CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 23, número 137, Febrero - Marzo 2014
Ejemplar en la Argentina $40

Turberas de Tierra del Fuego

Huevos que nadie come

Ondas de radio

Cabezas de la hidra

ISSN 0327-1218

25 ANIVERSARIO

Suscríbase al **conocimiento**

CIENCIAHOY

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

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

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

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

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

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

Editores responsables

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

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

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

José Antonio Pérez Gollán
Conicet

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

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

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

Consejo científico

Coordinadora: Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

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

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

Administración: Adelina Blanco

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

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

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

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $ 260
EXTRANJERO: 6 números, US$ 40 + envío

Artículos digitalizados: $15

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

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

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

ISSN 0327-1218
N° de Registro DNDA: 5104209

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
Artes Gráficas Buschi S.A.
Ferré 2250/52 C.P: C1437FUR
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

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

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

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

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

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Febrero-marzo 2014
Volumen 23 - Número 137

CH 25 años

EDITORIAL

4 El sistema científico y el libre acceso a la ciencia

6 GRAGEAS

ARTÍCULOS

11 Las turberas de Tierra del Fuego y el clima del pasado
Juan Federico Ponce, Andrea Coronato, Marilén Fernández, Jorge Rabassa y Claudio Roig

Las turberas son ecosistemas con capas de vegetación parcialmente descompuesta, llamada *turba*, que, en su superficie, forman ciénagas. Se encuentran principalmente en el hemisferio norte y son escasas en la Argentina, aunque abundan en Tierra del Fuego. Pueden ser explotadas como recurso natural y contienen valiosa información sobre la historia geológica, climática y ambiental de su región, útiles para estudiar los cambios climáticos del pasado.

19 Las cabezas de la hidra
Eduardo Spivak

Los animales cicatrizan sus heridas y renuevan ciertas estructuras de sus cuerpos, como la cutícula de los artrópodos y las escamas, los pelos, las plumas y los cuernos de los vertebrados. Pero los integrantes de algunos grupos zoológicos pueden reponer partes de órganos internos y hasta miembros completos e, incluso, reconstruir una cabeza seccionada. El proceso por el que lo hacen responde a los mismos principios genéticos y moleculares que el desarrollo de un embrión, que pasa de ser una sola célula a formar un organismo completo.

41 ¿Por qué hay huevos que nadie quiere comer?
Horacio Heras

La ampularia o caracol manzana es un molusco que abunda en lagunas, bañados, esteros, arroyos, canales y hasta zanjas con nutrida vegetación de la mayor parte de la cuenca del Plata. Deposita sus huevos fuera del agua, en llamativas masas de brillante color rosado que se suelen advertir en rocas, juncos, ramas o postes, y que la sabiduría popular asigna equivocadamente a sapos o ranas. Esos huevos tienen proteínas tóxicas para todos los predadores, salvo para una especie de hormigas coloradas llamadas hormigas de fuego.

55 La gestión del espectro de radio
Tomás Gergely

Desde que, en 1899, el inventor y empresario italiano Guglielmo Marconi comunicara por telégrafo inalámbrico las dos orillas del canal de la Mancha, e inaugurara así la utilización práctica del grupo de ondas electromagnéticas que ahora llamamos el espectro de radio, se han multiplicado sus usos al punto de que hoy casi no hay actividad cotidiana que se realice sin su auxilio. Al mismo tiempo, la necesidad de evitar interferencias entre esa multitud de usos dio lugar a que los gobiernos los reglamentaran y les asignaran diferentes zonas del espectro y distintas prioridades.

EL PASADO EN IMÁGENES

26 Los antiguos mataderos de Buenos Aires
José X Martini

La faena de animales para abastecer a las carnicerías de la ciudad, que se realizaba antiguamente al aire libre y en cualquier lugar, se concentró a fines del siglo XVIII en los corrales del Sud, en la zona del actual parque España. Avanzado el siglo XIX la actividad fue trasladada a lo que hoy es el parque Patricios, donde en 1872 se inauguraron los corrales Nuevos. Para 1900 los mataderos fueron trasladados a terrenos cercanos a la estación Liniers del Ferrocarril de Oeste. Generaron un barrio llamado al principio Nueva Chicago y con el tiempo Mataderos.

CIENCIA EN EL AULA

49 **Constelaciones zodiacales, eclipses y la estrella de Belén**

Alejandro Gangui

Enseñar astronomía en la escuela enfrenta algunas dificultades derivadas de que, en muchos casos, solo se ve una porción reducida del cielo y solo de día. Además, difícilmente se disponga de la posibilidad de hacer observaciones regulares a lo largo de muchos meses, como sería necesario para analizar determinados fenómenos. Una forma de paliar esas dificultades es recurrir a programas computacionales de simulación astronómica, es decir, a observatorios virtuales.

CIENCIA Y SOCIEDAD

61 **Las masas quebradas de pastelería**

Mariana Koppmann

Además de la de pan, existen diversos tipos de masas de pastelería, entre las que se destacan dos grandes grupos que abarcan a buena parte de ellas: el de las masas batidas, como los bizcochuelos, y el de las masas quebradas o friables, como la pasta frola. El artículo hace referencia a estas últimas.

ESPACIO INSTITUCIONAL

34 **CONICET dialoga**

El sistema científico y el libre acceso a la ciencia

En los últimos tiempos se ha extendido en el mundo de la investigación científica un debate sobre la función que cumplen las revistas especializadas en las que los investigadores dan a conocer los resultados de su labor. Es un debate que se relaciona con los criterios básicos de funcionamiento del sistema científico, cuyos integrantes se ajustan a particulares formas de operar. Estas fueron establecidas principalmente a lo largo del siglo XX a medida que la actividad de crear conocimiento se fue profesionalizando y adquiriendo los atributos de un campo intelectual diferenciado (para usar las palabras del sociólogo francés Pierre Bourdieu).

Este editorial tratará de explicar algunas de esas formas de operar y su relación con el debate sobre las revistas científicas, con la aclaración de que se refiere a la ciencia que se hace en ámbitos académicos. No considera aquella practicada en empresas, ni en organismos públicos que investigan con propósitos determinados (como la CONEA o el INIDEP), ni desarrollos tecnológicos, de los que se pueden derivar patentes, que operan de otra manera.

La mayoría de los investigadores científicos profesionales que trabajan en dicho ámbito lo hacen a tiempo completo en un instituto de investigación de una universidad, de una organización pública dedicada a promover la ciencia –como en la Argentina el Conicet (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)– o de una entidad privada sin fines de lucro dedicada a la investigación. Casi sin excepciones, cobran un sueldo que puede provenir tanto de la entidad en que investigan o de otra fuente, como un órgano estatal de fomento científico. No es raro, pues, que muchos se desempeñen en una universidad o una fundación pero reciban su sueldo del Conicet, algo que no tiene muchos equivalentes en otros ámbitos laborales.

Otra peculiaridad de la labor científica es que (si dejamos de lado a quienes están ingresando en el sistema como estudiantes de doctorado o posdoctorales) los investigadores académicos deciden ellos mismos los temas que estudiarán y cómo harán para estudiarlos. Resuelven de por sí, y sin que un jefe lo disponga, el uso de su tiempo, entre otras cuestiones, la proporción de este que dedicarán a la investigación, a la enseñanza, a la comunicación de la ciencia al público general (por ejemplo, escribiendo un artículo en Ciencia Hoy) y a la conducción de los organismos académicos (una tarea que no podrían realizar administradores profesionales ajenos al sistema). Técnicamente, se dice que actúan en un marco de libertad académica, la que es imprescindible para que pueda existir un sistema científico saludable y constituye uno de los valores más apreciados por sus integrantes.

¿Significa esto que los científicos pueden hacer lo que se les antoje, cobrar su sueldo tan campantes y no rendir cuentas a nadie? No exactamente. Las instituciones en que trabajan o les pagan ese sueldo evalúan periódicamente su desempeño y, con las salvaguardas procesales del caso, si este no es satisfactorio pueden imponerles sanciones y hasta dar por terminada la relación laboral. Por otro lado, solo cobrar un sueldo no proporciona todo lo necesario para hacer ciencia: hace falta tener, entre otras muchas cosas y según la disciplina, colaboradores –principalmente estudiantes de posgrado y personal de apoyo–, instrumental, equipos y materiales de laboratorio, acceso a bibliografía, computadoras y viajes a reuniones científicas, para citar los más frecuentes. Todo eso se financia principalmente con dinero que los investigadores reciben en forma de subsidios concedidos por organizaciones diversas (por ejemplo, en la Argentina, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica). Esos subsidios se otorgan a pedido del interesado y por diversos procedimientos que implican competir con otros solicitantes, en un contexto –aquí y en todos los países– de recursos escasos.

Se puede deducir de lo anterior que una de las piedras angulares del funcionamiento de un sistema científico es la mencionada evaluación, por la que el propio sistema determina la calidad de la ciencia que produce y el valor de la contribución de cada investigador. Otra particularidad del campo de la ciencia es que los evaluadores o árbitros (como también se los llama) deben ser especialistas en el tema del evaluado, sobre todo si este apunta a avanzar la frontera del conocimiento. Solo un físico de partículas, por ejemplo, y que además esté activo en la disciplina, puede evaluar un proyecto de física experimental del tipo de los que se llevan a cabo en aceleradores de partículas como el del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN). En otras palabras, la única evaluación posible en el sistema científico es la evaluación por pares.

Nótese que esa evaluación va mucho más allá del desempeño de un investigador o de un grupo de ellos. Es la forma de determinar el valor de todo nuevo conocimiento, al punto de que se toma como principio universalmente aceptado que ningún resultado científico que no haya emergido con éxito de una rigurosa evaluación por pares puede ser considerado parte del corpus de conocimiento reconocido de una disciplina.

Desde mediados del siglo XX y sobre todo en estos momentos, con el enorme crecimiento de la investigación científica y tecnológica en un gran número de países, esa evaluación se ha convertido mundialmente en una tarea ciclópea. Para realizarla se inventó un ingenioso mecanismo: las revistas científicas. Es decir, publicaciones especializadas que,

por su temática y grado de tecnicismo, no suelen ser leídas por otros que los propios investigadores, y que solo publican artículos cuya calidad científica haya sido aprobada por los pares relevantes. En líneas generales, se acepta como nuevo conocimiento solo aquel publicado en tales revistas.

De ellas existen literalmente centenares, pero las que gozan de la credibilidad y del prestigio más altos no son más de un puñado por disciplina, casi siempre publicadas en inglés. En un principio fueron editadas fuera de los circuitos comerciales por las asociaciones científicas de cada rama del saber, las que montaron elaborados procedimientos para cumplir con la evaluación, entre ellos que los evaluadores sean anónimos para el autor, no reciban remuneración por realizar su trabajo y lo tomen como una carga pública de conveniencia general, ya que todos son alternativamente evaluador y evaluado. También buscaron formas de evitar conflictos de intereses entre autores y árbitros.

Con el andar del tiempo, las revistas crecieron en el volumen de material que procura ingresar en sus páginas y, por ende, en el esfuerzo editorial y el costo de publicarlas, un costo que comenzó a superar los medios de las asociaciones, las que buscaron fórmulas para pagarlo, principalmente el aumento del precio de la suscripción. Así, debido a la revista más de una asociación se vio empujada hacia formas empresariales y comerciales que no estaba interesada en adoptar ni preparada para asumir. Como consecuencia se verificó en las últimas décadas un pasaje de las revistas de las asociaciones científicas a empresas comerciales, principalmente algunas especializadas en libros académicos, entre las que se destacan Elsevier, con sede en Amsterdam, y Springer, nacida en Berlín en el siglo XIX. También aparecieron revistas científicas no originadas en asociaciones.

Ese cambio de sede no modificó el concepto de aceptar y difundir conocimiento luego de su evaluación por pares: los evaluadores continúan siendo los mismos científicos que, como antes, realizan la tarea sin retribución adicional a su sueldo. Pero tampoco hizo desaparecer el costo de la publicación ni de la administración de sistema, incrementado por el hecho de que pasó de manos de voluntarios o aficionados de la edición a la de profesionales de esta. Y no cambió el concepto de que la revista obtiene el grueso de sus ingresos por la venta de suscripciones, las que son de dos categorías: individuales (más baratas) e institucionales, pero ambas representan cargas no despreciables para quien las debe soportar.

Así, a título de ejemplo, recibir las 14 revistas de biología del grupo Cell, que aparecen mensual o quincenalmente, como requeriría una biblioteca especializada, implica pagar entre 1400 y 2300 dólares anuales por cada una (unos 22.000 dólares anuales por el conjunto). Recibir el paquete de la docena de revistas de física que publica la Asociación Física de los Estados Unidos obliga a erogar cerca de 50.000 dólares anuales. Sin embargo, se observa entre revistas gran disparidad de precios de suscripción, los que no parecen responder a la calidad de los contenidos. Este estado de cosas llevó a que, en 2013, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva argentino gastara en suscripciones electrónicas a revistas científicas, para cubrir una proporción importante de las necesidades bibliográficas de los investigadores del país, casi 20 millones de dólares, un monto gravoso desde cualquier punto de vista que se lo mire.

Durante los últimos años, se esgrimió el sin duda sólido argumento de que si la investigación es mayoritariamente financiada con dinero público, como de hecho sucede en casi todos lados, sus resultados deben considerarse también públicos y por ende de libre acceso. Concordantemente, muchos países sancionaron normas legales que aseguren ese acceso. Así, la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la presidencia de los Estados Unidos instruyó en febrero de 2013 a todas las agencias gubernamentales de ese país que den acceso público a los resultados de investigación financiada con dinero del Estado no más tarde que al año de obtenidos. En la Argentina rige ahora una ley sobre el libre acceso a la información científica por la cual las instituciones que reciben financiamiento del Estado nacional deben depositar su producción completa en repositorios digitales de consulta abierta y gratuita, en los que pueda ser leída, copiada, distribuida e impresa para propósitos ligados a la investigación científica, a la educación o a la gestión de políticas públicas. Lo anterior es muy positivo y loable en sí mismo, pero no reemplaza el procedimiento de evaluación por pares antes de la publicación, centrado en las revistas, por otro que elimine o por lo menos morigere el costo de estas.

Para intentarlo se han ensayado enfoques nuevos, como el de publicar revistas de acceso abierto (del inglés *open access*), que mantienen la revisión por pares pero son gratuitas y accesibles por internet. Se financian cobrando aranceles a los autores, que a su vez se ven impulsados a incluirlos en sus solicitudes de subsidio. En otras palabras, no hay mayores cambios en los costos sino una transferencia de estos del lector al autor, aunque en definitiva siempre termina pagándolos el Estado.

También se ha probado en algunas disciplinas la idea de poner la producción científica sin más en repositorios digitales, y evitar que pase por un editor. Así, en *arXiv.org* están accesibles a cualquiera trabajos de físicos, matemáticos y en menor medida biólogos de todo el mundo. Se advierte de inmediato que la debilidad crucial de la iniciativa es la ausencia del control de calidad que brinda la revisión por pares. Pero no resulta descabellado imaginarse que pudiese ser sustituido por una revisión permanente en línea –al estilo de Wikipedia–, con correcciones continuas y anónimas. Si este último esquema funcionara –algo que está lejos de poder afirmarse hoy–, se habría abierto un camino verdaderamente innovador para superar el actual dilema.

En síntesis, las particularidades del funcionamiento del sistema científico y la mayor accesibilidad de la información científica promovida en los últimos tiempos en muchos ámbitos, unidas a los cambios acaecidos en la actividad editorial, entre ellas el crecimiento del volumen de investigación que se publica y la proliferación de ediciones digitales, han creado conflictos en el mercado de las revistas científicas cuyas consecuencias se discuten hoy activamente y cuyos remedios aún son inciertos. CH

Espías cruzados

Usualmente, los sistemas de comunicación que utilizan un canal sensorial primario incluyen componentes secundarios que estimulan otros sentidos. Por ejemplo, si mover los labios es algo necesario para hablar, la percepción visual de ese movimiento puede tener efectos importantes en la recepción del mensaje oral. Como las comunicaciones no siempre se dan por canales privados, espías pueden hacer uso de esos componentes secundarios para interceptar mensajes que no les están dirigidos. Es por esto común entre deportistas profesionales taparse la boca al hablar con sus compañeros de equipo o con su entrenador, para evitar que su mensaje sea interceptado por los adversarios.

Este tipo de estrategias para espiar son comunes en el reino animal, por ejemplo en las ranas macho que atraen a las hembras mediante cantos nocturnos.

Un estudio reciente muestra que los machos de rana túngara o sapito de pústulas (*Engystomops pustulosus*), natural de Centroamérica y del norte de Sudamérica, detectan por su sistema táctil los movimientos ondulatorios del agua producidos por el croar de otros machos. Esa capacidad les permite evaluar la presencia cercana de competidores y regular la frecuencia de su canto. Si bien su croar hace acudir a las hembras, crea un riesgo para el macho, ya que también atrae predadores. En consecuencia, para no ser detectados en la oscuridad de la noche por posibles atacantes, croan de forma interrumpida. Pero, si detectan la presencia de competidores cercanos, aumentan la frecuencia de sus llamados, aun cuando esto implique un mayor riesgo de ser cazados.

Los murciélagos, que se alimentan de ranas, han desarrollado la capacidad de ecolocalizar a sus presas a partir de los movimientos ondulatorios del agua producidos por el croar de los machos. Esa habilidad de los murciélagos implica un riesgo grande para el batracio, ya que el movimiento ondulatorio persiste en el agua por algunos segundos luego de cesar el canto que lo causó.

Como se aprecia, cantar en la oscuridad de la noche enfrenta a los machos de rana a un complejo panorama de costo-beneficio, pues distintos componentes de las señales que emiten son detectados mediante diversos sistemas sensoriales por animales a los que no estaban destinados, con consecuencias adversas al propósito del mensaje y a la supervivencia misma del que lo emite.

Más información en W Halfwerk *et al.*, 2014, 'Risky Ripples Allow Bats and Frogs to Eavesdrop on a Multisensory Sexual Display', *Science*, 343.

Federico Coluccio Leskow
federico@fbmc.fcen.uba.ar

La interconexión de la naturaleza

Seguramente no sorprenderemos al lector si decimos que especies como el lince, el lobo y la nutria están en peligro de extinción, tanto como la gran familia de los felinos. En el territorio argentino, la mayoría de las especies autóctonas se ha ido retrayendo con el avance de la urbanización y de las tierras cultivadas. Hasta principios del siglo XX hubo jaguares en el Delta del Paraná, a 40km de Capital Federal, donde hoy ya no quedan. También abundaban pumas en la llanura pampeana, donde no se los encuentra más.

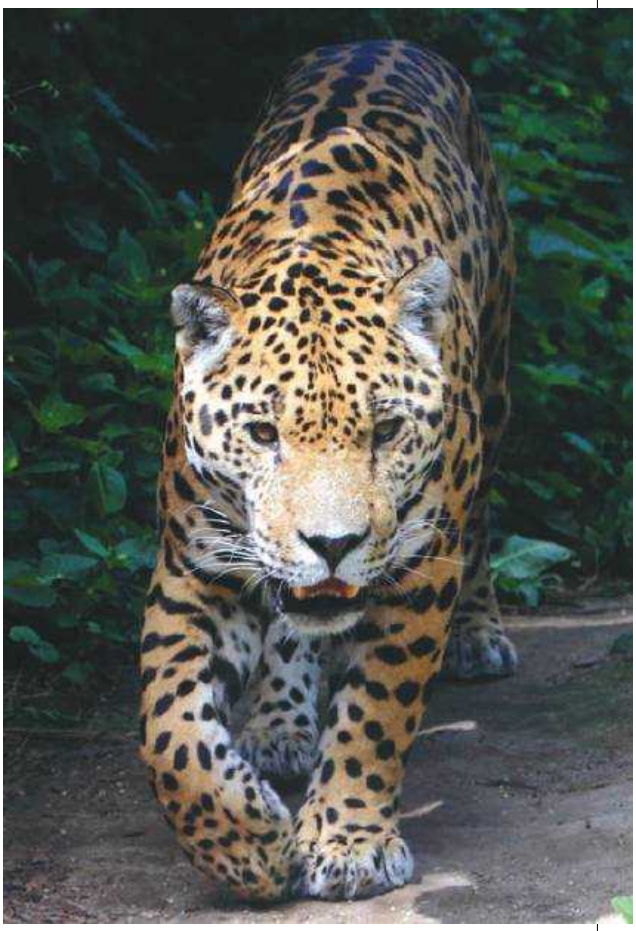
En todo el mundo, los grandes predadores se han visto eliminados al ritmo en que se transformaban los ecosistemas que ocupaban. Una revisión del estatus de los 31 carnívoros más grandes del planeta arroja que en los últimos dos siglos estos han padecido una enorme declinación en su población y una destrucción masiva de sus hábitats; y se ha demostrado que leones, leopardos, lobos grises, dingos, linces y pumas son necesarios para el mantenimiento de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Estos carnívoros, que están en la cima de la cadena alimentaria, juegan un rol esencial en lo que se llama la cascada trófica: controlando la densidad y el comportamiento de sus presas, los predadores indirectamente actúan sobre la abundancia de las presas de sus presas.

Cualquier modificación en la cadena trófica de organismos emparentados implica no solo cambios en la fecundidad de aves, mamíferos, invertebrados, reptiles, anfibios, animales carroñeros, sino también en la emisión de dióxido de carbono y en la productividad de las tierras cultivadas.

Sin los predadores controlando a los animales herbívoros perderíamos para siempre el mundo-verde que es sinónimo de la conciencia ambiental. Atentos a esta amenaza, ecólogos de los Estados Unidos, Australia, Italia y Suecia proponen una iniciativa global para la conservación de los grandes carnívoros, para protegerlos y para protegernos.

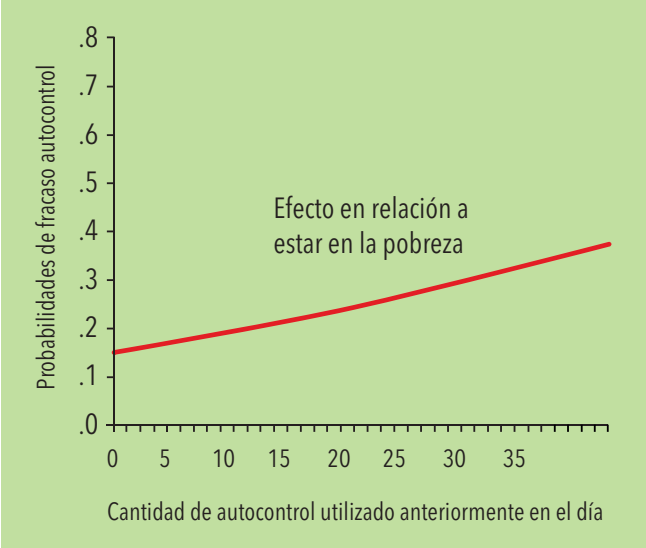
Más información en William J Ripple *et al*., 2014, 'Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores', *Science*, 343.

Julio Gervasoni
jgervasoni@dc.uba.ar



Poder mental

Alrededor del 20% de la población mundial vive en condiciones de pobreza. Las personas que integran ese grupo no pueden satisfacer sus necesidades y sufren restricciones alimentarias, materiales, de entretenimiento y otras. Tales limitaciones implican someterse a más y mayores situaciones de autocontrol que a las que deben someterse personas de mayor poder adquisitivo. El autocontrol es necesario para alcanzar metas, tomando decisiones estratégicas que permitan mejorar la situación futura a expensas de no satisfacer un deseo o necesidad inmediata. Pero la capacidad de controlar los deseos, si bien es una de las grandes fortalezas del ser humano, requiere de un esfuerzo mental grande. Así, un experimento reciente demostró que, a lo largo del día, las personas pierden progresivamente su capacidad de autocontrol a medida que se enfrentan con sucesivas situaciones que requieren ejercerlo. De esta manera, enfrentarse a un mayor número de decisiones en condiciones restrictivas empeoraría la capacidad de tomar decisiones estratégicas, algo que crearía un círculo vicioso por el que la persona sometida a restricciones tomaría malas determinaciones y empeoraría cada vez más su situación.



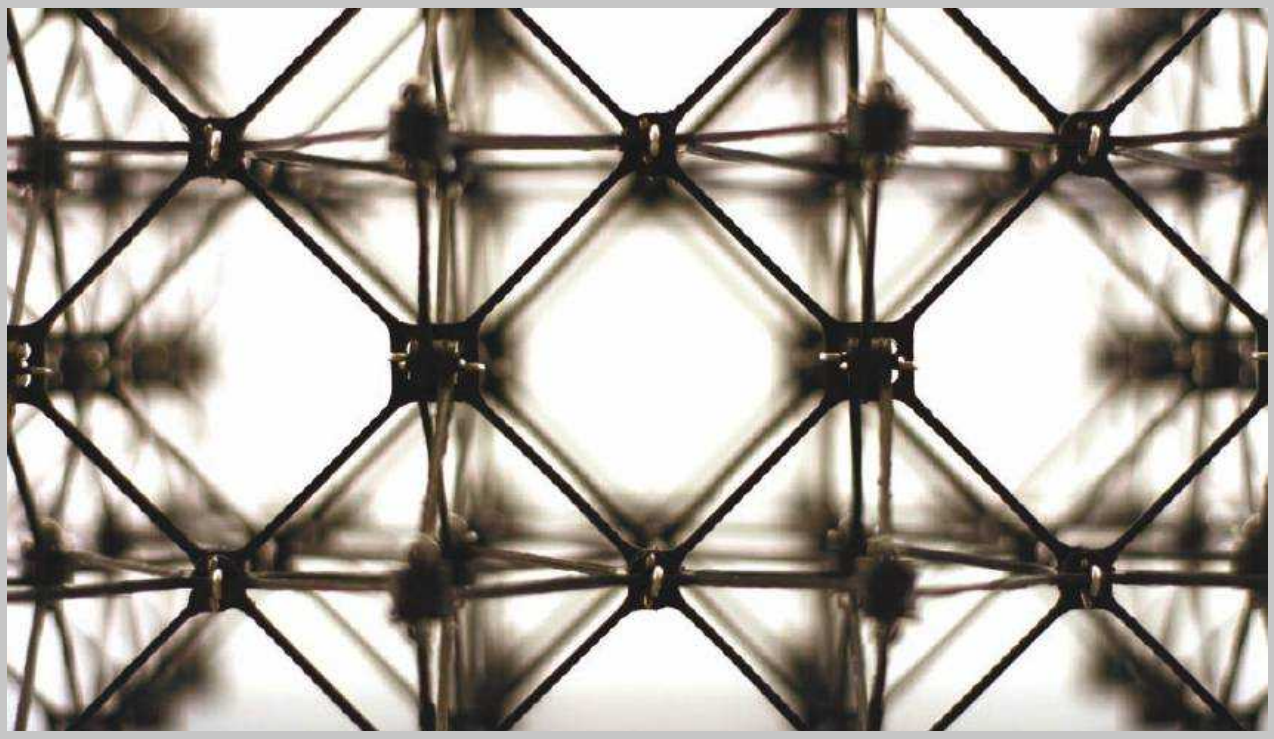
A lo largo del día, las personas pierden progresivamente su capacidad de autocontrol a medida que experimentan situaciones restrictivas. Un efecto similar ocurriría en personas en situación de pobreza, empeorando su capacidad de tomar decisiones estratégicas. Gráfico publicado en *Science*, 341, 2013.

Con el fin de verificar la validez de esta hipótesis mediante la comparación de las capacidades cognitivas de personas en situación de pobreza con personas de buena situación económica, un grupo de investigadores realizó dos experimentos. En el primero, sometió a los participantes a tomar una serie de decisiones que podían ser divididas en dos grupos: *importantes* o *ligeras*. Luego evaluó su rendimiento en pruebas diseñadas para medir capacidades cognitivas. Los participantes fueron agrupados por su nivel económico en *ricos* y *pobres*. Los ricos mostraron mejor rendimiento que los pobres luego de haber tomado tanto decisiones importantes como ligeras. En cambio lo pobres que tuvieron que tomar decisiones importantes alcanzaron peores resultados en la prueba cognitiva que los sometidos antes a decisiones ligeras.

El segundo experimento involucró a campesinos de la India antes y después de la cosecha de caña de azúcar que normalmente llegan a esta altura del año con estrechez financiera y deudas. La cosecha les proporciona más del 60% de su ingreso anual y les abre una temporada de abundancia, es decir, se encuentran en situación restrictiva antes y en situación de bienestar después de cosechar. En concordancia con la hipótesis en prueba, las mismas personas rindieron mejor en las pruebas cognitivas después de la cosecha, cuando estaban sometidas a menos necesidades de autocontrol. Tomando en cuenta que nuestro cerebro tiene capacidades cognitivas limitadas, los resultados sugieren que, en personas en situación de pobreza, parte de esas capacidades están comprometidas con tareas que afectan la toma de decisiones de importancia estratégica para su vida.

