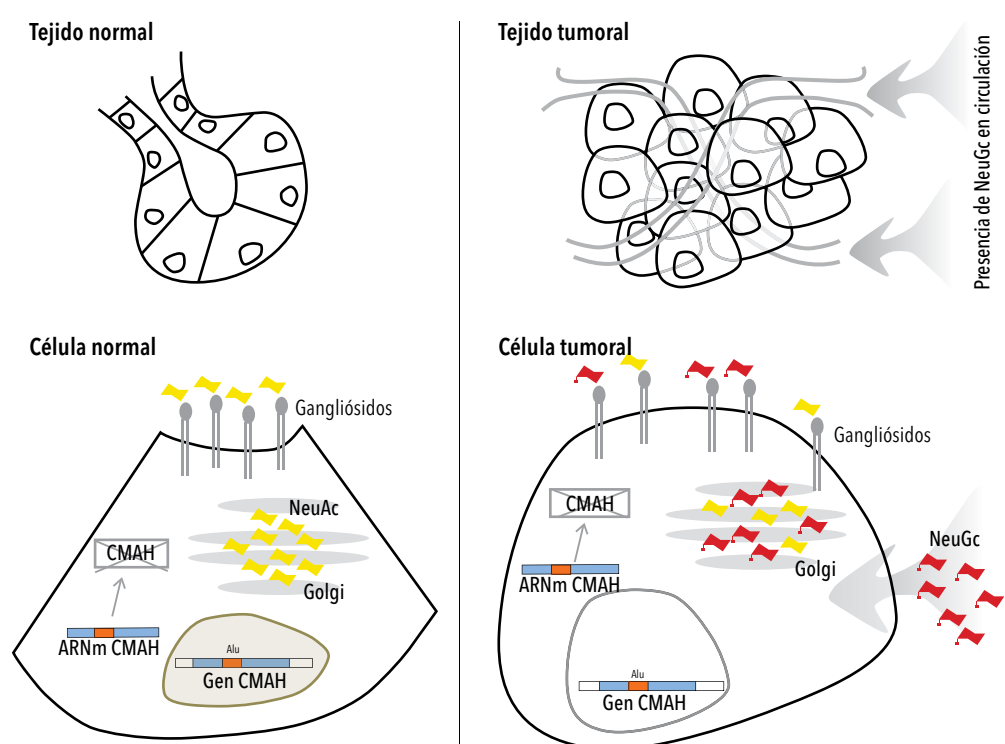
La ubicación natural de los gangliósidos es la membrana plasmática. Son responsables de modular determinados comportamientos celulares, como la migración, la proliferación y la adhesión de células a su entorno. Asimismo, los gangliósidos actúan como *supresores inmunológicos*, es decir, tienen la capacidad de inhibir la acción del sistema inmune. Esto ha llevado a pensar que su presencia en la superficie de células tumorales contribuye al proceso de inmunosupresión en el microambiente del tumor, y por consiguiente a la protección de las células que lo componen, del ataque por parte del sistema inmune.

Llamativamente, se ha demostrado que en una gran variedad de tejidos cancerosos (como en cáncer de pulmón, de mama y de piel) aparecen abundantes cantidades de gangliósidos con NeuGc como parte del glicocáliz. ¿Cómo es posible que, si las células humanas no son capaces de generar la enzima CMAH, necesaria para la síntesis del NeuGc, las células tumorales contengan ese azúcar entre los gangliósidos de sus membranas plasmáticas?

La respuesta hipotética más aceptada a este enigma es que los NeuGc de los tumores deben ser de origen exógeno, es decir, ingresados en el organismo humano con los alimentos. Como los NeuGc están normalmente presentes en abundancia en el resto de los mamíferos, ingerir carne, leche o queso significa incorporar significativas cantidades de ese azúcar, buena parte de las cuales resulta naturalmente excretada.

En las células malignas, sin embargo, los NeuGc permanecen y pasan a ser componentes de las glicoproteí-

Figura 2. La inserción de una secuencia Alu dentro del gen de la enzima CMAH impide que dicha proteína se active tanto en células normales como tumorales. Aun cuando no se ha comprobado que el ácido siálico NeuGc sea sintetizado por esas células, se ha constatado su abundante presencia en gran variedad de tejidos tumorales, lo cual se explica por la activa incorporación de ese azúcar por parte del torrente sanguíneo, debido a una variedad de ventajas adaptativas que confiere a las células tumorales.



nas y los glicolípidos de sus membranas, lo que les confiere la potencialidad de evadir al sistema inmune. En los laboratorios de la Universidad Nacional de Quilmes, los autores han encontrado que la presencia de NeuGc como parte del gangliósido GM3 en las células tumorales promueve en efecto la diseminación de esas células y la aparición de metástasis cancerosas.

Vacunas antitumorales

La presencia de estructuras moleculares diferentes de las que normalmente se encuentran en el organismo genera una respuesta por parte del sistema inmunológico. Nuestro sistema inmune es capaz de diferenciar lo propio de lo ajeno. En inmunología, una molécula identificada

GLOSARIO

Ácido neuramínico. También ácido siálico. Monosacárido ácido presente en el glicocáliz cuya molécula es una cadena de nueve carbonos, con seis de ellos enlazados en forma de anillo.

Ácido siálico. Ácido neuramínico.

Ácido. Nombre que se da a sustancias cuya solución acuosa tiene un pH menor que 7.

Antígeno. Molécula que genera una respuesta inmune por parte del organismo en el que ingresa, el que la reconoce como algo ajeno y ataca por la generación de anticuerpos.

Anticuerpo. Proteína producida por el sistema inmune del organismo cuando detecta la presencia de un antígeno. Protege al organismo atacando al antígeno.

Azúcar. Nombre genérico de un extenso conjunto de hidratos de carbono, carbohidratos o sacáridos, es decir, compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno (los dos últimos en la misma proporción que el agua: por eso el término hidratos).

CMAH. Siglas de Cytidine Monophospho-N-Acetylneuraminic Acid Hydroxylase, una enzima que participa en el metabolismo de un azúcar conocido por ácido siálico o neuramínico.

Enzima. Molécula biológica, por lo general una proteína, que acelera el ritmo de reacciones químicas en el organismo.

Eucariota. Organismo cuyas células contienen complejas estructuras encerradas en membranas, en especial núcleos. Plantas, hongos y animales son eucariotas.

Gangliósido. Lípido complejo de la familia de los glicosfingolípidos que presenta al menos un ácido neuramínico.

Glicanos. Conjunto de moléculas que presentan residuos azucarados.

Glicobiología. Estudio científico de los azúcares y glicanos en los seres vivos.

Glicocáliz. Estructuras azucaradas de forma arborescente encontradas normalmente en la membrana de las células humanas.

Glicosilación. Proceso biológico catalizado por una enzima por el que azúcares se vinculan con proteínas, lípidos u otras moléculas orgánicas.

Glicosilación aberrante. Proceso de glicosilación anormal que sucede en las células tumorales.

GM3. Precursor común de todos los gangliósidos que presenta una sola molécula de ácido neuramínico.

Glicosfingolípidos. Glicano conformado por una porción lipídica y una compuesta por carbohidratos.

Homínidos. El grupo de primates integrado por los grandes monos (chimpancés, gorilas y orangutanes) y los homíninos.

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 otras) y las de géneros extinguidos como *Ardipithecus*, *Australopithecus*, *Kenyanthropus*, *Orrorin*, *Paranthropus*, *Sahelanthropus*.

Membrana celular. También membrana plasmática. Estructura biológica que separa el interior de las células del medio que las circunda.

Membrana plasmática. Membrana celular.

NeuAc. Ácido neuramínico acetilado.

NeuGc. Ácido neuramínico glicolilado.

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

Plioceno. Período geológico que se extiende entre unos 5,3 y 2,6 millones de años atrás. Sigue al Mioceno y precede al Pleistoceno.

Primates. Un orden de mamíferos que incluye a los prosimios (lemures y otros), los simios (monos del Viejo y del Nuevo Mundo) y los homínidos.

Progresión tumoral. Tercera y última fase del desarrollo de un tumor, que viene después de las de iniciación y de promoción, y se caracteriza por un incremento de la velocidad de crecimiento y de la invasividad de las células tumorales.

Secuencia Alu. Corto fragmento de ADN presente de modo repetitivo en zonas no codificantes del genoma. En algún ancestro humano, se insertó y alteró el gen responsable de la producción de CMAH.

Sistema inmunológico. También sistema inmune. Conjunto de estructuras y procesos del organismo por los que este se defiende de las enfermedades.

Transformación maligna. Proceso biológico por el cual ciertas células se convierten en cancerosas, sea células normales o las de un tumor benigno (el segundo caso suele denominarse degeneración maligna).

Vacunas oncológicas. Sustancias que estimulan al sistema inmune del organismo a que destruya las células tumorales. Existen las de tipo preventivo, que impiden la infección con virus causantes de ciertos cánceres (como los de cuello de útero) y de tipo terapéutico, que procuran enseñar al sistema inmune a reconocer las células malignas y a sobreponerse a los mecanismos de inmunosupresión.

como ajena se denomina *antígeno*. Las alteraciones moleculares que suceden y se expresan como consecuencia de la evolución de un tumor pueden desencadenar una respuesta inmunológica contra los nuevos antígenos presentes en sus células. Sin embargo, las células malignas despliegan para sobrevivir un abanico de mecanismos inmunosupresores, de suerte que el tejido canceroso se comporta como si tuviera privilegios inmunológicos, es decir, la capacidad de apagar localmente la respuesta inmune del paciente.

Se da el nombre *vacunas oncológicas* a una serie de terapias que buscan potenciar la respuesta inmunológica del organismo contra el tumor. Su lógica es enseñar al sistema inmune a reconocer las células malignas y a sobreponerse a los mecanismos de inmunosupresión. En otras palabras, estas vacunas conforman un arsenal de armas antitumorales que procuran movilizar el sistema inmune contra los antígenos tumorales.

En la actualidad, terapias de este tipo constituyen una opción en franco crecimiento en el campo de la investigación oncológica, y se encuentran en distinto grado de experimentación en el mundo, desde la que se realiza en laboratorio hasta la que alcanzó los ensayos clínicos (sobre las pruebas de nuevos medicamentos, véase Mercedes Weissenbacher et al., 'La vacuna contra el mal de los rastrojos', *Ciencia Hoy*, 21, 126: 8-13, abril-mayo de 2012).

Las vacunas preventivas o profilácticas, como puede ser la antigripal, se utilizan para evitar una enfermedad futura; las curativas o terapéuticas, para evitar una presente. Así, las vacunas oncológicas están encuadradas en este último grupo, ya que no pretenden prevenir un posible desarrollo canceroso, sino ser una opción terapéutica para un paciente enfermo.


Entre las diversas alternativas en evaluación, las dirigidas contra gangliósidos como el NeuGc-GM3 se consideran promisorias. El hecho de que el camino evolutivo de nuestra especie haya llevado a la desaparición de la enzima CMAH y la consecuente incapacidad de nuestros

tejidos normales de producir NeuGc (y, por ende, GM3 unido a él), y al mismo tiempo, que este aparezca en las células de una plétora de variantes tumorales, lo convierten en un seductor blanco para una vacuna que opere sobre el sistema inmune.

La Universidad Nacional de Quilmes, en colaboración con otros centros nacionales de investigación y del polo tecnológico de La Habana, en Cuba, está trabajando en el desarrollo de nuevas terapias contra el cáncer. Esa labor dio como resultado una vacuna oncológica que en los ensayos de laboratorio demostró eficacia en dirigir la respuesta inmunológica contra NeuGc-GM3. En ensayos con animales probó tener un potente efecto antitumoral en cánceres de mama, de pulmón y melanoma.

La evaluación de la vacuna también se extendió a su ensayo con seres humanos, en los que dio resultados iniciales satisfactorios y pasó a la última etapa de evaluación clínica (ensayo clínico de fase III). En la actualidad se está llevando adelante esta última fase mediante un ensayo que alcanzará a 1082 pacientes con cáncer de pulmón en la Argentina, Cuba, España, Uruguay, Brasil y Singapur.

La vacuna recibe el nombre de *Racotumomab*. Como no ha completado aún dichos ensayos clínicos ni demostrado un indudable beneficio terapéutico, no ha recibido la autorización necesaria para su uso en la práctica médica generalizada. Le falta todavía recorrer bastante camino antes de llegar al fin de los ensayos y de, eventualmente, pasar a integrar el arsenal terapéutico de la oncología moderna. Por ello es indispensable evitar la creación en el público de expectativas sobre este tratamiento.

La creación de esta vacuna es un interesante ejemplo de aplicación del ingenio humano a contrarrestar los mecanismos naturales por los que los tumores procuran escapar de los obstáculos que naturalmente pone el organismo a su crecimiento. Es también el primer caso de una terapia oncológica creada con la participación protagónica de un grupo de investigación argentino que alcanza una instancia tan avanzada de evaluación clínica. 

LECTURAS SUGERIDAS

HUÑISA, GÓMEZ DE y ALONSO DF (eds.), 2007, *Introducción a la oncología clínica*, Ediciones Universidad Nacional de Quilmes.

WEINER LM, MURRAY JC & SHUPTRINE CW, 2012, 'Antibody-based immunotherapy of cancer', *Cell*, 148, 6: 1081-1084.



Mariano R Gabri

Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Profesor adjunto, Universidad Nacional de Quilmes.
Investigador adjunto del Conicet.
Director de la licenciatura en biotecnología, UNQ.
mrgabri@unq.edu.ar



Valeria I Segatori

Licenciada en biotecnología, UNQ.
Becaria doctoral Conicet en el laboratorio
de oncología molecular, UNQ.

Los premios Nobel 2012

¿Cuáles son las contribuciones al conocimiento realizadas por los ganadores de premios que, a lo largo de más de un siglo, se convirtieron en uno de los mejores mecanismos del mundo para identificar avances cruciales de las ciencias?



ECONOMÍA

La asignación en mercados bilaterales

Leandro Arozamena

Universidad Torcuato Di Tella

Federico Weinschelbaum

Universidad de San Andrés

El premio del Banco de Suecia en ciencias económicas en memoria de Alfred Nobel (usualmente conocido como premio Nobel de economía) fue otorgado este año a Lloyd Shapley, de la Universidad de California en Los Ángeles, y a Alvin E Roth, de las universidades de Stanford y Harvard, por sus contribuciones al estudio teórico del problema de asignación en mercados bilaterales, y el diseño y funcionamiento práctico de dichos mercados.

Los *mercados bilaterales* son aquellos en que existen dos partes bien definidas y separadas: quienes pertenecen a una no pueden incorporarse a la otra. Por ejemplo, un estudiante busca una vacante en una escuela, pero él no puede convertirse en un proveedor de vacantes, ni la escuela en estudiante. En estos casos, el problema consiste en cómo asignar vacantes; es decir, en definir con qué escuela vincular a cada estudiante.

En muchos mercados, bilaterales o no, el problema de asignación se resuelve mediante un precio. En au-

sencia de restricciones, ese precio se ajusta de modo de igualar la cantidad ofrecida con la cantidad demandada, y determina de esa forma quiénes obtienen el bien o servicio transado y quiénes no.

Sin embargo, existe un número significativo de situaciones en que no resulta factible emplear un mecanismo de precios. En muchos sistemas educativos públicos, como el argentino, las instituciones educativas no cobran una matrícula. Otro ejemplo de mercado bilateral es la asignación de órganos a pacientes que requieren un trasplante. En prácticamente todas las sociedades se considera repugnante recurrir a un precio como método para determinar quién recibe un órgano. Debe utilizarse, entonces, otro procedimiento.

La forma más sencilla de asignación o *matching* es conocida como *uno a uno*, o como el *modelo del matrimonio*. Cada integrante de una parte del mercado debe vincularse con no más de un integrante de la otra parte. De los múltiples métodos disponibles o que puedan ser diseñados para resolver este problema, interesan particularmente aquellos que generen asignaciones estables. Una asignación es estable si una vez completada resulta imposible hallar un grupo de individuos que, por sí solos, quieran formar nuevas parejas en las que ninguno de ellos empeore su situación con respecto a la asignación original y por lo menos uno la mejore. En particular, esto impli-



Lloyd Shapley
Foto Gobierno de Suecia,
www.flickr.com

ca que en el grupo no existirá una nueva pareja cuyos dos miembros prefieran vincularse entre sí a mantener la pareja que se les asignó originalmente, y además que todos los individuos preferirán la pareja asignada a no tener pareja.

En un artículo publicado en 1962, Lloyd Shapley y David Gale (1921-2008), de la Universidad de California en Berkeley, demostraron que siempre existen asignaciones estables y describieron un procedimiento sencillo, conocido como *algoritmo de aceptación diferida*, que permite hallarlas. Los individuos en una de las partes del mercado deben proponer asignaciones. Supongamos que lo hacen las mujeres. Cada mujer, entonces, debe seleccionar a un hombre: el que se halla en el tope de sus preferencias. Si un hombre es seleccionado por, digamos, n mujeres, debe rechazar por lo menos $n-1$ propuestas y conservar solo la mejor según sus preferencias (o rechazar todas si ninguna es preferible a quedarse solo). Las mujeres cuyas propuestas fueron rechazadas deberán hacer nuevas propuestas señalando su segunda mejor alternativa. Nuevamente, cada hombre debe descartar todas las propuestas recibidas excepto a lo sumo una, o conservar la propuesta que no rechazó en la ronda anterior. El procedimiento continúa hasta que ninguna mujer desee hacer una nueva propuesta. Desde ya, los hombres pueden ser alternativamente quienes hagan las propuestas. Gale y Shapley probaron que, entre todas las asignaciones estables, el algoritmo halla la mejor solución para el grupo que realiza las propuestas: no existe otra asignación estable en la que alguno de los miembros del grupo que realiza las propuestas esté mejor y en la que ninguno esté peor.

Los problemas de asignación no se limitan a los representados por el modelo uno a uno. Gale y Shapley también examinaron el modelo *uno a muchos*, caso que se aplica, por ejemplo, a las vacantes escolares: una escuela se vincula con muchos estudiantes, pero cada estudiante se vincula con a lo sumo una escuela. De modo análogo, se estudia el caso *muchos a muchos*.

En todos los casos, los problemas teóricos centrales son los mismos. Interesa probar la existencia de asignaciones estables y definir algún procedimiento que las halle. Con cualquier algoritmo de asignación es especialmente relevante analizar los incentivos de los individuos a manifestar sus preferencias por integrantes de la otra parte del mercado. ¿Lo mejor para ellos sería revelar sus verdaderas preferencias, o les conviene manifestar otras diferentes? Si los individuos manipulan el procedimiento, este puede generar resultados no deseables. La teoría de *matching* en mercados bilaterales registró, luego del aporte inicial de Gale y Shapley, numerosos avances en estas direcciones, en varios de los cuales Alvin Roth realizó contribuciones cruciales.

Tal vez los aportes más significativos de Roth se refirieran a mercados bilaterales reales en que la asignación

se resuelve de forma centralizada. El caso históricamente más famoso en los Estados Unidos es la asignación de médicos a hospitales en los que hacer sus residencias. En la primera mitad del siglo XX el mercado operaba de forma descentralizada. Ello dio lugar a resultados no deseables. En particular, la competencia entre hospitales motivó que estos ofrecieran posiciones a estudiantes que se hallaban muy lejos de completar sus estudios. En la década de 1950 se instrumentó un algoritmo centralizado, el *National Resident Matching Program* (NRMP), procedimiento que con algunas modificaciones aún se utiliza. Si bien la participación es voluntaria, desde el comienzo alrededor del 95% de las vinculaciones entre residentes y hospitales se lograron usando ese algoritmo, evidencia de su efectividad para hallar asignaciones estables.

Roth estudió en detalle el NRMP y comprobó que se trataba de una variante muy cercana al algoritmo de aceptación diferida de Gale y Shapley. Su trabajo permitió resolver algunos problemas del procedimiento original, que era vulnerable a determinadas formas de manipulación. Por otra parte, la presencia creciente de mujeres en los estudios de medicina generó un número cada vez más significativo de parejas de médicos que deseaban posiciones en el mismo hospital o en hospitales cercanos. Dado que el NRMP solo permitía postulaciones individuales, el porcentaje de asignaciones realizadas por fuera del algoritmo creció. En la década de 1990 se introdujo una versión modificada del algoritmo, elaborada por Roth y su colega de Harvard Elliot Peranson, en la que eran los médicos quienes proponían y se permitían propuestas conjuntas realizadas por parejas.

El empleo práctico de algoritmos centralizados basados en las ideas de Gale y Shapley no se limita al NRMP ni a los Estados Unidos. Se utilizan, por ejemplo, para asignar vacantes a alumnos en las escuelas públicas de varias áreas metropolitanas estadounidenses, como Nueva York y Boston. Asimismo, se los emplea en múltiples países para asignar órganos, especialmente riñones a pacientes que requieren trasplantes, dado que pueden ser provistos por donantes vivos. Si bien el problema es diferente en este caso (solo una parte del mercado tiene preferencias, mientras la otra es pasiva), las nociones centrales son similares. Cada situación nueva presentó desafíos, tanto teóricos como prácticos. Roth contribuyó de modo sustancial al estudio de estos problemas y a la instrumentación práctica de algoritmos para resolverlos.

Los aportes de Roth y Shapley no se han limitado al área descripta. El trabajo del primero fue crucial en el desarrollo y la aplicación de experimentos en economía.



Alvin E Roth
Foto Gobierno de Suecia,
www.flickr.com

Sus contribuciones abarcan, por otro lado, problemas de negociación, aprendizaje en juegos y teoría de juegos en general. Shapley, por su parte, es una figura clave de la teoría de juegos y de la economía matemática. Sus contribuciones a las dos ramas de la teoría de juegos –la cooperativa y la no cooperativa– han sido numerosas y fundamentales. De hecho, el premio Nobel fue otorgado

por aportes a la teoría de juegos en dos ocasiones anteriores: en 1994 (a John Nash, John Harsanyi y Reinhard Selten) y en 2005 (a Robert Aumann y Thomas Schelling). En ambos casos, muchos especialistas coincidieron en considerar que Shapley no debió de haber quedado fuera del grupo de galardonados. El premio otorgado este año, entonces, fue especialmente bien recibido.



