CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 24 número 143 abril - mayo 2015 Ejemplar en la Argentina $ 60

Humanos modernos

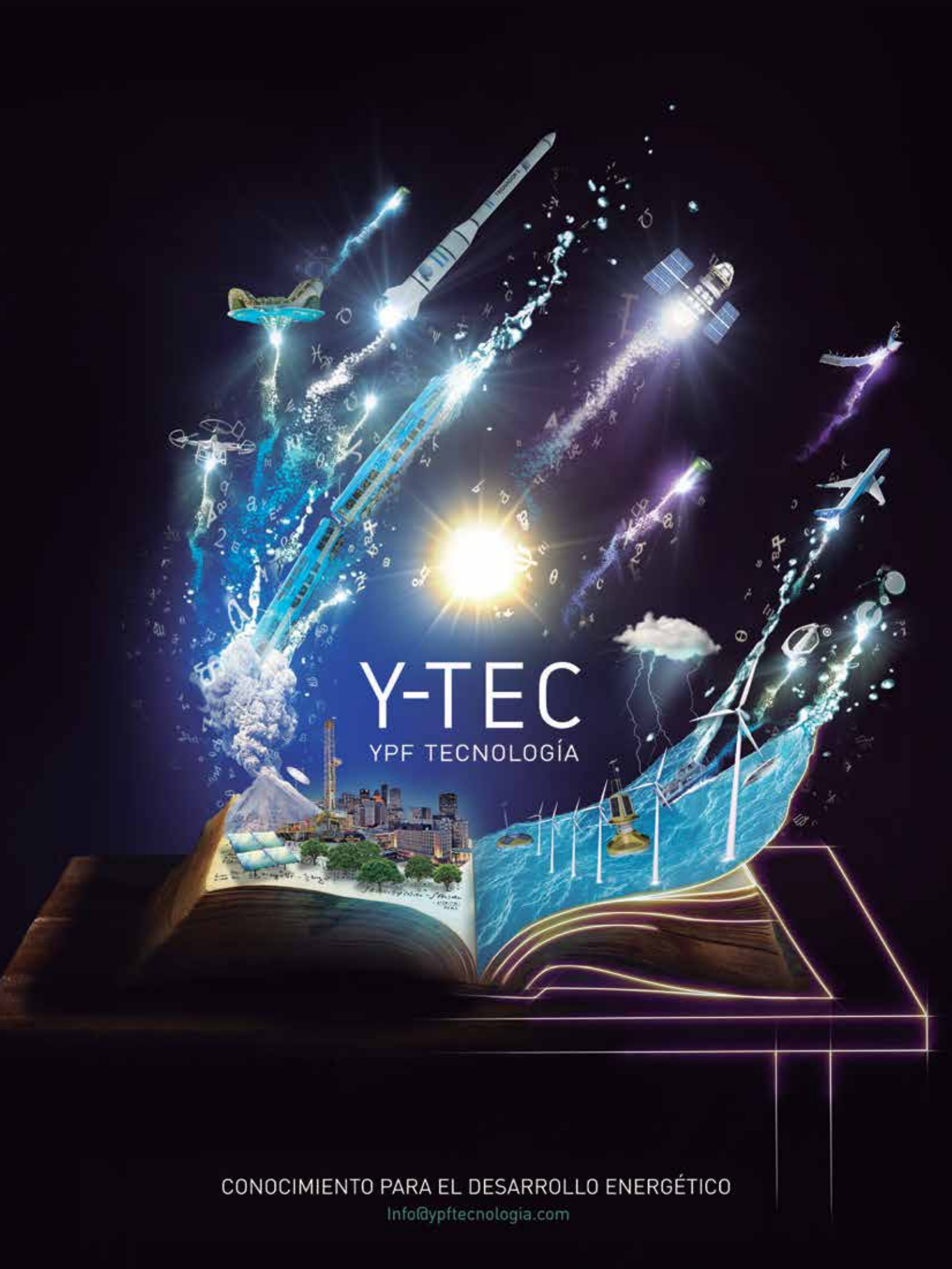
Velocidad de la luz

Flamencos altoandinos

Supervolcanes

Vida en las profundidades marinas

ISSN: 0327-1218
9 770327 121009 00143


Y-TEC
YPF TECNOLOGÍA
CONOCIMIENTO PARA EL DESARROLLO ENERGÉTICO
Info@ypftecnologia.com

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

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

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

Lo expresado por autores, corresponsales, avisadores y en páginas institucionales no necesariamente refleja el pensamiento del comité editorial, ni significa el respaldo de CIENCIA HOY a opiniones o productos.

Editores responsables

Federico Coluccio Leskow
Instituto de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA-Conicet

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

Alejandro Curino
Instituto de Investigaciones Bioquímicas Bahía Blanca, UNS-Conicet

Cristina Damborenea
División Zoología Invertebrados, Museo de La Plata, FCNYM-UNLP

Ingrid de Jong
Instituto de Ciencias Antropológicas, UBA-Conicet

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

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

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 (FCEN, 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

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

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

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

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $ 400 (incluye envío)
EXTRANJERO: 6 números, US$ 40 + envío

Artículos digitalizados: $15

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

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

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

ISSN 0327-1218
Nº de Registro DNDA: 5179366

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*

Corrección
Mónica Urrestarazu

Impresión
Latingráfica SRL
Rocamora 4161
(C1184ABC) CABA

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

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

COMISIÓN DIRECTIVA

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

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

Ciencia Hoy agradece los apoyos recibidos —en especial el del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y del Conicet— para la publicación de la revista. Esta se produce merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe —ni ha recibido en toda nuestra historia— remuneración económica. Fundada en 1988.

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

abril – mayo 2015
Volumen 24 - Número 143

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

4 Volumen 1 Nº 4
Octubre - noviembre 1989

EDITORIAL

6 Vacunación

8 GRAGEAS

ARTÍCULO

13 La evolución de los humanos modernos
Una mirada desde el desarrollo

Paula N González, Jimena Barbeito-Andrés y Valeria Bernal

La biología evolutiva del desarrollo (conocida como *evo-devo*) es un área relativamente nueva de las ciencias biológicas que estudia los procesos del desarrollo de los individuos en el marco evolutivo de las especies. La aplicación de sus enfoques a la especie humana y a sus ancestros procura determinar cómo a lo largo de la historia evolutiva se fue modificando la manera en que los individuos pasan de ser una sola célula inmediatamente después de la concepción –el cigoto– a ser un adulto.

ARTÍCULO

21 Un experimento crucial de Galileo sobre la velocidad de la luz

Alejandro Cassini

Un experimento crucial es uno que se propone decidir entre dos hipótesis o teorías rivales. Galileo, según afirma él mismo, fue el primero en concebir y realizar una experiencia para tratar de determinar si la luz se propaga de manera instantánea o sucesiva, es decir, con una velocidad infinita o finita. El experimento tuvo un resultado negativo, pero, además de señalar el camino para futuras experiencias, nos dejó importantes lecciones de carácter epistemológico.

ARTÍCULO

27 Geografía y calidad de vida en la Argentina

Guillermo Angel Velázquez y Gabriela Mesaros

Cuando se habla de la calidad de vida o del bienestar de la población de un país, se está hablando de un promedio que engloba en un único concepto situaciones geográficas o sociales que pueden ser muy distintas. Y cuando se intenta comparar distintos países y ordenarlos en un ranking se necesita encontrar cómo medir ese bienestar y expresar con un único valor una realidad que por naturaleza es multidimensional. Los autores del artículo abordan ambas cuestiones y construyen un mapa ilustrativo de la calidad de vida en el territorio argentino.

ARTÍCULO

32 Los flamencos altoandinos

Diego Frau, Susana José de Paggi, Ramiro Manzo y Patricia Marconi

Con sus colores rosados, sus formas elegantes y sus concentraciones en lagunas o en vuelo, los flamencos han encendido desde antiguo la imaginación de la gente. El nombre que les dieron los griegos, que significa 'alas rosadas', terminó veinte siglos después constituyendo su denominación científica *Phoenicopterus*. Esa larga historia, que se refiere a los flamencos del Viejo Mundo, fue retomada en América, donde hay cuatro especies de flamencos, dos de las cuales son propias del altiplano andino del Perú, Bolivia, Chile y la Argentina.

ARTÍCULO

39 Supervolcanes y supererupciones

Iván A Petrinovic

Se llama *supervolcanes* a volcanes cuyas erupciones se caracterizan por el enorme volumen de magma que expulsan con singular violencia, el que puede alcanzar los 1000km^3 en un lapso de horas. Esa cantidad de magma podría pesar unas 220.000 millones de toneladas, o poco más de 300 toneladas de rocas volcánicas por cada uno de los 7000 millones de habitantes del planeta. Las consecuencias de esas *supererupciones* son tan grandes que pueden afectar el clima global durante varios años.

ESPACIO INSTITUCIONAL

44 CONICET dialoga

ARTÍCULO

49 Vida en los fondos profundos del mar

Guido Pastorino, Martín Brogger, Daniel Lauretta, Mariano Martinez y Pablo E Penchaszadeh

El estudio de la vida en el mar se hace más difícil a medida que nos alejamos de la costa y exploramos la profundidad. Esta dificultad hizo que las investigaciones de las zonas profundas del Mar Argentino hayan sido muy escasas. El uso del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, perteneciente al Conicet, permitió que los biólogos marinos –en tres campañas realizadas en los últimos cinco años– dieran un paso adelante en el conocimiento de la vida en el Atlántico Sur a más de 1km de profundidad.

CIENCIA EN EL AULA

58 La órbita de la Luna alrededor del Sol

Alejandro Gangui

Si la Luna se traslada en una órbita casi circular en torno a la Tierra, y esta hace lo mismo en una órbita de igual forma alrededor del Sol, ¿qué forma tendrá la trayectoria de la Luna alrededor del Sol? En otras palabras, ¿será la órbita de la Luna en torno al Sol semejante a la de la Tierra? ¿O su forma tendrá alteraciones significativas debido al movimiento de traslación del satélite alrededor de nuestro planeta?

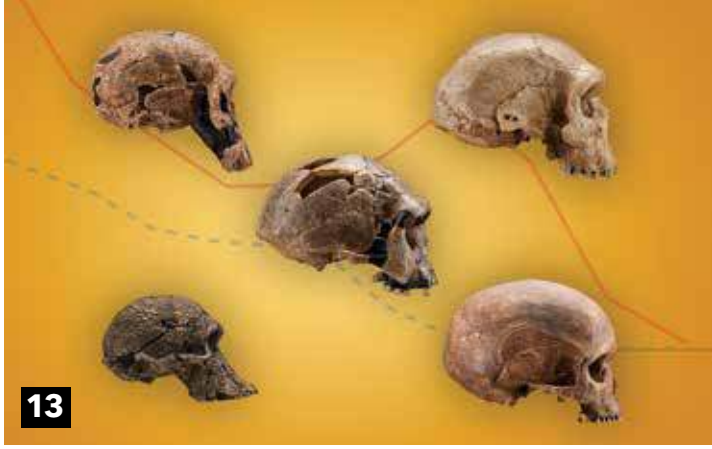
CIENCIA Y SOCIEDAD

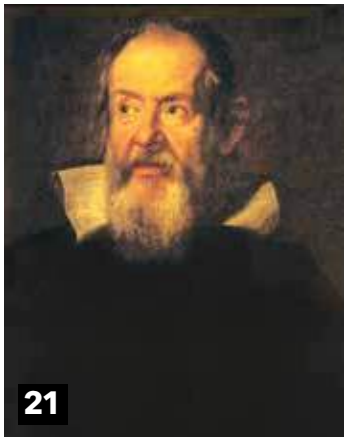
62 Mitos culinarios

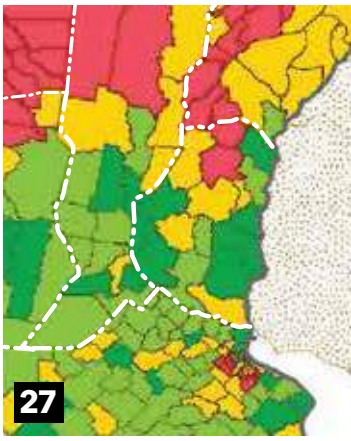
Mariana Koppmann

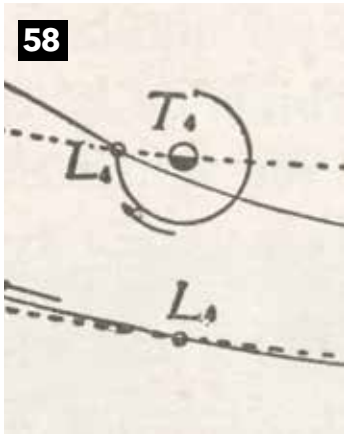
En la sabiduría popular de todas las culturas existen numerosas afirmaciones que se transmiten de generación en generación y conforman una verdadera mitología culinaria. Un análisis de esos mitos con el instrumental conceptual de la química moderna permite discernir los que tienen fundamento de los que carecen de él, los ciertos de los falsos. La nota examina siete de ellos.

Foto de tapa: estrella canasta (*Gorgonocephalus chilensis)* capturada a unos 1400m de profundidad en el Atlántico frente a la provincia de Buenos Aires. Los adultos de la especie pueden medir 80cm con los brazos extendidos.









HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

EL DINOSAURIO ANTÁRTICO

ZULMA GASPARINI - EDUARDO OLIVERO

Investigadores argentinos descubrieron restos óseos de un dinosaurio en el continente antártico. El estudio de estos hallazgos plantea numerosos interrogantes de carácter paleontológico y geológico.

En enero de 1986 se descubrieron restos de un dinosaurio en la isla James Ross. El hallazgo constituyó el primero y hasta ese momento único registro de dinosaurios en el continente antártico. Con una edad aproximada de 77 millones de años, correspondiente a la edad campaniana del período Cretácico, resultó pertenecer al suborden de los *Ankylosauria*. Recién en 2006 fue completada la descripción de este dinosaurio y nombrado *Antarctopelta oliveroi* por su ubicación en el continente antártico y en honor a su descubridor.

GRAVITACIÓN Y EXPERIENCIA

HÉCTOR VUCETICH

El llamado principio de equivalencia de Einstein, que sintetiza los fundamentos de la moderna teoría de la gravitación, ha recibido una nueva corroboración por medio de experimentos realizados en la Universidad Nacional de La Plata.

En los veinticinco años transcurridos, la relatividad general de Einstein (RGE) ha soportado todas las pruebas a la que se la ha sometido. Esto no significa, sin embargo, que la hemos probado en todos sus aspectos posibles. La fuerza de gravedad que se deriva de la RGE es la que moldeó el universo que hoy reconocemos y de la observación de este surgen preguntas en busca de respuesta que servirían para testearla aun más profundamente. Los agujeros negros que se manifiestan actualmente ¿son los de la teoría general de la relatividad? Las ondas gravitatorias ¿se propagan a la velocidad de la luz? ¿Tienen más de dos estados de polarización? En escalas cosmológicas, ¿es todavía válida la relatividad general? El principio de equivalencia del trabajo de Vucetich de hace veinticinco años ¿es válido a cualquier energía? ¿Hay efectos que puedan medirse de la cuantificación de la gravedad? El tema dista mucho de estar agotado.

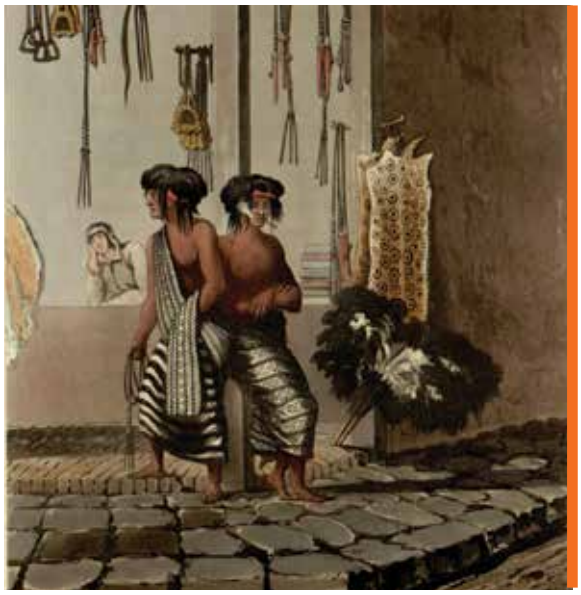


Foto Wikimedia Commons

INDÍGENAS EN EL MERCADO COLONIAL

MIGUEL A PALERMO

Cuando a partir del siglo XVI distintas especies agropecuarias llegadas desde España comenzaron a introducirse en la pampa y en la Patagonia, se inició una compleja transformación en las tribus indígenas, que se insertaron de una manera peculiar en el espacio económico colonial.

Historiadores y antropólogos han avanzado en el estudio de las consecuencias de estas innovaciones agrícolas y ganaderas, que permitieron a los indígenas de estas regiones intensificar sus vínculos económicos y parentales, extenderlos hacia la Araucanía y mantener relaciones comerciales y políticas en las fronteras hasta el último cuarto del siglo XIX.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

Foto Sebastián Restrepo Calle/flickr.com

PAISAJE CON VICUÑA

BIBIANA VILÁ

La vicuña, perseguida y sacrificada para comercializar su fibra, es un habitante característico de la Puna. El estudio de su comportamiento y de su adaptación a un ámbito tan hostil revela aspectos sorprendentes.

El estudio de la conducta de uno de los dos camélidos sudamericanos silvestres, la vicuña (el otro es el guanaco), perseguida en el altiplano, su hábitat natural, por el alto valor comercial de su fibra, ayudó a que en los veinticinco años transcurridos desde la publicación de esta nota se mejoraran las medidas de conservación, se adquiriera experiencia en el manejo de los rebaños y crecieran sus poblaciones luego de años de disminución.

¿POR QUÉ NO SOMOS ETERNOS?

EUGENIA S DE LUSTIG

La capacidad de proliferación celular, cuya disminución es uno de los factores que conducen a la muerte, se halla bajo control genético. Sin embargo, algunas sustancias pueden, hasta cierto punto, modificar su duración.

Se ha avanzado mucho en los últimos años en el entendimiento de la senescencia celular desde sus componentes genéticos y epigenéticos hasta los ambientales. Esto se ha logrado en gran medida por el mejoramiento de las técnicas de cultivo de células in vitro. La doctora Sacerdote de Lustig fue pionera en el desarrollo de estas técnicas.

Foto Noel Carboni y la ESA / ESO / NASA Photoshop FITS Libertador

ASTROFÍSICA: EL PULSAR EN LA SUPERNOVA

OMAR G BENVENUTO - JORGE E HORVATH

Por su proximidad al Sistema Solar, la supernova SN 1987A permite realizar estudios sin precedentes en el ámbito de la astrofísica. De ahí el interés suscitado por el descubrimiento de su pulsar remanente, que origina hoy una intensa actividad teórica y observacional.

SN 1987A fue la última explosión de supernova que se pudo ver desde la Tierra con el ojo desnudo. Se aprendió mucho de ella sobre todo a través del telescopio Hubble que la siguió desde 1990. Sin embargo, veinticinco años después, todavía no se ha tenido evidencia del pulsar que probablemente haya dejado. La especulación es ahora la siguiente: ¿dejó una estrella de neutrones? Es posible, pero la cantidad de polvo emitida es suficiente como para ocultarla. ¿Dejó un pulsar? Es posible, pero si su haz no cruza la Tierra, no podemos verlo. ¿Dejó un agujero negro? Es posible, pero la radiación de la materia que cae en él sería absorbida por el polvo que todavía rodea a la explosión (suficiente como para generar 200.000 planetas Tierra). El misterio de lo que dejó detrás SN 1987A todavía perdura.

Vacunación

Hay muchos tipos de enfermedades. Si bien en quienes las contraen todas son el resultado de una interacción entre sus genes y factores ambientales, para su análisis genérico se las puede agrupar de diferentes maneras. Así, se considera que unas son de naturaleza genética: se deben a mutaciones presentes en los genes heredados de los progenitores (existentes en ellos o producidas en el proceso de la concepción). Otras tienen raíz ambiental (incluidos factores sociales), por ejemplo, son el resultado de respirar humo de tabaco a lo largo de mucho tiempo o de exponerse largamente a los rayos solares o de estar sometido a situaciones estresantes. Y están las enfermedades infecciosas, causadas por el ingreso en el organismo de ciertas proteínas, virus, bacterias, protozoos, nematodos, hongos u otros agentes.

Hay enfermedades para las que la medicina actual no tiene remedios y solo puede, a lo sumo, eliminar o morigerar los síntomas: muchas de las que llamamos genéticas (como los males de Tay-Sachs o de Huntington) pertenecen a esta categoría, aunque la lista de las dolencias de ese tipo para las cuales se dispone de remedios se está haciendo cada vez más larga. Otras enfermedades se pueden curar atacando el agente que las produce con antibióticos, antivirales, antimicóticos, etcétera. Y otras, en fin, sobre todo (pero no solo) las provocadas por virus, son combatidas principalmente por la acción del sistema inmune del propio organismo enfermo, una acción que puede acaecer de manera natural o ser provocada por el efecto de una vacuna. Incluso hay enfermedades que, con la tecnología médica de hoy, solo el sistema inmune puede combatir, para las cuales las vacunas son cruciales.

No es este el lugar para explicar qué es una vacuna y cómo actúa, porque el objetivo del presente editorial es analizar la resistencia social a vacunar. El fenómeno no es nuevo: desde los inicios mismos de la vacunación en el siglo XVIII, cuando el procedimiento se aplicó a la viruela, hubo quienes se opusieron a él, sobre todo por principios religiosos, pero en algún caso por razones médicas. Con el avance del conocimiento y la difusión de las vacunas, la oposición médica se fue esfumando, salvo quizá en los márgenes heterodoxos de la profesión, pero se hizo presente una resistencia por parte de diversos grupos sociales y políticos.

En estos momentos, esa resistencia social parece haber crecido, incluso en círculos de lo que podríamos llamar las clases progresistas. Quienes se niegan a vacunarse o a vacunar a sus hijos lo hacen por razones religiosas (posiblemente una minoría), porque creen que las vacunas solo responden a los intereses económicos de los laboratorios que las venden (posiblemente también una minoría) o porque piensan que médicamente son perjudiciales (posiblemente la mayoría).

Las creencias religiosas son respetables pero están basadas, en última instancia, en razones ajenas al análisis científico, lo que las deja fuera del universo conceptual del que se ocupa Ciencia Hoy. Los argumentos de tipo económico o médico, en cambio, son susceptibles de ser sometidos a ese análisis. Que las vacunas respondan a los intereses económicos de los laboratorios que las producen es casi evidente: lo mismo puede decirse de todos los demás bienes y servicios que consumimos. Pero no se sigue de ahí que esa sea la única razón por la que existen y por la que la gente recurre a ellos, ni que el interés económico de los productores sea argumento suficiente para rechazar los productos. Es, en todo caso, motivo suficiente para examinar críticamente las vacunas o, mejor aún, para reclamar que las autoridades sanitarias y las entidades científicas las analicen.

Quienes desechan las vacunas por pensar que son médicamente perjudiciales en muchos casos optan por terapias heterodoxas o alternativas, como la quiropraxia, la homeopatía, la acupuntura, la medicina naturista u otras, que la ciencia médica internacionalmente reconocida acepta a menudo como prácticas complementarias pero que rechaza como caminos sustitutos de la vacunación.

Sin perjuicio de lo anterior, posiblemente la mayoría de quienes se abstienen de vacunarse por razones verificables mediante el análisis científico lo hagan porque crean que el riesgo que corren vacunándose es mayor que el de no vacunarse. Se basan en registros de casos aislados en que se produjeron accidentes médicos o farmacéuticos, como el sucedido en 1955 en los Estados Unidos con un lote de vacunas Salk contra la poliomielitis que, por error, contenía virus activos, o las rarísimas reacciones alérgicas u otras responsables hasta de muertes. Se trató de accidentes estadísticamente no significativos en la cadena de avances de la larga historia de la vacunación, con una bajísima incidencia, comparable, por ejemplo, a los casos de enfermedades transmitidas por error en trasfusiones o, si se quiere, a los accidentes de aviación. Más frecuentes aunque escasas en comparación con las millones de inoculaciones son las reacciones relativamente serias aunque pasajeras del organismo a una vacuna, normalmente sin más consecuencias que la molestia de sufrirlas. También están quienes actúan motivados por versiones sobre efectos adversos de ciertas vacunas, como la que sostiene que algunas de las infantiles pro-

ducen autismo, la cual ha sido sometida a rigurosas pruebas epidemiológicas que no le encontraron fundamento. Y, por último, está el riesgo de que la vacuna no logre el resultado esperado, ya que ninguna tiene un 100% de eficacia.

En otras palabras, vacunarse implica correr el riesgo pequeñísimo de soportar alguna consecuencia adversa. En el otro plato de la balanza, para el individuo está el beneficio de no adquirir la enfermedad (o sufrirla en forma atenuada), y para la sociedad están éxitos comprobados como, para solo tomar dos ejemplos entre muchos, la erradicación mundial de la viruela en 1977 y la casi erradicación de la polio.

Quienes se niegan a vacunarse o a vacunar sus hijos incurren, en prácticamente todos los países, en incumplimientos más o menos graves y punibles de la legislación; es decir, hoy la vacunación es obligatoria. Las normas que establecen la obligatoriedad se basan en dos clases de razones. Por un lado, la convicción de que, por ignorancia, indolencia u otros motivos, muchas personas no hacen lo que les conviene, lo que justifica que el Estado paternalista las fuerce a hacerlo. Tratándose de adultos, este argumento es relativamente débil y se le puede oponer el de que obligarlas constituye una violación de su libertad individual; para muchos, esta debe prevalecer mientras sean los únicos que sufran las consecuencias. El argumento de la libertad individual, sin embargo, deja de valer para los responsables de vacunar a menores o, en todo caso, se convierte en una discusión sobre la incumbencia del poder público en la tutela del bienestar de estos.

La justificación de la obligatoriedad se apoya, además, en razones de índole social. Son las mismas razones que justifican, por ejemplo, la obligatoriedad de la educación. Esta segunda clase de razones se resume diciendo que vacunarse no solo conviene al individuo: es necesario que lo haga para proteger la salud y el bienestar de otros.

La explicación de lo anterior reside en la llamada *inmunidad de rebaño* (*herd immunity*), un concepto sencillo de entender que se aplica a enfermedades contagiosas: hay enfermedades infecciosas no contagiosas, como el tétano, contra el que hay vacuna pero para los adultos no es obligatoria. Para cualquier enfermedad contagiosa, en toda población hay individuos sanos propensos a contraerla, individuos inmunizados (porque la contrajeron y sanaron, o porque fueron vacunados) e individuos enfermos. El ritmo de propagación de la enfermedad depende de qué proporción del total de la población sean los primeros y los terceros, y cuántos individuos sanos y propensos entren en promedio en contacto con un enfermo y puedan contagiarse. Es obvio que, a medida que crece la proporción de individuos inmunizados, disminuye la de sanos susceptibles a enfermar, lo mismo que la de enfermos que los puedan contactar y contagiar. Pasado cierto umbral, la enfermedad deja de propagarse y, con el tiempo, se reduce su frecuencia en la población e, incluso, puede extinguirse, algo que en casos ha alcanzado escala mundial, como sucedió con la viruela.

Además –y esto es de suma importancia–, la inmunidad de rebaño es la única protección disponible para individuos que no puedan ser vacunados por su reducida o avanzada edad, o por razones médicas diversas (padecer de sida o leucemia, por ejemplo). Esto proporciona un argumento aún más poderoso que los anteriores en favor de la obligatoriedad y de su cumplimiento. También, la inmunidad de rebaño es el único camino que permitiría hasta cierto punto respetar la libertad de conciencia de quienes rechazan la vacunación por genuinas razones religiosas (si se tratara de un grupo minoritario).

Las reflexiones anteriores no pretenden ocultar las complejidades del proceso por el que se establece la eficacia de una nueva vacuna, es decir, se la autoriza sobre la base de que sus beneficios superarían sus riesgos. Cada una tiene peculiaridades específicas que impiden generalizar y muchas veces es difícil determinar si es mejor que los métodos de prevención probados y en uso, que tampoco están exentos de riesgo. Esto es particularmente problemático en vacunas dirigidas a prevenir enfermedades susceptibles de ser controladas con medidas sanitarias, ambientales y sociales, como el sida. También está el hecho de que la eficacia de las vacunas puede variar en diferentes poblaciones. Por estas razones, incluidos sus efectos secundarios, hay vacunas que generan gran controversia; por ejemplo, la disponible contra el virus del papiloma humano, asociado con el cáncer de cuello de útero, que en varios países (Francia, Japón) dejó de ser obligatoria pero en nuestro medio se impuso sin mayor discusión.

Además, como sucede con toda decisión colectiva, no se puede ignorar el juego político y la presión de los intereses, tanto de la industria farmacéutica que puede movilizar importantes medios, como de los profesionales de la salud, los investigadores, los funcionarios y los mismos políticos, cuya libertad de opinión y objetividad más de una vez entran en conflicto con sus fuentes de financiación u otros beneficios de orden personal o laboral. De ese juego han resultado campañas mediáticas con información sesgada que generan ansiedad e inducen a error a la población.

En síntesis, en su experiencia de más de dos siglos con vacunas la ciencia médica ha obtenido éxitos ciertos, sin negar los tropiezos y accidentes ocurridos en ese recorrido. En el actual mundo globalizado con 7000 millones de habitantes, la vacunación obligatoria –jurídicamente respaldada por sólidas razones–, si bien no el único ni de aplicación universal, es un instrumento que el cuidado de la salud pública de ningún modo podría prescindir. Y para cada uno de nosotros, una elemental comparación de los riesgos y los beneficios de vacunarnos y vacunar a nuestros hijos con los de no hacerlo nos demuestra que optar sistemáticamente por lo segundo podría llevarnos incurrir en un serio error. Es, además, un comportamiento con repercusiones sociales de las que posiblemente pocos de los que consideran o practican el rechazo completo de la vacunación tienen conciencia. CH

¡Fotosíntesis animal!

Si a un estudiante de primaria se le ocurriera decir en voz alta que un animal puede fotosintetizar, se ganaría la mirada horrorizada de su maestra. Raro como suena, ese es exactamente el caso de la babosa marina *Elysia chlorotica*. Si bien se trata de una fotosíntesis 'robada', estudios recientes demuestran que la babosa posee herramientas fotosintéticas codificadas en su propio genoma.

La babosa en cuestión se alimenta de otros organismos para vivir, sobre todo del alga fotosintética *Vaucheria litorea*. Curiosamente, durante su proceso digestivo, la babosa captura los orgánulos fotosintéticos del alga, los incorpora intactos a sus propias células y los mantiene funcionales durante meses. Durante todo ese lapso, el molusco puede vivir sin más fuente de alimento que los azúcares derivados de la fotosíntesis realizada por sus microscópicos rehenes.