Más información en Kathleen D Vohs, 2013, 'The Poor's Poor Mental Power', *Science*, 341.

Federico Coluccio Leskow
federico@fbmc.fcen.uba.ar



Materiales digitales

Desde la década de 1980, el adjetivo *digital* se ha ido incorporando lentamente a todo tipo de disciplinas, actividades y profesiones. Ahora le llegó el turno a las ciencias de los materiales: un compuesto celular de ensamblaje reversible, recientemente desarrollado, presenta propiedades y comportamiento que no pueden encontrarse en los materiales convencionales que, por contraste, podrían llamarse *analógicos*.

Este material digital está formado por una gran cantidad de pequeñas piezas, que se ensamblan entre sí como bloques interconectados para componer estructuras. Cada pieza es una fibra de carbono en forma de cruz simétrica, con brazos de unos seis centímetros y anillos para sujeción en el centro y en los extremos. Una vez que todas las piezas están unidas, el resultado es una bella estructura geométrica que responde como un sólido elástico tanto a la tracción como a la compresión. Y tiene una gran firmeza para ser un material ultraliviano.

Cada cruz de fibra de carbono puede ser producida masivamente. Pero el hecho de que cada pieza pueda ser evaluada de manera individual simplifica el análisis y la predicción de su comportamiento. Además, cada una de ellas puede ser separada de una estructura y vuelta a usar.

Recordemos que el concepto digital surge para caracterizar a dominios discretos, es decir, aquellos cuyos valores están separados por saltos (por ejemplo, los números naturales), en contraposición con lo analógico, identificado con valores continuos (como los números reales). Las escaleras son digitales; las rampas, analógicas. En este sentido. estos nuevos materiales de ensamblaje reversible pueden ser considerados digitales: los elementos de un conjunto discreto de partes son conectados según un conjunto discreto de posiciones relativas y orientaciones.

La posibilidad de ensamblar con gran precisión estos compuestos discretos ofrece nuevas propiedades y rendimientos que no se pueden conseguir con las alternativas analógicas o de materiales continuos.

Más información en Kenneth C Cheung & Neil Gershenfeld, 2013, 'Reversibly Assembled Cellular Composite Materials', *Science*, 341.

Julio Gervasoni
jgervasoni@dc.uba.ar

Juan Federico Ponce, Andrea Coronato, Marilén Fernández, Jorge Rabassa
Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), Conicet
Claudio Roig
Universidad Nacional de Tierra del Fuego

Las turberas de Tierra del Fuego y el clima del pasado

Origen y formación de turberas

Se denomina *turbales* a ecosistemas con capacidad de formar una capa de materia orgánica muerta derivada de plantas adaptadas a vivir en condiciones de saturación permanente de agua, reducido contenido de oxígeno y escasa disponibilidad de nutrientes. *Turba* es el nombre dado a la materia orgánica muerta en tales condiciones. Una *turbera* es toda área que produce y acumula progresivamente turba, la que incrementa el espesor del depósito orgánico. Se habla de turbera si el espesor de la turba supera los 50cm.

La saturación de agua, las bajas temperaturas y el reducido contenido de oxígeno inhiben la actividad de los microorganismos –hongos y bacterias– que normalmente producen la descomposición de la materia vegetal muerta. La turba se acumula porque el ritmo de incorporación de esa materia es mayor que el de su descomposición. Además de especies vegetales, en la superficie de los turbales suele haber gran número de insectos, hongos y algas microscópicas.

Los turbales constituyen uno de los tipos de humedales incluidos en la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional (llamada convención de Ramsar), de la que la Argentina es signataria desde 1992. Son ecosistemas frágiles, importantes para la biodiversidad y porque proveen servicios ambientales como almacenamiento y regulación de aguas, o como reservorios de dióxido de carbono. Son también escenarios para recreación y turismo.

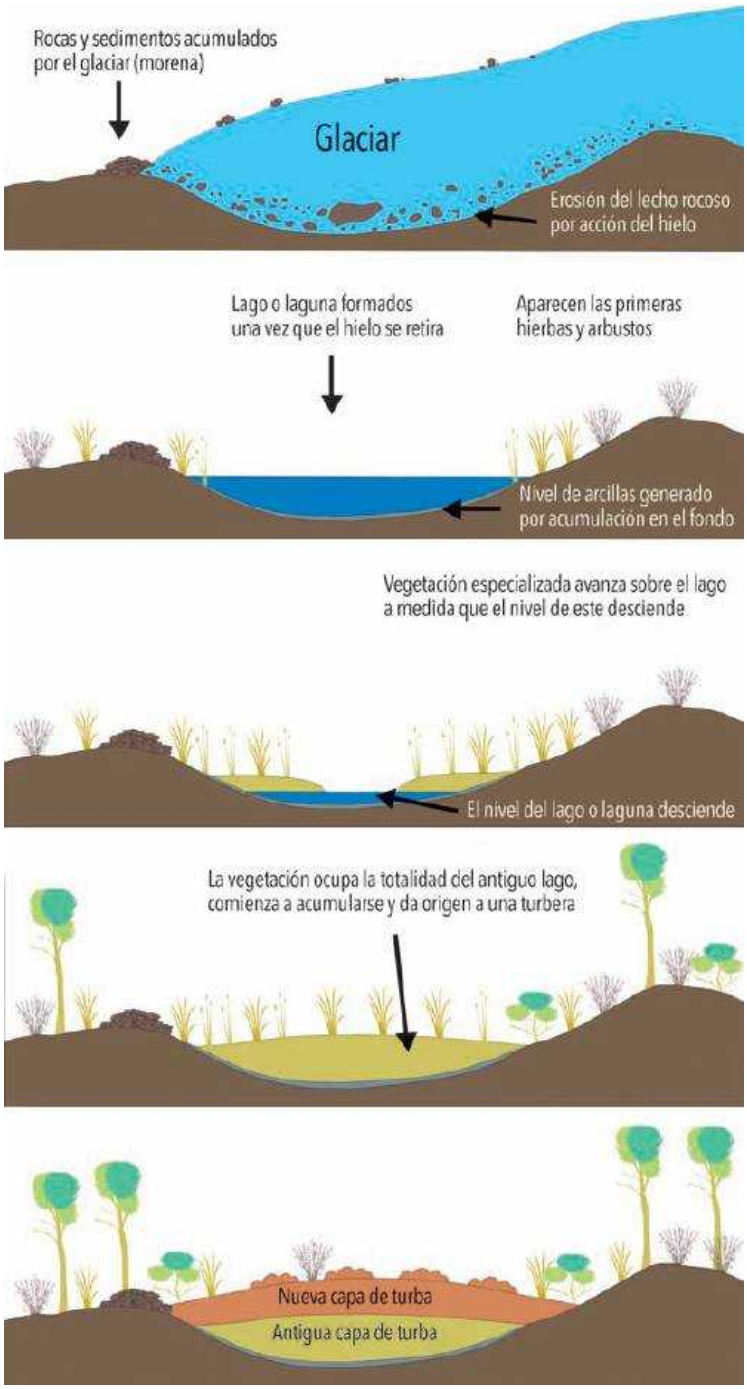
La formación de una turbera se ve favorecida por la presencia de cubetas o depresiones cerradas, en las que se establecen pequeños lagos y lagunas. Ese tipo de paisajes se encuentra sobre todo en zonas que estuvieron cubiertas por glaciares, cuyo trabajo erosivo generó dichas cubetas. Una vez que los glaciares retrocedieron, el escurrimiento superficial del agua de laderas adyacentes o la presencia de napas freáticas altas dieron lugar a la aparición de lagos y lagunas.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Características e importancia de ecosistemas muy poco frecuentes en la Argentina que, además de su utilidad ambiental y económica, constituyen fuentes de información sobre el clima y el ambiente del pasado, útil para elaborar modelos matemáticos que ayudan a estudiar los actuales cambios climáticos.

Luego del retroceso de un glaciar, se produce una gradual acumulación de arcilla en el fondo de los cuerpos de agua subsistentes y la colonización de ellos por plantas acuáticas, que, una vez muertas, se depositan en la cubeta y comienzan a formar turba. Ambas cosas ocasionan la disminución de la profundidad del lago. Con el tiempo, cambios en las condiciones de drenaje de una turbera pueden producir modificaciones en el tipo de vegetación que la forma, lo que da lugar a más de un tipo de turba en una misma turbera.

El fenómeno también puede producirse en planicies de inundación de arroyos o ríos, lo mismo que en meandros abandonados de estos. En las primeras, de relieve plano, condiciones ineficientes de drenaje favorecen el anegamiento y permiten el crecimiento de vegetación propia de turberas; en los meandros, especies vegetales acuáticas colonizan el agua residual estancada e inician el proceso.



Diferentes estadios de una turbera en un paisaje de origen glacial.

Distribución mundial de turberas

Hay en la Tierra cerca de cuatro millones de kilómetros cuadrados cubiertos por turberas, aproximadamente el 3% de la superficie terrestre. Cerca del 90% de ellas se encuentra en el cinturón templado y frío del hemisferio norte; el resto está en latitudes tropicales y subtropicales, en zonas de altura. En la Siberia occidental hay más de un millón de kilómetros cuadrados ocupados por turberas, y también las hay muy extensas en Canadá, en el área de la bahía de Hudson y en la cuenca del río Mackenzie. Se estima que un 95% de las turberas del planeta está en ocho países: Rusia (38%), Canadá (28%), Estados Unidos (15%), Indonesia (6%), Finlandia (3%), Suecia (2%), China (1%) y Noruega (1%). En Sudamérica –que participa con el 1% de la superficie total– se las encuentra sobre todo en la Argentina y Chile.

Las turberas fueguinas

Más del 95% de la superficie ocupada por turberas en la Argentina está en Tierra del Fuego, principalmente en el fondo de los valles del sur de la isla Grande. Según las especies vegetales dominantes en superficie, pueden clasificarse en tres tipos: las de musgos del género *Sphagnum*, comunes en dichos valles de la isla Grande; las de carpetas de plantas del género *Astelia*, presentes en la península Mitre (en el extremo oriental de la isla Grande) y en gran parte de la isla de los Estados, y las de gramíneas del género *Carex*, encontradas sobre todo en el centro y norte de la isla Grande.

La isla Grande de Tierra del Fuego y la isla de los Estados fueron modeladas por la acción erosiva de los glaciares que cubrieron grandes porciones de tierra en varias oportunidades. La topografía glacial y el clima templado-frío y húmedo prevaleciente durante todo el año favorecieron la formación de las turberas que hoy son parte del paisaje fueguino. Muchas datan del período denominado tardiglacial, el cual transcurrió entre unos 18.000 y unos 11.500 años antes del presente, inmediatamente después del derretimiento de los hielos de la última glaciación.

Durante esa glaciación, gran parte del archipiélago fueguino estuvo cubierto por glaciares, incluido cerca del 50% de la isla Grande y prácticamente toda la isla de los Estados. Los glaciares más extensos del archipiélago

se extendieron a lo largo del canal de Beagle, el valle del río Lasifashaj, que desagua en dicho canal, y el lago Fagnano. Al retirarse los hielos, los valles por los que estos se desplazaban fueron ocupados parcialmente por grandes lagos y ríos. Cambios posteriores que llevaron a un clima menos frío permitieron que la vegetación colonizase cuencas lacustres someras y que se formaran extensas turberas en el fondo de esos antiguos valles glaciarios.

El espesor medio de las turberas fueguinas está en el orden de los 4m, pero las hay con más de 11m de depósitos ininterrumpidos de materia orgánica. La más antigua conocida se encuentra en la estancia Harberton, en la costa del canal de Beagle y a 40km al este de Ushuaia. Su edad se acerca a los 18 mil años y su profundidad a los 11m. En la isla de los Estados, la turbera más antigua conocida hasta el momento está en su costa norte, en la bahía Colnett. Tiene unos 16 mil años y una profundidad cercana a los 8m.

Turbera compuesta principalmente por musgos del género *Sphagnum*, en el valle glacial Lasifashaj, en el sur montañoso de la isla Grande de Tierra del Fuego.

Valor económico

Las turberas son un recurso natural de apreciable peso económico. Ciertos usos de ellas, como los relacionados con la recreación y el turismo, permiten conservar su valor ambiental si se las maneja adecuadamente. Pero otros usos, basados en la extracción de la turba, requieren el drenaje del humedal, lo que implica que deje de actuar como tal y la consecuente pérdida de sus servicios ecosistémicos.

La turba ha sido utilizada desde el siglo XII –principalmente en Europa– como combustible de bajo poder calórico. A partir de 1930 comenzó a usarse como sustrato de cultivos hortícolas intensivos bajo cubierta. La turba formada por musgos del género *Sphagnum* es una de las más requeridas para ese propósito. Además, se emplea como base sólida para inoculantes de leguminosas, absorbente de aceites industriales y de derrames de hidrocarburos, cama para cultivar hongos y como parte del manejo de

Vista de cerca de la superficie de una turbera de musgo *Sphagnum*.

Tierra del Fuego en la última glaciación, cuando los hielos cubrían el equivalente de la mitad de su superficie actual, y en el presente.

Bloques de turba en secado durante el invierno. La extracción se realiza entre septiembre y mayo.

acuarios. En las últimas dos décadas se le han encontrado nuevas aplicaciones, incluso para el musgo vivo que constituye la cubierta superficial de esos ambientes, por ejemplo, en el cultivo intensivo de orquídeas.

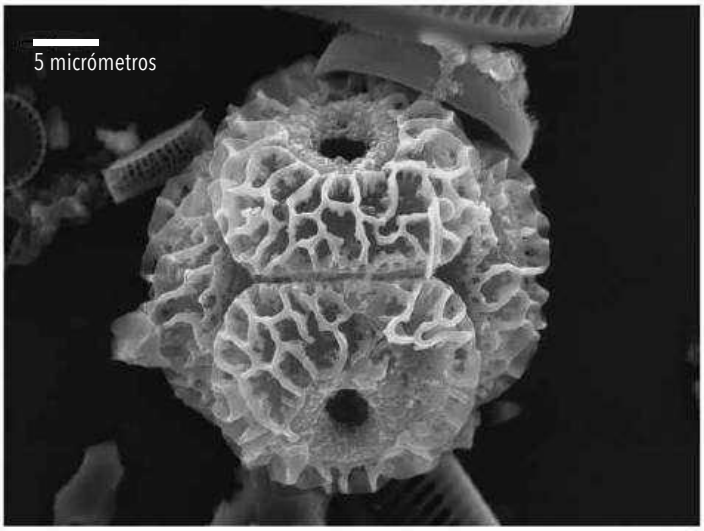
La extracción de turba –regulada por el Código de Minería y por legislación provincial– comenzó en Tierra del Fuego en 1970 en forma artesanal y fue aumentando con la incorporación de técnicas de producción intensiva. La turba se corta en bloques y se estiba para que su contenido de humedad disminuya hasta un 30%. Luego, fuera del yacimiento, los bloques se muelen y se embolsa el material obtenido. La totalidad de la turba fueguina es utilizada en otras provincias del país, lo que significa un importante costo de transporte para cubrir los 3000km hasta las principales zonas de consumo.

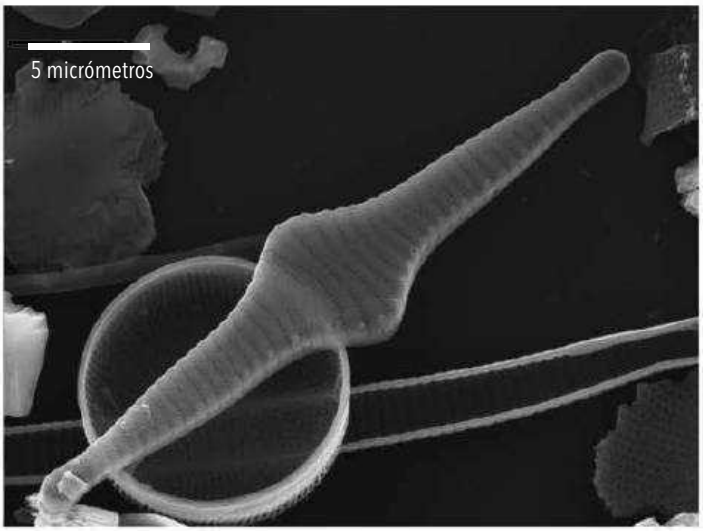
De cualquier modo, la producción local no satisface la demanda argentina, por lo que el país importa turba del hemisferio norte, en particular de países como Lituania, Canadá, Alemania, Holanda, Finlandia y Estonia. Los registros de producción e importación de turba desde 1999 a la fecha muestran un consumo medio anual cercano a 10.000 toneladas, de las cuales unas 6500 se producen en Tierra del Fuego.

Archivos climáticos naturales

Las turberas de Tierra del Fuego son estudiadas por científicos de todo el mundo principalmente porque son ecosistemas razonablemente prístinos, es decir, poco afectados por la acción humana. Constituyen verdaderos bancos de datos, ya que por su crecimiento continuo registran información vinculada con las condiciones ambientales y climáticas de la región circundante a lo largo del tiempo. En los últimos años han cobrado gran importancia los estudios paleoclimáticos y paleoambientales (es decir, aquellos sobre el clima y el ambiente del pasado) basados en datos obtenidos en las turberas fueguinas. La superficie de las turberas actúa como una trampa que captura y preserva granos de polen, esporas, algas, insectos, hongos, restos vegetales e incluso troncos de árboles.

Los cambios de las comunidades vegetales a lo largo del tiempo son una respuesta a las variaciones climáticas y ambientales. Por lo tanto, la reconstrucción de las comunidades vegetales pretéritas a partir de registros obtenidos en turberas conduce a reconstruir el clima y los ecosistemas del pasado. Se habla del *registro subfósil*, porque se trata de restos de organismos vivos que no se fosilizaron o lo hicieron en forma incompleta. Las reconstrucciones de la historia climática de una región basadas en ese registro pueden cubrir todo el lapso que media entre el inicio de su formación y el presente.





Imágenes de microscopio de barrido electrónico de materiales obtenidos en turberas de la isla de los Estados. Izquierda: grano de polen de canelo (*Drimys winteri*). Derecha: un alga unicelular o diatomea del genero *Fragilaria*.

Obtención de muestras

Los estudios paleoclimáticos y paleoambientales se hacen sobre muestras de forma cilíndrica que se obtienen hincando en la turbera y girando muestreadores o sacatestigos en forma de tubos que atrapan turba en su interior. Se avanza por pasos sucesivos hasta atravesar la totalidad del espesor de la turbera, desde su superficie hasta el fondo, el cual generalmente está compuesto por arcillas de color azulado, que datan de cuando la antigua cubeta aún funcionaba como lago. Posteriormente, en el laboratorio, los cilindros de turba obtenidos son seccionados en porciones de un centímetro y luego se estudian bajo el microscopio. Se estima que en aproximadamente diez años se acumula 1cm de espesor de turba, por lo que cada porción ilustra la historia ambiental de una década.

La vegetación y el clima del sur de Tierra del Fuego

Cuando se empezaron a formar las primeras turberas en la región, hacia unos 18.000 años antes del presente, las comunidades vegetales posglaciales cercanas al canal de Beagle no incluían árboles y se componían de matorrales, arbustos bajos y hierbas, como es propio de ambientes de estepa y tundra. Sin embargo, el bosque de hayas australes del género *Nothofagus* –hoy ampliamente extendido en los Andes patagónicos y fueguinos–, que había sobrevivido a la última glaciación en pequeños refugios, se encontraba en plena expansión como consecuencia de las nuevas condiciones climáticas globales, que le resultaban más favorables. Si bien el clima era más cálido que durante la glaciación, era más frío y seco que en la actualidad, porque los hielos no habían desaparecido aún del canal de Beagle y de los valles interiores. La situación se mantuvo así entre aproximadamente los 18.000 y los 11.000 años antes del presente, es decir, entre el fin de la glaciación y la desaparición completa de esos hielos.

Entre 10.000 y 8000 años atrás se establecieron comunidades vegetales transicionales entre el bosque y la estepa en las tierras bajas sobre el canal de Beagle, mientras en los valles interiores se extendía una vegetación de pastizales y arbustos y el hielo ocupaba áreas de mayor altura sobre esos valles. A partir de unos 6000 años atrás, el bosque de *Nothofagus* denominado bosque subantártico siempreverde se extendió tanto a lo largo del canal de Beagle como en los valles interiores. Ese tipo de bosque cerrado dominó la totalidad del paisaje hacia 5000 años atrás, cuando las condiciones climáticas eran también más frías y húmedas que hoy. Entre hace unos 1000 y 500 años antes del presente –es decir, entre los años 1000 y 1500 de nuestra era– se registró un retroceso del bosque de *Nothofagus*, posiblemente como respuesta a un cambio climático global conocido por 'Óptimo Medieval', caracterizado a grandes rasgos por un clima más cálido y seco que el actual.

Durante los últimos 500 años el bosque volvió a recuperarse, aunque no llegó a hacerse tan denso y cerrado como el que existió hace 5000 años. En ese cambio de las comunidades vegetales podría haber influido el último enfriamiento del clima de la Tierra, denominado la 'pequeña edad de hielo', que aconteció entre aproximadamente mediados de los siglos XVI y XIX, cuando la temperatura media global se ubicó por debajo de la actual y la humedad relativa y las precipitaciones fueron, en términos generales, mayores que las de hoy.

Extracción de muestras de turba en una turbera de musgos del género *Sphagnum*, en la estancia Harberton, sobre la margen norte del canal de Beagle.

Extremo de un sacatestigo usado para tomar una muestra del fondo de una turbera de musgo *Sphagnum*. Se observa una capa de ceniza volcánica o tefra de unos 4cm de espesor, cuya presencia se atribuye a una erupción del volcán Hudson ocurrida hace aproximadamente 6000 años.

Isla de los Estados		Sur de Tierra del Fuego	
Vegetación	**Clima**	**Vegetación**	**Clima**
Bosque abierto	Frío, menos húmedo	Bosque abierto	Frío, menos húmedo
Bosque cerrado subantártico siempreverde (*N. betuloides* / *Drimys winteri*)	Riguroso, muy frío hiperhúmedo	Bosque cerrado de *Nothofagus* (*N. pumilio* / *N. betuloides*)	Frío húmedo
		Expansión del bosque cerrado de *Nothofagus* (*N. pumilio*)	
Transición bosque subantártico siempreverde / Tundra magallánica	Frío, húmedo		
Bosque abierto (*N. antartica* / *N. betuloides*) brezal arbustivo, matorrales y hierbas	Fresco, húmedo	Bosque abierto de *Nothofagus* / estepa	Templado seco (relativamente más húmedo)
Brezal arbustivo, matorrales y pastizales escasos árboles (*N. antartica*)	Templado, más seco		
Praderas húmedas con escasos arbustos y sin árboles	Localmente más húmedo		
		Estepa / tundra	Frío seco
		Aumento de *Nothofagus*	Moderado
Sin datos	Frío seco	Estepa / tundra	Frío seco
Desarrolo de las primeras turberas		Aumento de *Nothofagus*	Moderado
		Estepa / tundra	Frío seco
		Desarrollo de la primeras turberas	
Presencia de glaciares		**Presencia de glaciares**	

El tiempo está indicado en miles de años antes del presente.

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Neoglaciaciones

Ascenso del nivel del mar

Mejoramientos climáticos
Retroceso de los glaciares

Glaciación

Evolución de la vegetación y del clima en el sur de Tierra del Fuego y en la isla de los Estados. Cuadro basado en estudios de granos de polen y esporas subfósiles encontrados en turberas.

Turberas y volcanes patagónicos

Algunos volcanes de los Andes patagónicos han hecho erupción en las últimas décadas y emitido abundante ceniza, entre ellos, el Hudson en 1991, el Chaitén en 2008 y el Cordón Caulle en 2011. Impulsada por los vientos, esa ceniza alcanzó en grado variable gran parte de la meseta patagónica, Tierra del Fuego y la región central del país. El fenómeno no es nuevo: las turberas fueguinas demuestran que viene acaeciendo desde hace miles de años.

La acumulación de cenizas volcánicas en forma de capas sobre la superficie de una turbera o lago es conocida con el nombre de *tefra*. Esa clase de lluvia de ceniza produce una drástica modificación de las especies vegetales que componen una turbera por la incorporación masiva de nutrientes y la creación de una capa de suelo impermeable. Los cuerpos de agua también se ven afectados por el aporte de nutrientes, los que generan cambios en las propiedades físicas y químicas del agua. La datación por carbono radiactivo de la turba inmediatamente por encima y por debajo de las cenizas permite establecer el momento aproximado de la erupción. Por su lado, el análisis químico del vidrio volcánico que forma la ceniza permite muchas veces identificar la procedencia del material, por comparación con el producto de erupciones actuales.

Las turberas fueguinas permitieron establecer que el volcán Hudson, ubicado en el límite norte de la provincia de Santa Cruz y a 1100km de Tierra del Fuego, hizo una gran erupción hace aproximadamente 6000 años. Sus cenizas llegaron llevadas por vientos del noroeste y formaron capas de tefra de más de 5cm de espesor sobre la vegetación de las turberas. Tanto por su amplia distribución como por el espesor de dichas capas, hoy compactadas,

se infiere que las consecuencias ambientales de la erupción deben haber sido catastróficas para la vegetación, la fauna herbívora y los pueblos cazadores-recolectores que habitaban la región.

También se han identificado cenizas de una erupción más antigua en turberas del sur de la isla Grande y de la isla de los Estados que pudo haber ocurrido entre hace 14.000 y 12.000 años, pero aún no se pudo determinar qué volcán la originó.

Cambio climático actual

La intensidad del cambio global que acusan los indicadores climáticos de las últimas décadas y su relación con causas atribuibles a la acción humana no se pueden diagnosticar correctamente sin conocer los mecanismos naturales de escala planetaria que han operado de forma recurrente en el pasado, en especial durante los últimos 22.000 años, es decir, desde el inicio del retroceso de los hielos de la última glaciación, cuando no se manifestaban efectos de acciones humanas en la atmósfera.

El estudio del cambio climático actual comenzó recientemente con la generación de series temporales de datos de temperatura, humedad, precipitaciones, etcétera. Sin embargo, la extensión de esas series hacia el pasado no puede exceder las fechas de invención de instrumentos meteorológicos como el termómetro, el barómetro, el anemómetro y otros, es decir, mediados del siglo XV. Por eso solo se dispone de información global continua y completa desde principios del siglo XX. Como consecuencia, las series son insuficientes para deducir una tendencia climática, y resultan escasamente representativas en la escala de los tiempos geológicos. De ahí la necesidad de buscar otros fundamentos para delinear la historia climática y ambiental del planeta durante los últimos miles de años. Las turberas, precisamente, pueden proporcionarlos. Sus características biológicas, físicas y químicas las convierten en bancos de datos climáticos valiosos para comprender el cambio climático actual. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BLANCO ED y **DE LA BALZE VM**, 2004, *Los turbales de la Patagonia. Base para su inventario y la conservación de su biodiversidad*, Wetlands International, Wageningen.

BORROMEI AM y **QUATTROCCHIO M**, 2008, 'Late and postglacial paleoenvironments of Tierra del Fuego. Terrestrial and marinepalynological evidence', en Rabassa J (ed.), *Developments in Quaternary Sciences*, Elsevier.

ITURRASPE R, 2010, *Las turberas de Tierra del Fuego y el cambio climático global*, Wetlands International, Wageningen.

PONCE JF & **FERNÁNDEZ M**, 2013, *Climatic and Environmental History of Isla de los Estados*, Springer.

PONCE JF, **BORROMEI AM** y **RABASSA J**, 2011, 'Evolución del paisaje y la vegetación durante el Cenozoico tardío en el extremo sureste del archipiélago fueguino y el canal de Beagle', en AF Zangrando, M Vázquez y A Tessone (eds.), *Los cazadores-recolectores del extremo oriental fueguino. Arqueología de península Mitre e isla de los Estados*, Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.

RABASSA J *et al.*, 2006, 'The peatbogs of Argentine Tierra del Fuego as a source for paleoclimatic and paleoenvironmental information', en IP Martini, A Martínez Cortizas & W Chesworth (eds.), *Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climate Changes*, Elsevier.

Juan Federico Ponce

Doctor en geología, Universidad Nacional del Sur.
Investigador asistente del Conicet en el CADIC.