Leandro Arozamena

PhD en economía, Universidad de Harvard.
Profesor asociado, Universidad Torcuato Di Tella.
Investigador adjunto del Conicet.
lrozamena@utdt.edu



Federico Weinschelbaum

PhD en economía, Universidad de California en Los Ángeles.
Profesor asociado y director del departamento de Economía, Universidad de San Andrés.
Investigador adjunto del Conicet.
fweinsch@udesa.edu.ar

FÍSICA

Dos cazadores galardonados

Juan Pablo Paz

Departamento de Física e Instituto de Física de Buenos Aires, FCEYN, UBA

Serge Haroche y David Wineland recibieron el premio Nobel de física en 2012. En palabras del comité Nobel, desarrollaron técnicas que abrieron el camino para poder manipular sistemas cuánticos individuales. Ambos son cazadores que capturan sus presas en complejas trampas, pero uno acecha objetos muy distintos de los del otro, por lo que utilizan técnicas diferentes que, sin embargo, tienen algunas similitudes. Ambos realizan sus trabajos por la misma motivación.

Haroche trabajó durante años en la École Normale Supérieure de París y hoy es el presidente del Collège de France. Se especializa en cazar fotones, los famosos cuantos de luz, que podemos concebir como excitaciones del campo electromagnético y que transportan una energía proporcional a su frecuencia. Una vez que los atrapa, los hace interactuar con átomos, uno por vez.



Serge Haroche
Foto Wikinade, Wikimedia commons

Wineland trabaja en el Departamento de Tiempos y Frecuencias del National Institute for Standards and Technologies (NIST), en Boulder, estado de Colorado. Allí caza átomos y los hace interactuar con haces de

luz láser. Logró controlar la interacción entre los electrones que están en esos átomos y los cuantos asociados al movimiento de los propios átomos, unas partículas llamadas fonones que, como los fotones, son excitaciones cuya energía está relacionada con su frecuencia.

Ictiosaurios en el zoológico

La mecánica cuántica se creó a principios del siglo XX para describir la interacción entre los átomos y la luz. Es una nueva física, basada en conceptos antiintuitivos, y fue la única forma de explicar los resultados de un amplio conjunto de experimentos que incluyeron la constatación de líneas discretas en los espectros de emisión y absorción de la luz por diversos gases. Si bien esos experimentos siempre implicaban el estudio de grandes cantidades de átomos, la mecánica cuántica fue dando lugar a un modelo que describe también el comportamiento de átomos y partículas individuales.

La mecánica cuántica es una teoría tan rara que durante mucho tiempo se pensó que aplicarla para predecir las propiedades de sistemas individuales carecía de sentido. En los hechos, esos experimentos parecían imposibles, un mero ejercicio para la imaginación. Así fue como en 1952 Erwin Schroedinger (1887-1961) aclaró que no hacemos experimentos con un único electrón o un único átomo; y si pensamos qué sucedería si pudiésemos realizar esos experimentos, inevitablemente llegamos a consecuencias ridículas. Agregó: Imaginar lo que sucedería si hiciéramos experimentos con un único átomo es tan ridículo como imaginar lo que sucedería si criáramos ictiosaurios en el zoológico. Parafraseando esto, el comité Nobel podría ha-

ber otorgado el premio a Haroche y Wineland por criar ictiosaurios en sus zoológicos.

Haroche y sus trampas de fotones

Haroche atrapa fotones encerrándolos entre dos espejos semiesféricos que forman una cavidad. Los espejos están hechos de cobre y recubiertos de niobio, un material superconductor. Están tan exquisitamente pulidos que la luz se refleja entre ellos por algunas décimas de segundo, un tiempo durante el cual podría dar una vuelta completa a la Tierra. Pasado ese lapso, corto para nuestra percepción pero larguísimo para los tiempos que caracterizan la vida de los átomos, es absorbida por las paredes de la cavidad.

La cavidad espejada se diseñó para almacenar radiación de una única frecuencia, cercana a los 50GHz (las comúnmente denominadas *microondas*). Una vez que atrapa la radiación dentro de la cavidad, Haroche envía átomos para que, uno por uno, interactúen con ella. De este modo puede observar propiedades notables de la interacción entre la luz y la materia. Por ejemplo, diseñó una nueva forma de ver la luz.

Habitualmente detectamos la luz con nuestros ojos o nuestras cámaras fotográficas. Esos dispositivos absorben la luz, cuya energía pone en marcha algún proceso que deja una huella. Así, tanto en nuestros ojos como en una placa fotográfica la luz provoca una reacción química; en una cámara digital origina una corriente eléctrica. Vemos la luz cuando percibimos esas consecuencias de la luz absorbida. Pero una vez que la vemos, la luz ya no está, pues fue absorbida. Haroche desarrolló un método que le permitió ver la luz sin que sea absorbida: después de verla, sigue estando ahí.

Ese método consiste en enviar átomos a la cavidad de a uno por vez, para que la atraviesen e interactúen con la luz. Controla esa interacción de manera muy sutil. Utiliza átomos de rubidio en estados muy excitados, en los que requieren para ser ionizados (perder un electrón y quedar con carga eléctrica positiva) unas 2500 veces menos energía en su estado de menor excitación. Esos átomos funcionan como antenas, pues son muy sensibles a cualquier radiación electromagnética. Cuando pasan por la cavidad de Haroche, registran el estado de la luz almacenada entre los espejos, pero lo hacen sin absorberla. El estado del campo electromagnético almacenado entre los espejos se determina midiendo las propiedades de los átomos a la salida. Y en ese proceso la energía luminosa no se modifica: la luz es detectada pero no es absorbida.

Por otra parte, Haroche desarrolló métodos para lograr que los átomos y la luz atrapada interactúen en determinadas condiciones que elige alterando parámetros como el tiempo que tardan aquellos en atravesar la cavidad (que modifica variando su velocidad), su estado de

entrada, la frecuencia de resonancia de la cavidad, etcétera.

Las técnicas de diseño de la interacción que definió son precisamente las necesarias para construir un nuevo tipo de computadora, en que la información se almacene utilizando un único átomo para cada bit o unidad de información. Las computadoras cuánticas, si es que alguna vez se construyen, no utilizarán seguramente el sustrato físico usado por Haroche, pero su enfoque ya se ha aplicado para controlar sistemas en los que los átomos se reemplazan por circuitos construidos con materiales superconductores (que en los hechos funcionan como átomos artificiales). La interacción entre estos átomos artificiales es mediada por fotones almacenados en una cavidad resonante, muy similar a la usada por Haroche. Estos circuitos son hoy principales candidatos a alcanzar el procesamiento cuántico de la información, una meta a la que aún no se llegó.



David Wineland
Foto Gobierno de Suecia,
www.flickr.com

Wineland y sus trampas de iones

Wineland atrapa iones (átomos a los que arranca un electrón y por consiguiente deja cargados positivamente). Para eso utiliza un dispositivo que había dado lugar al premio Nobel de 1989, otorgado a Wolfgang Paul: una trampa de iones. Se trata de un dispositivo muy ingenioso en el que las partículas cargadas positivamente solo pueden mantenerse en equilibrio en una región del espacio cuya geometría puede diseñarse con cierta libertad. En las trampas lineales, por ejemplo, los iones se ubican formando un cristal lineal: se mantienen separados entre sí por la repulsión eléctrica y quedan confinados por campos alternantes apropiadamente elegidos. Los iones atrapados permanecen en su trampa por varios días, durante los cuales los investigadores pueden someterlos a distintos experimentos.

Wineland perfeccionó las técnicas que permiten enfriar los iones y quitar toda la energía a su movimiento. Una vez enfriados, los iones son manipulados aplicando pulsos apropiadamente elegidos de radiación láser. Wineland (que habitualmente utiliza berilio en sus experimentos) desarrolló métodos que le permitieron controlar con notable precisión la interacción entre los electrones de cada ión y el movimiento de este alrededor de su posición de equilibrio (o el movimiento colectivo del cristal de iones que se almacena en la trampa).

Las vibraciones de los iones en los experimentos de Wineland se comportan de manera muy similar a como lo hacen los fotones en las cavidades de Haroche. Wi-

Wineland demostró cómo utilizar la interacción electrón-fonón para lograr que iones distantes interactúen entre sí de manera completamente arbitraria. De este modo, logró demostrar que estas trampas también podían ser utilizadas para construir computadoras cuánticas, tal como habían propuesto unos años antes dos notables físicos teóricos: el español Juan Ignacio Cirac y el austríaco Peter Zoller.

Wineland, Haroche y el futuro

Wineland y Haroche son científicos notables, formados en escuelas célebres. Aquel fue alumno del premio Nobel Norman Ramsey (1989) y este del Nobel Claude Cohen Tannoudji (1997), a su vez alumno del Nobel Alfred Kastler (1966). Sus premios han sido muy bien recibidos por la comunidad de los físicos, ya que son un justo reconocimiento de notables trabajos. En el futuro, lo hecho por Wineland y Haroche encontrará diversas aplicaciones. A la mencionada construcción de computadoras cuánticas se agregarán mejoras en la medición de

tiempos y frecuencias. Wineland de hecho demostró que el uso de sus trampas permite alcanzar una precisión en la medición del tiempo mucho mayor que la que tienen los mejores relojes atómicos. Pero, como dice Haroche, sus trabajos no estuvieron motivados por una aplicación concreta. Fueron parte de la aventura de controlar sistemas atómicos individuales. Fueron parte de la aventura de criar ictiosaurios en el zoológico, estudiar sus propiedades y la forma en la que ellos interactúan entre sí y con el resto del mundo. Sus trabajos ponen a prueba la mecánica cuántica en un régimen nunca antes explorado, en el cual sus propiedades más extrañas se manipulan y controlan en distancias macroscópicas.



Juan Pablo Paz

Doctor en ciencias físicas, UBA.
Profesor titular, FCEYN, UBA.
Investigador principal del Conicet.
<http://www.qufiba.df.uba.ar>

MEDICINA O FISIOLÓGÍA

Regresando a los orígenes: el camino de la reprogramación celular

Fernando Pitossi

Fundación Instituto Leloir

El premio Nobel en fisiología o medicina correspondiente a 2012 fue otorgado al inglés John Gurdon, de la Universidad de Cambridge, y al japonés Shinya Yamanaka, de la Universidad de Kyoto, por 'su descubrimiento de que las células maduras pueden ser reprogramadas para convertirse en pluripotentes', es decir, capaces de transformarse en células de cualquier tipo de los que hay en el organismo.

Para comprender este descubrimiento, primero se necesita entender la dinámica celular de un organismo y cómo se desarrolla. El cuerpo de un humano adulto está compuesto por entre 10 y 100 billones de células (10^{13} - 10^{14}). Si cada una tuviera el tamaño de una persona, puestas una junto a la otra ocuparían una superficie similar a la del territorio argentino. Todas esas células

tienen características comunes, pero pueden agruparse en familias o tipos según su función. Más de doscientos diferentes tipos celulares componen un cuerpo humano, cada uno encargado de cumplir alguna de las funciones vitales del organismo. Por ejemplo, las neuronas transmiten información en forma de impulsos electroquímicos, los miocitos se contraen y generan fuerza muscular, los hepatocitos detoxifican de un sinnúmero de sustancias, las células del sistema inmune protegen de agentes extraños, etcétera.

Pero esos billones de células adultas, de cualquier tipo que sean, provienen de una sola célula: el óvulo fecundado por un espermatozoide. En un ambiente propicio, ese óvulo fecundado comienza un proceso de desarrollo que lo lleva primero a formar una estructura llamada blastocisto, de una de cuyas partes, denominada *macizo celular interno*, proceden las células madre embrionarias que dan origen a todas las diferentes células de un organismo. Esas células madre embrionarias son llamadas pluripotentes (la palabra usada en la comu-



John Gurdon
Foto Nestlé, www.flickr.com



Shinya Yamanaka. Foto Rubenstein, www.flickr.com

nificación del Nobel) porque tienen la potencialidad de originar cualquier otro tipo celular del organismo.

Durante la gestación, comienza un proceso de especialización llamado *diferenciación*, por el que se generan células nuevas que empiezan a adquirir funciones determinadas. Así, se forman tres tipos de linajes llamados *ectodermo*, *mesodermo* y *endodermo*, los cuales dan origen, entre otras, respectivamente a neuronas, células musculares y células del aparato digestivo. Luego, las neuronas que produce el ectodermo se siguen especializando para cumplir un tipo de transmisión específica y van adquiriendo características propias de la región cerebral en que actuarán. Algo similar ocurre con las demás células de esos tres linajes.

El descubrimiento que premia el Nobel 2012 consiste en haber obtenido, primero, la prueba de concepto y, luego, la información precisa de cómo se puede revertir el proceso de diferenciación. En otras palabras, cómo puede retrotraerse una célula adulta, con una función específica, al estadio de célula madre pluripotente. Esta célula madre pluripotente generada a partir de una célula adulta se denomina *célula reprogramada* o *célula pluripotente inducida* y el proceso que lo logra se llama *reprogramación celular*.

El camino hacia el Nobel

La contribución de John Gurdon a la reprogramación celular consistió en haber aportado la prueba de concepto de que es posible. En 1962 realizó un experimento para comprobar la hipótesis de que una célula adulta especializada podía convertirse en menos especializada. Dado que todas las células del organismo poseen la misma información genética, es decir el mismo genoma, lo que determina su función son los genes que se hallen activos o inactivos. Si esto fuera sí, cada célula poseería la capacidad inherente de ser pluripotente.

Gurdon probó esta hipótesis reemplazando el núcleo de un huevo de rana por uno de una célula especializada del intestino de renacuajo. Este huevo con el núcleo de una célula madura se desarrolló hasta ser un renacuajo, y mostró que el núcleo de la célula madura no había perdido la posibilidad de dar origen a otras células del organismo. El experimento proveyó la prueba de concepto de que existían factores en el citoplasma de la célula indiferenciada que modificaban al núcleo de la célula adulta diferenciada y la llevaban a adquirir características de célula madre pluripotente. Quedaba por determinar

qué factores permitían transformar el núcleo de una célula madura en una pluripotente.

Más de cuarenta años después, Shinya Yamanaka, sobre la base de información obtenida por muchos investigadores, definió 24 genes capaces de dar origen a la reprogramación. Y un investigador de su laboratorio, Kazutoshi Takahashi, demostró que esos 24 genes juntos incorporados a una célula adulta especializada le conferirían capacidades de pluripotencia.

Luego ensayó combinaciones de 23 genes, quitando un gen en cada sucesivo experimento hasta descubrir que solo resulta necesario transferir cuatro genes para dar a una célula madura especializada la capacidad de originar cualquier otro tipo celular. Quedaron así identificados los cuatro genes (OCT4, c-MYC, KLF4 y SOX2) necesarios para la reprogramación celular.

Implicancias

Este descubrimiento repercute de varias formas tanto en el medio académico como en el clínico. Ante todo, da por tierra con el postulado de que una célula madura no puede reprogramar su identidad y pasar a un estado indiferenciado o pluripotente. Esto abre la posibilidad de una verdadera revolución en la medicina, pues permite suponer que a partir de la reprogramación celular se podrán obtener, en el futuro, células pluripotentes a partir de células maduras como los fibroblastos de la piel.

En otras palabras, el descubrimiento galardonado con el Nobel autoriza a vislumbrar terapias celulares que reemplacen células enfermas por otras obtenidas por reprogramación celular. Ese tipo de terapia regenerativa solo se aplica hoy a trasplantes de médula ósea para tratar enfermedades de la sangre. También deja entrever la generación de bancos de células reprogramadas compatibles con determinados grupos de población.

Se ha comprobado que es posible reprogramar células a partir de una biopsia de 3mm de la piel, derivar de ellas por ejemplo neuronas, y que estas posean características funcionales de la enfermedad del individuo biopsiado. Por este camino, se están desarrollando in vitro modelos de estudio de enfermedades de los que antes se carecía, pues no es posible estudiar las neuronas del cerebro de un paciente en forma no invasiva, salvo por la tecnología de imágenes.

Es notable que este premio Nobel se haya otorgado sin que aún exista tratamiento que recurra a la reprogramación celular. Ello quizá se haya debido a que las posibilidades de nuevas terapias son muy amplias y tendrían fuertes repercusiones en la salud de la población. Ahora la comunidad científica internacional realiza esfuerzos por establecer esos nuevos tratamientos. Investigadores argentinos participan en esos esfuerzos.

Como anécdota personal, a Gurdon le sugirieron en-

fáticamente que abandonara el estudio de la biología y su copremiado comenzó su carrera profesional como cirujano. Gracias a la perseverancia de uno y al cambio de actividad en busca de su verdadera vocación del otro hoy podemos vislumbrar un futuro de promisorias alternativas terapéuticas para enfermedades que en este momento no tienen tratamientos. Quizá esa perseverancia y el tomar riesgos para buscar un camino profesional adecuado sean valores que se hayan premiado indirectamente al otorgar este Nobel 2012 en medicina o fisiología.



Fernando Pitossi

Doctor en ciencias biológicas, Albert Ludwig-Universität, Friburgo, Alemania.

Investigador independiente del Conicet en el Instituto Leloir.

Coordinador del Consorcio de Investigación en Células Madre (CICEMA).

QUÍMICA

Carlos Davio

Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA

Omar Coso

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

La Real Academia de Ciencias de Suecia otorgó el premio Nobel de química de este año a los estadounidenses Robert J Lefkowitz y Brian Kobilka, formados originalmente como médicos y en la práctica farmacólogos moleculares, por sus estudios de *receptores acoplados a proteínas G*.

Lefkowitz, nieto de inmigrantes polacos, nació en 1943 en Nueva York. Se educó en la Universidad de Columbia y actualmente es profesor de biomedicina y bioquímica en la Universidad de Duke, en Carolina del Norte. Kobilka, que fue discípulo del anterior, nació en Minnesota en 1955 y es hoy es profesor de fisiología celular y molecular en la Universidad de Stanford, en California.

Si uno se preguntara por qué dos médicos dedicados a la bioquímica y a la fisiología celular y molecular resultaron galardonados en química encontraría la respuesta sin dificultad en la actual concepción de la medicina y la química. Las bases de esa concepción se remontan a Paul Ehrlich (1854-1915), médico y farmacólogo alemán que obtuvo el premio Nobel de medicina o fisiología en 1908. Ehrlich estableció la teoría de que las células poseen en su superficie *moléculas receptoras* específicas. Estas, postuló, son capaces de unirse con determinados grupos químicos de las moléculas del espacio extracelular, y esa vinculación determina que entre en la célula una señal potencialmente condicionante o determinante de una respuesta celular.

Ese proceso de comunicación permanente entre las células que forman un tejido o un organismo permite que, a partir de un cigoto original, las células producidas

por sucesivas divisiones se ordenen espacialmente y se diferencien funcionalmente hasta conformar un organismo completo, compuesto por células diversas, todas originadas por una sola inicial.

El idioma mediante el cual unas células se comunican con otras está determinado por muchos factores. Un paso esencial de dicha comunicación es la emisión de mensajes mediante moléculas que las mismas células secretan y que pueden viajar tanto hasta una célula vecina como hasta otra muy distante en el organismo. Ese mensaje molecular no es interpretado por todas las células a las que llega sino solo por aquellas que tienen en su superficie o *membrana plasmática* los receptores adecuados.

Las moléculas receptoras de la superficie celular son literalmente de miles de clases, al igual que las estructuras químicas con las que ellas se unen (o *ligandos*) y determinan esa comunicación. Decir miles parece mucho, pero si nos detenemos unos instantes a pensar, nos damos cuenta de que la construcción de un lenguaje determinado por las interacciones de miles de receptores con miles de ligandos posibilita que existan casi infinitas oraciones potenciales para el diálogo celular. Es uno de los idiomas más complejos de comprender, el idioma de la vida.

Muchos laboratorios del área biomédica dirigen sus esfuerzos a entender ese idioma. Su complejidad determinó que algunos se especializaran en elementos específicos del sistema de comunicación, entre los que ocupan un lugar destacado los *receptores acoplados a proteínas G*, moléculas de la superficie celular responsables de una parte destacada del diálogo de la vida. Regulan procesos fundamentales cuya alteración accidental o provocada puede conducir a la aparición de enfermedades. Es pre-



Robert Lefkowitz

Foto Gobierno de Suecia, www.flickr.com

cisamente por sus estudios de estos receptores (o GPCR, por *G-protein-coupled receptors*), que Lefkowitz y Kobilka recibieron el Nobel.

Gracias al proyecto que secuenció el genoma humano hoy sabemos que aproximadamente mil genes regulan la acción de esas proteínas receptoras de membrana (o la *codifican*). No solo interactúan con esos receptores estructuras químicas simples generadas por el propio organismo, como la adrenalina, la dopamina, la histamina y la serotonina, que estimulan las células; también lo hacen aquellas producidas por el ambiente que nos permiten percibir sabores y olores. Aun la percepción de la luz es posibilitada por los GPCR.

Conocer la estructura y comprender el funcionamiento de lo anterior ha tenido consecuencias importantes para la sociedad actual. Aproximadamente la mitad de todos los medicamentos que hoy se prescriben consiguen sus efectos estimulando receptores acoplados a proteínas G. El conocimiento del lenguaje de la vida ha permitido que muchos que no somos tan jóvenes podamos dialogar con nuestros abuelos. Miles de investigadores han contribuido a ese conocimiento; entre ellos, Lefkowitz y Kobilka, más sus discípulos y los discípulos de sus discípulos, han realizado un aporte de excepción.