Aunque la kleptoplastia (robo de plástidos en griego) se conoce desde hace algún tiempo, la presencia de elementos fotosintéticos del alga codificados en el acervo genético de la babosa ha dado origen a una enfervorizada discusión entre los expertos del área. Sucede que si bien estos genes son detectables en el material celular de adultos y larvas de *E. chlorotica*, no existía evidencia de su presencia en sus huevos, dado que los nuevos individuos no heredan los cloroplastos capturados por sus padres. Esto disparó las sospechas de quienes sostenían que en realidad los genes encontrados provenían del alga, y no del molusco. Investigadores norteamericanos difundieron la primera evidencia irrefutable de que –efectivamente– los genes en cuestión son propiedad genética de la babosa, aunque deriven evolutivamente de su presa. Estos investigadores pudieron visualizar, por primera vez, la localización de los genes del alga en los cromosomas de embriones de babosas que nunca habían sido expuestas al alga, y demostraron que nos encontramos ante un evento genuino de transferencia horizontal de genes entre ambas especies. La ventaja evolutiva del proceso es clara: las chances de supervivencia durante períodos de escasez de alga serán mayores. Punto para el profesor de nuestro alumno de primaria: no es extraño que la diversidad biológica tome partido por el lado más creativo en una discusión.

Foto Wikimedia Commons

Más información en Schwartz *et al.*, 2014, *Biological Bulletin,* 227: 300–312.

Hernán Burrieza
hernan@bg.fcen.uba.ar

Leandro Martínez Tosar
lmartinezt@fbmc.fcen.uba.ar

Aves como microsaurios

Al principio fueron los megalosaurios y alosaurios de más de una tonelada de peso, que dieron lugar a tiranosaurios y ornitomimosaurios de cien kilos; que a su vez evolucionaron en el alvarezsaurio, de aproximadamente diecisiete kilos; que evolucionó en un oviraptosaurio, que alcanzó a pesar cinco kilos; y así hasta llegar hasta el *Archaeopteryx*, el ancestro común de todas las aves, de no más de medio kilo. ¿Es posible que, atravesando tiempos geológicos, este haya sido el origen de las aves modernas? Patrones anatómicos analizados en registros fósiles por métodos de biología computacional revelaron que los animales voladores no son ni más ni menos que una rama del árbol filogenético de los grandes lagartos.

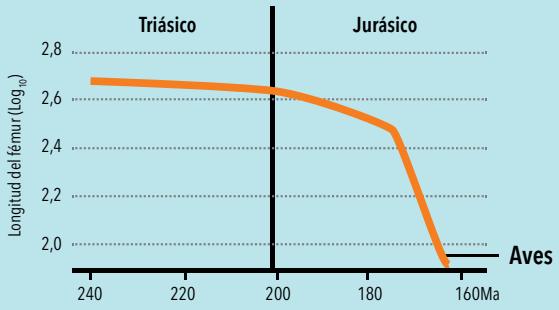
Así, la miniaturización que experimentaron las aves desde sus enormes antepasados implica no solo cuerpos más pequeños, sino también dramáticos cambios de su anatomía y fisiología, y de los costos del decrecimiento en tamaño y de sus compensaciones. La forma del cráneo (heredada de sus ancestros) y el agrandamiento de los ojos, por ejemplo, estarían relacionados con la capacidad de volar. Otros aspectos, como los dientes más pequeños y su reducido dentado, estarían vinculados solo con el encogimiento general. La progresiva elaboración de plumas, por otro lado, al permitir una aislación más eficiente, facilitaría la evolución de cuerpos más pequeños.

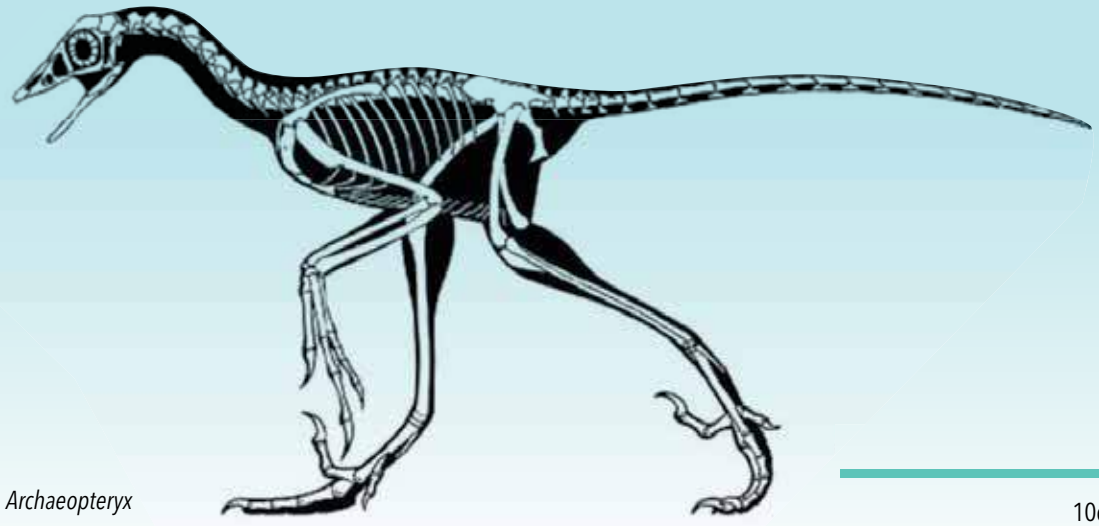
El linaje de las aves ha experimentado una miniaturización sostenida en los últimos 50 millones de años. ¿Seguirá ese camino? Los expertos postulan un 'tamaño crítico' para la reducción del cuerpo, más allá del cual se ven afectadas importantes funciones como alimentación, locomoción y reproducción. Algunas instancias de miniaturización podrían representar un mínimo posible tamaño de cuerpo.

Mas información en Benton MJ, 2014, 'How birds became birds', *Science*, 345: 508.

Julio Gervasoni
jgervasoni@dc.uba.ar

Miniaturización del tamaño corporal





Archaeopteryx

10cm

Los beneficios del incesto

Las prácticas de la reproducción entre individuos de ascendencia común, denominada *endogamia*, o entre hermanos o padres e hijos, conocida como *incesto*, suelen ser tabú en casi todas las sociedades. Especialistas en comportamiento animal y biólogos evolucionistas predicen que la endogamia prevalece en grupos sociales pequeños y antiguos, tal como era la dinastía de los Habsburgos a mediados del siglo XVI. El caso de Carlos de Habsburgo (1544-1568), hijo de Felipe II y de María Manuela de Portugal, que desde pequeño exhibió síntomas de enfermedad mental y numerosos trastornos físicos, es un buen ejemplo. Sus padres eran hijos de dos hermanos que se habían casado con dos hermanas.

Steve Slater (Fauna Encounters) / flickr

A partir de que el apareamiento entre individuos del mismo linaje trae como consecuencia el deterioro de las generaciones siguientes, animales y plantas han desarrollado mecanismos para evitarlo, y las evidencias de incesto en el seno de una comunidad son escasas. Un estudio realizado a lo largo de dieciséis años sobre un grupo de mangostas rayadas del Parque Nacional Reina Elizabeth de Uganda trae nueva luz sobre el tema.

La reproducción entre parientes cercanos tiene un costo para la población. No obstante, evitar la endogamia también puede ser muy costoso. Por ejemplo, la expulsión de machos jóvenes de un grupo para evitar que se apareen con hembras de su mismo linaje incrementa la mortalidad de los expulsados. Esto lleva a que, y solo bajo ciertas circunstancias, la endogamia pueda ser tolerada dentro de un grupo. Es posible establecer un coeficiente para estimar rangos de endogamia alta y moderada. Usando este coeficiente, los investigadores cuantificaron la tasa de cruzamiento entre individuos de un mismo grupo de la población de mangostas del Reina Elizabeth. Desde que las hembras comienzan a reproducirse al año de edad y los machos raramente lo hacen antes de los tres o cuatro años, una joven mangosta rayada tiene un alto riesgo de procrear con su padre, mientras que es improbable que un macho reproductor lo haga con su madre. Como echar a los jóvenes machos provoca una alta mortalidad entre los desterrados, y los encuentros con grupos vecinos de mangostas pueden ser muy violentos y causar muchas bajas, la tolerancia del incesto puede ser, en definitiva, beneficiosa para el grupo.

En los humanos, los casos más extremos de alta endogamia se encuentran en las dinastías reales. Como consecuencia de la política de los Habsburgos de establecer alianzas políticas a través del matrimonio, el pobre Carlos, que murió como príncipe de Asturias, llegó al mundo con un coeficiente de endogamia similar del que resulta de la unión entre hermanos: tenía cuatro bisabuelos en lugar de los ocho normales.

Más información en Nichols HJ, Cant MA, Hoffman JI y Sanderson JL, 2014, 'Evidence for frequent incest in a cooperatively breeding mammal', *Biol. Lett.*, 10: 20140898. *http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2014.0898*

Julio Gervasoni
jgervasoni@dc.uba.ar

Durmiendo con microbios

La sucesión del día y la noche dada por la rotación de la Tierra genera en los seres vivos de todos los reinos una variación fisiológica periódica, que tiene efectos tanto en la salud como en la enfermedad. Su conocimiento data de épocas muy antiguas. Aristóteles y Galeno escribieron sobre la periodicidad del sueño y durante mucho tiempo existió consenso sobre el efecto del ambiente en la rutina de los seres vivos. Pero esta periodicidad está asociada no solo a los cambios ambientales, sino también a un reloj interno que sincroniza los procesos fisiológicos a las fluctuaciones ambientales diurnas, especialmente la luz. De esta manera, se crea un ritmo llamado circadiano que produce ciclos de sueño y de vigilia aun en ausencia de cambios cíclicos de luz y oscuridad o a pesar de patrones erráticos. Experimentamos esta situación cuando volamos hacia el este o el oeste, la que se conoce como *jet lag*.

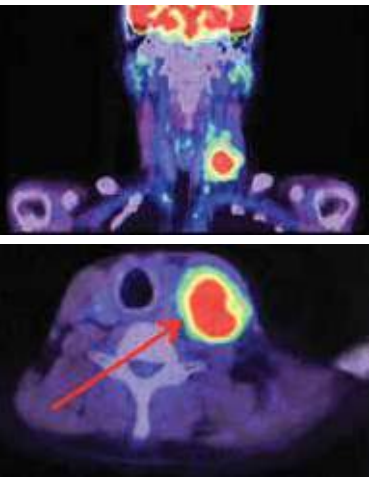
Cuando nos vamos a dormir, lo hacemos junto con los 10^{13} (diez billones) de microbios, conocidos como flora o microbiota intestinal. Un trabajo reciente muestra que, en ratones y seres humanos, esta flora presenta oscilaciones diurnas que están influenciadas por los ritmos de alimentación. La modificación de componentes del reloj biológico del hospedador o la modificación del patrón de luz y oscuridad conducen a fluctuaciones aberrantes de la microbiota intestinal como consecuencia de un deterioro en la ritmicidad de la alimentación. Sorprendentemente, estos cambios en la composición de la flora promueven desórdenes metabólicos. Ratones sometidos a jet lag muestran un aumento de la susceptibilidad a la diabetes en comparación con los ratones normales que fueron alimentados con la misma comida. De la misma forma, viajeros transatlánticos mostraron en sus entrañas más bacterias asociadas con enfermedades metabólicas que antes de sus viajes. Estos hallazgos podrían explicar por qué los trabajadores con turnos cambiantes o viajeros frecuentes tienen un mayor riesgo de obesidad y diabetes.

Más información en Thaiss C *et al.*, 2014, 'Transkingdom control of microbiota diurnal oscillations promotes metabolic homeostasis', *Cell*, en prensa. *http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2014.09.048*

Federico Coluccio Leskow
federico@cienciahoy.org.ar

Foto *www.freeimages.com*

Las semillas del cáncer



Imágenes Akira Kouchiyama, Wikimedia Commons

Entendemos por metástasis al proceso de esparcimiento de un cáncer desde un tumor primario hacia otra parte del cuerpo, donde se desarrollan tumores secundarios. Esos nuevos focos tumorales también se conocen como metástasis o tumores metastásicos. El 90% de las muertes por cáncer se deben a metástasis y no al tumor inicial. Para explicar cómo ocurre este proceso se propuso, en 1889, la teoría de las semillas y los suelos, según la cual algunas células particulares, que escapan del tumor y son capaces de sobrevivir en el torrente sanguíneo, actúan como semillas y encuentran suelo fértil en algún órgano propicio en el que establecerse. En concordancia con esta visión, durante las últimas décadas varios estudios sobre numerosos tipos de cáncer sugirieron que las metástasis se originan de células únicas, las que se establecen en ambientes celulares favorables.

Sin embargo, dos trabajos independientes publicados hace poco de modo simultáneo describen un escenario más complejo para las metástasis derivadas de cáncer de próstata. Sobre la base de estudios comparativos de material genético de numerosas metástasis y tumores primarios, ambas investigaciones demostraron que usualmente las metástasis se originan en varias células distintas. De esta manera la semilla que da lugar a un tumor secundario estaría formada por más de un linaje celular o, lo que es lo mismo, la metástasis tendría un origen multiclonal.

Estos avances permiten generar nuevos marcos de referencia para el estudio de los tumores y sus metástasis. Queda por resolver si este modelo de semillas multiclonales es general en el proceso metastásico o es exclusivo del cáncer de próstata.

Más información en Michael M Shen, 2015, *Nature*, 520: 298–299.

Federico Coluccio Leskow
federico@cienciahoy.org.ar

Paula N González
Jimena Barbeito-Andrés
Valeria Bernal
Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP

La evolución de los humanos modernos

Una mirada desde el desarrollo

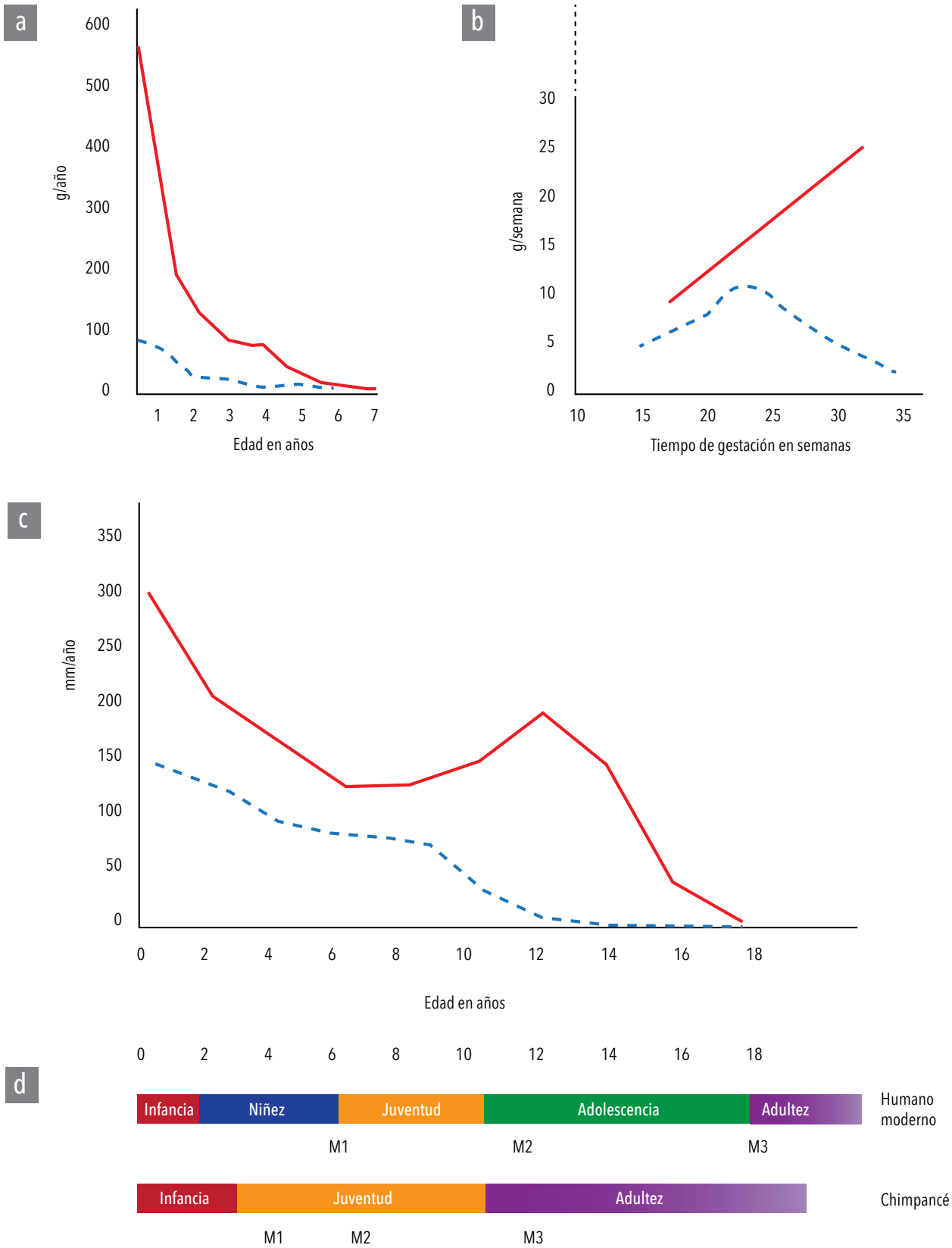
Los animales multicelulares –incluso los humanos– atraviesan numerosos cambios desde su origen como una única célula llamada cigoto, producto de la fecundación de un óvulo, hasta la conformación de un organismo adulto. Esos cambios abarcan la formación de los órganos y sus funciones, el crecimiento o incremento de la masa corporal y de órganos específicos, y modificaciones de la conducta. La serie de procesos por los cuales sucede lo anterior constituye el *desarrollo* de ese organismo.

La manera en que los humanos modernos, es decir los integrantes actuales de la especie *Homo sapiens*, crecen y se desarrollan presenta importantes diferencias con el resto de los primates vivientes. Comparado con el chimpancé (*Pan troglodytes*), su pariente actual más cercano, *Homo sapiens* tiene mayor tamaño cerebral al nacimiento, destete más temprano, maduración sexual más tardía, retraso en la erupción de los molares y prolongación de la vida posreproductiva. Además, mientras los humanos modernos alcanzan el 90% del tamaño cerebral adulto a los seis años, los chimpancés lo hacen hacia los tres años. La prolongación del período de crecimiento en los humanos resultaría de la demora del empuje puberal, un momento en que los individuos crecen rápidamente, es decir, aumentan de peso y estatura, y también alcanzan la madurez sexual.

El estudio de estos temas es el campo de la biología evolutiva del desarrollo (conocida como *evo-devo*), un área que estudia las modificaciones de los procesos de desarrollo que conducen al cambio evolutivo. Combina enfoques de la biología evolutiva, la genética del desa-

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué enseña la comparación de los patrones de desarrollo de los integrantes de la especie *Homo sapiens* con los de especies emparentadas actuales y extintas?



a. Velocidad de crecimiento posnatal del cerebro en humanos (línea entera) y chimpancés (línea punteada), en gramos por año.
b. Velocidad de crecimiento prenatal del cerebro en humanos (línea entera) y chimpancés (línea punteada), en gramos por semana.
c. Velocidad de crecimiento del esqueleto en humanos (línea entera) y chimpancés (línea punteada), en milímetros por año.
d. Denticiones. M: momento de erupción de los molares. Infancia: desde el nacimiento hasta el destete. Niñez: período de dependencia de adultos para alimentación y cuidado, de erupción del primer molar (M1) y de finalización del crecimiento cerebral. Juventud: período prepuberal en que las crías no dependen de la madre para alimentarse, que termina en la maduración sexual. Adolescencia: período de aceleración del crecimiento, terminación de la erupción dentaria, desarrollo de los caracteres sexuales secundarios y comienzo de la inserción en la vida social adulta.

rrollo, la paleontología y la anatomía comparada, incluyendo, entre otros, el análisis del desarrollo y la morfología de especies actuales y fósiles, el estudio de genes reguladores del desarrollo y mecanismos que producen variaciones entre organismos. Aplicado a los humanos, procura determinar cómo a lo largo de su historia evolutiva fue cambiando la manera en que los individuos crecen y se desarrollan.

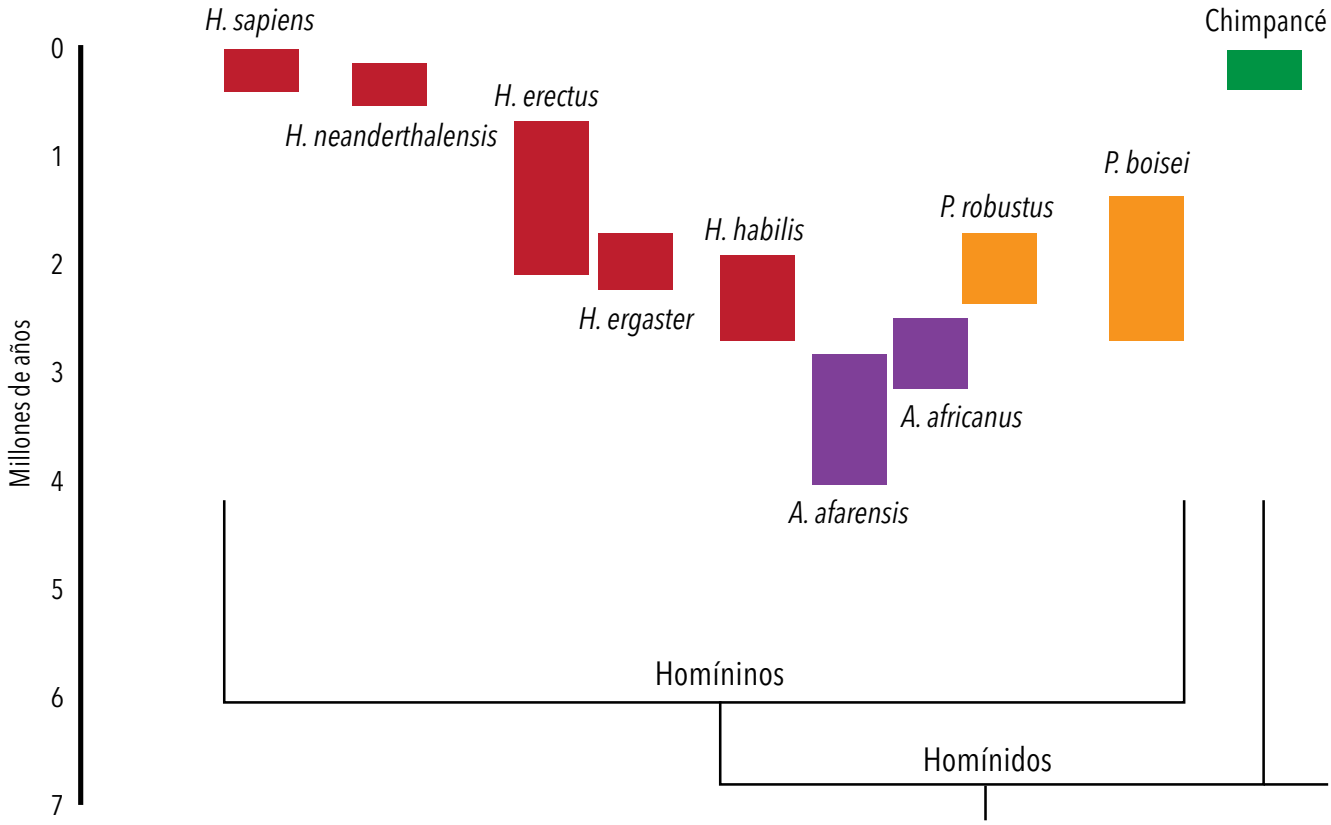
Los homíninos fósiles

De acuerdo con los datos más recientes obtenidos mediante el análisis de fósiles, hace unos 7,5 millones de años se diferenció en África un grupo de primates que hoy llamamos *homíninos*, caracterizados por la postura erguida y la locomoción bípeda. Los homíninos incluyen a los humanos actuales y los linajes extintos de su línea evolutiva. Los homíninos más los grandes simios (gorilas, chimpancés y orangutanes) forman el grupo de los *homínidos*. Las investigaciones sobre el desarrollo de las especies fósiles han sido por lo general relegadas en los estudios paleoantropológicos. Esto es atribuible, por un lado, al mayor interés por estudiar rasgos anatómicos de adultos que pudieran ser usados para clasificar especies extintas y, por otro, a que los restos de individuos infantiles y juveniles son muy escasos en el registro fósil.

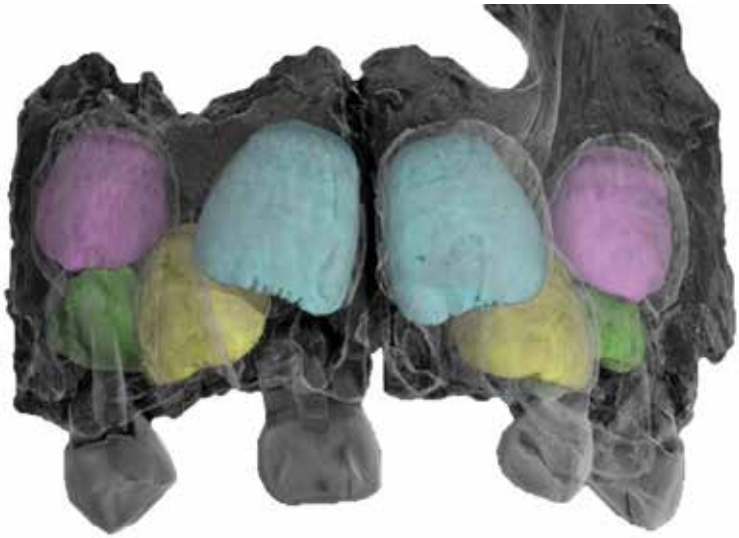
En los últimos años se incrementó el interés por el crecimiento y el desarrollo de los homíninos extintos, procesos que no son directamente observables sino que deben inferirse a partir de elementos que perduran, por ejemplo, los dientes y las improntas dejadas por el cerebro en la parte interna del cráneo. Esto se debe a que el desarrollo dental y el cerebral se asocian con la forma particular en que los individuos crecen, se reproducen y mantienen la descendencia.

De *Australopitecus* a los humanos modernos

El análisis de los tejidos dentales duros –el esmalte y la dentina– constituye la forma más precisa de establecer la edad de los individuos de linajes extintos. La formación de esos tejidos es un proceso regular pero discontinuo, que queda registrado en la superficie y el interior del diente como marcas microscópicas conocidas en el esmalte como estrías transversales y estrías de Retzius. Las primeras representan el ritmo de secreción diario de



Esquema de la ubicación temporal de algunos linajes de homínidos actuales y fósiles. Las iniciales indican los géneros *Homo*, *Australopitecus* y *Paranthropus*.



Tomografía computada del maxilar fosilizado de un *Homo neanderthalensis* infantil encontrado en Bélgica. En color se indican los dientes permanentes que no habían emergido del maxilar en el momento de la muerte. La pieza mide 4,3cm en sentido horizontal. Imagen tomada de Smith et al., 2010, PNAS 49: 20923-20928.

esmalte, mientras las segundas indican la detención de la secreción que tiene lugar en períodos de 6-11 días. Dada la regularidad de su crecimiento, es posible contar dichas líneas y calcular el tiempo que tardaron en formarse las coronas dentales, de forma análoga a los anillos de crecimiento de los árboles. Esos datos son usados para comparar la velocidad y duración del crecimiento de las especies fósiles con las actuales.

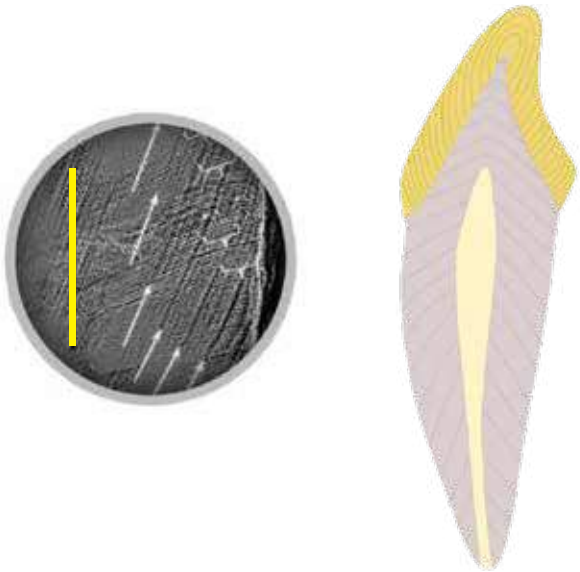
En los últimos tiempos, la utilización del sincrotrón de rayos X abrió un campo alternativo de análisis, pues permite obtener imágenes con la misma información sin cortar el fósil, lo que resulta muy prometedor para la paleoantropología, dada la escasez y el carácter único de las piezas. La aplicación de estos métodos al análisis del esmalte dental de fósiles de *Australopitecus afarensis* y *Australopitecus africanus* permitió estimar que sus coronas dentales habrían tardado entre 2 a 3 años en formarse, esto es, más rápido que en humanos modernos y semejante a lo observado en chimpancés. Las estimaciones de la edad de erupción del primer molar en varios fósiles –incluyendo el del niño de Taung, uno de los cráneos infantiles mejor preservados de *Australopitecus afarensis*, encontrado en Sudáfrica en 1924– indica un rango de entre los 3,2 y 4 años, es decir, considerablemente menor que en los humanos actuales. La única estimación disponible para el segundo molar indica que habría erupcionado entre los 6 y 8,7 años, mientras en los humanos modernos eso ocurre alrededor de los 12 años. En otras palabras, los australopitecos tuvieron erupciones dentales más similares a los simios africanos, especialmente al chimpancé, que a los humanos modernos.

La mayor parte del conocimiento sobre el desarrollo dental de los integrantes tempranos del género *Homo*, datados entre 2 y 1 millón de años atrás, proviene del estudio de un fósil africano clasificado como *Homo erectus* conocido como niño de Nariokotome o niño de Turkana, hallado en 1984 en Kenia, cuya edad se estimó entre 7,6 y 8,8 años. La erupción del primer molar permanente se habría producido a los 4,5 años, una edad inferior a la observada en humanos modernos. Las características de estos últimos, pues, no estaban presentes hace 1 millón de años.