Andrea Coronato

Doctora en geografía, FFYL, UBA.
Investigadora independiente del Conicet en el CADIC.
Profesora titular, Universidad Nacional de Tierra del Fuego.

Marilén Fernández

Doctora en Ciencias Naturales (Arqueología), UNLP.
Becaria posdoctoral del Conicet en el CADIC.

Claudio Roig

Licenciado en geología, UNLP.
Profesor adjunto, Universidad Nacional de Tierra del Fuego.

Jorge Rabassa

Doctor en Ciencias Naturales (Geología), UNLP.
Investigador superior del Conicet en el CADIC.
Profesor titular, Universidad Nacional de de Tierra del Fuego.

Hidras. Foto Wikimedia Commons/
Jacopo Werther

Eduardo Spivak
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, UNMDP-Conicet

Las cabezas de la hidra

Regeneración

En la mitología griega, la hidra era un monstruo acuático que vivía en el fondo del lago de Lerna y cuidaba una de las entradas al más allá. Tenía la forma de una serpiente con muchas cabezas y la capacidad de regenerar dos por cada una que perdía. Hércules la mató en uno de sus trabajos, con la ayuda de un sobrino que quemaba el cuello de cada cabeza cortada para evitar que surgieran dos en su lugar.

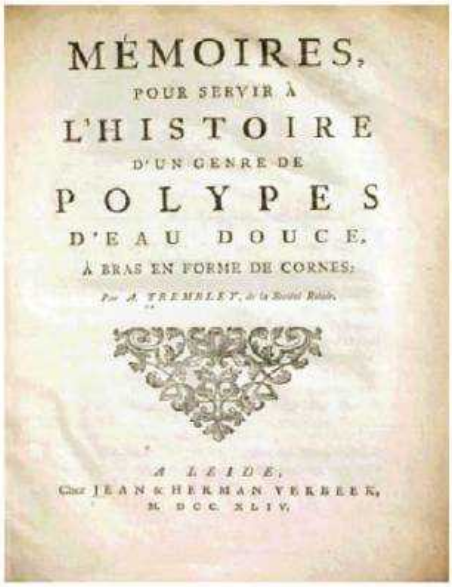
En realidad, los animales poseen la capacidad de reemplazar moléculas, células y tejidos como parte del mantenimiento de su cuerpo. Así, reparan tejidos sometidos a permanente desgaste, cicatrizan una herida y renuevan estructuras como la cutícula de los artrópodos, lo mismo que escamas, uñas, pelos, plumas y cuernos de los vertebrados. Sin embargo, algunos animales pueden reponer partes de órganos internos y hasta miembros completos e, incluso, reconstruir una cabeza seccionada.

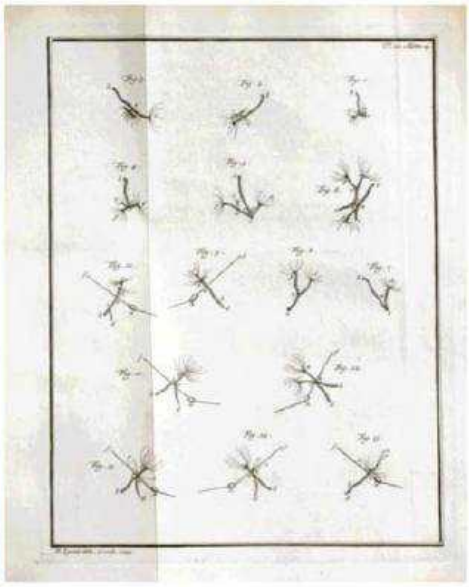
En el siglo XVIII se comenzó a estudiar científicamente la regeneración de partes del cuerpo. René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) describió e ilustró en 1712 la de las patas de un cangrejo; Lazzaro Spallanzani (1729-1799) lo hizo en 1765 con las patas de una salamandra. Charles Bonnet (1720-1793) se ocupó en 1745 de la regeneración de la cabeza en lombrices y su tío, Abraham Trembley (1710-1784), publicó en 1744 un ensayo en el que detalló sus experimentos de regeneración con un pequeño y relativamente simple animal acuático del género *Hydra* (que, en realidad, no tiene cabeza sino una maraña de tentáculos alrededor de la boca, semejantes a microscópicas serpientes). Solo a fines del siglo XIX se empezó a entender el fenómeno, cuando Thomas Hunt Morgan (1866-1945) demostró que unos gusanos de agua dulce llamados planarias podían reconstruir por completo su cuerpo a partir de pequeñas partes de él.

La capacidad de regeneración está ampliamente distribuida en el reino animal, aunque muestra notables variaciones. De los 34 grandes grupos de animales reconocidos actualmente, 16 pueden reconstruir su cuerpo a partir de fragmentos y 17 pueden recuperar partes amputadas. En algunos gusanos, estrellas de mar y animales que forman

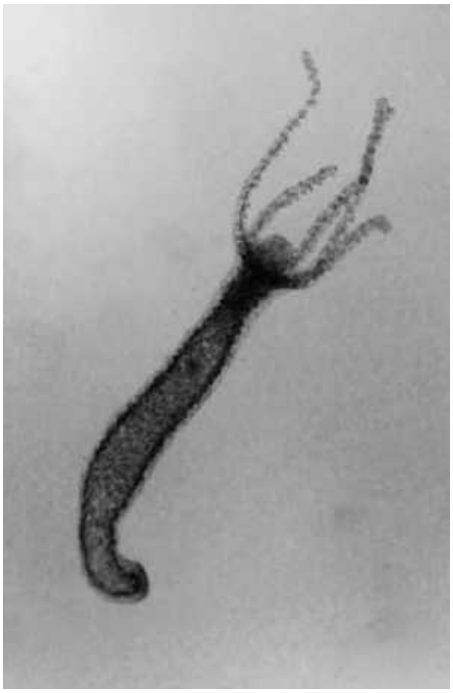
¿DE QUÉ SE TRATA?

Animales que reconstruyen partes del cuerpo que han perdido por accidente o de las que se desprenden para liberarse de predadores.


MÉMOIRES,
POUR SERVIR À
L'HISTOIRE
D'UN GENRE DE
POLYPES
D'EAU DOUCE,
À BRAS EN FORME DE CORNES;
Par A. TREMBLEY, de la Société Royale.
A LEIDE,
Chez JEAN & HERMAN VERBEEK,
M. DCC. XLIV.



Memorias para la historia de un género de pólipos de agua dulce con brazos en forma de cuernos, publicado en Leiden en 1744. Su autor fue el naturalista suizo Abraham Trembley (1710-1784), uno de los primeros en recurrir a experimentos para hacer estudios en zoología. La lámina explica la regeneración corporal del pequeño animal del género *Hydra*.



Hidra. Mide unos 10mm. Foto Irene Deserti

colonias, como los corales, la capacidad de reconstruir el cuerpo a partir de fragmentos está asociada con la posibilidad de reproducirse asexualmente: muchos pueden disociarse en dos o más partes y completar las faltantes. Los animales que reemplazan periódicamente su rígida cubierta corporal externa (llamados *ecdisozoos*) por lo general no regeneran su cuerpo, excepto algunos artrópodos, como los crustáceos, que reconstruyen patas u otros miembros perdidos. Los vertebrados y los demás cordados muestran pocos casos de regeneración del cuerpo, pero unos cuantos anfibios, reptiles y mamíferos son capaces de regenerar miembros externos (patas, colas), y a veces órganos internos (hígado, corazón, el cristalino del ojo). Las aves, en cambio, tienen una manifiesta incapacidad de regeneración.

En todos los animales en que tiene lugar, la regeneración implica la diferenciación de células, a semejanza del desarrollo de un embrión. Este comienza como una sola célula, el cigoto, que se va dividiendo y va dando lugar a células diferenciadas, es decir, con distintas formas y propiedades, y con la capacidad de fabricar proteínas específicas, como las queratinas de los epitelios o la hemoglobina de los glóbulos rojos. Esas células se agrupan para formar tejidos y órganos con diferentes funciones. En otras palabras, las células del embrión tienen la potencialidad de originar casi cualquier tipo de célula del organismo: por eso, entre otros nombres, se las llama *células germinales* o *células multipotentes* (*stem cells*). Su potencialidad disminuye con el desarrollo, por lo que la mayoría de las células diferenciadas, si conservan la capacidad de reproducirse, solo pueden originar otras iguales a sí mismas.

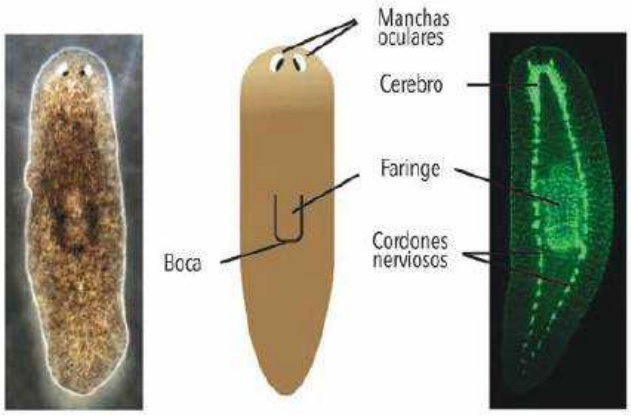
Morgan reconoció en sus estudios un mecanismo de regeneración relativamente sencillo, que llamó *morfalaxis*, y otro más complejo, que llamó *epimorfosis*. El primero, típico del género *Hydra*, implica la diferenciación de células multipotentes que quedaron en el cuerpo del adulto, como si estuvieran de reserva, pero no la división celular. El segundo combina la diferenciación y la multiplicación de células indiferenciadas, las que forman un conglomerado llamado *blastema*, a partir del cual se reconstruyen todos los tejidos perdidos respetando su forma original. Un tercer mecanismo de regeneración, no previsto por Morgan, implica multiplicación celular pero no diferenciación. Se trata de la regeneración compensatoria que se observa, por ejemplo, en el hígado de los mamíferos, en la cual los distintos tipos de células diferenciadas de ese órgano se multiplican (*proliferan*) y completan la parte faltante.

Los fundamentos genéticos y moleculares de la diferenciación celular son los mismos en la regeneración que en el desarrollo de un embrión. Diferentes genes se expresan en distintas células como respuesta a ciertas señales constituidas por moléculas (la mayoría de las veces proteínas) producidas por alguna célula, volcadas al espacio intercelular y reconocidas por la misma u otra célula próxima o lejana. Esas señales se asocian o ligan con proteínas encontradas, principalmente, en la superficie celular: por eso se conoce a estas como *ligandos* y a aquellas como *receptores*. Una vez que el receptor recibe la señal, da a su vez inicio a una serie de reacciones químicas en el interior de la célula que activan o reprimen la actividad de genes específicos. El proceso que comienza

con el reconocimiento de la señal y finaliza con la producción de una proteína se conoce como *senda* o *camino de señalización*. Distintos caminos de señalización dan lugar a diferentes asociaciones de células diferenciadas.

Gradientes morfogenéticos

Un buen ejemplo del cometido de las señales moleculares en la regeneración es la capacidad que tiene un fragmento de planaria de generar una cabeza y una cola hacia el lado correcto, es decir, de respetar la polaridad del animal. Esto significa que la parte del fragmento más cercana a la cabeza original creará una nueva cabeza. Aunque Morgan abandonó el estudio de la regeneración en planarias porque concluyó que *nunca comprenderemos el fenómeno del desarrollo y la regeneración*, después de realizar

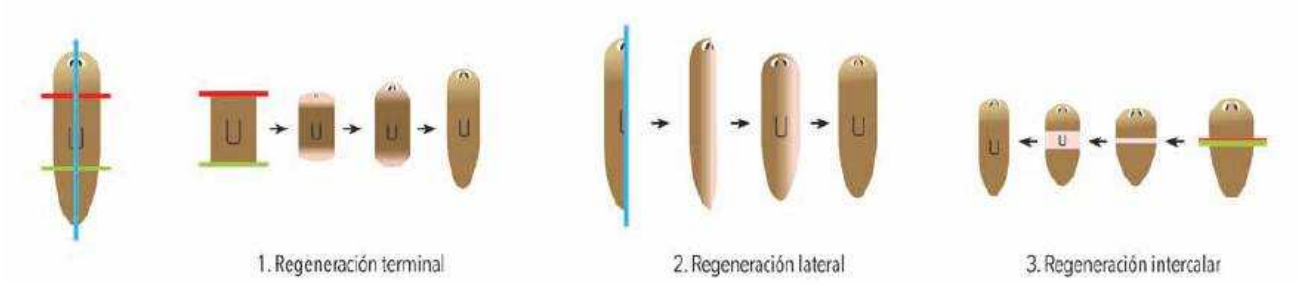


Planaria *Schmidtea mediterranea*. Mide unos 20mm. Izquierda: animal vivo. Adviértanse las manchas oculares (unos ojos relativamente sencillos que detectan luz) y la faringe. Derecha: un ejemplar teñido para mostrar su sistema nervioso formado por un cerebro anterior y dos cordones nerviosos. En el extremo de la faringe está la boca, por la cual ingresan los alimentos y egresan los residuos.

EL CAMINO DE SEÑALIZACIÓN Y LA REGENERACIÓN EN PLANARIAS

Los caminos de señalización desempeñan un papel importante en el desarrollo embrionario de todos los animales, desde las esponjas hasta los humanos; lo mismo sucede en la regeneración. Se inician cuando moléculas producidas por alguna célula actúan como señales reconocidas por la misma u otras células, en cuya membrana esas señales se ligan con un receptor ubicado en ella. Un camino vinculado con la regeneración es aquel en que receptor y señal o ligando son dos proteínas, llamadas Frizzled y Wnt respectivamente. Continúa en el interior de la célula con varios intermediarios hasta llegar a otra proteína llamada β-catenina, que está presente en el citoplasma pero asociada con otras y, en consecuencia, inactiva. La llegada de la señal externa, su unión con el receptor y una cadena de reacciones hacen que β-catenina se libere e ingrese al núcleo celular, donde regula la expresión de los genes. Dependiendo del contexto en el que actúe, Wnt tiene distintas funciones, como influir en la proliferación, la diferenciación o el mantenimiento de multipotencia, polaridad, migración y supervivencia de las células. En adultos humanos fallas en su regulación pueden conducir a enfermedades del tipo del cáncer. Hay otros caminos de señalización que se inician con Wnt pero que no incluyen β-catenina, y que no están vinculados con la regeneración.

Varias especies de planarias, como *Schmidtea mediterranea*, pueden regenerar su cuerpo completo a partir de pequeños fragmentos, como sus colas, pero otras tienen una menor capacidad de regeneración. Por ejemplo, no hace mucho se observó que cuando se corta por la mitad el cuerpo a las planarias *Dendrocoelum lacteum* o *Procotyla fluviatilis*, la parte anterior regenera la cola pero la parte posterior no regenera la cabeza. Eso se relacionó con fallas en la expresión del gen que codifica la proteína Wnt. Más aún, la supresión de un único gen que regula la función del Wnt en ambas especies hace que tejidos que normalmente no regeneran cabezas empiecen a hacerlo. Por otra parte, se descubrió que en otra planaria, *Phagocata kawakatsui*, existe un camino distinto de señalización, que comienza con una proteína extracelular llamada ERK. Está presente en todos los animales, pero su efecto en la regeneración no se conocía. Estos hallazgos sugieren que la regeneración es posible en muchas especies, pero puede estar en un estado latente.



Las planarias pueden completar su cuerpo si eliminamos: (1) cabeza y cola; (2) un lado completo, y (3) la parte media. Las líneas de colores indican los respectivos cortes, algunos de los muchos que pueden hacerse con igual resultado. Adaptado de Adell T, Cebrià F y Saló E, 2010, 'Gradients in Planarian Regeneration and Homeostasis', *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *doi:10.1101/cshperspect.a000505*.

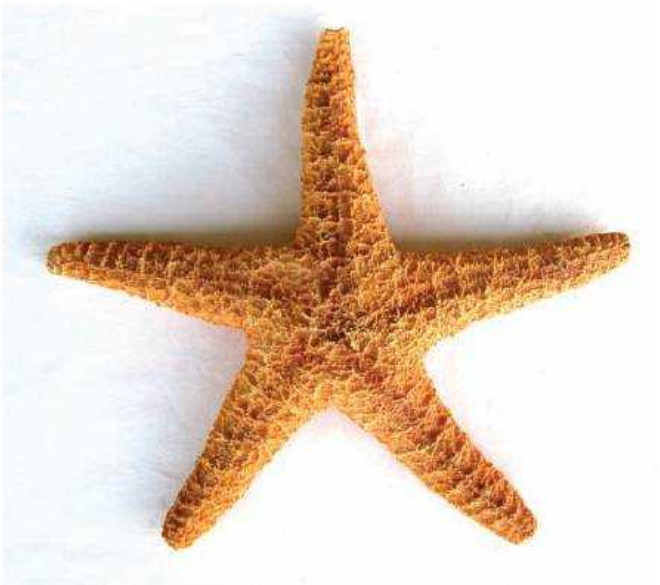
ESTRELLAS DE MAR

Algunos equinodermos –estrellas, ofiuras, pepinos y lirios de mar– tienen una notable capacidad de regeneración, tanto los adultos como las larvas, lo cual ha sido también documentado en el registro fósil. Pueden reconstruir miembros o apéndices (los brazos de estrellas, lirios y ofiuras) y órganos (el intestino de los pepinos) perdidos luego de amputaciones traumáticas o autoinducidas. Los fragmentos aislados en muchos casos también pueden regenerar el resto faltante y dar lugar en forma asexual a un nuevo animal. El mecanismo por el cual esto sucede es tanto epimorfosis, con formación de blastema (ofiuras y lirios) o morfalaxis, con migración y nueva diferenciación de células (estrellas). La regeneración depende de la presencia de nervios y se vale de señales intercelulares, como los factores de crecimiento. Es un modelo interesante para analizar la regeneración en los vertebrados ya que se trata de dos grupos emparentados y cercanos que comparten un alto porcentaje de genes.

Regeneración del brazo de una estrella de mar.

amputaciones de distintas partes del cuerpo publicó una hipótesis visionaria que solo pudo ser sometida a experimento cien años después: la existencia de dos *gradientes morfogenéticos* opuestos.

Se dice que cuando una sustancia está muy concentrada en una región, por ejemplo en un extremo del cuerpo, y disminuye gradualmente hacia otras regiones, forma un gradiente de concentración. Si ese gradiente se asocia con la aparición de distintas estructuras en ambas regiones, se lo puede denominar *gradiente morfogenético* (que da origen a la forma). En 2008 se demostró que, en planarias marinas de la especie *Schmidtea mediterranea*, la mencionada polaridad está relacionada con el gradiente de una proteína llamada Wnt 3.



Estrella de mar.

Otro organismo en el cual se ve la acción de gradientes en la regeneración de amputaciones es la *Hydra*, en uno de cuyos extremos tiene la boca, rodeada de tentáculos, y en otro el disco basal con el que se adhiere a plantas acuáticas u otros sustratos. Los experimentos originales de Trembley fueron refinados por Ethel Browne Harvey (1885-1965) mediante trasplantes que la llevaron a concluir que en el pequeño animal hay un gradiente activador cefálico cuyo máximo está en la zona oral, y otro activador basal cuyo máximo está en el disco basal. Sus investigaciones, publicadas en 1909, constituyen un antecedente importante –pero no del todo reconocido– para entender cómo se establecen los extremos de un animal durante el desarrollo.

Salamandras

Cada una de las extremidades de los vertebrados tetrápodos –anfibios, reptiles, aves y mamíferos– consta de varias regiones separadas por articulaciones y distribuidas a lo largo de un eje llamado *próximo-distal*, cuyos extremos son diferentes. La región del extremo próximo es la más cercana al cuerpo y contiene un solo hueso: húmero o fémur, según se trate de la extremidad anterior o

posterior. La región siguiente incluye dos huesos: tibia y peroné o radio y cúbito. La región distal es la más alejada del cuerpo y consta de varios huesos ordenados en hasta cinco líneas que conforman muñecas y manos o tobillos y pies. Las salamandras adultas son capaces de reconstruir una extremidad completa desde el lugar en que fue seccionada, y al hacerlo respetar el orden próximo-distal y la polaridad. Así, si sufren una amputación en la rodilla, regeneran la pierna, el tobillo y el pie, pero no el muslo.

A diferencia de lo que ocurre a un mamífero cuando se lastima la piel, la herida de una salamandra solo se cubre por una capa de células epidérmicas, sin que se agregue la dermis. Inmediatamente debajo de ese capuchón epidérmico, las células de los distintos tejidos (muscular, óseo, cartilaginoso y nervioso) pierden sus características diferenciadas, lo que las hace indistinguibles entre ellas, como si hubieran regresado al estadio embrionario. Ese conjunto de células, que constituye el blastema, prolifera a partir de entonces y se produce una diferenciación de las nuevas células. Desde hace más de cincuenta años se sabe que para que ocurra la proliferación son necesarios dos requisitos: que los nervios seccionados por el accidente estén próximos al blastema y que actúen señales proteicas, que son las mismas que actúan en la diferenciación de las extremidades de los embriones. Entre ellas se encuentra el *factor de crecimiento fibroblástico* 10 o FGF10, producido por las células de un conglomerado celular embrionario llamado *mesénquima*.

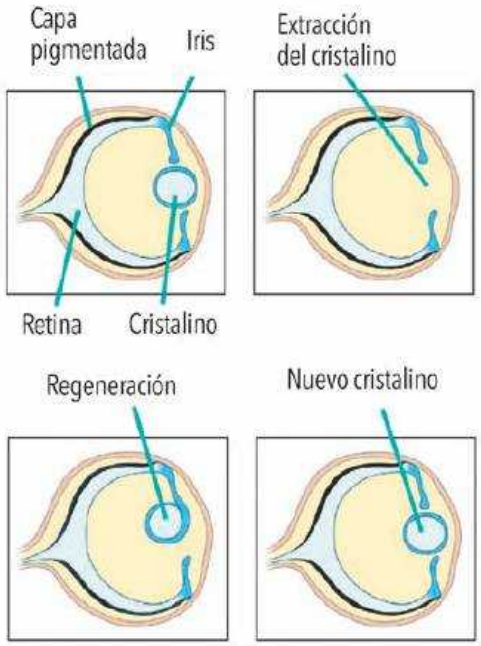
Salamandra de fuego (*Salamandra salamandra*), Grecia. Mide unos 15cm. Foto Cristo Vlaho, Wikimedia Commons.

¿Qué determina que las células del blastema fabriquen un brazo, un antebrazo o una mano? El responsable es un grupo de genes regulatorios, llamados *genes homeóticos* o *HOX*, cuyas mutaciones generan monstruos con estructuras fuera de su lugar normal. La expresión de esos genes está controlada por una molécula relativamente pequeña, el ácido retinoico. La epidermis que cubre la amputación de un miembro de salamandra produce ácido retinoico; se forma en consecuencia un gradiente morfogenético a lo largo del eje próximo-distal que disminuye hacia la base. La aparición de ácido retinoico en un lugar inapropiado conduce a una pata con alguna parte duplicada.

Como, además, cada extremidad tiene un lado dorsal y otro ventral (la palma de la mano, por ejemplo), y un lado anterior y otro posterior (pulgar y meñique), la ex-

RECUPERACIÓN DEL CRISTALINO POR SALAMANDRAS

La regeneración del cristalino de los ojos de salamandras adultas fue observada independientemente por Vincenzo Collucci (1846-1919) en 1891 y por Gustav Wolff (1865-1941) en 1895. El fenómeno —llamado *metaplasia* o *regeneración wolffiana*— también ocurre en algunos peces y en renacuajos (pero no adultos) de ranas. En las salamandras la nuevo lente proviene de las células epiteliales pigmentadas de la parte dorsal del iris, que deben perder su diferenciación, proliferar y volver a diferenciarse, en un proceso que se llama *transdiferenciación* y dura unos treinta días. El significado de la regeneración wolffiana en la vida diaria de las salamandras es difícil de interpretar ya que la pérdida del cristalino es un hecho extraño en la naturaleza. En cambio, fue una de las primeras pruebas, aunque indirectas, de la hipótesis de la *equivalencia genómica*: el hecho que todas las células de un organismo tienen los mismos genes, activos o inactivos según el tejido y el órgano en el que se encuentren.



Regeneración del cristalino de una salamandra.

CAPACIDAD DE REGENERACIÓN DE ALGUNOS GRUPOS DEL REINO ANIMAL*

Grupos zoológicos	Nombres vulgares	Regeneración del cuerpo	Regeneración de estructuras
Placozoos		sí	-
Poríferos	Esponjas	sí	-
Ctenóforos	Medusas con peines	sí	sí
Cnidarios	Medusas, anémonas de mar, corales, hidras	sí	sí
Ortonéctidos		?	?
Rombozoos		?	?
Acolomorfos		sí	sí
Equinodermos	Estrellas, erizos, dólares, ofiuras, pepinos y lirios de mar	sí	sí
Hemicordados	Gusanos bellota	sí	sí
Xenoturbellidos		?	?
Cordados	Ascidias, salpas, anfioxos y vertebrados	sí	sí
Quetognatos	Gusanos flecha	no	?
Nematodos	Gusanos redondos	no	no
Nematomorfos	Gusanos pelo de caballo	?	?
Priapulidos		no	?
Quinorincos o equinóderos		?	?
Loricíferos		?	?
Tardígrados		sí	?
Onicóforos		no	?
Artrópodos	Insectos, arañas, escorpiones, ciempiés, cangrejos, camarones	no	sí
Entoproctos		sí	sí
Nemérteos	Gusanos cinta	sí	sí
Molluscos	Mejillones, almejas, caracoles, babosas, pulpos y calamares	sí	sí
Anélidos	Lombrices de mar y terrestres, sanguijuelas	sí	sí
Sipúnculos	Gusanos maní	sí	sí
Braquiopodos	Conchillas lámpara	?	?
Ectoproctos		sí	sí
Forónidos		sí	sí
Ciclióforos		?	?
Platelmintos	Planarias, duelas y tenias	sí	sí
Gnatostomúlidos		?	?
Rotíferos	Animales rueda	no	sí
Acantocéfalos	Gusanos de cabeza espinosa	?	?
Gastrotriquios		no	sí

* El signo de pregunta indica desconocimiento de la presencia del fenómeno. Placozoos y poríferos carecen de órganos o estructuras complejas.

presión genética correcta es consecuencia de la actividad de otros genes regulatorios, que también son los que actúan en el desarrollo normal del embrión.

Cangrejos

En el medio local es difícil conseguir salamandras, salvo en negocios que venden mascotas exóticas. En cambio, es fácil encontrar cangrejos, tanto en las costas de ríos o lagunas como del mar. El crecimiento de estos animales es discontinuo e incluye la degradación de la cubierta corporal o cutícula al tiempo que, por debajo de ella, fabrican otra más grande. Cada tanto, el cangrejo sale de la vieja cutícula y se expande, un proceso que se llama muda o *ecdisis* y no es exclusivo de los cangrejos: todos los artrópodos, así como otros animales, crecen de esta forma.

Las patas y las pinzas de los cangrejos pueden perderse como consecuencia de una lastimadura o del ataque de un predador, pero el animal puede regenerarlos luego de una o dos mudas; al cabo de varias mudas, alcanzan el mismo tamaño del apéndice contralateral (su simétrico del otro lado del cuerpo). En realidad, en los artrópodos la pérdida de un apéndice es una autoamputación programada que tiene lugar en un sitio predeterminado, lo que les asegura una muy escasa pérdida de fluidos corporales.

En los cangrejos la regeneración tiene lugar en dos fases. La primera ocurre inmediatamente después de la autoamputación y de la cicatrización del extremo subsistente del apéndice, de modo independiente del tiempo faltante para la próxima muda. Esa fase se llama de *crecimiento basal* e incluye la formación de un blastema bajo el plano de autoamputación y el comienzo de la morfogénesis. Luego el blastema se diferencia en una pata o pinza completa, en miniatura, bajo una cutícula flexible, es decir, forma un *muñón de regeneración*. La segunda fase es un período breve que antecede a la muda y se completa al suceder esta, cuando el nuevo apéndice, más pequeño que su simétrico, sale del muñón. La fase se llama de *crecimiento preecdisial* y durante ella los tejidos se hipertrofian e incrementan hasta tres veces el tamaño del apéndice en crecimiento, no por aumento del número de células sino por producción de proteínas e hidratación. Si la autoamputación ocurrió poco antes de una muda, no deja tiempo para el crecimiento basal del muñón y habrá que esperar hasta la próxima muda para completar el apéndice.