Para localizar los receptores celulares Lefkowitz comenzó utilizando, en 1968, estructuras químicas simples conocidas marcadas con radiactividad. Esa marca radiactiva reveló la presencia de varios receptores, entre ellos el beta-adrenérgico. Los efectos fisiológicos de la adrenalina se conocían, e incluso muchos fármacos que modulaban su respuesta eran aceptados y prescritos para trastornos diversos, como los cardiovasculares. Encontrar su blanco molecular de acción abrió un nuevo camino: el diseño racional de fármacos, más específicos, más selectivos y por lo tanto menos tóxicos. Ese avance despertó gran interés en la industria farmacéutica.


El siguiente progreso se produjo en la década de 1980, cuando Kobilka, que era un nuevo estudiante de posgrado del laboratorio de Lefkowitz, aceptó el reto de aislar, a partir del cúmulo de información del genoma humano, el gen que codifica el receptor beta-adrenérgico. Lo consiguió, y cuando se examinó el gen en cuestión, se descubrió que el receptor era similar a uno que capta la luz que incide en la retina del ojo.

Fascinados por los elegantes diseños experimentales y por los aportes que realizaba el laboratorio de Lefkowitz, médicos, bioquímicos, farmacéuticos y biólogos que daban sus primeros pasos en la ciencia intentando estudiar el idioma de comunicación celular se volcaron al estudio de los receptores acoplados a proteínas G y al de las moléculas que responden dentro de la célula a su estimulación.

Inicialmente se llamó *receptores serpiente* a los acoplados a proteínas G, ya que parecían una víbora que atravesaba siete veces la membrana celular, con su boca en el mun-

do extracelular y su cola inmersa en el medio intracelular. El trabajo de Lefkowitz y sus discípulos permitió comprender cómo esas interacciones primarias entre una señal externa a la célula y un receptor en su superficie posibilitan percibir formas y colores, saborear un plato de comida, estar tristes o contentos y respirar sin necesidad de pensar en hacerlo.

El abanico de reacciones intracelulares que provoca la interacción de los GPCR con las señales externas es hoy motivo de intensa investigación. Esos efectos abarcan desde sutiles modificaciones en el metabolismo hasta cambios en el patrón de expresión génica de la célula. Hoy los GPCR están presentes de uno u otro modo en el interés de prácticamente todos los institutos de investigación biomédica del mundo. La construcción del conocimiento no se logra en forma individual; en la comprensión del idioma de la vida y del cometido de cada palabra participa un número de actores que no para de crecer.

Durante décadas Lefkowitz, Kobilka y sus discípulos dedicaron sus vidas a comprender una parte importante de los procesos moleculares que rigen la salud humana. El premio Nobel destaca el cambio de concepción de la medicina y de la química que su trabajo reafirmó a lo largo de los años. Queda mucho camino por recorrer en la comprensión del idioma de la vida, y muchos descubrimientos vendrán apoyados en lo que los premiados de este año lograron descifrar. 



Brian Kobilka
Foto Gobierno de Suecia,
www.flickr.com



Carlos Davio

Doctor en bioquímica, UBA.
Profesor asociado de química medicinal, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.
Investigador principal del Conicet.
cardavio@ffyb.uba.ar



Omar Coso

Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Profesor adjunto, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
Investigador independiente del Conicet.
omaracoso@yahoo.com

El dorado de la carne

Cuando pensamos en un rico asado, nos imaginamos el aroma de las brasas y de la carne cocinándose. El dorado maravilloso que se produce al asar carne, y que genera aromas y nuevas sensaciones en la boca, es la consecuencia de reacciones químicas que tienen lugar en determinadas condiciones. El resultado es tan llamativo que ha dado origen a uno de los mitos más difundidos y a la vez más erróneos de la cocina. Ese mito sostiene que para obtener una carne jugosa se debe dorarla, acción que sella sus poros y retiene el jugo en su interior.

Sin embargo, los músculos no tienen poros. Y si pesamos una carne sellada y otra sin sellar, ambas cocinadas hasta el mismo punto, constataremos que las dos perdieron la misma cantidad de líquido, porque tienen igual peso. Pero al probarlas advertimos claramente que la carne sellada nos parece más jugosa. ¿Qué pasó? ¿Por qué, a pesar de todo, percibimos que la carne dorada o sellada resulta más jugosa?

¿Qué es la carne?

Los cambios de textura, sabor, jugosidad y otros que advertimos al cocinar una carne se deben en esencia a las modificaciones que experimentan sus distintas proteínas, y a que varía el contenido de agua por efecto del calor. Para comprender cómo, a la hora de la cocción, todos esos factores juegan en el resultado final es necesario considerar la composición de la carne.

La carne de los animales que consumimos proviene de los músculos de estos, que a su vez se componen de haces de fibras musculares, tejido conectivo y tejido adiposo. La proporción de cada uno de estos tejidos cambia según la especie y raza del animal, su edad, la función del músculo y la forma de crianza. La tarea de los músculos es ejecutar los movimientos del cuerpo: se contraen y relajan según el movimiento a realizar, algo que cumplen las fibras musculares, cuyo trabajo conjunto contrae el músculo completo.

¿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.

El tejido conectivo mantiene unidas las células musculares, tanto entre ellas como con los huesos. Las principales proteínas que lo componen son el colágeno, la elastina y la reticulina. Ese tejido contiene al músculo, y en aquellos músculos que deben hacer más esfuerzo se hace a su vez más fuerte, con el consiguiente endurecimiento del músculo. Los cortes de carne provenientes de músculos con mucho tejido conectivo son los llamados de tercera, como el osobuco, el garrón o el matambre. Son los menos tiernos en el plato. Además, a medida que un animal envejece, la cantidad de ese tejido aumenta y se hace más compacto, lo que lo vuelve más rígido.

El tejido adiposo o grasa puede estar fuera del músculo o dentro de él. Cuando la grasa es interna, se dice que la carne es marmolada (por asociación con las vetas del mármol). La grasa intramuscular hace que la carne resulte más tierna y jugosa, pero, otra paradoja, no agrega jugo.

Las células musculares contienen proteínas como la actina y la miosina que les permiten contraerse y, al trabajar juntas, mover el cuerpo. Pero además de esas proteínas contráctiles hay otras que también influyen en los cambios producidos por la cocción: son las proteínas de la membrana celular y otras del citoplasma que mantienen viva a la célula. Entre estas se encuentra la mioglobina, que es responsable del color rojo de las carnes.

¿Sangre o jugo?

Muchas veces, en el recipiente en que hemos guardado un trozo de carne advertimos la aparición de un jugo rojo parecido a la sangre. Es común suponer que se trata de sangre, pero ello no es así porque, como parte del

proceso de faenarlos, los animales son completamente desangrados. El líquido en cuestión es el contenido de las células musculares, es decir, es agua con proteínas, entre ellas la mencionada mioglobina, que tiene el mismo color que la hemoglobina que tiñe la sangre.

Los cambios que se producen durante la cocción de una carne se deben principalmente a los que sufren las proteínas del tejido muscular. Este está formado por muchas proteínas diferentes, cada una de las cuales se verá afectada de manera distinta por efecto del calor. El resultado final, entonces, dependerá de la suma de los efectos sobre cada proteína.

A medida que aumenta la temperatura a la que se lleva un corte de carne, cambia su textura, color y contenido de agua. Sus proteínas se desnaturalizan a distintas temperaturas. Para poder entender los cambios que van ocurriendo durante la cocción, imaginemos la célula muscular como un globo alargado que contiene unas esponjas mojadas formadas por proteínas.

Al comienzo, hasta los 40°C no se advierten cambios. Pasado ese umbral, las proteínas (nuestra esponja) se van desnaturalizando y soltando el agua que tenían atrapada. Es justamente por la naturaleza diferente de esas proteínas que existe un abanico de puntos de cocción, desde el jugoso o sangrante (45-50°C) al muy cocido (arriba de los 70°C). Durante la cocción la carne va perdiendo agua y, por lo tanto, se pone cada vez más seca. Si el trozo de carne tiene mucho tejido conectivo, será dura, pero si la cocinamos durante bastante tiempo el colágeno, que es la proteína principal de ese tejido, se convierte en gelatina. Es así como con una cocción prolongada el osobuco se deshace en la boca.

El color de la carne varía a medida que se ve afectada la mioglobina: pasa del rojo al rosa a los 62°C, y de este al marrón a los 68°C. Muchas veces evaluamos el punto de

cocción por el color de la carne. Sin embargo, la pérdida de agua y por lo tanto la textura van cambiando en el intervalo de temperaturas en que el color no varía mayormente. Para un mismo color podemos tener mayor o menor cantidad de líquido, con sus correspondientes texturas.

Un factor fundamental que influye en el sabor y la percepción de jugosidad de una carne es el dorado o sellado. Al someter una pieza a temperaturas superiores a los 140°C en un medio seco como una parrilla o una plancha, ocurren cambios que generan nuevas sustancias en su superficie, las que a su vez aportan nuevos sabores. Estos cambios se deben a la denominada *reacción de Maillard*, así llamada en honor de Louis-Camille






Foto sxc.hu/Klaus Post

Maillard (1878-1936), por la cual azúcares presentes naturalmente en los tejidos reaccionan bajo la acción del calor con los aminoácidos libres provenientes de las proteínas de la carne. Se generan así cambios en cadena, ya que dichas sustancias nuevas van asociándose con otras ya presentes o producto de la misma reacción.

Quizá sorprenda la mención de azúcares en la carne. La realidad es que hay moléculas de azúcares en todos los tejidos, a los que proveen energía, y también las hay (desoxirribosa y ribosa) en el ADN y el ARN. Pero están en ínfima proporción. De la misma manera, en los vegetales encontramos proteínas.

Como resultado de la reacción de Maillard pueden aparecer más de doscientas moléculas sápidas (con gusto), aromáticas (con aroma) y coloreadas (con color). Dicha reacción, además del dorado de carne, produce en parte el dorado de la costra del pan, el de las papas fritas y el color oscuro del dulce de leche. Siempre que haya aminoácidos libres, azúcares libres y calor seco por encima de los 140°C, esa reacción tendrá lugar. En cada caso será ligeramente distinta, por lo cual generará distintos aromas y sabores, por la influencia de factores como la composición del producto, el grado de acidez, la humedad, la temperatura de calentamiento y el tiempo.

Con todo este bagaje de información, aún falta un concepto para comprender el origen del mito inicial de dorar la carne para que sea jugosa. Es el concepto de jugosidad. Esta es la sensación de humedad en la boca provocada por un alimento, y depende no solo de la cantidad de agua en el producto sino, también, de las sustancias que contenga que puedan provocar salivación.

Si en la degustación de carne sellada y carne no sellada la primera resulta más jugosa aunque ambas hayan sido cocinadas a la misma temperatura interna y tengan el mismo contenido de agua, ello es porque las sustancias generadas por el sellado causan la diferencia de percepción. Algunas de estas sustancias, en efecto, provocan salivación y hacen aparecer la carne sellada más jugosa al paladar, aunque no tenga más agua retenida. 



Mariana Koppmann

Bioquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.
Presidenta de la Asociación Argentina de Gastronomía Molecular.

mkoppmann@marianakoppmann.com

Riesgo sísmico

Arquitectura para proteger la vida

La ingeniería civil tradicional convive con una tecnología quechua que ayudaría a evitar el colapso de edificios durante un sismo, con un costo de menos de mil pesos por metro cuadrado.

Por Lucila Espósito

Construir edificios en zonas de riesgo sísmico es un desafío. Todas las estructuras en las cuales el hombre desempeña sus actividades deben estar preparadas para resistir el terremoto y proteger las vidas humanas. La ingeniería civil tradicional propone diseños altamente resistentes, mientras que las construcciones con quincha, una tecnología quechua, son una opción alternativa, económica y de escaso impacto ambiental.

En Argentina existe una zona de alto riesgo sísmico donde ocurren la mayoría de los terremotos y que según estudios del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRE), con sede en San Juan, abarca las provincias de Mendoza, San Juan, La Rioja y el sur Catamarca. Frente a esta problemática local, la ingeniería sismorresistente es una necesidad tanto para preservar las construcciones como para salvaguardar las vidas de las personas.

Uno de los episodios más lamentados fue el terremoto de San Juan en el año 1944, que causó alrededor de diez mil muertes. La misma provincia fue azotada por otro sismo de gran magnitud en 1977. Las consecuencias no sólo pesaron sobre la vida de las personas, sino que alrededor del cincuenta por ciento de las construcciones de adobe fueron destruidas.

Los sismos o terremotos se originan por la li-

beración de energía acumulada en las rocas al interior de la Tierra, que a su vez provoca el choque de las placas tectónicas. Así, el suelo se mueve por las fuerzas horizontales que provocan estos desplazamientos.

El objetivo de la arquitectura sismorresistente es que durante un terremoto la construcción pueda resistir esta combinación de fuerzas, que no colapse y que quede económicamente reparable.

“Ante un sismo muy severo hay un compromiso profesional que indica que primero hay que salvar vidas y después ver qué se hace con la estructura para recuperarla”, señala el ingeniero civil Ricardo Uliarte, especialista en diseño de estructuras sismorresistentes y docente en la Universidad Nacional de San Juan.

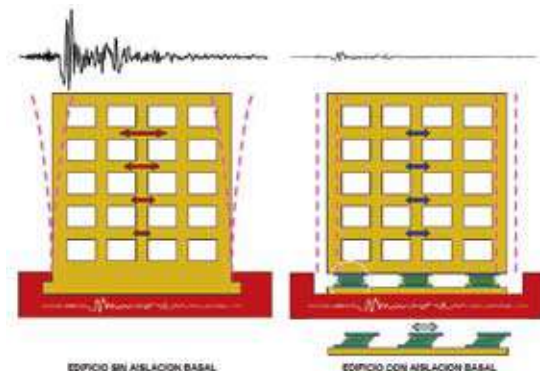
Ecología sismorresistente

Guadalupe Cuitiño Rosales, becaria doctoral del CONICET en el Instituto de Ciencias Sociales, Humanas y Ambientales (INCIHUSA) en Mendoza, es ingeniera civil y estudia las ventajas ambientales, económicas y técnicas de las construcciones con quincha, que además de ser antisísmicas son sustentables.

La quincha es una tecnología de edificación que tiene sus orígenes en la cultura quechua. El término quincha significa cerco con palos o varas y se relaciona con el uso de la caña. Estas construcciones son utilizadas principalmente en las zonas rurales y en los alrededores de las zonas urbanas, donde se tiene más acceso a los mate-

riales naturales como cañas y tierra para hacer el barro de los muros y troncos de árboles, que se utilizan para las columnas de la vivienda.

El equipo de investigadores del CONICET buscó definir y precisar varios aspectos de esta tecnología, especialmen-



te la proporción necesaria de arena-arcilla-fibra vegetal del barro de los muros y el armado de la estructura con caña para mejor resistencia.

“El objetivo es avanzar hacia una mayor sustentabilidad del cerramiento, mejorar las condiciones térmicas y confort interior, y lograr que la radiación solar que ingresa alcance un buen porcentaje de calefacción necesaria”, explica Cuitiño Rosales.

Las estructuras con quincha utilizan cimientos y vigas de hormigón sobre los cuales se disponen hasta cinco hiladas de ladrillo o piedra junto con un material hidrófugo, que repele el agua y evita el ascenso de la humedad a los paneles de tierra.

Sobre esta base se erige la estructura principal, que en el centro-oeste del país es de rollizos de álamo o eucaliptos, y los muros construidos con caña. Para el esqueleto interno de las paredes se utiliza caña recubierta con una mezcla de tierra arcillosa, arena y fibra vegetal como puede ser paja de trigo o de centeno.

Gracias a esta combinación de materiales, las construcciones son livianas y muy flexibles, lo que permite que frente a una fuerza sísmica los muros de quincha se deformen bastante antes de llegar al colapso.

Los estudios de ingeniería realizados para precisar la resistencia de estas estructuras indican que son “sismorresistentes con un comportamiento muy satisfactorio, aunque tienen la desventaja de tener poca resistencia a la acción erosiva de la lluvia”, señala Cuitiño Rosales.

Las ventajas son numerosas ya que no sólo son una alternativa ecológica sino también económica y sustentable. Se pueden utilizar mate-



Diálogo con un investigador



Federico Pelisch, investigador del CONICET, es licenciado en Biología por la Universidad de Buenos Aires (UBA), hizo su doctorado y posdoctorado en la misma casa de estudios, y recientemente ganó la prestigiosa beca Marie Curie, de la Unión Europea. Trabaja en el estudio de los mecanismos celulares que intervienen en la reparación del daño al ADN y previenen las mutaciones que eventualmente podrían desembocar en el desarrollo de una célula tumoral.

¿CÓMO VES LA RELACIÓN ENTRE CIENCIA BÁSICA Y APLICADA?

Mezclando un poco los dichos de Louis Pasteur con los de Aaron Ciechanover, que ciertamente reflejan el pensamiento de varios de nosotros, “no hay ciencia básica y aplicada, sólo hay buena y mala ciencia y una buena ciencia, al final, encontrará su camino hacia la aplicación... Sin ciencia básica, la fuente de agua de lo que llamamos ciencia aplicada se seca eventualmente”.

CUANDO SE TRABAJA EN CÁNCER, ¿CÓMO IDENTIFICAN UNA POTENCIAL LÍNEA DE INVESTIGACIÓN?

Es relativamente ‘fácil’ para un científico poder relacionar una línea de investigación con cáncer, porque el mismo mecanismo que funciona bien en una célula normal lo hace de manera aberrante en una célula de cáncer. Pero es básicamente el mismo mecanismo, como por ejemplo la división celular o la decisión que toma de dejar de dividirse o morir.

¿CÓMO SE TRADUCE ESO EN INVESTIGACIÓN APLICADA?

Con nuestro grupo hacemos ciencia básica y estudiamos los procesos que regulan la división celular. Uno puede encontrar el mecanismo básico, pero sabemos que no estamos ni cerca de desarrollar la cura para el cáncer. Sin embargo, está la opción de contactar un investigador clínico que esté trabajando con drogas en distintas fases de experimentación y que apunten a actuar sobre el mismo mecanismo celular que estamos estudiando.

¿CÓMO SE DA ESTA INTERACCIÓN?

Ellos toman los datos de las investigaciones que hacemos en el laboratorio a nivel celular y molecular y comienzan a hacer estudios que pasan por las distintas etapas de experimentación. El objetivo es determinar si esa droga, que impacta sobre ese mecanismo en particular, puede usarse o no para el tratamiento de humanos. Hay que tener en cuenta que el porcentaje de los fármacos que llegan a este estadio es relativamente bajo. Es fundamental entender este ciclo, que es largo y que no es que uno hace una investigación y cura directamente el cáncer.

¿CÓMO FUE QUE TE TERMINASTE DECANTANDO POR LA CIENCIA BÁSICA?

En el secundario tuve un par de profesores para quienes, no se bien por qué, yo era ‘material de ciencias exactas’. Cuando estudiaba biología no me interesaban las plantas o los animales, y terminé descubriendo que había una rama que analizaba más en detalle todos los procesos, que era la biología molecular. Pero fue muy importante tener grandes profesores en el primer año, porque te abre la cabeza muchísimo.

¿CÓMO INFLUYE TENER ESTOS DOCENTES AL INICIO DE LA CARRERA?

Es gente que le gusta estudiar muy en ‘chiquitito’ cosas que no se ven y las terminan analizando indirectamente porque ni con el microscopio se pueden observar. Todo lo que nosotros vemos y estudiamos lo hacemos en forma indirecta a través del efecto que causan en otras moléculas más grandes. Y para entender esta ‘psicología molecular’ es fundamental el interés que se despierta en los primeros años. Ahí se define si te gusta o lo rechazás. ■

riales que se encuentran en la naturaleza, como tierra, pastos, cañas, madera, y además permite ahorrar en mano de obra ya que es posible que el propietario la construya por sí mismo.

Según la becaria, el costo aproximado de una vivienda sería de mil pesos por metro cuadrado sin mobiliario. “Es una propuesta que cada día cobra mayor importancia como tecnología alternativa de viviendas sustentables, ya sea por la constante demanda de una vivienda digna o por el deseo de vivir en una casa construida de materiales naturales”, destaca Cuitiño Rosales.

Técnicas tradicionales y nuevos avances

Por su parte, Uliarte explica que en zonas de riesgo sísmico se exige, y se supervisa, que todas las estructuras donde el hombre desarrolla actividades estén preparadas para un terremoto. Ya sean industrias, carreteras, puentes, edificios públicos o viviendas.

Tradicionalmente los edificios se construyen con base fija, es decir que están arraigados al suelo, por eso durante un terremoto el movimiento se transmite de ahí hacia arriba. De acuerdo a cómo esté diseñado puede amplificar o no el movimiento.

La ingeniería sismorresistente más difundida trabaja con acero, hormigón y hormigón armado. Cuando se trata de viviendas de no más de dos pisos se utiliza la mampostería armada y encadenada, que consiste en rodear con vigas y columnas las fundaciones y el cuadro de hormigón o ladrillos. Esto hace que ante las fuerzas sísmicas los muros tensen la estructura en varias direcciones y eviten el colapso.

“Últimamente ha habido técnicas nuevas como son los aislamientos sísmicos que consisten en la colocación de una interfase flexible con el objeto de que no transmita todo el movimiento a la estructura. Pueden ser aisladores con capas sucesivas de goma y acero que absorben la aceleración del terremoto”, explica Uliarte.