El desarrollo dental de los linajes más tardíos del género *Homo*, en particular de neandertal (*Homo neanderthalensis*), ha sido objeto de intenso debate, con investigadores que plantean un patrón similar a humanos modernos y otros que indican un desarrollo más acelerado. En 2010 se dieron a conocer los resultados de un amplio estudio, realizado con técnicas no destructivas, que permitió establecer que neandertales y humanos se asemejan en cuanto a los tiempos del desarrollo dental. Es decir, la extensión del crecimiento habría estado presente en el último ancestro común de *Homo neanderthalensis* y *Homo sapiens*.

El crecimiento del cerebro

Uno de los aspectos de la evolución humana más intensamente estudiado es el proceso de expansión del tamaño del cerebro o *encefalización* registrado en los últi-



Izquierda: líneas de crecimiento del esmalte observadas mediante un sincrotrón de rayos X. La línea amarilla indica la escala: mide 200 micrómetros. Imagen tomada de *http://www.esrf.eu/news/general-old/general-2007/homo/*. Derecha: líneas de crecimiento del esmalte (ocre) y la dentina (gris) en un canino de *Homo neanderthalensis* infantil. La pieza mide 1,5cm en sentido vertical.

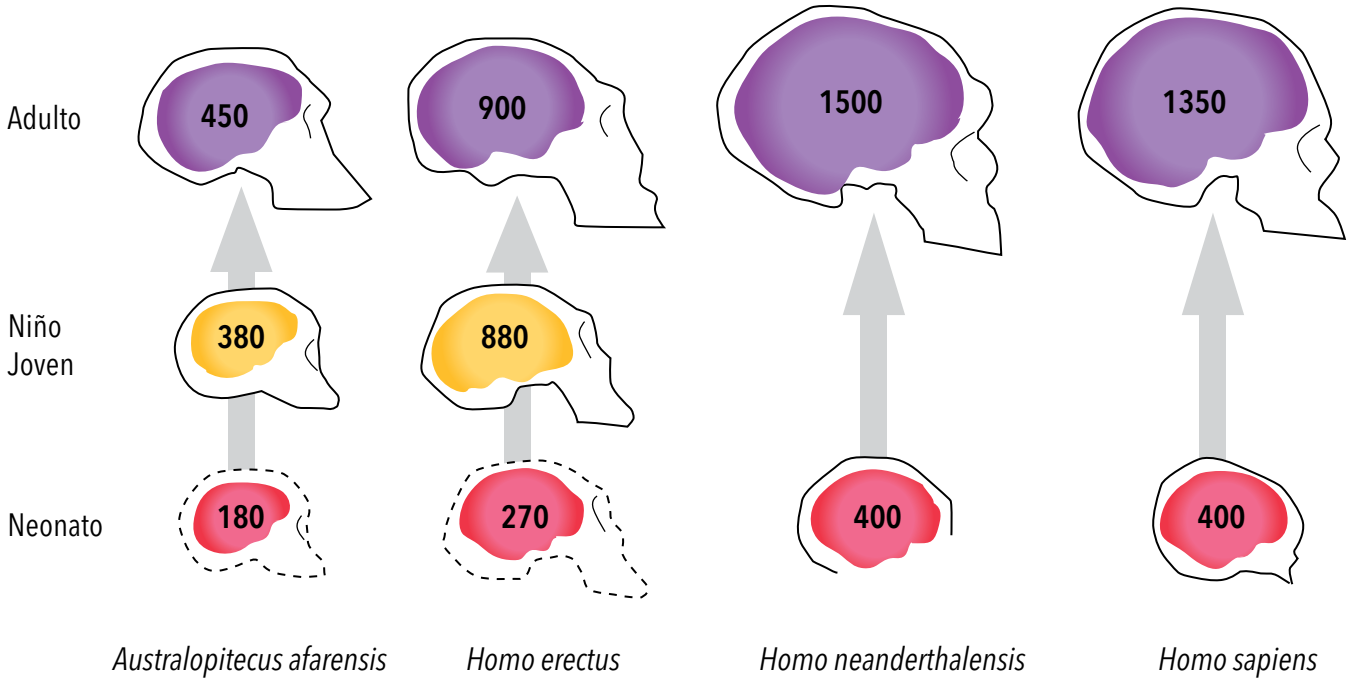
mos 2 millones de años. Esto se debe a las implicancias cognitivas del desarrollo cerebral, que habría facilitado la adquisición del lenguaje y la cultura. El cerebro es uno de los órganos que requieren más energía (240kcal por kg cada día), por lo que su incremento se habría producido a expensas de otras funciones u órganos y habría provocado modificaciones en el patrón de desarrollo del organismo. Por ello, el estudio de la variación de forma y tamaño del cerebro desde el nacimiento a la adultez en los homíninos fósiles brinda información comparativa relevante sobre las modificaciones de ese desarrollo. De manera complementaria, se ha analizado la influencia de ciertos genes en algunos cambios del cerebro ocurridos a lo largo de nuestra historia evolutiva.

Se ha mostrado que la capacidad craneana (o capacidad *endocraneal*) de los adultos se cuadruplicó en los 4 millones de años transcurridos desde la aparición de los primeros homíninos hasta la de *Homo sapiens*. Los humanos modernos alcanzan su mayor volumen cerebral como consecuencia de que la alta tasa de crecimiento prenatal se mantiene después del nacimiento, mientras que en otras especies de homínidos actuales, como el chimpancé, el crecimiento se reduce bruscamente luego de nacer. Uno de los grandes desafíos de la paleoneurología es determinar si los homíninos extintos tuvieron un crecimiento cerebral similar a los chimpancés o a los humanos modernos.

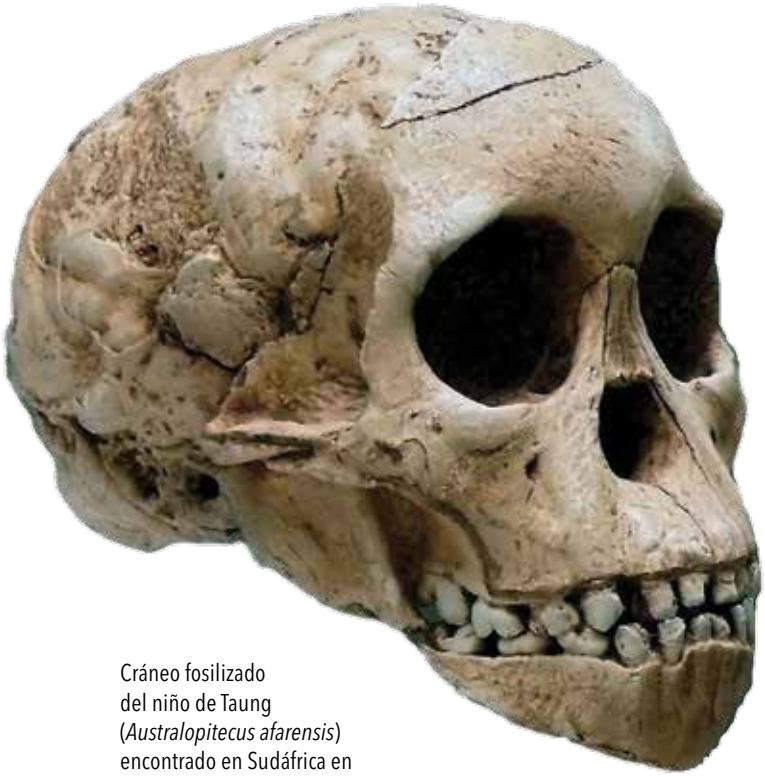
Una vía alternativa para conocer el patrón de crecimiento del cerebro de homíninos fósiles es realizar inferencias a partir de los primates actuales. De esta manera se estableció que los australopitecos tendrían al nacimiento una capacidad craneana promedio de 180cm^3, ligeramente mayor que la de los chimpancés, y que se habría incrementado en los homíninos tempranos y alcanzado un tamaño neonatal de 270cm^3 en *Homo erectus*, y alrededor de 400cm^3 en *Homo neanderthalensis*.

Mediante técnicas modernas de análisis de imágenes fue posible la reconstrucción virtual del interior del cráneo de un *Homo erectus* de un año de edad que habría vivido hace 1,8 millones de años, denominado niño de Mojokerto, cuyo fósil se halló en Indonesia en 1936. Su volumen cerebral había alcanzado cerca del 80% del tamaño adulto, indicación de que el crecimiento del cerebro finalizaba pronto, como en los grandes simios actuales. En consecuencia, el patrón de crecimiento característico de los humanos modernos sería una adquisición posterior a la aparición de *Homo erectus*.

El debate actual acerca de los neandertales abarca dos puntos de vista: por un lado, la idea que el crecimiento extendido y lento es exclusivo de *Homo sapiens* y, por otro, la posibilidad de que ese proceso hubiera comenzado con los ancestros más recientes de ambos linajes. La reconstrucción tridimensional de cráneos de dos fósiles neonatos de *Homo neanderthalensis*, realizada a partir de to-



La expansión del cerebro o encefalización en la evolución humana. El primer cambio importante se produjo hace 2 millones de años entre los representantes del género *Australopitecus* y los tempranos del género *Homo*. Luego entre *Homo erectus* y *Homo sapiens* alrededor de 400.000 años atrás. La línea punteada indica que, ante la ausencia de fósiles neonatos, la capacidad craneana se estimó a partir del tamaño cerebral de los adultos. Las cifras indican capacidad craneana en cm^3.



Cráneo fosilizado del niño de Taung (*Australopitecus afarensis*) encontrado en Sudáfrica en 1924. Se estima que data de unos 2,5 millones de años atrás y que perteneció a un niño de unos cuatro años de edad al morir, con una capacidad craneana cercana a los 400cm^3, 10kg de peso y 1m de altura. Foto Wikimedia Commons

mografías computadas, mostró que su volumen endocraneal era similar al de humanos modernos. Ello sugiere que el gran tamaño del cerebro al nacimiento y las altas tasas de crecimiento posnatal habrían estado presentes en el ancestro común de neandertales y humanos, hace por lo menos 500.000 años.

A pesar de esas similitudes, neandertales y humanos modernos se diferencian en varias características morfológicas, como nuestro cráneo redondeado y cara más retraída. Algunas de esas diferencias se originarían durante el primer año de vida, cuando el cerebro de los humanos adquiere forma globular, cosa que no sucede en los neandertales. Hasta el presente, el grado de asociación de la morfología del cerebro con las capacidades cognitivas resulta difícil de establecer porque no existe una relación directa entre la forma y el tamaño del cerebro y su funcionalidad. Sin embargo, se puede establecer que las diferencias en el crecimiento cerebral de neandertales con relación a humanos modernos aparecerían en una etapa crucial del desarrollo de los circuitos neuronales, necesarios para las funciones comunicativas, sociales y emocionales. Esto podría vincularse con el comportamiento y las funciones cognitivas de ambos linajes.

Explicaciones del crecimiento cerebral prolongado de los humanos

La extensión del período de crecimiento cerebral de los humanos ha sido explicada de diversas formas. Se ha planteado que no sería simplemente resultado de la extensión de las etapas de la vida de los primates –infancia, juventud y adultez– sino de la introducción de dos nuevas fases –niñez y adolescencia–. Los humanos tienen un período de lactancia más breve que los chimpancés, por lo que una larga fase posterior al destete conduciría a reducir el intervalo entre nacimientos.

APORTES DE LA GENÓMICA AL ESTUDIO DE LA ENCEFALIZACIÓN

Los cambios de tamaño del cerebro durante la evolución del linaje humano se asocian con modificaciones en la velocidad y en la edad de detención del crecimiento neuronal. Los adelantos recientes en el conocimiento de la estructura y función del genoma humano han permitido avanzar en el estudio del proceso de encefalización. La secuenciación de los genomas es un proceso complejo que comienza con la extracción del material genético contenido en los núcleos de las células. Luego, distintas técnicas de laboratorio permiten decodificar el orden en que se encuentran las unidades básicas del ADN llamadas *nucleótidos*, hasta reconstruir la secuencia de estas unidades que caracteriza a cada individuo.

Se ha encontrado que en los primates los genes MCPH1 (o microcefalin) y ASPM están asociados con el tamaño cerebral, y presentan una tasa de evolución rápida desde la separación del linaje del chimpancé del de los humanos. Recientemente, se descubrió que en los últimos hay un número mayor de variantes o alelos que en los chimpancés de un gen denominado SRGAP2, vinculado con rasgos importantes del cerebro. La primera mutación de ese gen se produjo hace unos 3,5 millones de años, y la segunda, hace 2,5 millones, en coincidencia con la aparición de *Homo habilis* y *Homo erectus*. A partir de la secuenciación del genoma del neandertal se identificaron genes que explicarían algunas características estructurales y funcionales de su cerebro. Por ejemplo, las variantes del gen FOXP2 que los homíninos comparten con los humanos modernos están funcionalmente ligadas al lenguaje y a la organización de las conexiones cerebrales. Actualmente, se llevan a cabo más estudios para precisar la función de esos y otros genes relacionados con el desarrollo cerebral.

GLOSARIO

Crecimiento. Proceso de incremento de la masa, tanto corporal como de órganos específicos, que se produce por el aumento del número de células o del tamaño celular, y tiene una velocidad y una duración particulares en cada especie.

Desarrollo. Serie de procesos por los cuales un óvulo fecundado o cigoto, que es una única célula, se convierte en un organismo adulto.

Encefalización. Proceso de expansión del tamaño del cerebro.

Evolución. Cambio de los rasgos que los seres vivientes heredan de sus progenitores y, a su vez, transmiten a su descendencia. Ese cambio está determinado por dos fenómenos complejos: (i) las mutaciones genéticas que se producen al azar en los organismos de reproducción sexual, y (ii) la selección natural. Dos consecuencias importantes de la evolución son la creación de diversidad entre los individuos de una especie y la aparición de nuevas especies.

Homínidos. Grupo de primates que incluye a los grandes monos (gorilas, chimpancés y orangutanes) y a los humanos actuales y fósiles.

Homíninos. Grupo que abarca a todos los primates bípedos y conforma una línea evolutiva que se separó de la del chimpancé hace unos 7,5 millones de años. Incluye nuestra especie (*Homo sapiens*), las especies extintas del género *Homo* (entre ellas *H. erectus* y *H. neanderthalensis*) y las pertenecientes a otros géneros que también se han extinguido (entre ellos *Australopithecus* y *Paranthropus*).

Paleoneurología. Estudio de la anatomía de la cavidad craneana (o endocráneo) de especies fósiles para obtener información sobre el tamaño y forma del cerebro.

Paleoantropología. Rama de la antropología que estudia la evolución temprana de los humanos y la de los homínidos extintos.

Otros estudios se centran en que la prolongación del período de crecimiento cerebral permitiría adquirir mayor cantidad de información, la que sería beneficiosa durante la etapa adulta. La reducción de la velocidad de crecimiento corporal en las etapas tempranas permitiría destinar más energía al cerebro. Asimismo, el lento crecimiento corporal reduciría la competencia entre individuos de la misma población ya que requieren menor cantidad de recursos que los de crecimiento más acelerado. Esta dinámica facilitaría que los individuos jóvenes se mantengan agrupados y reducir así el riesgo de ataque por predadores. Explicaciones como las anteriores representan hipótesis complementarias que son permanentemente puestas a prueba y revisadas, y cuyo principal aporte es guiar la búsqueda de nuevos datos.

El futuro de los estudios de biología evolutiva del desarrollo humano

Los estudios orientados a comprender el cambio evolutivo del linaje humano a la luz del desarrollo de los individuos enfrentan nuevas preguntas y desafíos. Los futuros hallazgos de fósiles de homíninos infantiles y juveniles, el empleo de técnicas de procesamiento digital de imágenes, la comprensión de la influencia de genes en el desarrollo de los organismos y el estudio comparativo del desarrollo en las distintas especies de primates contribuirán sustancialmente a ampliar el conocimiento sobre la evolución de nuestra especie. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BRUNER E, 2012, 'La evolución cerebral de los homínidos', *Investigación y Ciencia*, 425, febrero.

LEIGH SR, 2001, 'Evolution of human growth', *Evolutionary Anthropology*, 10: 223-236.

PEREZ SI, 2012, 'Origen y evolución de los humanos. La historia de la divergencia de los primates', *Ciencia Hoy*, 129: 22-30.

ZOLLIKOFER CPE & **PONCE DE LEÓN MS**, 2010, 'The evolution of hominin ontogenies', *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 21: 441-452.

Paula N González

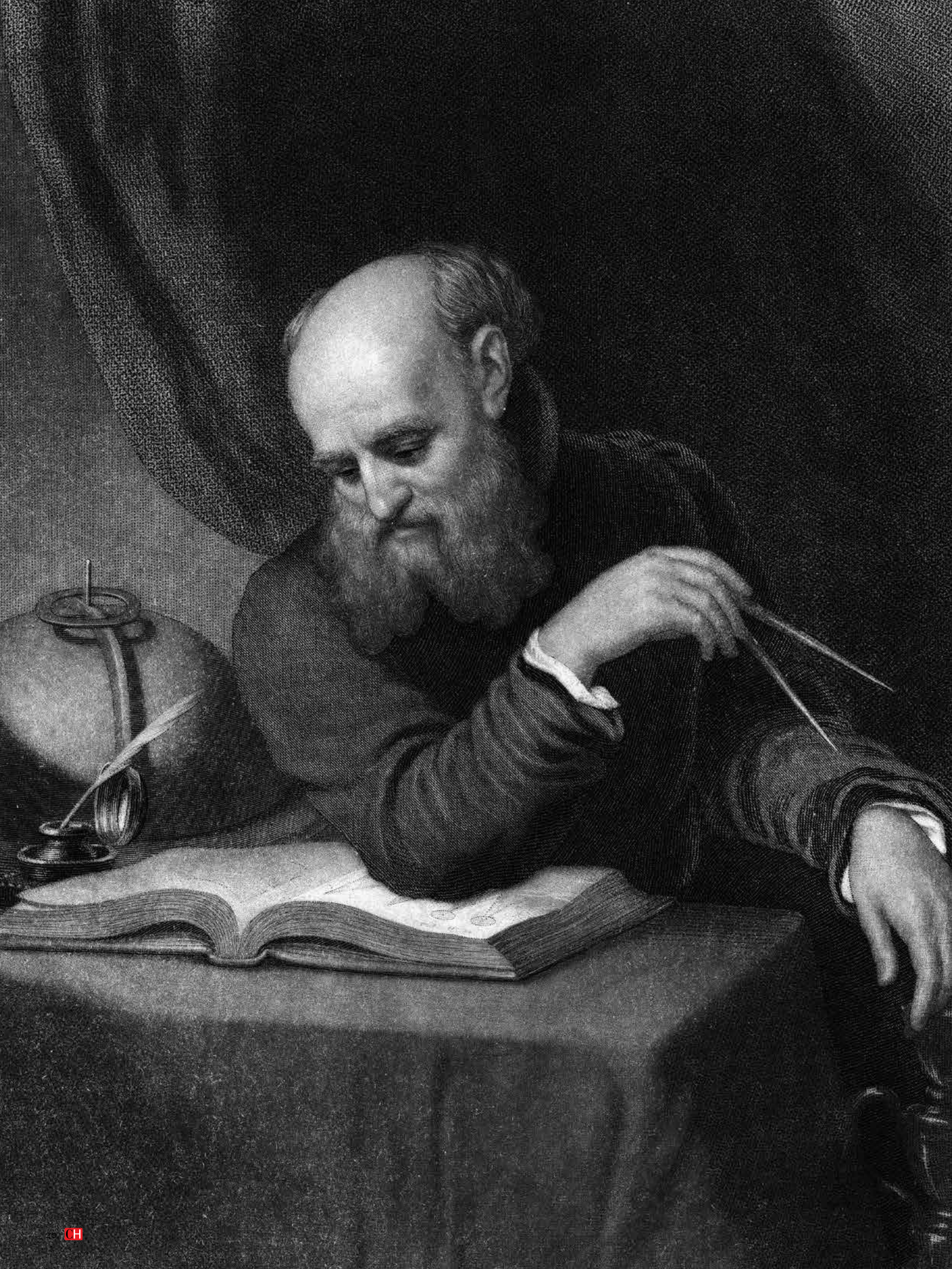
Doctora en ciencias naturales, FCNYM, UNLP.
Investigadora adjunta del Conicet.
pgonzalez@fcnym.unlp.edu.ar

Jimena Barbeito-Andrés

Doctora en ciencias naturales, FCNYM, UNLP.
Becaria posdoctoral del Conicet.
barbeito@fcnym.unlp.edu.ar

Valeria Bernal

Doctora en ciencias naturales, FCNYM, UNLP.
Investigadora adjunta del Conicet.
bernalv@fcnym.unlp.edu.ar



Alejandro Cassini

Instituto de Filosofía Alejandro Korn, FFYL, UBA

Un experimento crucial de Galileo sobre la velocidad de la luz

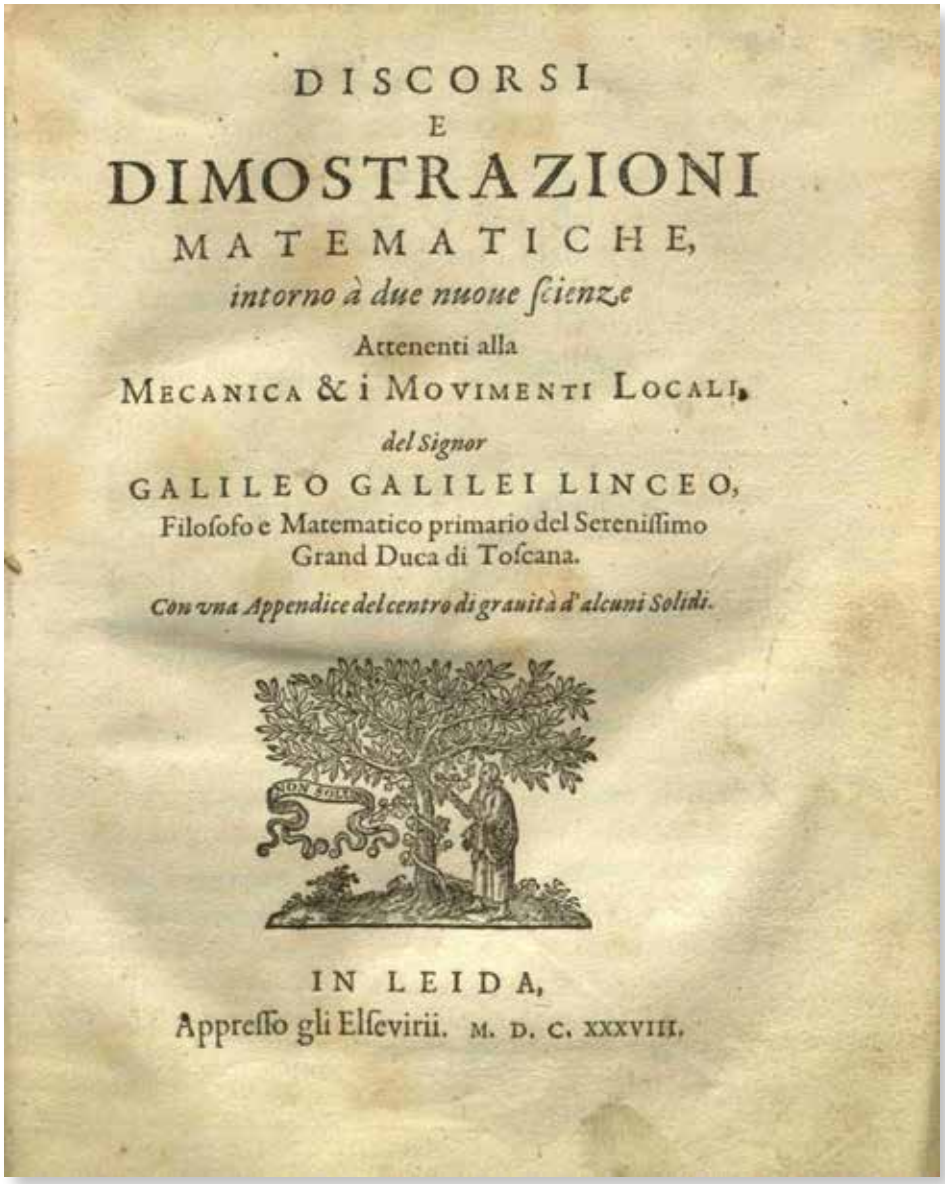
El misterio de la velocidad de la luz

Desde la antigüedad hasta nuestros días, la luz ha fascinado por igual a los filosófos y a los científicos. Durante milenios, todos los fenómenos relacionados con la luz fueron más bien objeto de especulación que de investigación experimental. De todos modos, sin esa especulación previa, no podrían haberse elaborado las hipótesis y teorías que alguna vez pudieron contrastarse por medio de la experiencia.

La pregunta por la velocidad de la luz es probablemente antigua pero, por falta de testimonios escritos, no es posible determinar quién la planteó por primera vez. La experiencia más elemental es la de encender y apagar lámparas (generalmente de aceite) en medio de la oscuridad. Cuando una lámpara se enciende, todos los objetos que observamos se iluminan de manera simultánea, independientemente de que estén más lejos o más cerca de ella; igualmente, cuando una lámpara se apaga, la oscuridad se produce de manera inmediata. La experiencia cotidiana parece mostrar, entonces, que la luz se propaga de un modo instantáneo, esto es, con una velocidad infinita. Si se lo piensa un momento, sin embargo, se advierte que esta experiencia no es decisiva; podría ocurrir, en efecto, que la velocidad de la luz fuera finita, aunque muy alta, por lo que en distancias cortas, como el interior de una habitación, no podríamos percibir ninguna demora en su propagación. Para poner a prue-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un experimento crucial es uno que se propone decidir entre dos hipótesis o teorías rivales. Galileo, según afirma él mismo, fue el primero en concebir y realizar una experiencia para tratar de determinar si la luz se propaga de manera instantánea o sucesiva, es decir, con una velocidad infinita o finita. El experimento tuvo un resultado negativo, pero, además de señalar el camino para futuras experiencias, nos dejó importantes lecciones de carácter epistemológico.



DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue ſcienze
Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filoſofo e Matematico primario del Sereniſſimo
Grand Duca di Toſcana.
Con vna Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.

IN LEIDA,
Appreſſo gli Elſevirii. M. D. C. XXXVIII.

La portada de los *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos ciencias nuevas*, la última obra publicada por Galileo. No fue editada en Italia, donde Galileo se encontraba con dificultades para hacerlo a causa de su conflicto con las autoridades eclesiásticas, sino en la ciudad de Leyden, en Holanda, que ya era un conocido centro editorial de toda Europa. La editorial Elsevier, donde el libro se publicó en 1638, todavía existe en nuestros días y constituye una importante editora de obras eruditas y académicas.

ba esta hipótesis es necesario apelar a la observación en distancias más largas, lo cual siempre resulta más difícil.

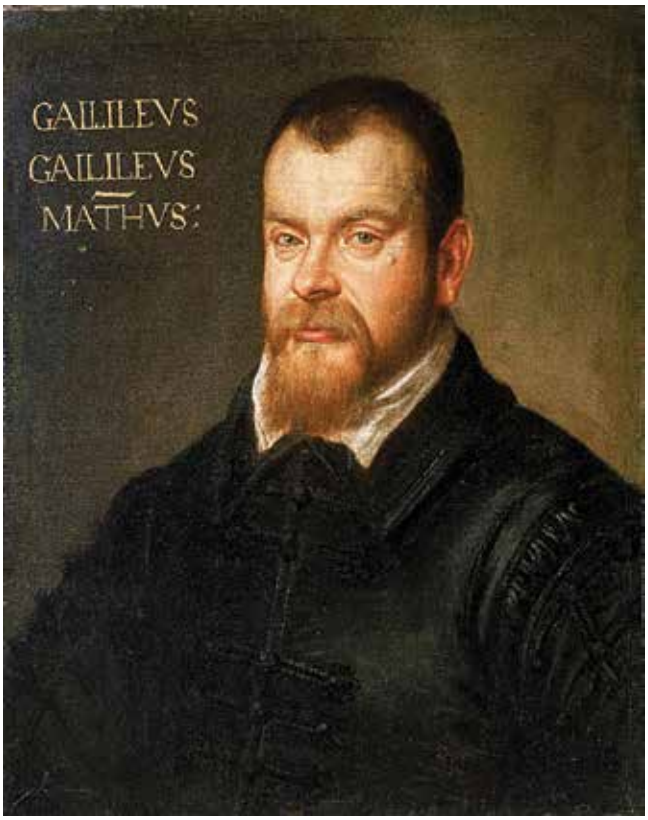
Los antiguos griegos conocieron los espejos (que en esa época no eran de vidrio, sino de metal) y, por supuesto, quedaron intrigados por el fenómeno de la reflexión de la luz. En algún momento, encontraron una regularidad en este fenómeno: el ángulo de incidencia de un rayo luminoso sobre un espejo es igual al ángulo de reflexión. Se trata de una ley empírica muy simple, pero evidentemente correcta. No sabemos quién la descubrió ni de qué manera lo hizo, pero muy pronto se integró al campo de lo que luego se llamó la óptica geométrica, que en la antigüedad era una rama más de las matemáticas (junto con la astronomía y la música). La reflexión de la luz en un espejo duplica la distancia recorrida por un rayo de luz, y, si se usan varios espejos, tal distancia puede multiplicarse muchas veces, por ejemplo, formando un polígono. Así, mediante un sencillo juego de espejos, sería posible realizar un experimento para comprobar si la luz tarda algún tiempo en recorrer una distancia conocida y relativamente grande. Aunque en la antigüedad no había relojes que pudieran medir tiempos cortos, habría sido suficiente emplear el pulso humano (de hecho, hasta el siglo XVIII el segundo se definió como un 'batido de arteria'), o bien percibir alguna demora entre el encendido de una lámpara que emite luz y la recepción de la luz reflejada en un espejo. De esta manera se podría haber determinado si la propagación de la luz era instantánea o no.

El experimento de Galileo

A comienzos del siglo XVII la cuestión acerca de la velocidad de propagación de la luz todavía estaba sin decidir, aunque los diferentes filósofos habían tomado partido sobre la base de argumentos puramente especulativos o de experiencias que no son concluyentes. Aquí no podemos reseñar esas cuestiones, que atraviesan toda la historia de la óptica desde los antiguos griegos. En ese momento, la mayoría se inclinaba a favor de la hipótesis de la 'propagación instantánea' de la luz, mientras que unos pocos sostenían la hipótesis de la 'propagación sucesiva', como se decía en el lenguaje de la época. Dos de los más importantes científicos de la primera mitad de ese siglo, Johannes Kepler y René Descartes, habían sostenido que la propagación de la luz era instantánea y que, por consiguiente, su velocidad era infinita. El prestigio de la física de Descartes, la más importante antes de Isaac Newton, había convencido a la mayor parte de los científicos de la Europa continental. Nadie había hecho, sin embargo, un experimento para comprobar si había alguna evidencia en contra de esta hipótesis.