La regeneración está finamente coordinada con la muda, en especial por el efecto de la ecdisoma, la hormona que la regula. Como la frecuencia de mudas disminuye con la edad, es mucho más fácil de observar la presencia de muñones o apéndices recientemente regenerados en cangrejos jóvenes y pequeños.

Mamíferos

En el siglo XVIII, Voltaire expresó su asombro ante la capacidad de algunos caracoles de regenerar sus cabezas, y su esperanza de que una capacidad semejante existiese en los humanos. Poco después tuvo lugar la Revolución Francesa, pero Luis XVI, María Antonieta, Danton o Robespierre, entre tantos otros, no pudieron beneficiarse de un fenómeno semejante. La realidad es que la regeneración de apéndices o de partes mayores del cuerpo es bastante escasa en los mamíferos, aunque algunos órganos internos, como el hígado, pueden reconstruirse parcialmente y el corazón de los ratones puede generar nuevas células cardíacas luego de una lesión del miocardio.

Un caso muy particular es el de dos especies de ratones espinosos de África del género *Acomys*, cuya piel se desprende fácilmente hasta en un 60% de su superficie, habilidad que les permite escapar de sus predadores y dejarles solo una pequeña parte de su cuerpo, algo similar a lo que ocurre con la cola de ciertos lagartos y las patas de cangrejos. En los ratones comunes de laboratorio (*Mus musculus*) se forma una cicatriz cuando se remueve porciones de su piel, pero los mencionados *Acomys* recuperan por completo piel, folículos pilosos, glándulas sudoríparas e incluso cartílago. De ningún otro mamífero se conoce, hasta el momento, una capacidad semejante.

Muchos mamíferos (incluso los humanos) pueden regenerar el extremo de sus dedos si subsiste parte de las uñas, específicamente parte del tejido epitelial que les subyace. Si bien ese proceso se conoce desde hace cuarenta años, solo hace poco se descubrió que comparte varias características con los que tienen lugar en planarias, cangrejos o salamandras, entre ellas la señal Wnt y la proteína FGF, así como la necesaria presencia de nervios cerca de la parte seccionada.

Si bien la capacidad de regeneración que hemos descripto generalmente se consideró una propiedad muy antigua en la evolución de los animales, dada su presencia en diversos grupos y la uniformidad de los mecanismos que la posibilitan, un reciente estudio del genoma de la salamandra *Notophthalmus viridescens* sugirió que la adquirió en tiempos evolutivos relativamente recientes, y que no la comparte por otros animales. Sobre un total estimado de unos 15.000 genes que codifican proteínas en esa salamandra, 826 son exclusivos de la especie y varios de estos se expresan con distinto nivel en tejidos regenerados y normales. Una conclusión arriesgada que se podría sacar de este descubrimiento es que algún día llegaría a ser posible despertar la capacidad de regeneración en los mamíferos, incluido el ser humano. Sin embargo, las esperanzas de activar en este la regeneración de brazos y piernas parecen, a decir verdad, más bien débiles.

De todas maneras, el descubrimiento de procesos regenerativos en animales lejana o cercanamente emparentados con los humanos y su utilización como modelos experimentales para comprender los mecanismos de esos procesos permiten ser más optimistas sobre el desarrollo de algunas terapias que permitan compensar estructuras parcialmente dañadas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ÁLVAREZ J y **MERUANE J**, 2009, 'Regeneración de extremidades en la jaiba remadora *Ovalipes trimaculatus* y su aplicación práctica en acuicultura y pesquería', *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44, 2: 285-293.

BROCKES JP, 1997, 'Amphibian limb regeneration: rebuilding a complex structure', *Science*, 276: 81-87.

DINSMORE CE, 2001, 'Regeneration: Principles', *Encyclopedia of Life Sciences*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. También en *http://www.els.net/WileyCDA/*

ELLIOTT SA y **SÁNCHEZ ALVARADO A**, 2013, 'The history and enduring contributions of planarians to the study of animal regeneration', *Wiley Interdisciplinary Reviews in Developmental Biology*, 2: 301-326

ROENSCH K *et al.*, 2013, 'Progressive specification rather than intercalation of segments during limb regeneration', *Science*, 342: 1375-1379.

SIMON A & **TANAKA EM**, 2003, 'Limb regeneration', *Wiley Interdisciplinary Reviews in Developmental Biology*, 2: 291-300.

Eduardo Spivak

Doctor en ciencias biológicas, UBA. Investigador principal del Conicet. Profesor titular, departamento de Biología, FCEYN, Universidad Nacional de Mar del Plata.

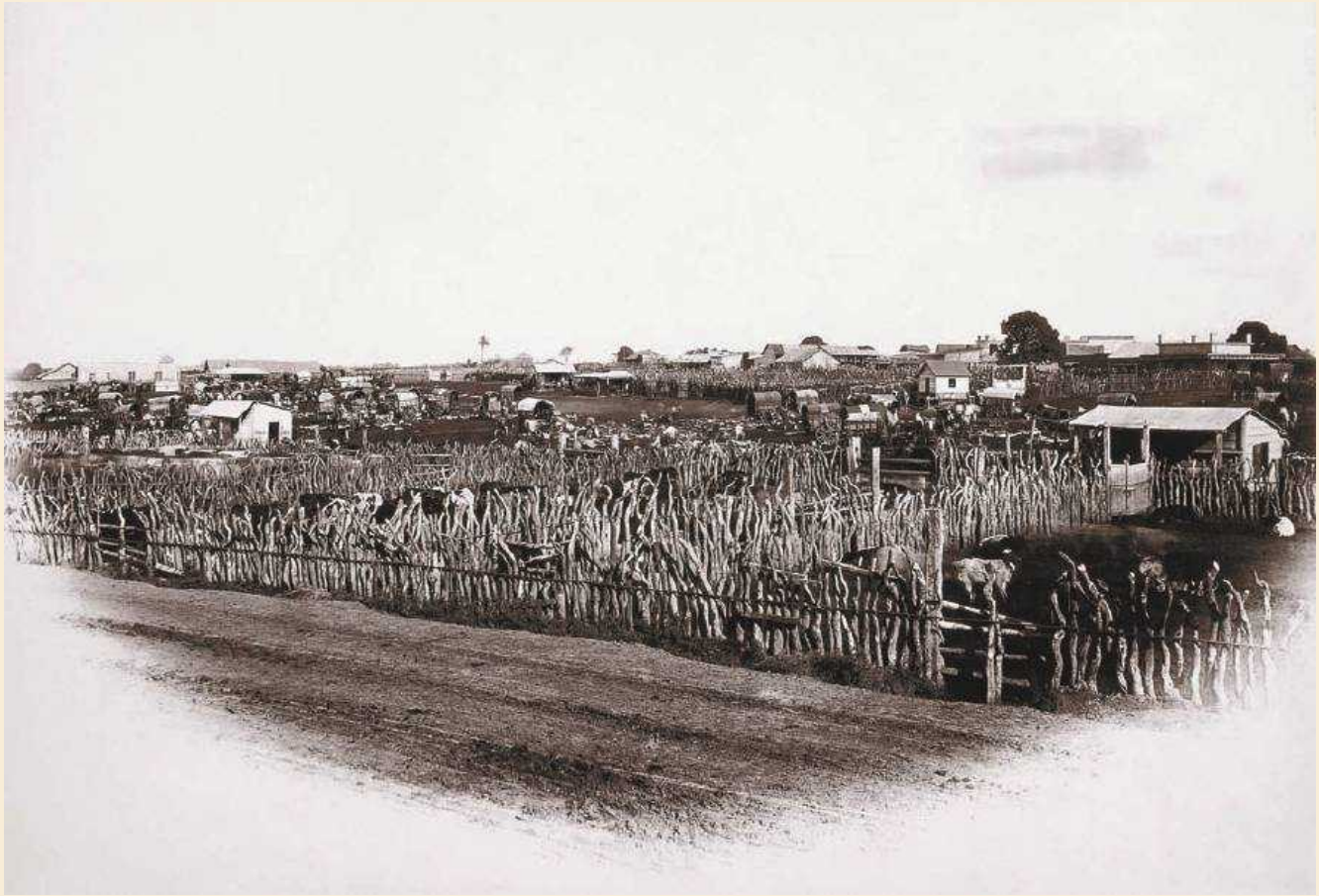
espivak@mdp.edu.ar

José X Martini
Asociación Ciencia Hoy

Los antiguos mataderos de Buenos Aires

Desde que comenzó a tomar cuerpo la ciudad a lo largo del siglo XVII, resultó necesario elegir lugares para faenar los animales de consumo. La matanza y el descuartizamiento se realizaron por muchos años al aire libre y en el suelo, usando el cuero como alfombra. Con el tiempo, se levantaron algunas instalaciones que facilitaran la actividad, principalmente corrales. Por eso se hablaba indistintamente de mataderos o de corrales.

Para fines del siglo XVIII, por disposición del Cabildo, la labor se concentró en los mataderos o corrales del Sud, del Alto, de la Convalecencia o de Santo Domingo. Ocupaban un predio ubicado aproximadamente entre las actuales avenidas Caseros y Amancio Alcorta, que se extendía desde donde hoy termina la calle Santiago del Estero hasta el trazado presente de la avenida Vélez Sarsfield. Incluía el actual parque España.



Mataderos o corrales del Sud, también llamados del Alto, de la Convalecencia o de Santo Domingo. A partir de 1872 pasaron a ser los Corrales Viejos, por oposición a los Nuevos, que los sustituyeron ese año. La imagen muestra los corrales unas tres décadas después de que los describiera Esteban Echeverría en 'El matadero'. Foto Benito Panunzi, ca. 1867.

Según Esteban Echeverría –en su cuento 'El matadero', que data de las décadas tempranas de la independencia–, hacia fines de la década de 1830:

> *El matadero de la Convalecencia o del Alto, sito en las quintas al Sud de la ciudad, es una gran playa en forma rectangular colocada al extremo de dos calles y [...] cortada por un zanjón labrado por la corriente de las aguas pluviales en cuyos bordes laterales se muestran innumerables cuevas de ratones, y cuyo cauce recoge en tiempo de lluvia toda la sangraza seca o reciente del matadero [...] hacia el oeste está lo que llaman la casilla, edificio bajo, de tres piezas de media agua con corredor al frente que da a la calle y palenque para atar caballos, a cuya espalda se notan varios corrales de palo a pique de ñandubay con sus fornidas puertas para encerrar el ganado. Estos corrales son en tiempo de invierno un verdadero lodazal en el cual los animales apeñuscados se hunden hasta el encuentro y quedan como pegados y casi sin movimiento [...] La casilla, por otra parte, es un edificio tan ruin y pequeño que nadie lo notaría en los corrales [...] de no resaltar sobre su blanca pintura los siguientes letreros rojos: 'Viva la Federación', 'Viva el Restaurador y la heroína doña Encarnación Ezcurra', 'Mueran los salvajes unitarios'. Letreros muy significativos, símbolo de la fe política y religiosa de la gente del matadero.*

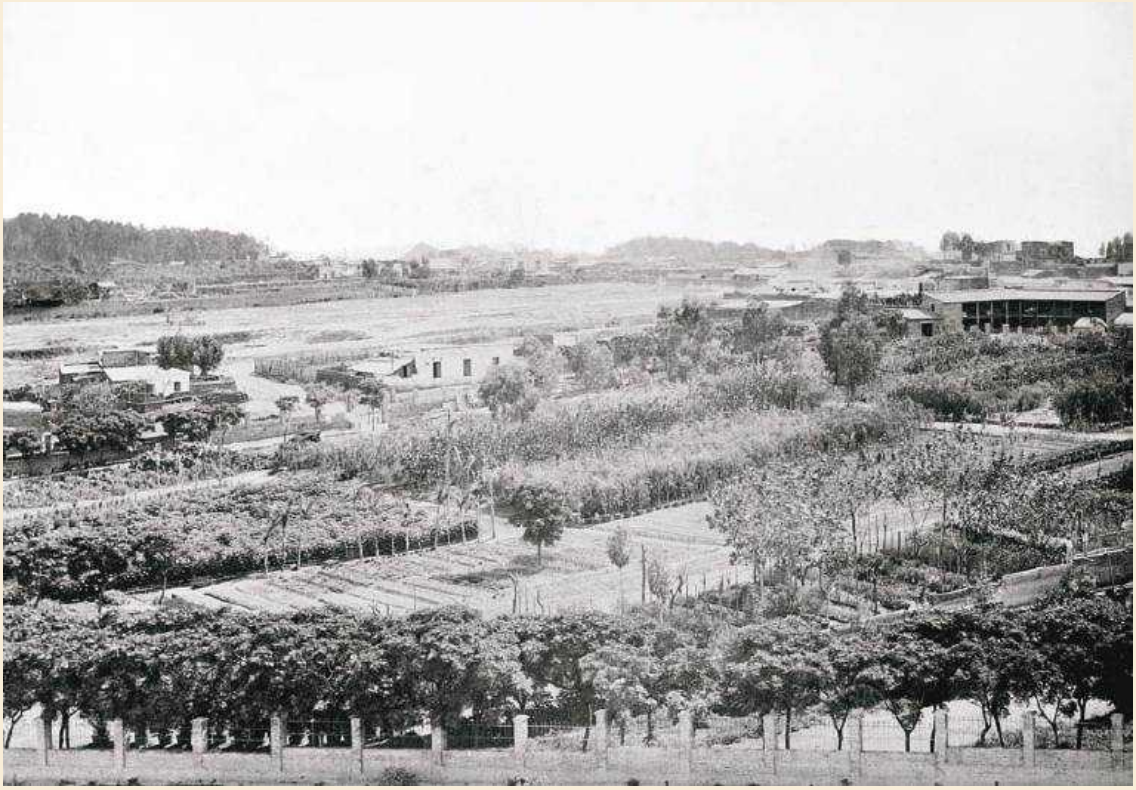
Para mediados del siglo XIX, el deplorable estado de las instalaciones indujo a las autoridades municipales considerar el traslado de los mataderos. Hacia 1860 tomaron la decisión de llevarlos un poco más lejos hacia el sudoeste, a unos terrenos que hoy incluyen el parque Patricios, y a encomendar su proyecto al arquitecto Pedro Benoit. Con el nombre Corrales Nuevos o el de Nuevos Mataderos del Sud, se inauguraron en 1872 (y estuvieron en uso hasta 1902).

Esa ubicación era cercana a los terrenos donde se quemaban los residuos urbanos, para transportar los cuales se estableció, en 1873, el llamado tren de la basura, que hacía siete viajes diarios. Levantaba su carga en un depósito situado en la manzana rodeada por Rivadavia, Esparza, Hipólito Yrigoyen y Sánchez de Loria, y tomaba por esta última calle y por Oruro, Deán Funes y Zavaleta hasta llegar al lugar, detrás del camino al puente Alsina, donde se la quemaba. Mataderos y quema quedaron así asociados.

Los mataderos incluían un edificio de administración con frente paralelo a la calle Rioja (hoy llamada Monteagudo en ese tramo). Los carniceros retiraban la carne en carros que ingresaban por calles de tierra cuyo estado se deterioraba en días de lluvia. Un enorme playón extendido paralelamente a la avenida Caseros servía para estacionar esos carros. En la esquina de Monteagudo y Caseros se estableció una comisaría de policía, dependiente de la seccional ubicada en Garay y Rioja. Con el tiempo se mejoraron los corrales, se construyeron instalaciones higiénicas de matanza, se adoquinaron las calles, se erigió un tanque de agua de reserva, se llevó luz eléctrica y se hicieron llegar tranvías para transportar tanto las reses como el personal del matadero.

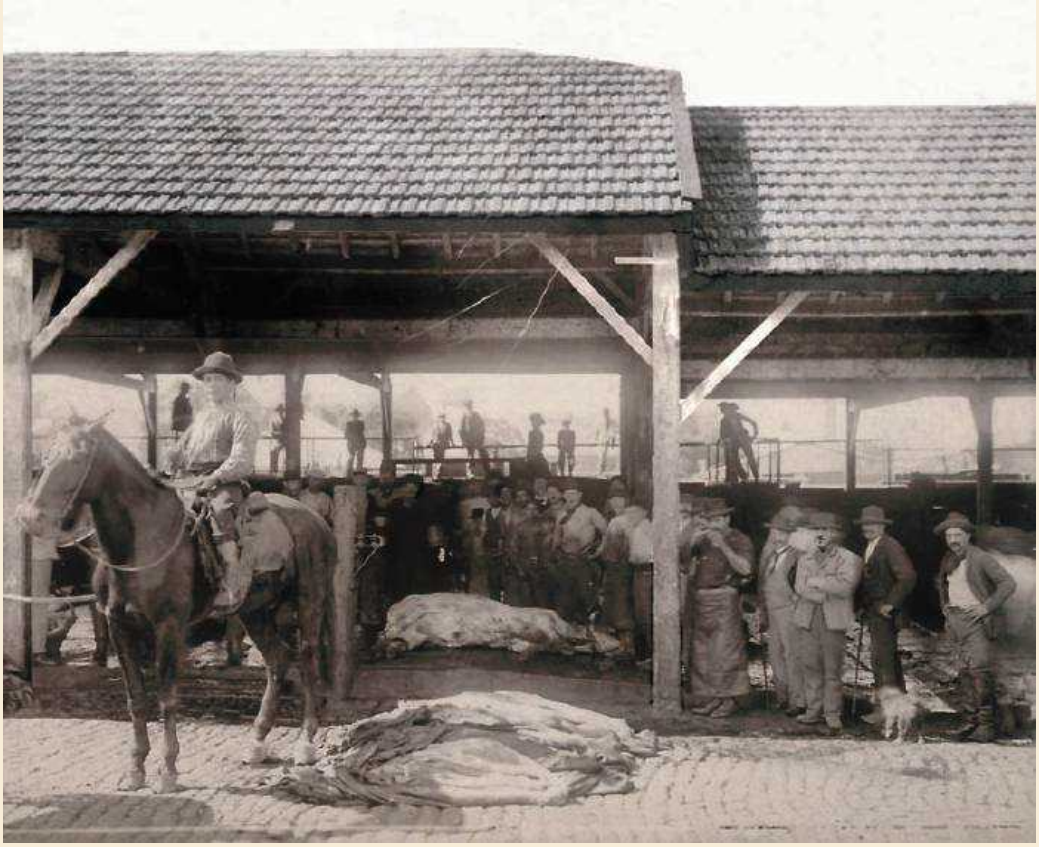
Hacia mediados de la década de 1880, la municipalidad contempló nuevamente la mudanza de los mataderos a un barrio más alejado, porque habían quedado en ubicación demasiado céntrica. Eligió unos terrenos sobre el arroyo Cildáñez, no lejos de la estación Liniers del Ferrocarril del Oeste. De ahí que se difundiera la denominación de mercado de Liniers, aún en uso. La zona pasó a llamarse Nueva Chicago y con el tiempo terminó siendo el actual barrio de Mataderos. En marzo de 1900 se faenó el primer animal en el mercado de Liniers. Matarifes y consignatarios de hacienda activos en los Corrales Nuevos se opusieron a la clausura de estos y al traslado de la matanza a Liniers, lo mismo que los innumerables comerciantes que se beneficiaban de la actividad de aquellos corrales, pero para 1905 quedó definitivamente cerrado el matadero del Sud.

Esta sección se publica con el asesoramiento de Abel Alexander y Luis Priamo.



Criadero Municipal de Plantas, luego Paseo del Sur, en la actual plaza España, entre Caseros, el fin de Santiago del Estero, Amancio Alcorta y Baigorri, donde estuvieron los Corrales Viejos. Foto Emilio Halitzky, ca. 1885, tomada unos doce años después del traslado de los corrales.

Corrales Nuevos o Nuevos Mataderos del Sud. Corresponde al predio ubicado algo al sudoeste de los Corrales Viejos, donde hoy está el parque Patricios. Las instalaciones se inauguraron en 1872 y estuvieron en uso hasta 1902. Foto Samuel Rimathé, ca. 1895.



Corrales Nuevos. Salidas de carros con carne. Fotógrafos de *Caras y Caretas*, 1899, AGN.

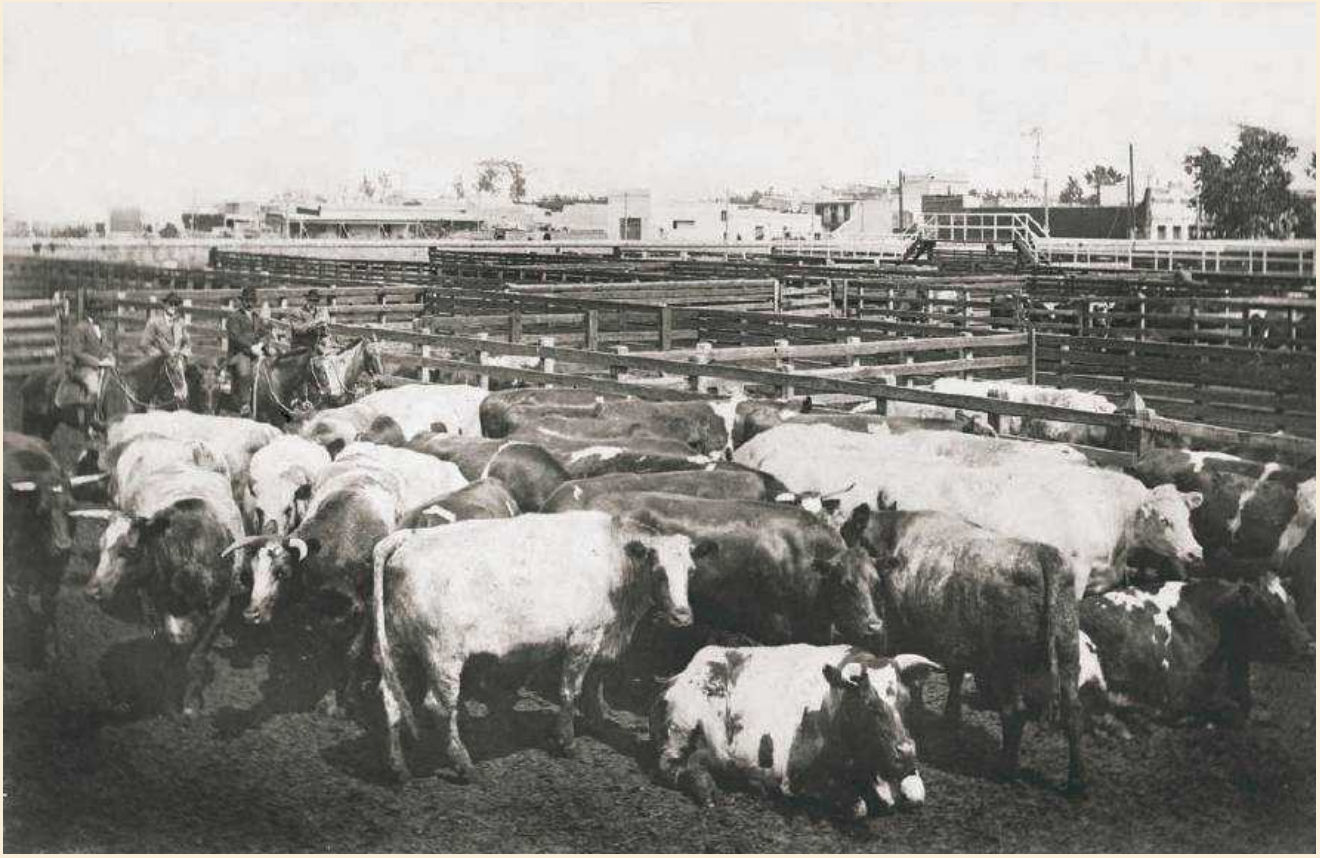
Corrales Nuevos. La carneada. Fotógrafos de *Caras y Caretas*, 1899, AGN.

Caseros y Monteagudo. La foto fue tomada cuando ya se habían desmontado los Corrales pero aún no se había creado el parque Patricios. Fotógrafos de *Caras y Caretas*, 1903, AGN.

Mataderos de Liniers. Foto HG Olds, ca. 1901. Col. EdeA.

Mataderos de Liniers. Tropero y consignatarios de hacienda. Sociedad Fotográfica Argentina de Aficionados, ca. 1905, AGN.

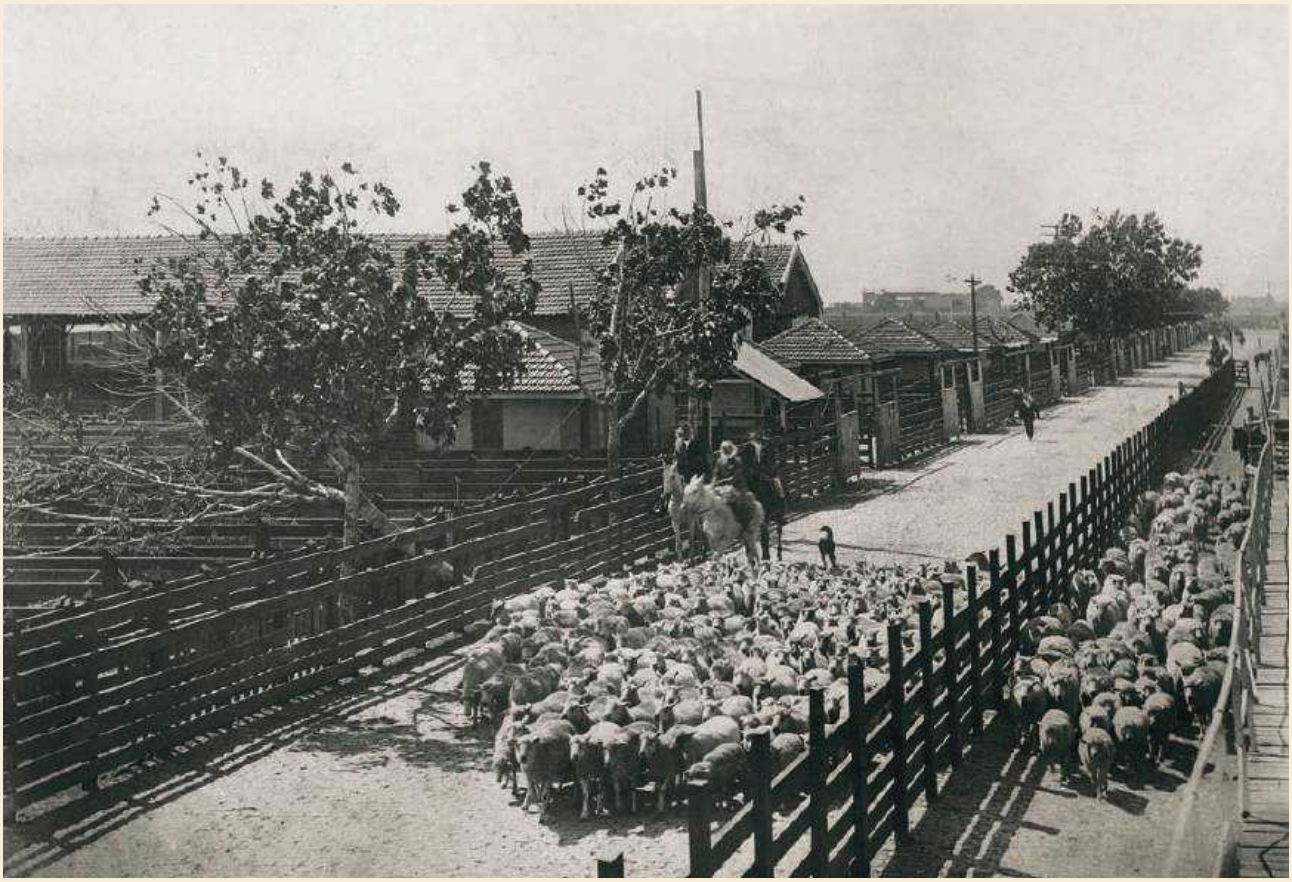
Mataderos de Liniers. Carros de transporte de carne del mercado a las carnicerías, 1913. Colección HL Pezzimenti, CEITPA.



Mataderos de Liniers. Hacienda en corrales, 1913. Colección HL Pezzimenti, CEITPA.

Mataderos de Liniers. Personal de la usina eléctrica, 1913. Colección HL Pezzimenti, CEITPA.

Mataderos de Liniers. Peso de porcinos, 1913. Colección HL Pezzimenti, CEITPA.



Mataderos de Liniers. Manejo de ovinos. Colección HL Pezzimenti, CEITPA.

CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA

Con más de 50 investigadores zarpó el Buque Oceanográfico Puerto Deseado

El Buque del CONICET inició una nueva campaña científica el 11 de enero desde el puerto de Mar del Plata hasta la Antártida.

