NÚMERO ANIVERSARIO

CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Ejemplar en la Argentina $ 40
Volumen 25 número 155 - octubre - noviembre 2015

25 años

ISSN: 0327-1218

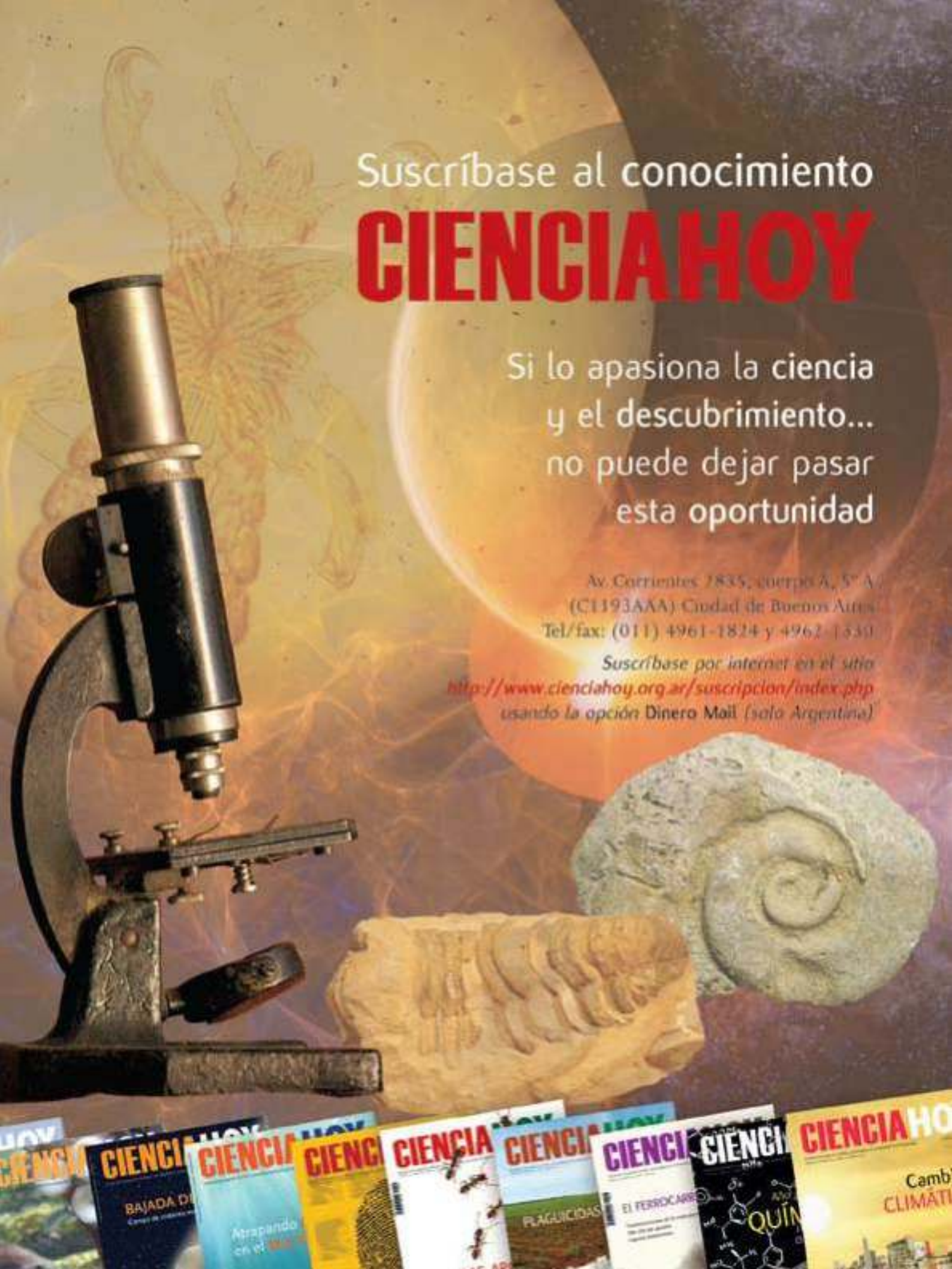
Suscríbase al conocimiento

CIENCIAHOY

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

Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A
(C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1530

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).

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

Octubre-noviembre 2013
Volumen 23 - Número 135

CH 25 años

EDITORIAL

6 ¡Un cuarto de siglo!

ARTÍCULOS

9 **Ciência Hoje**
Una experiencia brasileña en divulgación científica
Alicia Ivanissevich

Ciencia Hoy nació en 1988 siguiendo el modelo de la revista brasileña *Ciência Hoje* que entonces tenía seis años de vida. Uno de los editores brasileños pasó unos meses en Buenos Aires como asesor de los científicos locales que pusieron en marcha la iniciativa. Ambas publicaciones vieron la luz en períodos de transición política de regímenes autoritarios a gobiernos democráticos o de grandes turbulencias económicas. Ambas mantuvieron su enfoque editorial y con el tiempo cada una adquirió rasgos propios, adaptados a sus respectivos contextos.

12 **Un cuarto de siglo contando la ciencia**
Diego A Golombek

Reflexiones de un investigador que reúne un cuarto de siglo de experiencia en hacer ciencia biológica avanzada en el área de cronobiología y, paralelamente, en divulgar ciencia por diversos medios, desde el libro impreso, como los de la colección 'Ciencia que ladra', de la que es editor, hasta la televisión, por ejemplo, *Proyecto G*.

15 **Del laboratorio a los medios**
La primera agencia de noticias científicas de la Argentina
Matías Loewy, Alicia Calabrese y Bruno Geller

En 2006 se fundó en el Instituto Leloir –que está entre los más destacados de la Argentina en investigación en biología y bioquímica– una agencia de noticias científicas y tecnológicas conocida por agencia CYTA - Instituto Leloir. Fue la primera de su tipo en el país y nació de las actividades de divulgación científica y tecnológica que desde 1985 venía realizando el entonces Instituto de Investigaciones Bioquímicas Fundación Campomar (hoy Fundación Instituto Leloir), con el liderazgo del químico Enrique Belocopitow.

19 **La divulgación de la ciencia en Francia**
Aline Richard Zivohlava

La directora de la revista francesa de divulgación científica y tecnológica *La Recherche* describe la situación de la actividad en ese país. Su nota revela situaciones parecidas a las que encontramos en la Argentina, donde solemos distinguir la *divulgación*, cuyos contenidos proporcionan los investigadores, del *periodismo científico*, a cargo de periodistas especializados por lo común sin formación en ciencias. Si bien en Francia usan indistintamente para ambos géneros tanto el nombre de divulgación (*vulgarisation*) como el de periodismo, no dejan de hacer la diferenciación y de distinguir entre medios que practican uno o el otro.

26 **Pensamientos de un matemático**
Gustavo Corach

La matemática es una disciplina sui géneris que crea estructuras racionales solo gobernadas por las leyes de la lógica. Muchas de esas estructuras, sin embargo, terminan siendo instrumentos útiles para explicar cómo funciona el mundo. Pero, en palabras de Albert Einstein, 'en la medida en que las leyes matemáticas se refieren a la realidad, no tienen certeza, y en la medida en que tienen certeza, no se refieren a la realidad'. Ello no impide que muchos matemáticos, como el autor de la nota, se interesen por los usos de la matemática en ingeniería, medicina y otras disciplinas prácticas.

29 Pasado, presente y perspectivas de la astronomía en la Argentina

Igor Félix Mirabel y Gustavo E Romero

La astronomía tiene una larga y destacada tradición en el país. Dejando de lado antecedentes de la época colonial, en su forma moderna la puso en marcha el presidente Domingo F Sarmiento en 1868 en Córdoba, donde el estadounidense Benjamin Gould dirigió por diecisiete años el entonces Observatorio Nacional Argentino. Hoy los astrónomos locales participan plenamente del esfuerzo internacional de creación de conocimiento en esa área y se plantean numerosas preguntas de frontera.

33 La física de la próxima década

Juan Pablo Paz

Como siempre lo hizo, la física seguirá buscando responder a preguntas fundamentales para avanzar en la comprensión del universo y de la estructura de la materia. A la vez, seguirá siendo la fuente de innovaciones que cambian a la sociedad. Pero, ante todo, continuará siendo, como escribió Albert Einstein, *una aventura del pensamiento*.

37 ¿Habrá un futuro sin química?

Alejandro C Olivieri

Sin química no habría transporte moderno: ni automóviles, aviones o naves espaciales; ni existiría la electrónica actual de computadoras, teléfonos celulares y televisión. La medicina contemporánea, que incluye prótesis biocompatibles y medicamentos que posibilitan trasplantes de órganos, sería muy diferente sin la química.

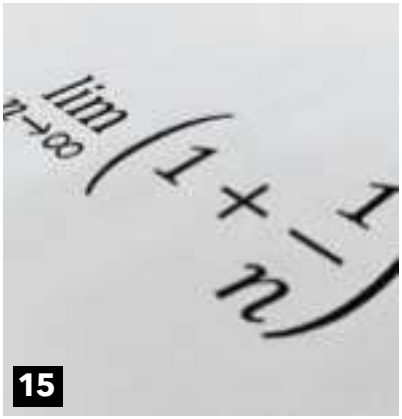
45 Algunos desafíos para las ciencias agropecuarias

Martín Oesterheld y María Elena Otegui

El rumbo de las ciencias agropecuarias para la próxima década depende de las necesidades de conocimiento del sector agropecuario, el cual avanza hacia la intensificación, es decir, hacia obtener más producción con menos tierra, y a hacerlo con las menores repercusiones ambientales adversas posibles.

9

12


15

19

26

29

33

37

45

ARTÍCULOS

49 Perspectivas de la biología marina

Gregorio Bigatti

La Argentina tiene cerca de 5000km de costa marina, que tradicionalmente no han merecido mucha atención, quizá porque el país usó sobre todo recursos alimentarios y económicos provenientes de la tierra. Esta fue y en alguna medida no ha dejado de ser la situación habitual en muchas regiones del mundo, a pesar de que el mar cubre el 70% de la superficie del globo. Concordantemente, la biología marina es una rama de la ciencia con relativamente poca historia, que tenía escasos cultores en estas tierras. La situación ha cambiado y en la actualidad hay una masa crítica de investigadores, que está incluso en aumento.

53 La ecología del comportamiento animal

Juan Carlos Reboreda

A partir de los trabajos de Niko Tinbergen, zoólogo holandés de la Universidad de Oxford, se desarrolló en los últimos cincuenta años una rama de la biología orientada a estudiar el valor adaptativo del comportamiento de los animales que resulta de la evolución, a su vez regida por la selección natural. Su gran avance fue establecer un marco teórico que dio lugar a hipótesis con predicciones cuantitativas y estimuló la realización de numerosos estudios empíricos. Esa combinación de marco teórico, predicciones cuantitativas explícitas y comprobación experimental constituye la fortaleza de la ecología del comportamiento.

57 ADN: ahora, ¿hacia dónde?

Alberto Carlos Frasch

En los últimos treinta años del siglo XX, luego entre otras cosas del descubrimiento de la estructura molecular del ADN, la biología experimentó un florecimiento que la llevó por rumbos entonces difíciles de prever. En los próximos treinta años seguramente pasará lo mismo, aunque algunos de los temas que abarcará parezcan hoy previsibles con la información que actualmente poseemos.

61 Tres genes con historia

Armando J Parodi y Alberto R Kornblihtt

Predecir el rumbo que puede tomar la investigación es tarea de dudoso éxito. Cada avance de la ciencia brinda una nueva comprensión de la naturaleza y abre perspectivas imprevistas, lo que conduce a hacerse preguntas que no se habrían podido imaginar hasta ese momento. Tres ejemplos vinculados con las raíces históricas de la biología molecular ilustran este concepto.

64 La geología en la Argentina

Carlos W Rapela

¿Cuál es el estado actual de la geología en la Argentina? ¿Qué áreas de la disciplina sería deseable desarrollar? ¿Existen suficientes geólogos e investigadores como para satisfacer las necesidades del país en los próximos diez años, tanto en geología básica como aplicada? ¿Cómo se compara la Argentina en este campo con otros países sudamericanos? Son las preguntas que se plantea el autor de esta nota.

69 El futuro del pasado

Guillermo W Rougier

La paleontología se apoya principalmente en el estudio de la evidencia fósil de organismos que vivieron a lo largo de las eras geológicas. Es una ciencia híbrida en la que la biología se combina con la geología. En las últimas pocas décadas, el estudio de esos restos experimentó notables avances debido, por un lado, al empleo de técnicas propias de la medicina y la ciencia de los materiales, como la tomografía computada, unidas al procesamiento digital de las imágenes que producen; y por otro lado, a avances de la biología molecular, en particular, al acercamiento de la biología del desarrollo a los estudios de la evolución de las especies.

73 Las arqueologías por venir *

José A Pérez Gollán, Javier H Nastri y Gustavo G Politis

La arqueología actual, cultivada profesionalmente en la Argentina por varios cientos de investigadores y estudiantes de doctorado, se ha convertido en una actividad mucho más diversa y compleja de lo que suele evocar la palabra en gran parte del público: el estudio de la sociedades precolombinas a través de sus restos materiales. Hoy los arqueólogos, además de hacer lo anterior, analizan lo sucedido en épocas mucho más recientes.

77 Reflexiones sobre la naturaleza y las perspectivas de la investigación histórica

José Carlos Chiaramonte

Comparada con otras disciplinas, la historia, en los términos que la practica el grueso de los historiadores que actúan en el ambiente académico (aquellos que no adhieren a la tesis de que el conocimiento histórico es solo ficción), tiene como característica que su objeto de estudio no existe más en el presente y solo hay vestigios de su existencia pasada. Tampoco es viable para el historiador recurrir al método experimental (pero sí a la lógica que lo sustenta), y encuentra muy pocas posibilidades de echar mano a la cuantificación. En esas condiciones, ¿hasta qué punto se puede afirmar que la historia es una ciencia? ¿Hacia dónde marcha como disciplina?

81 La historia en tiempo presente

Hilda Sabato

La historiografía actual muestra una heterogeneidad de enfoques y metodologías. En ese marco, la reciente expansión de la perspectiva que, hablando genéricamente, se suele denominar historia global, se aparta de las historias nacionales, focalizadas en lo acontecido dentro de las fronteras de cada país. Esta tendencia se inscribe en un cambio paradigmático mucho más amplio que se inició hace más de treinta años y revolucionó la disciplina.

84 Ciencia como cultura

Miguel de Asúa

La ciencia es un producto social y cultural. A la vez, es una búsqueda de reconstruir teóricamente el universo material, para entender su estructura y poder operar sobre ella. Así, la ciencia moderna es un componente decisivo de la representación contemporánea del mundo y, más allá de las obvias transformaciones sociales producidas por la tecnología, configura los modos de pensar y de vivir de las sociedades actuales.

ESPACIOS INSTITUCIONALES

22 La cooperación científica, universitaria y técnica franco-argentina

Ambassade de France en Argentine

40 CONICET dialoga

CONICET

En la foto de la página anterior que muestra a cuatro personajes, los de la derecha son dos pioneros de la arqueología argentina: Juan Bautista Ambrosetti (1865-1917) y Salvador Debenedetti (1884-1930). Foto Museo Etnográfico, UBA.

Fe de erratas

En el número 134 se deslizaron los siguientes errores: la leyenda de las dos fotos superiores de la página 22 no es exacta. Debió ser: 'Flores normal (izquierda) y anormal de papa silvestre. La segunda pertenece a una planta estéril porque actuaron barreras poscigóticas a la hibridación'. En la página 27, la leyenda de la figura dice que Fernando Collor de Mello fue presidente de Venezuela en lugar de decir Brasil. Sobre la figura de la página 46 una leyenda llama a las ondas explosivas 'indicentes': debió decir 'incidentes'.