Galileo era uno de los pocos que no estaba convencido de que la luz se propagara de manera instantánea. Antes había habido otros, como el filósofo del siglo XIII Roger Bacon, que habían presentado argumentos a favor

de la hipótesis de que la velocidad de la luz era finita. Por ejemplo, se argumentó que si la luz era un cuerpo, un agregado de partículas, no podría moverse con una velocidad infinita, ya que ningún cuerpo lo hace, como lo muestra la experiencia. Este argumento, en realidad, complicaba más las cosas, ya que nadie podía probar que la luz fuera un cuerpo, ni tampoco que los cuerpos no pudieran alcanzar una velocidad infinita. Galileo, mostrando el espíritu experimentalista que caracterizó, al menos en parte, a la revolución científica del siglo XVII, pensó que la cuestión no podía resolverse mediante argumentos sino por medio de la experiencia. En su última gran obra, los *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove science*, publicada en 1638, afirmó haber realizado un experimento que siempre se ha considerado el primer intento para medir la velocidad de la luz. Pretendió determinar, mediante lo que hoy llamamos un experimento controlado, si la luz tarda algún tiempo en propagarse a través de un distancia relativamente larga. Lo describió en los siguientes términos. Dos hombres provistos de una lámpara cada uno se colocan a una corta distancia e intercambian señales tapando y destapando las lámparas de manera sincronizada. Luego, se alejan a una distancia de dos o tres millas y, *volviendo de noche a hacer la misma experiencia van observando atentamente si sus respectivos encendidos y apagados siguen el mismo tenor que cuando estaban cercanos. Si lo siguen, se podrá concluir con bastante seguridad que la expansión de la luz es instantánea, ya que si esta necesitara tiempo en una lejanía de 3 millas, que suman 6 por la ida de una luz y la vuelta de la otra, la demora debería ser bien observable. Y cuando se quisiera hacer estas observaciones a una distancia mayor, de 8 o 10 millas, podríamos servirnos del telescopio…*



Un retrato inusual de Galileo Galilei (1564-1642), que lo muestra como un hombre joven. La mayoría de los retratos conservados corresponden a su vejez, época en la que había alcanzado fama y renombre en toda Europa. Galileo murió a los setenta y siete años y once meses, una edad muy avanzada en relación con la expectativa de vida de la época. Sus dos libros fundamentales son obras de madurez: los publicó en 1632 y 1638, es decir, a los sesenta y seis y setenta y dos años, respectivamente.

No sabemos cuándo tuvo lugar el experimento, ni tampoco si realmente fue realizado. Muchos historiadores de la ciencia, siguiendo las ideas de Alexandre Koyré, pensaron que todos los experimentos que Galileo relató en sus obras fueron experimentos mentales y no reales. Actualmente, esa tesis no tiene el apoyo de los especialistas, como Stillman Drake, ya que hay evidencia de que al menos algunos experimentos fueron reales, aunque no podemos datarlos con precisión ni estar seguros de si fueron tal como los describió. La evidencia no es abundante, pero se han encontrado manuscritos inéditos que contienen diagramas y listas de números que, claramente, representan el resultado de mediciones.

Galileo explicó así el resultado negativo de su experimento:

> *En verdad, no lo he experimentado excepto en distancias pequeñas, es decir, de menos de una milla, por lo cual no he podido asegurarme de si la aparición de la luz opuesta es instantánea; pero, si no es instantánea, al menos es velocísima, e incluso diría momentánea.*

Retrospectivamente, ahora que conocemos cuán alta es la velocidad de la luz (exactamente 299.972.458 metros por segundo), sabemos que no podría haber obtenido un resultado positivo, es decir, alguna demora entre las señales luminosas, incluso sobre distancias muy grandes. Para que hubiera una demora perceptible, digamos de una décima de segundo, se habría necesitado alejar las dos lámparas a una distancia de casi 15.000 kilómetros, algo que era imposible sobre la superficie de la Tierra, aunque se usaran telescopios, como los que el propio Galileo había inventado. Por otra parte, sin el empleo de algún reloj de precisión que permitiera medir centésimas o milésimas de segundo, la distancia no puede disminuirse de manera significativa, ya que la percepción humana tiene un umbral y no es capaz de detectar procesos físicos que ocurran en intervalos menores que una vigésima parte de segundo. Por consiguiente, un experimento como el que describió Galileo no tenía en la práctica posibilidades de éxito. A menos que se emplearan espejos… algo que a Galileo tampoco se le ocurrió hacer. De hecho, el uso combinado de un espejo, un telescopio y un mecanismo de precisión para medir tiempos muy pequeños le permitió a Armand Fizeau realizar la primera medición terrestre de la velocidad de la luz, pero ello ocurrió recién en 1849.

1638. Se atribuye a Galileo el primer intento de medir la velocidad de la luz. Él y un ayudante sostenían lámparas que tapaban y destapaban a voluntad. Ubicados a bastante distancia, uno de ellos destapaba su lámpara y, en cuanto el otro veía la luz, destapaba la suya. Dividiendo dos veces la distancia que los separaba por el tiempo transcurrido desde que el primero destapaba su lámpara hasta que recibía la luz del otro, se obtenía la velocidad de la luz. Galileo escribió del experimento: *Si no es instantánea, al menos es velocísima.* No es una sorpresa, dado que para arrancar y parar el reloj utilizamos alrededor de una décima de segundo, Galileo y su ayudante deberían haber estado separados unos 15.000km (más de un tercio del perímetro de la Tierra en el ecuador) para notar algún efecto.

1676. El astrónomo danés Ole Roemer observó que el eclipse de Io, una de las lunas de Júpiter, se retrasaba a medida que la Tierra se alejaba del planeta y se adelantaba al acercarse. Tomando como criterio que las velocidades orbitales de las lunas de Júpiter no podían depender de la distancia a la Tierra dedujo que el cambio en las velocidades se debía a la distancia mayor que la luz debía recorrer cuando la Tierra estaba más alejada. Concluyó que la luz tardaba 22 minutos en atravesar el diámetro de la órbita terrestre, pero no indicó ningún valor para la velocidad de la luz. En ese momento no se conocía con precisión esa distancia astronómica, pero podía inferirse que la velocidad era del orden de los 200.000km/s, con una incertidumbre de más del 10%. Empleando los datos actuales, se deduce una velocidad de 226.663km/s.

1690. El físico holandés Christian Huygens en su *Tratado de la luz* (publicado en 1690, pero escrito en 1678) dio por primera vez un valor numérico para la velocidad de la luz. Utilizando los datos de Roemer y las mejores estimaciones de su época sobre la longitud del diámetro de la órbita terrestre, calculó que la luz se movía a *once cien veces cien mil toesas* por segundo. Considerando que la toesa francesa valía entonces 1,946m, esto equivale a 212.046km/s.

1728. El físico inglés James Bradley, estudiando la paralaje de la estrella Gamma Draconis, observó un desplazamiento de la posición de la estrella con la época del año que no era consistente con la idea de paralaje (cambio de posición aparente en la esfera celeste debida al cambio de posición de la Tierra después de seis meses). Propuso, en cambio, que la observación respondía al cambio de posición y velocidad de la Tierra y al hecho de que la luz de la estrella tenía una velocidad finita. Denominó al efecto *aberración estelar* y resultó, aproximadamente, igual al cociente entre la velocidad de la Tierra en su órbita y la velocidad de la luz. Bradley conocía la velocidad de la Tierra alrededor del Sol y podía medir las aberraciones estelares. Concluyó que la luz tardaba 8 minutos y 12 segundos en atravesar el radio de la órbita terrestre pero, al igual que Roemer, no ofreció ningún valor numérico para la velocidad de la luz. El tiempo calculado por Bradley es extraordinariamente preciso y solo difiere en 7 segundos del valor actual. La velocidad de la luz que resulta utilizando los datos actuales para el radio terrestre es de 304.060km/s.

1849. El físico francés Armand Fizeau hizo con la luz lo que se hace para medir velocidades balísticas. La hizo pasar por una rueda dentada, viajar 8,63km, reflejarse en un espejo y volver a la rueda en el mismo lugar. Para una rueda con 100 indentaciones, por ejemplo, que gire a 100 revoluciones por segundo, un diente ocupa el lugar del anterior luego de 0,1m/s. Cuando la luz reflejada se bloquea al aumentar la velocidad de la rueda, algo que deduce a partir de la interferencia con la luz incidente, significa que la distancia recorrida ida y vuelta dividida por el tiempo que le lleva a un engranaje tapar a la reflejada corresponde a la velocidad de la luz. Fizeau, curiosamente, expresó el valor en unidades antiguas: *70.948 leguas de 25 por grado por segundo*, pero de sus datos se infiere un valor exacto de 313.274km/s, una velocidad que, según sus propias palabras, es *un poco diferente de la que es admitida por los astrónomos*.

1862. Otro físico francés, León Foucault, utilizó un método similar al de Fizeau. Hizo incidir un haz de luz sobre un espejo giratorio, y la envió a reflejarse en uno fijo a distancia para volver al giratorio. Como este ya ha girado un poco, la luz reflejada sale a un ángulo diferente del de incidencia. Midiendo este ángulo es posible determinar la velocidad de la luz. En dos artículos publicados en 1862 expresó por primera vez esta velocidad en unidades del sistema métrico decimal: *298 millones de metros por segundo*. A partir de esa fecha, todas las mediciones de la velocidad de la luz empezaron a converger hacia un valor promedio de 300.000km/s.

Actualidad. La *XV Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) de 1975 recomendó usar para la velocidad de la luz 299.792.458m/s. Es una recomendación porque, con nueve dígitos de precisión, se llega al límite de la definición del metro patrón y del segundo. En 1983 la *XVII Conférence* estableció por definición ese valor para la velocidad de la luz en el vacío y redefinió el metro como la distancia que la luz recorre en el vacío en 1/299.792.458 segundos. De esta manera, se puso fin al proceso de medición de la velocidad de la luz.

Un análisis epistemológico del experimento de Galileo

Aunque el experimento de Galileo tuvo un resultado negativo, es altamente significativo desde un punto de vista epistemológico. En efecto, conforma uno de los primeros experimentos cruciales de los que se tiene noticia en la historia de la ciencia. De hecho, es contemporáneo con la noción misma de experimento crucial, propuesta por Francis Bacon en su *Novum Organum* de 1620 (a pesar de que el propio Bacon no empleó este término, sino el de *instantia crucis*, que literalmente significa 'instancia de la cruz', interpretado también como 'cruce de caminos, encrucijada').

Un *experimento crucial* es un tipo particular de experiencia que se propone contrastar simultáneamente dos (o más) *hipótesis* o *teorías rivales*. Se llaman *rivales* las hipótesis que no pueden ser simultáneamente verdaderas, aunque en algunos casos puedan ser ambas falsas. Las hipótesis de la propagación instantánea y la de la propagación sucesiva de la luz son, evidentemente, hipótesis rivales. La primera implica que la velocidad de la luz es infinita, mientras que la segunda implica que la velocidad es finita. Es obvio que no pueden ser ambas verdaderas. Además, no pueden ser ambas falsas, por lo cual si una de ellas es verdadera, la otra necesariamente es falsa. Esta clase de enunciados se llaman *contradictorios*. También hay hipótesis rivales que pueden ser ambas falsas, por ejemplo, que la forma de la Tierra es esférica y que la forma de la Tierra es cúbica son hipótesis que no pueden ser ambas verdaderas, pero bien pueden ser ambas falsas ya que la Tierra podría tener cualquier otra forma. No se sigue, entonces, que si una de ellas es verdadera la otra es falsa. Se dice, entonces, que son enunciados *contrarios*.

En un experimento crucial el objetivo es encontrar un resultado tal que una de las dos hipótesis rivales resulte confirmada y la otra no. En el caso especial de que las dos hipótesis en cuestión sean contradictorias, si una de ellas resulta verificada, la otra quedará refutada, es decir, se habrá probado que una de ellas es verdadera y la otra es falsa. El experimento crucial consiste en poner a prueba dos predicciones diferentes, que se llaman *predicciones rivales*. Estas, usualmente, afirman que, dadas ciertas condiciones iniciales (como las de un experimento), se producirá un determinado evento observable, o bien no se producirá tal evento, o bien se producirá otro evento incompatible con este. Por ejemplo, en el experimento de Galileo, la hipótesis de la propagación sucesiva de la luz permite deducir la predicción de que en el intercambio de señales con las lámparas (que son las condiciones iniciales del experimento) se producirá una demora entre la emisión y la recepción de la luz (que es un evento observable). La hipótesis de la propagación instantánea, por su parte, predice que en esas mismas condiciones no se producirá ninguna demora entre la emisión y la recepción. La realización del experimento crucial consiste en producir las condiciones iniciales y comprobar qué ocurre, es decir, cuál es el evento que se observa (o no se observa).

Un dibujo que representa el experimento concebido por Galileo y, según sus propias palabras, efectivamente realizado. No tenemos absoluta certeza de que lo haya llevado a cabo, pero los especialistas lo consideran probable.

Un experimento crucial resulta exitoso cuando el resultado obtenido permite confirmar una de las hipótesis o teorías rivales y refutar la otra. En el experimento de Galileo, esta situación se habría producido si se hubiera observado alguna demora en el intercambio de señales luminosas. En tal caso, la hipótesis de la propagación sucesiva habría sido confirmada y la hipótesis de la propagación instantánea habría sido refutada. El resultado negativo que obtuvo Galileo, en cambio, no permite refutar ninguna de las dos hipótesis rivales, ya que resulta compatible con ambas. En efecto, a pesar de lo que parece haber pensado Galileo, el hecho de que no se observe una demora en las señales no implica que la velocidad sea infinita, sino solamente que es más alta que un determinado umbral calculable. En el experimento de Galileo, si la distancia fue de una milla (aproximadamente 1600 metros) y establecemos que el umbral de la percepción humana es de 1/20 segundos, el resultado negativo del experimento solo prueba que la velocidad de la luz es tal que recorre dos millas (el camino de ida y vuelta) en menos de la vigésima parte de un segundo. Esta sería una velocidad de al menos 64 kilómetros por segundo, muy alta a escala humana, pero muy baja comparada con la velocidad de la luz tal como la conocemos. Si se duplicara la distancia entre las lámparas, también se duplicaría la velocidad mínima de la luz que resulta compatible con el resultado negativo del experimento, y así sucesivamente. De esta manera, ningún resultado negativo en el experimento de Galileo podría confirmar la hipótesis de que la velocidad de la luz es infinita, ni tampoco refutar la hipótesis de que la velocidad de la luz es finita.

Otros experimentos posibles

Consideremos ahora otro experimento posible, que no es más que un refinamiento del de Galileo. Se coloca un espejo a una determinada distancia, relativamente

grande, por ejemplo, la cima de una montaña lejana. Desde la cima de otra montaña un científico envía un rayo láser (o una señal de radar) y lo hace rebotar en el espejo, al que observa con un telescopio, como había sugerido el propio Galileo. El rayo se refleja y vuelve al punto de emisión donde hay un detector dotado de un reloj muy preciso que puede medir intervalos de tiempo muy pequeños. Supongamos que la distancia entre las montañas sea de 100 kilómetros y el reloj sea capaz de medir un retardo de una milésima de segundo entre la emisión y la recepción de la luz. Si el resultado del experimento es negativo, esto es, si el reloj no mide ninguna demora, lo único que puede concluirse es que la velocidad de la luz es mayor que la que se requeriría para hacer el camino de ida y vuelta al espejo en un tiempo menor que una milésima de segundo (esto es, la luz recorre 200 kilómetros en 1/1000 segundos, por tanto, tiene una velocidad mínima de 200.000 kilómetros por segundo). De hecho, si se hiciera el experimento, habría una demora de 1/1500 segundos, por lo que el reloj no podría detectarla.

Hay dos manera de mejorar el experimento: aumentar la distancia al espejo o incrementar la precisión del reloj en el detector. Supongamos que el espejo se coloca sobre la superficie de la Luna (que está a una distancia media de 384.400 kilómetros de la Tierra) y se construye un nuevo reloj capaz de medir intervalos de tiempo de una diezmilésima de segundo. Todo esto es técnicamente posible en nuestros días. Si el experimento volviera a dar un resultado negativo, tampoco podría concluirse que la velocidad de la luz es infinita, sino solo que es mayor que 7.688.000.000 kilómetros por segundo, una velocidad muy alta, por cierto, pero no infinita.

Podríamos aumentar indefinidamente la distancia al espejo y mejorar indefinidamente la precisión del reloj, pero aun así nunca podríamos confirmar la hipótesis de que la velocidad de la luz es infinita. En cualquier experimento concebible, aunque no sea posible realizarlo en la práctica, la distancia al espejo será finita y la precisión del reloj también lo será. Por consiguiente, un resultado negativo no será capaz de decidir entre las dos hipótesis rivales que estamos considerando, ya que siempre será compatible con una velocidad finita para la luz. Habría dos maneras de confirmar la hipótesis de que la velocidad de la luz es infinita: una sería realizar el experimento sobre una distancia infinita, y la otra sería emplear un reloj de precisión infinita, esto es, que pudiera medir intervalos infinitamente pequeños. Ambas cosas son imposibles por principio, por lo que tal experimento no es realizable.

Consideremos ahora una versión más refinada del experimento (que me propuso Marcelo Leonardo Levinas cuando discutíamos este tema). En vez de reflejar la luz en un espejo, sería posible hacerla recorrer muchas veces un circuito cerrado. De esta manera, la distancia recorrida se incrementaría indefinidamente. El experimento podría hacerse, entonces, enviando un pulso de luz muy breve, como el flash de una cámara fotográfica, a través de una fibra óptica que, para pensar en grande, podemos imaginar que rodeara toda la Tierra (por lo que tendría una circunferencia de 40.076 kilómetros, en el ecuador). El pulso de luz daría vueltas indefinidamente alrededor de la Tierra, mientras que en el laboratorio podría medirse fácilmente si hay una demora en recibirlo luego de una, dos o cualquier número de vueltas. Pero esto tampoco permitiría confirmar que la velocidad de la luz es infinita. Para ello sería necesario observar el paso de la luz durante un tiempo infinito sin detectar ningún retardo.

La conclusión de todo este análisis es que la hipótesis de que la velocidad de la luz es infinita no es verificable, al menos de manera aislada, por medio de ninguna experiencia. Se sigue de ello que la hipótesis de que la velocidad de la luz es finita, por su parte, tampoco es refutable por ninguna experiencia, pues, dado que esta es la negación de la primera, su refutación implicaría la verificación de la velocidad infinita. Parece sorprendente, pero si, en efecto, la luz se propagara de manera instantánea, no podríamos saberlo por medio de ningún experimento del tipo de los que concibió Galileo. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CASSINI A, 2014, 'El experimento crucial de Galileo: un análisis epistemológico', *Análisis Filosófico*, 34: 119-145.

GALILEI G, 1638, *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove science*, Leiden, Elsevier. (Traducción española: *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*, Losada, Buenos Aires, 2003.)

DRAKE S, 1978, *Galileo at Work: His Scientific Biography*, Chicago, The University of Chicago Press. (Reimpreso: Dover, Nueva York, 2003.)

Alejandro Cassini

Doctor en filosofía, UBA.
Investigador independiente del Conicet.
Profesor adjunto, FFYL, UBA.
alepafrac@yahoo.com.ar

Guillermo Angel Velázquez
Gabriela Mesaros
Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-Conicet

Geografía y calidad de vida en la Argentina

Este artículo pretende acercar al lector a los resultados de las investigaciones del autor y su grupo de trabajo sobre la calidad de vida en la Argentina, realizadas sobre la base de los censos de población y de diversas otras fuentes, y a la vez echar luz sobre las posibilidades de un análisis de esa variable en la escala de los partidos o departamentos provinciales, encarado con el auxilio de sistemas de información geográfica. Los resultados para 2010 se sintetizan en el mapa, y el texto hace algunas comparaciones con los valores correspondientes a 1980, 1991 y 2001. A mapas similares para estos años se puede acceder siguiendo las referencias de las lecturas sugeridas al final.

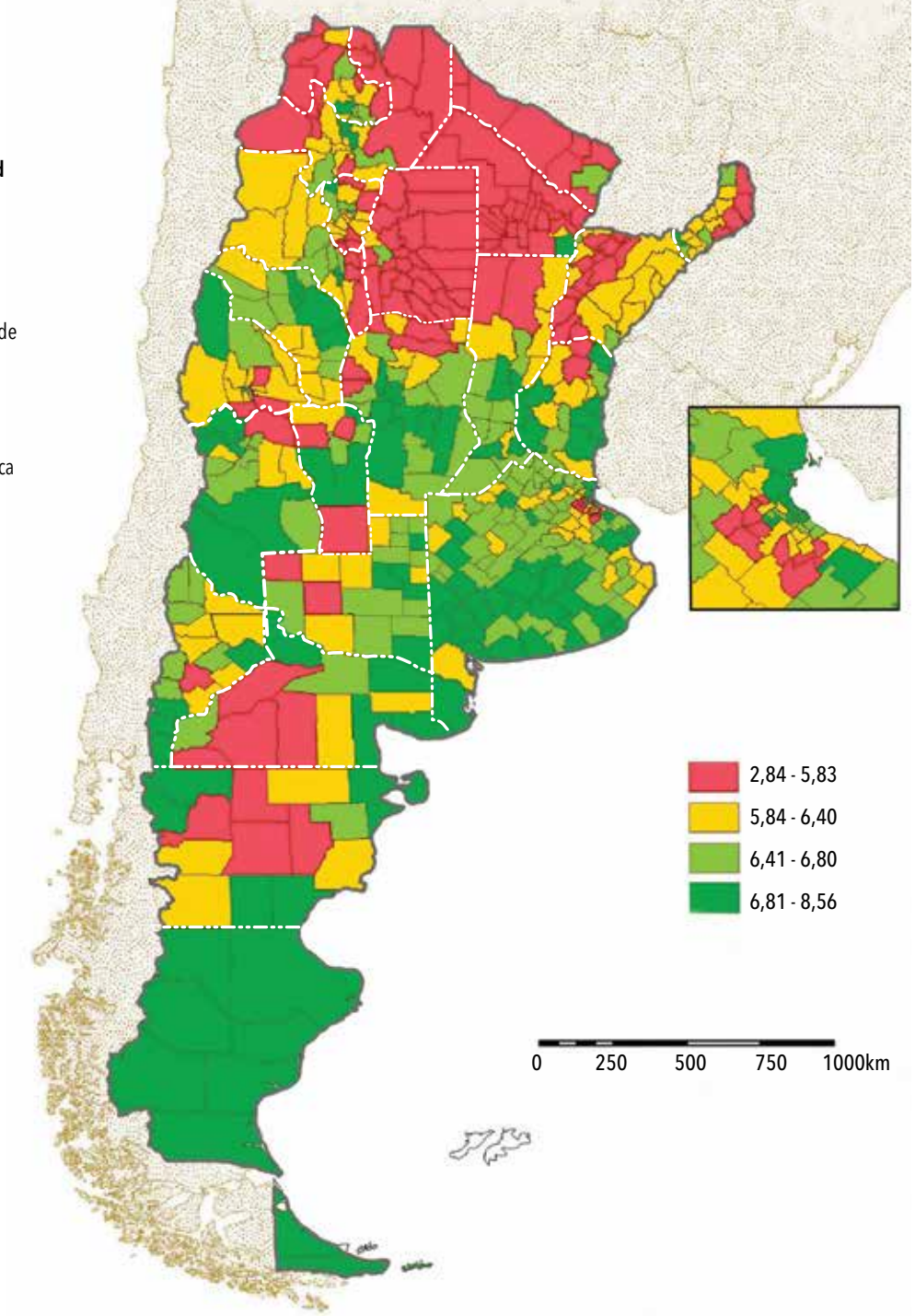
Desde hace más de veinte años estudiamos de esta forma la calidad de vida en el país. Comenzamos analizando las diferencias en la ciudad de Tandil, luego nos extendimos a la provincia de Buenos Aires, a la región pampeana y, por último, a todo el territorio argentino. En cada etapa fuimos ajustando los instrumentos de análisis y comprobando los resultados en los lugares estudiados. A medida que expandimos el área, para asegurar la cobertura del país nos fue necesario contar con la colaboración de integrantes de otros centros de estudios, la que obtuvimos, entre otros, de colegas de las universidades nacionales de Tucumán, del Nordeste, de Cuyo, de Luján y del Comahue.

El mapa sintetiza las diferencias de calidad de vida registradas en las 525 unidades administrativas en que se dividen las provincias argentinas (510 partidos o departamentos provinciales y 15 comunas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires). Dimos un valor numérico a esas diferencias atribuyendo puntajes a las características que las componen y consolidando los puntajes en un valor final, el que teóricamente puede variar entre 0 y 10. Si una unidad administrativa estuviera en la peor situación del país en todos los aspectos considerados, recibiría 0 pun-

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Se puede medir la calidad de vida de la población? ¿Qué diferencias existen a lo largo y ancho del territorio? ¿Qué indicadores son relevantes? ¿Cuáles son las causas de estas diferencias?

Síntesis de las diferencias de calidad de vida en el República Argentina
Los colores reflejan la situación de las 525 unidades administrativas en que se dividen las provincias (partidos, departamentos, etcétera). En rojo, el 25% de las unidades con peor calidad de vida; en ocre y verde claro, situaciones intermedias; en verde oscuro el 25% con mejor calidad de vida. Los valores numéricos que corresponden a cada grupo son índices cuyos alcances explica el texto de la nota.



tos; si estuviese en la mejor situación de las 525 unidades en todos esos aspectos, su puntaje sería 10. Como esos extremos no suceden en la realidad, los valores de las 525 unidades varían entre un mínimo de 2,84 (departamento Ramón Lista en Formosa) y un máximo de 8,56 puntos (comuna 2 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

En la región metropolitana de Buenos Aires, a poca distancia territorial aparecen situaciones muy contrastantes. En la misma Capital Federal en que está la citada comuna 2 (Recoleta) que encabeza la lista, la comuna 8 (Villas Lugano, Soldati y Riachuelo), con 6,66 puntos, está en el puesto 183, mientras que el partido de Presidente Perón, en el sur del gran Buenos Aires, que alcanza 5,22 puntos, está en el 473.

Para construir los índices hemos procurado reflejar las características socioeconómicas y ambientales valoradas por la sociedad como determinantes de su bienestar o calidad de vida. Elegimos las variables (¿qué medir?) de acuerdo con la importancia que la gente les concede, la que cambia con el momento histórico. Así, en materia de educación, en 1980 podría haberse considerado un logro haber completado la escuela primaria, y en 2001 haber terminado la educación secundaria, pero decididamente hoy lo importante es haber terminado la universidad. Por eso tomamos en estos momentos como la peor posición de la variable la primaria incompleta, y como la mejor, la titulación universitaria.

Elegir qué características constituyen los mejores indicadores de bienestar es una tarea que tiene mucho de discrecional, pero sobre la que existe una amplia experiencia internacional que hemos tomado en cuenta y procurado adaptar a las peculiaridades del medio local.

Otra cuestión importante es la escala de análisis. El objetivo es elegir unidades territoriales que no sean tan grandes que oculten realidades particulares interesantes, ni tan chicas que no permitan obtener conclusiones significativas. Nuestros estudios iniciales sobre calidad de vida en Tandil nos revelaron la existencia de barrios con valores equivalentes a los mejores de Europa y otros con puntajes comparables con los de los lugares más pauperizados de África: el valor para un partido de la provincia de Buenos Aires, que promedia todos sus barrios urbanos y distritos rurales, encubre esas diferencias que, justamente, resulta de interés revelar en la medida de lo posible. Lo mismo sucede si se agregan los valores de los partidos o departamentos que componen una provincia en un número que apunte a expresar la realidad provincial.

Son muchos los progresos realizados en las últimas décadas en materia de disponibilidad y análisis de la información, entre otras razones porque los censos son más detallados y rigurosos, y las computadoras pueden procesar y almacenar mayor cantidad de datos en menos tiempo (y a costos llamativamente reducidos). También se han registrado avances teóricos y metodológicos, en particular el diseño de los sistemas de información geográfica, conocidos por la sigla SIG.

Un SIG es un programa de computación diseñado para archivar, clasificar y analizar todo tipo de información espacial o geográfica. Permite, por ejemplo, atribuir una característica, como el hacinamiento habitacional, a un domicilio específico de una ciudad, al que también corresponden otras muchas características, pongamos por caso riesgo de inundación, nivel de escolaridad y empleo, entre tantas. Se pueden así construir mapas que no muestran promedios generales sino atributos específicos, y que ilustran de manera más comprensible que mediante tablas sobre la distribución en el espacio de toda clase de fenómenos.

Mediante el uso de los SIG hemos efectuado estudios detallados de ciudades como Azul, Mar del Plata, Necochea, Olavarría, Tandil, Corrientes-Resistencia, Mendoza y Tucumán, además de comparaciones con ciudades semejantes de Chile, Brasil y Venezuela. Esos estudios, en adición a su interés científico, tienen clara aplicación para la gestión del territorio, en cuestiones como la localización de centros de salud y espacios verdes, el transporte urbano, la zonificación residencial, la gestión de residuos, el diseño de redes de servicios, etcétera.

Las características que hemos elegido para definir la calidad de vida son las que se expresan en la tabla 1. Las negativas para la calidad de vida –y más negativas cuanto más crecen– son los problemas ambientales, la población con instrucción menor que primaria completa (porcentaje de la población mayor de 15 años que no asiste a la escuela y no completó la primaria), el hacinamiento residencial (porcentaje de la población que vive en hogares con más de dos personas por cuarto), el porcentaje de la población sin obra social o similar, la falta de retrete (porcentaje de población que reside en viviendas sin inodoro de uso exclusivo o sin descarga de agua) y la mortalidad infantil (niños fallecidos antes del año por cada mil nacidos vivos).