Durante tres meses, más de 50 investigadores, becarios y personal de apoyo realizarán investigaciones científicas a bordo del Buque Oceanográfico Puerto Deseado (BOPD) en la zona de Patagonia y Antártida. Esta campaña, en aguas antárticas, es una actividad científica (incluida en el Plan Anual Antártico) que se desarrolla en forma conjunta entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Dirección Nacional del Antártico (DNA) y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

El buque, con equipamiento científico y laboratorios a bordo, tripulado por personal de la Armada Argentina navegará por el Mar Argentino, Pasaje Drake y aguas antárticas (Mar de la Flota y del Bellingshausen, Estrecho de Gerlache e Islas Orcadas del Sur).

Durante la campaña, los científicos realizarán estudios relacionados con biodiversidad, hidrografía, geología del fondo marino y parámetros meteorológicos y físico-químicos. El CONICET y la DNA coordinaron la participación de los 18 proyectos para optimizar el uso del buque.

Durante la primera etapa se desarrollarán 9 proyectos de investigación sobre: biodiversidad, biología y ciclos de vida de peces antárticos a través de técnicas morfológicas y moleculares; biología reproductiva de moluscos y equinodermos; y genética, energética e isótopos estables de dichos peces.

Según Juan Martín Díaz de Astarloa, investigador principal del CONICET y coordinador científico del primer tramo de la campaña, "la misión de esta primera etapa es explorar la diversidad de organismos antárticos que habitan a diferentes profundidades y relacionar esa diversidad con las características ambientales de las aguas antárticas. Para ello, se emplearán instrumentos de captura que operan hasta mil metros de profundidad, y equipamiento específico para la toma de datos físicos, como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto".

"El ADN de las especies capturadas será procesado en laboratorios argentinos para conocer la identidad específica, algo así como la huella digital de un pez", concluyó Astarloa.

Al finalizar la primera etapa el buque retornará a la ciudad de Ushuaia para efectuar el recambio del plantel científico y técnico. En febrero, comenzará la segunda etapa que se concentrará en la zona sur de las Islas Orcadas, coordinada por el Dr. Enrique Marschoff, investigador del Instituto Antártico Argentino. "Las actividades estarán orientadas al relevamiento de la batimetría de la plataforma del archipiélago, la distribución de la fauna bentónica en el Área Marina Protegida de las Islas Orcadas, y del plancton en la región de la Confluencia Weddell – Scotia".

En base a este esquema de trabajo, Marschoff agregó que "se obtendrá información sobre distribución y abundancia de aves y mamíferos marinos; características fisiológicas de la fauna de peces y moluscos; contaminantes presentes en la atmósfera; distribución y circulación de masas de agua; bioacumulación de elementos tóxicos; aislamiento de enzimas de microorganismos y obtención de muestras para el programa del código de barras genético de peces e invertebrados".

Al concluir estas dos etapas iniciará la tercera coordinada por Gustavo Lovrich, investigador principal del CONICET en la cual el buque navegará por el Canal Beagle y el Banco Burdwood. ■

El Buque Oceanográfico Puerto Deseado del CONICET junto con el buque oceanográfico costero Comodoro Rivadavia conforman la Unidad de Investigaciones Hidro Oceanográficas (UNIHDO) de gestión compartida entre el CONICET y el Ministerio de Defensa.
Todas las muestras que son colectadas pasan a formar parte de las colecciones biológicas de diversos institutos de investigación como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras IIMyC-CONICET, la Universidad Nacional de Mar del Plata o el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia del CONICET e integran el Sistema Nacional de Datos Biológicos coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

CONICET - INSTITUTO DE ONCOLOGÍA 'ÁNGEL H. ROFFO'

Terapia genética para tratar el melanoma en perros

Un innovador tratamiento combinado permite aumentar la sobrevida entre cinco y seis veces. En un 84 por ciento de los casos los pacientes permanecen libres de metástasis.

Desde 1996 investigadores del CONICET en la Unidad de Transferencia Genética (UTG) del Instituto de Oncología 'Ángel H. Roffo' de la Universidad de Buenos Aires trabajan en el desarrollo de una terapia combinada para combatir un tipo especial de cáncer en perros.

"El melanoma canino mucoso es el más agresivo de todos los melanomas. El tratamiento actual es solo quirúrgico, y aún así la mitad de los pacientes muere a los tres meses", explica Gerardo Glikin, investigador independiente y codirector de la Unidad.

En general, al momento del diagnóstico la enfermedad ya se presenta con metástasis en otras partes del cuerpo y las probabilidades de supervivencia son bajas, ya que este tumor es muy infiltrante – es decir que penetra en los tejidos circundantes – y progresa rápidamente, aún cuando se haya removido la mayoría tras la cirugía.

El tratamiento diseñado por el equipo de la UTG incluye tres pasos: primero, un proceso quirúrgico para reducir el tamaño del tumor; luego, una inyección local con un gen 'suicida'; y finalmente, una vacuna con extractos tumorales, diseñada para estimular una respuesta inmune contra este cáncer a largo plazo.

"La cirugía permite, en primera instancia, reducir la cantidad de células malignas, porque este tipo de cáncer tiene tendencia a recrecer", dice Liliana Finocchiaro, investigadora independiente del CONICET y codirectora de la Unidad. "Luego de este procedimiento, un 50 por ciento de los pacientes que, sin tratamiento tendrían una sobrevida de 90 días, pasarían a tener muy buenas posibilidades de sobrepasar los 500", agrega.

El tratamiento local consiste en una inyección que contiene un gen 'suicida' que se incorpora al núcleo de las células tumorales. Ese gen permite que una droga antiviral, como el ganciclovir o el aciclovir, se introduzca en el material genético de estas células y actúe como terminador de cadena.

"Cuando la enzima ADN polimerasa – que es la encargada de duplicar el ADN – se encuentra con una molécula del antiviral, no puede seguir copiando el material genético. Se gatilla entonces el proceso de muerte celular con liberación de radicales libres y de factores de muerte celular al entorno, que se transmite a las células tumorales circundantes", grafica Finocchiaro.

La investigadora explica que, a grandes rasgos, la célula reconoce al complejo como si fuera un virus que la está invadiendo y eso despierta su respuesta inmune. Por otra parte la acción se transmite a las células que se encuentran cerca y este efecto cascada permite, a partir de pocas células tratadas con el gen suicida, propagar el efecto.

"Con modificar genéticamente hasta apenas un 1 por ciento de las células – dependiendo del caso – se puede prácticamente eliminar hasta un 90 por ciento del tumor", agrega Glikin.

El tercer paso está relacionado con 'despertar' la inmunidad a mediano y largo plazo hacia el tumor. Para eso generan una vacuna que contiene extractos del tumor, que se aplica en una zona distante al lugar donde se encontraba el cáncer.

"Esta vacuna contiene además dos proteínas que median la respuesta inflamatoria, la Interleucina–2 y el Factor Estimulante de Colonias de Granulocitos y Macrófagos. Esto permite estimular la respuesta inmune en lugares distantes donde no hay tolerancia al tumor, y luego los linfocitos – que aprendieron con esta vacuna a reconocer a las células tumorales – viajan a la zona afectada y permanecen allí, previniendo la proliferación de estas células", comenta Finocchiaro.

Como parte del tratamiento el paciente debe de por vida seguir recibiendo esta vacuna aproximadamente cada seis meses. Los resultados sorprenden: la sobrevida aumenta entre cinco y seis veces, de tres meses a más de un año y medio, y hasta ocho años si se considera la muerte por melanoma. Sin embargo, los efectos a largo plazo perduran y más del 50 por ciento de los perros de edad avanzada mueren por enfermedades no relacionadas al tumor.

"La tasa de pacientes tratados libres de metástasis al momento de la muerte es del 84 por ciento, mientras esto sucede sólo en el 51 por ciento de los no tratados. Este tratamiento combinado nos permite cronificar la enfermedad, de tal manera que los pacientes terminan muriendo por otros factores, en general asociados a la edad", finaliza Glikin. ■

Diálogo con un investigador

Ciclo de entrevistas CONICET

"Gran parte del aumento de la demanda de pescado es cubierta por la acuicultura"

Investigadores del CONICET estudian el desarrollo de nuevos alimentos para mejorar la productividad de estos sistemas en forma sustentable.

Por María Inés Pietrantuono, IIB-INTECH.

Desde hace aproximadamente 13 años, Leonardo Julián Magnoni estudia cómo la alimentación y las condiciones de cultivo pueden influir sobre la fisiología y el crecimiento de los peces. En la actualidad, este investigador adjunto del CONICET en el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas - Instituto Tecnológico de Chascomús (IIB-INTECH, CONICET-UNSAM) analiza cómo usar la energía asimilada a través del alimento para maximizar el crecimiento de peces cultivables en Argentina.

En las dietas sustentables, el uso de diversos ingredientes alternativos puede brindar una ventaja competitiva para el productor y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental de la actividad. En particular, Magnoni estudia cómo las dietas ricas en hidratos de carbono podrían ser aprovechadas para mejorar el crecimiento del pejerrey bonaerense (*Odontesthes bonariensis*).

¿Cuál es la importancia de la acuicultura?

El consumo de pescado *per capita* ha ido en aumento de la mano del crecimiento de la población humana y del impulso de su consumo, gracias a los beneficios nutricionales que se le atribuyen por sus aportes de proteínas y lípidos a la dieta. A nivel mundial, gran parte del aumento de la demanda de pescado es cubierta por el cultivo, es decir la acuicultura. Por ejemplo, en 2009, la acuicultura alcanzó un hito histórico cuando cubrió la mitad de la producción destinada al consumo humano de pescados y mariscos. Entonces, el crecimiento vertiginoso de la actividad y el estancamiento en las capturas hacen que hoy en día la producción de peces cultivados sobrepase a la obtenida por pesca extractiva.

¿El cultivo de peces podría solucionar la creciente demanda para el consumo?

Desafortunadamente hoy en día la piscicultura depende en gran medida de la capacidad de producción del alimento suministrado a los peces, que a su vez depende de la disponibilidad de la harina de pescado como ingrediente principal, y por consiguiente de la pesquería. La actividad podría representarse como el uróboros, aquel animal mitológico de la antigüedad que devoraba su propia cola. Por lo tanto, es importante encontrar substitutos viables a la harina de pescado para la elaboración del alimento utilizado en piscicultura y desarrollar esta actividad de forma sustentable. Otro aspecto importante es potenciar el uso de especies de hábitos alimenticios omnívoros u herbívoros en sistemas de cultivo.

¿Qué impacto ambiental puede tener la acuicultura?

Esta actividad, como cualquier otra explotación de recursos renovables, debe hacerse de forma eficiente y sustentable, sobre todo en lo que respecta al uso de agua, al alimento utilizado y a los desechos generados por la actividad piscícola intensiva. Fundamentalmente en lo que se refiere al nitrógeno y fósforo liberados al medio ambiente por el alimento que no es consumido y por las heces. Esto se puede solucionar de diferentes formas. Por ejemplo, en algunos países se está implementando el uso de sistemas de recirculación de agua para la acuicultura, donde se recuperan los desechos generados por la actividad y pueden ser reutilizados con otros fines. Otra solución pasa por la acuicultura multitrófica integrada, donde la alimentación de una especie se combina con el cultivo de otras, de interés comercial, para crear un sistema balanceado.

¿Cómo influye el alimento sobre la producción?

Es fundamental suministrar el tipo adecuado, tomando en cuenta las características particulares de las especies cultivadas, para disminuir los costos y aumentar el crecimiento del pez. También es importante encontrar sustitutos en la formulación del alimento debido a la gran demanda de harina de pescado para este tipo de productos. Por eso, a nivel mundial se está investigando la incorporación de ingredientes alternativos, como derivados de plantas, algas y productos animales, tanto para alimentar especies cultivadas tradicionalmente, como para aquellas que se incorporaron más recientemente al sistema productivo.

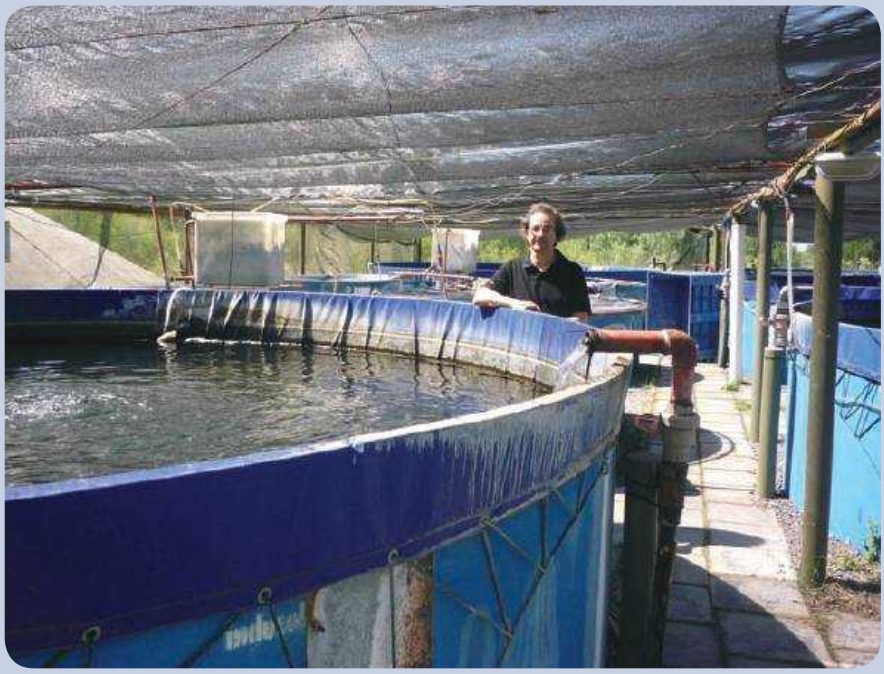
¿De qué otro modo se puede incrementar la producción?

Además de optimizar la alimentación, algunos de los aspectos en los que estamos tra-

bajando con otros grupos tienen que ver con la inducción de ejercicio (natación) para potenciar el crecimiento y, lo que es más interesante, con una mejora en la respuesta inmune del pez frente a enfermedades, como se observó en mamíferos. También estamos interesados en desarrollar, en colaboración con un grupo de Portugal, dietas para peces que incluyan compuestos con propiedades probióticas y que podrían mejorar la respuesta inmune frente a las enfermedades acuáticas, muchas de las cuales presentan dificultad para su detección y tratamiento, además de representar una importante perdida para el productor.

¿Por qué estudiar al pejerrey?

Esta especie es una de las más emblemáticas de las aguas continentales templadas de Argentina, tanto desde el punto de vista de la pesca recreativa como por las cualidades de su carne, por lo cual es un buen candidato para desarrollar su acuicultura. Sin embargo hay varios aspectos que deben ser optimizados, como por ejemplo la baja tasa de crecimiento que presenta en la actualidad. Mi interés pasa por desarrollar dietas específicas para el pejerrey y que puedan mejorar la producción. Sin embargo hay otras especies que deben ser estudiadas en mayor medida en este aspecto ya que su producción está en plena expansión en nuestro país, tales como el randiá (*Rhamdia quelen*), el pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y el surubí (*Pseudoplatystoma fasciatum*). Generar conocimiento en estas áreas permitiría una mejora competitiva en la producción con un menor impacto ambiental.



Crédito: gentileza investigador.

Formación

Leonardo Julián Magnoni obtuvo una maestría en Biología Marina en la Universidad de Maine (Estados Unidos), y un doctorado en Biología en la Universidad de Ottawa (Canadá). Obtuvo una beca de la Unión Europea (Programa Marie Curie) para realizar investigación postdoctoral en la Universidad de Barcelona (España) y para continuar con su labor en la Argentina. Realizó estancias de investigación en la Universidades de Vigo (España) y Leiden (Holanda), además de haber sido asesor experto en nutrición de peces. Es investigador adjunto del CONICET en el IIB-INTECH (CONICET-UNSAM) sede Chascomús, donde trabaja desde noviembre de 2012.

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: *pab@retina.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.

Litografía de ampularias publicada en *Voyage dans l'Amérique méridionale* (1835), de Alcide D'Orbigny. Gentileza Biblioteca MACN

Horacio Heras
Instituto de Investigaciones Bioquímicas
de La Plata, UNLP-Conicet

¿Por qué hay huevos que nadie quiere comer?

La ampularia o caracol manzana

Los huevos de los animales, con sus nutritivas reservas de las que se alimenta el embrión, son comida preferida de muchos predadores. Pero hay excepciones: una que consideraremos en esta nota está constituida por los huevos del caracol de agua dulce comúnmente llamado *ampularia* o *caracol manzana* (*Pomacea canaliculata*). Seguramente la mayoría de los lectores de Ciencia Hoy lo conocen, ya que es un molusco abundantemente representado en lagunas, bañados, esteros, arroyos, canales y hasta zanjas con nutrida vegetación de la mayor parte de la cuenca del Plata.

Integra una especie nativa de Sudamérica que se ha convertido en plaga para la agricultura de varios países del sudeste asiático. La caparazón pardo-amarillenta de sus adultos alcanza unos cinco centímetros de diámetro y estos viven unos dos años: rara vez superan los dos inviernos, a diferencia de los de otra especie muy semejante del mismo género (*P. maculata*), que habitan la misma cuenca y la amazónica, y pueden vivir cuatro años.

Las ampularias depositan sus huevos fuera del agua, en llamativas masas de brillante color rosado que se suelen advertir en rocas, juncos, ramas o postes, y que la sabiduría popular identifica equivocadamente como huevos de sapos o ranas. Una sola hembra de caracol puede depositar entre mil y diez mil huevos en su vida, a los cuales, a pesar de contener gran cantidad de azúcares y proteínas –llamadas *perivitelinas*–, solo se les conoce un predador confirmado: la hormiga de fuego o colorada (*Solenopsis geminata*). Esto se debe a que algunas de dichas proteínas serían tóxicas para otros potenciales predadores, como la que confiere a los huevos el mencionado color rosa intenso, el cual salta a la vista en el medio y sería interpretado por los potenciales predadores como señal de advertencia.

Las ampularias son muy resistentes a condiciones ambientales adversas debido a una combinación de características bioquímicas, anatómicas, fisiológicas y de comportamiento. Sobreviven por semanas y hasta meses a desecación, baja concentración de oxígeno en el agua y privación de alimentos. Además de la branquia que

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los huevos de la ampularia, un caracol ampliamente conocido en la cuenca del Plata, tienen un sistema químico de defensa único entre los animales, que resulta eficaz ante todos los predadores, salvo ante una especie de hormiga.

les permite tomar oxígeno del agua, poseen una especie de pulmón al que llega aire aspirado por un largo tubo llamado sifón, semejante a un snorkel de buceo. La combinación de cuasipulmón y branquia es una adaptación evolutiva a hábitats con aguas pobres en oxígeno.

Llegan a la madurez sexual en un lapso de entre dos y cuatro meses y, a diferencia de los caracoles de jardín que son hermafroditas, tienen los sexos separados. Se reproducen en el agua, luego de una copulación que dura hasta veinte horas. La hembra puede almacenar el esperma durante toda la estación reproductiva, que en la Argentina abarca desde la primavera hasta comienzos del otoño, para ir fecundando los huevos en tandas. Rodea cada óvulo fertilizado con una sustancia viscosa nutritiva y protectora, llamada *fluido perivitelino*, y con una cáscara calcárea. Esas envolturas son producidas y secretadas por una glándula compleja llamada glándula del albumen.

La práctica de adherir los huevos (en masas de unos trescientos) a soportes fuera del agua no solo está acompañada por adaptaciones anatómicas y fisiológicas de los adultos; también las incluye en la bioquímica de los huevos, que les permiten soportar insolación, desecación y repeler depredadores terrestres.

¿Quién come ampularias?

El primero en observar la falta de predadores de los huevos de ampularia posiblemente haya sido el naturalista y explorador francés Alcide d'Orbigny (1802-1857), que recorrió Sudamérica entre 1826 y 1833 y relató que solo los caracoles recién nacidos y los adultos son presas de aves acuáticas. A diferencia de los huevos, los adultos son parte de varias cadenas alimentarias y tienen gran variedad de predadores americanos, como caimanes (*Caiman latirostris*), ranas leopardo (*Rana pipiens*), bagres (*Bunocephalus* sp.), cuervillos de cañada (*Plegadis chihi*), caraus (*Aramus guarauma*) y ratas (*Oryzomys* sp.).

Ampularia o caracol manzana (*Pomacea canaliculata*). Como todos los caracoles, se apoya sobre el pie que se advierte en la parte inferior. Este caracol particular es anfibio y puede respirar aire gracias a un sifón (que sobresale hacia la derecha) y una ampolla que oficia de pulmón. Hacia la izquierda se extienden los tentáculos cefálico y labial.

Concha de un ejemplar de acuario de ampularia o caracol manzana (*Pomacea canaliculata*). Su diámetro es de unos 5cm. Foto H Zell, Wikimedia Commons.

Sin embargo, el principal predador de estos moluscos probablemente sea un ave rapaz, el gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), que se alimenta casi exclusivamente de ellos. Tiene un pico adaptado a retirar los caracoles de sus conchas, de las que es común ver montículos al pie de los postes de alambrados en que se posa. También es frecuente encontrar en el suelo, junto a las conchas, restos de la glándula del albumen de los caracoles hembras, la que secreta el fluido previtelino tóxico, la cual también tiene el mencionado color rosado. El caracolero invariablemente la descarta.

Las proteínas de los huevos del caracol manzana

Los huevos de ampularia contienen uno de los sistemas de defensa bioquímica contra predadores más eficiente que se conoce entre los animales. Su llamativa coloración forma parte de ese sistema, y advertiría a los potenciales depredadores sobre la presencia de alguna sustancia tóxica o desagradable, que sería su principal línea de resguardo, y está dada por las proteínas del fluido perivitelino que rodea al embrión, la mayoría de las cuales –entre ellas las denominadas *ovorrubina* y PcPV2– se sintetizan en la mencionada glándula del sistema reproductor femenino. Esas dos proteínas representan casi el 70% de todas las que tiene el huevo y es la ovorrubina la que dota a los huevos del color rosado. Nuestros experimentos indicarían que las toxinas del huevo ya están activas en la glándula, lo que proporciona una explicación bioquímica de por qué el caracolero no la come.

Las proteínas son fundamentales en todos los procesos biológicos. Por ello, es importante comprender cómo actúan, para lo cual necesitamos conocer su estructura interna, ya que su función depende de esta. Si bien el fluido perivitelino del caracol manzana contiene unas 59 proteínas, en nuestros estudios solo analizamos en detalle

Caracolero (*Rostrhamus sociabilis*). En la cuenca del Plata este rapaz es el principal predador de caracoles manzana, de los que evita comer los huevos y la glándula que produce la toxina encontrada en ellos. Adviértase a sus pies la concha del caracol y la forma de su pico, evolutivamente adaptada para sacar de ella el cuerpo del molusco. Foto Cleber Ferreira, Flickr.

LA AMPULARIA COMO ESPECIE INVASORA

A principios de la década de 1980, alguien llevó de la Argentina ejemplares de ampularia al sudeste asiático, para alimentación humana y para poblar acuarios (véase MC Damborenea y G Darrigran, 'Un sudamericano invade Asia', Ciencia Hoy, 11, 66: 24-30, diciembre de 2001-enero de 2002). Allí, en un clima tropical que les resultó propicio, con abundante alimento en arrozales y humedales, y sin enemigos naturales, se reprodujeron y aumentaron en número y área geográfica de dispersión, en la que se volvieron una especie invasora. Hoy se encuentran en la India, Ceilán, el sur de China, la antigua Indochina, Indonesia, las Filipinas, Taiwán y hasta Japón. En Sudamérica cruzaron los Andes y alcanzaron Perú y Ecuador, y también llegaron hasta los Estados Unidos, en la periferia del golfo de México. Su pariente cercano *P. maculata* fue detectado por primera vez en Europa en 2008, en el Ebro, en España, y también la especie se hizo invasora: en 2010 se estimó que su población alcanzaba unos seis millones de individuos.

En estas invasiones los caracoles manzana se han convertido en plaga de cultivos de arroz y otros, y provocado considerables perjuicios y pérdidas económicas. Aún no se halló un modo de controlarlos, si bien se está investigando intensamente para procurar encontrarles su talón de Aquiles. En adición, estos moluscos albergan a varios parásitos, como en Asia el gusano nematodo *Angiostrongylus cantonensis*, que causa una meningoencefalitis humana. La cantidad de casos está aumentando por el avance de este invasor, sobre todo en China, y se han detectado recientemente focos de infección por *Angiostrongylus costarricensis* en Centroamérica y el Brasil.

Desde el punto de vista humano, no todo lo relacionado con las ampularias es negativo: podrían emplearse como agente de control biológico de caracoles transmisores de esquistosomiasis, otra enfermedad parasitaria de Sudamérica, muchas veces letal. También, aprovechando su apetito se los ha sugerido para el control de malezas acuáticas de canales de riego en el sur de la provincia de Buenos Aires.

Su avance en Asia ha valido a los caracoles manzana la inclusión en la lista de las cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

las dos indicadas, que forman partículas tan grandes que se pueden ver con microscopio electrónico. La composición química de ambas incluye gran cantidad de azúcares, los que les confieren propiedades como solubilidad en agua y, posiblemente, resistencia a ser digeridas.

El análisis de la secuencia de aminoácidos de las dos unidades que forman la proteína PcPV2 reveló que una tiene ciertas semejanzas con lectinas capaces de reconocer azúcares de membranas celulares, y la otra se asemeja a una familia de proteínas formadoras de poros en las membranas celulares, llamada MACPF. Ambas proteínas participan en la respuesta inmune en otros animales, pero en al caso que nos ocupa, combinadas, tienen función neurotóxica. Además, su estructura no se parece a la de otras toxinas animales, pero es muy similar a algunas toxinas de plantas, como la de la semilla del ricino y la toxina botulínica de la bacteria *Clostridium botulinum* (la popular botox). La similitud estructural de estas toxinas y la capacidad de la lectina de unirse a cierto tipo membranas sugiere que la lectina de la PcPV2 dirigiría la mencionada unidad MACPF, que actuaría en la perforación de membranas, si bien esto requiere aún de comprobación mediante más experimentos. Este descubrimiento permite imaginar, sin embargo, que estas toxinas tengan aplicaciones farmacológicas en cuanto a dirigir la toxina a tejidos específicos, como células cancerosas, aunque esto, por el momento, es solo especulación.

Tanto la ovorrubina como la PcPV2 son resistentes a la acción combinada de dos enzimas del sistema digestivo de muchos animales, la pepsina y la tripsina. Utilizando una técnica llamada

Huevos de ampularia depositados sobre una roca. Cada grupo de huevos mide unos 5cm de largo.

Huevos de ampularia depositados sobre juncos de una laguna de la provincia de Buenos Aires.

dispersión de rayos X de bajo ángulo pudimos construir modelos en tres dimensiones de estas proteínas. El estudio mostró que ambas tienen una estructura globular, y que, pese a ser muy grandes y complejas, son estables en medios muy ácidos o muy alcalinos, semejantes a los que existen en el sistema digestivo de los animales.