¡Un cuarto de siglo!

La primera entrega de Ciencia Hoy llegó a manos del lector en diciembre de 1988; cinco lustros después arriba este número, el 135. En ese lapso unos 1400 autores publicaron notas de diverso tipo en la revista, y la aparición bimestral terminó cumpliéndose con una regularidad del 90%, a pesar de las turbulencias económicas y políticas sobrevenidas, lo que constituye, en nuestra opinión, un logro que exhibimos con considerable satisfacción, y una fuente de optimismo para el futuro. (El lector obtendrá una visión más completa del pensamiento de la revista en este período si lee también el primer editorial y los correspondientes al décimo y vigésimo aniversario –números 1, 49 y 108–, partes de los cuales repetimos en el presente.)

También es motivo de satisfacción que en los años transcurridos sigan vigentes los propósitos originales de la revista, los que constituyen el mejor motivo para perseverar en el empeño de producir Ciencia Hoy bimestre tras bimestre.

Con el paso del tiempo, la modificación de las circunstancias externas y la experiencia que hemos ido adquiriendo, varió el énfasis puesto en diferentes facetas de esos propósitos, y se fue ajustando la manera de cumplirlos. Si se comparan los primeros con los últimos números, se podrán advertir numerosos cambios, tanto en el diseño gráfico como en el estilo de los artículos, que pasaron de una redacción más cercana a la de textos científicos universitarios a una que procura estar más al alcance del lector no especializado. También se agregaron secciones en las que no se pensó al comienzo, como 'Ciencia en el aula', o 'Ciencia en la cocina'.

Estos cambios no han alterado, sino más bien reforzado, la creencia de que es parte irrenunciable de la misión de la comunidad académica explicar a la sociedad, en términos que el ciudadano medio pueda entender, qué temas ocupan a las diferentes disciplinas científicas, qué preguntas se formulan, qué respuestas encuentran y cómo pueden esas respuestas o los descubrimientos e inventos que de ellas se derivan afectar la vida de la gente. Facilitar el cumplimiento de esa parte de la misión de los científicos es el empeño central de Ciencia Hoy, que no ha cambiado en veinticinco años y no se espera que cambien en el futuro previsible.

Nunca está de más recalcar que Ciencia Hoy no es una publicación científica sino de divulgación: no es un órgano hecho para que los investigadores den a conocer a sus pares el resultado de sus trabajos, sino para que el público medianamente curioso se entere de ellos –por lo menos en sus grandes líneas y sin entrar en tecnicismos–. En una palabra, el destinatario primordial del esfuerzo editorial no es el autor sino el lector. Nunca nos cansamos de pedir a nuestros esforzados autores que recuerden esa circunstancia cuando procesamos sus textos, porque una de las invariables y más delicadas tareas editoriales, de la que teníamos escasa experiencia al principio, es pasar esos textos del estilo propio de las revistas científicas, en el que los autores están acostumbrados a escribir, al estilo adecuado para un órgano de divulgación. Algunos de los artículos de este número insisten sobre lo anterior.

En estos momentos los medios masivos de comunicación suelen presentar un solo aspecto de la ciencia y la tecnología modernas, a saber, su capacidad de servir como motores del desarrollo socioeconómico, de la innovación, de la mayor productividad y de la creación de riqueza. Resulta así eclipsado otro concepto, igualmente importante, que procuramos difundir: que el conocimiento tiene un valor intrínseco que excede su utilidad inmediata. La ciencia es parte del patrimonio inmaterial de las sociedades avanzadas y, en ese carácter, es un bien cultural a ser preservado, multiplicado y puesto a disposición del público. Es una componente central de una sociedad civilizada.

La responsabilidad de publicar Ciencia Hoy pertenece a la asociación civil sin fines de lucro, una entidad de bien público que lleva el mismo nombre y fue constituida en 1988 por un grupo de académicos con el objetivo principal de sacar la revista. En el cuarto de siglo transcurrido, muchas personas aportaron sus ideas, su

trabajo voluntario y su tiempo para que la empresa saliera adelante. Ocuparon los cargos de la comisión directiva y del comité editorial, escribieron los artículos, actuaron como árbitros de los manuscritos presentados e integraron sucesivos comités científicos asesores. Sin excepción lo hicieron ad honórem, lo que constituye otro motivo de satisfacción y orgullo. En adición, la tarea editorial se vio beneficiada por la participación profesional de personal administrativo, procesadores y correctores de textos, diseñadores e impresores, en carácter de empleados o contratistas externos. Aun a riesgo de cometer involuntarias omisiones, por las que desde ya pedimos disculpas, al final damos una lista de nombres relacionados con ambos grupos.

En este momento de recuerdo y agradecimiento a tantos colaboradores, queremos personalizar en uno que expresó con particular lucidez los propósitos y esfuerzos comunes. Nos referimos a Patricio Garrahan, profesor emérito de la UBA e investigador superior del Conicet, que desde 2011 no está entre nosotros. Presidió la institución por dieciséis años e integró el comité editorial por veinte. Imprimió a la Asociación Ciencia Hoy y a la revista muchos de sus valores, que constituyen un precioso patrimonio a conservar y fortalecer.

Entre los muchos amigos de Ciencia Hoy se cuenta uno de los más exitosos divulgadores de una disciplina: el matemático Adrián Paenza, que también fue fiel avisador durante años. Nos parece adecuado incluir en este editorial algunas reflexiones que nos hizo llegar en la ocasión, que coinciden con el pensamiento que nos animó desde el inicio:

> El auge impresionante de la divulgación científica en la última década tiene a mucha gente cuestionándose sobre sus causas. ¿Qué pasó? ¿Por qué pasó? ¿Qué es lo que no sabíamos antes y sabemos ahora? ¿Fue algo premeditado, preparado, imaginado o bien salió porque salió?
>
> La distribución de la riqueza fue siempre injusta. Grupos enormes de personas se quedaron (y se quedan aún hoy) afuera de la gran fiesta que es –o debiera ser– la vida. Pero más allá de la distribución inequitativa de la riqueza material también hubo históricamente una distribución inequitativa de la riqueza intelectual. Sólo un grupo de privilegiados tenemos y tuvimos acceso al conocimiento.
>
> El conocimiento es poder. Es un derecho humano, imbricado a la propia vida. Cuando hace veinticinco años nació Ciencia Hoy, nadie imaginó que a estas alturas habrían pasado por ella unos 1400 autores. Seguro que cada uno de ellos soñó con hacer un poco mejor al prójimo, tratar de compartir una pequeña cuota de saber.
>
> Como académicos, no tenemos derecho de usar solo en beneficio propio –individual, sectorial o grupal– esas gotas de saber de las que disfrutamos el privilegio de disponer. Nuestro compromiso con la sociedad es compartirlas y difundirlas. Recordemos que nada produce más satisfacción que lograr entender algo, pasar por ese momento mágico en que finalmente se consigue comprender.
>
> En este tiempo de celebración me parece que es también el momento de estimular a Ciencia Hoy a que persevere en su empeño de socializar el conocimiento. Es la mejor obra que uno puede dejar, además de plantar un árbol, escribir un libro y tener un hijo.

Por nuestro lado, para este número aniversario invitamos a investigadores de diferentes disciplinas a reflexionar sobre el estado y las líneas de indagación más promisorias de las respectivas áreas del conocimiento. Por supuesto, en las pocas páginas de la revista no cabrían todas las ramas de la ciencia: la selección de temas resultó, en gran medida, de la disposición de los convocados. En números venideros podremos seguir incorporando visiones de otras disciplinas. También integran este número reflexiones sobre la divulgación de la ciencia, tanto en la Argentina como en Francia y en Brasil.

La mirada al futuro, propia de todo aniversario institucional, siempre incluye ideas de renovación y proyectos que marcan nuevos rumbos. Por eso queremos dejar acá dos registrados, que tenemos en estudio con diferente grado de avance y cuya factibilidad estamos considerando con cuidado. El primero es la mayor utilización del medio electrónico para la difusión del mensaje y el contenido de la revista, para lo cual hemos comenzado por el diseño de una nueva página en internet, que está en marcha; el segundo es la paralela publicación de un órgano dirigido a chicos: en este número se realiza un primer ensayo de avanzar en esa dirección con el encarte que hemos agregado. Igual que la revista en su historia pasada, esos proyectos dependen de que encontremos la forma de financiarlos, una tarea que nos ocasionó más de un dolor de cabeza en todos estos años y seguramente seguirá ocasionándolos en el futuro.

Más allá de la gratitud que los actuales editores expresan colectivamente a todos los nombrados al final, también desean resaltar el crucial apoyo financiero que Ciencia Hoy recibió de algunos avisadores e instituciones, sin el cual es dudoso que hubiese nacido y seguido en vida. Destacan entre los primeros el grupo Techint, alguna de cuyas empresas siempre nos acompañó, y entre las segundas, en el comienzo, la desaparecida Funda-

ción Antorchas, y en tiempos más recientes el Conicet y los ministerios de Educación y de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. También recalcan la definitoria ayuda de la colega brasileña *Ciência Hoje*, que sirvió de modelo en los momentos iniciales. Y merece un enorme agradecimiento el casi millar y medio de autores de las más variadas disciplinas, por sus manuscritos y su paciencia con nuestros esfuerzos editoriales, así como los revisores o árbitros a quienes recurrimos para garantizar la calidad académica de las notas. Últimos en la enunciación pero por cierto no en la importancia, están los lectores, cuya fidelidad y confianza proporcionaron un crucial sustento material y moral a lo largo de estos veinticinco años. ¡Feliz aniversario! CH

Firmantes del acta de fundación, miembros de la comisión directiva e integrantes del comité editorial y de los consejos científicos desde la fundación de CIENCIA HOY (pueden haber cumplido una o más de esas funciones).

Abeledo Carlos, Antonelli Marta, Arrizurieta Elvira, Asúa Miguel de, Balán Jorge, Bes Daniel, Bilenca David, Bisogni Edgardo, Boido Guillermo, Bonadeo Hernán, Braun Rafael, Burucúa José Emilio, Candotti Ennio, Caputo Ranwell, Casamiquela Rodolfo, Cardoso Franco, Caridi Aurora, Carrasco Andrés, Chiaramonte José Carlos, Chiozza Elena, Coluccio Leskow Federico, Coso Omar, Crisci Jorge, Dragún Martha Olga, Elgoyhen Belén, Endere María Luz, Fazio Santos, Fernández Prini Roberto, Finkielman Samuel, Frank Carlos, Galvele José, Gangui Alejandro, Garrahan Patricio, Gattone Aníbal, Giambiagi Juan José, Golombek Diego, González Cappa Stella Maris, Granillo Eduardo, Haeberer Armando, Hardoy Jorge Enrique, Heber Andrés, Hurtado de Mendoza Diego, Ípola Emilio de, Jaim Etcheverry Guillermo, Korn Francis, Kornblihtt Alberto, Legisa Juan, Maier Irene, Maqueda Ernesto, Martini José X, Mayo José, Míguez Eduardo, Mindlin Gabriel, Molina Guillermo, Molinas Felisa, Montserrat Marcelo, Monza Alfredo, Moreno José Luis, Nabel Paulina, Núñez Ovidio, Olaso Ezequiel de, Olivier Santiago, Otero Dino, Paladini Alejandro, Parraud Jacques, Pasquini Juana, Penchaszadeh Pablo, Perazzo Roberto, Pérez Ferreira Emma, Pérez Gollán José Antonio, Pignotti Alberto, Podgorny Irina, Politis Gustavo, Pucciarelli Alfredo, Rapoport Eduardo, Reig Osvaldo, Retegui Lilia, Ridner Alberto, Rúveda Edmundo, Sabato Hilda, Sacerdote de Lustig Eugenia, Saraceno Marcos, Schaposnik Fidel, Schwarzbaum Pablo, Segura Enrique, Segura Hugo, Semmartin María, Sette Alberto, Soler Illia Galo, Soriano Alberto, Soto Eduardo, Taleisnik Samuel, Testoni, Jorge, Tomio Josefina, Tricárico Roberto, Ventura Edgardo, Villavicencio Susana, Weinberg Gregorio.

Principales partícipes de las labores administrativas y editoriales.

Arcieri Nilda, Arcioni María Julia, Barragán Pablo, Blanco Adelina, Blanco Paula, Calderón Ricardo, Cardoso Heber, Cruz María de los Ángeles, Frenzel Susana, Galli Corina, García Blaya Carlos, Massolo Fabio, Morales María Susana, Tenner Gabriela, Urrestarazu Mónica, Valledor Mario, Volpe Roberto.

CH 25 años

Alicia Ivanissevich
Editora ejecutiva de *Ciência Hoje*

Ciência Hoje

Una experiencia brasileña en divulgación científica

Ciência Hoje nació en julio de 1982, en un período de transición política en el Brasil, que se encontraba entonces bajo un gobierno militar comandado por João Baptista Figueiredo. Este ejerció la presidencia del país entre 1979 y 1985, como sucesor de Ernesto Geisel, que la ocupó entre 1974 y 1979 y había iniciado un proceso de apertura democrática que, en los años del nacimiento de nuestra revista, había sido puesto en peligro por una sucesión de atentados terroristas.

Ciência Hoje se creó en vísperas de una hiperinflación que destruyó la moneda y de una crisis financiera que llevó la deuda externa del país por encima de los 100 mil millones de dólares y obligó a recurrir al Fondo Monetario Internacional. Regía la censura a la prensa que, aunque algo tímida, no dejaba de hacerse sentir. Las elecciones directas para presidente demorarían siete años en llegar.

En ese contexto, un grupo de científicos de Río de Janeiro –los biólogos Roberto Lent y Darcy Fontoura de Almeida, los físicos Ennio Candotti y Alberto Passos Guimarães y el antropólogo Otávio Velho– decidió crear una revista para dar a conocer a la sociedad la producción científica brasileña. Sus objetivos principales fueron establecer un canal regular de comunicación entre la comunidad académica y la población, y promover el debate político en torno a cuestiones como la ciudadanía, la educación y la participación universitaria, una manera de que la ciencia contribuyera a la deseada democratización.

La iniciativa tenía algunos antecedentes. En 1948, con el título 'Ciência para todos', el periódico carioca *A manhã* comenzó a publicar un suplemento semanal dedicado a la divulgación de temas científicos. Salió durante cinco años, escrito por investigadores que procuraban usar un lenguaje accesible al público, pero al mismo tiempo mantener en los artículos las exigencias de rigor que tenían sus publicaciones académicas. El año de lanzamiento de ese suplemento fue también el de la fundación de la Sociedad Brasileña para el Progreso de la Ciencia. Fue una época en que el sistema científico del Brasil avanzó apreciablemente hacia una mayor institucionalización.