Los valores porcentuales se convierten en los índices que presenta el mapa asignando, para cada característica, 10 a la unidad administrativa con el porcentaje más bajo y cero a aquella con el más alto, y luego distribuyendo todas las restantes proporcionalmente entre ambos extremos. Así, por ejemplo, al partido, departamento o comuna con menor mortalidad infantil le corresponde 10, y al que tenga mayor mortalidad infantil, 0. Concretamente, en 2010 (en realidad, el promedio del trienio 2009-2011, para evitar deformaciones por casos excepcionales) el departamento de Chical Co, en La Pampa, registró el porcentaje más alto, con 40‰, y el de Río Chico, en Santa

Tabla 1

Dimensión socioeconómica		
Educación • Menor que primaria completa • Universitaria completa	**Salud** • Mortalidad infantil • Afiliación a obra social o similar	**Vivienda** • Población sin retrete • Hacinamiento residencial
Dimensión ambiental		
Problemas ambientales	**Recursos recreativos**	
• Contaminación por agricultura, industria o minería • Ruido y congestionamiento • Localizaciones peligrosas • Delincuencia • Villas miseria • Basurales a cielo abierto • Sismicidad y vulcanismo • Tornados • Inundaciones • Exceso de calor, frío, humedad o sequía	De base natural • Playas marinas • Balnearios en ríos, lagos o embalses • Centros termales • Centros recreativos invernales • Relieve • Espejos y cursos de agua • Parques y espacios verdes	Socialmente construidos • Estética urbana • Centros culturales • Centros comerciales y de esparcimiento • Centros deportivos

Cruz, el más bajo, con 5‰. Si al primero le correspondió un índice 0 y al segundo un índice 10, al partido bonaerense de San Fernando, con una tasa de mortalidad infantil de 15,43‰ le recayó el índice 7,02.

Por su lado, las características positivas –y más positivas cuanto más crecen– son el porcentaje de la población con instrucción universitaria completa y los recursos recreativos, tanto de base natural como socialmente construidos. En este caso a la unidad administrativa con mayor proporción de universitarios titulados en su población, lo mismo que a aquella con más recursos recreativos, les corresponde el índice 10 y a las que tengan respectivamente los valores más bajos de esas características, 0.

Las características que integran la dimensión socioeconómica de la calidad de vida, consignadas en la tabla, vienen cuantificadas en las estadísticas, según lo indicamos en un párrafo anterior. Eso permite calcular los índices con los que construir el mapa por el procedimiento explicado. En cambio, las que integran la dimensión ambiental no siempre se pueden expresar con un sencillo valor numérico y en muchos casos solo son susceptibles de apreciación subjetiva. Por ello los procedimientos para llegar a un índice son más complejos y escapan a la posibilidad de detallarlos en esta nota, pero el lector interesado los podrá encontrar en las referencias dadas como lecturas sugeridas.

Por último, para llegar al índice único que sintetice la situación de cada unidad administrativa se debe asignar un peso a cada variable con relación a las demás (técnicamente, eso se llama asignarle un coeficiente de ponderación). De esta manera se toma en cuenta la contribución relativa de cada variable a la calidad general de vida. Numerosa literatura de muchos países analiza esas ponderaciones y contiene criterios más o menos generales y aceptados por la comunidad científica sobre la importancia de cada una de las posibles variables. En nuestro trabajo hemos hecho alguna innovación al considerar los recursos de base natural como recursos recreativos y diferenciarlos de los socialmente construidos. En la tabla 2 se muestra cuáles fueron las ponderaciones utilizadas para construir los índices, expresadas en porcentajes.

Los anteriores porcentajes así como las variables elegidas fueron oportunamente puestos a consideración de investigadores de diversas universidades, para recibir sus comentarios o críticas y proceder a su ajuste.

Tabla 2

Población con instrucción menor que primaria completa	10
Población con instrucción universitaria completa	10
Tasa de mortalidad infantil	10
Población sin obra social	10
Población sin retrete	10
Población con hacinamiento	10
Recursos recreativos de base natural	10
Recursos recreativos socialmente construidos	10
Problemas ambientales	20
TOTAL	**100**

Diferencias a lo largo y ancho del territorio argentino y sus causas

Como se aprecia en el mapa, en las provincias del nordeste (Formosa, Chaco, Corrientes y Misiones), en las que predomina el color rojo y es muy escaso el verde, se registran los menores niveles de calidad de vida de la Argentina. El pobre desempeño de los indicadores socioeconómicos, y en menor medida de los ambientales, relega al Chaco y a Formosa a una posición de la que solo escapan sus capitales. Corrientes exhibe también valores bajos, especialmente en una franja central, y algo mejores en su zona citrícola y forestal al este de la anterior, mientras el sur de Misiones y sus departamentos ribereños del Paraná gozan de mejor calidad de vida que los del este de la provincia, sobre la frontera con el Brasil.

El noroeste (provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Catamarca y La Rioja) exhibe globalmente condiciones adversas, pero con mayor heterogeneidad. A pesar de haber realizado progresos en la última década, en Santiago del Estero predomina el rojo por los valores bajos de sus índices, y lo mismo ocurre en Tucumán. En cambio, La Rioja y Catamarca, con mayor presencia relativa de recursos recreativos y menor incidencia de problemas ambientales, aparecen mejor colocadas y exhiben más colores ocres y verdes. En Salta y Jujuy, los valles con mayor concentración de población alcanzan mejores condiciones de vida que el altiplano oriental y la planicie chaqueña, en los que predomina la población rural dispersa.

En Cuyo (provincias de San Juan, Mendoza y San Luis), se advierte mayor presencia de verdes en el mapa, señal de una buena o muy buena situación relativa. Mendoza se ve favorecida en los indicadores socioeconómicos, a los que se agregan los importantes recursos recreativos, en cambio San Juan no logró aún alcanzar niveles tan altos. Los mejores índices de calidad de vida corresponden, por lo general, a las áreas más urbanizadas, con mayor concentración de población y de servicios educativos y sanitarios.

La región pampeana (provincias de La Pampa, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires) tiene buenas condiciones, con la excepción de algunos sectores relativamente periféricos en La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, y de los partidos del llamado tercer anillo del Gran

Buenos Aires, en los cuales aparecen algunos de los peores índices socioeconómicos y ambientales. La mayoría de las comunas de la ciudad de Buenos Aires y del primer anillo de los partidos del conurbano norte muestran altos índices de calidad de vida, y condiciones intermedias el segundo anillo, lo mismo que el sur de la capital y del primer anillo. En ciertas zonas del gran Buenos Aires coexisten barrios cerrados con asentamientos precarios, muestra de una gestión urbana problemática y de altos niveles de contradicción y fragmentación social. En 2010, la mayoría de los partidos situados hacia el sur y el oeste del conurbano perdieron posiciones en el ordenamiento nacional.

La Patagonia (Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego) también exhibe cierta heterogeneidad: prevalece el verde, matizado con rojos y anaranjados. Los recursos recreativos, la relativa ausencia de problemas ambientales y un contexto socioeconómico relativamente favorable, sobre todo para la población urbana, ampliamente mayoritaria, explican los buenos índices de los departamentos de la costa y de la cordillera. Muy distinta es la situación de la meseta ganadera de Río Negro y Chubut (en Santa Cruz la división política no separa los sectores de meseta de los de las áreas más pobladas cordilleranas y costeras, lo que dificulta el análisis).

Tendencias observables en las últimas dos décadas

En términos generales, podemos decir que todas las variables mejoraron sus valores durante las últimas dos décadas, y las unidades territoriales que más lo hicieron son las que estaban peor. La tabla 3, que detalla el índice de bienestar por regiones, muestra que las diferencias regionales aumentaron ligeramente entre 1991 y 2001, y disminuyeron significativamente entre 2001 y 2010.

Tabla 3

Región	1991	2001	2010
Patagónica	6,90	7,54	7,03
Pampeana	6,79	7,19	6,93
Cuyana	6,56	7,04	6,91
Metropolitana de Buenos Aires	6,81	6,92	6,77
Noroeste	5,81	6,23	6,33
Nordeste	5,13	5,38	6,01

Uno de los cambios más notables advertidos entre 1991 y 2001 fue el retroceso de la región metropolitana de Buenos Aires (ciudad de Buenos Aires y partidos del conurbano) del 2º al 4º lugar, situación que se mantuvo en 2010. El resto de las regiones argentinas no evidenció cambios significativos, pero al comparar 2001 con 2010 salta a la vista el achicamiento de las distancias entre mejor y peor ubicadas. En 2001 la diferencia entre la Patagonia (7,54) y el nordeste (5,38) era de 2,16 puntos, mientras que en 2010 resultó de 1,02 puntos, menos de la mitad.

Por último, es conveniente hacer notar que la calidad de vida puede ser analizada con relación a otros factores no considerados en este artículo, entre ellos, la escala urbana; los mayores índices de calidad de vida se dan en las ciudades de tamaño intermedio: entre 50.000 y 1.000.000 de habitantes. Por encima y por debajo de esas cifras, la calidad de vida baja. También es significativa la polaridad centro-periferia: se ha encontrado que la calidad de vida disminuye drásticamente en pocos kilómetros en un recorrido del primero a la segunda. Y no dejan de pesar la estructura y dinámica demográficas, la riqueza generada, la estructura económica y social y las políticas públicas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BUZAI GD & ROBINSON D, 2010, 'Geographical Information Systems in Latin America 1987-2010. A Preliminary Overview', *Journal of Latin American Geography*, 9, 3: 9-31.

MALIENE V *et al.*, 2011, 'Geographic information system: Old principles with new capabilities', *Urban Design International*, 16, 1: 1-6, doi:10.1057/udi.2010.25.

VELÁZQUEZ GA *et al.*, 2011, Geografía y calidad de vida en Argentina. Ranking del bienestar por departamentos, UNCPA, Tandil. Se puede descargar de *http://igehcs-conicet.gob.ar/nuevo-libro-calidad-de-vida-en-argentina/*

–, 2008, *Geografía y bienestar. Situación local, regional y global de la Argentina luego del censo de 2001*, Eudeba, Buenos Aires.

– y **CELEMÍN JP**, 2013, La calidad ambiental en la Argentina: análisis regional y departamental, UNCPA, Tandil. Se puede descargar de *http://174.136.57.250/~cigorg/TAPAS%20REVISTA/E-BOOK/LIBROcompletoWEB.pdf*

En *http://igehcs-conicet.gob.ar se pueden consultar numerosos trabajos del autor y su grupo de investigación.*

Guillermo Angel Velázquez

Doctor en geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, UNCPBA.
gvelaz@fch.unicen.edu.ar

Gabriela Mesaros

Asistente de investigación en el Centro de Investigaciones Geográficas, Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA.
gabimesaros@gmail.com

Parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*) con polluelos. Foto Ossian Lindholm

Diego Frau, Susana José de Paggi, Ramiro Manzo
Instituto Nacional de Limnología, Universidad Nacional del Litoral-Conicet
Patricia Marconi
Fundación Yuchan

Los flamencos altoandinos

Flamencos en América y en el mundo

Los flamencos constituyen un grupo de aves que vive asociado con ambientes acuáticos salinos de poca profundidad, en ciertos casos localizados hasta a unos 5000 metros sobre el nivel del mar. En el mundo existen seis especies de flamencos, de las cuales tres se encuentran en Sudamérica.

Dos de las últimas, el flamenco andino o parina grande (*Phoenicoparrus andinus*) y el flamenco puna o parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*), poco conocidas por el público, habitan principalmente los Andes, en el altiplano del norte de Chile, el sur del Perú, el oeste de Bolivia y el noroeste de la Argentina; aparecen también, y en algunos años por miles, sobre todo el flamenco andino y en invierno, en cuerpos de agua de tierras bajas de la Argentina, como las lagunas de Mar Chiquita en Córdoba y varias lagunas del sur de Santa Fe, lo mismo que en los bañados del río Dulce en Santiago del Estero. La tercera especie de flamencos sudamericanos, más conocida, es el flamenco chileno o austral (*Phoenicopterus chilensis*), que vive principalmente en humedales bajos de la Argentina y Chile, incluida la Patagonia, pero también se extiende por el Uruguay, el Paraguay, el sur del Brasil y la costa del Pacífico hasta el Ecuador.

Las tres especies de flamencos no son fáciles de distinguir para el ojo no entrenado. La parina grande es más alta (del orden de 1,10m de altura), el flamenco austral

¿DE QUÉ SE TRATA?

En las inhóspitas alturas del altiplano, situadas muchas veces a 5km sobre el nivel del mar, hay lagunas con escasa vegetación acuática y desprovistas de peces pero pobladas en verano de flamencos. ¿Por qué están allí?

Izquierda: flamenco andino o parina grande (*Phoenicoparrus andinus*). Foto O Rocha. Derecha: flamenco chileno o austral (*Phoenicopterus chilensis*). Foto Wikimedia Commons

es levemente más bajo (1,05m) y la parina chica aún un poco más baja (0,90m). Las más fáciles de confundir son el flamenco austral y la parina grande: el primero tiene el cuello blanco mientras que el de la otra es rosado, tiene patas grises con dedos y membranas rojas mientras que las patas de la parina grande son amarillas y los dedos anaranjados. El flamenco austral tiene además el pico abruptamente curvado, blanco rosado con la mitad hacia la punta negra; en el flamenco andino el pico es negro con el tercio hacia la base amarillento y una mancha violeta en su parte inferior.

De las otras tres especies de flamencos, una es también del Nuevo Mundo –el flamenco americano (*Phoenicopterus ruber*), encontrado en el Caribe y las Galápagos– y dos tienen una amplia distribución por Europa, África y Asia (*Phoenicopterus roseus* y *Phoenicopterus minor*).

La historia evolutiva de los flamencos no ha terminado de escribirse. Por las características de su tórax y de sus órganos internos se acercan a las cigüeñas y a los ibis (orden ciconiformes), en tanto que por ciertos rasgos de su pico están más cerca de patos, gansos y cisnes (orden anseriformes). Existe hoy creciente inclinación en el ámbito científico internacional por dejar de lado el género *Phoenicoparrus* empleado en esta nota, e incluir a las dos parinas en el *Phoenicopterus*, que corresponde al resto de los flamencos, debido a las escasas diferencias genéticas que se han advertido entre todos ellos. Sin embargo, por aspectos de la morfología del pico y el hecho de que ambas parinas estén principalmente distribuidas en los Andes centrales, los ornitólogos sudamericanos aún las consideran de un género diferente, por lo menos hasta que nueva evidencia los convenza de lo contrario.

La parina grande fue catalogada como especie vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y tanto la parina chica como el flamenco austral fueron encuadrados por esa institución en la más optimista categoría de especies amenazadas. De cualquier forma, y debido a que ambas parinas son especies en riesgo y a que se las considera 'especies bandera', es decir que sirven para alertar sobre problemas ambientales, se conformó en 1996 el Grupo de Conservación de Flamencos Altoandinos, dedicado a la investigación y conservación de esas aves, con integrantes de la Argentina, Bolivia, el Perú y Chile. Estudia la distribución, la alimentación, los factores que inciden en la puesta de huevos, los desplazamientos migratorios y otros aspectos biológicos y ecológicos de las tres especies; también se ocupa de promover áreas que procuren la protección de las aves y de su hábitat, entre ellas las lagunas de la puna catamarqueña que fueron reconocidas en 2009

como sitio protegido en el marco de la Convención Internacional sobre Humedales o Convención Ramsar.

El Grupo resolvió organizar cada cinco años censos internacionales simultáneos de esas aves, el cuarto de los cuales tuvo lugar en los mencionados países durante diez días en el verano de 2010. Sus resultados revelaron la presencia de las tres especies, con una gran dominancia en números de la parina chica. Como parte de ese censo, se estudiaron especialmente en Catamarca las lagunas donde las aves pasan la temporada estival.

Los flamencos altoandinos no son considerados aves migratorias en sentido estricto, pero suelen desplazarse de forma impredecible de una laguna a otra en la busca de alimento y lugares para la reproducción. En la puna esto viene determinado por las rigurosas condiciones del invierno, que provocan el congelamiento de los cuerpos de agua ubicados por encima de los 4000m sobre el nivel del mar y llevan las aves a zonas cercanas en que ello no se produce. Durante los meses cálidos ellas se dispersan por todo el altiplano y descienden hasta lagunas ubicadas hasta 2500m sobre el nivel del mar. La parina chica tiende a concentrarse en lagunas y salares ubicados por encima de los 3900m, principalmente en el altiplano de Bolivia, donde se forman importantes colonias de nidificación. El flamenco austral tiene una distribución más amplia, desde los Andes a la Patagonia, pero se concentra mayoritariamente en la laguna de Mar Chiquita, en la provincia de Córdoba, y en humedales del sur de Santa Fe y el sur de Mendoza.

Lagunas altoandinas y puneñas

En el altiplano argentino se distinguen dos ambientes por su altura sobre el nivel del mar: encima de los 4200m se habla del medio altoandino, y entre los 3000 y los 4200m se habla de la puna (altitudes aproximadas que varían según las condiciones de cada sitio). En ambos ambientes es frecuente encontrar cuerpos de agua someros que acumulan el producto de las escasas precipitaciones y de la infiltración subterránea del deshielo.

Con una gran belleza paisajística, en el altiplano de Catamarca se encuentran numerosos volcanes que estuvieron activos hace millones de años y dejaron su huella en campos de lava llamados *escoriales*; lo surcan además cadenas montañosas que se formaron por el movimiento de placas tectónicas. Su suelo arenoso y pedregoso, sumado a las inclemencias climáticas, determina la presencia de vegetación con la capacidad de vivir en un medio seco (xerófila), salado (halófila) y arenoso (psamófila). De su fauna se destacan los camélidos sudamericanos, es decir, vicuñas y guanacos (parientes de sus congéneres domésticos, llamas y alpacas),

Laguna La Alumbrera, Antofagasta de la Sierra. Foto D Frau

Laguna Antofagasta, Antofagasta de la Sierra. Foto D Frau

Flamenco puna o parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*). Foto O Rocha

roedores como chinchillas, zorros colorados y, entre las aves, los flamencos de los que se ocupa esta nota.

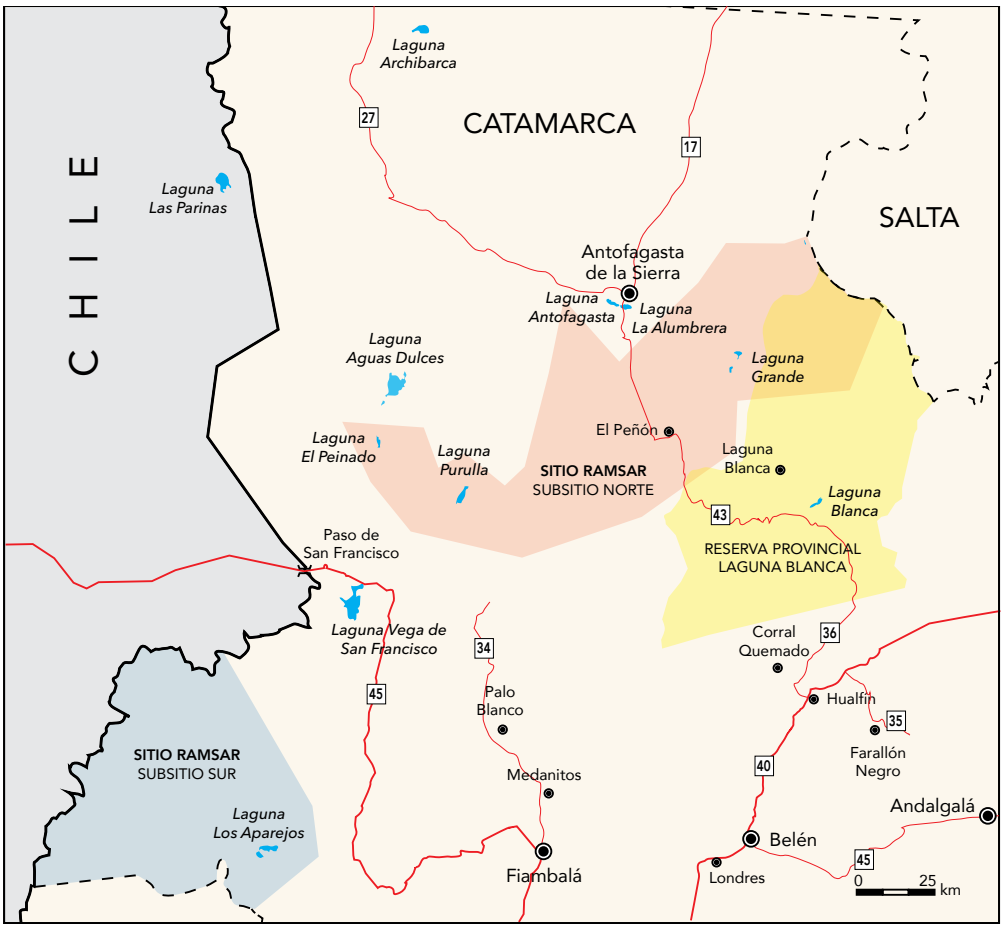
Los ambientes acuáticos que habitan esos flamencos han sido poco estudiados por los biólogos, principalmente por la dificultad de acceder a ellos, las grandes distancias, la altura y el clima extremo. De 40 lagunas censadas en Catamarca en el verano de 2010, 10 de entre 50 y 500 hectáreas de superficie, ubicadas entre 3300 y 4100m de altitud, se estudiaron en detalle. Tienen menos de 10cm de profundidad, aguas de temperaturas oscilantes según la época y la hora, elevado nivel de oxígeno disuelto –producto de la agitación debida a los fuertes y frecuentes vientos– y muy variable concentración de sal (entre 3 y 44g por litro: el mar tiene 35g/l a 25°C). Con escasa vegetación acuática y ausencia de peces, su fauna más conspicua son los flamencos.

¿Qué explica su presencia allí? Una primera explicación es la existencia de plancton, una comunidad de pequeños organismos acuáticos, en su mayoría microscópicos, que viven suspendidos en la columna de agua y a merced del movimiento de esta. Una fracción de ellos, el fitoplancton, es capaz de hacer fotosíntesis. El resto es zooplancton y se alimenta de fitoplancton, materia orgánica y otros pequeños organismos. También integran el plancton bacterias y virus.

La salinidad de los cuerpos de agua determina que solo los organismos capaces de soportarla puedan vivir en ellos. Muchos de los que forman el plancton, y en

especial las diatomeas del fitoplancton, pueden sobrevivir a la alta salinidad y la escasez de nutrientes propias de las lagunas de la puna. El estudio registró 73 especies de fitoplancton, de las cuales 53 fueron diatomeas, y el resto algas verdes y cianobacterias. En las lagunas con mayor concentración de sal se encontró menor cantidad de especies y mayor proporción de diatomeas.

El zooplancton, por su parte, no estuvo tan bien representado en las lagunas catamarqueñas, ni en abundancia ni en riqueza de especies: solo se registraron 19 especies, de las cuales 14 fueron rotíferos y el resto cladóceros y copépodos. Los dos últimos, comúnmente llamados microcrustáceos, son parientes lejanos de los camarones. Los rotíferos son un grupo de invertebrados microscópicos de los que el mayor número de especies se registró en las lagunas menos saladas, en tanto que su mayor abundancia se encontró en las más saladas.



En las diez lagunas estudiadas se registró un total de 26.200 flamencos: 22.700 parinas chicas, 2400 parinas grandes y solo 1100 flamencos australes. La mayor concentración de aves apareció en las lagunas de salinidad media, que además presentaron las mayores concentraciones de diatomeas, el principal alimento de la parina chica, cuyo pico tiene una serie de laminillas que filtran el agua y le permiten capturar los organismos de menor tamaño. Las diatomeas encontradas midieron en promedio unos 28 micrómetros (µm, milésimas de milímetro). La alta concentración de parinas chicas en los humedales de mayor altitud se mantuvo a lo largo de los años, y en estudios posteriores al nuestro se registró una alta abundancia de diatomeas, que son su principal alimento.

Si bien el alimento es posiblemente el mayor condicionante de la distribución de estas aves en las lagunas, otras variables como la altitud y la salinidad también han sido citadas en la literatura científica. Los resultados del censo mostraron que la presencia tanto de la parina grande como de la chica está fuertemente asociada con la altitud: a mayor altitud, mayor abundancia de flamencos. Se encontró también una fuerte relación entre salinidad y altitud, que puede deberse a que con el incremento de la altitud disminuyen las precipitaciones, se acumula menos agua para diluir la sal y el ritmo de evaporación supera el aporte de las últimas.

Por último, los análisis mostraron que la parina grande se asocia positivamente con la presencia de zooplancton, especialmente con aquellos organismos más grandes como los copépodos. Las lamelas de su pico están más distanciadas, lo que les permitiría capturar organismos de mayor tamaño.

El flamenco altoandino, en conclusión, pasa la temporada de verano en ambientes extremos en los que encuentra alimentos con los que muy pocos otros organismos son capaces de sobrevivir. Tiene en su pico lamelas que le permiten alimentarse de microcrustáceos, pero también de diatomeas de gran tamaño como las del género *Surirella*. En cambio la parina chica, que tiene menor distancia entre lamelas, se especializa en comer diatomeas más pequeñas, que filtra de los sedimentos y del agua. La dieta de estos organismos es básicamente la misma tanto en los meses de frío como de calor, por lo que tienden a seleccionar lagunas con altos contenidos de sal en que encuentran su alimento.

Por su lado, estudios de la dieta del flamenco austral han mostrado que tiende a alimentarse de invertebrados como copépodos, artemias (similares a pequeños camarones, que aparecen frecuentemente en la vegetación acuática y el fondo de las lagunas) y nematodos (gusanos microscópicos muchas veces parásitos de plantas y animales).

Los ambientes altoandinos son extremadamente frágiles y se encuentran hoy sometidos a una serie de ries-

La puna en las inmediaciones de la ruta a Chile por el paso de San Francisco. Foto F Bernal

gos ambientales, sobre todo producidos por la minería y el turismo no regulados, más situaciones aparecidas en los últimos años, como el rally Dakar. Los flamencos, en particular, además del deterioro del hábitat creado por dichos factores, se encuentran amenazados por el robo de huevos para autoconsumo y comercialización.

Conocer las causas por las que los flamencos seleccionan estos cuerpos de agua proporciona herramientas para decidir qué tipo de ambientes deben ser prioritariamente conservados. También brinda un conocimiento de base sobre esos ambientes, imprescindible para protegerlos, pues no puede protegerse lo que no se conoce. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CASTRO LUCIC M y FERNÁNDEZ REYES L (eds.), 2007, *Gestión sostenible de humedales*, CYTED-CAZALAC-Universidad de Chile, Santiago.

CAZIANI SM *et al.*, 2007, 'Seasonal distribution, abundance, and nesting of Puna, Andean and Chilean flamingos', *Condor*, 109, 2: 276-287.

DERLINDATI EJ, 2008, 'Conservation of high Andes flamingo species (Phoenicoparrus andinus and P. jamesi): habitat use and activity patterns in two constrasting wetlands systems of Argentina', Rufford Maurice Laing Foundation, en (agosto 2014) *http://www.rufford.org/files/22.09.06%20 Detailed%20Final%20Report.pdf.*

FARÍAS ME, 2012, 'Microorganismos que viven en condiciones extremas en lagunas altoandinas', Ciencia Hoy, 21, 126: 26-33.

MASCITTI V & CASTAÑERA MB, 2006, 'Foraging Depth of flamingos in Single-Species and Mixed Species Flocks at Laguna de Pozuelos', *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 29, 3: 328-334.

Diego Frau

Magíster en gestión ambiental de sistemas hídricos, Universidad de Cantabria.
Becario doctoral del Conicet en el Instituto Nacional de Limnología, UNL-Conicet.
diegofrau@gmail.com

Susana José de Paggi

Doctora en ciencias naturales, UNLP.
Investigadora independiente del Conicet en el Instituto Nacional de Limnología.
Profesora titular de limnologia, UNL.
sjdepaggi@gmail.com

Patricia Marconi

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Presidenta de la Fundación Yuchan.

Ramiro Manzo

Licenciado en saneamiento ambiental, UNL.
Becario doctoral del Conicet en el Instituto Nacional de Limnología.

Iván A Petrinovic
Centro de Investigaciones en Ciencias
de la Tierra, UNC-Conicet

Supervolcanes y supererupciones

Supervolcanes y supererupciones

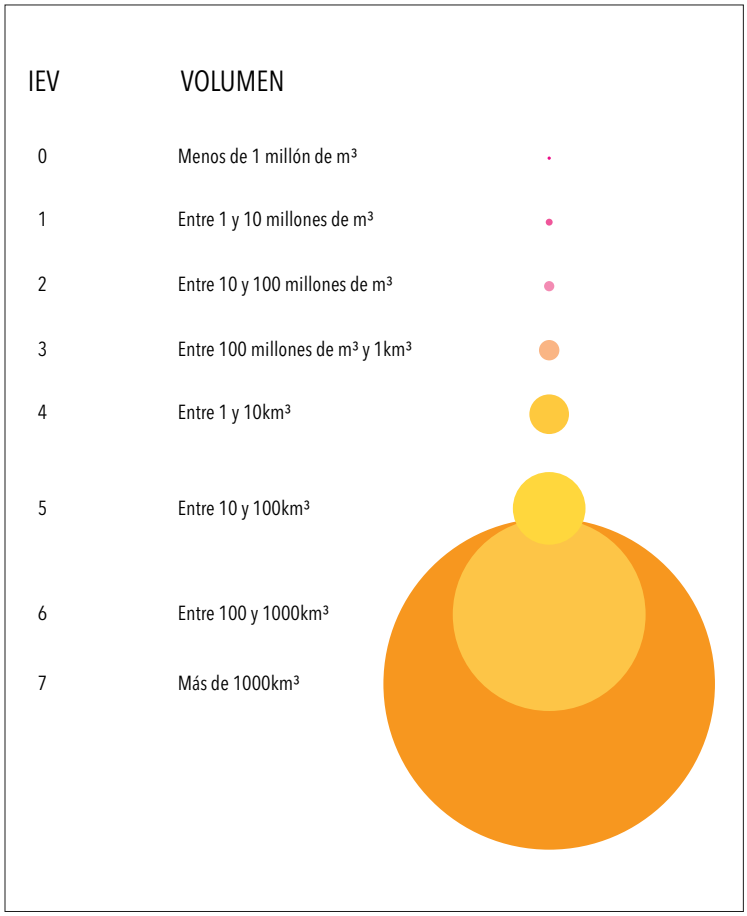
A partir de un programa de la BBC televisado en 2000 y denominado *Horizon*, se popularizó el término *supervolcanes* para denominar a volcanes de grandes dimensiones. La dimensión de un volcán se refiere a la magnitud de su erupción más significativa, que la volcanología clasifica por la energía que libera mediante un índice de explosividad volcánica (IEV, o VEI en inglés). El IEV menos explosivo (de magnitud 1 o menor) corresponde a una erupción leve, con lavas fluidas que emergen de conductos aislados o alineados, como algunos casos en Islandia o Hawaii. En el otro extremo, un IEV 8 corresponde a la erupción de un supervolcán que emite más de 1000km^3 de material en cuestión de horas. El término *supererupción* se usa desde la década de 1990 para denominar a erupciones que arrojan más de 450km^3 y corresponde a un IEV igual o superior a 7.