Con una técnica u otra, las construcciones sismorresistentes tienen un costo entre un cinco y un quince por ciento mayor que una vivienda común. Sin embargo, Uliarte dice que es un sobre costo que es imperativo afrontar en pos de proteger vidas y evitar daños irreparables. ■

En un instituto del CONICET

Obesidad: demuestran que es una condición que se autoperpetúa

Investigadores argentinos generaron un modelo genético animal que prueba que es irreversible. Los resultados indican que el tratamiento es más eficaz cuanto más jóvenes son los individuos

Por Ana Belluscio

La Encuesta Nacional de Factores de Riesgo, elaborada por el Ministerio de Salud en 2009, mostró que en Argentina la prevalencia de la obesidad es del 18 por ciento. Sin embargo, el sobrepeso y la obesidad no sólo están relacionados con ‘comer de más’ sino que existen otros factores asociados a su desarrollo y evolución.

Un grupo de investigadores creó un ratón transgénico al que le ‘apagaron’ el gen que codifica para la prohormona proopiomelanocortina (POMC). Cuando lo ‘prendieron’ y el animal comenzó a producir esta molécula, observaron una notable pérdida de peso y cambios en parámetros como la concentración de glucosa e insulina en sangre. Los resultados fueron publicados en el último número del reconocido *Journal of Clinical Investigation*.

POMC es una molécula que da origen a diferentes proteínas, entre ellas la hormona es-

timulante de melanocitos (MSH), relacionada con los mecanismos hambre-saciedad y pérdida de apetito que ocurren a nivel del núcleo arcuado del hipotálamo, un órgano ubicado en el cerebro.

Los científicos crearon un modelo donde el animal nacía con este gen ‘apagado’ en este núcleo. Al no expresarse POMC el circuito de saciedad estaba inactivo y los animales comían excesivamente, lo que llevó a que desarrollen diferentes grados de obesidad. Para analizar su correlación con la edad, los investigadores agregaron un mecanismo que les permitía activar el gen en momentos específicos.

Los resultados mostraron que cuanto más joven era el animal cuando se reestablecía el circuito de POMC, más posibilidades tenía de recuperar un peso normal. Por el contrario, aquellos individuos que habían sido obesos por mucho tiempo quedaban con un sobrepeso de más del 50 por ciento respecto de los valores normales.

“Esto demuestra que la enfermedad se autoperpetúa y que si el individuo es obeso durante un determinado lapso lo más probable es que no pueda dejar de serlo”, explica Marcelo Rubinstein, investigador del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería

Genética y Biología Molecular (INGEBI), profesor de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) y uno de los directores del estudio junto a Malcolm Low, de la Universidad de Michigan.

Según indican en el estudio, la obesidad podría inducir cambios irreversibles en los circuitos neuronales relacionados con el

gasto energético y, por lo tanto, aunque se restablezca la producción de POMC los individuos no pueden volver a un peso normal.

Para Julio Montero, médico nutricionista y ex presidente de la Sociedad Argentina de Obesidad y Trastornos Alimentarios (SAOTA), esta técnica “nos permite ver cuáles son las consecuencias a largo plazo de la obesidad” ya que deja en evidencia que las respuestas dependen del momento de presentación de la obesidad y su duración.

Obesidad: una condición que se autoperpetúa

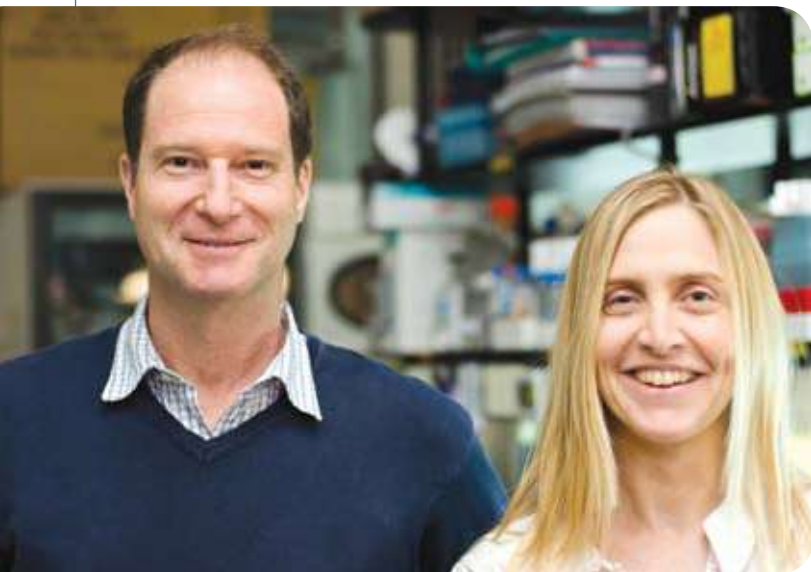
Los investigadores trabajaron con cuatro grupos. Todos nacieron con el gen de POMC ‘apagado’. A los tres primeros grupos les permitieron comer a voluntad antes de su ‘encendido’, mientras que el cuarto fue sometido a una dieta de restricción calórica. Tras la activación del gen, los cuatro grupos pudieron comer libremente.

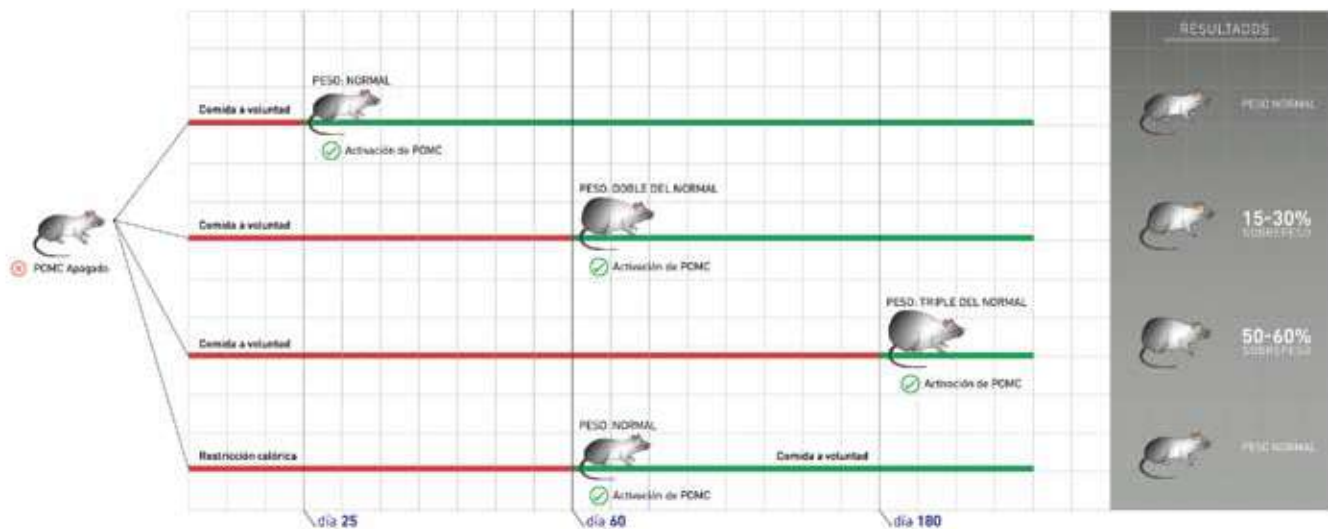
“Al primer grupo le encendimos el gen a los 25 días, que equivale a una edad infantil en humanos; al segundo y cuarto grupo a los 60 días de su nacimiento, que son adultos jóvenes; y al tercero a los 180 días, cuando ya son adultos maduros”, explica Viviana Bumaschny, investigadora del CONICET en el INGENI y primera autora del estudio.

Los resultados fueron contundentes. Los animales del primer grupo, como no habían tenido tiempo de desarrollar obesidad, recuperaron un peso casi normal cuando se les reactivó el circuito de POMC.

Los del segundo grupo ya tenían casi el doble de peso de un animal normal y cuando comenzaron a sintetizar POMC no pudieron perder todo el exceso. “Quedaron con un sobrepeso moderado, entre un 15 y 30 por ciento por arriba del peso normal”, explica Bumaschny.

Pero los resultados más notables se observaron en los animales del tercer grupo. Como el mecanismo de saciedad mediado por MSH estuvo bloqueado por más tiempo, ya pesaban más del triple que lo habitual cuando se activó





el gen de POMC y quedaron con un exceso de más del 50 por ciento del peso normal.

En contrapartida, los animales del cuarto grupo no desarrollaron obesidad antes de la activación del gen, porque estaban sometidos a una dieta. Por ello, cuando comenzaron a sintetizar POMC mantuvieron el peso normal.

Para Rubinstein es justamente este grupo, cuando se lo compara con el segundo, el que brinda una de las claves más importantes sobre la obesidad. “Nos permite concluir que es el peso y no la edad al tratamiento lo que determina el destino de los ratones, y demuestra que la obesidad es una condición que se auto-perpetúa”, afirma.

Pero no son todas malas noticias: el aspecto positivo es que no es lo mismo tener un sobrepeso moderado que grave cuando se analizan los valores de laboratorio y parámetros vitales como los niveles de glucosa y grasa hepática.

“Desde el punto de vista neurobiológico, una interpretación de estos resultados indica que pedirle a un obeso que adelgace hasta recuperar un peso normal es como pedirle a un ciego que se esfuerce para conseguir ver, porque el cerebro de un obeso sufrió una adapta-

ción irreversible para mantener un peso corporal mayor a través de una ingesta alimentaria exagerada”, analiza Rubinstein.

Impacto en la salud

Al analizar los animales, los investigadores notaron que el aumento de peso era a costa del incremento de tejido adiposo, que en los casos más graves había ‘penetrado’ en los órganos. Además, los animales más obesos desarrollan diabetes con altos niveles de insulina y glucosa en sangre.

Cuando comenzaron a producir POMC y se normalizó el apetito, los ratones comenzaron a perder grasa rápidamente. “Pasaron de comer casi el triple que un animal normal a ingerir menos de la mitad durante varios días, cuando pierden mucho peso”, dice Bumaschny.

Además, los valores de glucosa e insulina bajaron a niveles normales en los animales de los primeros dos grupos, mientras que en aquellos que con obesidad mórbida las cifras se redujeron notablemente, pero sin llegar a ser normales.

Los investigadores postulan que estas me-

joras estarían asociadas al restablecimiento del circuito POMC. Sin embargo, aquí también la edad del animal al momento de activación del gen juega un papel importante, lo que refuerza la hipótesis de que una intervención temprana sobre la obesidad mejora notablemente los resultados.

“Extrapolando este resultado a humanos, desde el punto de vista estético quizás una persona obesa nunca alcance la figura que imagina frente al espejo, pero sí puede recuperar un estado de salud casi normal, que contrasta fuertemente con la obesidad mórbida que compromete parámetros clínicos vitales”, comenta Rubinstein.

Por su parte, Montero opina que uno de los principales hallazgos de esta investigación está relacionado con su potencialidad terapéutica.

“Se puede pensar en buscar moléculas que puedan imitar la acción de la POMC o la MSH en el hipotálamo para controlar una alimentación voraz”, remarca, “y además abre una ventana hacia aspectos muy interesantes sobre las transformaciones que sufre el cuerpo frente a la sobrealimentación”. ■

La esfera armilar

Un antiguo instrumento astronómico

En latín, *armilla* significa aro, anillo o brazaete. De ahí provino el nombre de *esfera armilar*, usado para designar a un modelo o representación en tres dimensiones de la esfera celeste, la trayectoria aparente del Sol en el cielo y algunos elementos astronómicos significativos como

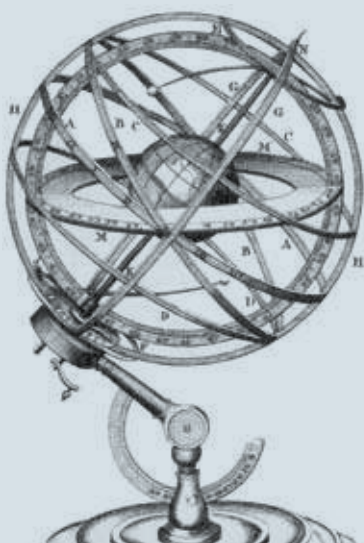


Figura 1. Una esfera armilar de 1771 construida para el hemisferio norte y regulada para aproximadamente 50 grados de latitud. Sus partes son: A, trayectoria del Sol en los equinoccios o línea del ecuador celeste; B, eclíptica, con la indicación de dónde está el Sol en cada mes; C, trayectoria del Sol en el solsticio de verano o trópico de Cáncer; D, trayectoria del Sol en el solsticio de invierno o trópico de Capricornio; E, círculo polar ártico; F, círculo polar antártico; G, coluro o círculo máximo equinoccial; H, coluro o círculo máximo solsticial; K, eje de rotación de la Tierra; M, plano del horizonte; N, polo norte celeste.

el ecuador, los trópicos, los círculos polares celestes y la eclíptica. El adminículo consiste en un conjunto de aros concéntricos dispuestos en torno a una pequeña esfera que hace las veces de la Tierra (figuras 1 y 2). Data de antiguo: su invento se atribuye, entre otros, a Eratóstenes de Cirene (276-195 a.C.), astrónomo, matemático y geógrafo griego que vivió principalmente en Alejandría, cuya célebre biblioteca dirigió.

En la antigua Grecia, lo mismo que en China, donde para algunos apareció por primera vez, o en Persia, la esfera armilar sirvió para realizar observaciones y cálculos de determinadas magnitudes astronómicas, entre ellas el ángulo del ecuador con la eclíptica. Como instrumento científico también la usaron los árabes, quienes desde Andalucía la introdujeron en Europa occidental, donde el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) fue uno de los que hizo extenso uso de ella. De hecho, hasta la invención del telescopio óptico en el siglo XVII fue el instrumento astronómico por excelencia, al punto de que aparece como recurso para dar prestigio a la ambientación de numerosas pinturas del Renacimiento, por ejemplo, *San Agustín en su gabinete*, un fresco de Sandro Botticelli (1445-1510) en la iglesia de Todos los Santos de Florencia (figura 3).

Un atractivo recurso didáctico

Las antiguas esferas armilares son mecanismos sumamente ingeniosos y resultan objetos muy atractivos a la vista. Presentarlas en un contexto escolar da pie para poner de manifiesto ambas características, pero tiene una virtud más importante para

el trabajo del profesor en el aula: permite guiar a los alumnos por el itinerario histórico de la ciencia, desde las primeras intuiciones e ideas que se fueron concibiendo sobre la geometría del cosmos hasta las concepciones más modernas que las superaron. Es, por ejemplo, un recurso valioso para apreciar el valor de la visión ptolemaica (o geocéntrica) del cosmos y evitar la tentación de ponerla en ridículo frente a la copernicana (o heliocéntrica). Entender cómo se llegó de una a la otra después de muchos siglos es un recorrido que resulta natural para los estudiantes, que parten de una situación, si no de ignorancia, por lo menos de mirada ingenua, en algunos aspectos comparable a la de la humanidad ilustrada de hace a veces no tantos siglos.

El trabajo didáctico con la esfera armilar es un buen complemento del que describi-



Figura 2. Lámina de la *Encyclopédie* de Diderot y D'Alembert, 1751, que muestra una esfera armilar.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un antiguo instrumento astronómico que puede emplearse hoy como recurso didáctico en la escuela, y la forma de trabajar con él en el aula.



Figura 3. A la derecha, Sandro Botticelli, *San Agustín en su gabinete*, fresco de 152 x 112cm, ca. 1480, iglesia de Todos los Santos, Florencia. Advértase la esfera armilar a la izquierda. Arriba, detalle de la esfera armilar.



mos en un artículo de esta revista que recomendamos leer junto con este. Sugerimos en la otra nota (A Gangui, MC Iglesias y CP Quinteros, 'El movimiento de las sombras', CIENCIA HOY, 19, 110: 48-56, abril-mayo de 2009) construir una maqueta que represente el movimiento diurno aparente del Sol. La figura 4 muestra esa maqueta.

Un modelo mental que mantiene su utilidad

El concepto que subyace tanto en esa maqueta como en la esfera armilar es el de la *bóveda celeste*, una representación mental del cosmos como una esfera en cuyo centro está la Tierra que habitamos (o alternativamente, el Sol, alrededor del cual se traslada anualmente nuestro planeta). Esa fue la manera de entender la geometría del cosmos y la base de la astronomía de posición desde la Antigüedad hasta bien entrada la Edad Moderna, y para muchos propósitos es un modelo mental que aún nos resulta útil.

Como se aprecia en la figura 5, nosotros miramos la bóveda celeste desde su interior y vemos todos los cuerpos celestes localizados en algún punto de la superficie de la esfera. Podemos precisar la ubicación de cada uno mediante alguna definición convencional de sus coordenadas. Por la rotación de la Tierra, vemos girar la esfera entera alrededor de nosotros, y describir una rotación completa cada aproximadamente 24 horas (un poco menos en realidad, ya que esta ro-

tación se cumple en 23 horas y 56 minutos, aproximadamente, lo que corresponde al llamado día sidéreo). El eje de esa rotación, llamado también *eje del mundo*, es la línea que pasa por los polos norte y sur de la Tierra y se prolonga hasta alcanzar la superficie de la bóveda; así determina el *polo norte celeste* y el *polo sur celeste*. Equidistante entre ambos polos celestes sobre la esfera está la circunferencia del *ecuador celeste*, determinada por la proyección en el cielo de la circunferencia del ecuador terrestre.

Otra gran circunferencia definida sobre la esfera es la *eclíptica*, que es más difícil de entender intuitivamente. Corresponde al recorrido aparente del Sol, visto desde la Tierra contra el telón de fondo de las estrellas, no en un día sino en un año. Otra manera de imaginarse la eclíptica es como la intersección de la bóveda celeste y el plano determinado por el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. Las estrellas del mencionado telón de fondo que veríamos de día detrás del Sol en cada mes son las que forman las constelaciones del zodíaco que están detrás –o por las que 'pasa' el Sol cada día. Como es obvio, escribimos 'veríamos', porque en realidad la luz del Sol nos impide verlas, y de noche, o durante el crepúsculo, no distinguimos esas constelaciones sino las que se en-

cuentran apartadas por lo menos un par de constelaciones a cada lado de la ubicación real del Sol (en general, llegan a verse bien diez de las trece constelaciones del zodíaco, entre las que por supuesto también hemos incluido la constelación de Ofiuco, que se halla entre Escorpio y Sagitario).

En la figura apreciamos que el ecuador celeste y la eclíptica, al cortarse, determinan dos puntos. Como se podrá apreciar mejor enseguida, al analizar la esfera armilar, son los dos momentos del año en que el Sol está en el ecuador celeste, es decir, los equinoccios, que ocurren en el comienzo de la primavera y del otoño de cada año.

Las coordenadas que mencionamos, usadas para establecer la posición en el cielo de cualquier cuerpo celeste, se suelen definir con relación a ciertos planos fundamentales, que pueden ser el ecuador, la eclíptica o el horizonte del lugar, y medirse por magnitudes angulares, en grados (y sus fracciones). Las coordenadas ecuatoriales se llaman ascensión recta y declinación; las eclípticas, latitud y longitud celestes; las horizontales, cuya validez es solo local, azimut y altura. En el caso particular de la ascensión recta, y dado que la Tierra completa un giro de 360 grados angulares respecto de las estrellas del cielo en 24 horas sidéreas (que tienen 4 minutos menos que las 24 horas reloj), esta coordenada acostumbra medirse también en horas, minutos y segundos sidéreos.

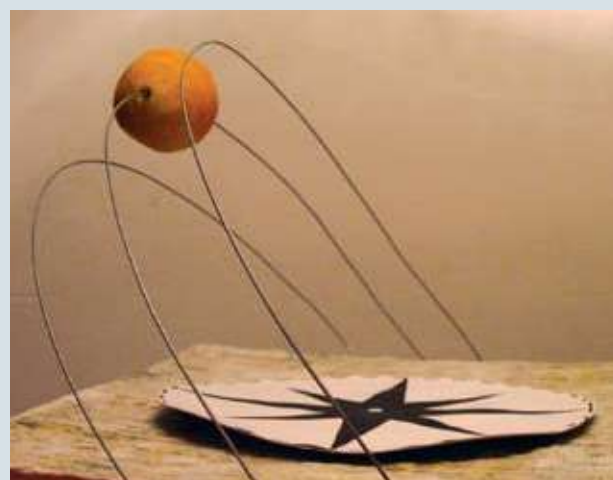


Figura 4. Maqueta que muestra la trayectoria aparente del Sol por la bóveda celeste en tres días del año. La esfera ensartada en uno de los alambres representa al Sol y se puede mover para simular su posición en el cielo en las diferentes horas del día: cuando alcanza el punto más alto indica el mediodía solar. Se puede suponer que, interpretando que se trate del hemisferio sur (y para una latitud al sur del trópico de Capricornio), los arcos semicirculares de alambre corresponden respectivamente (de izquierda a derecha) al solsticio de invierno, ambos equinoccios y el solsticio de verano. En este caso, la maqueta está orientada con el punto cardinal norte hacia la izquierda de la imagen; de hecho, en el hemisferio sur, los arcos diurnos solares (los alambres) se inclinan hacia el norte.

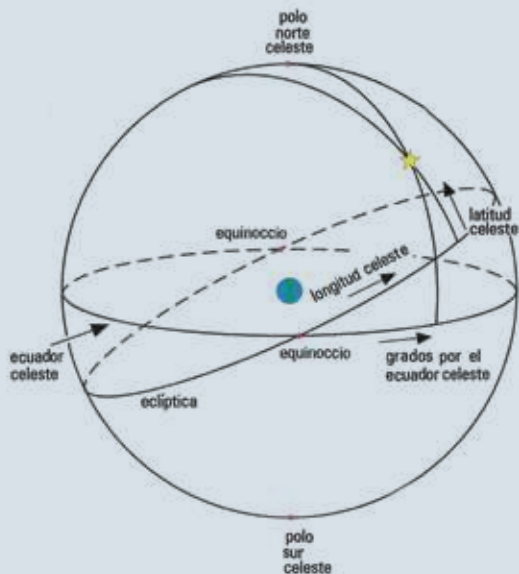


Figura 5. La esfera celeste.