En 1970, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) lanzó la *Revista Brasileña de*

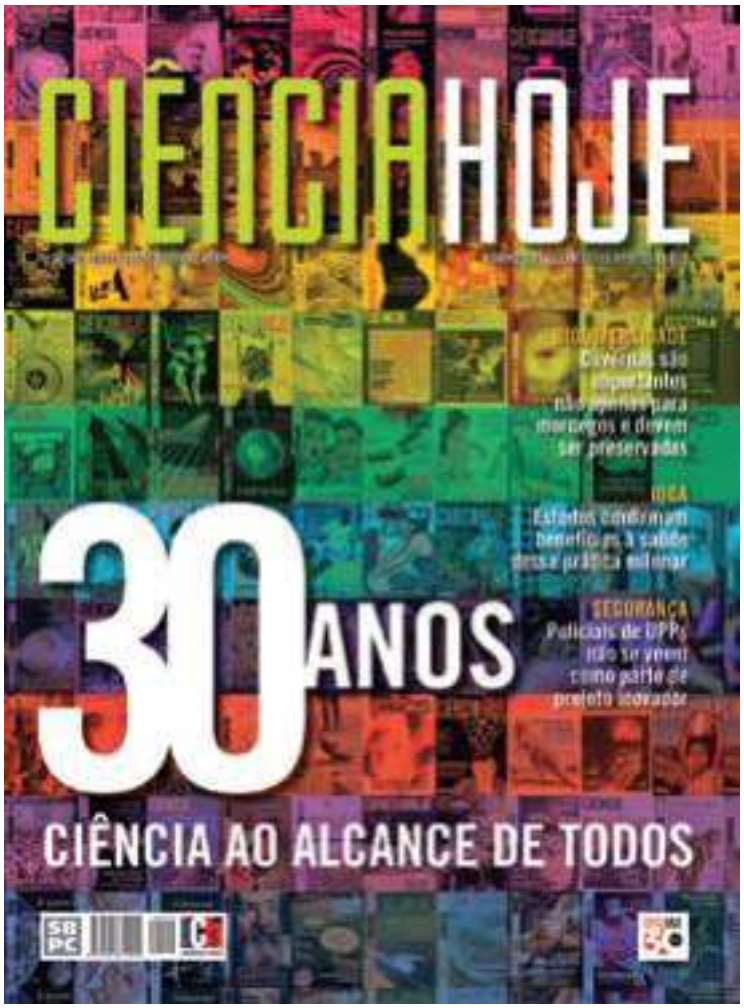
¿DE QUÉ SE TRATA?

Un relato de la directora ejecutiva de la revista brasileña *Ciência Hoje*, que Ciencia Hoy tuvo como modelo cuando esta fue creada en 1988.

Tecnología con el objetivo de publicar resúmenes de tesis de posgrado en el área tecnológica y divulgar artículos científicos. Circuló hasta 1989, pero solo en su segunda década de existencia se convirtió en instrumento de divulgación científica.

A partir de 1975, la comunicación de la ciencia al público ganó terreno. En 1977 se fundó la Asociación Brasileña de Periodismo Científico. A principio de la década de 1980 comenzaron a publicarse secciones sobre ciencia en los principales diarios –entre otros, *Jornal do Brasil*, *O Globo*, *Folha de São Paulo*, *Estado de São Paulo*–, y a emitirse programas regulares sobre el tema en radio y televisión. El mercado editorial también extendió sus títulos en esa dirección: además de *Ciência Hoje*, se lanzaron revistas como *Superinteressante* (1987), *Nova Ciência* (1990) –que ya no se publica–, *Globo Ciência* (1991) –hoy *Galileu*–, *Pesquisa Fapesp* (1995), *Scientific American Brasil* (2002) y *Quanta* (2011) –que no duró dos años–.

Ciência Hoje se destaca entre las revistas de divulgación por determinadas características: los principales autores de los textos que publica son investigadores activos, los artículos son sometidos a revisores científicos antes de ser aceptados, el foco de su esfuerzo de divulgación está en las investigaciones llevadas a cabo en el Brasil y todos los textos –sean escritos por científicos o periodistas– pasan por una etapa de lectura crítica y ajuste por parte de editores. En este sentido, *Ciência Hoje* fue pionera en el país en realizar un control de calidad de la divulgación.



Tapa del número 294 de *Ciência Hoje*, de julio de 2012, celebratorio de los treinta años de la fundación de la revista.

Cuando la revista se lanzó, el desafío de producirla y mantenerla en funcionamiento parecía difícil de superar, entre otras razones porque, para hablar sobre ciencia a la población, había que abandonar el lenguaje hermético de los artículos científicos, cargados de jerga, términos técnicos y fórmulas, y reemplazarlo por textos simples en lenguaje culto pero común, bien ilustrados y de fácil comprensión, todo sin perder rigor científico. Y quedaba una dificultad adicional: convencer a los investigadores de que dedicaran tiempo y esfuerzo para relatar a la sociedad las características de su trabajo, una tarea poco difundida por aquí y para muchos completamente novedosa y ajena a sus hábitos.

Desde el inicio, los científicos que concibieron el proyecto consideraron conveniente contar con la colaboración de redactores formados como periodistas que los ayudaran con la tarea. Una vez escritos por los investigadores, los artículos tendrían que pasar por una etapa de edición –que, en algunos casos, debía consistir en una reformulación integral– para que pudiesen ser comprendidos por personas no especializadas en ciencia. También pensaron que sería necesario que participara un equipo de arte, que pudiese interpretar el contenido que se divulgaba y presentarlo gráficamente de modo simple, claro y atractivo. Ambas ideas fueron acertadas y la práctica que iniciaron se mantiene vigente tres décadas después de la creación de la revista.

A su lanzamiento, *Ciência Hoje* tuvo una excelente recepción: la primera edición de quince mil ejemplares se agotó en pocas semanas y fue necesario imprimir una segunda tirada de diez mil. Pero los años iniciales no estuvieron libres de polémicas, sobre todo debido a ciertos temas controvertidos que la revista acogió en sus páginas. También hubo que superar obstáculos de orden económico, por lo que gran parte del esfuerzo inicial de los fundadores estuvo dirigido a conseguir dinero. Y había incógnitas editoriales para las que no se tenía respuesta cierta. ¿Estaría la comunidad científica en condiciones de mantener una producción regular de artículos de divulgación? ¿Sería posible repetir el éxito de la primera edición?

El tiempo demostró que la aventura era posible, aun habiendo comenzado en un contexto de dificultades económicas e incertidumbres políticas. *Ciência Hoje* alcanzó la madurez y dio a luz una extensa prole: un informativo semanal (hoy *Jornal da Ciência*), una revista dedicada al público infantil (*Ciência Hoje das Crianças*), un sitio de noticias científicas actualizado diariamente (*www.cienciahoje.org.br*), una colección de libros didácticos para la enseñanza me-

dia (*Ciência Hoje na Escola*), además de la producción regular de podcasts y chats de ciencia. Y es parte de esa lista la creación en la Argentina, cuando *Ciência Hoje* tenía seis años, de Ciencia Hoy, que contó con la participación explícita de uno de los fundadores de nuestra revista, el mencionado físico Ennio Candotti.

Cuatro de los fundadores de *Ciência Hoje* –Roberto Lent, Alberto Passos Guimarães, Darcy Fontoura de Almeira y Ennio Candotti– en la celebración de los treinta años.

Como era de esperar, esa fundación siguió tanto en lo editorial como en lo empresario el modelo que parecía tener éxito en Brasil, empezando por haber recurrido en ambos casos a la figura jurídica de una asociación sin fines de lucro como entidad responsable, en vez de una sociedad comercial. Durante sus tiempos iniciales, ambas publicaciones aplicaron los mismos procedimientos de edición, por lo que los resultados en cuanto a contenido y diseño fueron muy parecidos. Con el tiempo, sin embargo, cada revista siguió su camino y aparecieron diferencias que, en el día de hoy, cualquier lector puede apreciar, y que responden principalmente –se puede suponer– a las diferencias entre los contextos académico, institucional y económico correspondientes a cada una.

Si tuviese que indicar los principales logros de *Ciência Hoje* en sus tres décadas de vida, destacaría sobre todo el haber difundido o fortalecido entre los investigadores brasileños la cultura de la divulgación científica. Una parte significativa de la comunidad académica aprendió con la revista a escribir para un lector no especializado, y numerosos profesionales de comunicación aprendieron un nuevo modo de contar historias sobre ciencia, caracterizado por la calidad de su contenido y la pasión de sus argumentos. Entender por qué y cómo divulgar ciencia es un desafío permanente para los divulgadores y periodistas científicos que hoy producen cada número de *Ciência Hoje*.

Vista la situación del lado de los lectores, resulta claro que la ciencia y la tecnología están cada vez más explícitamente presentes en la vida cotidiana. Algunas prácticas simples y habituales, como usar un teléfono celular o una computadora, sacar dinero de una máquina con tarjetas magnéticas o ver televisión, se basan en teorías y conceptos científicos. Sin embargo, gran parte de la población no lo sabe, ni aprecia los alcances de ese conocimiento y sus consecuencias en sus vidas. Tampoco disponen de muchos elementos para diferenciar buena ciencia de las seudociencias, ni para opinar sobre el rumbo que deben seguir las investigaciones.

Por lo último, y dado que importa contar con la participación efectiva de la sociedad en las decisiones políticas, es clara la necesidad de mantener a la población bien informada. En ese sentido, los comunicadores de la ciencia cumplen un papel importante: el de contribuir a la construcción de una conciencia crítica en el público que facilite la realización de cambios estratégicos en la sociedad.

No hay mucha duda de que los medios de comunicación masivos constituyen el camino más inmediato e influyente para hacer llegar la divulgación científica al gran público. En ese proceso de transmisión de la información hay factores determinantes: el lenguaje y el formato que se emplea, el uso de buenas historias e imágenes elocuentes y la presentación de contenido confiable, con calidad técnica y credibilidad.

El primer paso es conocer al lector para quien se escribe, para poder captar su atención con palabras adecuadas e ilustraciones cautivantes. Existe una serie de recursos para alcanzar esa meta: analogías y metáforas que ayuden a comprender conceptos abstractos, explicación clara y sucinta de términos desconocidos, uso de lenguaje simple, directo e informal, presentación gráfica visualmente atractiva y que facilite la comprensión del texto, humor en su justa medida y un toque de emoción. Buenos artículos son aquellos capaces de emocionar al lector.

Estos son los grandes desafíos de la divulgación. *Ciência Hoje* y Ciencia Hoy son verdaderos laboratorios de ideas y realizaciones, que precisan ser constantemente evaluadas y reinventadas en cada nueva edición. CH

Alicia Ivanissevich

Licenciada en comunicación, Universidad Federal de Río de Janeiro.
Especialización en divulgación científica en el Wellcome Centre for Medical Sciences, Londres.
Antigua cronista y editora de ciencia del *Jornal do Brasil*.
Editora ejecutiva de *Ciência Hoje*.

Diego A Golombek
Universidad Nacional de Quilmes

Un cuarto de siglo contando la ciencia

Ah, no en el conocimiento está la felicidad, sino en la adquisición del conocimiento. Sabiendo para siempre, seremos para siempre venturosos; pero saber todo sería la maldición de un enemigo.
Edgar Allan Poe, 'El poder de las palabras', 1850

La ciencia no es ciencia mientras no se comunica. Por un lado está la comunicación profesional de la *actividad científica*, el carnet de identidad de los investigadores medido en artículos, comunicaciones a congresos, charlas de pasillo. Por otro, la comunicación pública de la *ciencia*, actividad que ha tomado inusitados vigor y relevancia en nuestro medio. Vale la pena reflexionar sobre esto en momentos de celebrar los primeros veinticinco años de Ciencia Hoy.

A muy grandes rasgos, el nacimiento de la revista coincidió con la recuperación de la democracia en la Argentina y con el comienzo de una historia de contraluces y claroscuros en la ciencia y en su comunicación. Los investigadores pasamos de lavar los platos a tener un ministerio de ciencia, pero también fuimos de páginas diarias sobre ciencia y tecnología en los diarios, y de revistas de divulgación con tiradas de seis cifras a una alarmante ausencia de difusión científica en los medios masivos. Al mismo tiempo, de *Teleescuela Técnica* nos mudamos a canales de televisión destinados específicamente a la educación, la ciencia y la tecnología, por ejemplo, Tecnópolis TV o el canal Encuentro. Las discusiones de fondo, sin embargo, siguen hoy tan vigentes como cuando Domingo F Sarmiento defendía a Darwin en la Sociedad Científica Argentina. Versan sobre *qué, cómo, cuándo* y, sobre todo, *quién* debe contar la ciencia.

Comencemos por el principio: todos entendemos de qué hablamos cuando hablamos de divulgación. Pero ¿es así? De hecho, Ciencia Hoy lleva el subtítulo *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica*. Los anaqueles de las librerías incluyen bajo esa denominación una variedad de temas, que van desde la visión del mundo de Albert Einstein hasta consejos para criar al hámster o para seguir la dieta de la Luna en cuarto creciente. Las palabras no son inocentes: la forma en que uno se presenta o firma el registro de pasajeros de un hotel dice mucho acerca de lo que hace, cómo lo hace y por qué lo hace. *Divulgar*, así como su prima *popularizar*, contiene el germen del llamado 'modelo de déficit': llevar el conocimiento desde donde se produce hasta donde, en el mejor de los casos, se consume.

Las metáforas que utilizamos para referirnos a la tarea de divulgar son de lo más ilustrativas: bajar, traducir,

¿DE QUÉ SE TRATA?

Hoy existe creciente interés por parte de los científicos por contar lo que hacen y, también, una creciente profesionalización del periodismo científico.

transponer. En cierta forma, revelan una tarea de evangelización científica, una mirada que proviene del principio de autoridad, en sí bastante reñido con la ciencia. Tal vez el enfoque cambie si hablamos de una comunicación pública de la ciencia, etimológicamente dirigida a compartir, a poner en común el conocimiento. Las palabras y las ciencias, diría algún filósofo.

Al mismo tiempo, existe una tajante división en el imaginario colectivo entre por un lado el divulgador, que es aquel que se dedica a tareas de educación no formal en ciencias, y también el científico, que cada tanto realiza tareas de difusión o extensión, y por otro lado el periodista científico, el profesional encargado de las noticias científicas en los medios. En esto, Ciencia Hoy tradicionalmente ha seguido el partido del científico divulgador, lo que indica una toma específica de posición, diferente de la elegida por otros medios similares.

La cuestión sobre el tapete aquí es quién debe –o puede– contar la ciencia. Esto que parece tan simple es objeto de airadas discusiones en el mundo académico de la comunicación de las ciencias. Lo cierto es que hoy existe creciente interés por parte de los científicos por contar lo que hacen y, también, una creciente profesionalización del periodismo científico, que permite un diálogo más fluido y ameno entre las partes, con la necesaria mirada crítica sobre la ciencia y sus circunstancias. En este contexto, es necesario que la formación del científico incluya capacitarse en contar, en compartir su conocimiento, y que la educación del periodista abarque la mirada científica del mundo. Lo último, diría, vale tanto si se dedica a las noticias sobre ciencia como a la crónica policial o a los números de la quiniela. Solo así iremos acercando las famosas dos culturas de las que habló CP Snow –citado en la página 85– y podremos considerar, de una vez, la ciencia como una de las luces de la humanidad, junto con la literatura, el teatro, el fútbol o la belleza.

Permítaseme detenerme en el pasado reciente de esta comunicación científica en la Argentina. Más allá de las consabidas historias decimonónicas de sabios extranjeros, pioneros naturalistas y comienzos institucionales, el siglo XX trajo consigo la organización de la actividad científica en el país y, solo con el tiempo, de su difusión. Aún hoy vivimos bajo la influencia de las grandes escuelas de investigación en fisiología, bioquímica, neurociencias o física, por lo general conformadas en torno a figuras conductoras que tendemos a concebir como una mezcla de caudillos y próceres, a pesar de que la divulgación no solía estar entre los objetivos primordiales de sus actividades. Hubo, sin duda, algunas honrosas excepciones al desinterés divulgativo, como la atención que recibió la visita de Einstein en 1925, periódicos fascinantes como *Luz del porvenir* o *Frente antituberculoso* o, más tarde, los intentos de Eudeba y el Centro Editor de América Latina de alcanzar públicos masivos.

Hay cientos de historias que muestran la posición de la última dictadura militar ante la ciencia y los científicos. Así, el exilio, el miedo y la mediocridad sumieron a las actividades científicas en un pozo del que nos llevó tiempo recuperarnos. Como en muchas otras áreas, la falta de una generación se hizo sentir. Si en 1983 se pensó que con la democracia se come, se cura y se educa, se constató que no necesariamente se hace o se cuenta la ciencia. Más allá de los encomiables esfuerzos de las autoridades del sector, la debacle que terminó con el primer gobierno constitucional posdictadura también postergó el cumplimento de buena parte de los sueños renacentistas.