La génesis de los supervolcanes

La formación de un supervolcán está siempre asociada con el hundimiento de un sector de la corteza terrestre en un reservorio de magma de grandes dimensiones, a veces de hasta 50km de diámetro, ubicado a entre 3 y 7km de profundidad. El resultado es en cierta medida similar al movimiento de un pistón dentro de un cilindro en un motor a explosión. El hundimiento o colapso de la corteza incrementa la presión a que suele encontrarse el magma y hace que este resulte impulsado hacia la superficie por las fracturas o zonas de debilidad que encuentra en la corteza. Al alcanzar la superficie y hacer erupción, el reservorio de magma se despresuriza y puede vaciarse en pocas horas. Se sabe que ocurre una salida súbita del magma porque llegan a superficie fragmentos semiplásticos de la cámara rocosa que contiene el magma, compuestos en más del 90% por cristales (*cristal mushes*). Esto

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué son supervolcanes? ¿Qué consecuencias tienen las supererupciones? ¿Qué registros geológicos hay de estos procesos y de sus consecuencias?

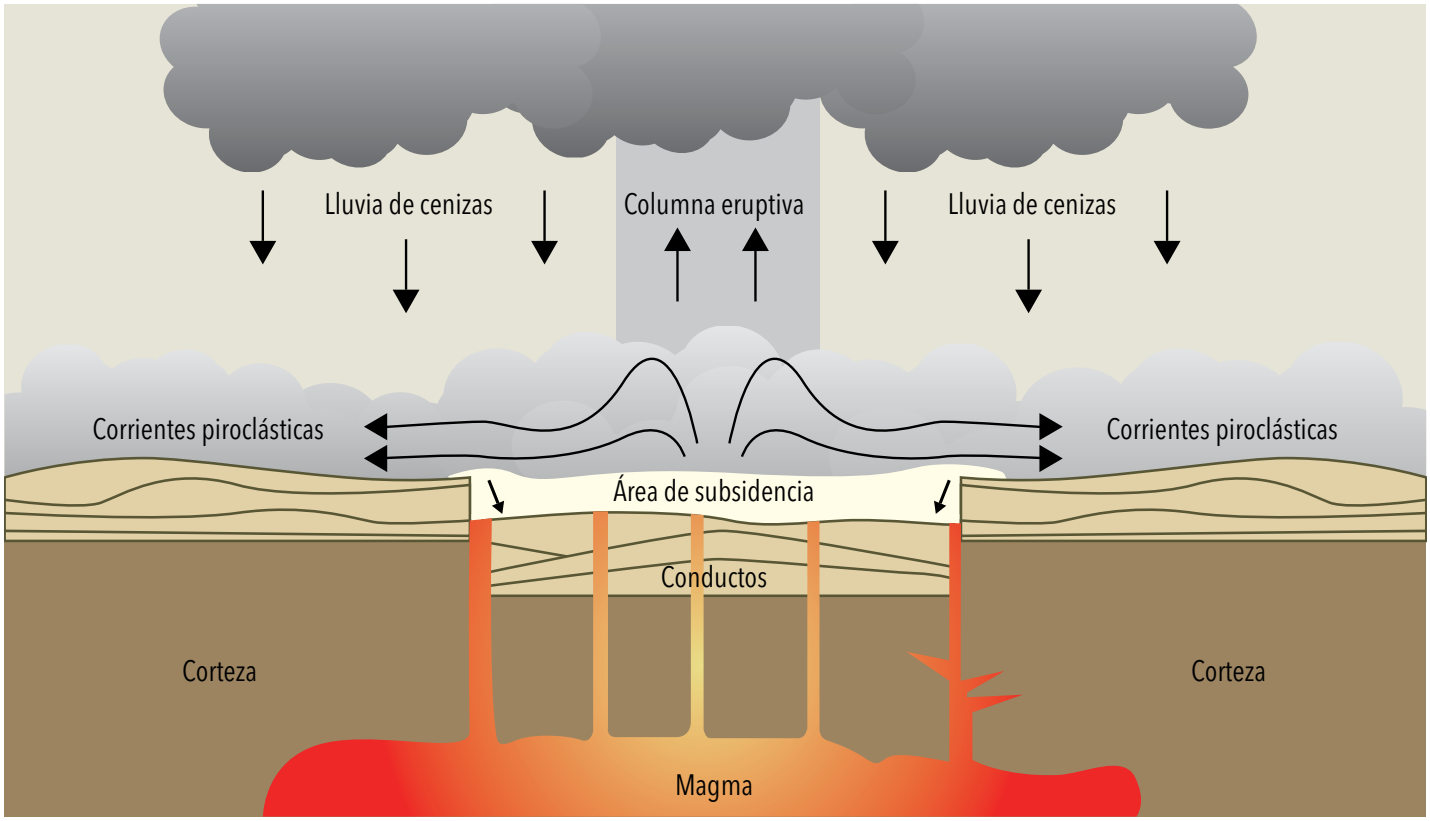


La magnitud de las erupciones volcánicas se mide según el índice de explosividad (IEV). La figura compara el volumen relativo de magma asociado con cada valor del IEV.

es indicación de que el vaciamiento del reservorio no fue paulatino, como ocurre en la mayoría de las erupciones volcánicas, sino casi instantáneo y total.

¿Cómo comienza una erupción de las características descriptas? Es una pregunta que se hacen constantemente quienes estudian este tipo de volcanes, ya que no hay observaciones que describan los instantes iniciales del fenómeno. Por eso recurren al estudio geológico de los productos, rastros y señales que dejan, y procuran deducir de ellos los posibles escenarios iniciales. Así concluyeron que algunas erupciones pueden ser desencadenadas por incrementos en la actividad sísmica, sobre todo si la presión dentro de un reservorio, dada fundamentalmente por gases disueltos, se encuentra en desequilibrio con relación a la que ejerce sobre él la roca que lo contiene. En tales casos, la fracturación de esa roca provocada por el sismo permite la liberación súbita de presión por el escape del magma hacia la superficie. Otras erupciones, sin embargo, resultan de una concatenación más compleja de fenómenos.

El magma impelido a la superficie es una mezcla de partículas sólidas y gas. Si predominan las primeras, de suerte que la mezcla resulte más densa que la atmósfera, el material se derrama de inmediato y discurre como un fluido. Si la mezcla es menos densa que la atmósfera, el material expulsado puede formar una columna de hasta 40km de altura que asciende a velocidades supersónicas en la atmósfera y se desplaza en sentido horizontal por efecto del viento. En el segundo caso, la supererupción puede modificar el clima en una escala global.



Esquema simplificado y sin escala de una caldera con la formación de corrientes piroclásticas y de una columna eruptiva.

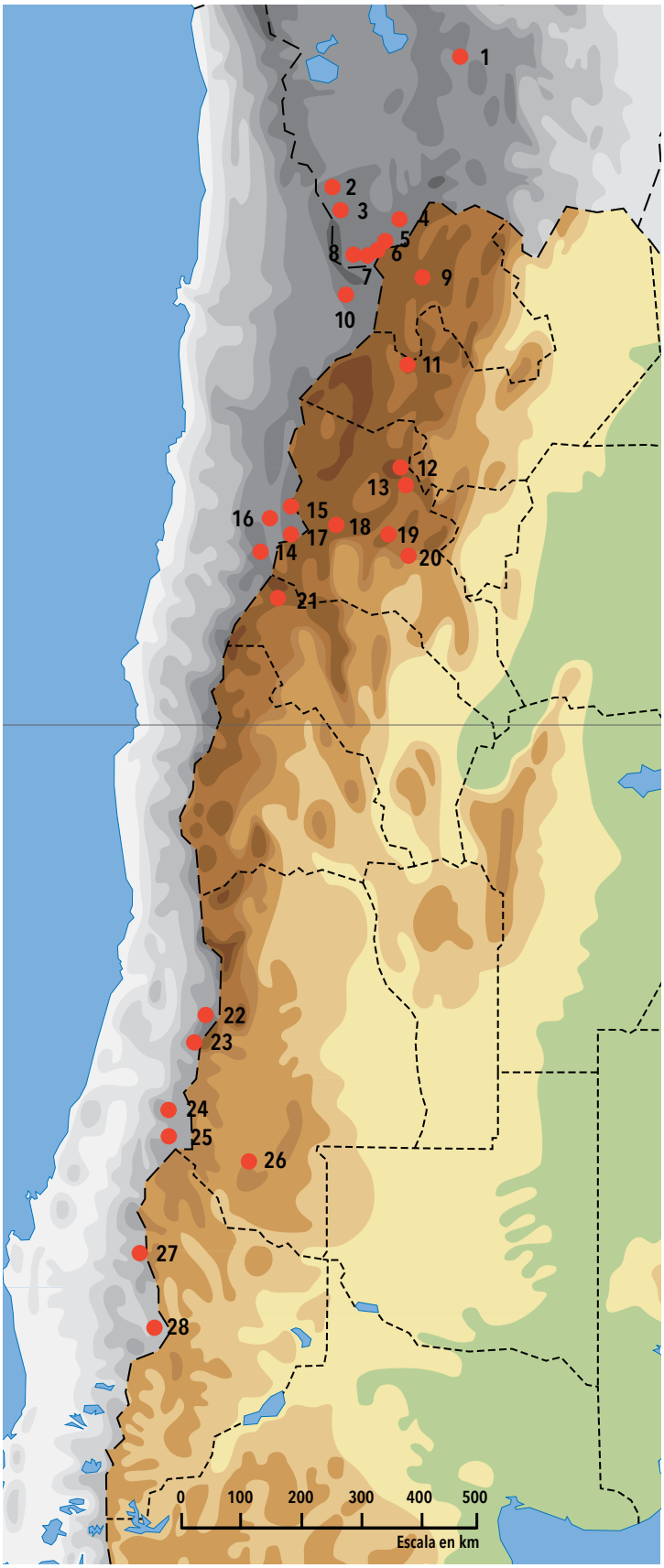
Hace unas décadas los especialistas pensaban que el magma alcanzaba la superficie por el perímetro del bloque de corteza hundido. Hoy saben que lo hace por cientos de fracturas del propio bloque, muchas de las cuales quedan sepultadas como consecuencia de la propia erupción. Al despresurizarse súbitamente, el magma que llega a la superficie en estado semifluido forma una espuma uniforme, como sucede con una botella de gaseosa que se agita y se destapa súbitamente. Los fragmentos sólidos de dicha espuma contienen burbujas que les confieren un aspecto *vesiculado*, es decir, esponjoso: la piedra pómez comercial tiene ese origen. Las corrientes de sólidos y gas así generadas que fluyen por la superficie terrestre, denominadas *corrientes piroclásticas*, alcanzan temperaturas de más de 300ºC, pueden desplazarse a más de 500km por hora y cubrir a veces distancias de más de 100km.

El registro geológico y las consecuencias de las supererupciones

El resultado final de una supererupción es una cicatriz cuasicircular que delimita una depresión rellena con cientos o miles de metros cúbicos de depósitos de corrientes piroclásticas. Esa depresión recibe el nombre de *caldera de colapso* y suele superar los 10km de diámetro. Todos los supervolcanes producen calderas de colapso, pero no todas las calderas son consecuencia de supererupciones, aunque siempre son producto erupciones explosivas con vaciamiento rápido del reservorio magmático. Las calderas también pueden ser producto de vaciamientos recurrentes, cada uno de los cuales destruye los rastros del anterior, con la consiguiente dificultad de reconstruir lo sucedido en ciclos superpuestos.

Las corrientes piroclásticas, que recorren grandes distancias en breve tiempo, abrasan y destruyen todo lo que encuentran en su camino. Las ondas de choque de las explosiones asociadas con un supervolcán pueden devastar un amplio territorio y las cenizas expelidas a la atmósfera cubrir enormes extensiones.

Los 1000km^3 de magma arrojados a la superficie en un lapso de horas por un supervolcán, a razón de 2200kg por metro cúbico, que es el peso medio del magma, pesarían unas 220.000 millones de toneladas, lo que significaría poco más de 300 toneladas de rocas volcánicas por cada uno de los 7000 millones de habitantes del planeta. Esos flujos piroclásticos pueden cubrir rápidamente miles de kilómetros cuadrados; si se producen columnas eruptivas que dispersen la ceniza en la atmósfera, la superficie afectada puede alcanzar escala continental.



Ubicación de calderas de colapso en los Andes. 1. Kari-Kari; 2. Pastos Grandes; 3. Capina; 4. Panizos; 5. Cerro Guacha; 6. Vilama; 7. Coruto; 8. Pastos Chicos; 9. Coranzulí; 10. La Pacana; 11. Aguas Calientes; 12. Cerro Galán; 13. Luingo; 14. Maricunga; 15. Laguna Escondida; 16. Wheelwright; 17. Mulas Muertas; 18. Cerro Blanco; 19. Vicuña Pampa; 20. Farallón Negro; 21. Incapillo; 22. Diamante-Maipo; 23. Atuel; 24. Calabozos; 25. Maule; 26. Payún Matrú; 27. Caviahue o Agrio; 28. Pino Hachado.

Algunos ejemplos

La información geológica obtenida estudiando numerosos supervolcanes extintos indica que casi nunca se trató de una única erupción, sino de varias sucesivas acaecidas en distintos momentos. En un artículo aparecido en 2004 en el *Bulletin of Volcanology*, citado como lectura sugerida, se registran 47 supervolcanes que hicieron erupción entre los 460 millones y los 25 mil años atrás. Pero hay otros que aún no fueron suficientemente estudiados, que en los últimos 100.000 años habrían sido por lo menos ocho (Lago Atitlán en Guatemala; Monte Aso, Aira y Kikai Akahoya en Japón; Oruanui en Nueva Zelanda; Toba en Indonesia; Campi Flegrei en Italia; y Cerro Blanco en la Argentina), y posiblemente hubo más que aún no fueron advertidos. La discrepancia entre estos valores y la cantidad de supervolcanes no identificados indica que no es posible determinar las frecuencias de supererupciones, y que es necesario incrementar el estudio de estos fenómenos.

Entre las supererupciones que requieren más investigación se cuenta la más reciente conocida con un IEV de 8, que ocurrió hace 73.000 años cuando se formó la caldera del lago Toba, en Sumatra. Expulsó más de 2800km^3 de material volcánico fragmentado, el 23% del cual resultó eyectado a la atmósfera y habría generado una capa de cenizas de más de 750km^3. Se estima que dicha capa de cenizas pudo ocasionar un invierno global de cinco años y que la erupción habría sido 30 veces superior a la del monte Tambora, en Indonesia, acaecida en 1815 (IEV 7), que expulsó 160km^3 de magma a la atmósfera y causó un año sin verano en el hemisferio norte.

En la Argentina se han descubierto calderas de colapso en dos regiones con historias geológicas distintas: la puna o altiplano en el noroeste y los Andes norpatagónicos. En la primera hay registradas más de 20, producto de erupciones que arrojaron más de 7500 km^3 de material volcánico. Las de Cerro Galán, La Pacana, Panizos y Vilama son supervolcanes y cada una tiene más de 20km de diámetro. Otras fueron producto de erupciones menores, si bien con IEV superiores a 6. Todas están relacionadas con la elevación de los Andes y datan de entre 13 millones y 2 millones de años atrás. Algunas, como Cerro Blanco, en Catamarca, fueron de menor envergadura y datan de unos 5000 años atrás. Se estima que resta reconocer por lo menos unas 20 calderas para explicar el volumen de rocas volcánicas encontrado en esa región de los Andes.

En los Andes centrales y norpatagónicos se reconocieron seis calderas de colapso con edades de entre 4 millones y 90.000 años. Son más pequeñas que las de la puna. Entre ellas se cuentan las de Diamante-Maipo, Atuel, Payún Matrú, Caviahue, Calabozos y Pino Hachado. Aún no se han estudiado en detalle, por lo que en estos momentos no se puede afirmar que no fueron el resultado de supererupciones, aun la de Caviahue, que aloja un volumen muy grande de material volcánico, posiblemente proveniente de varios episodios de colapso.

Caldera del cerro Galán (12 en la figura de página 41), originada por un supervolcán que eyectó 1000km^3 de magma en un solo episodio. La barra blanca inferior que da la escala representa 22km. Imagen satelital Google Earth

Borde sudoeste de la caldera de Caviahue, contigua al volcán Copahue, y nacimiento del río Lomín. Foto tomada el 15 de marzo de 2015.

Dadas las numerosas calderas de colapso conocidas y probables en la Argentina, se puede concluir que se requiere incrementar la investigación sobre el tema. Los interesados lo pueden hacer incorporándose a los grupos que trabajan en el Conicet, en el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y en diversas universidades, los que interpretan información geológica de este tipo de volcanes. La experiencia mundial en materia de riesgo volcánico indica que los métodos modernos de investigación, que consideran indicadores como deformaciones, cambios en patrones químicos y otros datos indirectos, arrojan grandes volúmenes de datos, cuya interpretación es poco confiable si no se conoce acabadamente el objeto de estudio. Para ello es imprescindible reconstruir el pasado mediante el trabajo geológico. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BACHMAN O & BERGANTZ G, 2008, ,'The magma reservoirs that feed supereruptions', *Elements*, 4: 17-21.

GEYER A & MARTÍ J, 2011, 'Collapse Caldera Data Base 2.2', *http://www.gvb-csic.es/CCDB/ dowloadsFRAM.htm*.

MASON BG *et al*., 2004, 'The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth', *Bulletin of Volcanology*, 66: 735-748.

MILLER C & WARK D, 2008, 'Supervolcanoes and their explosive supereruptions', *Elements* 4: 11-16.

SELF S, 2006, 'The effects and consequences of very large explosive volcanic eruptions', *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A364: 2073-2097.

Iván A Petrinovic

Doctor en ciencias geológicas, Universidad Nacional de Salta. Investigador independiente del Conicet en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UNC-Conicet.

ipetrinovic@efn.uncor.edu

NOTICIAS INSTITUCIONALES

La Presidenta de la Nación inauguró nueva sede para el Instituto de Catálisis y Petroquímica de Santa Fe

Autoridades durante el corte de cinta.
Foto: CONICET Fotografía.

El nuevo edificio del INCAPE tiene 1.790 metros cuadrados y demandó una inversión de $21.532.010 cofinanciada entre el CONICET y el Ministerio de Ciencia.

La Presidenta de la Nación, Dra. Cristina Fernández de Kirchner, presentó en videoconferencia la inauguración de la nueva sede del Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica "Ing. José Miguel Parera" (INCAPE), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacionaldel Litoral (UNL). El acto fue encabezado por el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Dr. Lino Baraño, y el presidente del CONICET, Dr. Roberto Salvarezza, desde el predio del Centro Científico Tecnológico CONICET Santa Fe, cercano a la capital provincial.

El edificio está estructurado en dos plantas -cada una de aproximadamente 895 metros cuadrados y dos bloques, uno para las actividades específicas de investigación, y otro para las actividades de gobierno, administración y docencia. En el bloque de investigación, la nueva sede cuenta con 16 laboratorios en planta baja y 16 oficinas para investigadores en el primer nivel.

En palabras de la Presidenta, "el INCAPE es el instituto más importante de catalización de toda América Latina y lo estamos inaugurando en Argentina, provincia de Santa Fe".

Por su parte el ministro Lino Barañao destacó que "las investigaciones desarrolladas en el INCAPE tienen una inserción muy importante en la producción y pueden aplicarse a la elaboración más ecológica de combustibles, derivados de petróleo, el uso de la biomasa y la síntesis de compuestos químicos para la industria, entre otras".

En este sentido, el Dr. Salvarezza expresó que "inaugurar el edificio es saldar una deuda que tenemos con los investigadores después de décadas de no atender la infraestructura. Hoy tenemos la oportunidad de crear ambientes acordes para realizar una investigación. Y eso está en el marco de estos 10 años de expansión del sistema científico y tecnológico. Por eso también queremos resaltar la relación con la universidad y nuestra voluntad de seguir articulando acciones".

Sólo en la provincia de Santa Fe el Plan de Obras para la Ciencia y la Tecnología alcanza 22 obras de las cuales 19 ya fueron ejecutadas y 3 se encuentran en ejecución. Además del INCAPE se construyeron 7 nuevas sedes: el Instituto de Matemática Aplicada del Litoral (IMAL); el Instituto Nacional de Limnología (INALI); el Instituto de Agrobiotecnología del Litoral (IAL); el Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería (CIMEC); el Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y Sistemas (CIFASIS); el Instituto de Física de Rosario (IFIR); y el Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR). Se encuentran en construcción nuevos edificios para el Instituto de Fisiología Experimental (IFISE); el Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos (CEFOBI); y el Instituto de Química de Rosario (IQUIR).

Santa Fe, ahora cuenta con más de 17.000 metros cuadrados de nuevos institutos de investigación gracias a una inversión de $159.244.135 en el marco del Plan. Actualmente en la provincia trabajan más de 750 investigadores y 840 becarios.

Participaron del acto la directora del CCT CONICET Santa Fe, Dra. Raquel Chan; el director del INCAPE, Dr. Ulises Sedran; el rector de la UNL, Albor Cantard; y el diputado nacional y precandidato a gobernador de la provincia, Omar Perotti.

Acerca de INCAPE

Se especializa en investigaciones del más alto nivel científico en el campo de la industria química, petroquímica y de procesos catalíticos en particular. Además de formar recursos humanos altamente especializados, transfiere los resultados de las investigaciones al sector productivo. Sus líneas de investigación incluyen: procesos de refinación de petróleo; desarrollo de catalizadores y nuevos procesos para el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos; valoración de recursos biomásicos; y diseño, desarrollo y aplicación de reactores no convencionales, entre otras.

El INCAPE es considerado el instituto de investigación y desarrollo en catálisis más importante de Latinoamérica. Cuenta con más de 70 investigadores, 37 becarios, 17 técnicos y 3 administrativos.

NOTICIAS INSTITUCIONALES

CONICET Documental estrena "SHINCAL: La huella Inca en Argentina"

El unitario, que se podrá ver a partir de mayo por canal Encuentro, presenta el asentamiento inca más austral que se conoce hasta el momento.

Luego de cuatro productos audiovisuales lanzados durante los meses de marzo y abril, CONICET Documental, productora audiovisual del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, presenta "SHINCAL: La huella Inca en Argentina", por canal Encuentro. El nuevo estreno visibiliza la compleja trama de redes que el Imperio Inca tejió a lo largo y ancho de la zona oeste del continente americano, y del que el actual territorio argentino constituyó un punto importante.

Con la conducción de Boy Olmi y los testimonios de los más prestigiosos arqueólogos de nuestro país, el documental plantea un recorrido por este enigmático lugar. Sumerge al espectador en la lógica y la cosmogonía inca que dejó una huella imborrable en las culturas locales de la actualidad.

Ubicado en el Noroeste de la Argentina, en las cercanías de la localidad de Londres, dentro del departamento de Belén -actual provincia de Catamarca-, el Shincal de Quimivíl fue la capital meridional del antiguo Imperio Inca. El enclave más austral de esta asombrosa cultura fue construido durante la segunda mitad del siglo XV y planificado como uno de los más importantes centros políticos-administrativos y de ceremonial del Tahuantinsuyo, nombre con el que se denominó al territorio del imperio incaico.

Según el coordinador general de la productora, Pablo Kühnert, el proyecto surge a partir de un acuerdo entre el CONICET, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, a través del Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECYT); el Ministerio de Turismo y el Gobierno de la Provincia de Catamarca.

A fin de potenciar los esfuerzos para difundir El Shincal, y trabajar en la investigación, restauración y puesta en valor de vestigios arquitectónicos, se firmó un convenio entre la cartera de Ciencia y la Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

Los realizadores decidieron hacer un programa sobre arqueología in situ, por lo que escribieron un guión que les permitiese recorrer y comprender la lógica inca en el territorio argentino y las relaciones que El Shincal mantenía con el resto del imperio -antes de la llegada de los españoles- que se extendía desde el sur de Colombia hasta la zona subcentral de Chile -el mayor imperio precolombino-.

El proceso de redacción del guión, que duró aproximadamente tres meses, contó con los aportes de especialistas locales, arqueólogos y referentes que desde las décadas de los 50 y 80 venían investigando la temática, como los doctores Rodolfo Raffino y Alberto Rex González.

De todas formas el texto debió ser modificado en el transcurso del rodaje, dado que había cuestiones que en el papel funcionaban, pero en el campo no. Los pormenores de grabar a la intemperie durante tres semanas y con un clima extremo dejaron notables marcas en el guión.

La gráfica fue un punto muy importante dentro del proyecto, ya que resultó fundamental para poder narrar ese pasado tan remoto, sobre todo para ayudar al televidente a imaginarlo y a reconstruirlo de forma visual y didáctica.

Según Kühnert, "el Shincal atesora un pasado enorme, un pasado que se percibe en el lugar, en sus vestigios. Materializa la historia importante y pasada que nos pertenece, y que de alguna manera también le pertenecemos. Es muy fuerte entrar en relación directa con esa realidad".

Acerca de CONICET Documental

La productora CONICET Documental nace hace siete años con el desafío de documentar y grabar el crecimiento de la actividad científica durante los últimos años, en el marco de las nuevas políticas de ciencia y tecnología, orientadas a una apertura del Organismo a la sociedad. El objetivo trazado fue dotar al CONICET de una productora sumamente profesional y moderna, que pudiera producir relatos científicos audiovisuales, atractivos y al mismo tiempo visualmente impactantes que comuniquen de forma amigable el hecho científico.

VINCULACIÓN TECNOLÓGICA – CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

Los tesoros de la historia de Tucumán

Un profesional del CONICET trabaja en la conservación, catalogación y digitalización de archivos históricos de esa provincia.

Tucumán no es tan sólo la cuna de la independencia argentina, es también la cuna y hogar de personajes que forjaron la historia. Desde el inspirador de la Constitución Nacional, Juan Bautista Alberdi, hasta el cineasta que reflejaba los movimientos sociales con el grupo de Cine Liberación en la década del 70', Gerardo Vallejo, protagonistas y forjadores de la memoria nacional habitaron sus suelos.

Carlos Darío Albornoz, técnico principal del CONICET en el Instituto Superior de Estudios Sociales (ISES, CONICET-UNT) trabaja en la conservación y digitalización de piezas bibliográficas y fotográficas de gran valor histórico como cartas escritas de puño y letra por Alberdi, libros de actas, documentaciones institucionales y fotografías de miembros de la Logia Masónica Estrella de Tucumán y recortes de periódicos tucumanos del siglo XIX, entre otros.

Hoy en día, es cada vez mayor el interés por salvaguardar el patrimonio cultural porque son piezas claves para la reconstrucción del pasado. Estos archivos tienen un gran valor porque son fuentes documentales de suma utilidad para la investigación en distintas ramas de las ciencias sociales como historia, antropología o demografía. La mayor ventaja de la digitalización es que mediante este proceso se evita el contacto directo e incorrecta manipulación de los archivos originales.

"Antes de empezar a digitalizar, limpio los documentos para eliminar suciedad y hongos, los arreglo con una cinta especial, libre de ácido y transparente, con la que se hace una costura en los papeles. Después los plancho y digitalizo. Se hace una conservación preventiva", explica Albornoz, fotógrafo, conservador de arte y especialista en técnicas fotográficas antiguas como el daguerrotipo.

Con el paso de tiempo, los materiales se deterioran por distintas causas como la temperatura y humedad del ambiente, la oxidación de tintas ferrosas, el ataque de roedores e insectos y la acción de hongos, entre otras. Para revertir estos daños se puede recurrir a hacer una conservación preventiva que se ocupa de los problemas técnicos de la pieza con mínimas intervenciones sin completarla o modificarla. Su objetivo es evitar futuros posibles deterioros y minimizar los existentes. La restauración, en cambio, implica un tratamiento específico de intervención en el archivo con el objetivo de reconstruirlo manteniendo ciertos criterios históricos. "Yo en particular, no estoy a favor de la restauración. Prefiero que se conserve y no que se restaure", asegura Albornoz.

Conservación preventiva de las colecciones documentales. Foto: CONICET Fotografía.

Carlos Darío Albornoz. Foto: CONICET Fotografía.

El técnico explica que mediante convenios con instituciones como La Logia Masónica Estrella de Tucumán o La Biblioteca Alberdi, o con donaciones de organismos o individuos, trabajó en el asesoramiento técnico para realizar la conservación preventiva y digitalización de distintas colecciones documentales. Algunos de los archivos de los que se ocupó fueron un libro de estadística gráfica Tucumán-Rosario-Santa Fe del año 1892 para la Exposición Universal de Chicago del año siguiente, fichas de afiliación de la Logia desde el año 1884, la muestra fotográfica del Festival Tucumán Cine Gerardo Vallejo y toda la colección de la Biblioteca Alberdi.

"Entrego los archivos digitalizados en distintos formatos: en TIF -formato de archivo de imágenes con etiquetas- de 300 *dpi* (del inglés puntos por pulgada) en tamaño real y en JPG -formato de compresión de imágenes- con la misma calidad y otro JPG de 150 *dpi* para poder consultarlo. Se hace una triple guarda, en 8 *bits* de color porque casi todas las imágenes son monocromas y no es necesario más pero generalmente se trabaja en 16 bits", aclara Albornoz.

Asimismo, agrega que cuando finaliza los trabajos, entrega una planilla que específica que tiene cada archivo digitalizado, su medida, el número de página del material original, el dispositivo con el que se escaneo: cámara fotográfica digital o escáner de cama plana, el estado de conservación y observaciones. Esa planilla, les sirve a los dueños de la colección para reconstruir los libros.

Los archivos pueden ser consultados en computadoras dispuestas en la sede del ISES. Además, el Instituto cuenta con una amplia biblioteca con una gran variedad de textos de ciencias sociales especialmente de historia, revistas y periódicos tucumanos de principios del siglo XX y una colección de distintos recortes de diarios donados por la familia de Ramón Leoni Pinto, un reconocido profesor de historia en la UNT. La cantidad de material se incrementa gracias a las donaciones de investigadores del Instituto y de la Universidad.

"Lo que me parece más interesante es que se puede democratizar rápidamente todo este material histórico. Primero para consulta en el ISES y después se subiría online", concluye Albornoz.

PROGRAMA VOCAR - PAÍS CIENCIA

Emotiva apertura de las jornadas "Ciencia y soberanía" en el Museo Malvinas

Hasta octubre, una vez por semana, se celebrará un ciclo de charlas y talleres con científicos dirigidas a alumnos de escuelas secundarias de toda la provincia.