Esfera armilar simplificada para el aula

Para trabajar en clase con la esfera armilar es aconsejable usar un modelo simplificado, como el que muestra la figura 6, construido por Carlos Alberto Páez, diestro artesano y antiguo alumno de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, en colaboración con Roberto Casazza. Como se aprecia, consta de una bolilla central, que hace las veces de la Tierra, y de un conjunto de aros metálicos que la rodean. El eje de rotación de la Tierra sostiene el conjunto y va atornillado al mayor de los aros metálicos. El eje de la Tierra está levantado unos 35 grados del plano horizontal, dado por la mesa o superficie de apoyo. Eso corresponde a la latitud de la ciudad de Buenos Aires y puede variarse para representar el movimiento del cielo en cualquier latitud terrestre.

Figura 6. Dos vistas de un modelo simplificado de esfera armilar.



El aro metálico más grande corresponde al meridiano del lugar para el que se calibre la esfera y define un plano vertical que pasa por los dos polos. El momento en que, en su viaje diurno, el Sol pasa de un lado al otro de ese aro es el mediodía solar. Por eso se habla a veces de horas AM (antes meridiano) y PM (pasado meridiano), para designar a las de la mañana y la tarde respectivamente.

Calibrada la esfera armilar como lo muestra la foto, la parte alta del eje de rotación de la Tierra apunta al polo sur celeste, que en la latitud de Buenos Aires se halla precisamente a unos 35 grados de altura sobre el horizonte en la dirección del punto cardinal sur. Habiendo colocado el hemisferio sur de la Tierra hacia arriba, la estrella polar (*Polaris*), que indica la dirección del polo norte celeste, queda por debajo del horizonte dado por la mesa.

Considérense ahora los dos aros que están algo inclinados entre ellos (unos 23,5 grados angulares), y que podemos imaginar como dos circunferencias proyectadas sobre la bóveda del cielo. El aro que define un plano exactamente perpendicular al eje del mundo es el ecuador celeste: adviértase que corta el horizonte exactamente en los puntos cardinales este y oeste. El otro es la eclíptica. Como podemos apreciar, nuestra esfera armilar permite representar el movimiento aparente del cielo, tanto diurno como anual, para un observador terrestre considerado fijo e inmóvil en el centro del cosmos (el centro del instrumento). Nos proporciona, pues, la clásica representación geocéntrica del mundo, igual que la maqueta de la figura 4.

Si consideramos el aro de la eclíptica, veremos que a cada día del año le corresponde un lugar preciso en el que detrás del Sol se verían determinadas constela-



Figura 7. Esfera armilar regulada para los habitantes del hemisferio sur y para indicar la posición del Sol a mediodía en el solsticio del verano austral.

ciones, las del zodiaco para ese día. El lugar de cada día está muy próximo al del día siguiente: del orden de un grado angular, pues la vuelta completa (360 grados) del Sol por el telón de fondo de las estrellas acontece en aproximadamente un año (unos 365 días). A medida que, día tras día, el Sol se desplaza por el aro de la eclíptica, su alejamiento del aro ecuatorial también cambia, ya que ambos aros no son paralelos. Ese alejamiento se mide con la mencionada declinación.

Cuando el Sol se desplaza hacia el norte del ecuador, durante la primavera y el verano del hemisferio norte (y las estaciones opuestas en el hemisferio sur), su declinación es por convención de signo positivo, mientras que adquiere signo negativo cuando, en la primavera y el verano del hemisferio sur, se desplaza hacia el sur del ecuador. Se deduce de lo anterior que cuando el Sol se encuentra justo en el cruce de ambos aros, es decir, cuando se halla sobre el ecuador celeste, su declinación es cero. Es lo que sucede las dos veces al año que indicamos, en los equinoccios. En el mediodía solar de esos dos días



Figura 8. Esfera armilar regulada para mostrar las posiciones del Sol vistas por un habitante de Buenos Aires en distintas horas del solsticio de verano austral.



Figura 9. Esfera armilar regulada para mostrar las posiciones del Sol vistas por un habitante de Buenos Aires en distintas horas del solsticio de invierno austral.

el Sol está justo en el cenit de los habitantes de la línea ecuatorial de la Tierra.

En la figura 7, en la que se ve una bolilla anaranjada que representa el Sol, la esfera armilar ha sido regulada para el solsticio de verano del hemisferio sur, cuando el sol alcanza el punto más alejado del ecuador o su declinación máxima, que es $-23,5$ grados, porque, por convención, la declinación es negativa hacia al sur y positiva hacia el norte: en el solsticio de verano del hemisferio norte es de $+23,5$ grados. Se puede apreciar que la esfera armilar está orientada de modo que el polo sur celeste se ubique hacia arriba y, por ende, el polo norte celeste quede hacia abajo, tal como quedan ambos polos para los habitantes del hemisferio sur.

Si se hace girar la parte móvil del aparato alrededor del eje del mundo (véase la figura 6), se ve que el Sol describe un arco en el cielo: emerge del horizonte oriental, se eleva, llega a su punto culminante, comienza a descender y finalmente se oculta por debajo del horizonte occidental, como lo muestra la secuencia de imágenes de la figura 8. El arco descrito es similar al mostrado por el aro superior o de la derecha (el más largo) de la maqueta de la figura 4, que corresponde precisamente al movimiento diario del Sol el día del solsticio de verano austral. Ese día, en el hemisferio sur el Sol emerge del horizonte al sur del punto cardinal este, y se pone al sur del oeste.

Si ahora regulamos la esfera armilar para representar el solsticio de invierno austral, en el que el Sol alcanza la declinación positiva máxima ($+23,5$ grados),

y repetimos la serie de fotografías, obtendremos la secuencia de la figura 9. Para un observador ubicado en el hemisferio sur, en Buenos Aires por ejemplo, el arco recorrido por el Sol descrito a lo largo de ese día será el más corto del año y corresponderá al aro más corto de la maqueta de la figura 4.

Se deduce de lo explicado hasta acá que cuando el Sol está en el sitio medio de su trayectoria a lo largo de la eclíptica, es decir cuando su declinación es igual a cero y se encuentra en los puntos equinocciales, su arco diario está representado por el aro intermedio de la maqueta y por el ecuador celeste de la esfera armilar. En efecto, esos dos días por año el Sol recorre el ecuador celeste, lo que significa que quienes viven sobre la línea del ecuador terrestre lo tienen exactamente sobre sus cabezas (en el cenit) a mediodía de esas fechas. Además, esos días de equinoccio, por razones de simetría, todos los habitantes del planeta tendrán noches de doce horas y otras doce horas con el Sol por encima del horizonte.

Palabras finales

La construcción de ambos dispositivos presentados en esta nota puede representar una actividad instructiva para que el profesor lleve adelante con sus alumnos. La maqueta con los arcos solares de alambre es sin duda algo simple de fabricar. Quizá un poco más difícil sea reconstruir el modelo simplificado de la esfera armilar. Sin embargo, con las indicaciones dadas y habiendo entendido cabalmente el significado de cada una de sus partes (los aros metálicos correspondientes al meridiano del lugar, al

ecuador celeste, a la eclíptica y el eje del mundo) el diseño de este aparato no es imposible de abordar.

Si no se tiene la capacidad de manipular metales y soldaduras, puede asimismo intentarse su construcción con alambres rígidos doblados, como los empleados en la maqueta. Otra opción es usar una rueda de bicicleta (cuyo perímetro y eje serán el ecuador celeste y el eje del mundo, respectivamente) a la que puede agregarse, inclinado, un alambre o aro circular de igual perímetro, que representará a la eclíptica. Si un alumno sostiene con ambas manos el eje de la rueda, inclinándolo respecto de la horizontal un ángulo igual al de la latitud de la ubicación de su escuela, y otro se encarga de ir cambiando la posición del Sol a lo largo del aro inclinado, pueden representarse simplemente las trayectorias diurnas del Sol para cualquier día del año.

Jamás escasean elementos simples para trabajar los movimientos de los astros en el aula; basta comprender lo que se quiere representar. Esta nota intentó ayudar a construir esa comprensión. **CH**



Alejandro Gangui

Doctor en astrofísica, Escuela Internacional de Estudios Avanzados, Trieste.

Investigador independiente del Conicet.

Profesor adjunto, FCEYN, UBA.

Miembro del Centro de Formación e Investigación en la Enseñanza de las Ciencias, FCEYN, UBA.

gangui@df.uba.ar

cms.iafe.uba.ar/gangui

Cartel contrario a la Megaminería de una manifestación en Córdoba, Argentina. Foto flickr/ Matt Wootton



Carlos ReborattiInstituto de Geografía,
Facultad de Filosofía y Letras, UBA

Conflictos socioambientales y minería en la Argentina

La nueva minería

En la visión tradicional, América Latina era una fuente prácticamente inagotable de recursos naturales a disposición de aquellos que quisieran tomarlos: oro, plata, esmeraldas, petróleo, madera, cobre y estaño, entre otros, fueron explotados hasta llegar en algunos lugares a su agotamiento. Solo bien avanzado el siglo XX los gobiernos comenzaron a delimitar los derechos de explotación de esos recursos, mediante leyes más estrictas o por la nacionalización de las compañías extractoras.

Pero a partir de la década de 1980 la globalización de las economías latinoamericanas y la influencia de teorías que propiciaban someter la explotación de los recursos naturales a las reglas del mercado llevaron a una mayor presencia de capital extranjero, al tiempo que acaecía un debilitamiento del control de los Estados. Esa situación incrementó fuertemente las repercusiones ambientales de la actividad extractiva, sobre todo en los casos de la minería y la pesca.

Sin bien la discusión sobre el cometido de la minería en el desarrollo es muy antigua, en las últimas décadas

¿DE QUÉ SE TRATA?

La modernización de la minería —puesta en marcha en el país a mediados de la década de 1990— viene provocando crecientes conflictos entre gobiernos provinciales, organizaciones ambientalistas y población local, incrementados por la ausencia de un ámbito de discusión y negociación, la escasa capacidad regulatoria del gobierno nacional y la falta de comunicación entre el público y las empresas mineras.

tomó un nuevo significado porque la actividad cambió de escala. El aumento del precio de algunos metales –como el oro– permitió incurrir en mayores costos de extracción. En muchos casos, la explotación de vetas de mineral en galerías subterráneas fue reemplazada por operaciones a cielo abierto, realizadas mediante la remoción de grandes cantidades de materiales, y con un importante uso de agua y de diversas sustancias químicas para los procesos de refinación, con el consecuente riesgo de daño ambiental.

A partir del cambio de siglo en varios países tomó cuerpo la idea de una *reapropiación de los recursos naturales* y tuvo lugar un crecimiento sostenido de organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientalistas. También irrumpieron en la escena actores locales hasta ese momento marginados de las negociaciones y ausentes de la distribución de beneficios. La incidencia de estos factores dio lugar a numerosos conflictos socioambientales, originados en la incompatibilidad de las visiones de diferentes estamentos de la sociedad acerca de la explotación de los recursos naturales y sus consecuencias sobre el medio. Esos conflictos han impedido hasta el momento encontrar soluciones que saquen la cuestión del estatus de suma cero, en el que toda ganancia de alguien es pérdida de otro.

En la Argentina la población muestra muy escaso interés por discutir la explotación de sus recursos naturales, o por las consecuencias ambientales que podría tener. Aun cuando el país enfrenta variados problemas ambientales de distinta escala e intensidad, que van desde la deforestación, la contaminación hídrica y la erosión del suelo hasta la pesca indiscriminada y el sobrepastoreo, no se advierte una reacción generalizada en la sociedad que se pueda considerar una verdadera conciencia ambiental.

Esta distancia entre las ideas y preocupaciones de la sociedad y el incremento real o potencial de los problemas ambientales condujo a la aparición de una brecha entre los derechos ambientales de la población y las acciones de una justicia que los ampare. Como resultado, la conciencia de los problemas ambientales tiende a generarse primero en el ámbito local y, ante la falta de un marco regulatorio general, efectivo y confiable para permitir un proceso de diálogo y negociación, las preocupaciones locales se tratan de resolver por la vía del conflicto, generalmente con el resultado de que una de las partes obtiene todo y la otra nada.

Esquel y después

Hacia mediados de la década de 1990, se promulgó en la Argentina una ley de promoción de la minería que dio a las empresas interesadas una serie de ventajas económicas. Esto generó una considerable masa de inversiones, el crecimiento y la modernización de la actividad minera con el consiguiente potencial de producir daño ambiental, y una serie de conflictos como los descriptos,

el primero de los cuales ocurrió en los Andes patagónicos hacia los comienzos de este siglo, motivado por un proyecto minero cerca la ciudad de Esquel.

El corazón del conflicto residió en la coexistencia de visiones diametralmente opuestas sobre el uso del agua, la contaminación del medio, el empleo de mano de obra y la llegada de beneficios económicos a la población local y regional. Los vecinos veían estas cuestiones de una manera y la empresa canadiense Meridian Gold, promotora del proyecto, las veía de otra.

Cuando la firma presentó a las autoridades provinciales el estudio de impacto ambiental requerido para comenzar los trabajos, los vecinos comenzaron a movilizarse mediante asambleas, manifestaciones y presentaciones a la justicia. Esquel está ubicada en las cercanías de un parque nacional, en un área de gran belleza natural. Su población es reciente, puesto que el origen del poblado data de principios del siglo XX, y muchos –sobre todo en los últimos años– arribaron justamente por esa característica, por lo que cualquier amenaza potencial a la naturaleza es tomada muy seriamente.

La movilización de los vecinos fue apoyada por el grueso del ambientalismo nacional, que se compone de una densa red de pequeñas asociaciones conservacionistas en las que algunos líderes son muy activos y hacen intenso uso de los medios de comunicación y de las redes sociales. Por ese medio, el conflicto tomó estado público en el nivel nacional.

Los vecinos se habían agrupado en una Asociación de Vecinos Autoconvocados, paso que se repitió luego en otros conflictos semejantes, siempre con la característica de ser organizaciones espontáneas, cuya formalización les permitía actuar coherentemente en el ámbito legal y político. Esa espontaneidad fue vista por un público muy suspicaz de las organizaciones políticas como prueba de que se trataba de actores sociales legítimos y honestos en su búsqueda de la justicia ambiental. Es así como un referéndum no vinculante realizado entre la población local arrojó un aplastante 81% de votos en contra de que la mina se instalara.

La reacción de la compañía minera fue llevar el tema a la justicia, pero en sucesivas instancias esta se pronunció a favor de los vecinos. El gobierno provincial era primero un fuerte promotor del proyecto, pero a medida que la reacción popular aumentaba fue cambiando de actitud, hasta que finalmente terminó por ordenar el cese de las actividades hasta que se realizara un estudio en profundidad, lo que postergó la instalación minera indefinidamente.

El contratiempo de Esquel no frenó el interés de las compañías mineras, ya que se habían despertado en el medio internacional grandes expectativas acerca de la inversión minera en la Argentina. Como resultado de ellas, se pusieron en explotación cuatro grandes yacimientos: Bajo la Alumbraera y Salar del Hombre Muerto en Catamarca,

Cerro Vanguardia en Santa Cruz, Veladero en San Juan. A mediados de 2012 había por lo menos otros seis con importante avance y varios más en la etapa de exploración.

Según la Constitución Nacional reformada en 1994, los recursos naturales son de propiedad de las provincias. Por lo tanto son ellas las que deben negociar con las compañías mineras los eventuales permisos y las condiciones de explotación. Pero cuando descendemos a los casos concretos nos encontramos con los conflictos, cuya intensidad y resultados son muy variables. Dependen de factores como el momento en que se produjeron o producirán las inversiones, la distancia del yacimiento a algún centro poblado, la capacidad de movilización de los movimientos locales y las reacciones a esas movilizaciones por parte de los gobiernos provinciales.

Por lo general los conflictos tienen evolución similar: al conocer la existencia de un proyecto minero, algunos sectores de la sociedad local se movilizan para detenerlo, influidos por los grupos ambientalistas más radicalizados y activos del país, que potencian la natural inquietud de los pobladores por los efectos ambientales de la gran minería. A eso las empresas —que ya han recibido la aprobación del gobierno provincial pero por lo común han evitado todo contacto con la sociedad local— responden que el proyecto es seguro desde el punto de vista am-

biental, que generará puestos de trabajo y tendrá efectos muy positivos en la economía local y regional.

Las respuestas de los gobiernos provinciales a la movilización social varían: hay casos en que apoyan abiertamente a las compañías mineras, acusan a los movimientos sociales de irresponsables y tratan de reprimir la protesta; en otros, y según el cariz y la escala de los acontecimientos, dudan, y hasta a veces dan marcha atrás con los permisos de explotación.

Por su parte el gobierno nacional, para no incurrir en costos políticos, trata de mantenerse apartado, pero ante el aumento del número y la importancia de los conflictos por lo general toma partido por la actividad minera. Así los conflictos se desenvuelven en un juego de confrontaciones, en ausencia de un ámbito de negociación, y también de la voluntad de los actores de negociar.

Un pentágono de relaciones de fuerza

Comparando los casos, se puede ver que los conflictos se generan y desarrollan por la interrelación de cinco tipos de actores, que definen un imaginario pentágono.

Manifestación de vecinos de la localidad patagónica de Esquel en oposición a la puesta en marcha de un proyecto de minería de oro en las cercanías.



Son el gobierno nacional, los gobiernos provinciales, las empresas, el movimiento ambientalista nacional y la población local. Las variaciones en las formas de relacionarse cada actor con los otros, el poder que pueden demostrar y el contexto social y político producen diferentes resultados.

El gobierno nacional, que carece de una política ambiental específica, tiende a apoyar la actividad minera, incluso la de cielo abierto, y ha demostrado públicamente su deseo de promocionarla. Las relaciones del gobierno nacional con el ambientalismo son variadas: si bien no se ha enfrentado a las organizaciones formales, lo ha hecho con las redes informales y con la población local que corta las rutas, una de las acciones preferidas de esos grupos. Por otra parte, a pesar de que la legislación federal aplicable a la explotación minera es muy favorable a las empresas, en especial por el tratamiento fiscal que reciben, no ha procurado modificar las normas, mientras recauda de otras actividades de exportación de productos primarios más del 35% de su precio.

Dado que los gobiernos provinciales son constitucionalmente dueños de los recursos naturales ubicados en su territorio, deben ser vistos como un actor de gran importancia. El manejo de dichos recursos depende de la legislación de cada provincia, que es muy diversa. En algunas, la minería a cielo abierto ha sido prohibida (una medida precautoria, dado que, salvo Mendoza, son provincias en las que no se presentaron proyectos de ese tipo de explotación). En otras, la producción minera se promueve abiertamente. Se conocen por lo menos dos casos en que un candidato a un cargo electivo prometió en la campaña prohibir la actividad, pero al acceder al poder hizo lo contrario.

Pancarta desplegada por activistas contrarios a la minería a cielo abierto.



Las relaciones de las provincias con el gobierno nacional son ambiguas, dado que cuando surge un conflicto el segundo procura evitar todo vínculo visible con el gobierno provincial, aun cuando en estos momentos los gobiernos provinciales pro mineros son en su totalidad parte del partido oficial gobernante.

Las provincias que apoyan la minería suelen tener relaciones agresivas con el ambientalismo, que alcanzan a veces a amenazar con represión policial a los grupos que pasan a las acciones directas. En los discursos oficiales frecuentemente se oye la palabra ambientalista como sinónimo de provocador y extranjero, en especial para designar a militantes que llegan de otro lado para participar en manifestaciones y en cortes de ruta. Curiosamente, esa actitud afecta a los movimientos locales, que frecuentemente tratan de explicar que no son ambientalistas.

La situación más compleja para los gobiernos provinciales es su relación con los movimientos sociales locales, pues casi siempre la política se mezcla con las reivindicaciones específicas. Para evitar conflictos, tratan de eludir los momentos de potencial confrontación, como las audiencias públicas. Si la población se moviliza y corta una ruta, procuran negociar que deje de hacerlo, pero si no tienen éxito y el corte se prolonga, terminan haciendo intervenir a la policía provincial y reprimiendo a los movilizados.

La relación de los gobiernos provinciales con las empresas mineras es, desde un principio, asimétrica, ya que se trata de provincias pobres negociando con empresas internacionales gigantescas, cuyos presupuestos son mucho más grandes que los de las provincias. Esa asimetría incluye también el hecho de que muy frecuentemente las provincias carecen de capacidad técnica para evaluar los planes de inversión y los estudios de impacto ambiental. Por otra parte, la minería promete ser una fuente importante de recursos económicos, directos por la vía de los impuestos e indirectos por la creación de empleo, tanto en la propia explotación como en los servicios que ella genera. La combinación de los dos temas, más la existencia de ocasionales casos de corrupción, hace que con frecuencia las provincias aprueben inversiones sin un análisis serio de su conveniencia.

En cuanto al ambientalismo, en la Argentina se distingue por lo menos dos niveles: uno es el de las instituciones formales, generalmente con sede en Buenos Aires y varios años de experiencia en su tema. De ese tipo son la Fundación Argentina de Recursos Naturales (FARN), la Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA) y Greenpeace. Si bien hay marcadas diferencias entre ellas, se trata de instituciones manejadas por profesionales, apoyadas en una buena base financiera y que tienen como misión la protección ambiental. Presionan a las autoridades mediante acciones de cabildeo (o lobby), generan información para el público, proponen legislación.

Las dos primeras mantienen buenas relaciones con el gobierno nacional y con los provinciales, aunque no



Manifestación antiminería en Andalgalá, Catamarca.

necesariamente exentas de críticas. Greenpeace es diferente, ya que su actitud es más intransigente y militante. Suele montar campañas que raramente coinciden con las intenciones oficiales, y que se caracterizan por su contenido mediático. Las tres instituciones han tenido actitudes cambiantes con respecto a los conflictos socioambientales mineros.