Postergación, sin embargo, no significó cancelación sino, quizá, demorada y distinta forma de cumplimiento; al punto que hoy, a veinte años de esa debacle, la comunicación de la ciencia conoce un período de florecimiento, con los periodistas científicos profesionales agrupados en la Red Argentina de Periodismo Científico y varias instancias de formación de posgrado en la materia. Si bien se redujo el espacio para la divulgación de ciencia en diversos medios, se abrió en otros, y tanto la radio como la televisión nos han acogido para contar lo que hacemos. Además, la ciencia ingresó en el discurso oficial. En palabras del científico y escritor Marcelino Cereijido, acaeció un cambio preposicional, de oír del gobierno la promesa de apoyar 'a' la ciencia, ahora oímos la de apoyarse 'en' la ciencia. No es poco.

En términos personales, la historia de Ciencia Hoy coincide con mi experiencia en la comunicación de la

ciencia. Tímidamente al principio, desfachatadamente (para algunos) más adelante, tuve el placer y el honor de colaborar con diversos medios gráficos y televisivos, así como de acompañar a esta revista desde diversas tribunas. Puesto ante la disyuntiva de contar la investigación profesional (que magistralmente hacen varios periodistas científicos) o compartir la ciencia como actitud, casi como verbo (aquél que conjuga las acciones de mirar, experimentar, hacer preguntas, maravillarse, querer conocer más y más), elegí la segunda: contar la ciencia como algo cotidiano, una parte indisoluble de la cultura, tan indisoluble como la literatura, el teatro, el fútbol o la belleza. Contar lo propio y lo de los colegas, pero siempre destacando la maravilla de ver las cosas de todos los días con anteojos de científico.

La premisa es que, una vez asegurado el rigor científico –que no puede estar comprometido–, todo vale para aprovechar al máximo los recursos del medio utilizado. Es común, al hacer un programa de televisión o al escribir un libro, que uno tenga en mente la ciencia que procura divulgar y olvide la necesidad de lograr que el espectador detenga el zapping y quede atrapado por lo que acontece en la pantalla, o se deje absorber por lo que relatan las páginas impresas. También me resulta fascinante lograr una comunicación de la ciencia con múltiples niveles de lectura: que los más chicos queden felizmente sorprendidos por los experimentos y la actitud preguntona, y los menos chicos –sean adolescentes o abuelos– puedan reflexionar sobre los hechos y métodos de la ciencia. Para ello, pienso que la cotidianeidad de la cocina, el baño, el colectivo, el amor o la música son puertas inmejorables para entrar en el mundo de las preguntas científicas.

El químico Carl Djerassi (1923) habló de la ciencia que se esconde en la ficción. Se la puede encontrar en todo recoveco que le deja la literatura, desde los best-sellers de Michael Crichton hasta las novelas de Michel Houllebecq, lo mismo que en las letras de Gilberto Gil o en el 'verás que todo es mentira' del tango, peligrosamente parecido a la paradoja de Zenón. Siguiendo esta idea, me gusta llamarla 'ciencia de contrabando'. Es decir, introducir conceptos y miradas científicas donde nadie las espera: en la comba de la pelota en un córner durante el relato de un partido de fútbol o en las ilusiones visuales o auditivas de una película. Allí hay ciencia, mucha y fascinante. Tal vez ese contrabando también sea útil en el aula, que es donde se enseña la ciencia. La divulgación solo puede complementar la educación formal, generar interés y entusiasmo entre los alumnos y brindar herramientas a los docentes.

Quizá pasar ciencia de contrabando ayude a acercar las mencionadas dos culturas, encarnadas en dos bandos aparentemente irreconciliables: los científicos y el resto del mundo. Hasta el cantor Fito Páez da por sentada su existencia cuando se refiere a 'una flaca de Exactas explicando lo que no hay que explicar'. Contar la ciencia de la vida cotidiana sería una especie de tercera posición que tiende a hacernos gozar la ciencia tanto como lo hacemos del arte, de un buen vino o de un libro compañero.

Por otra parte, el científico que se expone en los medios masivos de comunicación levanta sospechas y atrae ojos escrutadores. Se habla del síndrome Sagan, en recuerdo del excelentísimo investigador y comunicador estadounidense excluido de la Academia de Ciencias de su país por –se sospecha– su (merecida) fama mundial. Si bien eso no deja de existir, creo que en estos años ha cambiado la actitud de nuestros colegas e instituciones ante la manía que tenemos algunos de comunicar nuestra labor al público con tanta pasión como la que ponemos cuando trabajamos de científicos. Para nosotros, contar lo que hacemos es parte de lo que hacemos, y ahora hasta podemos volcarlo en los informes periódicos por los que nos evalúan, e incluso pedir financiamiento para ese tipo de actividades.

La ciencia es posiblemente el mayor invento de la humanidad. Contar y compartir este invento es un deber, un camino amplio en el que todos –investigadores, periodistas, divulgadores, editores– cabemos. Vale la pena compartir lo que ven estos ojos científicos, tal vez más pensativos pero no menos soñadores. Vale la pena ayudar a que los del otro bando descubran sus mecanismos. Vale la pena que todos descubran ese pedacito de la naturaleza que la ciencia logra explicar. Acompañar a los científicos en sus cotidianos 'no sé' puede ser la mejor de las aventuras: contar la ciencia puede ser tan fascinante como hacerla. La ciencia es un arma cargada de futuro. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CAZAUX D, 2010, *Historia de la divulgación científica en la Argentina*, Teseo, Buenos Aires.

DE AMBROSIO M (ed.), 2012, *Contar la ciencia. De ratones mutantes, personas búho y proezas espaciales en 40 notas publicadas en los medios en 2011*, Red Argentina de Periodismo Científico.

– (ed.), 2013, *Ciencia en palabras. Del* Titanic *a la máquina del Big Bang en 37 notas publicadas en los medios*, Red Argentina de Periodismo Científico.

DJERASSI C, 1998, 'Ethical discourse by science-in-fiction', *Nature*, 393: 511. Ver también *www.djerassi.com.*

ORIONE J, 2008, *Historia crítica de la ciencia argentina*, Capital Intelectual, Buenos Aires.

Diego A Golombek

Doctor en biología, UBA.
Profesor titular, UNQ.
Investigador principal del Conicet.

CH 25 años

Matías Loewy, Alicia Calabrese y Bruno Geller
Agencia CYTA - Instituto Leloir

Del laboratorio a los medios

La primera agencia de noticias científicas de la Argentina

En el prefacio de *La ciencia moderna*, publicado en Barcelona en 1897, el periodista y escritor español Julio Broutá lamentaba que la prensa de su país se mantuviera *a respetuosa distancia de las cuestiones científicas*. Instaba a los sabios a que compartieran el fruto de su conocimiento con el público profano: *De las opíparas mesas de vuestro saber dejad caer, para la muchedumbre, las migajas*.

En 1921, el magnate estadounidense de la prensa Edwin W Scripps, con la colaboración del zoólogo William Ritter, fundó la primera agencia en el mundo de distribución de noticias científicas: Science Service. Scripps sostenía que los científicos eran *tan malditamente sabios y estaban tan llenos de conocimientos* [...] *que no podían comprender por qué Dios había hecho al resto de los seres humanos tan reverendamente estúpidos*. La transmisión de la información científica y técnica en lenguaje que entienda la gente resultaba, para Scripps, una herramienta de salvaguarda de la democracia. Además, le resultó un buen negocio. Vendía artículos sobre astronomía, arqueología y biología –algunos de los temas más populares entonces– a unos cien periódicos que reunían, en conjunto, un quinto de la circulación total de la prensa de los Estados Unidos.

La fundación en 2006 de la Agencia de Noticias Científicas y Tecnológicas Argentina (Agencia CYTA - Instituto Leloir) se inscribió en esta tendencia a *sacar la ciencia de los laboratorios, de los centros académicos y de las bibliotecas, y ponerla al alcance de los ciudadanos*. Fue la primera de su tipo en el país y nació de las actividades de divulgación científica y tecnológica que desde 1985 venía realizando el químico Enrique Belocopitow (1926-2007) en el entonces Instituto de Investigaciones Bioquímicas Fundación Campomar (hoy Fundación Instituto Leloir).

Como en sus comienzos el correo electrónico no existía, Belocopitow llevaba en persona los artículos a diarios y revistas, y procuraba convencer a sus editores del valor del material ofrecido sin cargo. La primera nota publicada en un medio masivo como resultado de este esfuerzo explicó avances en el conocimiento de una enfermedad emergente, el sida, y salió en *Clarín* el 10 de abril de 1985. Dos años después la cifra de artículos había llegado a casi 1300, aparecidos en 27 diarios y revistas de todo el país.

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Son los medios de comunicación refractarios a difundir noticias sobre ciencia? ¿Son los científicos reticentes a diseminar sus conocimientos fuera de los canales convencionales de sus disciplinas? Ninguna de ambas afirmaciones parece reflejar la realidad actual.

Internet cambió el panorama por completo. Hoy la agencia usa esa vía y la página *www.agenciacyta.org.ar* para llegar a una vasta lista de editores y periodistas de diarios impresos, portales de noticias, revistas, radio y televisión, además del público general. Autoriza a publicar de manera gratuita el material a condición de mencionar la fuente.

Aunque la Fundación Instituto Leloir apoya financieramente el proyecto y lo alberga en sus instalaciones, la agencia no se ocupa solo de la labor de los grupos de investigación que trabajan allí: no es una oficina de comunicación institucional sino de difusión de aportes relevantes de la ciencia argentina. Las fuentes de las producciones periodísticas a las que recurre no se circunscriben a artículos de revistas científicas, pues abarcan libros, charlas, exposiciones en museos, congresos y otras. Además de tratar avances o hallazgos específicos, difunde entrevistas a científicos, reseñas de libros, efemérides y políticas públicas. Aborda las facetas científicas de las cuestiones que preocupan a la sociedad.

Desde su origen, la agencia CYTA - Instituto Leloir ha producido y difundido alrededor de 2400 notas. El análisis de su actividad en 2012 revela que las notas sobre medicina representaron más de un cuarto de su producción (27%), seguidas por las de biología, biotecnología y genética (22%). Un estudio reciente de lo publicado por nueve diarios de la región reveló similar preponderancia de la medicina y las ciencias biológicas. Otras áreas cubiertas fueron: ambiente (11%), agricultura y ganadería (5%), tecnología (5%), paleontología (3%), meteorología (2%), astronomía (2%) y química (2%).

Por definición, una agencia de noticias especializada en ciencia actúa en la interfase entre los científicos y los medios de comunicación que publican el material distribuido. Dado que la agencia nació en una institución científica, era esperable que su política editorial –como ocurrió con el Science Service de Scripps– manifestara cierta inclinación por los enfoques y valores de la comunidad científica. Incluso, que solo fuera un mecanismo de transmisión del saber experto al público lego y que se limitara a traducir el lenguaje de la ciencia al idioma cotidiano.

Esa concepción omite una dimensión de la actividad periodística, que es mirar con sentido crítico y desde una perspectiva más global los temas que trata, en este caso la práctica científica. La idea del periodista científico como traductor, por otro lado, tácitamente confiere al investigador la potestad de juzgar el valor o la rigurosidad del resultado. Algo de esta cultura impregna siempre y en todas partes al periodismo científico, pero lo cierto es que las cosas no son tan simples: si el investigador es, efectivamente, el buen juez del contenido científico de una nota, el periodista experimentado lo es –o debería ser– del interés del público por el tema y de sus posibilidades de entender lo que lea u oiga.

Las tensiones entre científicos y periodistas han sido ampliamente descriptas por la literatura. Una fuente de ellas es el hecho de que, por lo común, los investigadores piden –o ponen como condición para participar– conocer antes de que se publique el material periodístico para el cual entregaron datos o fueron entrevistados. En otras áreas de la prensa no se acostumbra someter un texto a la revisión de las fuentes consultadas, pero en la nuestra resulta habitual, posiblemente tanto por la falta de confianza de los científicos en las aptitudes del periodista para comprender y transmitir la complejidad técnica de una disciplina o de una investigación, como por la escasa familiaridad de aquellos con los intereses y las capacidades de comprensión del público y con las prácticas profesionales de los medios de comunicación. También conviene tener en cuenta que el científico procura realizar una verificación final porque teme la banalización o malinterpretación de conceptos o resultados, con la consecuencia de perder credibilidad ante el público.

La agencia CYTA adoptó el criterio de no someter de modo sistemático los textos que prepara a revisión por las fuentes consultadas, salvo que el redactor lo considere necesario en virtud de sus dificultades técnicas o que el científico lo plantee como requisito de su participación. Los más de siete años de historia de la agencia nos inclinan a pensar que lo señalado en el párrafo anterior refleja actitudes más extremas que las habituales: ni los investigadores viven aislados en una torre de marfil, ni son reacios a dar una entrevista, ni pugnan dogmáticamente por el control del discurso. Admitimos, sin embargo, que nuestra vinculación con un instituto de investigación reconocido puede haber disipado muchas desconfianzas.

Nuestra experiencia, también, lleva a convenir que un número creciente de científicos es capaz de aventurarse a comunicar sus trabajos a una audiencia no especializada, y en lenguaje despojado hasta donde es posible de tecnicismos. No todos, por supuesto, pero creemos que un número creciente muestra interés por la divulgación y capacidad de superar el reprochado hermetismo del discurso de la ciencia.

Según es habitual en la práctica periodística, ciertos factores aumentan el atractivo de una noticia y por ende las posibilidades de que los medios la difundan. Uno de ellos es su proximidad geográfica, cultural o incluso emocional. Por ejemplo, que un avance científico tenga lugar en determinada región aumenta la probabilidad de que los medios de esa región lo publiquen. Que en un descubrimiento importante realizado en el extranjero haya intervenido un investigador argentino seguramente lleva la noticia a la primera plana de los diarios locales.

La mayoría de los medios reproduce el contenido de nuestras notas sin modificaciones. El título, sin embargo, suele cambiarse, por lo general de manera adecuada y hasta con ingenio, pero alguna vez cayendo en el sensacionalismo o la hipérbole. En abril de 2007, por ejemplo, una nota de la agencia destacaba que el 10% de la población mundial vive en regiones costeras y menos de 10m

por encima del nivel del mar, y que, según previsiones de científicos británicos y estadounidenses, serían vulnerables a inundaciones derivadas del cambio climático. El título era 'El riesgo de vivir en la costa', pero un medio tituló 'El 10% de la población podría morir bajo el agua'.

La difusión de artículos de divulgación puede contribuir al cambio de conductas individuales y ayudar a que se definan y apliquen ciertas políticas públicas, pero ello no siempre sucede, ni acontece de manera inmediata. La prensa viene dando cuenta desde hace años de los resultados de múltiples estudios epidemiológicos que demuestran las consecuencias negativas del tabaco y seguramente eso ayudó a que en casi todos los países las autoridades tomen diversas medidas adversas a la práctica de fumar, pero sigue habiendo millones de fumadores en el mundo.

Un indicador indirecto pero muy concreto de la influencia que puede tener la publicación de artículos o noticias de la agencia es encontrarlos citados entre los fundamentos de proyectos de leyes. Así, en marzo de 2013, una propuesta de modificación de la ley 26.687 sobre regulación de la publicidad, la promoción y el consumo de productos elaborados con tabaco incluyó como antecedente una nota aparecida en la prensa en abril de 2009 que situaba la Argentina entre los países que no daban prioridad a las acciones contra el tabaco.

La agencia CYTA difundió en varios medios algunos trabajos publicados en revistas científicas de circulación internacional por el médico Víctor Rosenthal. En ellos se mencionaban las significativas tasas de mortalidad y morbilidad provocadas por infecciones hospitalarias en la Argentina. Esas notas periodísticas fueron determinantes, según el nombrado, para que el Senado de la Nación tomara la iniciativa de crear por ley un registro nacional de infecciones hospitalarias. La medida obtuvo media sanción en ese cuerpo el 12 de abril de 2011.