"Necesitamos que ustedes, los jóvenes, se interesen en la ciencia. El país necesita más científicos para poder construir satélites, reactores nucleares, para conocer nuestro medio ambiente, porque conocimiento es soberanía". Con esas palabras, el presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dr. Roberto Salvarezza, se dirigió a los estudiantes de escuelas secundarias que participaron de la apertura de las jornadas "Ciencia y soberanía", inauguradas en el Museo Malvinas e Islas del Atlántico Sur, que se celebrarán semanalmente hasta el mes de octubre. La presentación de las jornadas también estuvo a cargo de la Subsecretaria de Gestión y Coordinación de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, Laura Alonso, y las autoridades del Museo Malvinas, Jorge Giles y Mario Volpe, director y vicedirector respectivamente.

Las jornadas incluirán charlas de divulgación científica a cargo de los responsables de la Plataforma País Ciencia del CONICET, talleres de ciencias y visitas guiadas al Museo Malvinas y al predio del Espacio para la Memoria y Derechos Humanos, articulados además con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y ARSAT.

El objetivo de "Ciencia y soberanía", jornadas en las que participarán más de diez mil alumnos de escuelas secundarias de toda la provincia de Buenos Aires, será despertar vocaciones científicas y reflexionar sobre el concepto de soberanía científica, nuclear, energética y, por supuesto, sobre las propias Malvinas.

Durante la apertura de las mismas, el Dr. Salvarezza señaló además que hoy el CONICET tiene los mejores números de Latinoamérica. "Ser científico es una posibilidad independiente del nivel social: el Estado financia la carrera de un investigador, algo inédito que no se da en casi ningún otro país del mundo. Sus estudios están financiados con el dinero de la comunidad, y eso es una oportunidad que debe ser aprovechada". Asimismo, señaló la necesidad de geólogos, químicos, físicos e ingenieros. "En estas jornadas ustedes, los jóvenes, van a saber lo que es ser científico, para poder elegir su futura elección vocacional".

A su turno, Laura Alonso celebró que el Estado empiece a articular las diversas áreas de su estructura y pueda organizar jornadas como las de "Ciencia y soberanía". "No hay provincia del país que hoy no tenga una universidad pública, esa es una oportunidad para todos los alumnos de escuelas secundarias. Ojalá vuelvan a sus casas después de estas jornadas con más preguntas que respuestas, que esta herramienta les transforme la vida".

Por su parte, Jorge Giles destacó que "estas jornadas son un complemento de lo que venimos buscando desde el espacio del Museo: sostener un proyecto de país en el que la soberanía sea el piso para edificar todo". ■

El Dr. Salvarezza y autoridades durante la inauguración de las jornadas. Foto: CONICET Fotografía.

A bordo del *Puerto Deseado*. Selección del material biológico coleccionado.

Guido Pastorino
Martín Brogger
Daniel Lauretta
Mariano Martinez
Pablo E Penchaszadeh
Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia

Vida en los fondos profundos del mar

Hasta mediados del siglo XIX los científicos estaban convencidos de que, por ausencia de luz, no había vida en las aguas profundas del mar. La luz, en efecto, va desapareciendo a medida que aumenta la profundidad: a 200m la oscuridad es total. Todo cambió en 1861, cuando se recogió para su mantenimiento el cable telegráfico submarino que unía Cerdeña con Argelia. Había yacido apoyado sobre el fondo del Mediterráneo a 2000m de profundidad y emergió recubierto por variados organismos, entre ellos moluscos y otros invertebrados.

Once años después se realizó la primera campaña oceanográfica mundial, hoy famosa, a bordo de la corbeta británica *Challenger*. Duró cuatro años (1872-1876) y todavía se la recuerda como uno de los más importantes acontecimientos de la exploración del mar. En su transcurso se tomaron muestras en profundidades de más de 1000m. Los materiales recogidos son aún objeto de estudio por los especialistas, que hasta la fecha describieron con ellos unas 5000 especies nuevas para la ciencia.

En la Argentina, en 2009, 2012 y 2013 se llevaron a cabo campañas de investigación a bordo del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, del Conicet, con el principal objetivo de coleccionar material biológico, fundamentalmente invertebrados, para responder a un interrogante que no tenía respuesta hasta el presente: ¿qué organismos habitan las profundidades del Mar Argentino?

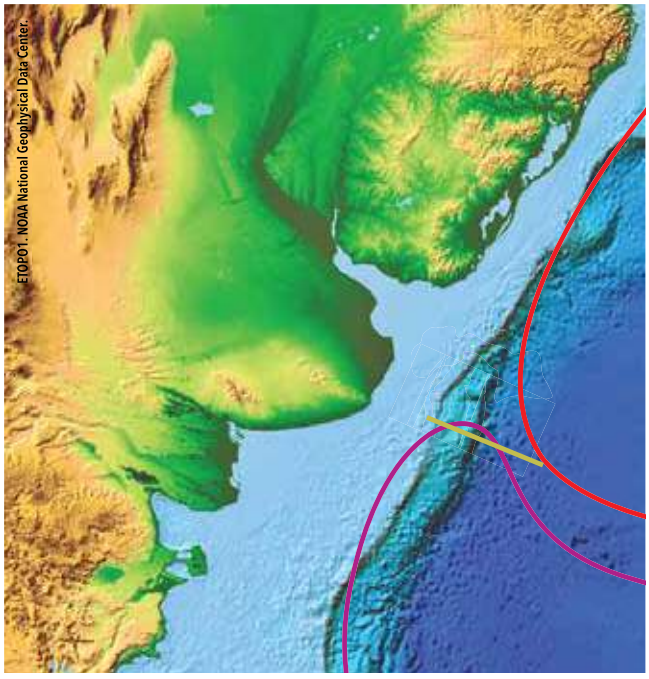
El *Puerto Deseado*, construido en los astilleros ASTARSA, botado en 1976 y equipado con laboratorios para realizar tareas de investigación, tiene 77m de eslora y lo opera una tripulación de unos setenta integrantes. Realiza campañas de investigación en las que científicos de diversas instituciones estudian el mar y la atmósfera, incluidos el monitoreo pesquero, la geología y la biología marinas, la oceanografía física y química, y la contaminación a lo largo de las costas. Se desplaza entre el estuario del Plata,

¿DE QUÉ SE TRATA?

El conocimiento científico de las profundidades marinas frente a la Argentina y de los seres vivos que las tienen como hábitat abre el camino del descubrimiento de tipos biológicos únicos y permite conocer interacciones biogeográficas con otras cuencas submarinas.

Existen fondos marinos dominados por corales duros, como estos del genero *Flabellum*, obtenidos en un exitoso lance de pesca a unos 540m de profundidad; cada uno mide unos 5cm.

la Patagonia, Tierra del Fuego y la Antártida. Cada una de las tres campañas indicadas, exploratorias de las profundidades, tuvo una duración cercana a las dos semanas y llevó a bordo cerca de treinta especialistas en temas como los mencionados.



Plataforma
Talud
Fondo abisial
Corriente de Malvinas
Corriente de Brasil
Cañón de Mar del Plata

La plataforma continental y el talud

La plataforma continental es una extensa planicie sumergida de escaso relieve que se extiende entre la costa y el talud continental. El talud es un desnivel en el que la profundidad aumenta marcadamente, al punto que en pocos kilómetros puede alcanzar varios miles de metros.

En las aguas superficiales del borde exterior de la plataforma, donde comienza el talud, hay abundante concentración de fitoplancton, que es la base de la cadena alimentaria marina. Hay, además, una muy rica diversidad biológica y ecológica, y es sobre todo allí donde se localiza la pesca de las especies de mayor importancia económica. Por su lado, el mar se caracteriza por experimentar una transición entre aguas relativamente cálidas y poco salinas sobre la plataforma y las aguas frías, y de mayor salinidad, de la corriente de las Malvinas, que circulan sobre el talud.

Dicha corriente bordea la plataforma a lo largo de 1800km, desde el pasaje de Drake hasta, aproximadamente, la latitud de Mar del Plata (38°S). Transporta aguas subpolares, ricas en nutrientes, hasta latitudes subtropicales, y genera condiciones ambientales y oceanográficas únicas en el sudoeste del Atlántico Sur. Cerca de la latitud mencionada se encuentra con la corriente cálida del Brasil que fluye hacia el sur. El encuentro de ambas crea condiciones favorables para la multiplicación del fitoplancton, lo que determina que las aguas de la zona de su confluencia sean las más productivas de las del talud.

En el borde de la plataforma y como parte del talud, entre los 37° y 38° de latitud sur, se encuentra el cañón

submarino de Mar del Plata, que se origina a una profundidad aproximada de 1000m y se extiende en dirección al sudeste (perpendicular al talud) por unos 110km, en los que el lecho marino cae de modo suave hasta una profundidad de 3900m. La fauna marina que habita esa zona no había sido estudiada en detalle, si bien el *Challenger* capturó ejemplares a unos 1000m de profundidad en un sitio cercano al borde norte del cañón, y algunas expediciones posteriores visitaron la misma zona aunque raramente estudiaron lo que sucede más allá de dicha profundidad.

Cómo se coleccionan las muestras en los fondos profundos

Los fondos poco profundos (hasta unos 40m), se pueden explorar con equipos de buceo autónomo. Pero aun con gran despliegue técnico, no es posible bajar con esos equipos mucho más allá de los 100m. Por ello, coleccionar a grandes profundidades siempre debe hacerse de forma indirecta, es decir, mediante dispositivos usados para pescar, usualmente llamados *artes de pesca*.

En las campañas del *Puerto Deseado* se utilizaron artes de pesca de dos tipos: rastras y redes de fondo (las segundas también denominadas redes piloto o redes exploratorias). Las rastras consisten en un marco rectangular metálico en cuyo interior se sujeta una red o malla en forma de cono con una distancia entre nudos usualmente de entre 1 y 2cm. La abertura de la rastra posee un reborde inclinado de unos pocos centímetros que penetra en el sustrato al ser remolcada por el barco. De esta forma la red colecciona los organismos del fondo expuestos delante de ella. Si el fondo es duro, la rastra se puede dañar y, de hecho, este tipo de rastras suele requerir frecuentes reparaciones. Los diseños de rastras se adaptan al tipo de fondo y a la clase de organismos que se procura recolectar.

Las redes piloto consisten en un par de armazones cuadrangulares denominados *portones*, generalmente de madera con bordes de hierro, que arrastran una red de unos 12 metros de longitud con forma piramidal en cuyo interior se coloca una malla más fina. La red incluye en el borde superior de su parte media una cuerda que sujeta una serie de boyas, y en su base una cadena. Cadena y boyas tienen la función de mantenerla abierta. Estas redes coleccionan en una superficie mucho más extensa que la rastra, pero si el fondo es rocoso es muy probable que luego de una pasada queden inutilizadas. La malla de la red así como las boyas son elementos críticos cuya correcta elección, en cada circunstancia, permite un funcionamiento más efectivo de este arte de pesca.

Rastras y redes son arrastradas por el barco mediante un cable de acero trenzado de unos tres centímetros de diámetro sujeto a un guinche. La longitud del cable debe ser por lo menos el doble de la profundidad, para que la rastra o la red trabajen correctamente. Esto implica que para recoger muestras a 3000m de profundidad el cable se extenderá unos 6 kilómetros a popa del barco. Una operación de pesca, llamada un *lance*, incluidos el descenso y ascenso de la red o rastra, puede llevar unas seis horas, y en muchos casos solo produce frustración, pues la red o la rastra resultan destruidas por las durezas de fondo y no retienen muestras. Por otro lado, cuando el equipo trabaja bien y las artes de pesca suben colmadas, la aparición de organismos desconocidos, con sus colores y sus formas, constituye el mayor premio de los científicos a bordo. El tiempo que lleva el lance completo hace que durante las campañas se organicen turnos de trabajo que cubren las veinticuatro horas, pero por lo corriente todos los investigadores del buque quieren presenciar la subida de la captura con que termina un lance. Entre lance y lance, se trabaja con el material, seleccionando los organismos y acondicionándolos para su posterior estudio en laboratorio.

Los organismos abisales

En las grandes profundidades más allá de la plataforma continental argentina, como en el resto de los océanos, habitan dos grupos de organismos: los que nadan en la columna de agua (llamados *pelágicos*) y los que viven en el lecho marino (llamados *bentónicos*). Entre los segundos están los cnidarios, los moluscos y los equinodermos, los tres tratados en este artículo, que son los grupos mayoritarios en los fondos.

Cnidarios

El grupo de los cnidarios incluye formas muy diferentes entre sí, como las anémonas de mar, las medusas y los corales.

Fragmento de unos 15cm de ancho de coral blando primnoideo creciendo sobre un coral duro blanco de la especie *Bathellia candida*.

Los segundos pertenecen a dos grandes grupos: los duros (hexacorales) y los blandos (octocorales). Si bien los corales duros pueden formar arrecifes (como los que se encuentran en el Caribe o en la gran barrera coralina de Australia), en aguas templadas y frías eso no ocurre. Sin embargo, la diversidad de corales en las aguas profundas del Mar Argentino es importante: estudios recientes revelaron la existencia de veinte especies de corales duros en ellas. Aunque el grupo no parece muy abundante, en el talud continental es posible hallar concentraciones locales muy altas. Existen varias especies que habitan juntas en la misma zona, pero la mayor parte de los ejemplares corresponden a una única especie, es decir, son asociaciones prácticamente monoespecíficas.

Los corales blandos son los que forman posiblemente las mayores agrupaciones: dan lugar a los llamados jardines de corales, como los encontrados frente a Nueva Escocia (en la costa atlántica de Canadá), las islas Aleutianas y varios otros puntos de las costas del Pacífico. Entre ellos, se destacan los primnoideos, por su diversidad y abundancia. No solo conforman el paisaje del fondo, sino que dan lugar al asentamiento de muchos otros grupos de invertebrados. En aguas argentinas hay por lo menos veinte especies de primnoideos, número que va en aumento pues actualmente están en proceso de descripción varias especies nuevas.

Particularmente notable es la asociación entre los primnoideos y otros invertebrados. Es común encontrar gusanos poliquetos y crustáceos pequeños (como anfípodos e isópodos) entre las ramas de los corales, además de otros invertebrados, como pepinos de mar y estrellas, esponjas y anémonas de mar. En este sentido los primnoideos actuarían como un multiplicador del sustrato. En fondos blandos donde escasean las rocas u otros sustratos duros, los primnoideos son capaces de adherirse y crecer sobre pequeños apoyos, por ejemplo un canto rodado, con lo que la superficie sobre la cual pueden asentarse otros organismos pasa de unos pocos centímetros cuadrados a varios cientos dependiendo del desarrollo del coral.

LA PRESIÓN EN LAS PROFUNDIDADES

Los organismos que habitan las profundidades están adaptados a soportar grandes presiones, que constituyen la mayor diferencia ambiental con la superficie, aparte de la ausencia de luz. A 3000m de profundidad la presión es unas 300 veces mayor que la atmosférica, ya que la presión aumenta a razón de una atmósfera cada 10m de profundidad. Este concepto es sencillo de comprender racionalmente pero resulta difícil imaginar sus efectos. El vaso de telgopor de la izquierda quedó reducido a la mitad de su tamaño cuando fue recuperado de una rastra que se había hecho descender a la profundidad de 1500m. Verlo permite entender por qué prácticamente todos los organismos coleccionados por debajo de esa profundidad llegan muertos a la superficie, aunque algunas veces, si la subida se realiza en forma muy paulatina para que el cambio de presión sea gradual, unos pocos llegan con vida.

Efectos de la presión a 1500m de profundidad sobre un vaso de telgopor.

Moluscos

Los moluscos constituyen uno de los grupos mejor representados en los fondos marinos explorados en los viajes del *Puerto Deseado*. Todas las clases vivientes de moluscos viven en los fondos profundos del talud continental argentino. Dominan los gasterópodos (caracoles) con formas y tamaños muy diversos. En los fondos blandos predominan familias endémicas de caracoles, es decir que solo habitan en esa zona del planeta. A medida que aumenta la profundidad, por lo común las conchas se hacen más frágiles pues, contrariamente a lo que podría suponerse, el carbonato de calcio –material indispensable en la construcción de las conchas– constituye un recurso limitado en las profundidades. Es así como los grandes caracoles volútidos que viven en las aguas poco profundas de la plataforma argentina presentan conchas gruesas, pero las especies que habitan las grandes profundidades las tienen mucho más finas y quebradizas. Estos caracoles son depredadores ubicados en el tope de la cadena alimentaria, y conforman un porcentaje elevado de las especies halladas en los fondos profundos. Sin embargo, los caracoles más característicos de esas zonas son los conoideos, cazadores por excelencia, aunque no son veloces ni de gran tamaño; se alimentan de gusanos poliquetos, entre otras presas de gran movilidad, gracias a que poseen dientes extremadamente especializados asociados con glándulas de veneno, que les permiten paralizar a las víctimas en forma casi inmediata.

Otros moluscos, menos conocidos, forman parte importante de las comunidades de profundidad. Es el caso de los aplacóforos, que tienen forma de gusano, sin concha pero con espículas calcáreas en todo el cuerpo, que se alimentan de los pólipos de los corales blandos, entre otros ítems. También los escafópodos constituyen un producto común en los lances de profundidad; son

unos moluscos de concha cilíndrica en forma de tubo curvo (llamados vulgarmente colmillos de elefante) que viven semienterrados en los sedimentos y asoman su extremo de menor diámetro por fuera del sustrato. Se alimentan de pequeños organismos unicelulares llamados foraminíferos, muy comunes en esos ambientes.

Equinodermos

El grupo dominante en los fondos de las profundidades a que se refiere esta nota son los equinodermos, principalmente estrellas, pepinos y erizos de mar, que conforman una comunidad característica de cualquier ambiente ubicado a más de 1000m de profundidad. En particular, en las profundidades del cañón submarino de Mar del Plata se distingue un gran grupo de pepinos de mar conocido como elasipódidos, que incluye el pepino de mayor tamaño para la Argentina, de más de 25cm de longitud, descubierto hace unos pocos meses. Este grupo, tan abundante en aguas profundas, presenta una fundamental adaptación a esos ambientes: su endoesqueleto calcáreo se encuentra reducido al mínimo y hasta está casi ausente en algunos casos, en coincidencia con la mencionada baja proporción de carbonato de calcio propio de las aguas profundas.

Las estrellas porcellanastéridas, registradas por primera vez en el citado cañón de Mar del Plata durante las expediciones del *Puerto Deseado*, solo viven en profundidades mayores a los 1000m e, incluso, más de la mitad de sus registros corresponden a profundidades que exceden los 3000m. Su principal adaptación a esos fondos abisales es la presencia entre las uniones de los brazos de una o más estructuras denominadas órganos *cribiformes*, unos pliegues de piel que les permiten respirar mientras viven enterrados en fondos de arena.

Los equinodermos ofiúridos o estrellas frágiles forman prácticamente todo el material recogido a 2800m de profundidad. Los discos de los ejemplares grandes miden unos 1,5cm.

Estrellas de fondos arenosos de la familia *Astropectinidae*, de unos 12cm cada una. No se desplazan sobre pies con ventosas, como la mayoría de las estrellas, sino mediante espinas laterales, y también se diferencian porque tragan sus presas, lo que permite estudiar su dieta revisando su contenido estomacal. Lo último, en animales propios de las grandes profundidades, podría permitir el hallazgo de especies desconocidas, por ejemplo, pequeños moluscos.

Gasterópodo de 35mm de longitud coleccionado a 520m de profundidad frente a Mar del Plata.

Las profundidades son el hábitat preferencial de los erizos de mar cidaroideos, provistos de un cuerpo robusto y de grandes y gruesas espinas cubiertas de organismos que viven sobre ellas. Más raros y con su cuerpo exclusivamente modelado por las condiciones de presión y la baja concentración de calcio son los equinotúridos. A diferencia del resto de los erizos, cuyo cuerpo es rígido, no tienen soldadas entre sí las placas calcáreas que lo cubren, por lo cual, cuando se los saca fuera del agua, parecen aplastados y dañados. De ahí su nombre común de erizos panqueque. Fueron primero descriptos como fósiles a fines del siglo XIX y se creían extinguidos. En las campañas del *Puerto Deseado* al talud se coleccionaron varios ejemplares de especies vivientes a más de 3000m de profundidad que están en proceso de estudio y descripción.

Rastra en el momento de ser izada a bordo.

Red piloto instantes antes de ser lanzada.

Las características propias de la plataforma continental argentina y del talud, además de sus aguas relativamente frías, hacen que los crinoideos, el grupo más antiguo de equinodermos, sea el más escaso. Se divide en dos subgrupos, los lirios de mar y las plumas de mar, ambos encontrados en aguas profundas (los primeros exclusivamente en ellas).

Irónicamente, el grupo de equinodermos, más abundante y de mayor presencia y diversidad en la Argentina, es también uno de los menos conocidos por el público. Reciben el nombre de ofiuroideos, que etimológicamente alude al movimiento serpenteante de sus brazos, que les permite desplazarse o capturar alimento. Se dividen en dos grupos: las estrellas frágiles, así llamadas por la facilidad con que sus brazos se quiebran, y las estrellas canasta, cuyos brazos forman una trama de ramificaciones que, replegadas, recuerdan una canasta. Si bien se los llama estrellas, son diferentes morfológica y ecológicamente de los asteroideos o estrellas de mar, y constituyen el grupo de equinodermos con el mayor número conocido de especies. Es usual que formen bancos con grandes concentraciones de individuos que tapizan el lecho marino.

En cada hábitat vive una fauna adaptada a millones de años de falta de luz, alta presión, baja temperatura y salinidad estable. ¿Cómo es posible que organismos que viven en total oscuridad y con temperatura estable tengan ciclos reproductivos semejantes a los de especies que habitan cerca de la superficie, donde esos ciclos están regulados por cambios en la luminosidad y la temperatura? El factor determinante es el alimento, que proviene de las capas marinas superficiales con presencia de luz. A medida que los organismos que viven allí van muriendo, producen una lluvia de sus restos que llegan al fondo, además de los desechos de pequeños animales que habitan la columna de agua. La cantidad de ese alimento fluctúa con las estaciones del año y sincroniza los ciclos reproductivos de la fauna abisal.

En síntesis

Los tres viajes realizados en el último lustro a bordo del *Puerto Deseado* resultaron en una gran cantidad de novedades zoológicas. Incluso, es posible que la relación beneficio/costo de esas campañas haya sido más favorable que la de los viaje de la nave a la Antártida. En una

Materiales recién salidos de la rastra y en espera de acondicionamiento, coleccionados a 1600m de profundidad. Se destacan, en rojo, una centolla, y de color violáceo, unos pepinos elasipódidos recientemente descubiertos.

Gasterópodo de la especie *Zidona palliata*, endémico del Atlántico Sur, coleccionado a 990m de profundidad. Mide unos 8cm de alto.

Coral blando primnoideo arborescente del género *Thouarella*, de unos 20cm en su mayor ancho.

época en que el mundo biológico parece haber visto y hecho todo, estas incursiones a menos de doce horas de la costa permiten repensar los parámetros de biodiversidad del Atlántico Sur. Como consecuencia, no es temerario suponer que la disminución de la biodiversidad marina que se advirtió desde el norte del Brasil hasta la región magallánica sea solo válida para las áreas costeras.

La gran cantidad de información obtenida en esos viajes, difundida en trabajos científicos aparecidos o de próxima publicación en revistas de circulación internacional, es el inicio de una serie de estudios marinos específicamente orientados a las áreas menos exploradas del Mar Argentino, entre ellas las más profundas. Las ciencias del mar han tomado impulso en el país en las últimas dos décadas y, a medida que avanza el conocimiento de la enorme fuente de recursos escondidos en el océano –entre otros, los de la fauna–, acercan la posibilidad de establecer la influencia de las masas de agua sobre los organismos que viven allí, y así obtener para la población los beneficios de una riqueza hoy desaprovechada. CH

Jonathan Flores, Pamela Rivadeneira, Juan José Berecoechea, Noelia Sánchez, Nadia Cerino, María Jose Pío, Diego Urteaga, Sofía Calla, Lorena Arribas, María Bagur, Valeria Teso y Carlos Sánchez Antelo realizaron diversas tareas durante los viajes del *Puerto Deseado* y colaboraron en el posterior estudio de los organismos.

LECTURAS SUGERIDAS

AA.VV., 2014, *Ciencias del mar*, volumen temático, Asociación Ciencia Hoy, Buenos Aires.

PENCHASZADEH PE y BROGGER M, 2006, *Biología marina*, Eudeba, Buenos Aires.

PONCE JF y RABASSA J, 2012, 'La plataforma submarina y la costa atlántica argentina durante los últimos 22.000 años', Ciencia Hoy, 127: 50-56.

VOIGT I *et al.*, 2013, 'A submarine canyon as a climate archive. Interaction of the Antarctic intermediate water with the Mar del Plata canyon', *Marine Geology*, 341: 46-57.

Guido Pastorino

Doctor en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Profesor titular, Universidad CAECE.
Investigador independiente del Conicet en el MACN.
gpastorino@macn.gov.ar

Martín Brogger

Doctor en ciencias biológicas, FCEN, UBA.
Investigador asistente del Conicet en el Centro Nacional Patagónico.
brogger@cenpat.edu.ar

Daniel Lauretta

Doctor en ciencias biológicas, FCEN, UBA.
Becario posdoctoral del Conicet en el MACN.
dlauretta@gmail.com

Mariano Martinez

Doctor en ciencias biológicas, FCEN, UBA.
Becario posdoctoral del Conicet en el MACN.
mmartinez@macn.gov.ar

Pablo E Penchaszadeh

Doctor en biología, FCEN, UBA.
Investigador superior del Conicet en el MACN.

Instrucciones para autores

Gran parte de los artículos que publica Ciencia Hoy son enviados espontáneamente por sus autores. Cuanto mayor sea la participación de los investigadores y académicos en las páginas de la revista, mejor se cumplirán los objetivos de la *Asociación Ciencia Hoy* de lograr que la actividad científica obtenga reconocimiento social e intervenga en la modernización del país.

SECCIONES DE LA REVISTA

Ciencia Hoy alberga a todas las ramas del saber, desde las humanidades y ciencias sociales hasta las disciplinas biológicas y fisicomatemáticas y sus respectivas tecnologías. Contiene las siguientes secciones regulares (las extensiones indicadas son orientativas):

AQUÍ CIENCIA: Informes y consideraciones (hasta unas 3000 palabras) sobre avances científicos o tecnológicos que hayan tenido lugar en la Argentina o el Uruguay. Redáctense siguiendo lo indicado para la sección *CIENCIA EN EL MUNDO*.

ARTÍCULOS: trabajos que expliquen investigaciones y sus resultados al público general y a colegas de otras disciplinas (hasta unas 3000 palabras).

CARTAS DE LECTORES: comentarios (hasta 300 palabras) sobre lo aparecido en números anteriores, sobre temas que se desee ver abordados o cualquier aspecto del quehacer científico y la educación superior. Los editores pueden publicar parcialmente una carta o modificar su texto para hacerlo más claro.

CIENCIA EN EL AULA: sugerencias y orientaciones sobre cómo presentar en clase determinados temas científicos, o cómo aprovechar mejor para su labor pedagógica lo publicado en la revista.

CIENCIA EN EL MUNDO: breves notas (hasta 1500 palabras) sobre alguna novedad científica o tecnológica importante. Es necesario que el autor introduzca brevemente el tema, señale su importancia y cite la fuente de la información.

CIENCIA Y SOCIEDAD: comentarios sobre algún aspecto del conocimiento o sus aplicaciones, que tenga o haya tenido particular impacto en la sociedad (hasta unas 3000 palabras).

EL LECTOR PREGUNTA: interrogantes sobre cuestiones científicas o humanísticas. En la medida en que no salgan del marco de la política editorial, se publican con su respuesta por un especialista.

EL PASADO EN IMÁGENES: fotografías de época de hechos pasados de significación histórica.

ENSAYOS: textos que el comité editorial considere de interés, pero que no respondan al concepto de divulgación científica o académica, ni quepan –por su dimensión especulativa y literaria– en la sección *OPINIONES*.

GRAGEAS: textos cortos (unas 300 palabras) que comenten –con indicación de la fuente– noticias significativas aparecidas en revistas científicas.

HUMOR: contribuciones escritas o gráficas que se refieran a la investigación, a la actividad académica, a la universidad, etcétera, y a los seres que pueblan esos extraños mundos.

MEMORIA DE LA CIENCIA: notas que analicen aspectos poco conocidos de la historia del conocimiento, las ideas científicas, la ciencia en general y la tecnología (hasta unas 3000 palabras).

OPINIONES: reflexiones fundadas sobre el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la educación superior (hasta unas 1500 palabras).

CÓMO ENVIAR UNA COLABORACIÓN

Se ruega hacer llegar las colaboraciones por correo electrónico. No usar el formato .pdf para los textos, sino .doc o sus equivalentes. Remitir el material (e indicar dirección postal y electrónica del autor, así como números de teléfono) a:

CIENCIA HOY
Corrientes 2835, Cuerpo A, 5°A,
(C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires
Tel./Fax: (011)4961-1824 y 4962-1330
E-mail: *contacto@cienciahoy.org.ar*

RECOMENDACIONES

Redactar las contribuciones teniendo en cuenta que sus destinatarios no son especialistas. Imaginarse que el típico lector de la revista puede ser un profesor del secundario. Proceder, por lo tanto, como sigue:

- Evitar el uso de jerga técnica; recurrir a términos equivalentes del lenguaje cotidiano; por ejemplo, en lugar de *osteopatía*, escribir *enfermedad de los huesos*. Cuando el uso de la jerga sea aconsejable o inevitable, definir *siempre*, con precisión pero de manera sencilla, el significado de los términos.
- Evitar el uso innecesario de expresiones matemáticas o químicas; cuando se las emplee, proporcionar también, hasta donde se pueda, una explicación intuitiva.
- Utilizar siempre el sistema internacional de unidades (*http://www.bipm.org/en/sil*). Si en alguna disciplina fuera usual no emplearlo, dar las equivalencias.
- Antes de enviar una contribución, entregársela a alguien ajeno al tema para que la lea y verificar si entendió lo que el autor quiso transmitir.
- Usar el lenguaje más sencillo posible. No emplear palabras extranjeras si hubiese razonables equivalentes castellanos. Evitar neologismos, muletillas y expresiones de moda.
- Las imágenes desempeñan un papel fundamental en la divulgación científica. Esfuércense los autores por obtener los dibujos y las fotografías que mejor ilustren su contribución.
- No incluir notas a pie de página ni referencias. Si se hace una cita textual, poner su fuente completa entre paréntesis en el texto. Agregar entre cuatro y seis lecturas, principalmente, obras de divulgación que se puedan encontrar en librerías o bibliotecas: evitar poner solo trabajos del autor, informes técnicos o artículos en revistas especializadas.