Por lo general la FVSA y la FARN se han mantenido al margen. A veces han generado informes sobre el tema o puntualizado su preocupación en los casos de represión policial. Greenpeace, en cambio ha opinado activamente, sobre todo en lo que atañe a la potencial contaminación por sustancias químicas. Muchas veces ha actuado en forma independiente, por ejemplo, contra la técnica de cianuración del oro o en defensa de legislación protectora de glaciares.

El segundo nivel del ambientalismo está formado por redes de movimientos de base poco institucionalizados. Se apoyan más en la sensibilidad del público que en información cierta y verificable, utilizan un tono agresivo, envuelto en una retórica catastrofista y proclive a la denuncia de todo tipo de confabulaciones destinadas a la destrucción del ambiente. Esto los lleva a rechazar cualquier opinión que los contradiga, ya provenga del ámbito oficial, del mundo académico o del medio empresario, sectores a los que suelen presentar como parte de dichas confabulaciones.

No por ser poco confiable la información que manejan, han dejado de tener una notable respuesta por parte del público, sobre todo entre los jóvenes urbanos. Son grupos que por lo general se forman alrededor de personajes icónicos, algunos con larga historia de agitación ambientalista. Se apoyan fuertemente en las redes sociales informales que utilizan internet como su vehículo principal y expresan sus exigencias absolutas por llamativos eslóganes como *No a la minería a cielo abierto*. Adoptan posiciones intransigentes sin medir su viabilidad, lo que cierra las puertas de cualquier negociación y lleva a los conflictos a un callejón sin salida.

A medida que aumenta el número de conflictos socioambientales, se produce un efecto de bola de nieve en las protestas. La mina de Veladero está en plena actividad en San Juan sin que los movimientos locales pudieran impedirlo. La mina Agua Rica, en Catamarca, tiene muchas dificultades para comenzar a ser explotada, y el proyecto de Famatina, en La Rioja, todavía no se pudo poner en marcha. Si bien los motivos que aducen los movimientos sociales locales son siempre similares —potenciales efectos contaminantes, competencia por el agua, efecto económico y social de enclave—, según los casos se agregan temas propios de la población regional, como la identidad étnica, la cultura amenazada por la irrupción de empresas extranjeras y la protección del patrimonio paisajístico.

El origen social de los movimientos locales es muy diverso: a veces los iniciadores pertenecen a las clases medias (comerciantes, empleados públicos, docentes, productores agrícolas medianos), otras son dirigentes indígenas o campesinos, o representantes de asociaciones de pequeños productores agrícolas. Sus técnicas de presión son por lo general manifestaciones públicas y cortes de ruta, más presentaciones ante la justicia. Si bien reciben mucha ayuda de los movimientos ambientalistas no formales, sobre todo en materia de publicidad, al mismo tiempo eso puede obstaculizar su trato con las autoridades provinciales, que suelen acusarlos de responder a infiltrados.

Los movimientos locales prácticamente no tienen relación con las compañías mineras, a las que consideran indefectiblemente su enemigo principal, y con las cuales se niegan a negociar. Las empresas, por su lado, suelen evitar todo contacto con la población local, y dejar en la práctica en manos de los gobiernos provinciales y municipales la función de mediador o regulador de los conflictos. Sus comunicaciones públicas por lo común se limitan a describir el proyecto en términos favorables en su sitio en internet, y a señalar que cumplen estrictas normas de control ambiental, son fuente de empleo local y tienen efectos económicos de derrame en la región. Pero no se puede decir que las compañías mineras, en las que los

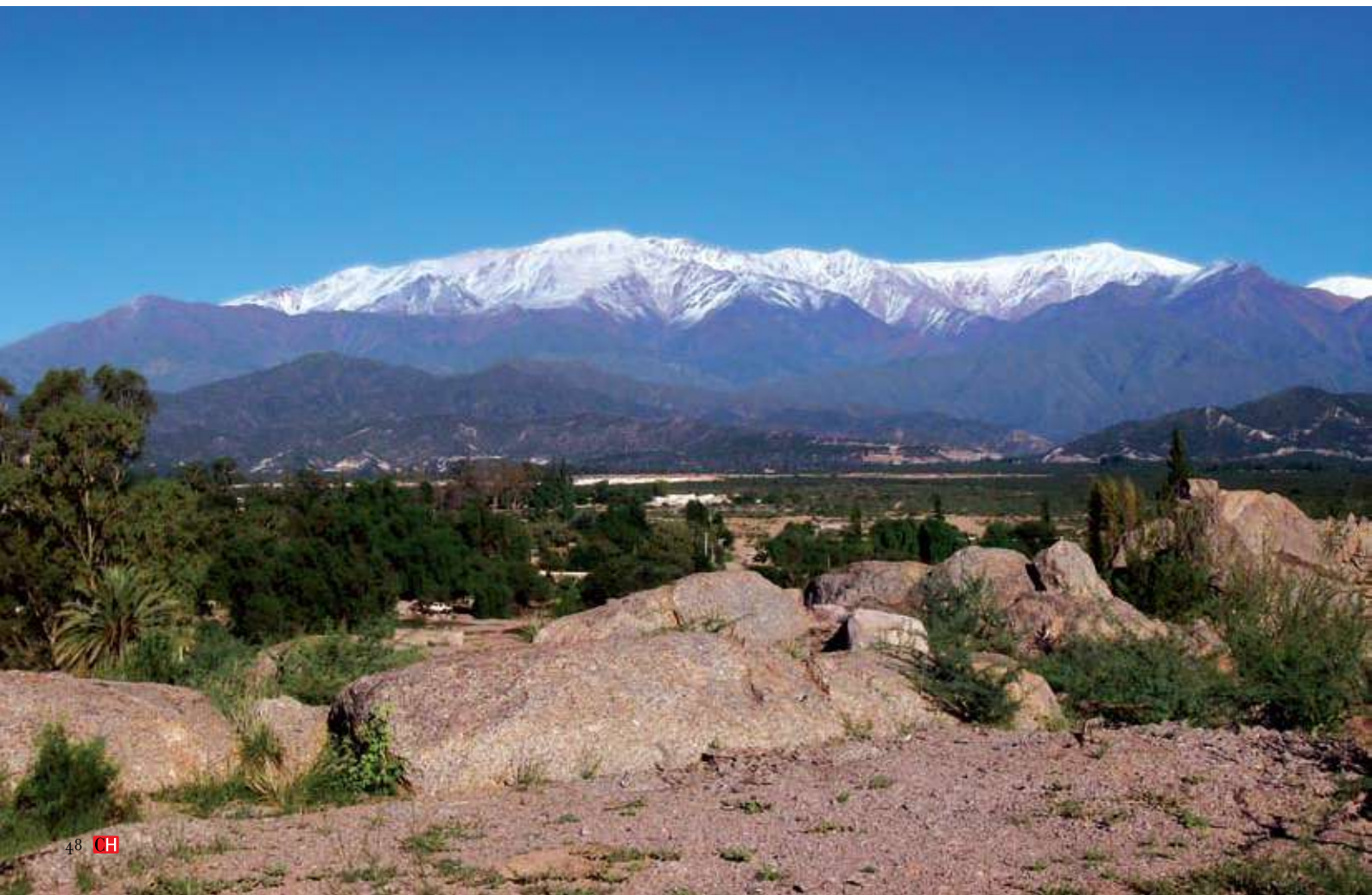
accionistas dominantes son como regla general grandes empresas multinacionales, practiquen realmente la llamada responsabilidad social empresaria, ni mucho menos que busquen la aprobación social de sus proyectos.

Reflexiones finales

Las relaciones que hemos descrito entre los actores del pentágono indican que falta un campo de discusión y negociación. Para poder crearlo, el primer paso sería que cada uno de dichos actores se muestre dispuesto a participar en conversaciones, cosa que hasta el momento no ha sucedido, pues las relaciones están signadas por la desconfianza.


Una de las bases para que haya conversaciones y se cree un campo de encuentro debe ser un cuerpo común de conocimiento de los proyectos, y un análisis objetivo de sus consecuencias o, si se prefiere, sus costos y beneficios. En la situación actual, establecer esa base de discusión parece poco posible, dada la posición aparentemente irreductible del ambientalismo no formal hacia el diálogo, muchas veces adoptada también por los movimientos locales, más la actitud de aislamiento que muestran las compañías mineras.

La sierra de Famatina vista desde Chilecito.



¿Se podrían resolver estos conflictos mediante una consulta popular? Tampoco por ese camino la salida es sencilla. Primero habría que definir a quién se consulta: ¿solo a la población local, que potencialmente sufriría las consecuencias directas de la minería, o a la de toda la provincia, que es en algún sentido la dueña del mineral? Hay dos ejemplos contrastantes: en los pocos casos de referéndum local el resultado fue opuesto a la mina, como sucedió en Esquel y, más recientemente, en Loncopué, al noroeste de Neuquén. Pero por otro lado los políticos que mostraron explícito apoyo a la minería indefectiblemente ganaron elecciones provinciales por amplio margen, como acaeció en Río Negro o San Juan.

Los conflictos socioambientales en el sector minero han ido creciendo en escala, frecuencia y complejidad; el desenvolvimiento de cada uno de ellos significó un paso adelante en la organización de los movimientos espontáneos apoyados por el activismo ambientalista. Frecuentemente esto llevó a esos movimientos sociales a adoptar posiciones extremas, a partir de las cuales es muy difícil encontrar soluciones que salgan del marco de un juego de suma cero. Al mismo tiempo, la falta de una visión más amplia que contemple el largo plazo puede ser negativa para los propios movimientos.

Pero es innegable el papel que desempeñan estos movimientos en la construcción de una conciencia ambiental en la sociedad. Queda abierta la incógnita sobre el destino final de los movimientos sociales, y con él la del futuro desarrollo minero del país. 

LECTURAS SUGERIDAS

BEBBINGTON A, ABRAMOVAY R y CHIRIBOGA M, 2008, 'Social Movements and the Dynamics of Social Territorial Development in Latin America', *World Development*, 36, 12: 2874-2887.

BLANCO DR y MENDES JM, 2006, 'Aproximaciones al análisis de los conflictos ambientales en la Patagonia. Reflexiones de historia reciente 1980-2005', *Ambiente e Sociedad*, 9, 2: 47-69.

GRAUCHU J, 2008, 'Is Mining Good for Development? The Intellectual History of an Unsettled Question', *Progress in Development Studies*, 8, 2: 129-162.

SVAMPA M y ANTONELLI M, 2009, *Minería transnacional, narrativas del desarrollo y resistencias sociales*, Biblos, Buenos Aires.

WALTER M, 2008, 'Nuevos conflictos ambientales mineros en la Argentina. El caso Esquel (2002-2003)', *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 8: 15-28.



Carlos Reboratti

Licenciado en geografía, UBA.

Investigador principal del Conicet en el Instituto de Geografía, FFYL, UBA.

creborat@gmail.com



CIENTÍFICOS
INDUSTRIA ARGENTINA

SÁBADOS
11.30 hs.

TV Pública
DIGITAL

Bariloche. Ribera del lago Nahuel Huapi
cubierta por las cenizas del volcán Cordon
Caulle. Foto G Villarosa



Débora Beigt, Gustavo Villarosa, Valeria Outes y M Andrea Dzendoletas

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (Uncoma-Conicet)

Eduardo A Gómez

Instituto Argentino de Oceanografía (UNS-Conicet)

El lago Nahuel Huapi: un registro de erupciones, deslizamientos y tsunamis

Desde hace algunos años, investigadores del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (Universidad Nacional del Comahue-Conicet) y del Instituto Argentino de Oceanografía (Universidad Nacional del Sur-Conicet) estudian los sedimentos y la topografía del lecho del lago Nahuel Huapi. Uno de sus objetivos es analizar los tsunamis lacustres desencadenados por movimientos en masa de sedimentos del fondo lacustre. Se trata de investigaciones novedosas en el país que están abriendo inéditas perspectivas sobre el comportamiento de los lagos an-

dinos de Patagonia Norte frente a la ocurrencia de terremotos de magnitud en la región.

Sismicidad, vulcanismo y movimientos en masa de sedimentos lacustres

Los lagos son ambientes en los que se depositan materiales transportados por los ríos que drenan las cuen-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Debajo de la superficie de las aguas del lago Nahuel Huapi tienen lugar deslizamientos de grandes volúmenes de sedimentos acumulados en el fondo, que hacen que algunas áreas costeras (incluidas las de poblaciones ribereñas) puedan ser afectadas por olas extraordinarias, especialmente en caso de verificarse algún sismo de magnitud.

cas circundantes. A causa de ello, los sedimentos de los fondos lacustres son excelentes registros de la historia ambiental del área. Prácticamente todo lo ocurrido en el lago o en la zona cuyas aguas drenan hacia él se verá reflejado de alguna forma en los sedimentos depositados en su lecho.

La depresión que actualmente ocupa el lago Nahuel Huapi se formó por la acción de fuerzas similares a las que elevaron a la cordillera de los Andes y por la importante erosión que produjeron los grandes glaciares que cubrieron el área varias veces durante los últimos millones de años. El retiro del hielo dejó grandes depresiones que fueron ocupadas por las cristalinas aguas que descienden del entorno montañoso para formar el lago actual. Debajo de la superficie del lago se esconde un ambiente altamente dinámico, en el que ocurren procesos difícilmente visibles. Las pronunciadas pendientes costeras que caracterizan a este y a otros lagos de la región favorecen que las masas de sedimentos se movilizan por acción gravitatoria. Esos movimientos se denominan técnicamente *remoción en masa*.

La situación geológica de la región andina norpatagónica, expuesta a frecuente actividad sísmica y volcánica, permite comprender el origen de estos fenómenos, cuyo estudio es importante para evaluar los peligros naturales en las costas lacustres y su entorno.

Charles Darwin fue el primero en sugerir la existencia de un vínculo entre terremotos y vulcanismo; lo hizo después de analizar el terremoto ocurrido en 1833 en la zona de Concepción y del volcán Osorno, como se puede leer en un artículo que publicó en los *Proceedings of the Geological Society* de Londres (2: 654-660, 1838, accesible en http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1840_volcanic_F1656.pdf).

Para entender la relación entre sismicidad, vulcanismo y remoción en masa en los lagos norpatagónicos debemos recurrir a la teoría de la tectónica de placas, según la cual la capa externa de la Tierra, una corteza sólida y

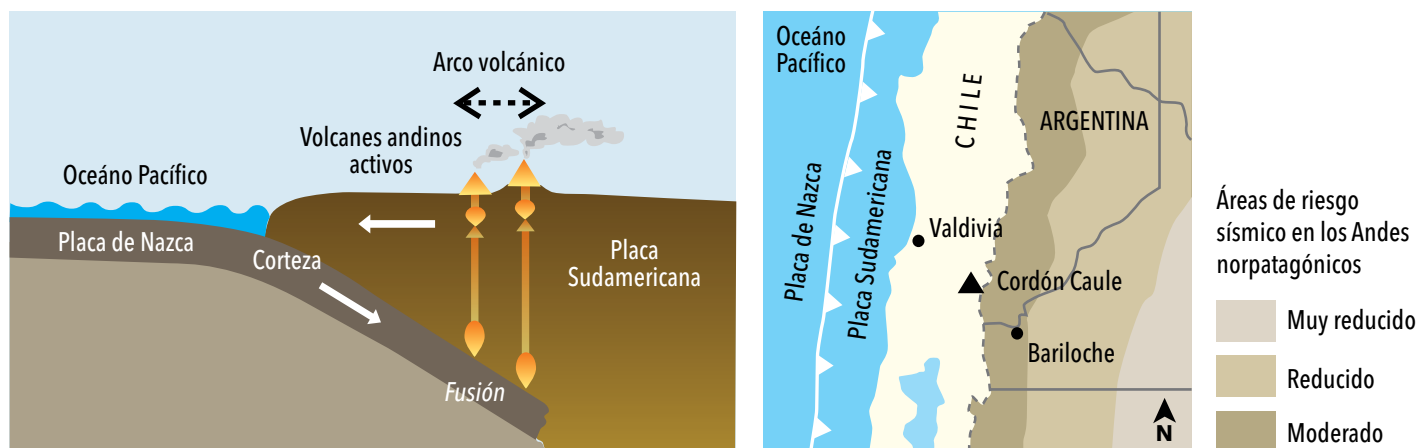
rígida denominada *litosfera*, se encuentra dividida en fragmentos o placas que se mueven unas con respecto a las otras. En el caso que nos ocupa, en el borde occidental de América del Sur convergen dos placas litosféricas: la Sudamericana, continental, y la de Nazca, oceánica.

La placa de Nazca se mueve hacia el este y se desliza bajo la placa Sudamericana, que se desplaza en sentido opuesto. Las deformaciones, las fracturas y los reajustes entre estas dos placas, que convergen a velocidades de aproximadamente 8 a 9 cm por año, provocan periódicamente la liberación de grandes cantidades de energía bajo la forma de terremotos. Además, el deslizamiento de una placa por debajo de la otra, llamado *subducción*, da lugar a fusión de parte de las rocas introducidas en profundidad, generando *magma* que puede ascender luego, atravesando la corteza y alcanzar la superficie, produciendo erupciones volcánicas (figura 1).

La actividad volcánica del planeta se concentra en ambientes como el descrito, los que se alinean mayormente a lo largo de las costas del océano Pacífico. Es el denominado *cinturón de fuego del Pacífico*, una extensa zona de subducción con abundante vulcanismo a la cual se asocia además el 90% de la sismicidad del planeta.

Como consecuencia de estos procesos regionales, los Andes norpatagónicos están catalogados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica como región de *peligrosidad sísmica moderada*. Además, la zona está expuesta a recurrentes caídas de ceniza volcánica, formada por materiales expulsados a la atmósfera por las erupciones explosivas de volcanes ubicados en su mayoría en Chile. Los vientos dominantes del oeste transportan esas cenizas hacia territorio argentino, donde se produce normalmente la depositación de la mayor parte del material eruptivo. Cada caída de ceniza volcánica genera en superficie una capa de material que se deposita también en los lechos lacustres. Técnicamente, esas cenizas se llaman *tefras*.

Figura 1. Interacción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana que componen la capa externa sólida de la Tierra o litosfera. La primera se mueve lentamente hacia el este y se sumerge debajo de la segunda, que se desplaza hacia el oeste. El proceso se llama subducción y es parte de la teoría denominada tectónica de placas.



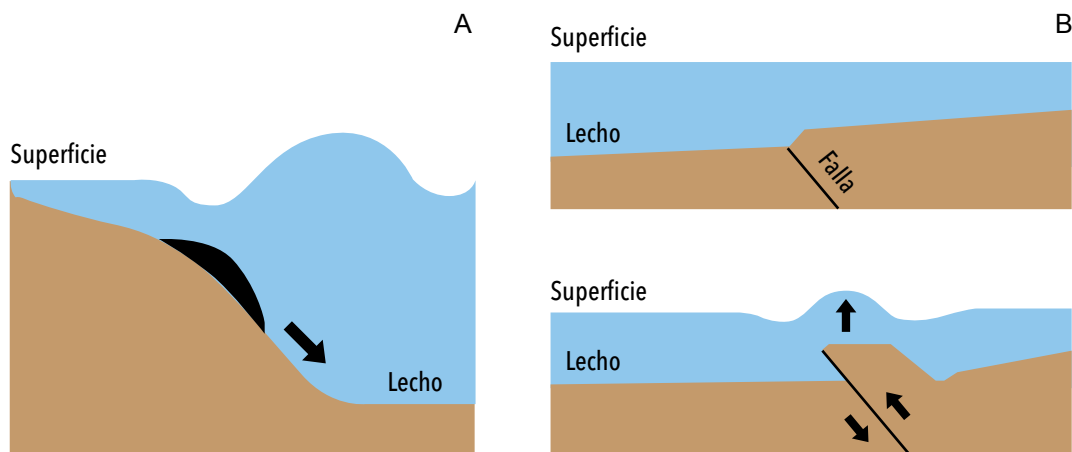


Figura 2. Generación de olas en la superficie de un lago por efecto de: (A) un deslizamiento de los sedimentos acumulados en una zona con pendiente de su lecho, y (B) desplazamiento de una falla en el lecho.

Aún vivimos las consecuencias de la erupción más reciente, iniciada el 4 de junio de 2011 en el Cordón Caulle. En los últimos cien años, cinco fenómenos de ese tipo afectaron el área de Bariloche: las caídas de ceniza de 1921-1922, 1960 y 2011-2012, provenientes de erupciones de dicho complejo volcánico, y las de 1961 y 2008-2009, causadas respectivamente por los volcanes Calbuco y Chaitén.

Esta situación geológica se ve reflejada en las características del relleno sedimentario y del relieve del lecho de los lagos de la región. Estudios realizados en el lago Nahuel Huapi revelaron bancos de tefra en diferentes profundidades. Su lecho, lo mismo que el de otros lagos de la región, muestra abundantes deslizamientos en los sectores costeros, especialmente en las proximidades de los sitios en que desembocan ríos y forman pequeños deltas.

Un deslizamiento es un proceso de remoción en masa donde el material se mantiene bastante coherente y se mueve sobre una superficie bien definida, que puede ser un plano aproximadamente paralelo a la pendiente o una superficie curva. Los desencadenantes de deslizamientos subacuáticos pueden ser varios, entre otros, un terremoto, una rápida depositación de sedimentos en ambientes deltaicos, la presencia de reservorios de gas en el fondo lacustre, la ocurrencia de olas de tormenta o el desarrollo de actividades antrópicas que desestabilicen las pendientes. Para el lago Nahuel Huapi, se ha encontrado una relación entre los movimientos sísmicos de magnitud registrados en la región y los movimientos en masa acaecidos en su lecho.

Conviene también señalar que los estratos de tefra del fondo lacustre están constituidos por material volcánico muy liviano y poco consolidado, que bajo la influencia de, por ejemplo, un sismo pueden adquirir el comportamiento de un fluido y dar lugar a extensos planos de deslizamiento.