El periodismo científico está en etapa de maduración en la Argentina. Las noticias sobre ciencia y tecnología –sobre todo medicina– aparecen con creciente frecuencia en la agenda diaria de los medios clásicos y se advierte una explosión de nuevos medios digitales, algunos orientados a la divulgación científica. La experiencia de siete

Enrique Belocopitow (1926-2007).

años de nuestra agencia desmiente dos mitos muy difundidos en esta materia. El primero sostiene que los medios de comunicación son sistemáticamente refractarios a dar a conocer noticias sobre ciencia. El segundo afirma que los científicos son reticentes a difundir sus conocimientos fuera de los canales convencionales de sus disciplinas. Nuestra visión es que, más allá de algunas tensiones culturales entre científicos y periodistas, muchos de ambos comparten un genuino entusiasmo por la divulgación, y seguramente también comparten la convicción de Belocopitow de que *un país en el que el pueblo y las autoridades son conscientes de que su progreso depende […] de la ciencia es distinto de otro que considera que la ciencia es un adorno…* CH

Matías Loewy

Profesor de los cursos de periodismo científico, CYTA - Instituto Leloir. Editor senior de *Newsweek* Argentina. Editor de la agencia CYTA - Instituto Leloir.
matiasloewy@gmail.com

Alicia Calabrese

Coordinadora de los cursos de periodismo y responsable de los cursos para docentes, CYTA - Instituto Leloir.
acalabrese@leloir.org.ar

Bruno Geller

Redactor de la agencia CYTA - Instituto Leloir.
bgeller@leloir.org.ar

La Recherche
ENTRETIEN avec Bernard Barraqué, économiste : « L'eau doit rester une ressource partagée »
BAC TO BASICS
Les polynômes
JEU PHYSIQUE
Le sable mouillé
Spécial
L'eau
RÉSERVES
SÉCHERESSE
DESSALEMENT
NITRATES
CLIMAT
AGRONOMIE
GLACIERS
Recherche
révolution
athématique
omment l'ordinateur
montre les théorèmes
es défis
XXIe siècle
La voiture électrique
DE La Recherche
Biodiversité
Les menac
sur le viva
fonte accélérée des glaces
cycle sans fin
réchauffement
un potentiel
nergétique vertigineux
Des espèces attirées
nd Nord

CH 25 años

Aline Richard Zivohlava
La Recherche

La divulgación de la ciencia en Francia

Uno se hastía de todo, salvo de comprender.
Virgilio

¿Champagne o bosones? Francia es más conocida por su *savoir faire* en el dominio del lujo que por sus físicos de partículas. Sin embargo, un francés, Serge Haroche, recibió, junto con el estadounidense David Wineland, el premio Nobel de física en 2012 por sus investigaciones sobre sistemas cuánticos. Hay que desconfiar, pues, de ciertas ideas preconcebidas. Francia es un país con larga tradición científica que se mantiene hoy como una potencia en ese campo. Consagra a investigación y desarrollo 41.000 millones de euros anuales, o el 2,1% de su producto bruto interno, solo superada entre los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) por los Estados Unidos, Japón y Alemania. En cuanto a los franceses, ¡ellos aman la ciencia! En una encuesta de la revista *La Recherche* realizada en 2011, el 70% de los interrogados se mostró interesado por la ciencia, más que por la política (56%), la economía (50%) y, para sorpresa, el deporte (45%), y a pesar de que dieron respuestas algo fantasiosas a preguntas concretas sobre biología o matemáticas.

El público francés se ve atraído por la ciencia porque ella representa una gran idea de progreso y de esperanza para el futuro. El 75% de los encuestados consideró que puede ofrecer soluciones a los problemas actuales, una opinión que se traduce en confianza para con los científicos y sus instituciones, y en reconocimiento de los

La Recherche, julio de 2013.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La revista francesa de divulgación científica *La Recherche* adhiere al mismo modelo periodístico que Ciencia Hoy, según el cual los propios científicos, con la ayuda de editores especializados de textos, explican al público interesado los avances de la ciencia. Pero la primera tiene una experiencia más larga en la materia, porque está cerca de cumplir cincuenta años, sale todos los meses y vende más de cuarenta mil ejemplares.

esfuerzos por comunicar la índole de sus investigaciones. Pero, por otro lado, se advierte en Francia, lo mismo que en otros países, cierta suspicacia en determinados terrenos fuertemente controvertidos en los últimos años, como los organismos genéticamente modificados, la energía nuclear o el calentamiento global. Es frecuente cuestionar la independencia de los científicos ante la industria y el poder político.

Esto muestra que existe mucho espacio para ser ocupado por una revista de divulgación de la ciencia como la que dirige la autora, *La Recherche*, de aparición mensual, que desde su nacimiento en mayo de 1970 en el Barrio Latino de París tejió un fuerte vínculo entre la comunidad científica francesa y el público aficionado a esa actividad. En palabras de su antiguo director, Michel Chodkiewicz, nuestra revista de dirige a *todos cuyo interés por el progreso científico y tecnológico no se detiene en los límites de su especialidad*. En sus inicios publicaba largos artículos, ilustrados con austeros gráficos, difíciles de entender para quien no hubiera pasado por estudios universitarios. Pero el objetivo estaba claro: informar sobre ciencia y tecnología con honestidad, rigor e independencia.

A los cuarenta y tres años de su nacimiento, *La Recherche* no se ha desviado de esa misión: solo evolucionó con los tiempos. Hoy entrega a los lectores cien páginas ricamente ilustradas, con artículos, informes e infografías. Por ejemplo, en el número de julio de 2013 hemos dedicado una sección de cuarenta y siete páginas, formada por doce artículos, a analizar el cerebro humano y la forma cómo percibe el mundo; incluye infografías sobre los seis sentidos: la vista, el oído, el olfato, el gusto, el tacto y la propiocepción (que informa al organismo de la posición de los músculos y permite sentir la posición relativa de partes corporales contiguas).

Cada mes publicamos secciones temáticas similares, que además constituyen el motivo de tapa: las dedicadas a la física son las que mejor se venden, seguidas de las neurociencias. Además de la sección central, en el inicio de cada número incluimos artículos cortos sobre la actualidad de las ciencias, y también publicamos artículos largos escritos por lo general por los propios investigadores y procesados por un editor de planta, lo mismo que análisis de cuestiones de interés para la ciencia y la sociedad, como el cambio climático, las células madre, las consecuencias sociales del mal de Alzheimer, entre otras.

Les Dossiers de La Recherche, abril de 2013.

Nuestra planta editorial se compone de catorce personas, de las que siete procesan textos. La labor de estos como periodistas científicos les exige estar alerta a toda la actualidad: los descubrimientos, sin duda, pero también los debates sobre ética, las consecuencias positivas y negativas del progreso de la medicina, los vínculos entre la ciencia y las legislaciones francesa y europea, la economía, la ecología, las nuevas formas de alimentarse, de vivir y de morir. Nuestra revista procura explorar lo nuevo en ciencia y tecnología, con rigor, si posible como precursora. Así, fuimos los primeros en interesarnos, en 2007, por las consecuencias negativas de los biocombustibles, y en explicar al público por qué podrían resultar nefastos para el ambiente.

Además de la revista mensual, sacamos en forma bimestral otro título: *Les Dossiers de la Recherche*, de ochenta páginas, que trata un único tema en cada entrega; por ejemplo, en números recientes hemos enfocado los abismos marinos (abril de 2013) y las partículas elementales (junio de 2013). Publica ambas revistas la Société d'éditions scientifiques, subsidiaria de Financière Tallandier, que pertenece a Artémis, una compañía inversora de François-Henri Pinault.

La Recherche tira 42.000 ejemplares, que en su mayoría se venden por suscripción. Sus lectores son principalmente hombres, en edad laboral y con educación universitaria. Con su sitio web (*www.larecherche.fr*) y sus aplicaciones para tabletas y teléfonos celulares procura atraer a un público más joven, en particular estudiantes de ciencias y de ingeniería.

Nuestra revista no es el único medio francés que divulga ciencia. La prensa cotidiana lo hace cuando hay noticias de actualidad, aunque algunos diarios muestran más interés que otros. *Le Monde* saca cada miércoles una sección de ocho páginas sobre ciencia y tecnología, temas que, en cambio, son raros en la radio y la televisión. Y, de última, el público interesado solo encuentra algunos documentales, por lo general comprados en el extranjero.

Los contenidos científicos y tecnológicos de la prensa general a veces no son del todo serios. Así, en 2012, la revista semanal *Le Nouvel Observateur*, bien conocida y respetada en nuestro medio, publicó una nota titulada 'Los organismos genéticamente modificados son veneno', basada en un estudio de un grupo de investigadores de la Universidad de Caen, conocido por su activismo anti OGM, que apuntaba a demostrar los efectos tóxicos, sobre todo cancerígenos, de un maíz transgénico resistente al glifosato. Fue sin duda mal periodismo, por haber basado la argumentación en un solo estudio sobre un solo maíz, y sobre todo por haber elegido un título que nada tiene de científico e induce a error al público. La comunidad científica criticó el estudio tanto por su contenido como por su difusión en forma de espectáculo en la citada revista.

Una dificultad con la que se enfrentan los medios no especializados es el desconocimiento de temas que suelen ser difíciles: sin medios para investigar, con jefes de re-

dacción no muy interesados y escasos de tiempo, ¿cómo hacen los redactores para escribir en el día un artículo sobre el bosón de Higgs, del que nunca oyeron hablar? Los científicos franceses se quejan del desconocimiento científico de los periodistas, pero no se toman el trabajo de esclarecerlos y les demuestran desconfianza en lugar de ayudarlos a escribir un artículo adecuado. Las culpas, en todo caso, serían compartidas.

El sector especializado de la prensa francesa está integrado por cuatro revistas: dos –*La Recherche* y *Pour la science*– se dirigen a un público minoritario; las otras dos –*Sciences et Vie* y *Science et Avenir*– apuntan al amplio público y venden respectivamente 200.000 y 180.000 ejemplares mensuales, mucho más que las dos primeras.

Sciences et Vie es la más antigua: fue lanzada en 1913 con el nombre de *La Science et la Vie* por Paul Dupuy –hijo de Paul Dupuy, que fue ministro, diputado y director del diario *Le Petit Parisien*–, y es hoy propiedad del grupo editor italiano Mondadori. Es la primera de su tipo en ventas en Europa, con formato de libro y artículos cortos. El mismo grupo editor saca una revista bimestral llamada *Cahiers de Science et Vie* y también *Science et Vie Junior* dirigida a adolescentes, con abundancia de fotografías.

Science et Avenir fue creada en 1947 y pertenece al grupo francés Perdriel, que publica el mencionado *Nouvel Observateur* y también el semanario *Challenges*. Enfatiza los temas de actualidad y trata a vuelo de pájaro el máximo de temas, incluso los que vinculan ciencia y sociedad.

Pour la science es la competidora directa de *La Recherche* pues publica, como nosotros, artículos escritos por investigadores. Desde 1997 también adapta notas de la estadounidense *Scientific American*, de la cual es la versión en francés. Depende de Éditions Belin, que también publica trimestralmente *Dossiers de Pour la science*, y desde 2003, *Cerveau & Psycho*, bimestral, sobre psicología y neurociencias.

Las cuatro revistas tienen sus sitios en internet, donde también se pueden encontrar contenidos científicos en, por ejemplo, *Athena* (una revista belga accesible en línea), *Futura Sciences*, *Agence Science Presse*, *CyberSciences* y *Science por tous*, los tres últimos de Canadá, además de numerosos blogs de aficionados, que promueve una asociación formada por ellos y gestora del sitio *Café des sciences*.

También hay que mencionar al sitio web de *Universcience*, institución nacida en 2010 por asociación del *Palais de la découverte* con la *Cité des sciences et de l'industrie*. El sitio se llama *Science actualités* y presenta artículos, entrevistas y videos. Y está asimismo el sitio *science.gouv.fr*, del Ministerio de Investigación y Enseñanza Superior.

Les Dossiers de La Recherche, junio de 2013.

El panorama de la divulgación de la ciencia en Francia se completa con la actividad de otras instituciones que la producen, en primer lugar organismos públicos como el Consejo Nacional de Investigación Científica (CNRS), el Comisariado de Energía Atómica (CEA), el Instituto Nacional de Sanidad e Investigación Médica (INSERM), el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (Inra), el Instituto Nacional de Investigación en Informática y Automatización (Inria) y otros, todos los cuales tienen sus propios periódicos internos con artículos sobre sus tareas científicas. De este tipo son el *Journal du CNRS* y *Clés du CEA*, que en años recientes han ampliado su campo a la comunicación externa, gozan de recursos estatales no desdeñables y, para el público, son gratuitos.

Se puede concluir que en Francia las fuentes de información para quienes se interesan por la ciencia y la tecnología son numerosas y por lo general de buena calidad. Pero hay cierta incertidumbre de cara al futuro debido a algunos elementos inquietantes: la disminución del interés de las jóvenes generaciones por los estudios científicos, algo que también se observa en otros países, y un marco económico que dificulta la producción de contenidos de calidad.

A nosotros corresponde transmitir a los jóvenes nuestra pasión por la ciencia. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BENSAUDE-VINCENT B, 2000, *L'opinion publique et la science. A chacun son ignorance*, Institut Edition Synthelabo, París.

LAMY M, 2009, *Passeurs de sciences: la vulgarisation au secours de la science biologique*, Sang de la terre, París.

LAPOINTE P, 2008, *Guide de vulgarisation: au-delà de la découverte scientifique, la société*, Multimondes, Quebec.

WITKOWSKI N, 2013, *Science infuse*, Don Quichotte, París.

Aline Richard Zivohlava

Licenciada en ciencias económicas, Universidad de París (Sorbona). Diplomada en periodismo, Centro de Formación de Periodistas, París. Directora de *La Recherche*.

La cooperación científica, universitaria y técnica franco-argentina

2013: UN AÑO MARCADO POR LA CREACIÓN DEL "INSTITUT FRANÇAIS D'ARGENTINE"

El Ministerio de Asuntos Exteriores francés decidió reunir todos sus servicios de cooperación en el extranjero bajo la marca Institut français, la agencia pública de difusión cultural. Creando una red de Instituts français en todo el mundo, se permite dar una mejor visibilidad de nuestra acción para la cooperación, modernizar nuestros servicios y unificar la acción a nivel mundial. Este proceso avanzó bastante ya que actualmente hay 101 establecimientos y 125 anexos.

Siempre dentro de la Embajada, el Institut français d'Argentine (IFA) prosigue las mismas misiones que el anterior Servicio de Cooperación y de Acción Cultural (SCAC) en los campos científico, universitario, artístico y audiovisual. Continúa bajo la autoridad del embajador de Francia y sigue siendo gestionado por el mismo equipo de trabajo.

LA COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y UNIVERSITARIA

Punta de lanza de las relaciones entre Francia y Argentina, la cooperación científica y universitaria moviliza cada vez más actores y genera cada vez más iniciativas.

Respondiendo a las expectativas de nuestros socios institucionales (MINCYT, Conicet, MEN y el sistema universitario), hemos desarrollado a lo largo de los años una oferta que abarca todos los aspectos de la cooperación científica y universitaria (movilidad de masters, profesores, doctorados, posdoctorados e investigadores, cotutelas, puesta en red de universidades y de laboratorios, creación de centros de investigación binacionales, debates de ideas en el ámbito científico...).

LA COOPERACIÓN PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

La Argentina cuenta con una fuerte cultura científica de renombre internacional (tres premios Nobel en ciencias exactas en los últimos sesenta años: Bernardo Houssay en medicina en 1947, Luis Federico Leloir en química en 1970 y César Milstein en medicina en 1984), que da lugar a una cooperación bilateral dinámica y variada.