Funciones de las proteínas de los huevos

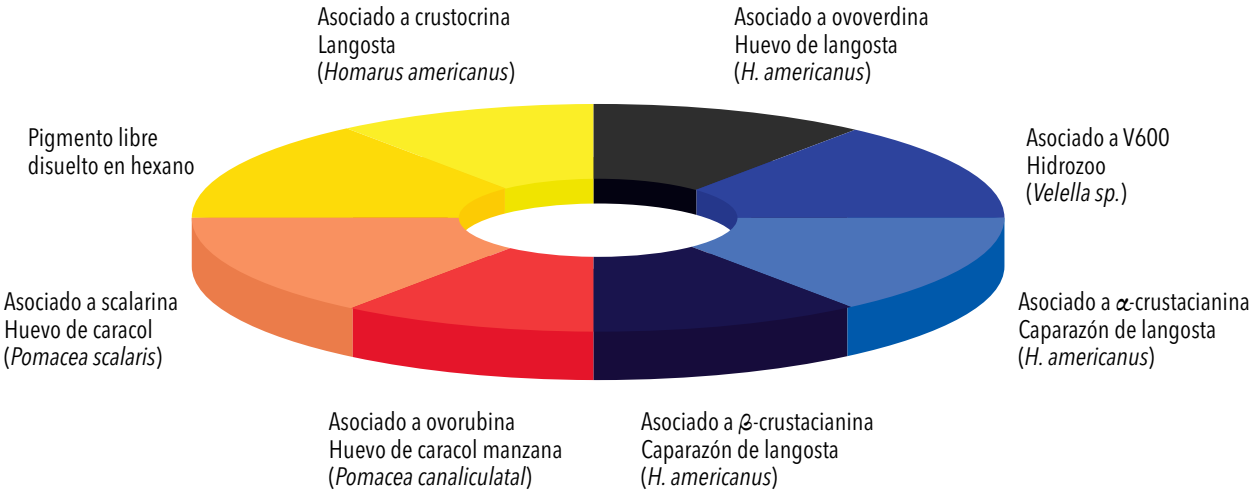
Las proteínas de los huevos tienen múltiples funciones. Las del caracol manzana, entre otras cosas, nutren el embrión en desarrollo, al que proveen energía y aminoácidos. La ovorrubina le aporta el pigmento astaxantina, un antioxidante quinientas veces más potente que la vitamina E, que protegería las membranas de sus células de estrés oxidativo. También lo defienden de la depredación, en primer lugar, por la coloración dada por la ovorrubina, cuya acción es disuasoria. Los patrones brillantes y contrastantes de los huevos son fáciles de aprender a reconocer. Comunicarían la advertencia de que algo desagradable podría ocurrir a quienes los comieran. Es un mensaje que, evidentemente, llega a los predadores, pues, salvo una hormiga nadie los come. Lo mismo se advierte en muchas especies fuertemente coloreadas que suelen ser ponzoñosas, como, para tomar ejemplos de la cuenca del Plata, la serpiente de coral (*Micrurus corallinus*) y las mariposas monarca (*Danaus spp.*) y almendra (*Heliconius spp.*).

Si a pesar de la advertencia dada por el color un predador consume los huevos, entran en acción otras armas bioquímicas. Así, se ha comprobado que la PcPV2 es una potente neurotoxina que daña la médula espinal de los ratones y los mata en unas treinta horas, pues les altera el metabolismo del calcio e induce la muerte celular de grupos específicos de neuronas de la sustancia

EL COLOR DE LOS HUEVOS

Lo primero que llama la atención al advertir en el medio natural la presencia de huevos de ampularia es su color rosado. Muchos invertebrados acuáticos exhiben sus cuerpos coloreados por efecto de ciertas proteínas pigmentadas con *carotenos*. Les sirven como camuflaje para escapar de predadores, como coloración de advertencia y para los rituales de apareamiento. El pigmento carotenoide *astaxantina* es el más frecuente; cubre la gama completa de colores en el rango de la luz visible. La capacidad de un solo pigmento de lograr esto se debe a que su interacción con diferentes proteínas altera su espectro de absorción de la luz, como lo muestra la figura. Así, la unión de astaxantina con *ovorrubina* produce el color rojo, mientras que con *crustacianina* colorea de azul al caparazón de cangrejos, langostinos, camarones y langostas.

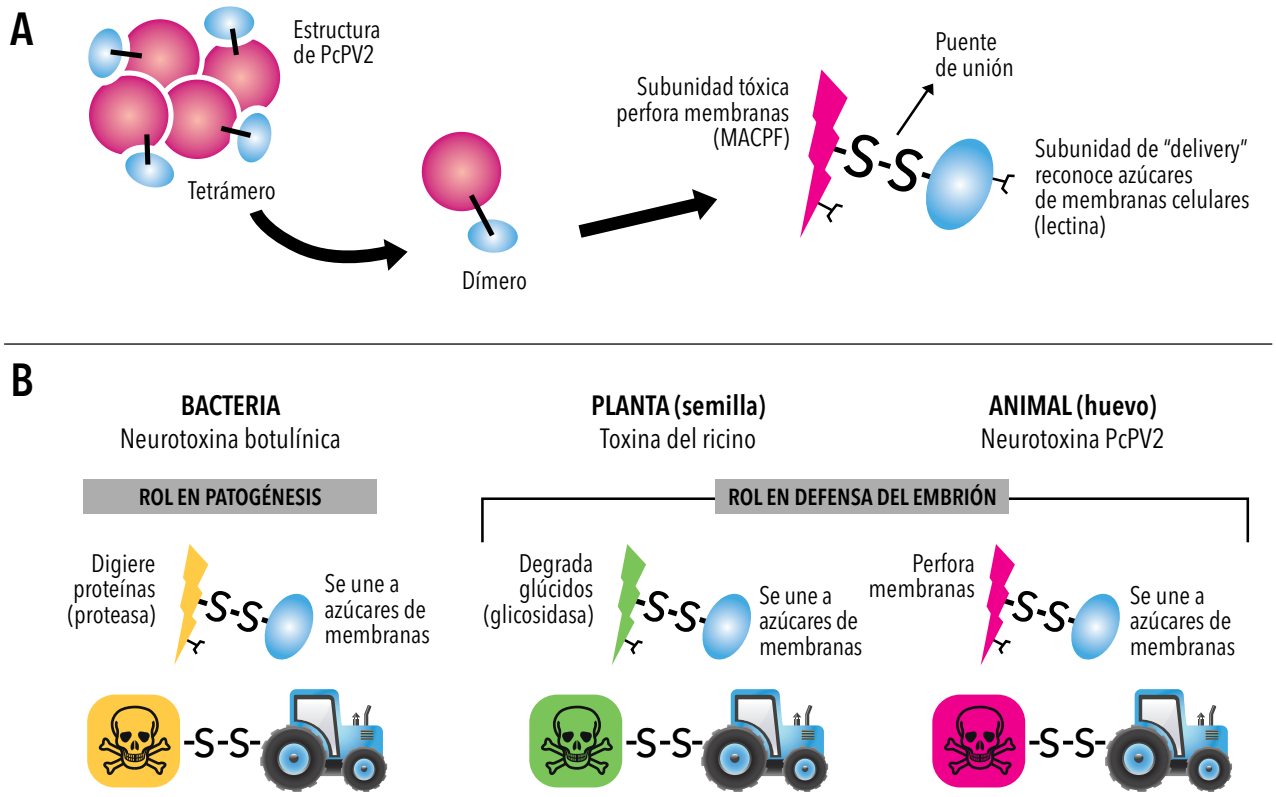
Los cambios de color también dependen de la estabilidad de las carotenoproteínas. El caparazón de langostinos, que es azulado en los animales vivos, se torna rojizo al cocinarlos porque la crustacianina pierde su estructura con el calor y libera el pigmento, lo que provoca el cambio a la coloración roja que vemos sobre el plato. En esto, nuevamente, los huevos del caracol manzana dan la nota, ya que hervirlos no les cambia el color. Esto se debe a que la ovorrubina no pierde su estructura por las altas temperaturas. Incluso soporta casi sin alteraciones los 100 °C.



Cambios de color producidos por la combinación de astaxantina con diversas proteínas.

La toxina PcPV2 está compuesta por una combinación de proteínas única en los animales. Consiste en una proteína llamada MACPF, que forma poros en las membranas de las células, fuertemente unida a otra llamada *lectina*, que liga específicamente a determinados azúcares. Ambas proteínas son muy antiguas en la escala de la evolución, pues ya se encuentran en las bacterias. También están presentes en plantas, hongos y animales. En estos últimos cumplen sobre todo funciones en el sistema de defensa inmune. Sin embargo, aunque la evolución ha ido refinando estos compuestos por cientos de millones de años, en la carrera armamentista entre predadores y presas las armas y las defensas se perfeccionan constantemente. Es común que en la naturaleza compuestos mejorados a lo largo de millones de años tomen nuevas funciones. Así resultó que de la mezcla de dos armas del sistema inmune se generó un arma nueva, una neurotoxina letal, que potenció drásticamente la capacidad defensiva los huevos de ampularia. Gracias a la adquisición de esta nueva estructura, antes inexistente en la naturaleza, dichos huevos están, por ahora, en el lado ganador de la carrera armamentista y casi no tienen predadores.

Solo se han observado estructuras químicas similares en toxinas de plantas (como la contenida en el ricino) y en la neurotoxina botulínica, aunque en esos casos la proteína que une azúcares se combina con toxinas diferentes a la MACPF. Comparando nuestros datos experimentales con estas toxinas, pudimos sugerir que la subunidad perforadora sería la tóxica, mientras que la lectina oficiaría de vehículo y dirigiría la toxina específicamente hacia células con determinados azúcares en sus membranas. Estas tres toxinas –la PcPV2, la del ricino y la botulínica– tienen también en común que ejercen su acción luego de ser ingeridas, y que resisten el pasaje por el sistema digestivo. Además, la toxina PcPV2 comparte con las de semillas de plantas no solo funciones de defensa sino, también, de reserva nutricia del embrión.



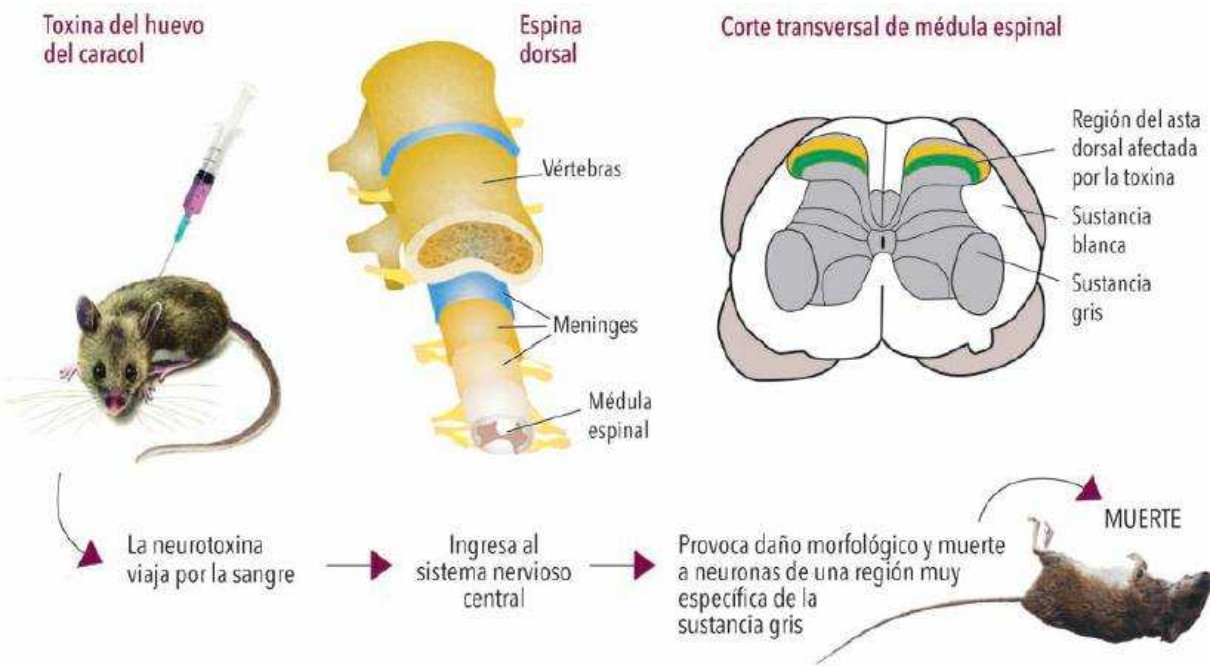
(A) PcPV2 es un tetrámero formado por 4 dímeros, cada uno compuesto a su vez por una subunidad que forma poros en la membrana y una subunidad que une azúcares, ambas unidas por un puente disulfuro. **(B)** La comparación con otras toxinas sugeriría que la subunidad perforadora sería la tóxica mientras que la lectina oficiaría de vehículo que dirigiría la toxina específicamente hacia ciertas células.

gris medular. Los huevos de la ampularia son los únicos conocidos con una neurotoxina de origen proteico.

Sospechábamos que lo anterior no agotaba los mecanismos de defensa de la ampularia, y encontramos uno adicional al observar la elevada estabilidad estructural de la ovorrubina en un amplio rango de pH (entre 4 y 12) y su capacidad de resistir la digestión gastrointestinal simulada. Esto nos sugirió que podría llegar al intestino de los potenciales depredadores de manera biológicamente activa. Por esta vía, la ovorrubina sería

¿CÓMO ACTÚA LA NEUROTOXINA DE LOS HUEVOS DEL CARACOL MANZANA?

Si bien aún hay mucho por estudiar, sabemos que si alguien ingiere la neurotoxina de los huevos del caracol manzana, esta resiste sin alteraciones apreciables el ambiente ácido y las enzimas del sistema digestivo del depredador y, una vez en el intestino, ingresa en el torrente sanguíneo y llega, por mecanismos aún no develados, al sistema nervioso central, al que provoca serio daño morfológico, alteración del metabolismo y finalmente la apoptosis (o muerte programada) de las neuronas, probablemente por su capacidad de perforar sus membranas. Esto no ocurre en cualquier lugar del sistema nervioso sino en regiones específicas de la sustancia gris de la médula espinal, determinadas posiblemente por la especificidad del módulo lectina. Los ratones inyectados con pequeñas dosis de la toxina comienzan por mostrar signos de alteraciones neurológicas, como cambios de conducta y dificultad para moverse, hasta que finalmente la neurotoxina les ocasiona la muerte.



antinutritiva, ya que el predador no podría digerirla y así aprovechar los nutrientes del huevo. También hallamos que las proteínas del huevo poseen acción antidigestiva por la vía de inhibir la tripsina intestinal. Estudiamos este mecanismo administrando a ratas ovorrubina como suplemento dietario –e incluso suministrándoles un extracto completo de huevo–, y pudimos comprobar que la velocidad de crecimiento de esos roedores disminuyó.

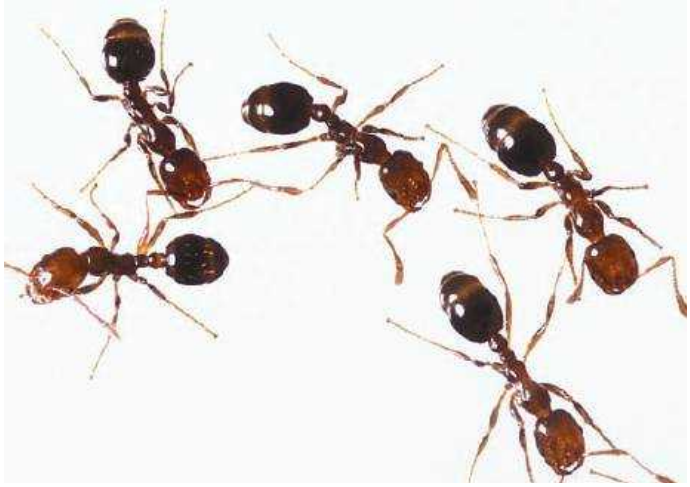
Las funciones de la ovorrubina no terminan aquí. Por ejemplo, debido a la cantidad de azúcares que la componen, atrapa agua y evita la deshidratación de los huevos expuestos al sol. Además, su pigmento protegería al embrión de la radiación solar.

Las más de cincuenta otras proteínas de los huevos de ampularia todavía no fueron estudiadas, pero la comparación de sus secuencias con las de diversos organismos permite suponer que algunas pueden actuar como defensas contra insectos, hongos y bacterias, y que las hay que cumplen funciones en el sistema inmune.

Ventajas de las defensas químicas de los embriones

Se puede suponer que los mecanismos de selección natural que indica la teoría de la evolución llevaron a que, en un ambiente hostil con presencia de predadores, aparezca este tipo de proteínas con funciones de defensa antinutritiva, antidigestiva, neurotóxica y de advertencia. El caracol manzana es el primer animal conocido que defiende sus embriones con proteínas tóxicas. El sistema, sin embargo, es frecuente en las plantas, en las que actúa en defensa de los embriones en las semillas y frutos. Con un único depredador conocido, las defensas de la ampularia resultan sin duda muy buenas y rompen la regla de que algo efectivo contra un depredador suele no serlo contra otros.

Un sistema de defensa producido íntegramente por las hembras y transferido al huevo tiene muchas ventajas. Por un lado, evita que las hembras tengan que comer



Arriba: obreras de hormiga de fuego (*Solenopsis geminata*). Miden menos de medio centímetro y son los únicos predadores confirmados de los huevos de ampularia. Abajo: hormigas de fuego depredan una puesta de huevos de ampularia. Fuente *http://applesnail.net/content/photographs/ fire_ants/ants_on_eggs.jpg*

presas con toxinas para dotar a los embriones de defensas químicas, como hacen muchos animales. Asimismo, los restos de las defensas proteicas constituyen una reserva que alimenta al embrión y a los recién nacidos, y contribuye al éxito reproductivo de la especie.

Estos estudios, que comenzamos por la curiosidad de conocer la estructura de las proteínas de reserva de los huevos, terminaron abriendo una nueva área de estudio en ecología química, ya que no se sospechaba que esas proteínas tuvieran funciones de protección y que fueran el escudo tóxico contra predadores que la evolución proporcionó a las ampularias.

Si bien la adquisición de las particulares proteínas que describimos convirtió a los caracoles manzana en animales hoy exitosos, seguramente con el tiempo algún otro predador, además de la hormiga de fuego, evolucione y logre vencer sus defensas, en la interminable carrera armamentista de la coevolución de defensas y contradefensas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

DREON MS, **ITUARTE S** & **HERAS H**, 2010, 'The role of the proteinase inhibitor ovorubin in apple snail eggs resembles plant embryo defense against predation', *PLoS One 5*, en *http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0015059*

DREON MS *et al.*, 2013, 'Novel animal defenses against predation: A snail egg neurotoxin combining lectin and pore-forming chains that resembles plant defense and bacteria attack toxins', *PLoS One* 8, en *http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0063782.*

GELLER B, 2011, 'Proteínas antidigestivas y neurotóxicas defienden al caracol de agua dulce de los predadores', en *http://www.agenciacyta.org.ar/2011/07/proteinas-antidigestivas-y-neurotoxicas-defienden-al-caracol-de-agua-dulce-de-los-predadores/*

GERRITSEN VB, 2008, 'A snail's sting', *Protein spotlight*, 100: 1-2, *http://web.expasy.org/ spotlight/back_issues/100/*

HERAS H *et al.*, 2008, 'First egg protein with a neurotoxic effect on mice', *Toxicon*, 52: 481-488.

MARSHALL M, 2010, 'Weaponised eggs turn predators' stomachs', *New Scientist*, 12, 1, en *http://www.newscientist.com/article/dn19831-zoologger-weaponised-eggs-turn-predators-stomachs.html*

Horacio Heras

Doctor en ciencias naturales, Universidad Nacional de La Plata. Profesor titular de química biológica, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Investigador principal del Conicet en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de La Plata.

h-heras@med.unlp.edu.ar

Ciencia en el aula

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

Constelaciones zodiacales, eclipses y la estrella de Belén

Esta nota presenta algunas situaciones que pueden abordarse en el aula con el programa de simulación del cielo *Stellarium*. Las características de ese programa se explicaron en una nota reciente (Alejandro Gangui y María Iglesias, 'Un observatorio astronómico virtual', Ciencia Hoy, 136: 62-64, diciembre de 2103-enero de 2014), cuya lectura anterior a la de esta es recomendable.

Stellarium es un excelente instrumento para responder una infinidad de preguntas que podemos hacer a los alumnos, como las siguientes:

> ¿A qué hora salió el Sol esta mañana? ¿A qué altura sobre el horizonte lo encontraremos al mediodía solar? Si mañana observamos la salida del Sol, ¿lo veremos emergiendo del horizonte en el mismo lugar en que lo hizo hoy? ¿Y dentro de una semana, o dentro de un mes? Si el Sol no sale siempre por el mismo lugar del cuadrante oriental, ¿a qué distancia del punto cardinal este está su punto de salida? Esa distancia, ¿es la misma en cualquier punto del país? ¿A qué altura sobre el horizonte estará el Sol al mediodía solar en distintos días del año?

Estas preguntas son útiles para estudiar la astronomía diurna. Pero no solo el Sol está presente en el cielo durante el día: también lo está la Luna, y sobre su movimiento pueden asimismo plantearse preguntas cuyas respuestas ayuda a encontrar el simulador. Por ejemplo:

> Mientras estamos en la clase de ciencias, ¿dónde se halla la Luna? Cuando la Luna creciente sube por el horizonte oriental, ¿dónde estará el Sol? Si mañana a esta misma hora buscamos a la Luna, ¿la encontraremos en el mismo lugar del cielo en que está ahora? ¿Y dónde estará el Sol? ¿Cuál de los dos astros parece moverse más rápido por el cielo, el Sol o la Luna?

Si bien es relativamente simple predecir el lugar y la hora en que saldrá el Sol mañana si conocemos esos datos para hoy, lo mismo no es tan fácil de inferir para la Luna. Es que a esta a veces la vemos y otras veces no. En las ciudades, con limitado cielo despejado, se vuelve difícil observarla y le perdemos el rastro, con la consecuencia de que un par de días más tarde no sabemos dónde ni cuándo encontrarla. Esto no sucede con el Sol, pues su luz y las sombras de los objetos que ilumina nos suelen indicar sin ambigüedad el lugar del cielo en que se halla.

El empleo del simulador permite comprender muchas de las regularidades del movimiento de la Luna que percibimos desde nuestro lugar de observación. También da la posibilidad de cambiar de sitio –colocarse en el otro hemisferio de la Tierra, por ejemplo– y verificar cómo se verían las fases de nuestro satélite desde allí.

El Sol y la Luna no agotan lo que puede simular el *Stellarium*, pues sus capacidades incluyen las características del cielo estrellado y de los planetas, especialmente las de aquellos visibles sin necesidad de instrumentos ópticos. Considérense las siguientes preguntas para lanzar la discusión:

> De noche, los habitantes de la Tierra ¿ven las mismas estrellas que verán, doce horas más tarde, sus antípodas? ¿Ven las mismas estrellas que verán, doce horas más tarde, sus periecos (igual paralelo pero del otro lado del planeta)? ¿Por cuál de las constelaciones zodiacales estaba desplazándose el Sol el día que compré este número de Ciencia Hoy? Ese mismo día, el planeta Venus ¿se mostraba co-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Segunda de dos notas sobre el uso de la simulación astronómica por computadora para propósitos pedagógicos.

mo lucero matutino o vespertino? ¿Cuánto deberemos esperar para que se produzca una conjunción entre los planetas Júpiter y Venus? ¿Cuándo será la próxima ocultación de Venus por la Luna? Nuestro satélite, ¿en qué fase se encontrará en su próxima aproximación al cúmulo abierto de las Pléyades?

Para ilustrar las posibilidades que ofrece el uso en el aula del programa *Stellarium*, comentaremos tres actividades de creciente complejidad que comienzan con unas pocas preguntas simples y a veces ambiguas. Indicaremos sus soluciones esquemáticas y los pasos necesarios para responderlas.

¿Por qué constelación zodiacal pasaba el Sol el día de mi nacimiento?

La pregunta anterior tiene connotaciones que van más allá de la astronomía observacional moderna y evocan tanto la historia de la disciplina como tradiciones culturales y creencias sobre la relación entre el movimiento de los astros y la vida de las personas. Esta nota no entrará en esas cuestiones, que llevarían a terrenos diferentes de la enseñanza de la ciencia.

Zodíaco, 1896, lámina de Alfons Mucha para un calendario que distribuyó el periódico parisino *La Plume* en 1897.

El zodíaco en el mosaico de piso de la sinagoga Beit Alpha, Israel. Siglo VI. Foto Wikimedia Commons

El concepto de 'pasaje' del Sol por determinadas constelaciones –llamadas constelaciones del zodíaco– en el día del nacimiento de alguien (y en cada sucesivo cumpleaños) se refiere a las estrellas que ese día se distinguirían en el cielo detrás y alrededor del Sol si la luz de este no lo impidiese, como se indicó en la nota anterior. Junto con el Sol, a esas estrellas las veríamos trasladarse en el cielo de oriente a occidente, como las vemos moverse de noche, debido a la rotación diaria de la Tierra. Además, mirándolo desde esta, el Sol se desplaza lentamente con relación a esas estrellas, consecuencia de la traslación de la Tierra en su órbita en torno al Sol. Por esta última razón lo veríamos pasar por diferentes constelaciones a medida que transcurre el año. Excepcionalmente, sin embargo, podemos llegar a ver esas estrellas de día, por ejemplo, durante un eclipse total del Sol.

Pero, ¿podemos realmente ver alguna vez la constelación del zodíaco por la que pasa el Sol en cada uno de nuestros cumpleaños? Sin duda, pero no de día sino de noche. Esa constelación se verá hacia la medianoche todos los años relativamente alta en el cielo aproximadamente unos seis meses antes o después de nuestro cumpleaños. Si en vez de verla realmente, nos conformamos con hacerlo de modo virtual, nos podemos servir de *Stellarium*.

El primer paso es ubicar el programa en el tiempo para el día de nuestro nacimiento (o adelantarlo hasta el de nuestro próximo cumpleaños), una operación que explicamos en la nota anterior, lo mismo que los pasos que siguen. Elijamos una hora en la cual el Sol esté visible sobre el horizonte. Como la atmósfera de la Tierra se tiñe de color celeste intenso por los rayos solares, debemos suprimirla. Podemos también agregar la eclíptica, que es el camino aparente que –visto desde la Tierra– recorre el Sol con relación a las estrellas, para lo cual podemos recurrir a la tecla F4. Este paso no es imprescindible, pero al hacerlo podremos ubicar rápidamente todas las constelaciones zodiacales, pues la línea de la eclíptica las atraviesa todas. Para distinguir las diferentes constelaciones, podemos usar las teclas [c] que hace aparecer las líneas, [b] que muestra los límites y [v] que pone sus nombres.

Quizá sea conveniente ubicar el Sol en el medio de la pantalla arrastrando el puntero del *mouse* con el botón izquierdo de este apretado. Ahora basta hacer [Page-Up] o [Page-Down] tantas veces como haga falta de manera de localizar bien la constelación que estamos buscando. Notemos que [Page-Up] opera como una suerte de zoom que acerca la zona del cielo que estamos observando, en este caso, las inmediaciones del Sol.

Eso es todo: hemos puesto al Sol en la constelación zodiacal del día de nuestro nacimiento. ¿Es la constelación que esperábamos? Para algunos puede coincidir con la que da su nombre al signo que registran diarios y revistas. Pero para la gran mayoría no será esa sino una vecina. Explicamos el motivo en otra nota que recomendamos leer (Alejandro Gangui, 'Dante, astronomía y astrología', Ciencia Hoy, 104: 28-35, abril-mayo de 2008).

¿Cómo será el próximo eclipse de Sol?

Para comenzar, busquemos un eclipse. Los de Luna son interesantes, pero los más sorprendentes son los solares, y si se trata de un eclipse total de Sol, tanto mejor. Sabemos que no es simple encontrar el lugar de la Tierra adecuado y el momento preciso en el que se ve cómo la Luna oculta al Sol. Haremos este ejercicio aprovechando el eclipse de Sol que acaeció hacia el 9 de mayo de 2013, suponiendo un observador ubicado en la ciudad de Buenos Aires que se pone a usar el programa unos días antes, específicamente, el 30 de abril. Comencemos por situar el programa *Stellarium* en ese lugar y en esta última fecha, según lo explicado en la nota anterior; luego busquemos un eclipse en los próximos días. Solo puede haber eclipse de Sol con Luna nueva, y como cinco días antes, el 25 de abril, hubo Luna llena, sabemos que aproximadamente el 9 o el 10 de mayo habrá Luna nueva. De más está decir que nada garantiza que se produzca un eclipse de Sol en esas fechas.

Fijemos después el Sol en el centro de la pantalla de suerte que quede quieto allí por más que hagamos correr el reloj del programa. Es como si (con las debidas precauciones) se enfocara un telescopio sobre el Sol: todo objeto del cielo (y de la Tierra) se moverá alrededor del Sol. Para hacerlo basta emplear la ventana 'búsqueda' y completar con 'Sol' (o 'Sun', si el programa quedó configurado en inglés). Por último, sacamos la atmósfera. Advertiremos la presencia de planetas cerca del Sol, todos alineados aproximadamente a lo largo de la eclíptica, como es de esperar, pero la Luna, que causaría el eclipse buscado, no aparece. Avancemos en el tiempo: después de algunas horas, el Sol se ocultará por el horizonte: para recuperar su imagen, eliminemos el horizonte con la tecla [g]. Como habíamos dejado el Sol fijo, sucedió que el horizonte del paisaje terrestre avanzó hacia él y terminó cubriéndolo. Sin el horizonte que bloquee la visual, se podrá ver el Sol y a sus acompañantes tanto de día como de noche.