El relieve del fondo lacustre se estudia con gran precisión recurriendo a un instrumento llamado *sonar batimétrico por medición de fase*, que permite reconstruir la topografía tridimensional del lecho mediante la emisión y detec-

ción de ondas acústicas. La aplicación de esa técnica, junto con el análisis de la composición y estructura interna de los sedimentos del fondo del lago, permitió identificar los procesos que en 1960 generaron un tsunami en el Nahuel Huapi.

El tsunami de 1960

El término *tsunami* se ha ido imponiendo en reemplazo del antes habitual *maremoto*, o más precisamente *lagomoto* para el caso que nos ocupa. Se refiere a una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua empujada violentamente por una fuerza que la desplaza en sentido vertical. Aunque la mayoría de los tsunamis acaecen en ambientes marinos, desde hace algunos años se ha prestado atención y comenzado a estudiar tsunamis lacustres, principalmente en Europa, con escasos estudios en la región patagónica.

Un tsunami se puede producir en un lago por diferentes causas. Además de los mencionados deslizamientos subacuáticos (figura 2), puede ser la consecuencia de la caída de grandes volúmenes de rocas en el cuerpo de agua, las erupciones volcánicas en sitios cercanos o la reactivación de fallas inactivas. Este tipo de fenómenos afecta la morfología del fondo lacustre y puede desplazar importantes masas de agua, así como inducir la formación de una o más olas en la superficie.

El 22 de mayo de 1960 ocurrió un tsunami en el lago Nahuel Huapi, simultáneo con un sismo de magnitud $9,5M_{wv}$ conocido como sismo de Valdivia, el mayor históricamente registrado. Como recuerdan antiguos pobladores —y fotografías de aquel día lo atestiguan—, grandes olas impactaron sobre las costas de la ciudad de Bariloche, en particular en la zona del antiguo muelle, frente al centro cívico. La consecuencia fue la destrucción de ese muelle, el hundimiento de un puñado de embarcaciones menores y la pérdida de dos vidas humanas.

Para comprender el proceso, los autores de esta nota estudiaron la morfología del lecho del lago en los alre-

dedores del puerto destruido y posteriormente reconstruido, así como las características de los sedimentos encontrados en diferentes sectores de la cuenca lacustre. También analizaron los estratos que forman el relleno sedimentario en la porción central del lago, frente a San Carlos de Bariloche. No encontraron evidencias de una reactivación de fallas en el lecho, pero sí pruebas de un gran deslizamiento ocurrido frente al puerto, por debajo de los 70m de profundidad. Los sedimentos movilizados produjeron depósitos característicos, identificables en varios sectores del lago. Por encima de ellos, apareció una capa de material piroclástico correspondiente a la ceniza caída días después de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle sobrevinida en 1960.

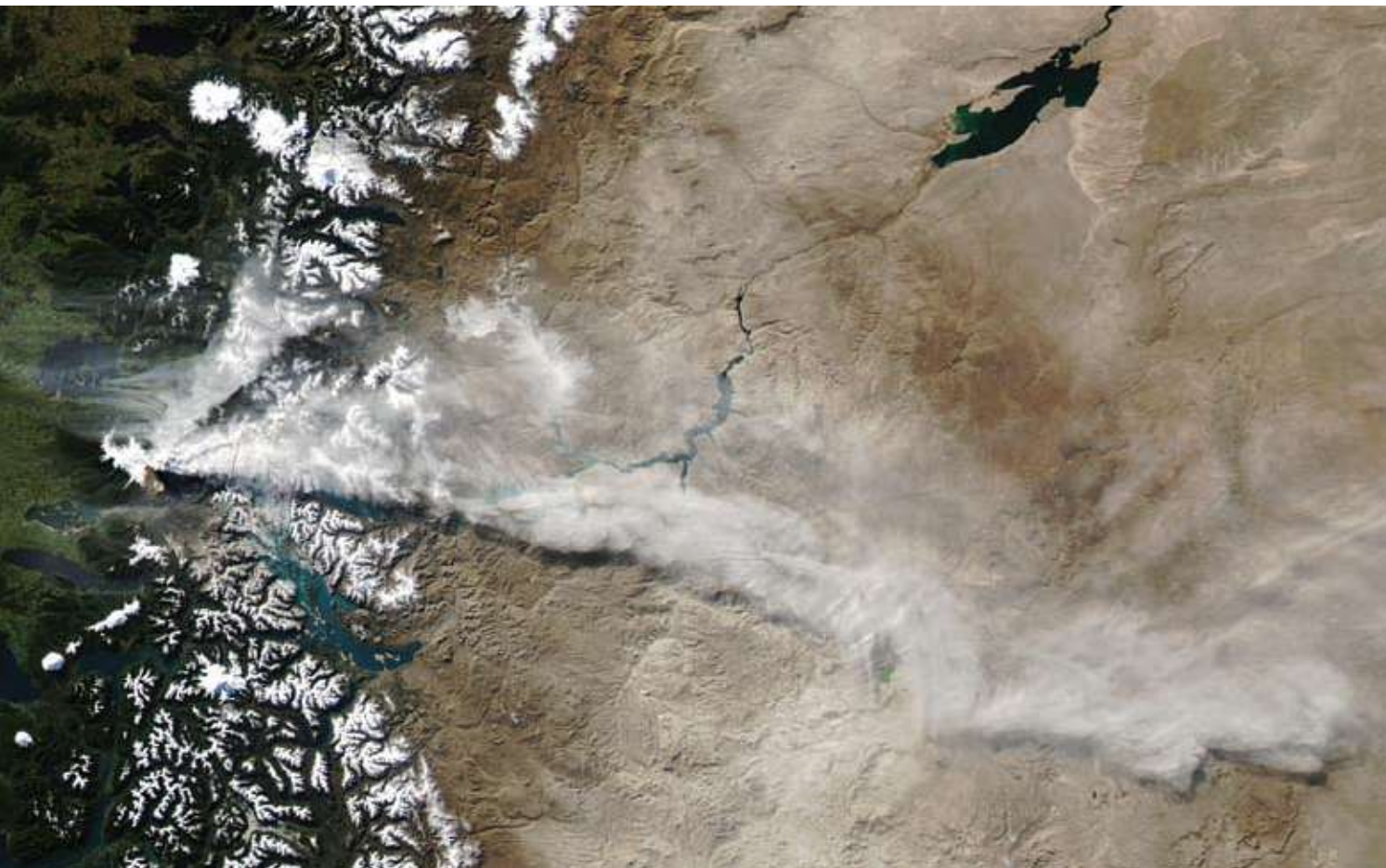
El hallazgo de esa capa de tefra permitió establecer una relación temporal entre el deslizamiento y el sismo de ese año. Se considera que el movimiento en masa ocurrido frente a Puerto San Carlos fue producto del impacto de las ondas sísmicas del terremoto de 1960 en el lecho lacustre y se vinculó con seguridad al tsunami registrado. En efecto, la movilización de estos grandes volúmenes de sedimentos en profundidad habría provocado el desplazamiento de una masa de agua y una ola tipo

tsunami que golpeó las costas de la ciudad de Bariloche. El colapso del antiguo muelle se puede atribuir a la probable ocurrencia de un flujo de detritos (un tipo de remoción en masa donde el material se desplaza pendiente abajo en forma canalizada, como un fluido viscoso) en los sedimentos sobre los que se asentaba el muelle. Esos sedimentos se habrían debilitado por las vibraciones que produjo el hincado de pilotes durante la reconstrucción del muelle, que había sufrido un incendio hacia fines de marzo de 1958. El tsunami ocurrió cuando la reconstrucción estaba prácticamente concluida, pero esa acción humana probablemente incrementó la inestabilidad de las pendientes del fondo lacustre en el área del puerto.

La erupción del Puyehue-Cordón Caulle y sus consecuencias en el Nahuel Huapi

El 11 de julio de 2011, mientras se registraba actividad sísmica y volcánica en el Cordón Caulle, se advirtió una oscilación del nivel de las aguas en el puerto de Villa

Esta imagen satelital, tomada por el instrumento MODIS a bordo del satélite Aqua el 20 de junio de 2011 a las 18:50 UTC, muestra una débil pluma de cenizas proveniente del volcán Puyehue-Cordón Caulle. La pluma se desplaza hacia el sudeste y el área en marrón claro al sur de la misma posiblemente sea cenizas en el suelo de cuando la pluma soplabla encima de esa zona. Nótese los picos nevados de los Andes a la izquierda de la imagen. Foto NASA MODIS Rapid Response Team





Cenizas del volcán Puyehue en bosques de la zona de Bariloche. Foto G Villarosa

La Angostura. La combinación de un terremoto con ondas en la superficie del lago condujo a suponer que el segundo fenómeno habría sido consecuencia de los movimientos sísmicos, o bien de un movimiento de masa subacuático, a su vez desencadenado por estos pequeños sismos.

Surgió así inquietud acerca de las condiciones de estabilidad de las pendientes costeras en cercanías de dicha localidad, y con ella la necesidad de identificar y caracterizar movimientos en masa y áreas del lecho lacustre susceptibles a sufrir deslizamientos. En particular, se planteó la singular situación observada en las desembocaduras de los ríos que forman deltas, pues durante los meses de la erupción del Cordón Caulle se acumularon en estos ambientes importantes volúmenes de materiales volcánicos como consecuencia de la removilización de estos materiales a lo largo de las cuencas hídricas y hacia el lago Nahuel Huapi.

El enorme volumen de sedimentos que se deposita en su mayor parte en los frentes de los deltas provoca en poco tiempo un crecimiento significativo de estos bajo la forma de depósitos muy poco compactos, con gran contenido de agua y pendientes abruptas, lo que los hace especialmente susceptibles a sufrir deslizamientos.

Los autores estudiaron los deslizamientos subacuáticos y la dinámica de sedimentación de los materiales piroclásticos de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle en los deltas de los arroyos Totoral, Pireco y Bonito, en las cercanías de Villa La Angostura; Ñireco, en las afueras de San Carlos de Bariloche, y Ñirihuau, en Dina Huapi, localidad cercana al nacimiento del río Limay. Para hacerlo, colocaron colectores de sedimentos en distintas

profundidades del lago y relevaron la morfología de la porción sumergida de los deltas.

También analizaron el crecimiento o la evolución de los deltas por efecto de la acumulación del material piroclástico movilizado por los ríos utilizando fotografías aéreas tomadas en marzo de 2008 y marzo de 2012, es decir, antes y después de la erupción volcánica en Chile. En ellas se advierte un notable crecimiento de la superficie expuesta de los deltas, sobre todo los de los arroyos Totoral y Pireco (unos 30.000m²), los más cercanos al volcán. Esta información concuerda con cálculos preliminares de las tasas de sedimentación en los deltas para los meses iniciales de 2012, cuyos valores crecieron significativamente con relación a los anteriores a la erupción obtenidos en varios lagos de la región, incluido el Nahuel Huapi.

En los frentes de delta se hallaron indicios de dos tipos de fenómenos de remoción en masa: deslizamientos y flujos de detritos. Estos últimos forman canales subacuáticos. En todos los frentes de delta se advierten evidencias de que esos fenómenos son recurrentes; alternan con superficies no afectadas por movimientos en masa. En los deltas correspondientes a las cuencas más alejadas del volcán, las de los arroyos Ñireco y Ñirihuau, la erupción no provocó cambios notables en cuanto a la ubicación o extensión de los movimientos en masa identificados, ni los hubo después de la erupción. En cambio, en los deltas correspondientes a las cuencas más cercanas al volcán, los de los arroyos Pireco y Totoral, los colectores de sedimentos indicaron muy altas tasas de sedimentación y registraron un fenómeno de flujo ocurrido entre

febrero y mayo de 2012, verificado a unos 80m de profundidad frente a la desembocadura del segundo de esos arroyos. El análisis del material colectado determinó que se trataba de sedimentos del delta que se desplazaron.

En los sectores de los deltas que no se desplazaron puede observarse la topografía anterior a los deslizamientos, conformada por una franja costera de escasa pendiente, seguida de las pendientes pronunciadas del frente del delta. Esas fuertes pendientes, así como las altas tasas de sedimentación halladas, favorecen que ocurran procesos de remoción en masa e incrementan la posibilidad de que sucedan en el futuro. Por ello, se considera que los sectores libres de movilizaciones en masa son especialmente propensos a sufrir una desestabilización, sobre todo si se tiene en cuenta la alta probabilidad de

que el sedimento depositado en esas áreas tenga características similares al de las áreas contiguas deslizadas.

A partir de estos análisis sedimentológicos y de los estudios de la topografía del lecho, los autores esperan poder reconocer los elementos que favorecen la ocurrencia de deslizamientos subacuáticos en el lago Nahuel Huapi, e identificar y caracterizar áreas potencialmente inestables de los deltas estudiados.

Este trabajo contó con el financiamiento del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, del Programa Científico-Tecnológico de Apoyo a la Emergencia por la Erupción del Volcán Puyehue-Cordón Caulle (proyectos N° 40-B-187 y 40-B-188), y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2010-0636 y PICT 2010-2046).

LECTURAS SUGERIDAS

BARROS G, 1961, *El maremoto del 22 de mayo de 1960 en las costas de Chile*, Departamento de Navegación e Hidrografía de la Armada de Chile, Santiago.

PARSONS T, 2002, *Enciclopedia histórica centenaria de Bariloche*, 3 de mayo de 1902-3 de mayo de 2002, t. 1, p. 150.

VILLAROSA G et al., 2009, 'Origen del tsunami de mayo de 1960 en el lago Nahuel Huapi. Aplicación de técnicas batimétricas y sísmicas de alta resolución', *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65, 3: 593-597. Accesible en <http://www.scielo.org.ar/cgi-bin/wxis.exe/iah/>



Débora Beigt

Doctora en geografía, Universidad Nacional del Sur.
Investigadora asistente del Conicet en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente.
dbeigt@comahue-conicet.gob.ar



Gustavo Villarosa

Doctor en ciencias geológicas, UBA.
Investigador adjunto del Conicet en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente.
Profesor adjunto, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue.
villarosag@comahue-conicet.gob.ar



Valeria Outes

Licenciada en ciencias geológicas, UBA.
Profesional principal del Conicet en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente.
outsv@comahue-conicet.gob.ar



M Andrea Dzendoletas

Magíster en gestión ambiental del desarrollo urbano, Universidad Nacional del Comahue.
Profesional principal del Conicet en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente.
dzendoletasma@comahue-conicet.gob.ar



Eduardo A Gómez

Doctor en geología, Universidad Nacional del Sur.
Profesor adjunto, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca.
Investigador independiente del Conicet en el Instituto Argentino de Oceanografía.
Vicedirector del Instituto Argentino de Oceanografía, Conicet-UNS.
gmgomez@criba.edu.ar

GUÍA del cielo NOCTURNO

Jaime García

Luego de la fecha, una notación abreviada permite una rápida referencia sobre el tipo de evento descripto:

NOT **Notable**, interesante, espectacular. Para no perderse.

EFE **Efemérides planetarias** (equinoccios, conjunciones, oposiciones, etcétera).

OCL **Ocultación** de una estrella o planeta por la Luna u otro planeta.

ECL **Eclipse** de Sol o Luna.

MET **Lluvia de meteoros**.

MAP **Mapa del cielo** referente al encuentro celeste que se describe.

OBS **Observación** destacada o favorable de objetos de cielo profundo, como cúmulos, nebulosas o galaxias.

BIO **Datos biográficos** de un astrónomo cuyo natalicio se recuerda.

HIS **Suceso de interés histórico** (por ejemplo, aniversario de un descubrimiento).

Dado que nuestro objetivo es que la guía sirva para todo el país, el lenguaje se mantiene deliberadamente ambiguo. Por ejemplo, oeste significa el sector del cielo comprendido entre el oeste-sudoeste y el oeste-noroeste. Las alturas sobre el horizonte también son aproximadas. A modo de orientación: muy bajo (0 a 15°), bajo (15 a 30°), media altura (30 a 60°), alto (60 a 90°). Del mismo modo, las distancias angulares y posiciones relativas deben tomarse como valores aproximados que pueden variar de un sitio a otro, sobre todo cuando de la Luna se trate. Por el mismo motivo, evitamos dar horas precisas y nos referimos en términos de primeras horas de la noche, una hora antes de la salida del Sol, etcétera. Cuando se indican, los tiempos están dados en hora local (Argentina y Uruguay), correspondiente al huso horario -3 horas.

VISIBILIDAD DE LOS PLANETAS



MERCURIO

Comenzará el año visible durante el crepúsculo matutino. Luego se irá acercando rápidamente al Sol desapareciendo, en la luz crepuscular, a mediados de enero. Reaparecerá vespertino con poca visibilidad hacia mediados de febrero, en el cuadrante oeste, para desaparecer nuevamente hacia fin de ese mismo mes. A mediados de marzo comenzará un período de buena visibilidad matutina que se prolongará por casi todo abril. Al comienzo de mayo pasará a ser vespertino continuando su visibilidad, primero con brillo y altura ascendentes y luego declinantes, hasta fines de junio, siempre en el cuadrante noroeste.



VENUS

Será matutino durante los tres primeros meses del año, siendo visible junto con las primeras luces del alba hasta mediados de marzo, para luego pasar por su conjunción superior con el Sol el 28 de marzo. A comienzos de abril será visible en el atardecer, alejándose cada vez más del Sol. El 7 de abril tendrá un encuentro muy próximo con Marte, justo antes del ocaso de ambos planetas, pocos minutos después de la puesta del Sol. A fines de mayo (a partir del día 25) participará de una bella conjunción con Mercurio y Júpiter, en el atardecer.



MARTE

El planeta rojo será visible durante el crepúsculo vespertino, hacia el oeste, en los tres primeros meses del año, para desaparecer en el fulgor solar, a fines de marzo. En los primeros días de febrero estará en conjunción con Mercurio y Neptuno, en marzo, con Urano y en abril, con Venus. El 17 de abril pasará por su conjunción con el Sol. A partir de mayo, comenzará a ser matutino, alejándose muy lentamente del Sol.



JÚPITER

Júpiter será bien visible desde el comienzo de la noche siendo el astro más brillante del cielo, en ese horario y hasta su puesta, en los primeros tres meses del año, en la constelación de Taurus (el toro). En la medianoche del 21 al 22 de enero será ocultado por la Luna creciente, fenómeno para no perderse. A fines de mayo se acercará a Venus y a Mercurio, participando de una interesante triangulación, que nos promete un bello espectáculo en el crepúsculo vespertino. Júpiter desaparecerá en el crepúsculo vespertino hacia principios de junio, pasando por su conjunción con el Sol el 19 de junio.



SATURNO

Saturno será visible durante todo el primer semestre del año. En enero saldrá después de medianoche y paulatinamente irá naciendo más temprano, hasta llegar a su oposición con el Sol el 28 de abril, pasando a verse toda la noche, por unos días, para luego ocupar la primera mitad de la noche.



URANO

Será visible al comienzo de la noche, en los primeros meses del año. A mediados de marzo desaparece en el crepúsculo vespertino, pasando por su conjunción con el Sol el 28 de marzo. Luego reaparecerá matutino, en el cuadrante noreste, a fines de mayo. Permanecerá en la constelación de Piscis (los peces) durante todo el lapso de visibilidad del semestre.



NEPTUNO

Visible al principio de la noche durante enero hasta paulatinamente desaparecer en el crepúsculo vespertino para pasar por su conjunción con el Sol el 21 de febrero. Pocos días antes de desaparecer, participará de una conjunción con Marte y Mercurio. Luego pasará a ser matutino, comenzando a ser visible a partir de marzo, alejándose paulatinamente del amanecer. Permanecerá en la constelación de Aquarius (el aguador) durante todo el semestre.



Salida	Puesta
(1) 5:45	(1) 20:10
(15) 5:57	(15) 20:09

5
0:5911
16:4518
20:4627
1:39

2 La Tierra pasará por su perihelio, momento en la órbita de la Tierra alrededor del Sol en que ambos se encuentran más próximos, a 0,9833 unidades astronómicas, o sea 147.099.713km.

11 **OBS** La Luna nueva se produce a las 16:45 y permite aprovechar la noche oscura para apreciar, además de los planetas Marte y Júpiter, al comienzo, y a Saturno, más tarde, objetos celestes débiles o, también, objetos de cielo profundo, como nebulosas brillantes y oscuras, cúmulos galácticos y globulares y galaxias. Entre los bellos objetos visibles en una noche de verano, podemos destacar nada menos que la región de Orión. En el llamado “puñal”, encima del asterismo de las “Tres Marías”, es posible encontrar a la gran nebulosa de Orión, Messier 42, envolviendo al joven grupo “Trapezio” y junto a ella a M43; todo esto visible con un pequeño telescopio o, incluso, con unos binoculares (7 x 50 en adelante). Pero toda la constelación está sumergida en nebulosas oscuras, brillantes y de reflexión. Un ejemplo de las oscuras es la desafiante Cabeza de Caballo IC 434 o Barnard 33, que recuerda al trebejo de ajedrez. Para observarla serán necesarias aperturas del orden de los 150mm. Las letras M corresponden al catálogo que compilara el astrónomo francés Charles Messier, y que resultó el primer catálogo de objetos difusos que se confeccionara.

13 **EFE** Los planetas Venus y Neptuno se encontrarán en la constelación de Aquarius (el aguador), separados por sólo 1,1°, algo así como dos veces el diámetro de la Luna llena. Este evento podrá ser observado durante el crepúsculo vespertino y comienzo de la noche y puede ser una buena oportunidad para ver al planeta Neptuno que, con magnitud 8, resulta imposible de observar a simple vista, pero, en este caso, será un buen desafío para unos binoculares de bajo aumento y buen campo. También podrán ser observados a través de un telescopio de relación focal corta, de modo que permita un campo de algo así como 2°. Respecto del horizonte oeste, Venus estará directamente por encima de Neptuno.