ILUSTRACIONES

Enviar las ilustraciones en formato digital, en forma de archivos .tif, .gif, .eps, .bmp o .jpeg. Es imprescindible que tengan una definición mínima de 300dpi (puntos por pulgada) para un tamaño de 20 x 30cm. Las imágenes descargadas de internet por lo general carecen de esa resolución, a menos que el sitio lo indique claramente, por lo que no suele ser posible utilizarlas. Excepcionalmente también se pueden recibir ilustraciones impresas en papel fotográfico (revelado común), diapositivas o película negativa. Si la única posibilidad fuera reproducir una ilustración de un libro o revista, por favor escanearla con dicha definición.

POLÍTICA EDITORIAL

Las contribuciones son evaluadas en primera instancia por el comité editorial que, si las considera de interés, las envía (siguiendo las reglas internacionales de anonimato e independencia) a dos árbitros que juzguen su calidad técnica. Normalmente, las contribuciones sometidas a arbitraje regresan a los autores con observaciones, sugerencias o correcciones de los árbitros, más pedidos de ajuste de los editores, que los autores tienen entera libertad de aceptar o rechazar: de la decisión que tomen depende la aceptación final del trabajo por parte de la revista. Cuando Ciencia Hoy decide hacer conocer al autor, en parte o en todo, las opiniones de los árbitros, no revela los nombres de estos.
Toda nota aceptada para su publicación, luego de concluido el proceso de arbitraje pasa por un minucioso procesamiento de estilo: en la práctica, casi todas las contribuciones son redactadas nuevamente por el equipo editorial de la revista, para adaptarlas a las necesidades de los lectores. En todos los casos se solicita al autor que apruebe el texto reformado. El uso del idioma en la revista se ajusta a las normas y los criterios de castellano culto y, en especial, a lo establecido por la Real Academia Española, por lo que a veces no coincide con las prácticas de ciertas revistas científicas o tecnológicas.
Como cada número de la revista debe mantener un equilibrio de secciones y áreas del conocimiento, la publicación de los trabajos no necesariamente sigue el orden de su aceptación.
Toda comunicación entre autores y editores es canalizada por la secretaria del comité editorial en nombre de este y expresa la opinión colectiva de los editores.

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

La órbita de la Luna alrededor del Sol

Sabemos que la Luna se desplaza alrededor de nuestro planeta en una órbita casi circular, y que tarda algo menos de un mes calendario en completarla. Sabemos también que la Tierra, como todos los planetas del Sistema Solar, se traslada alrededor del Sol en una órbita de igual forma, a la que se ha dado el nombre de *eclíptica*. En ese traslado va acompañada por la Luna, que por efecto de la fuerza de gravedad jamás se le despega, de suerte que, en realidad, es el sistema Tierra-Luna el que recorre la eclíptica y completa su recorrido en un año. Ambas órbitas, en honor a la precisión, tienen forma elíptica, pero como sus elipses están apenas achatadas (técnicamente se dice que tienen una pequeña excentricidad), podemos tomarlas por equivalentes a circunferencias.

Imaginemos ahora por un instante que, como observadores, nos vamos de la Tierra y nos elevamos en el espacio a gran distancia de ella en una dirección perpendicular al plano de la eclíptica, es decir, nos colocamos en un punto que, por semejanza a los polos celestes, podríamos llamar un *polo eclíptico*.

Para aclarar el concepto de polo eclíptico apuntemos que, de la misma manera que definimos los polos norte y sur celestes como los puntos en que el eje de rotación de la Tierra perfora la bóveda celeste, también podemos definir los polos norte y sur eclípticos como los puntos en que la esfera celeste es alcanzada por un eje perpendicular al plano de la eclíptica. Y dado que nuestro hábito es imaginarnos que el polo norte está arriba y el sur abajo, supongamos que contemplamos la trayectoria de traslación de la Tierra y la Luna alrededor del Sol mirando hacia abajo desde el polo norte eclíptico.

¿Qué forma tendría, vista desde allí, la órbita de la Luna, producto de su doble movimiento (en torno a la Tierra, y con esta alrededor del Sol)? Podríamos pensar que como en el calendario hay doce meses, y como cada ciclo o traslación completa de la Luna en torno a la Tierra dura (aproximadamente) un mes, la trayectoria de la Luna alrededor del Sol podría representarse por la figura 1. Sin duda, esta intuición está de acuerdo con el sentido común, es lógica y nos lleva a un trazado geométrico muy bonito. Pero sucede que no refleja la realidad astronómica.

Para aproximarnos a esta realidad que subyace a la forma de la trayectoria lunar alrededor del Sol, hagamos un nuevo esfuerzo de imaginación y, siempre desde nuestro observatorio

¿DE QUÉ SE TRATA?

Hacer un esfuerzo en el aula, con la participación de los alumnos, por determinar la forma de la órbita de la Luna en torno al Sol constituye un buen camino para comprender conceptos astronómicos básicos.

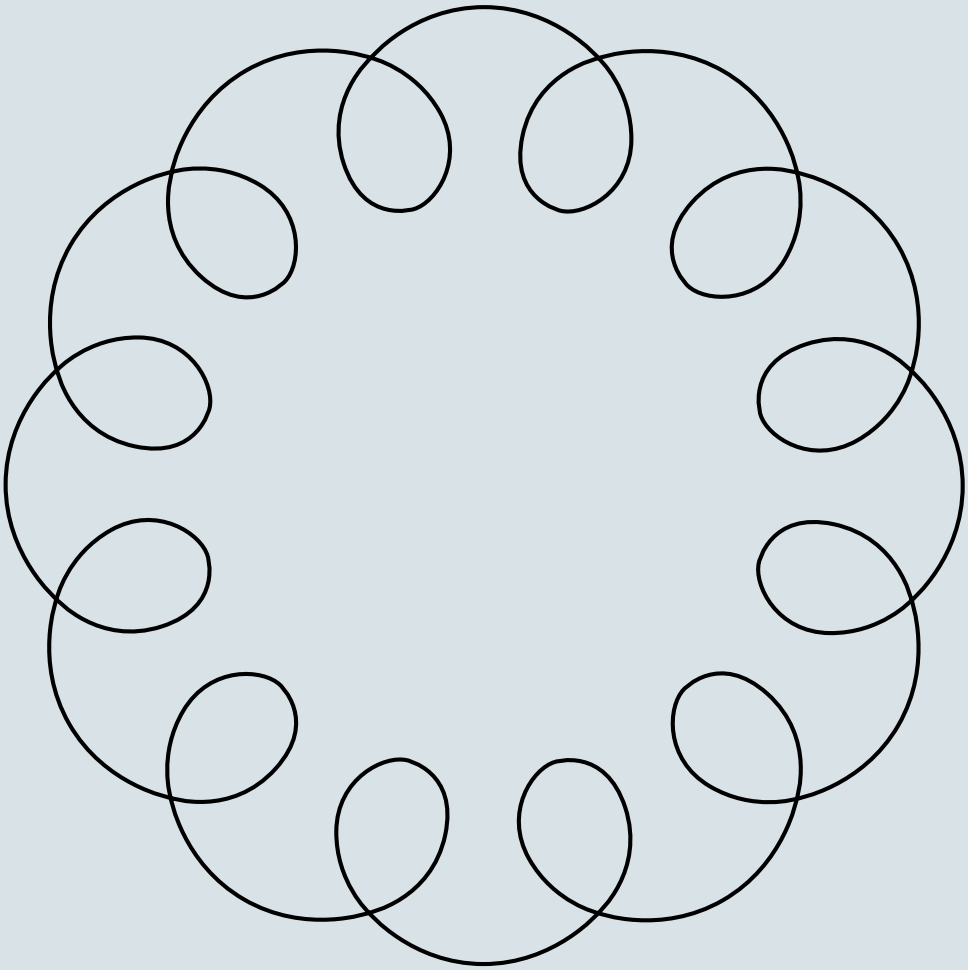


Figura 1. Como la Luna da varias vueltas alrededor de la Tierra en el tiempo en que esta recorre su órbita alrededor del Sol, la idea ingenua sobre la forma de la órbita de la Luna alrededor del Sol es muchas veces caracterizada por esta figura, con doce bucles correspondientes a los doce meses del año. En realidad, esto no se corresponde con su verdadero movimiento. Gráfico según Helmer Aslaksen, Universidad Nacional de Singapur.

del polo norte eclíptico, convirtamos la Tierra en invisible: sigue estando donde siempre (porque si la quitamos quitaríamos también su gravedad, que mantiene a la Luna en órbita) pero no la vemos, y vemos solo a la Luna orbitando una Tierra invisible y trasladándose alrededor del Sol. En esas condiciones, ¿cómo sería la órbita de la Luna alrededor del Sol que podríamos apreciar desde la distancia? En otras palabras: ¿cómo es la trayectoria de la Luna en el espacio que resulta del movimiento *combinado* de esta alrededor de la Tierra y de ambos astros alrededor del Sol?

Consideremos algunas preguntas útiles para plantear la situación (que quizá entren en conflicto con otros conocimientos que tienen los estudiantes):

- ¿Cómo deberían ser las velocidades de los astros en sus respectivas órbitas para que se dé una situación como la que muestra la figura 1?

- Cuando la Luna se halle transitando el interior de uno de los bucles de esa figura, su movimiento aparente en el cielo, visto desde la Tierra, sería en sentido contrario al usual. ¿Alguien recuerda haber visto a la Luna retroceder en su camino diario por el cielo? Algún alumno podría sugerir que esa parte de la trayectoria lunar coincide con la fase de Luna nueva, cuando el Sol y la Luna se hallan muy próximos en el cielo, y que por eso no es una situación fácilmente visible.

- Sabemos que el Sol es inmensamente más grande y masivo que nuestro planeta. ¿No debería ser el Sol, y no la Tierra, el cuerpo cuya gravitación más atrajese a la Luna? En ese caso, ¿no debería ser el Sol el principal responsable de la forma de la órbita lunar?

Con estas u otras preguntas similares sobre la mesa, el docente puede dejar que los alumnos, en pequeños grupos, se tomen un tiempo para discutir y manifestar así sus conocimientos y dudas sobre la verdadera trayectoria de la Luna alrededor del Sol.

Transcurrido ese tiempo, puede comenzar a dilucidar las preguntas con todos, partiendo del hecho de que la Tierra se desplaza alrededor del Sol a una velocidad de unos 30km/s (unos 108.000km/h); la Luna se mueve alrededor de la Tierra, en promedio, unas 30 veces más despacio: a algo más de 1km/s (unos 3600km/h). Si consideramos ahora la velocidad de la Luna con respecto al Sol, podemos concluir que diferirá en apenas un pequeño porcentaje de la velocidad de la Tierra alrededor del Sol, por lo que jamás podría

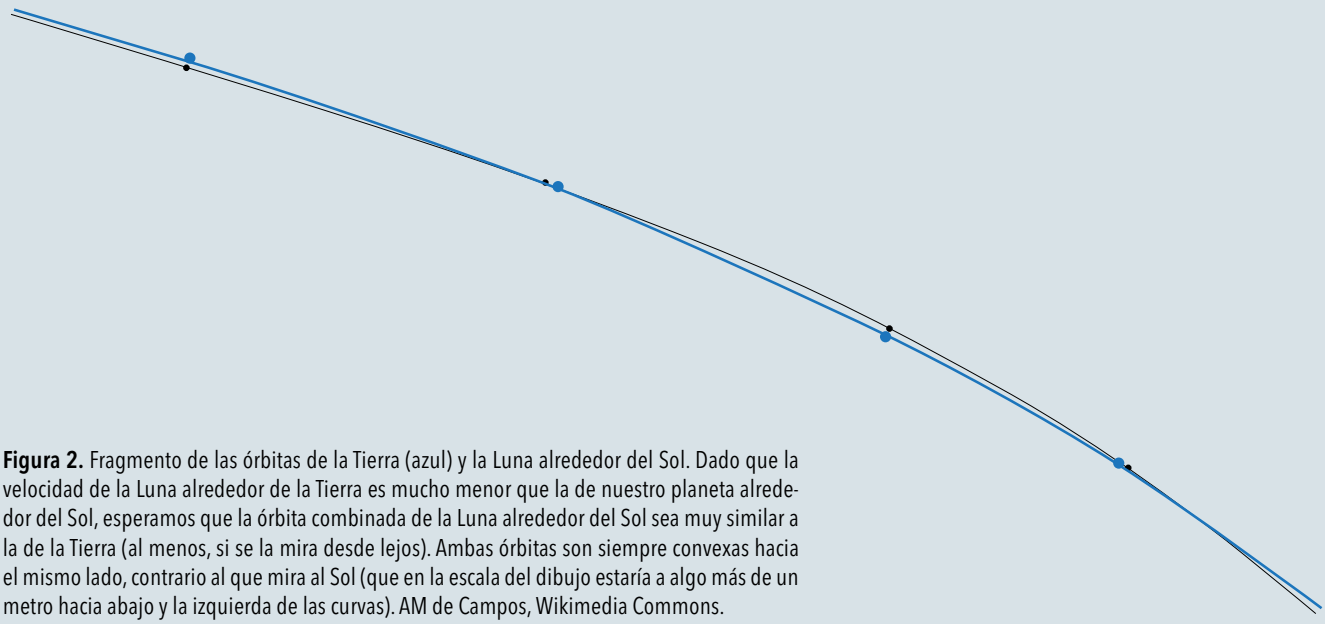


Figura 2. Fragmento de las órbitas de la Tierra (azul) y la Luna alrededor del Sol. Dado que la velocidad de la Luna alrededor de la Tierra es mucho menor que la de nuestro planeta alrededor del Sol, esperamos que la órbita combinada de la Luna alrededor del Sol sea muy similar a la de la Tierra (al menos, si se la mira desde lejos). Ambas órbitas son siempre convexas hacia el mismo lado, contrario al que mira al Sol (que en la escala del dibujo estaría a algo más de un metro hacia abajo y la izquierda de las curvas). AM de Campos, Wikimedia Commons.

reflejarse en un dibujo como el de la figura 1.

Con un poco más de precisión: considerando cada astro de modo independiente, la velocidad de traslación de la Luna alrededor del Sol variará, en números redondos, entre el 97% y el 103% de la velocidad de la Tierra en su traslación alrededor del Sol. En otras palabras, la Luna jamás logrará contrarrestar la rapidez de nuestro planeta, y por ello su trayectoria nunca podría representarse con los bucles o movimientos retrógrados de la figura 1.

El matemático Helmer Aslaksen, de la Universidad Nacional de Singapur (cuyo sitio web figura entre las lecturas sugeridas), sugirió una comparación interesante para entender ese movimiento: imaginemos un automóvil de fórmula 1 que se desplaza a alta velocidad por la pista *circular* de un autódromo. En un momento, acelera y se adelanta a otro competidor por el lado exterior de la pista. Luego de regresar a su carril disminuye su velocidad hasta igualarla a la del auto al que sobrepasó. Instantes después el segundo auto hace exactamente lo mismo, y de entonces en más el proceso se repite de modo permanente.

Como resultado, el primer auto, que podríamos llamar Luna, parece estar haciendo círculos alrededor del segundo, que podríamos llamar Tierra. Pero si miráramos la pista desde un helicóptero inmóvil un par de cientos de metros sobre el autódromo, veríamos que ambos autos (o astros) se desplazan todo el tiempo hacia adelante, y que la trayectoria (u órbita) de cada uno es siempre una curva en torno al centro de la pista circular (el Sol).

Se dice que una curva o superficie es convexa cuando tiene una forma más saliente en el centro que en los bordes (una panza prominente o un chichón presentan superficies convexas). En cambio, una superficie cóncava tiene hundida su parte central (los charcos de agua se forman en concavidades del suelo). En nuestro caso, las trayectorias (u órbitas) de los autos alrededor del centro (el Sol) tienen siempre la misma curvatura, y esta es convexa (siempre se curva hacia el centro). La convexidad de la órbita en la figura 1, sin embargo, cambia constantemente: cuando va por afuera es convexa; cuando va por la parte interior (en medio del 'rulo') es cóncava. Y esto no está de acuerdo con el análisis de las velocidades que acabamos de ver.

A la luz de estas consideraciones es posible entender con más facilidad que la órbita de la Luna alrededor del Sol se curva siempre para el mismo lado: hacia el centro de la órbita, donde se halla el Sol. Dadas las diferencias de velocidades explicadas, en nuestro experimento mental de hacer invisible la Tierra, veríamos que la órbita de la Luna en torno al Sol, vista desde lejos, sería muy similar a la de la Tierra en torno a este. Si nos acercáramos para ver con más detalle una pequeña porción de ambas órbitas, percibiríamos lo que muestra la figura 2.

Vayamos ahora a la tercera pregunta formulada anteriormente, la que sugería que, a fin de cuentas, la mayor responsabilidad sobre la forma del movimiento efectivo de nuestro satélite natural es del Sol y no de la Tierra. ¿Será así?

Para confirmarlo, no pensemos en términos de velocidades sino en términos de fuerzas. No es difícil calcular las fuerzas que unen gravitacionalmente a la Luna con la Tierra y el Sol. Sabemos, como lo estableció Isaac Newton (1643-1727), que en palabras sencillas esas fuerzas son directamente proporcionales a las masas de los astros e inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias que los separan. En virtud de las masas y las distancias en cuestión, ¿cuál de las dos fuerzas es más importante?

Si hacemos las cuentas, advertiremos que la fuerza Luna-Sol (que consi-

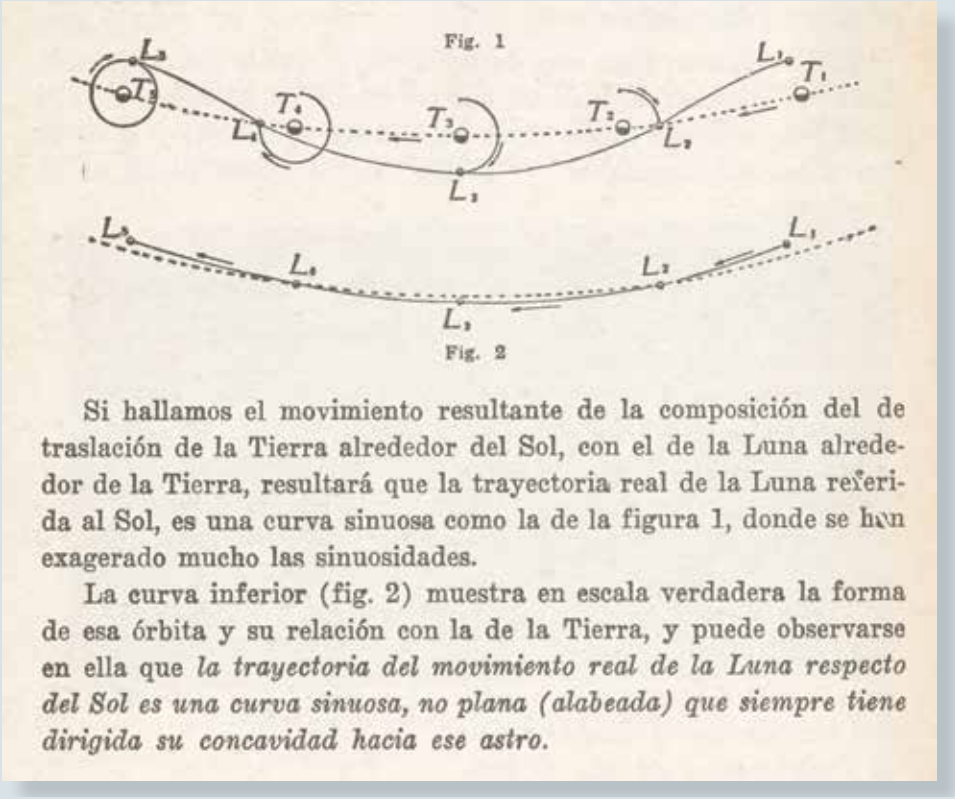


Fig. 1

Fig. 2

Si hallamos el movimiento resultante de la composición del de traslación de la Tierra alrededor del Sol, con el de la Luna alrededor de la Tierra, resultará que la trayectoria real de la Luna referida al Sol, es una curva sinuosa como la de la figura 1, donde se han exagerado mucho las sinuosidades.

La curva inferior (fig. 2) muestra en escala verdadera la forma de esa órbita y su relación con la de la Tierra, y puede observarse en ella que *la trayectoria del movimiento real de la Luna respecto del Sol es una curva sinuosa, no plana (alabeada) que siempre tiene dirigida su concavidad hacia ese astro.*

Figura 3. Reproducción de parte de una página de la edición de 1961 del texto *Elementos de cosmografía,* de ES Cabrera y HJ Medici (Librería del Colegio), usado en la Argentina en el último año del secundario, y atesorado por mucho tiempo en la biblioteca familiar del autor. La línea continua representa la órbita de la Luna; la punteada, la de la Tierra.

derada desde la Luna siempre tira hacia el Sol) es más de dos veces mayor que la fuerza Luna-Tierra (que desde la Luna a veces tira en dirección contraria al Sol). En conclusión, la fuerza neta sobre la Luna la estará siempre traccionando aproximadamente en dirección al Sol. La realidad, pues, es que la Luna orbita alrededor del Sol, pero de manera algo perturbada por el campo gravitatorio de la Tierra.

Permítasenos apuntar al margen, como una curiosidad que puede resultar simpática para los docentes, que las cuestiones presentadas aquí estaban incluidas en un texto usado en la década de 1950 en el último año del bachillerato, escrito por los profesores de matemática Emanuel Cabrera y Héctor Medici bastante antes de que naciera el autor de esta contribución. Algún veterano editor de Ciencia Hoy recuerda haber usado ese texto en sus tiempos escolares. La figura 3 reproduce una parte de ese texto que explica lo mismo que esta nota.

Como comentario adicional a lo discutido, aquí podríamos agregar que la trayectoria de la Luna en el espacio, hablando con rigor, no es una circunferencia alrededor del Sol, ni siquiera una elipse de pequeña excentricidad en torno al astro, pues este tampoco está fijo en un lugar. El Sol, junto con la Tierra y la Luna, se desplaza alrededor del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, la cual tampoco permanece inmóvil, y así *ad infinitum*. En resumen, podemos afirmar sin sombra de duda que la Luna, desde su origen, no ha pasado dos veces por el mismo sitio del espacio, y que jamás lo hará (claro que algún alumno aventajado nos podría poner en apuros preguntándonos qué entendemos por el mismo sitio del espacio). CH

LECTURAS SUGERIDAS

ASLAKSEN H, 'Heavenly Mathematics and Cultural Astronomy', *www.math.nus.edu.sg/aslaksen/teaching/heavenly.html* (consultado en marzo de 2015).

BRANNEN NS, 2001, 'The Sun, the Moon and Convexity', *The College Mathematics Journal*, 32: 268-272.

HODGES L, 2002, 'Why the Moon's Orbit is Convex', *The College Mathematics Journal*, 33: 169-170.

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

Mariana Koppmann

Mitos culinarios

Desafío al lector

En esta entrega de ciencia en la cocina proponemos al lector que realice el ejercicio de determinar, antes de seguir leyendo, cuáles de las siete aseveraciones indicadas al final de este párrafo son verdaderas y cuáles son falsas, e identificar los argumentos que llevan a esas conclusiones. Elegimos y analizamos esta clase de afirmaciones, que podemos llamar mitos culinarios, con Silvia Grünbaum en 2006 y 2007, como una actividad de divulgación científica en el marco de la Asociación Argentina de Gastronomía Molecular. Los mitos que elegimos para comentar en esta nota son:

Foto *www.morguefile.com*

- Hay que dorar la carne para cerrar los poros y retener los jugos.
- Ponerles limón retrasa el amarronamiento de los vegetales.
- El carozo de la palta tiene propiedades antioxidantes.
- Agregar aceite al agua de cocción de fideos evita que se peguen.
- Ponerse un corcho en la boca evita llorar cuando se cortan cebollas.
- No hay que hervir el agua para el mate porque la yerba se lava más rápido.
- Cuidar que las claras no incluyan yema para que se haga espuma al batir a nieve.

¿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.

Análisis de los siete mitos

Hay que dorar la carne para cerrar los poros y retener los jugos

Lo que llamamos carne está constituido por los músculos de los animales, perdido el rigor mortis luego de la faena. Las células musculares están unidas entre ellas por tejido conectivo y cumplen la función de proteger los órganos y de permitir el movimiento del cuerpo. Pero los músculos no tienen poros que deban ser cerrados para evitar la pérdida de agua durante la cocción. De ahí que la afirmación sea falsa. Sin embargo, si doramos la carne al cocinarla –o, como se dice en la jerga culinaria, la sellamos–, nos da al probarla la sensación de ser más jugosa. La jugosidad que percibimos es el resultado de la reacción de Maillard, que explicamos en nuestra nota 'El dorado de la carne', publicada en el número 130 de Ciencia Hoy. Dicha reacción ocurre entre los aminoácidos libres y los azúcares reductores, ambos presentes en el músculo, cuando son sometidos a altas temperaturas. Genera compuestos aromáticos que provocan salivación. Por ello, a pesar de que una carne dorada pierda la misma cantidad de agua al cocinarla que una sin dorar, al comerlas la primera se percibe como más jugosa y, naturalmente, más sabrosa.

Ponerles limón retrasa el amarronamiento de los vegetales

La tonalidad amarronada que se produce en algunos vegetales al cortarlos (papas, hongos, paltas, alcauciles, manzanas, peras y otros) aparece cuando entran en contacto compuestos fenólicos naturales de los vegetales, que son incoloros, y una enzima que contienen, llamada *polifenoloxidasa*, con el oxígeno del aire, es decir, se oxidan. Dentro de las células esas sustancias están separadas y no reaccionan entre ellas, pero al cortar o romper las células entran en contacto entre sí y con el oxígeno del aire, y se produce una reacción de polimerización por la que los fenoles forman moléculas más grandes, que se oxidan y toman color. Las enzimas tienen una acidez óptima de reacción, que cambia cuando alteramos el pH por el agregado de limón, ácido cítrico o vinagre, y con ese cambio la enzima actúa con menos eficiencia. El mito es cierto pues el aumento de acidez retrasa el amarronamiento.

El carozo de la palta tiene propiedades antioxidantes

En sintonía con la explicación de la verdad anterior, tengamos en cuenta que no se producirá la oxidación

de los vegetales al cortarlos si no actúa sobre la zona del corte el oxígeno del aire. Si al pisar o cortar una palta se evita su contacto con el aire, la oxidación no va a ocurrir. Por esta razón, apoyar sobre ella su carozo o cualquier otro objeto que impida el contacto con el aire evitará el amarronamiento en el lugar cubierto, lo mismo que si envolvemos la palta cortada o pisada con una película impermeable al oxígeno adherida a ella. El mito es falso: no tiene propiedades antioxidantes el carozo de la palta, como no las tiene el frasco de la ilustración.

Agregar aceite al agua de cocción de fideos evita que se peguen

Es bien conocido que el agua y el aceite no se mez-

clan. El segundo, además, por ser menos denso que el agua, queda flotando en la superficie de esta, mientras los fideos caen al fondo de la olla. Cuando se termina de cocinar la pasta el aceite sigue flotando sobre el agua y es lo primero que se arroja a la pileta. Es decir, poner aceite en el agua de cocción de las pastas no evita que estas se peguen y solo constituye un gasto inútil de aceite. El mito, pues, es falso. Lo que evita que los fideos se peguen es usar abundante agua para cocinarlos; una vez colados un poco de aceite sí los mantendrá separados.

Ponerse un corcho en la boca evita llorar cuando se cortan cebollas

Cebollas, puerros y cebollitas de verdeo contienen compuestos sulfurados que, con la rotura de las células vegetales por el corte, entran en contacto con enzimas también presentes en la planta y se transforman en compuestos volátiles irritantes, los cuales causan el molesto llanto. Lloramos como reacción a la llegada de dichos compuestos irritantes a los ojos, pues las lágrimas los lavan. La aseveración es falsa, igual que otros consejos de la sabiduría popular para aliviar el lagrimeo, como colocarse un pan en la boca o mantener una canilla abierta mientras se cortan los vegetales lacrimógenos. Mejor es ponerse unas antiparras de natación para evitar que las sustancias irritantes lleguen al ojo, o guardar en la heladera el día anterior las cebollas, porque el frío retrasa las reacciones químicas y disminuye la volatilización, por lo que habrá menor producción de lacrimógenos y llegará menos de ellos a los ojos.

No hay que hervir el agua para el mate porque la yerba se lava más rápido

El gusto de una infusión de yerba mate, té o lo que fuere proviene de los compuestos con sabor presentes en las hojas en proceso de disolución en el agua. En la mayoría de las disoluciones, y en particular las de yerba mate, la temperatura aumenta la solubilidad de esos compuestos, los cuales se disolverán más pronto en agua muy caliente y, por lo tanto, más rápidamente quedará poco sabor. La recomendación está bien fundada.

Cuidar que las claras no incluyan yema para que se haga espuma al batir a nieve

Es un consejo muy difundido en el mundo culinario, pero enunciado como principio general carece de fundamento. La espuma se produce por la presencia de compuestos que puedan atrapar aire, como fosfolípidos (presentes, por ejemplo, en el jabón) y proteínas, los que se encuentran tanto en las yemas como en las claras. Así, para hacer un bizcochuelo clásico se comienza batiendo los huevos con el azúcar hasta obtener una buena espuma. Sin embargo, algunos compuestos con capacidad espumante forman estructuras de espuma más estables que otros: en nuestro ejemplo, las proteínas de las claras tienen ventajas sobre los fosfolípidos de las yemas. Por ello, si queremos hacer un merengue que se sostenga durante mucho tiempo o merenguitos secos, el consejo tiene validez. Además, si la espuma se cocina, como en el caso de estos últimos, las proteínas que no formaron parte del espumado contribuyen a fijar la estructura final. En cambio, si parte de la espuma lograda se obtuvo como resultado de que los fosfolípidos de la yema hayan atrapado aire, con el paso del tiempo, igual que sucede con la espuma del jabón, lo van soltando y la espuma se pierde. Los fosfolípidos tampoco generan una nueva estructura que se sostenga al secar la preparación. Si la espuma se va a utilizar en una preparación compleja, un poco de yema no hará variar el resultado, pero si se prepara merengue seco, la presencia de yema resultará en menos estructura. Información adicional en nuestra nota 'El huevo: un abanico de aplicaciones culinarias', en el número 128 de Ciencia Hoy. CH

Mariana Koppmann

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

CIENCIAHOY inaugura la serie de volúmenes temáticos con 30 artículos sobre Ciencias del Mar ya publicados en la revista.

contacto@cienciahoy.org.ar
RevistaCienciaHoy
www.cienciahoy.org.ar
Tel-fax (011) 4961 1824 y 4962 1330

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

130 profesionales, 249.600 horas de investigación al año.

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

Tecnología en el producto. Innovación en el servicio.

www.tenaris.com/argentina

Tenaris