Fruto también de una implicación notable de los principales organismos de investigación franceses, la cooperación científica y tecnológica bilateral ha conocido durante los últimos años una fuerte aceleración. Francia es hoy el primer socio de la Argentina en cantidad de proyectos científicos, con más de cien proyectos bilaterales actualmente en ejecución y más de trescientas misiones anuales de investigadores franceses hacia la Argentina.

La cooperación científica bilateral entre Francia y la Argentina está organizada en cuatro áreas principales:

Cofinanciamiento de programas de movilidad científica

El *programa ECOS-Sur*: programa emblemático de nuestra cooperación científica, que se encuentra en su 17ª convocatoria, financia proyectos conjuntos de investigación y favorece la creación de redes a través de la movilidad de equipos de investigadores entre Francia y Argentina. Desde su creación, este programa financió más de trescientos proyectos conjuntos.

El *programa Bernardo Houssay*: este programa de excelencia fue creado en 2009 para fortalecer los vínculos de colaboración científica existentes y promover el intercambio recíproco entre Francia y la Argentina de jóvenes posdoctorandos y la movilidad de doctorandos franceses a la Argentina.

Apoyo a la creación de centros binacionales de investigación y de nuevas colaboraciones entre organismos de investigación

Los organismos franceses y argentinos de investigación mantienen una tradición de trabajar estrechamente en la construcción de programas conjuntos de investigación. Entre ellos, podemos citar, por Francia: CNRS, CIRAD, IRD, INSERM, CEA, INRA, INRIA, Instituto Pasteur, Instituto Curie, IRSTEA, etcétera, y por la Argentina: Conicet, CNEA, Instituto Balseiro, CONAE, INTA, INTI, INA, varias universidades, etcétera.

Desde el IFA, trabajamos en el acompañamiento de los organismos franceses de investigación en establecer contactos, crear redes y formalizar nuevos proyectos y acuerdos con sus homólogos argentinos.

Durante los últimos años se crearon seis laboratorios internacionales asociados (LIA) y una unidad mixta internacional (UMI) franco-

argentinos: la **UMI IFAECI** sobre el estudio del clima y sus impactos, que asocia al CNRS y al Conicet; el laboratorio **AGRITERRIS** (acrónimo de *a*ctividades *agrí*colas, *terri*torios y *s*istemas agroalimentarios localizados), centro binacional que asocia el INRA, el INTA y varias universidades argentinas y francesas; el **LIA LIFAN** en nanociencias, que asocia al CNRS, la Universidad Pierre y Marie Curie y la Universidad París-Sur, por el lado francés, y el MINCYT y la CNEA por el lado argentino; el **LIA PMF** (Física y Mecánica de los Fluidos), que asocia al CNRS y a la Facultad de Ingeniería de la UBA, el **LIA DEVENIR** (investigación en biología celular y neurociencias), que asocia el CNRS y la Universidad de Lyon 1 a la UBA y al Conicet, el **LIA INFINIS** (investigación en sistemas y lenguajes informáticos) que asocia al CNRS y la Universidad de París 7 por la parte francesa y el Conicet y la UBA por la parte argentina, y el centro **CIFASIS** (Centro Franco-Argentino de Ciencias de la Información y Sistemas) que asocia a la Universidad Paul Cézanne de Marsella, la Universidad Nacional de Rosario y el Conicet.
Además, nuevos centros se encuentran actualmente en curso de creación, como el Centro Argentino-Francés en Ciencias de la Ingeniería (CAFCI), entre el CNRS, el MINCYT y el Conicet.

Organización de debates de ideas, de exposiciones científicas y participación en coloquios internacionales

La cooperación científica bilateral se propone también fomentar la organización de encuentros e intercambios que permitan hacer conocer, criticar, exponer y/o difundir ideas. Así, se organizan cada año diversos seminarios y conferencias de destacados investigadores. También difundimos en la Argentina exposiciones realizadas en Francia sobre temas de actualidad científica, como "Ciencia-ficción: viaje al corazón del ser vivo", "Agua en el corazón de la ciencia" o "Energía sustentable para todos", entre otras.

Actividad de difusión de información científica y tecnológica

El IFA edita un boletín electrónico, *Science Argentine*, hospedado por la Agencia para la Difusión de la Información Tecnológica (ADIT) y destinado a hacer conocer al público especializado francés la actualidad de la ciencia en la Argentina; actualmente cuenta con más de ochocientos seguidores.

Entrega del premio Sanofi-Conicet "Incentivo a la innovación en enfermedades huérfanas" a investigadores del Conicet en marzo de 2013 en la Embajada de Francia en presencia del ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, Lino Barañao; el presidente del Conicet, Roberto Salvarezza, junto al director médico de la compañía farmacéutica Sanofi, Cristian von Schulz-Hausmann.

COOPERACIÓN UNIVERSITARIA

El sistema universitario argentino celebró en 2012 sus cuatrocientos años (Universidad Nacional de Córdoba). Dotada de un centenar de instituciones de enseñanza superior universitaria, muchas de ellas de afirmada trayectoria y reputación, la Argentina es hoy un socio preeminente para numerosos establecimientos franceses: los casi cuatrocientos acuerdos bilaterales y consorcios activos entre universidades así como el creciente flujo de estudiantes y docentes en movilidad entre ambos países son dos de las muestras más cabales.

Cerca de mil estudiantes franceses cursan actualmente sus estudios de posgrado en universidades argentinas, y Francia recibe otros tantos estudiantes argentinos, lo que lo convierte en el tercer país de destino de estudiantes argentinos, después de Estados Unidos y España.

El número de estudiantes argentinos en Francia aumentó un 11% en 2012, lo que confirma que los estudiantes argentinos siguen mostrando un gran interés en la idea de continuar sus estudios superiores en Francia. Campus France Argentina es el organismo responsable de promover la educación superior y orientar, en sus puntos de información en Buenos Aires, Córdoba, Mendoza y Rosario, a los estudiantes argentinos que desean estudiar en Francia, desde la elección de la carrera y el establecimiento hasta la solicitud de la visa. Se organizan ferias interuniversitarias, conferencias en las universidades, en el Liceo Francés y en las distintas sedes de la Alianza Francesa.

Movilizando en red polos de enseñanza superior y de investigación franceses hacia la Argentina realizamos la promoción de los atractivos de la oferta francesa de formación superior y profesional. Adicionalmente, contamos con programas específicos diseñados para alentar la movilidad: el programa de becas Saint-Exupéry, uno de los más antiguos, cofinanciado por el Ministerio de Educación de la Nación y por Francia, cuenta con una parte de formación posdoctoral y doctoral en cotutela y una segunda parte que concierne al apoyo a la investigación aplicada en gestión educativa.

Salón de promoción de estudios en Francia, 2011 (Campus France).

El Centro Franco-Argentino de Altos Estudios coordina unos veinte seminarios por año y es una herramienta clave de la cooperación académica franco-argentina. El CFA, que tiene su sede en la Universidad de Buenos Aires (UBA), establece un plan anual cofinanciado y programas concertados en ciencias humanas y sociales. Otros dos CFA están en actividad en la Universidad Nacional de Córdoba y en la Universidad Nacional de Cuyo.

El programa ARFITEC (acrónimo de *Ar*gentina *F*rancia *I*ngenieros *Tec*nología), programa emblemático en el campo de la formación profesional, concentra el 40% de la movilidad. Prevé el intercambio de estudiantes de ingeniería y de docentes-investigadores; facilitó la circulación de 175 franceses y de 149 argentinos en 2012. Todavía ofrece posibilidades de expansión ya que veinticinco nuevos proyectos acaban de ser seleccionados para 2013-2014.

Con el fin de garantizar la continuidad de nuestra diplomacia de influencia, también se ha programado una beca parcial para que un funcionario argentino pueda seguir el Ciclo Internacional de Perfeccionamiento de la prestigiosa École Nationale d'Administration. También existe un programa para capacitar a funcionarios de alto nivel en la Escuela Nacional de la Magistratura.

En 2013 vimos nacer un nuevo programa de becas del gobierno, llamado BEC.AR Francia, para enviar treinta becarios a realizar masters 2 en ciencias y tecnología en Francia. La Jefatura de Gabinete, su propulsora y gestora, tiene el objetivo de ampliarlo el próximo año para duplicar el número de becarios.

La vitalidad de las relaciones académicas y científicas entre ambos países es una de las razones principales por las cuales llevamos adelante una activa política de apuntalamiento de la enseñanza y la difusión del idioma francés en la Argentina. Por un lado acompañamos las transformaciones de fondo en el campo de las lenguas extranjeras, desde 2006, por el efecto de las medidas adoptadas en materia de educación a nivel nacional con la sanción de una nueva ley, en particular, con la implementación del programa Conectar Igualdad. Por otro lado, apoyamos la formación continua de los profesores de francés a través de becas de perfeccionamiento en Francia, cursos de capacitación con docentes argentinos y franceses invitados y el programa de asistentes de idiomas abiertos a todos los estudiantes del nivel superior (10 franceses en Argentina y 45 en Francia cada año).

Por su parte, la red argentina de Alianzas Francesas, una de las más importantes y antiguas del mundo, asegura con éxito sus misiones de enseñar la lengua y difundir la cultura francesa, así como de promover la cultura local. El primer establecimiento fue creado en Buenos Aires en 1893 y por lo tanto este año celebra sus 130 años de vida. La red recibe a quince mil estudiantes en sus sesenta establecimientos en todo el país.

LA COOPERACION TÉCNICA

Las acciones de cooperación técnica bilateral tienden a favorecer el intercambio de buenas prácticas y de *expertise* sobre temas y sectores de interés prioritario para ambas naciones. Los actores de esta cooperación y los medios financieros utilizados provienen actualmente de varios ámbitos: el Estado francés a través del Ministerio de Relaciones Exteriores y de los ministerios técnicos, los gobiernos locales franceses a través de la cooperación descentralizada, y por último los programas europeos.
Nuestra acción se concentra sobre dos sectores prioritarios:

Cooperación descentralizada franco-argentina

Es la cooperación entre gobiernos locales franceses y argentinos, sector que conoció una importante evolución desde la organización del I Foro Franco-Argentino de Cooperación Descentralizada organizado en 2008 en la Argentina. Alrededor de veinte convenios están activos actualmente entre gobiernos locales sobre temas de gestión local para el desarrollo, como la preservación de los espacios naturales y del medio ambiente, la gestión cultural, el desarrollo económico, de polos industriales o de competitividad, la valorización del patrimonio, etcétera. Los II Encuentros Francia-Argentina tuvieron lugar en Biarritz y Pau, Francia, en noviembre de 2012 y reunieron a treinta gobiernos argentinos y cuarenta franceses, permitiendo consolidar las relaciones existentes y favorecer nuevos contactos. Los ministerios de Asuntos Exteriores de Francia y de la Argentina apoyan esta cooperación, particularmente a través de la organización de una convocatoria a proyectos, que en 2013 ha lanzado su cuarta edición.

Medio ambiente y biodiversidad

El Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial (FFEM) financió en la Argentina, desde 2003, las siguientes iniciativas: el proyecto Alto Bermejo (2003-2010), que tuvo como objetivo la conservación de la biodiversidad de las yungas a través de la creación y consolidación del corredor ecológico del Alto Bermejo. La zona de intervención del proyecto representa 2,1 millones de km² en el noroeste de la Argentina (provincias de Salta y Jujuy); el proyecto binacional FREPLATA (Uruguay-Argentina), que tuvo lugar entre 2006 y 2012, y cuyo objetivo fue el mejoramiento de la calidad ambiental del Río de la Plata y su frente marítimo y conocer sus flujos de sedimentación, en cooperación con el IFREMER.
Finalmente, el proyecto Conservación y Gestión Sustentable del Gran Chaco (Argentina, Paraguay, Bolivia) tiene como objetivo implementar, a escala de la cuenca del río Pilcomayo, un enfoque innovador asociando la conservación de recursos naturales y una dinámica de desarrollo económico local y participativo.

"Travesía Bermeja": mil kilómetros navegando el río Bermejo (junio de 2013) con la fundación ProYungas, coordinadora del proyecto de conservación del Gran Chaco financiado por el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial (FFEM). Foto Ossian Lindholm/ProYungas

Gustavo Corach
Instituto Argentino de Matemáticas, UBA-Conicet

Pensamientos de un matemático

Exposition, criticism, appreciation, is work for second-rate minds. [...] It is a melancholy experience for a professional mathematician to find himself writing about mathematics. The function of a mathematician is to do something, to prove new theorems, to add to mathematics, and not to talk about what he or other mathematicians have done.
(Exposición, crítica, apreciación, es trabajo para mentes de segunda [...] Para un matemático profesional, encontrarse escribiendo sobre matemáticas es una experiencia melancólica. La función de un matemático es hacer algo, probar nuevos teoremas, agregar al conocimiento matemático, no hablar sobre lo que él y otros matemáticos han hecho.)
GH Hardy, *A mathematician's apology*, Cambridge University Press, 2004 [1940]

Aprendió tantas cosas —escribía mi maestro a la muerte de su amigo erudito—, que no tuvo tiempo para pensar en ninguna de ellas.

Cuando el saber se especializa, crece el volumen total de la cultura. Esta es la ilusión y el consuelo de los especialistas. ¿Lo que sabemos entre todos? ¡Oh, eso es lo que no sabe nadie!
Antonio Machado, *Juan de Mairena*, 1936

Alumno al profesor de álgebra: —*Decime, esto ¿para qué sirve?*
Profesor de álgebra al alumno: —*Y usted, ¿para qué sirve?*

El primer obstáculo que encuentro cada vez que intento escribir sobre matemática es la cantidad de citas que necesito para comenzar. Las que puse arriba me son ahora indispensables: con menos no podría ponerme a la tarea. Tratan sobre mis dificultades como autor: la tristeza, compartida con el matemático inglés GH Hardy (1877-1947), por el paso de los años; el rechazo del enciclopedismo y de la especialización que deploraba Machado; el eterno problema de la utilidad, reflejada en el diálogo entre alumno y profesor de álgebra. De ese diálogo me gusta destacar tanto el voseo y la pregunta impertinente del alumno, como la respuesta con una violencia que el trato de usted no atempera; sin embargo, es pertinente interrogarnos sobre la utilidad de las cosas o las personas, como un interesante ejercicio para el espíritu.

Hardy sostenía, con cierto fundamento, que la matemática es una ciencia para jóvenes. Incluso establecía los sesenta años como el momento en que uno debería abandonar la investigación y dedicarse a escribir libros. Por supuesto, hay muchos ejemplos que lo contradicen: numerosos matemáticos realizaron grandes contribuciones ya bien entrados en la madurez. Pero en términos generales es cierto. A tal punto que el premio

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo concibe un matemático activo las particularidades de su disciplina.

que para muchos ocupa el lugar del Nobel entre los matemáticos, la medalla Fields de la Unión Matemática Internacional, solo se otorga a matemáticos menores de cuarenta.

Y es muy probable que en otras disciplinas se verifique la afirmación de Hardy. Por eso, el porvenir de una disciplina depende, en gran medida, de cuánto interés despierte en los jóvenes. Y es bien sabido que para estos el enciclopedismo no resulta atrayente, y la especialización se da de forma bastante natural, por lo que las frases de Juan de Mairena vienen muy al caso.