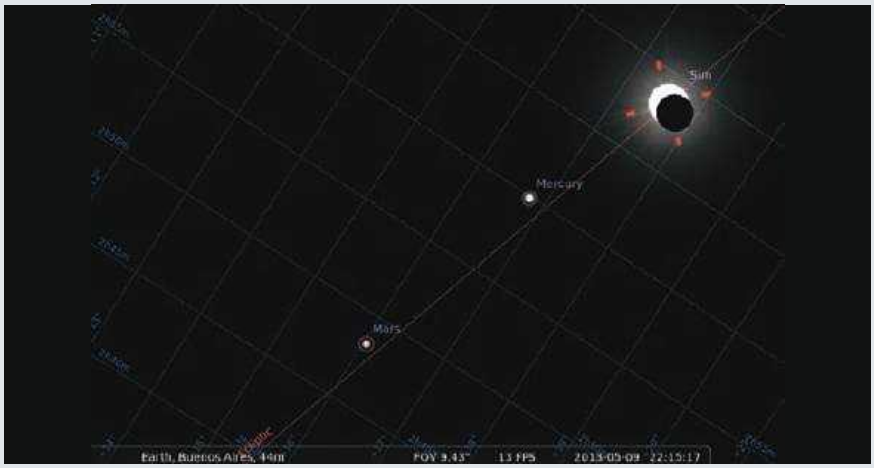


Imagen de pantalla de *Stellarium* que muestra el cielo durante el eclipse de Sol del 9 de mayo de 2013, visto desde la ciudad de Buenos Aires. Es una imagen imposible, pues para apreciar realmente el evento habríamos debido mirar a través de la Tierra (el Sol ya se había ocultado horas antes).

Hagamos correr el reloj hacia adelante en forma veloz (sea con las flechas del menú horizontal de la parte inferior de la pantalla o bien usando la ventana que abre la tecla F5) hasta que pasen varios días. A medida que estos transcurren, veremos que la Luna se acerca al Sol: se le aproxima por el oeste, mientras se acerca la fase de Luna nueva. Fijemos la fecha en el 9 de mayo. Si volvemos a colocar el horizonte, veremos que ese día el Sol se ocultó en Buenos Aires a las 18, cuando aún no se dio esa fase.

Retiremos nuevamente el horizonte y avancemos en el tiempo a ritmo normal. Veremos la silueta oscura de la Luna, cuyo diámetro angular aparente es siempre aproximadamente el mismo que el del Sol. Este hecho debería verse reflejado en la pantalla: los tamaños de la Luna y del Sol deberían ser muy similares. Si esto no fuese así, es decir si la Luna apareciese mucho más grande que el Sol, se debe a que el programa tiene activada una opción que permite agrandar cuatro veces el tamaño aparente de la Luna (que se encuentra en la ventana 'vista' o F4, en la solapa 'cielo'). En tal caso, desactivémosla para que ambos tamaños coincidan en nuestro simulador.

Aproximadamente a las 21:30 (hora de Buenos Aires) del 9 de mayo se producirá el contacto del disco de la Luna con el del Sol. Es el inicio de un eclipse, que no se hubiese visto desde Buenos Aires porque el Sol ya se había puesto. Con el artificio de *Stellarium* de quitar el horizonte –equivalente a mirar a través de la Tierra– descubriremos que, si los porteños lo hubiesen podido ver, habría sido para ellos un eclipse parcial pues, observado desde su ciudad, el disco de la Luna solo llegó a cubrir parcialmente al del Sol.

Visto desde cerca del ecuador en el océano Pacífico (2° 13,4′ de latitud norte y 175° 28′ de longitud este), no se hubiese tratado ni de un eclipse parcial ni de uno total, sino del tipo conocido como *eclipse anular* de Sol. La duración máxima de la fase anular fue de unos seis minutos en dicha ubicación. Si en *Stellarium* llevamos al observador a ese lugar [F6], veremos que la Luna pasó por el medio del disco solar, y que lo hizo en plena tarde, dado el huso horario. Sucede que los eclipses totales o anulares de Sol se aprecian en una franja muy estrecha de la superficie de la Tierra.

¿Qué fue la estrella de Belén?

En el Evangelio de Mateo (2, 1-3) se lee:

> *Nacido Jesús en Belén de Judea en días del rey Herodes, unos magos vinieron del oriente a*

Los Reyes Magos en el arte cristiano primitivo. Un sarcófago del siglo III, Museo Vaticano. Foto Wikimedia Commons

Los Reyes Magos en el arte ítalo-bizantino. Mosaicos de la basílica de San Apolinario Nuevo, Ravena, siglo VI. Foto Nina Aldin Thune, Wikimedia Commons.

Jerusalén preguntando: ¿Dónde está el Rey de los Judíos que ha nacido? Porque vimos su estrella en el oriente, y venimos a adorarlo. Al oír esto el rey Herodes se turbó, y toda Jerusalén con él.

Los Reyes Magos viajaron de Persia a Palestina. ¿Qué vieron? ¿Qué los guió a Belén? Para contestar estas preguntas con *Stellarium*, ubiquémonos en la actual Teherán, dado que la antigua Persia era muy amplia: el error geográfico que podamos así cometer no será demasiado significativo. Fijemos luego el huso horario: elijamos el +3 como buena aproximación. Nótese que Buenos Aires está por lo común en el huso -3.

Sabemos que en el año 7 antes de nuestra era hubo una conjunción planetaria de Saturno y Júpiter, es decir, una situación por la que, desde la Tierra, se los veía tan próximos que aparentaban ser un solo cuerpo. ¿Habrá sido ese el fenómeno astronómico que llamó la atención de los magos? Ambos planetas –los dos más lejanos observables a simple vista– tienen un movimiento relativamente lento contra el fondo estrellado del cielo. Una conjunción de ellos no es algo usual y pudo haber resultado muy brillante y llamativa para observadores avezados, como supuestamente eran los tres magos, expertos en artes y en astrología.

Fijemos entonces el reloj en el año 7 antes de nuestra era. Pero verifiquemos que el *Stellarium* no incluya un año 0, como lo hace en algunas versiones. Ese año, en realidad, no existe, pues la cronología que usamos pasa del 31 de diciembre del año 1 antes de nuestra era al 1 de enero del año 1 de nuestra era. Si el programa incluyese un año 0, el -6 del *Stellarium* correspondería al requerido año 7 antes de nuestra era.

Recreemos el cielo de aquellos días:

- Busquemos a Júpiter [F3], eliminemos el horizonte terrestre [g] y descartemos la atmósfera [a].
- Coloquemos la fecha [F5]: año -6 o -7, mes 4, día 10.
- Coloquemos la hora: 05:00:00 (para el huso horario a +3), equivalente a las 23:00:00 de Buenos Aires del día anterior. Está a punto de amanecer en Persia.
- Volvamos a colocar el horizonte y miremos hacia el este: veremos al Sol y, más arriba, a Saturno y Júpiter.

En un intento de descubrir qué pudo guiar a los magos, miremos todo el horizonte (para cambiar el zoom, [Page-Up] y [Page-Down]). En esa fecha

y a esa hora de la madrugada, la conjunción estaba hacia oriente, lo cual es coherente con el texto evangélico: *vimos su estrella en el oriente, y venimos a adorarlo*. Sin embargo, para llegar de Persia a Jerusalén los magos no viajaron hacia oriente, sino hacia occidente. ¿Por qué? Si suponemos que, para guiarse por las estrellas, viajaron de noche por varios meses, quizá la explicación resida en el lugar del cielo en que se encontraban Saturno y Júpiter en las horas previas al amanecer y hacia dónde avanzaban.

Así, con el programa de simulación podremos establecer que:

> El 10 de mayo del año 7 antes de nuestra era, a las 05:00, comparado con sus posiciones del mes anterior, los dos planetas apenas si se habían desplazado con relación a las constelaciones de fondo, pero el Sol sí lo había hecho, hacia el oriente. (Adviértase que este desplazamiento no se refiere al giro diario del cielo de este a oeste sino a los cambios de la posición del Sol y los planetas con relación a las estrellas, las que, en ese contexto, suelen llamarse estrellas fijas.) Por lo anterior, cerca del amanecer, a las 05:00, ambos planetas aparecían más altos en el horizonte oriental que el Sol naciente.
> El 10 de junio de ese año a la misma hora se veía aproximadamente lo mismo en el cielo, mientras que el 10 de julio, antes del amanecer (más o menos a las 04:00), los planetas aparecían algo desplazados hacia el sur, es decir, en camino del este al oeste. El 10 de agosto a las 04:00 se los ve algo más al oeste, y aun más el 10 de septiembre. Para el 10 de octubre del año 7 antes de nuestra era, a las 03:00, estaban en proceso de ocultarse por debajo del horizonte occidental.

De lo anterior podríamos vernos inclinados a deducir que la conjunción de esos dos planetas fue la *estrella* que guió a los magos de Persia a Palestina, en armonía con el texto evangélico, según el cual *vinieron del oriente a Jerusalén*. La deducción refuerza también las ambigüedades del calendario, puesto que –en alguna concordancia con los escritos del historiador Flavio Josefo, quien afirmó que Herodes murió en una fecha que hoy corresponde al año 4 antes de nuestra era– pone el nacimiento de Jesús en Belén antes del inicio de la era que supuestamente comenzó con ese nacimiento. Sin duda, se trata de deducciones puramente especulativas y por el momento sin fundamento firme más allá de la astronomía explicada, pero proporcionan una buena oportunidad para ejercitarse en el estudio de esta disciplina y en el uso del programa *Stellarium*.

Por último, ubiquemos a Júpiter en el centro de la pantalla y descartemos el horizonte. Si hacemos correr el reloj del programa desde el 10 de abril del año 7 antes de nuestra era a las 05:00, hasta el 10 de enero del año 6 antes de nuestra era a las 05:00, de mes en mes (unos nueve pasos), veremos que este planeta y Saturno ejecutan una triple conjunción. Quizá sea solo casualidad, pero el hecho pudo haber llamado la atención de los (tres) Reyes Magos. CH

Las actividades aquí propuestas reproducen con algunas modificaciones lo realizado por el autor, María Iglesias y Fernando Karaseur en el foro internacional de enseñanza de ciencias y tecnologías en la Feria del Libro de la Ciudad de Buenos Aires, el 30 de abril de 2013. *Stellarium* en castellano se puede obtener en *http://www.stellarium.org/es*.

LECTURAS SUGERIDAS

CASAZZA R y **GANGUI A**, 2012, 'La explicación de los eclipses en la antigüedad grecolatina', *Revista de Estudios Clásicos*, Nº 39, 79-109.

ESPENAK F, 2013, *http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html*

GANGUI A, 2008, 'Dante, astronomía y astrología', Ciencia Hoy, 104: 28-35.

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

Una antena parabólica en el techo de un estudio de televisión. Foto sxc.hu/dlritter

Tomás Gergely
National Science Foundation, Estados Unidos

La gestión del espectro de radio

Un reciente aviso publicado en un diario de los Estados Unidos invitaba a un debate sobre oferta y demanda del espectro radial. Proclamaba en letras enormes: *Desde el teléfono que tiene en sus manos hasta los satélites que están en el espacio, casi todo usa el espectro.* No es una exageración. Los usos del espectro de radio se han multiplicado hasta el punto que su simple enumeración excedería por mucho la longitud de este artículo.

El espectro de radio es una parte del espectro electromagnético, que es el conjunto de toda la radiación electromagnética. La nomenclatura y la delimitación de las partes del espectro son arbitrarias. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en el Reglamento de Radiocomunicaciones, define el espectro de radio como *ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000GHz, que se propagan en el espacio sin guía artificial.*

A diferencia de la luz visible, cuyas ondas se describen habitualmente por su longitud, las ondas de radio se suelen caracterizar por su frecuencia, que es inversamente proporcional a dicha longitud y se expresa en hertzios (Hz) o vibraciones por segundo. La banda FM de la radio, conocida por todos, ocupa aproximadamente 20MHz (millones de vibraciones por segundo) del espectro, ubicadas entre los 88 y 108MHz. Si en nuestra imaginación prolongamos la escala del dial de una radio FM hacia ambos lados, deberíamos extenderlo por cuatro órdenes de magnitud (diez mil veces) por debajo de los 88MHz y por otros cuatro por encima de 108MHz, para abarcar lo que convencionalmente se entiende como el espectro de radio. Es un rango enorme, mucho mayor que el de la parte visible del espectro, que está comprendida aproximadamente entre los 4000 y los 8000 angstroms ($1Å = 10^{-10}m$) en longitud de onda, una extensión considerablemente menor que un orden de magnitud (diez veces).

Las distintas partes del espectro tienen diferentes propiedades de propagación y esto, junto con algunas otras características, determina su uso. La parte más codiciada (y por ende más costosa) del espectro es la región comprendida aproximadamente entre 30MHz y 3GHz. En ese rango de frecuencias, las ondas de radio atraviesan la atmósfera terrestre prácticamente sin atenuación, por lo cual muchos sistemas satelitales, como el GPS, transmiten en bandas comprendidas en dicho intervalo.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Qué es el espectro de radio y cómo se procura evitar que no se interfieran entre ellas las millones de comunicaciones que lo usan simultáneamente en todo momento y en todo el mundo.

Un poco de historia

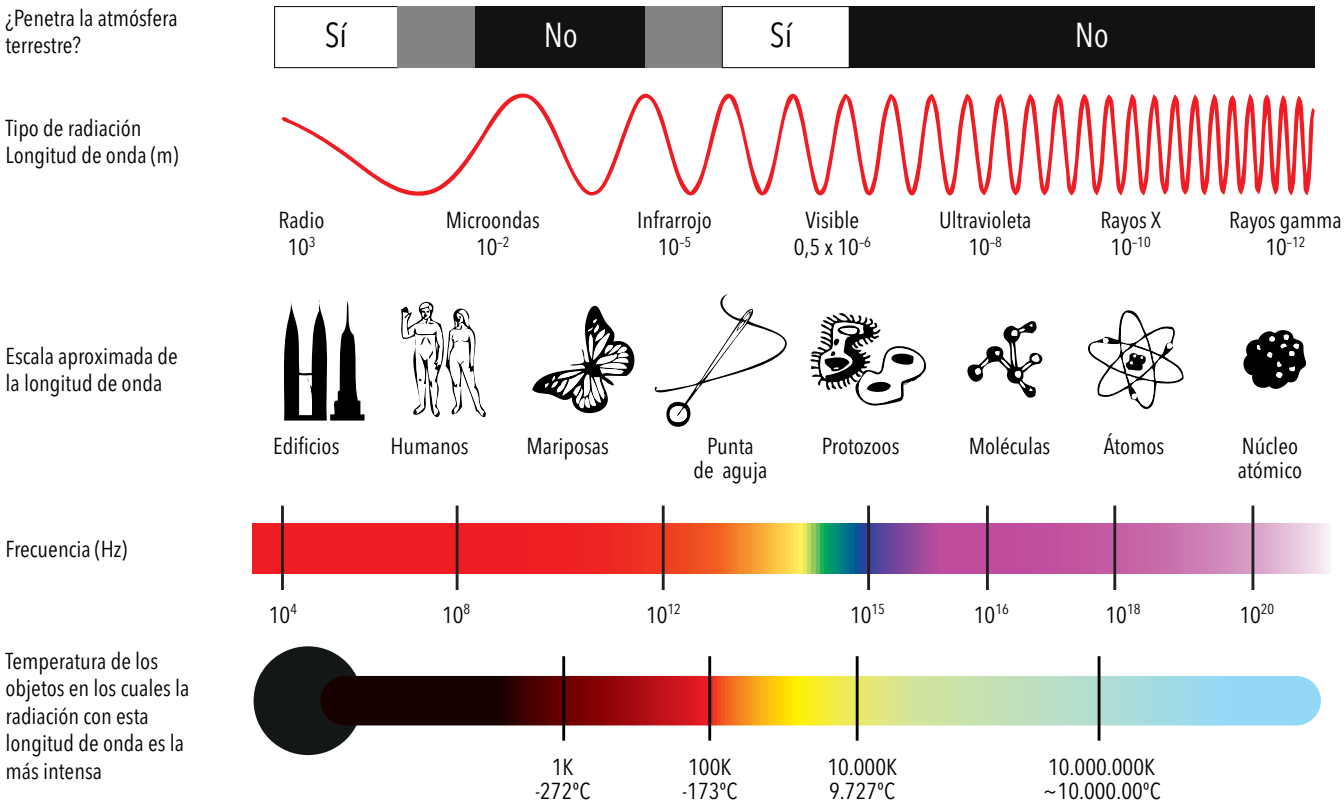
Algunos fenómenos eléctricos y magnéticos eran conocidos en la antigüedad, pero su estudio sistemático comenzó en el siglo XVII. La teoría del electromagnetismo quedó definitivamente establecida en la década de 1860 con las ecuaciones del físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) y su obra *Teoría dinámica del campo electromagnético* (1865). Esas ecuaciones predijeron la existencia de ondas electromagnéticas, lo que fue confirmado hacia fines de la década de 1880 por los experimentos del físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894), quien no alcanzó a darse cuenta de la importancia práctica del descubrimiento.

A una consulta sobre el uso práctico de esas ondas, Hertz respondió que no tenían ninguno, y que solo había demostrado la existencia de unas misteriosas ondas que no se ven, y que la teoría de Maxwell había previsto correctamente. Pero no mucho después, un pionero de la radio comentaba: *Hace tres años no había ondas electromagnéticas por ningún lado. Poco después, estaban en todas partes.*

Los usos del espectro

La utilización práctica de las ondas de radio comenzó en 1895 con el telégrafo inalámbrico, por el inventor y empresario italiano Guglielmo Marconi (1874-1937), quien, junto con Karl Ferdinand Braun (1850-1918), recibió en 1909 el premio Nobel de física *en reconocimiento de sus contribuciones a la telegrafía inalámbrica* (cabe destacar que Marconi no había hecho estudios formales de física). Las primeras transmisiones de Marconi que atravesaron el canal de la Mancha datan de 1899; las que cruzaron el Atlántico Norte, de dos años más tarde. Las ondas se generaban entonces mediante una chispa, emitida en un rango muy amplio de frecuencias. Como consecuencia, pronto se advirtió que varios aparatos cercanos en funcionamiento simultáneo causaban interferencia entre ellos, lo que hacía difícil descifrar los mensajes.

Una aplicación inmediata del invento de Marconi fue el telégrafo costero para las comunicaciones marítimas, instalado en 1901 por primera vez en un barco comercial. Hasta ese momento la comunicación con los barcos –la única posible– se hacía mediante señales luminosas, generalmente desde faros, un recurso muy limitado aun en las mejores circunstancias. Para recibir un mensaje telegráfico, el barco debía conocer la frecuencia de transmisión de la estación costera. La mencionada posibilidad de interferencia, así como la necesidad de adoptar estándares comunes para los aparatos y para la sintonía entre transmisor y receptor, hicieron ver la conveniencia de reglamentar la nueva forma de comunicación. Esta-



El espectro electromagnético. Recibe ese nombre el conjunto de las ondas electromagnéticas de todas las frecuencias, como lo indica la figura. Una parte de ese espectro se suele denominar *espectro de radio* e incluye las ondas de frecuencias entre 10^4 y 3×10^{12}Hz, comprendidas las microondas. Nótese que en el gráfico la escala de frecuencias es logarítmica. Fuente *http://commons.wikimedia.org/wiki/ EM_Spectrum_Properties_es.svg*

ba claro que la reglamentación debía ser internacional, dado que las ondas atravesaban las fronteras nacionales.

En 1903 tuvo lugar una reunión preliminar en Berlín, seguida en 1906 por la Primera Conferencia Internacional de Radiocomunicaciones, un encuentro intergubernamental realizado en la misma ciudad. El tema predominante de ambas reuniones fue la reglamentación de las comunicaciones marítimas, para mejorar la seguridad de la navegación. Cinco de los veintisiete participantes de la Primera Conferencia Internacional de Radiocomunicaciones eran países latinoamericanos: Argentina, Brasil, Chile, México y Uruguay, y se cuentan entre los signatarios de la Primera Convención Internacional de Radiotelégrafos, antecedente directa del actual Reglamento de Radiocomunicaciones.

La necesidad de reglamentar las comunicaciones marítimas se hizo más patente aún con la tragedia del *Titanic*, ocurrida en abril de 1912. El auxilio se retrasó varias horas debido a que el único operador de radio del *Carpathia*, el barco que se encontraba más cerca del sitio del accidente, se había ido a dormir unos veinte minutos antes del primer pedido de auxilio. El retraso aumentó significativamente la pérdida de vidas.

Telégrafo y telégrafo costero son ejemplos de estaciones de radio que transmiten desde una estación en movimiento a otra que permanece fija (transmisión de un barco a una estación costera) o entre estaciones fijas (transmisión de un telégrafo a otro). Casi de inmediato apareció la radiodifusión (o, como la conocemos hoy, la radio), de naturaleza muy distinta, ya que sus estaciones no transmitían a un receptor que permanecía fijo, sino a todos los receptores sintonizados a determinada frecuencia dentro de cierta área. Las transmisiones de radio –primero AM y después FM– fueron seguidas a fines de la década de 1930 por las de televisión.

Desde entonces los usos del espectro se han multiplicado rápidamente. La navegación marítima, y todavía más la aeronáutica, son inconcebibles hoy sin radiocomunicaciones. Los radares, desarrollados con fines bélicos durante la Segunda Guerra Mundial, tienen innumerables usos: navegación, meteorología, y hasta detección de cuerpos en el Sistema Solar que pueden poner en peligro a nuestro planeta.

En 1933 se descubrió la existencia de ondas de radio de origen cósmico, lo que abrió una nueva disciplina, la radioastronomía. La depresión económica y luego la Segunda Guerra Mundial, sin embargo, retrasaron su progreso por veinte años, pero en la década de 1950 diversos factores facilitaron su desarrollo. La radioastronomía revolucionó y sigue revolucionando nuestra visión del universo (véase el recuadro 'La radioastronomía, una ciencia vinculada con las comunicaciones').

Los satélites de comunicaciones en órbita geoestacionaria, que parecen suspendidos sobre un punto fijo de la Tierra y que comenzaron a funcionar en la década de 1960, no podrían existir sin emplear tecnologías avanzadas de radio. Las constelaciones de satélites en órbita baja terrestre, que son más recientes (por ejemplo, el sistema GPS), permiten determinar nuestra posición en la tierra, el mar o el aire con extraordinaria precisión. Radioaficionados de todo el mundo se comunican entre sí y en numerosas ocasiones han contribuido a aliviar situaciones dramáticas creadas por desastres naturales. Finalmente, en los últimos cuatro lustros, el desarrollo de las computadoras y la miniaturización, en combinación con tecnologías de radio, cambiaron radicalmente nuestro concepto de las comunicaciones personales mediante los teléfonos celulares, y estimularon una multitud de aplicaciones inalámbricas. Algunos ejemplos son los micrófonos inalámbricos, usados hoy universalmente en reuniones, salas de concierto, teatros y otros lugares de entretenimiento; los monitores, que permiten escuchar si el bebé llora en el cuarto de al lado (y a veces también el programa televisivo que escucha nuestro vecino) o el aparato inalámbrico que transmite el número de nuestra tarjeta de crédito cuando realizamos una compra. La cantidad de estas aplicaciones crece diariamente.

Guglielmo Marconi (1874-1937), quien, en 1899 envió por primera vez mensajes por telegrafía inalámbrica a través del canal de la Mancha e inauguró así la utilización práctica de las ondas de radio. Recibió por ello el premio Nobel de física de 1909.

Nos despertamos al sonido de la radio que, además de transmitir su programación, sincroniza el reloj del receptor con la hora oficial. Terminamos el día viendo televisión,

usando internet o leyendo un libro que hemos descargado mediante ondas de radio captadas con una tableta. Y aunque la noticia que vemos en la televisión llegue por cable, muy posiblemente fue enviada desde el lugar donde ocurrió hasta el canal que la difunde por medio de ondas de radio. Hablamos con amigos que viven en otro continente, y gracias a satélites de comunicaciones vemos espectáculos deportivos o culturales transmitidos desde cualquier lugar del mundo, en el momento en que transcurren. Usamos el espectro cuando buscamos algo en internet y también para descargar programas de televisión o películas enteras.

Lo utilizamos cuando pedimos un radiotaxi, el que cada vez más recurre a un aparato GPS para que lo dirija hasta donde estamos y luego a nuestro destino. El avión en que viajamos despega, navega y aterriza guiado por ondas de radio y, gracias a esas ondas, desde algunos aviones podemos acceder al correo electrónico y a internet durante el vuelo. Algunas bandas del espectro reciben la denominación de ICM (uso industrial, científico o médico) y se emplean para múltiples fines, principalmente los que no requieren transmitir información sino, por ejemplo, calentar o evaporar sustancias. En una de esas bandas, justamente, funcionan los hornos a microondas que empleamos para cocinar.

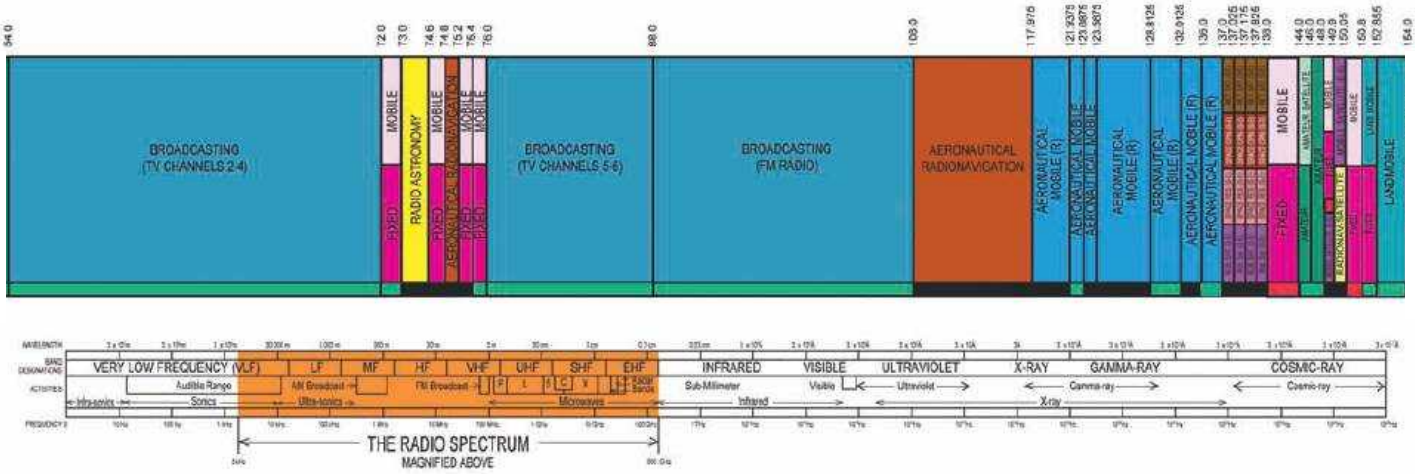
Existen numerosos usos científicos del espectro, algunos pasivos, como la radioastronomía, por cuanto se limitan a detectar señales de origen natural. Las ondas de radio de origen cósmico –o las de origen terrestre que se detectan desde satélites– son generalmente varias órdenes de magnitud más tenues que las señales generadas para comunicaciones, por lo que su detección requiere bandas libres de interferencia y equipos de alta sensibilidad. Entre los usos científicos activos del espectro se cuentan los estudios meteorológicos, por ejemplo, de huracanes, tornados o cobertura de nubes.

La reglamentación del espectro

De más está decir que esperamos que todas las aplicaciones mencionadas y muchas más operen sin interrupciones o interferencias, cosa que de hecho sucede en la inmensa mayoría de los casos. ¿Cómo se consigue que todo funcione?

Dada la posibilidad de interferencia entre estaciones de todo tipo situadas en distintos países y la necesidad de sincronizar transmisores y receptores independientemente de donde estén, es necesario reglamentar el uso del espectro tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Cada país es soberano en cuanto a ese uso dentro de sus fronteras, y la mayoría de ellos tiene una o varias agencias responsables de la gestión del espectro de radio. La reglamentación internacional es necesaria para coordinar el funcionamiento de estaciones de radio que operan en distintos países y evitar las interferencias entre ellas. Se requiere también la reglamentación para que los sistemas satelitales, algunos de los cuales, como el GPS, tienen alcance global, puedan operar sin interferencias. Por último, las normas internacionales permiten estandarizar los equipos de radio, con la consiguiente economía de escala y posibilidad de usarlos en distintas partes del planeta.