18 El planeta Mercurio en conjunción superior con el Sol, a las 6 de la mañana. La conjunción superior se produce cuando Mercurio se aproxima al Sol

pero se encuentra más allá de él, en contraposición a la conjunción inferior, que se produce cuando Mercurio está entre el Sol y la Tierra.

22 **OCL** **NOT** La Luna ocultará al planeta Júpiter, cerca de la medianoche del 21 al 22 de enero. Este es un fenómeno muy bello e interesante, para cualquier tipo de instrumento astronómico, incluso para verlo a vista desarmada o para fotografiarlo con la propia lente de la cámara (si se cuenta con una lo suficientemente sensible). Júpiter se irá aproximando por la parte oscura de la Luna creciente (el cambio de fase se produce el 18 de enero a las 20:46) y se ocultará a las 0:53:09, o sea, ya en el día 22 de enero. El fenómeno durará prácticamente una hora, reapareciendo por la parte brillante de la Luna a la 1:53:24.



Júpiter y la Luna. Foto Salva, www.flickr.com



El planeta Mercurio fotografiado por la nave *Messenger*. Foto NASA

	Salida	Puesta		3		10		17		25
	(1) 6:14 (15) 6:27	(1) 20:00 (15) 19:48		10:57		4:21		17:32		17:28

4 **EFE** **NOT** A partir de esta fecha, Marte, Mercurio y Neptuno comenzarán una semana de conjunción. Todo comienza con Marte que se aproximará a 0,4° al sur de Neptuno, a las 17 horas. Cabe destacar que Neptuno no se ve a simple vista, ya que va a estar con un brillo próximo a la magnitud 8. Pero con un buen par de binoculares ya se lo podrá percibir.

6 El espectáculo sigue con Mercurio ubicándose a 0,4° al sur de Neptuno, a las 20 horas.

8 Finalmente, el día 8 Mercurio pasará a 0,3° al norte de Marte, a las 18 horas.

8 **MET** Máximo de la lluvia de meteoros alfa Centauridas (ACE). Esta lluvia de meteoros presenta actividad entre el 28 de enero y el 21 de febrero, pero alcanza su máximo de unos seis meteoros por hora contándolos a su paso por el cenit, el 8 de febrero. El punto del cual parecen emerger los meteoros se localiza próximo a la estrella Rigil Kentaurus (alfa Centauri), ubicado en las coordenadas ascensión recta (AR) = 14h y declinación (dec) = -59°. Las lluvias de meteoros son popularmente conocidas como lluvias de estrellas, por parecer que se trata de estrellas y no de ínfimas partículas que se introducen en la atmósfera y brillan por fricción. Como casi todas las lluvias australes, es más lo que no se sabe que lo que se sabe, por lo que la International Meteor Organization (IMO) pide a los observadores especial vigilancia a estas lluvias. En esta oportunidad, la observación será una de las más favorables, dado que la Luna estará muy próxima a pasar por su fase nueva, el 10 de febrero a las 4:21, y la hora de máxima actividad se espera que sea al comienzo de la noche, cuando no hay Luna.

10 **OBS** Además de disfrutar de la conjunción planetaria y de las alfa Centauridas, la Luna nueva de febrero es especial para continuar explorando el cielo de verano, en lo que se refiere a objetos difusos o de cielo profundo. Además de los ya mencionado en la Luna nueva de enero, que es vigente para este mes, tenemos

la constelación de Monoceros, donde se destacan la nebulosa del Cono, NGC 2264, apta para instrumentos pequeños, o la bellísima nebulosa Roseta, NGC 2244, más desafiante, para instrumentos mayores, o la nebulosa variable de Hubble, NGC 2261, que envuelve a la estrella variable R Monocerotis.

11 **NOT** Al anoecer, la Luna de un día de edad se suma a la conjunción de Marte, Mercurio y Neptuno, en Aquarius, agregando belleza al espectáculo.

16 **EFE** El planeta Mercurio en su máxima elongación este. Visible antes del anoecer, este pequeño y esquivo planeta será bien visible durante el crepúsculo vespertino con una separación del Sol mayor a 18° (exactamente serán 18,13° a las 18 horas).

21 El planeta Neptuno en conjunción con el Sol, a las 4 horas, por lo que permanecerá invisible por varios días, pasando de vespertino a matutino.



Aspecto de la conjunción entre Marte, Mercurio y la Luna, al atardecer del 11 de febrero, mirando hacia el oeste. La imagen fue realizada por el autor con el programa de código abierto Stellarium <http://www.stellarium.org/> para las coordenadas de Buenos Aires, a las 20:15.



Salida	Puesta
(1) 6:41	(1) 19:30
(15) 6:53	(15) 19:12

4
18:5411
16:5219
14:2827
6:29

1 OCL La estrella Spica, la más brillante de la constelación de Virgo (la virgen), será ocultada por la Luna a las 4:27 de la madrugada. Se trata de una ocultación muy notable por involucrar a una de las veinte estrellas más brillantes del cielo, en este caso, de primera magnitud. La estrella desaparecerá tras la Luna por su lado brillante y reaparecerá por la zona nocturna de la Luna, a las 5:13.

4 Mercurio estará en conjunción inferior con el Sol, a las 10 horas. La conjunción inferior se produce cuando un planeta interior a la órbita terrestre se alinea con la Tierra y el Sol, pero ubicándose entre ambos.

11 OBS La Luna nueva de marzo será otra oportunidad para continuar con la exploración del cielo de verano, siempre refiriéndonos a objetos difusos o de cielo profundo. Además de los ya mencionados en la Luna nueva de enero y febrero, que continúan visibles, aunque más temprano, en las noches de marzo, podemos ahora mirar hacia el sur, en lugar del norte, y nos encontraremos con la brillante Vía Láctea austral, especialmente toda la región del navío Argos, antigua constelación mitológica griega relacionada con la aventura de Jasón y los Argonautas (entre quienes estaban nada menos que Hércules y Orión) en busca del vellocino de oro (el vellón del carnero alado Crisomallo). Esta constelación fue dividida, en épocas más recientes, en Carina (la quilla del navío), Vela (el velamen) y Puppis (su popa), en donde se destacan la región de eta Carina, con su bella nebulosa NGC 3372, y los brillantes cú-

mulos galácticos NGC 3293 y 3532. Además, en el asterismo del Rombo, el brillantísimo cúmulo galáctico llamado las Pléyades australes. Más cúmulos galácticos pueden observarse en Puppis: M46, 47 y 93. Todo esto accesible con binoculares o pequeños telescopios. En Vela, se encuentra un bello y destacado cúmulo globular NGC 3201.

15 MET Máximo de la lluvia de meteoros gamma Normidas (GNO). Esta lluvia de escasa actividad se produce entre el 25 de febrero y el 22 de marzo. Su llamada tasa horaria cenital (cantidad calculada de meteoros atravesando el cenit por hora) es de seis meteoros y su punto radiante se centra en las coordenadas celestes AR = 16h y dec = -50°. Si bien se trata de una lluvia relativamente pobre, es bueno observarla para apreciar su real actividad, separada de los meteoros esporádicos.

20 EFE A las 8h30m0s se producirá el equinoccio de otoño para nuestro hemisferio. El equinoccio se produce cuando el Sol, en su trayectoria aparente en el cielo, llamada eclíptica, cruza el ecuador celeste, que es la proyección del plano ecuatorial de la Tierra en el cielo, en este caso de sur a norte.

22 EFE NOT Antes de que Marte y Urano desaparezcan en el brillo del crepúsculo vespertino, se aproximarán hasta casi tocarse a las 15 horas del 22 de marzo. El fenómeno será de muy difícil observación por su cercanía al horizonte oeste.

28 El planeta Urano estará en conjunción con el Sol, a las 21 horas. La conjunción de un planeta exterior significa la alineación entre él, el Sol y la Tierra, o sea, es el máximo acercamiento aparente al Sol, visto desde la Tierra. Obviamente, el Sol se ubicará entre Urano y la Tierra.

28 El planeta Venus estará en conjunción superior con el Sol, a las 14 horas. La conjunción superior se produce cuando Venus se aproxima al Sol pero se encuentra más allá de él, en contraposición a la conjunción inferior, que se produce cuando Venus está entre el Sol y la Tierra.

31 EFE OBS El planeta Mercurio en su máxima elongación oeste. Visible antes del amanecer, este pequeño y esquivo planeta será bien visible para los madrugadores o trasnochadores con una separación del Sol de casi 28° (exactamente serán 27,82° a las 19 horas).



Región de formación y muerte de estrellas en la nebulosa Carina. Foto NASA, ESA, N Smith, Universidad de California, Berkeley, y The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

	Salida (1) 7:07 (15) 7:17	Puesta (1) 18:48 (15) 18:30	 3 1:38	 10 6:36	 18 9:32	 25 16:58
---	--	--	--	--	---	--

7 **EFE** El planeta Venus, que regresa de su conjunción con el Sol, pasará a solo 0,6° al sur de Marte, a la 1 de la madrugada. Para nuestra longitud geográfica, será necesario verlo enseguida de la puesta del Sol, aunque estarán muy próximos al horizonte.

10 **OBS** La Luna nueva tendrá lugar a las 6:36. Durante esa noche oscura será bueno apuntar nuestro telescopio hacia la región de la constelación de Leo, el león, que culmina a eso de las 21 horas, mirando hacia el norte. Allí nos encontraremos con una gran cantidad de galaxias, accesibles a instrumentos medianos (entre 115 y 150mm de apertura). Destacan las espirales M95, M96, NGC 3521 y el bello triplete formado por M65, M66 y NGC 3628. Por el lado de las galaxias elípticas, el sitio de honor lo lleva M105.

12 **NOT** Como todos los años, en abril, realizaremos nuestro Encuentro de Astronomía Observacional Star Party Valle Grande 2013, en el Valle Grande, San Rafael, Mendoza. Normalmente participan más de cien aficionados, estudiantes y profesionales en estos encuentros orientados a la observación astronómica, bajo uno de los cielos más privilegiados de nuestro país. El encuentro siempre cuenta con la participación de aficionados y profesionales de otros países de Sudamérica, y en las ocho ediciones que ya lleva (2000, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012) siempre el cielo estuvo despejado. Los aficionados concurren con sus telescopios, lo cual enriquece las posibilidades de observación, así como de la apreciación de los diferentes tipos de instrumentos, bajo ideales condiciones de observación, tanto por lo oscuro como por lo transparente del cielo. Si está interesado en participar, puede informarse mejor visitando la página del encuentro <http://institutocopernico.org/starparty.php>

17 El planeta Marte estará en conjunción con el Sol, a las 21 horas. La conjunción de un planeta exterior significa la alineación entre él, el Sol y la Tierra,



Trío de galaxias Leo. Foto Hunter Wilson, Wikimedia commons.

o sea, es el máximo acercamiento aparente al Sol, visto desde la Tierra. Obviamente, el Sol se ubicará entre Marte y la Tierra.

22 **MET** La lluvia de meteoros Líridas (LYR) no es una de las lluvias de meteoros anuales más intensas, pero puede ser agradable para los observadores de meteoros ávidos luego de más de tres meses y medio de poca o débil actividad de meteoros. Las Líridas generalmente comienzan el 16 de abril y finalizarán el 26 de abril, con un máximo que generalmente ocurre durante la noche de abril 21-22. Su radiante se localiza en AR = 18h 6m y dec = 33.6. En el máximo, la tasa horaria cenital puede llegar a unos veinte meteoros por hora. Las Líridas son particularmente interesantes por dos razones. En primer lugar, se han identificado observaciones al menos hasta 2600 años atrás, que es mucho más que cualquier otra lluvia de meteoros. En segundo lugar, la lluvia de meteoros de vez en cuando experimenta una explosión de unos cien meteoros por hora y la razón es básicamente desconocida. Este año, las Líridas se producirán con la Luna creciente, muy próxima a la Luna llena, que ocurrirá

	Salida	Puesta		2		9		18		25
	(1) 7:07 (15) 7:17	(1) 18:48 (15) 18:30		1:38		6:36		9:32		16:58

el día 25, a las 16:58, por lo que no será muy favorable para su observación.

23 MET En esta fecha se produce el máximo de la lluvia de meteoros pi Puppidas (PPU), que están activos entre el 15 de abril y el 24 de abril, aunque su máximo se produce el día 24. Su radiante se centra en la coordenadas celestes AR = 7h 18m y dec = -45°. No hay prevista ninguna actividad inusual para esta lluvia relativamente débil y la Luna no favorecerá la observación.

25 ECL En este día, a las 17h10m, se producirá un eclipse parcial de Luna, de magnitud = 0,01 (la Luna apenas será mordida por la sombra de la Tierra), pero no será visible en la Argentina.

28 OBS El planeta Saturno estará en oposición con el Sol, a las 5 de la mañana. Esta particular alineación se produce cuando el planeta exterior se ubica en posición opuesta al Sol respecto de la Tierra. En tal posición es posible observar al planeta durante toda la noche, pues sale cuando el Sol se pone y su visibilidad se extiende entre ambos crepúsculos, cruzando todo el cielo nocturno desde el cuadrante este hasta el oeste. Este año, Saturno presenta sus anillos bien inclinados respecto de nuestro plano de observación, permitiendo apreciar toda la belleza de sus brillantes anillos. Para percibirlos no será necesario ningún gran instrumento, ya que un telescopio de 6 o 7cm de apertura es suficiente para distinguirlo. Ya con un telescopio algo mayor, de 10 o 15cm de apertura, se podrá apreciar la llamada división de Cassini entre los anillos más notables y aparecerán claramente sus satélites naturales más brillantes, Titán y Rhea. La oposición es un poco posterior a la Luna llena, que se producirá el día 25, por lo que las condiciones de observación no serán óptimas, pues el cielo estará muy claro, ofreciendo poco contraste que disminuye la capacidad de percibir los más finos detalles de los anillos y del disco planetario, que es la cambiante atmósfera de este planeta gigante gaseoso. Un fenómeno interesante de observar es la danza de sus satélites naturales.



Saturno. Foto NASA



5 a 6 **MET** La lluvia de meteoros eta Aquaridas (ETA), que está activa entre el 19 de abril y el 28 de mayo, tendrá su máximo los días 5 y 6 de mayo. Esta lluvia está asociada a los restos que va dejando a su paso el cometa 1P/Halley, por lo cual presenta una interesante tasa horaria cenital de sesenta meteoros. Su radiante se centra en AR = 22h 24m y dec = -1°, siendo una de las lluvias más notables del hemisferio sur y presentando esporádicos bólidos muy brillantes. Si bien en 2007 prácticamente mostró escasos meteoros, entre 2008 y 2011 su actividad se incrementó fuertemente y se supone que este año debería decrecer. Será bueno verificarlo. La lluvia coincide con la Luna menguante de veinticinco días de edad, por lo que el momento para la observación será bastante favorable. Sin embargo, debe observarse bien avanzada la noche.

9 **OBS** La Luna nueva se producirá a las 21:30 y en esta fase acontecerá un eclipse anular de Sol, pero no será visible en Sudamérica sino solo en Australia y el océano Pacífico. Los eclipses anulares ocurren, como en todo eclipse solar, cuando la Luna pasa delante del Sol, pero el tipo anular se produce cuando la Luna se encuentra próxima al apogeo, o sea, al punto de la órbita lunar más distante de la Tierra, y el paso por ese punto este mes será en la tarde del día 13. Como en toda Luna nueva, se pueden aprovechar las noches oscuras para escudriñar el cielo profundo, y mayo es el mes en que la constelación de la Cruz del Sur (Crux) culmina a las 21 horas. Así que tendremos bien a tiro al bello cúmulo galáctico Kappa Crucis, el famoso Joyero, que encierra sus gemas estelares brillantes y de diferentes colores, accesible a cualquier instrumento.

También tenemos a la notable constelación trapezoidal de Corvus, el cuervo, y más hacia el cenit a la Hydra, con su muy bella y accesible galaxia espiral barrada M83, y el cúmulo globular M68.

11 El planeta Mercurio estará en conjunción superior con el Sol, a las 18 horas. La conjunción superior se produce cuando Mercurio se aproxima al Sol pero se encuentra más allá de él, en contraposición a la conjunción inferior, que se produce cuando Mercurio está entre el Sol y la Tierra.

25 **ECL** Como para conmemorar nuestra fecha patria, se producirá un eclipse penumbral de Luna, en el que el cono de penumbra que proyecta la Tierra en el cielo morderá el borde de la Luna, produciendo una levisima disminución en la luminosidad de nuestro satélite natural, justo en el momento de su nacer, por el cuadrante este. Los eclipses de Luna se producen, obviamente, durante la Luna llena, que ocurrirá, este mes, a la 1:45, de la madrugada.

25 **al 28** **EFE** **NOT** Al atardecer del 25 de mayo, Mercurio (magnitud -0,74) estará a 1,4° al norte de Venus (magnitud -3,91) y, cerca de ellos estará Júpiter (magnitud -1,94). Pero los tres comenzarán una danza de cuatro anocheceres, de los cuales el más bello resultará ser el 26, cuando los tres formen casi un triángulo equilátero, con Venus más próximo al horizonte oeste. El día 27, Mercurio pasará a 2,3° al norte de Júpiter y, el 28, Venus pasará 1° al norte de Júpiter. Todo esto ocurrirá en los cuernos del Toro (Taurus).

31 El mes de mayo presentará cinco fases de la Luna y el segundo cuarto menguante, que tendrá lugar a las 15:59, se producirá con la Luna en la constelación de Aquarius, el aguador.



Aspecto de la conjunción entre Júpiter, Venus y Mercurio, al atardecer del 26 de mayo, mirando hacia el noroeste. La imagen fue realizada por el autor con el programa de código abierto Stellarium <http://www.stellarium.org/> para las coordenadas de Buenos Aires, a las 18:20.



Salida	Puesta
(1) 7:52	(1) 17:51
(15) 7:59	(15) 17:50



8
12:57



16
14:25



23
8:33



30
1:55



Imagen en colores simulados de Centauro A, que muestra las protuberancias y los chorros que emanan del agujero negro central de la galaxia, que se halla activo. Esta imagen fue compuesta a partir de las capturas de tres instrumentos distintos que operan en diferentes longitudes de onda. La información submilimétrica de 870 micrones del LABOCA en APEX se muestran en naranja. La información de rayos X proveniente del observatorio Chandra aparece en azul. La información del espectro de luz visible del WFI (Wide Field Imager) del telescopio MPG/ESO 2.2 ubicado en La Silla, Chile, muestra las estrellas de fondo y la característica huella de polvo muy aproximada al color real. Foto ESO/WFI (óptico); MPfR/ESO/APEX/A. Weiss *et al.* (submilimétrico); NASA/CXC/CfA/R. Kraft *et al.* (rayos X).

6 **HIS** En este día se cumplirán treinta años del lanzamiento de la última misión de la Unión Soviética al planeta Venus, la Venera 16. Esta sonda orbital fue responsable por el mapeo de la superficie de Venus utilizando un radar. Venera 16 fue lanzada el 7 de junio de 1983 a las 23:32:00 y alcanzó la órbita de Venus el 11 de octubre de 1983.

8 **OBS** La Luna nueva de junio tendrá lugar en este día, exactamente a las 12:57. Cada Luna nueva abre la posibilidad de explorar el cielo en busca de disfrutar de los objetos más tenues. Para este mes sugerimos realizar una revisión de las galaxias de la constelación de Virgo, comenzando por la espléndida galaxia del Sombrero, Messier 104, que destaca sobre las demás, en el límite con la constelación de Corvus, ese trapecoide que tanto se destaca en el cielo. Para poder distinguir su franja de absorción que le da ese aspecto de sombrero mexicano, será necesario tan solo un telescopio de 11cm. Ya en el límite con la constelación de Leo, encontramos una cantidad de galaxias notables tales como la espiral barrada M90 o las elípticas M49 y M60, todos excelentes objetos

para telescopios de 20cm de apertura. Y hablando de galaxias, si apuntamos al sur, hacia la constelación de Centaurus, nos encontraremos con la brillantísima NGC 5128, una galaxia activa que destaca con 20cm y que está muy próxima del cúmulo globular más brillante del cielo, Omega Centauri.

12 **EFE** El planeta Mercurio pasará por su máxima elongación este a las 14 horas, esto implica que será el momento más favorable para verlo durante el anochecer de este día, pues estará separado del Sol por 24,28°. Mercurio no estará tan brillante, alcanzando la magnitud 1,25.

16 **HIS** En este día, se cumple el 50° aniversario del día en que la primera cosmonauta, Valentina Tereshkova, fue puesta en órbita, pues ese hecho tuvo lugar el 16 de junio de 1963. Valentina (nacida en Rusia en 1937) fue la primera mujer de la historia en viajar al espacio exterior y lo hizo a bordo de la nave soviética Vostok 6.

19 Júpiter, el planeta gigante del Sistema Solar, estará en conjunción con el Sol, a las 12 del mediodía, quedando invisible por algunos días, debido a la proximidad del brillo de nuestro astro central.

21 **EFE** Este año tendremos el solsticio de invierno, para nuestro hemisferio, el 21 de junio exactamente a las 2h5m0s. El solsticio de invierno se produce cuando el Sol alcanza la menor altura posible sobre el horizonte norte al mediodía solar que, por cierto, no coincide con la hora civil de las 12 del mediodía, sino con el momento cuando el Sol cruza el meridiano del lugar, que se determina uniendo los puntos cardinales norte y sur.



Jaime García

Doctor en matemática aplicada, Universidad Federal de Minas Gerais.

Profesor del Instituto de Enseñanza Superior Dr Salvador Calafat, General Alvear, y de la Fundación Islas Malvinas, San Rafael, Mendoza.

Director del observatorio astronómico del Instituto Copérnico, Rama Caída, Mendoza.

Presidente de la American Association of Variable Star Observers, Cambridge, MA.

jgarcia@institutocopernico.org

Suscríbese al conocimiento

CIENCIAHOY

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

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

Suscríbese 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.