Es menos claro, en cambio, cuál es el atractivo para los jóvenes del concepto de utilidad. Los grandes problemas de la matemática son importantes por razones muy lejanas a la utilidad. Resolver el último teorema de Fermat no influyó en la tecnología. El dinero y la fama tampoco parecen ser motores exclusivos a la hora de elegir a qué nos vamos a dedicar. Es interesante el caso de Grigori Perelman, un matemático ruso a quien en 2006 le otorgaron la medalla Fields y en 2010 el Millenium Prize del Clay Mathematics Institute por la solución completa de la llamada *conjetura de Poincaré*. Por diversos y muy dignos motivos, rechazó ambas distinciones y el dinero que le hubiesen proporcionado. Perelman probablemente sea el matemático más admirado en la actualidad, aun cuando sus admiradores no saben exactamente qué problemas resolvió. La atracción por la matemática y sus problemas parece estar, pues, más allá de triviales búsquedas de fama y dinero, o de la posibilidad de convertirse en benefactor de la humanidad.

La investigación matemática se alimenta de varias fuentes, algunas internas a la disciplina y otras pertenecientes a la física, la lógica, la informática, las comunicaciones, la biología o la ingeniería. Me interesa particularmente ese origen mestizo de enorme cantidad de problemas matemáticos actuales, en particular de aquellos que provienen de la ingeniería. El mendocino Alberto P Calderón (1920-1998), un ingeniero egresado de la UBA que se apasionó por la matemática en la época en que la ingeniería y las ciencias exactas estaban en la misma facultad, se convirtió en los Estados Unidos en uno de los matemáticos más importantes del siglo XX.

A comienzos de dicho siglo el alemán David Hilbert (1862-1943) era el centro de la matemática universal. Hizo contribuciones fundamentales en casi todas las áreas de la disciplina, entre ellas geometría, lógica matemática, mecánica cuántica y análisis funcional. En un momento se le encomendó una lista de los problemas matemáticos que consideraba más importantes. Enumeró veintitrés y presentó la lista al Congreso Internacional de Matemáticos de 1900. Esos problemas signaron decisivamente el desarrollo de la matemática durante las décadas siguientes.

De la lista de Hilbert, cuatro o cinco problemas no fueron resueltos aún. En 2000, para retomar el tema un siglo después, el mencionado Instituto Clay convocó a algunos de los matemáticos más prestigiosos del mundo para que hicieran nuevamente una lista de los problemas más importantes de la matemática. El grupo señaló siete, que pasaron a llamarse los problemas del milenio; cuatro estaban en la lista de Hilbert: la hipótesis de Riemann (sobre la distribución de los números primos), la conjetura de Poincaré (sobre la topología de una esfera en el espacio de cuatro dimensiones), la conjetura de Hodge (sobre geometría algebraica) y el problema de P versus NP (sobre complejidad computacional). Los otros tres se refieren a las soluciones de las ecuaciones de Yang-Mills (sobre física matemática), de Navier-Stokes (sobre la teoría de la turbulencia) y de la conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer (sobre teoría de números). A diferencia de los problemas que propuso Hilbert, que aseguraban la fama a quienes los resolvieran, estos traen un adorno extra: un millón de dólares para quien produzca la primera solución correcta de cada uno.

Además de la conjetura de Poincaré, Perelman resolvió otra, llamada *de geometrización de Thurston*. En toda su carrera solo publicó un trabajo en una revista científica. Dio a conocer los demás en el sitio *arxiv.org*, que no somete a arbitraje las contribuciones que recibe. Usualmente, físicos y matemáticos recurren a ese sitio en forma preliminar y luego publican el material en revistas reconocidas, porque es lo requerido por los organismos que evalúan el desempeño de los investigadores. Pero Perelman no hace lo usual. Sus trabajos, sin embargo, fueron leídos detalladamente en todo el mundo matemático y le reportaron los premios mencionados, igual que el de la Sociedad Europea de Matemática en 1996, que rechazó como los otros dos. Después de pasar temporadas en varias universidades de los Estados Unidos, regresó a vivir con su madre en un modesto departamento en San Petesburgo.

Si Perelman fuera argentino, es probable que ni las universidades ni el Conicet lo aceptaran. Aquí, como en todas partes, llenar formularios, presentar informes, describir floridamente sus trabajos y presentarse a concursos le quitaría tiempo para pensar y resolver problemas centrales de la matemática. Su pasión y absoluto desinterés son excepcionalmente raros, aunque no puedo evitar mencionarlos porque ofrecen una posible respuesta a lo que me preguntaba: qué atrae a los jóvenes a la matemática.

¿Sería factible resolver en la Argentina alguno de los siete problemas del millón? No hay una respuesta forzosa, pero me parece altamente improbable. Son problemas dificilísimos, atacados sin éxito por las mentes matemáticas más brillantes desde que se plantearon (algunos, a mediados del siglo XIX). Además, abordar un problema de esa magnitud significa olvidarse de resolver los más razonables, es decir, más fáciles, y de publicar los resultados en revistas exigentes y con arbitraje. Si mi informe bienal de investigación solo dijera: 'Estoy estudiando la hipótesis de Riemann', es bien probable

que el Conicet no me lo aprobara. Para encarar esos problemas hay que tener, entre muchas virtudes y talentos, una enorme confianza en uno mismo.

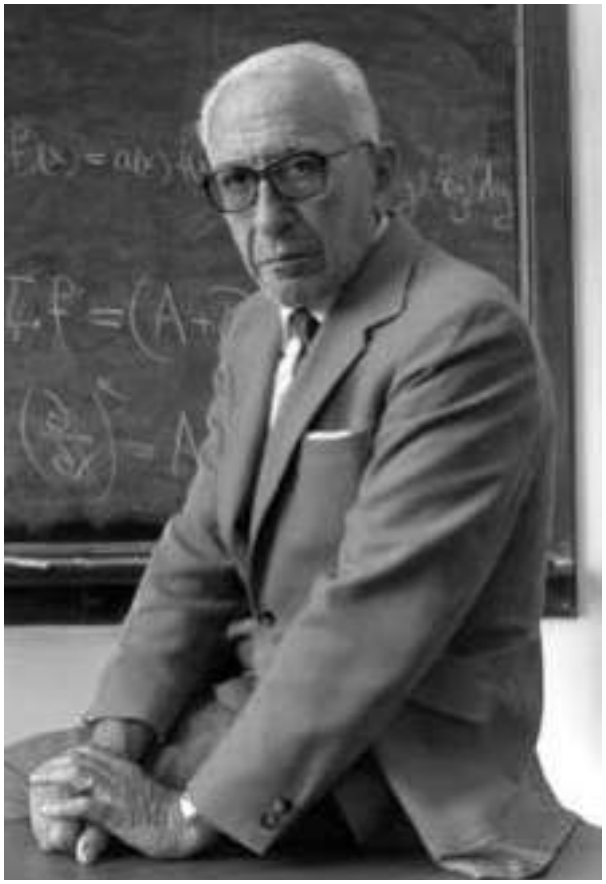
Existe otra dificultad que, con alguna excepción, tiene que ver con la organización de nuestras universidades. Problemas como los mencionados requieren herramientas que provienen de variadas áreas de la matemática, la física, la computación, las ingenierías e incluso la filosofía en ciertos casos (como los que están en el ámbito de la mecánica cuántica). Aun para resolver problemas de menor magnitud son necesarias múltiples herramientas. Por ejemplo, el procesamiento de señales abarca la ingeniería electrónica, la estadística, las probabilidades, el análisis de Fourier, el álgebra lineal, la informática y hasta la geometría algebraica.

La última siempre se consideró alejada a las aplicaciones, pero ahora, con la aparición de computadoras que pueden manejar sistemas enormemente grandes de ecuaciones polinomiales con numerosas variables para modelar situaciones provenientes de disciplinas no matemáticas, las técnicas de geometría algebraica han encontrado formas de aplicación. Así, la teoría moderna del procesamiento de señales usa geometría algebraica, además de ecuaciones diferenciales, álgebra lineal, geometría diferencial, teoría de operadores, teoría de aproximación, combinatoria, etcétera.

En nuestras universidades, los estudiantes de ingeniería raramente tienen la posibilidad de asistir a cursos especializados de matemática, y los de matemática raramente se ven expuestos a cursos de procesamiento de señales. Ir de la Facultad de Ingeniería de la UBA a la de Ciencias Exactas y Naturales hace necesario atravesar la ciudad. Aun en ciudades con facultades más cercanas no hay la interrelación que sería deseable.

Estimular el trabajo multidisciplinario está muy bien como enunciado, pero enfrenta otras dificultades prácticas: si un ingeniero quiere trabajar en temas con mucha matemática, ¿quién decide sobre su pedido de subsidio? Y, aun más engorroso, ¿con qué dinero se lo financia: con el destinado a ingeniería o a matemática? Lo habitual es que los ingenieros sostengan que no es ingeniería y los matemáticos que no es matemática, con lo que difícilmente al solicitante le toque un subsidio en un trámite normal. Situaciones análogas se producen entre físicos, médicos, informáticos y tantos otros.

Miradas estas cuestiones como matemáticos, tenemos que pensar en proporcionar a las otras disciplinas lo que requieren. Alguna vez Luis Caffarelli, uno de los matemáticos argentinos más prestigiosos de la actualidad, profesor en la Universidad de Texas en Austin, manifestó, no recuerdo si hablando de ingenieros, biólogos o economistas: 'Si no les damos los cursos que necesitan, se los darán ellos solos'. La idea de pureza puede ser buena en ciertos ámbitos, pero las ciencias –lo mismo que las artes– son cada vez más mestizas. Viven apareándose y obteniendo ejemplares extraordinarios, que cambian el rumbo de las investigaciones y, como consecuencia, nuestra vida cotidiana. Se decía que la Argentina era un crisol de razas: necesitamos que las universidades sean un crisol de ciencias. No me atrevo a afirmar que eso nos llevará a tener matemáticos que resuelvan los problemas del milenio, pero sin duda tendríamos mejores ingenieros, economistas, periodistas, médicos y, claro está, mejores científicos. No estaría mal. CH



Alberto P Calderón (1920-1998), uno de los matemáticos más importantes del siglo XX.

Gustavo Corach

Doctor en ciencias matemáticas, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, Facultad de Ingeniería, UBA.
gcorach2000@yahoo.com

CH 25 años

Igor Félix Mirabel
Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

Gustavo E Romero
Instituto Argentino de Radioastronomía, UNLP-Conicet

Pasado, presente y perspectivas de la astronomía en la Argentina

El pasado

El estudio moderno de la astronomía comenzó en el país en 1871, con la fundación por el presidente Domingo Faustino Sarmiento del Observatorio Nacional Argentino en Córdoba. Su primer director fue el estadounidense Benjamin Gould (1824-1896), que estaba entre los astrónomos más reconocidos de esa época y cuya presencia contribuyó a convertir la astronomía en una de las áreas fundacionales de la ciencia como la conocemos hoy en el país. En Córdoba se realizaron muchas de las primeras investigaciones sistemáticas del cielo austral, y desde allí partieron expediciones para comprobar, durante eclipses totales de Sol, predicciones de la teoría general de la relatividad.

En 1958 nació la Asociación Argentina de Astronomía, en 1962 lo hizo el Instituto Argentino de Radioastronomía, apenas veinte años después de que se realizara en los Estados Unidos la primera observación radioastronómica. En esa misma década se realizaron en el país mediciones pioneras de rayos cósmicos, gamma y X en el Centro de Nacional de Radiación Cósmica primero, y luego en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio.

En la década de 1980 se estableció el Complejo Astronómico El Leoncito, en San Juan, dotado de un telescopio óptico con espejo de 2,15m, y en 1991 fue creada la Comisión Nacional de Actividades Espaciales. La formación de astrónomos se concentró por más de un siglo en la Universidad Nacional de La Plata y su observatorio, y en la Facultad de Matemáticas, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba y su observatorio. Hoy, además, hay educación en astronomía en las universidades nacionales de San Juan, Mendoza y Salta, con apoyo para la investigación por parte del Conicet, a lo que se suma la formación de astrofísicos en diversas facultades en las que se enseña física.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La astronomía es una disciplina compleja, con una rama teórica y una observacional. Junto con la física dio lugar a la astrofísica, que se ha convertido en una rama mayor de la astronomía mundial, la cual tiene importante desarrollo en la Argentina.

Benjamin Apthorp Gould (1824-1896), el fundador del entonces Observatorio Nacional Argentino, en Córdoba (hoy dependiente de la Universidad Nacional de Córdoba), que dirigió entre 1868 y 1885. Grabado de la enciclopedia *Harper's*, Wikimedia Commons.

El presente

Se suelen distinguir dos ramas en la astronomía actual: la teórica, orientada a la construcción de modelos matemáticos y de computación que hagan inteligibles los datos proporcionados por la otra rama, la observacional. Esta depende hoy fuertemente del uso de importantes y costosos telescopios y otros instrumentos, que a su vez requieren ser instalados en sitios con condiciones terrestres y atmosféricas adecuadas. Hasta la década de 1960, la Argentina estaba entre los mejores países del hemisferio sur para la instalación de telescopios ópticos, lo que impulsó la realización de estudios astronómicos de calidad internacional.

A partir de esa década, las nuevas técnicas de observación en las longitudes de onda óptica y de radiación infrarroja cercana, que requieren baja turbulencia en la atmósfera, llevaron a la instalación de grandes observatorios internacionales en el norte de Chile, donde el cielo está despejado durante una alta fracción de tiempo y permite amortizar mejor el elevado costo de construcción de esos instrumentos. Sucedió así que la Argentina dejó de ser competitiva como país huésped de grandes observatorios para la exploración del cosmos en esas longitudes de onda, lo que obligó a los astrónomos locales que necesitan instrumentos avanzados a realizar sus observaciones en el extranjero.

Contrariamente, las condiciones de varias provincias andinas argentinas son competitivas para la instalación de grandes radiotelescopios que operen en ondas métricas, centimétricas, milimétricas y submilimétricas, así como para la detección de partículas de radiación cósmica. Por diversas circunstancias, el país no fue seleccionado para el establecimiento de las más grandes instalaciones internacionales en radioastronomía, como el Square Kilometre Array (ubicado en Australia y Sudáfrica) y el Atacama Large Millimeter Array (Chile), cuyos costos de construcción fueron estimados respectivamente en 2000 y 1400 millones de euros. Lo fue, en cambio, para la instalación del observatorio Pierre Auger, en el sur de Mendoza, inaugurado en 2008. Se trata de la más importante instalación internacional para el estudio de la radiación cósmica de alta energía.

La próxima década

Las preguntas científicas

Durante el siglo XX la astronomía realizó progresos extraordinarios que van desde la comprensión de la estructura y los procesos evolutivos en las estrellas hasta el descubrimiento de la expansión del universo. Ello llevó a que, hacia fines de ese siglo, se alcanzara una visión asombrosamente amplia y compleja del cosmos y su evolución, la que, sin embargo, dista de ser completa.

Las grandes preguntas que enfrentan la astronomía y la astrofísica de hoy incluyen: ¿Cuándo y cómo se formaron las primeras estrellas y galaxias? ¿Cuál es el papel desempeñado por los agujeros negros en la evolución de

Primer edificio del Observatorio Nacional Argentino, ubicado en las afueras de la ciudad de Córdoba. Fotógrafo desconocido, 1871. Fue demolido en la década de 1920 para levantar en el mismo predio el observatorio actual.

las galaxias? ¿Cómo se reionizó el universo luego de la llamada *era oscura*, cuando el material del cosmos era básicamente hidrógeno neutro y helio? ¿Cuál es el origen de las fluctuaciones primordiales que se observan en la radiación cósmica de fondo? ¿Cuándo aparecieron los primero cuásares? ¿Cuál es el mecanismo que opera en las llamadas explosiones de rayos gamma, que iluminan todo el universo y ocurren aproximadamente una vez al día? ¿Cuán frecuente es la presencia de planetas en otras estrellas? ¿Qué es la materia oscura? ¿Existe, además, un fluido cósmico gravitacionalmente repulsivo, llamado (incorrectamente) *energía oscura*? ¿Es el universo homogéneo e isotrópico, como suponen los modelos tradicionales, o presenta cierto grado de inhomogenidad? ¿Hay vida en el universo, más allá de la Tierra?