Internacionalmente, la gestión del espectro está a cargo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, un organismo especializado de las Naciones Unidas con sede en Ginebra, sucesor directo de la Unión Internacional de Telegrafía. El Reglamento de Radiocomunicaciones es un tratado internacional que la entidad administra con acuerdo de los gobiernos. La mayoría de los 193 estados miembros de la UIT también adopta el mencionado Reglamento para las comunicaciones dentro de sus fronteras (con algunas excepciones debidas a particulares situaciones locales). La UIT celebra conferencias mundia-



Porción del diagrama de asignación de frecuencias del espectro de radio en los Estados Unidos, 2003. El fragmento tiene en su centro la banda de FM, entre los 88 y 108MHz. Los colores diferencian los servicios; la mayoría de las bandas están atribuidas a varios de ellos. Las bandas azules, que predominan en frecuencias inferiores a 3GHz, están asignadas a radiodifusión (radio y TV). El gráfico inferior indica la ubicación del espectro radial en el marco más amplio del espectro electromagnético. Los lectores que quieran ver el diagrama completo lo podrán encontrar en alta resolución gráfica en *http://www.ntia.doc.gov/osmhome/allochrt.pdf.*

LA RADIOASTRONOMÍA, UNA CIENCIA VINCULADA CON LAS COMUNICACIONES

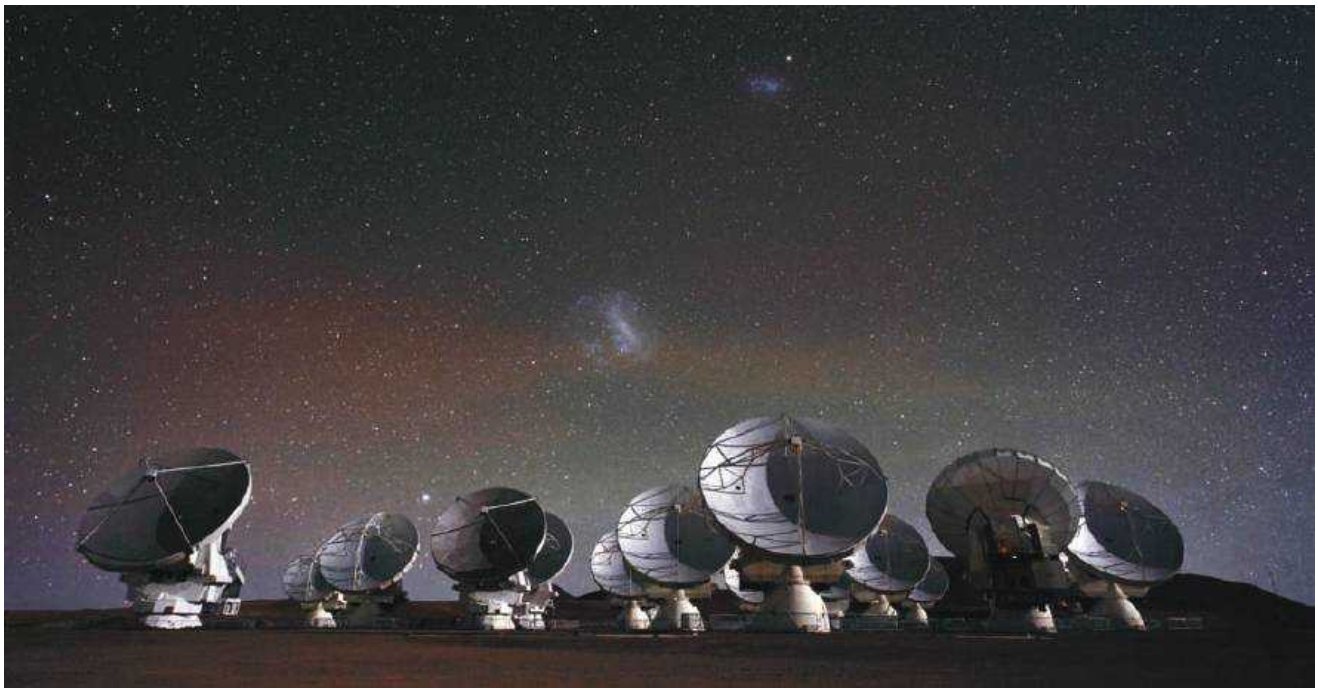
La radioastronomía es una rama de la disciplina astronómica que amplió enormemente nuestro conocimiento del universo. Desde sus comienzos estuvo vinculada con las radiocomunicaciones. Aunque hubo intentos anteriores, la primera detección de ondas de radio de origen cósmico se debió al ingeniero estadounidense Karl Jansky (1905-1950), que trabajaba en los Laboratorios Bell, en Nueva Jersey, e investigaba el origen de un molesto silbido, constantemente presente en las comunicaciones transatlánticas y en la telegrafía costera. En esa época se utilizaba para ese propósito la onda corta o banda de altas frecuencias (HF), que se extiende entre 3 y 30MHz. Jansky construyó una antena giratoria de 30m de largo por 4m de alto, bautizada jocosamente la calesita de Jansky. Después de numerosas observaciones, llegó a la conclusión de que una componente del ruido tenía una periodicidad de 23 horas y 56 minutos, igual al período sideral de las estrellas, y que ese ruido llegaba desde la dirección de la constelación de Sagitario, que coincidía aproximadamente con la del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia.

El descubrimiento fue publicado en la primera plana de *The New York Times* el 5 de mayo de 1933, pero la comunidad astronómica le prestó poca atención, debido posiblemente a su desconocimiento de las técnicas de radio y luego a la irrupción de la Guerra Mundial. Jansky, por su lado, ajeno a la astronomía, pasó a ocuparse de otros temas y murió a los cuarenta y cinco años.

El interés por la radioastronomía atrajo la atención de los astrónomos recién en la década de 1950, en buena medida porque un grupo de jóvenes científicos, que durante la guerra habían participado en diversos países en el desarrollo del radar, buscaba nuevos temas de investigación. Su búsqueda coincidió con la disponibilidad de antenas parabólicas de radar, sobrantes del esfuerzo bélico. Ello condujo a que se establecieran grupos de investigación en Australia, Gran Bretaña, Estados Unidos y Holanda, que muy pronto hicieron contribuciones importantes a la nueva ciencia.

Los adelantos de la radioastronomía han estimulado y en algunos casos han contribuido directamente a las comunicaciones. Las señales cósmicas de radio son muy débiles: entre 6 y 12 órdenes de magnitud más débiles que las señales que manejan habitualmente las radiocomunicaciones. Como consecuencia, los radioastrónomos estuvieron continuamente a la vanguardia del desarrollo de amplificadores, que luego encontraron amplia aplicación en comunicaciones. Otras técnicas originalmente creadas para la radioastronomía, por ejemplo la síntesis de imágenes de regiones del cielo aprovechando la rotación terrestre, también tuvieron aplicación en las comunicaciones, además de otros campos prácticos. Por otro lado, técnicas puestas específicamente a punto para las comunicaciones o para la computación, como las de procesado cada vez más rápido de grandes volúmenes de datos, fueron rápidamente adoptadas por los radioastrónomos.

En este momento, la proliferación de satélites y la difusión masiva de todo tipo de aparatos inalámbricos son fuente de perturbaciones para científicos que aspiran a detectar señales cósmicas extremadamente débiles. Su difícil desafío es poder distinguirlas en medio de la creciente cacofonía de señales de origen humano (otra razón que hace necesaria la reglamentación del uso del espectro).



Las antenas del observatorio Atacama Large Millimeter Array (ALMA) se recortan contra las nubes de Magallanes, que se distinguen en el cielo. Las instalaciones corresponden al proyecto de radioastronomía más avanzado de este momento, cuyo telescopio está compuesto por 66 antenas como las que se ven en la foto, emplazadas a unos 5000m sobre el nivel del mar en el desierto de Atacama, en Chile. Es una colaboración internacional en la que participan instituciones de Europa, América y Japón. Foto Christoph Malin, European Southern Observatory, *http://www.almaobservatory.org/en/visuals/ images?g2_itemId=1480.*

les de radiocomunicaciones cada tres a cinco años, que actualizan el Reglamento, sobre todo por la aparición de nuevas aplicaciones y tecnologías.

El Reglamento de Radiocomunicaciones define unos cuarenta servicios de radio que cubren todos los usos del espectro entre 9kHz y 275GHz. Ese enorme rango de frecuencias está subdividido en bandas, cada una de las cuales está atribuida a uno o varios de los servicios. Así, las transmisiones radiales (AM y FM) y la televisión funcionan bajo la denominación de 'servicio de radiodifusión'; los radares bajo el 'servicio de radiolocalización'; las transmisiones entre satélites bajo un servicio denominado 'entre-satélites'. En este marco, la banda de 88 a 108MHz, usada universalmente para transmisiones de radio en FM, está atribuida en exclusividad a ese uso.

El artículo 5, una de las partes más importantes del Reglamento, contiene el cuadro internacional de atribuciones de frecuencias. Para propósitos de radiocomunicaciones el mundo está dividido en tres regiones: la región 1 comprende Europa y África, la región 2 las Américas y la región 3 a Asia, Australia y Oceanía. Una banda determinada puede estar atribuida a uno o a varios servicios, a título primario o secundario, en cada región, aunque en muchos casos las atribuciones son las mismas en las tres regiones. Los servicios atribuidos a título secundario no pueden causar interferencia a los servicios atribuidos a título primario en la misma banda, y deben aceptar interferencia de los servicios primarios. Los servicios no atribuidos a una banda pueden usarla, siempre y cuando no causen interferencia a los servicios atribuidos y que estén dispuestos a aceptar todo tipo de interferencia por parte de estos. Estas reglas básicas, con variaciones adaptadas a las circunstancias más diversas, han servido de base para armonizar el funcionamiento de las aplicaciones de la radio.

En las últimas décadas, además de las comunicaciones que requieren licencia individual para funcionar, han proliferado muchas otras que no la requieren, como las conexiones inalámbricas de las computadoras. Como son multitudinarias, es poco práctico o inviable el licenciamiento individual y, como por lo general son de potencia baja, se supone que tienen escasa probabilidad de interferir con las comunicaciones que requieren licencia. Algunas están confinadas a ciertas bandas o regiones del espectro (por ejemplo, las redes de área local o LAN, que operan en torno a los 5GHz), mientras que otras tienen permiso genérico para operar en muchas partes del espectro, aunque no en todas.

La UIT cumple otras funciones que sirven a la gestión de las radiocomunicaciones. Por ejemplo, mantiene un registro internacional de estaciones transmisoras, así como de estaciones terrenas usadas para operar satélites, y para cargar y descargar datos hacia y desde ellos. También coordina las frecuencias y algunas otras características de dichos satélites, tanto los usados para telefonía, transmisión de datos y programas de radio o televisión, como los de navegación y otros. Coordina también las actividades de comisiones de estudio, integradas por especialistas de todo el mundo, que elaboran recomendaciones e informes sobre el uso de los diversos servicios de radio.

El espectro de radio es un recurso natural finito y, dado el creciente número de aplicaciones que requiere acomodar, cada vez más escaso. Tiene la particularidad de ser instantáneamente renovable, ya que al cesar una transmisión queda otra vez intacto a disposición de la siguiente. Su uso ha adquirido una importancia económica comparable quizá solo al de las fuentes de energía, y se ha convertido en un ingrediente indispensable de la vida moderna, que ningún país puede ignorar. Para que funcione como el público demanda, es necesaria una gestión eficiente y actualizada, en el nivel nacional lo mismo que en el internacional. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BRODSKY I, 2008, *The History of Wireless: How Creative Minds Produced Technology for the Masses*, Telescope Books, St. Louis, Missouri.

LARSON E, 2006, *Thunderstruck*, Random House, Nueva York.

LEWIS T, 1991, *Empire of the Air*, HarperCollins, Nueva York.

Primera Convención Internacional de Radiotelégrafos, Berlín, 1906, en *http://www.itu.int/ dms_pub/itu-s/oth/02/01/S02010000124E02PDFE.pdf.*

Reglamento de Radiocomunicaciones, en *http://www.itu.int/pub/R-REG-RR/es* (la descarga electrónica es gratuita y se puede hacer en los idiomas oficiales de la UIT: árabe, castellano, chino, francés, inglés y ruso).

Tomás Gergely

PhD en astronomía, Universidad de Maryland.
Director del Programa de Gestión del Espectro Electromagnético, National Science Foundation, Estados Unidos (1986 a 2012).
Consultor de la NSF.
tgergely@verizon.net

Mariana Koppmann

Las masas quebradas de pastelería

Normalmente distinguimos entre la masa del pan y la de pastelería. La mayor parte de la segunda que consumimos pertenece a uno de dos grandes grupos: el de las *masas batidas* o el de las *masas quebradas*. Las primeras –por ejemplo, los bizcochuelos– incorporan aire al ser batidas en su preparación y son esponjosas en la boca; las segundas, también llamadas friables (en francés *pâtes friables*) –por ejemplo, la pasta frola–, no están sometidas a batido, son frágiles y se deshacen al comerlas. Entre las que quedan fuera de esas dos grandes categorías de masas de pastelería están la masa de *strudel*, los hojaldres y la masa de bombas, *éclairs* y profiteroles (llamada en francés *pâte à choux*, término sin equivalente en castellano, si bien se habla de 'masa bomba'). En la presente nota solo nos ocuparemos de las masas quebradas de pastelería.

En la masa del pan (véase 'La masa del pan', Ciencia Hoy, 131: 45-48), se procura formar por amasado una red de gluten, en la cual quede atrapado gas que se desprende durante el levado, lo mismo que el vapor producido por la cocción. Luego de esta, esa red mantiene su forma y da a la masa su carácter esponjoso y elástico. En las masas quebradas, en cambio, se busca evitar por todos los medios la formación de dicha red, pues si se constituyera, las preparaciones, en vez desgranarse en la boca, quedarían duras.

Para preparar masas quebradas se debe evitar que las proteínas de la harina se hidraten, y también se debe evitar el amasado, pues el efecto de este sobre las proteínas hidratadas de la harina es la formación de la mencionada red de gluten, que cohesiona la preparación e impide que se quiebre en la boca, precisamente el efecto que se busca en las masas quebradas.

La preparación de masas quebradas se hace por dos procedimientos distintos: *arenado* o *emulsiondo*. Ambos se puede utilizar para cualquier receta, pero el método de emulsión es preferible para las masas que lleven más cantidad de azúcar y el de arenado para las que lleven menos. Algunas recetas mezclan hasta cierto punto ambos métodos, para lograr determinadas texturas.

¿DE QUÉ SE TRATA?

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

El procedimiento de arenado también se llama *sableado*, por derivación del francés *sable*, arena. Consiste en mezclar manteca fría y harina, más sal, azúcar y leudantes en caso de que la receta los indique. Se procura lograr una arena lo más fina posible, y se evita calentar la preparación para que la manteca no se funda. Luego se le agrega agua, huevos o las yemas de estos, y se mezcla sin amasar, para unir la arena formada en el paso anterior. Después la masa se aplasta, se la deja descansar un par de horas en la heladera cubierta con film para que no se seque y finalmente se estira con un palo de amasar hasta el grosor requerido para recortar piezas de la forma que se desee. El film ayuda a estirar la masa y el descanso permite que las proteínas –que no formaron la red de gluten– se hidraten y hagan la masa más fácil de estirar. Los recortes sobrantes se pueden volver a juntar para hacer nuevas piezas, con el cuidado de unirlos sin amasar, pues si se los amasa, el resultado será una masa compacta y dura en vez de frágil y disgregable.

El método de emulsionado consiste en mezclar la manteca 'pomada' (manteca a temperatura ambiente en la que una parte de los triglicéridos están cristalizados y otra parte no) con azúcar hasta lograr que la preparación se haga más clara o blanquee, lo que se produce porque al batir la mezcla se incorpora aire en pequeñas burbujas que reflejan la luz y producen ese efecto. Luego se añaden de a poco agua, yemas o huevos completos, hasta tener una emulsión homogénea. Para que la última esté bien integrada es necesario asegurarse, lo mismo que cuando se prepara una mayonesa, que el agua –sea introducida sola o proveniente de los huevos– se emulsione con la grasa de la manteca por obra de los fosfolípidos de las yemas o de los emulsionantes de la manteca. Para eso, dichos añadidos deben incorporarse en pequeñas cantidades sucesivas (véase nuestra nota 'Emulsiones. El arte de mezclar agua con aceite', Ciencia Hoy, 133: 62-64).

Una vez lograda la emulsión, se la mezcla con la harina, preferentemente formando con esta una corona sobre la mesada y colocando la emulsión en el medio. Luego, con dos cortantes de panadería o con la mano, se mezclan harina y emulsión, pero sin amasar. Para que la mezcla sea homogénea, la masa se somete a un 'fresado', es decir, se la va aplastando y separando para eliminar los grumos que hayan quedado en su interior. Hecho esto, se la deja descansar en la heladera un par de horas, cubierta con film, para lograr la hidratación de las proteínas de la harina.

Además del procedimiento es importante la naturaleza de los ingredientes. Las diferencias entre estos producen distintos resultados finales. Las harinas están compuestas de hidratos de carbono, proteínas y agua. Las proteínas, una vez hidratadas, forman la red de gluten; por esta razón, para hacer una masa quebrada son preferibles harinas con menos proteínas, denominadas 0000 en la Argentina. Cuanto menos proteínas tenga la harina, menos posibilidades hay de que forme la red de gluten.

Como agentes de hidratación hay recetas que llevan solo agua fría, otras indican yemas y las hay que incluyen

Tarteletas de masa quebrada o friable.

Bizcochos de masa quebrada.

huevos completos. El agua se agrega bien fría por dos razones: para evitar que la manteca se funda y porque la hidratación del gluten es menor cuanto más fría esté el agua adicionada. Cuando se añaden huevos enteros se está agregando agua, proteínas de la clara, proteínas de la yema y grasa de la yema. Si se agrega solo yemas, debido a las características de sus proteínas, la cohesión de la masa resultará menor y además se estará añadiendo buena cantidad de lípidos, que también evitan la hidratación del gluten.

La cantidad de azúcar que lleve cada receta hará aconsejable optar por el método de arenado o el de emulsión. Si se recurre al primero, la manteca tiene que estar bien fría para que el agua contenida en ella no se desprenda e hidrate el gluten. En el método de emulsión la manteca debe estar pomada al mezclarla con el azúcar. De esa forma los cristales de esta quedarán atrapados y distribuidos entre cristales de grasa y grasa líquida, y si son lo suficientemente grandes no llegarán a disolverse. Además, la incorporación de aire será importante para la textura final de las preparaciones.

Se puede usar tanto azúcar común o granulada como azúcar impalpable. Por llevar las recetas muy poca agua,

Cortante de panadería.

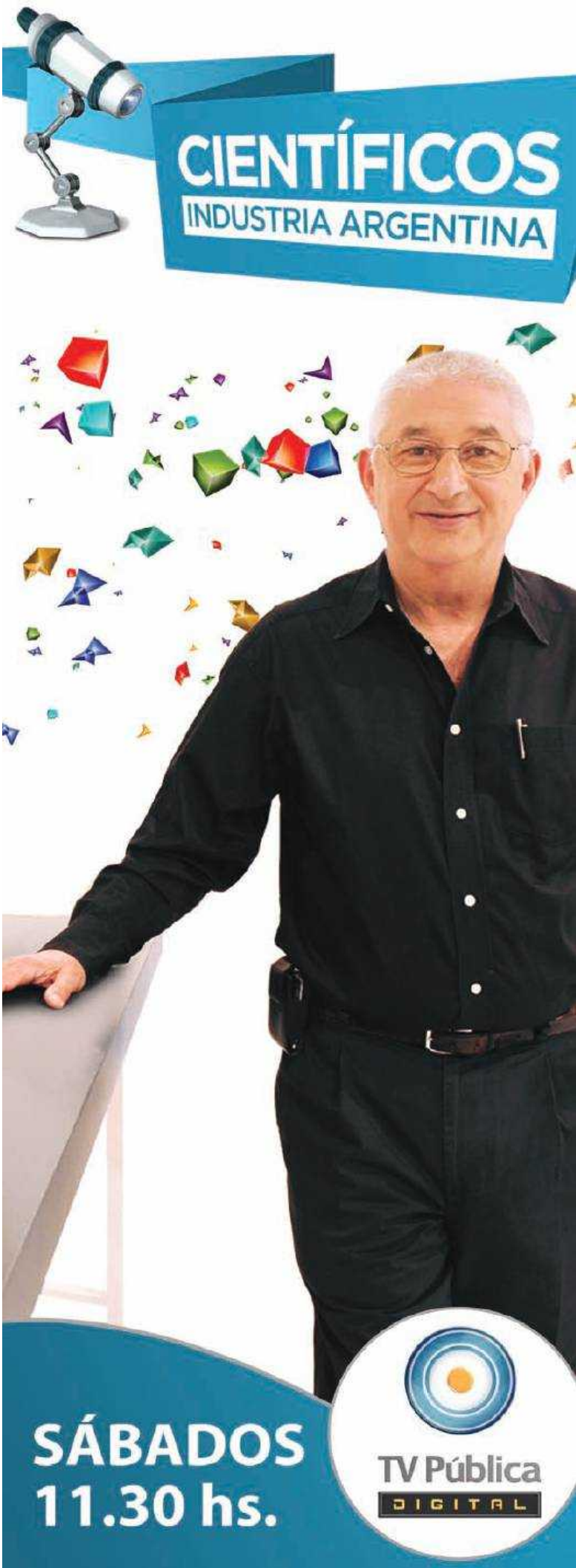
y porque las masas permanecen todo el tiempo frías, el azúcar no siempre se disuelve durante la preparación. A veces lo hace durante la cocción. Si se utiliza el método de emulsión y se emplea azúcar granulada, se incorporará más aire que usando azúcar impalpable. Es más probable que la segunda se disuelva totalmente, ya que sus cristales son más pequeños. Como consecuencia de estos dos efectos –la incorporación de aire y la disolución– el azúcar granulado se disolverá en parte durante la cocción y volverá a cristalizar cuando descienda la temperatura, con el resultado de una masa de textura más crocante. El azúcar impalpable, en cambio, se disolverá totalmente y dará lugar a que la masa final tenga una textura más compacta, de grano más pequeño.

Si se comprenden la función de cada ingrediente y la importancia de respetar las temperaturas y los pasos recomendados para la preparación, resultará más sencillo seguir las indicaciones de las recetas. CH

Para más información sobre los temas de esta sección, los autores pueden consultar los libros de la autora *Manual de gastronomía molecular*, 2009, y *Nuevo manual de gastronomía molecular*, 2012, Siglo XXI, Buenos Aires.

Mariana Koppmann

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



PROMOCIÓN 25º ANIVERSARIO DE CIENCIA HOY

3 x 2

¡Suscriba a dos amigos y obtenga su suscripción gratis!

EN UN SOLO PASO

SUSCRIPCIÓN 3 X 2 ☐ $520 (Pesos quinientos veinte)

Suscripción individual ☐ $260 (Pesos doscientos sesenta)

Complete con sus datos:

Deseo suscribirme a partir del Nº _____

Nombre: _____

Dirección: _____

Localidad: _____ Prov: _____

C.P.: _____ Teléfono: _____

E-mail: _____

Complete si paga con tarjeta de crédito. No omita su firma y envíe copia de esta hoja con sus datos y los de sus amigos por e-mail a *pab@retina.ar* o por fax a (011)4961-1824 o 4962-1330.

American Express ☐ Visa ☐

Tarjeta Nº: _____

Código de seguridad: _____ Vencimiento: _____

Banco emisor: _____

Tipo de tarjeta (gold, plateada, etc): _____

Nombre (*como figura en la tarjeta*): _____

Tipo y número de documento: _____

Firma: _____

Como titular de la tarjeta mencionada deseo que el importe de ☐ $260 ☐ $520 (marcar lo que corresponda) correspondiente a la suscripción de la revista Ciencia Hoy se debite automáticamente en mi cuenta.

Complete si paga con cheque, giro postal, transferencia o depósito. Emita el cheque a la Asociación Civil Ciencia Hoy y mándelo con copia de esta hoja completada con sus datos y los de sus amigos. Si hace una transferencia a nuestra cuenta bancaria o un depósito en ella, hágalo a la caja de ahorro 4191884-2 003-7 de la Asociación Civil Ciencia Hoy, CUIT: 33-62775953-9, en el Banco de Galicia, CBU: 0070003030004191884279. Mándenos copia del comprobante de pago y de esta hoja con sus datos y los de sus amigos por e-mail a *pab@retina.ar* o por fax a (011) 4961-1824 o 4962-1330.

Cheque de Banco: _____ Nº _____ Giro Postal Ordinario Nº _____

Suscripción Amigo 1 a partir del Nº _____

Nombre: _____

Dirección: _____

Localidad: _____ Prov.: _____

C.P.: _____ Teléfono: _____

E-mail: _____

Suscripción Amigo 2 a partir del Nº _____

Nombre: _____

Dirección: _____

Localidad: _____ Prov.: _____

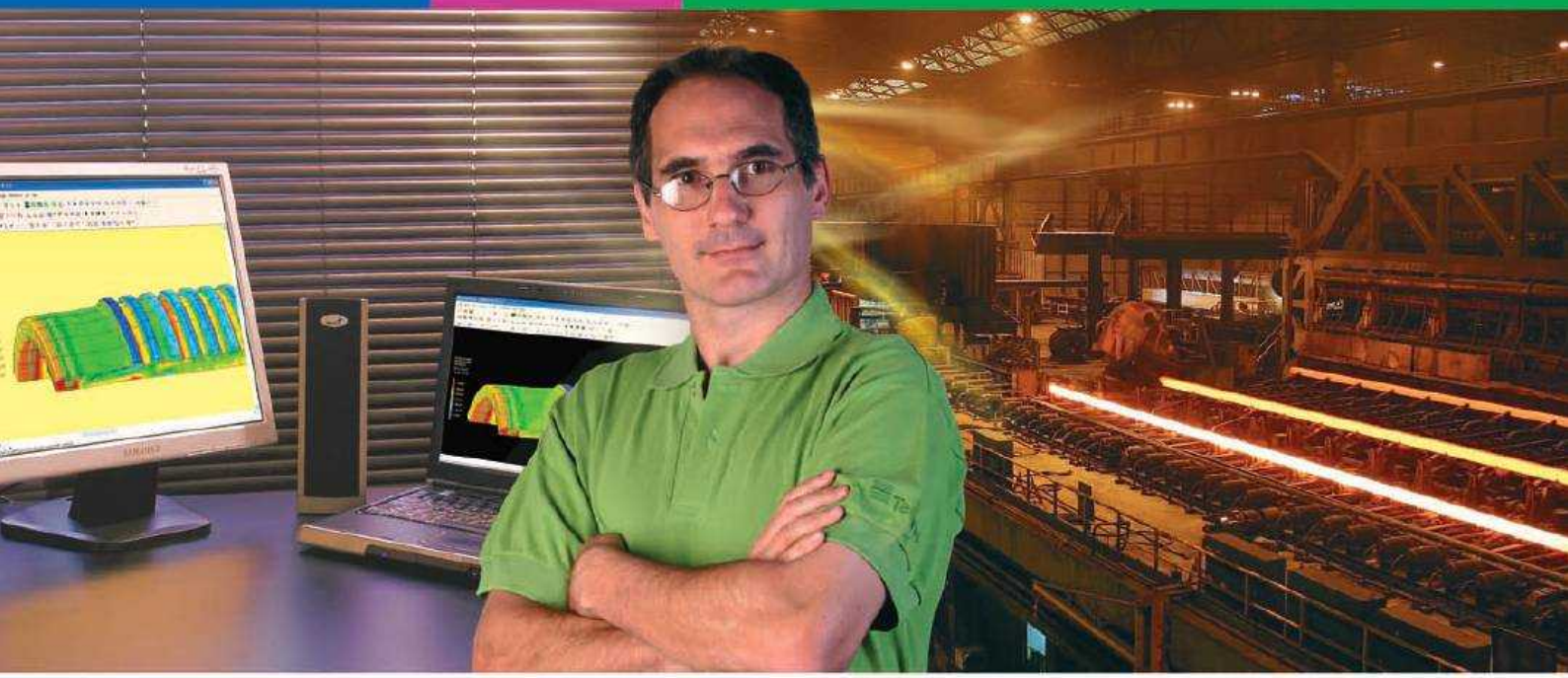
C.P.: _____ Teléfono: _____

E-mail: _____

CIENCIA HOY

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

También puede obtener una copia de esta hoja pidiéndola por e-mail a a pab@retina.ar o entrando a la página http://www.cienciahoy.org.ar/suscripcion/



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