Astrónomos y astrofísicos argentinos trabajan en estos temas en la actualidad. En particular, el estudio de exoplanetas y de los fenómenos astrofísicos de alta energía ha adquirido gran auge en la ciencia local, lo mismo que el desarrollo y uso de detectores de partículas cósmicas de muy altas energías. Complementadas por trabajos teóricos, estas investigaciones pueden contribuir a responder varios de los interrogantes mencionados. Más allá de los temas específicos, será necesario cambiar el modo de hacer ciencia astronómica para poder afrontar los desafíos futuros: ya no es más posible hacer astronomía y astrofísica concentrándose solamente en un rango del espectro electromagnético. Para comprender el universo, se requiere abarcar múltiples longitudes de onda e incluso múltiples partículas utilizando la detección de fotones, rayos cósmicos, neutrinos y ondas gravitacionales. Además, se impone la necesidad de integrar las escalas más extremas del mundo físico, ya que es necesario descender al mundo de las partículas elementales para alcanzar una comprensión mejor de la génesis y estructuración del universo.

Líneas de acción

Considerando lo dicho en el apartado anterior, se puede señalar, ante todo, la necesidad de actualizar el equipamiento de la astronomía observacional, que en parte podría llevarse a cabo en el marco de los proyectos que se mencionan en el apartado siguiente. Otra línea interesante, vinculada con la anterior, es la atracción al país de proyectos astronómicos internacionales, en los que los astrónomos locales puedan cumplir funciones protagónicas. Y un tercer curso de acción es promover una mayor integración entre científicos formados en las escuelas de física y los provenientes de las de astronomía, que ya ha producido una de las características más destacadas de la astrofísica argentina.

No es necesario insistir en dos requisitos imprescindibles para cumplir con lo anterior: un continuo esfuerzo para mejorar la calidad, según los estándares internacionales, de la educación y la producción científica de los astrónomos, y la continuidad del financiamiento.

Grandes proyectos

Con fin de establecer una hoja de ruta para el futuro de la astronomía en la Argentina, el Ministerio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva convocó en 2011 a la comunidad científica a presentar posibles proyectos a ser evaluados en 2012 por un comité *ad* hoc. Este seleccionó cuatro proyectos consignados en lo que sigue en orden de prioridad:

- *Proyecto Llama*. Denominado con el acrónimo de Long Latin American Millimetre Array, es un proyecto binacional con Brasil y consiste en la instalación de una o dos antenas milimétricas-submilimétricas de 12m de diámetro a grandes alturas en el noroeste argentino. Además, el proyecto podrá funcionar para ciertas investigaciones como componente en red del mencionado Atacama Large Millimeter Array, más otras dos antenas –una europea y otra japonesa– ubicadas como este a unos 5000m de altitud en el norte de Chile.
  El costo total de preparación del sitio y de la primera antena –a ser instalada a 4810m de altitud en Alto Chorrillo, a unos 16km de San Antonio de los Cobres, en Salta– asciende a unos 12 millones de euros, que serán aportados en partes iguales por organismos estatales de la Argentina y el Brasil. El proyecto fue inicialmente ideado en 2008 por uno de los autores de esta nota y es actualmente liderado del lado argentino por el Instituto Argentino de Radioastronomía.

Antenas de 12m del Atacama Large Millimeter Array (Alma) ubicadas a 5000m de altura en el norte de Chile. Como primera etapa del proyecto argentino-brasileño Llama, se instalará una antena similar en Salta, a 4800m. Foto Vertex

Parte de las instalaciones del complejo astronómico El Leoncito, en las proximidades de Barreal, en la provincia de San Juan.

- *Cherenkov Telescope Array*. Este es un megaproyecto internacional para el estudio de la radiación gamma de alta energía en el que podrían participar veinticinco países y más de mil científicos. Su costo estimado de construcción en el hemisferio sur ascendería a aproximadamente 250 millones de euros y los sitios propuestos para localizarlo están ubicados en San Juan y Salta. Para la comunidad astrofísica nacional sería continuación natural de su participación en el observatorio Auger, ya que las motivaciones científicas de ambos proyectos tienen aspectos en común.

- *Duplicación del tiempo de observación con Gemini*. El observatorio Gemini consiste en dos telescopios de 8,1m para observaciones en el rango óptico e infrarrojo, operados por un consorcio en el que participan los Estados Unidos, Canadá, Chile, Brasil, Argentina y Australia. El país tiene derecho al 2,5% del tiempo anual de observación, es decir, 163 horas, a un costo anual en 2012 de 1,6 millones de dólares. Para los astrónomos argentinos, la importancia de poder utilizar el observatorio Gemini reside en que les permite hacer investigación astrofísica y astronómica avanzadas en el rango de la luz visible y la radiación infrarroja sin las mencionadas restricciones que les impone la inexistencia en el país del instrumental de última generación.
En opinión de los autores de esta nota, una de las dificultades de la participación argentina en Gemini estuvo en la transición de telescopio de 2,15m de El Leoncito a los de 8,1m de Gemini sin haber pasado por los de tamaño intermedio, en torno a los 4m, instalados desde hace décadas en Chile. El mayor tiempo de observación en Gemini permitiría superar esa dificultad.

- *Centro Astronómico Argentino-Brasileño*. Es otro proyecto binacional, conocido internacionalmente por ABRAS (Argentina-Brasil Astronomical Centre). Tiene por objetivo la instalación de un telescopio robótico de 1,5m que opere en el infrarrojo a 4600m de altitud en Salta. La cúpula que lo albergaría está en construcción. Del lado argentino lidera el proyecto el Instituto de Astronomía Teórica y Experimental de Córdoba. El observatorio podrá albergar otros instrumentos, como un detector de contrapartes de explosiones de rayos gamma, que sirva como alerta a detectores de ondas gravitacionales.

El desafío de fondo no es distinto del que fue afrontado con éxito por Sarmiento y sus sucesores. Es un camino posible, y sabemos que conduce a una sociedad con más conocimiento del universo en que vive, y con más cultura, tecnología y desarrollo. CH

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2009, número temático sobre astronomía, Ciencia Hoy, 19, 110, abril-mayo.

MURIEL H, 2013, 'Astronomy in Argentina', en A Heck (ed.), *Organizations, People and Strategies in Astronomy*, vol. 2, pp. 73-98, en *http://venngeist.org/opsa2_muriel.pdf*.

ROMERO GE, CORA SA y CELLONE SA (eds.), 2009, 'Historia de la astronomía argentina', Asociación Argentina de Astronomía-UNLP, en *http://www.astronomiaargentina.org.ar/*.

Igor Félix Mirabel

Doctor en astronomía, UNLP.
Profesor en filosofía, UBA.
Investigador superior del Conicet en el IAFE, UBA-Conicet.
mirabel@iafe.uba.ar
http://cms.iafe.uba.ar/mirabel

Gustavo E Romero

Doctor en física, UNLP.
Investigador principal del Conicet en el IAR, UNLP-Conicet.
Director del Grupo de Astrofísica Relativista y Radioastronomía del IAR.
Profesor titular, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
romero@iar.unlp.edu.ar
http://garra.iar.unlp.edu.ar/

CH 25 años

Juan Pablo Paz
Departamento de Física, FCEYN
Instituto de Física de Buenos Aires, UBA-Conicet

La física de la próxima década

¡Es muy difícil hacer predicciones, sobre todo acerca del futuro!

Esta frase, atribuida a Niels Bohr, es apropiada para encabezar un artículo que intenta predecir las cuestiones centrales de la física de la próxima década. Hoy, muchos problemas relevantes, tal vez los más relevantes, requieren de un enfoque interdisciplinario. No son problemas exclusivos de la física y por eso no los mencionaré aquí. Presentaré, en cambio, una selección subjetiva y discrecional de los temas centrales de la física que, a mi juicio, serán los protagonistas de la década. Mi primera predicción es: en los próximos años la física como ciencia (y no solamente de los físicos) será cada vez más importante en investigaciones interdisciplinarias.

Micro y macrofísica más allá del modelo estándar

Uno de los grandes éxitos de la física del siglo XX fue la formulación de un modelo acerca de la estructura de la materia y sus interacciones. Se lo conoce como el *modelo estándar* y puede describirse, simplificadamente, de la siguiente manera: toda la materia está constituida por combinaciones de partículas elementales –es decir, que no se pueden dividir o carecen de estructura interna–, a las que podemos considerar análogas a ladrillos. Hay tres familias diferentes de esos ladrillos y, en cada

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Se descubrirán fenómenos físicos no explicados por el modelo estándar que describe la estructura de la materia y sus interacciones? ¿Se logrará formular una teoría unificada de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales de la naturaleza? ¿Tendremos computadoras cuánticas? ¿Controlaremos la nanoescala?

familia, hay ladrillos de dos tipos, a los que llamamos *leptones* y *quarks*. Por ejemplo, los leptones de la primera familia son el *electrón* y el *neutrino*, mientras que los quarks de esa misma familia llevan los nombres de *up* y *down*. Combinando los ladrillos de esta primera familia obtenemos casi toda la materia ordinaria, la que compone nuestras moléculas.

Quarks y leptones interactúan entre sí mediante *cuatro fuerzas fundamentales*: la fuerza electromagnética, la gravedad, la fuerza nuclear débil y la fuerte. Cada mecanismo de interacción puede describirse como fruto del intercambio de otras partículas, a las que se denomina *mediadoras*. A cada fuerza fundamental corresponde un mediador diferente. Así, por ejemplo, las partículas con carga eléctrica intercambian *fotones*, mientras que los quarks también intercambian *gluones*. A los leptones, los quarks y los mediadores el modelo estándar agrega otra partícula, responsable de la inercia de todas las demás: el *bosón de Higgs*. Su existencia, predicha por el modelo, fue confirmada experimentalmente hace tan solo un año. Las propiedades del Higgs, estudiadas en el gran colisionador de hadrones (LHC) del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), situado cerca de Ginebra, parecen encajar perfectamente en el modelo estándar, el que tiene un notable poder predictivo: permitió anticipar correctamente los resultados de todos los experimentos hechos hasta el momento en todos los aceleradores de partículas del mundo.

Sin embargo, la mayoría de los físicos están convencidos de que el modelo estándar no es una teoría definitiva, y de que existe física más allá de él. La evidencia de que esto es así no surgió hasta el momento de los grandes aceleradores de partículas, como el mencionado LHC, sino de otras dos fuentes. Una es la teoría: el modelo estándar deja sin explicación hechos fundamentales, que deben ser aceptados como axiomas, por ejemplo, que existen tres familias de partículas, o las cargas eléctricas y las masas que tienen las partículas elementales. Para la física, que busca una explicación sencilla para todo, el modelo estándar es una teoría con demasiados parámetros libres. La otra fuente son las evidencias astrofísicas, según las cuales la mayor parte de la materia que compone nuestro universo no está descripta por el modelo estándar. La primera comprobación experimental de este hecho provino de los movimientos de rotación de las galaxias, que solo pudieron explicarse aceptando que hay materia no luminosa –a la que por ese motivo se denominó *materia oscura*– que atrae gravitacionalmente a toda la que gira a su alrededor.

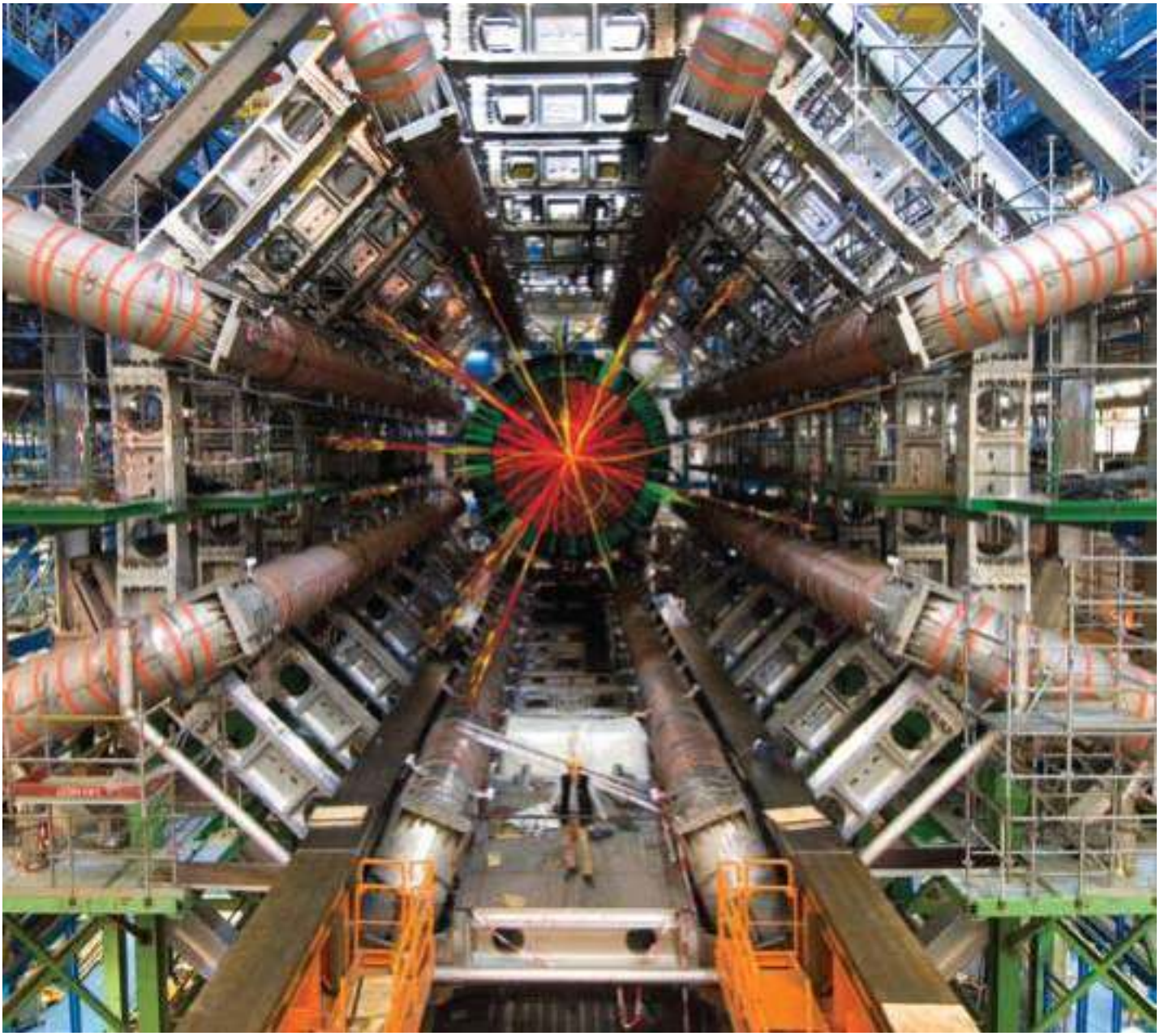
La comprensión de la naturaleza de la materia oscura es central para poder entender la verdadera composición de nuestro universo, lo que convierte a la búsqueda de física más allá del modelo estándar en uno de los problemas centrales de la disciplina. En la próxima década es posible que se produzcan avances en este campo. Los grandes experimentos del LHC podrían arrojar resultados no predichos por el modelo estándar, los que, por primera vez, podrían dar sustento fáctico a teorías alternativas a este, como las basadas en supersimetrías. Por otra parte, la naturaleza de la materia oscura podría comenzar a entenderse a partir de una gran cantidad de experimentos astrofísicos que están en marcha. La detección directa de huellas de ese tipo de materia sería verdaderamente revolucionaria, por lo que se puede anticipar que su búsqueda continúe intensamente durante la próxima década.

La gravitación, el universo en gran escala y la unificación

La física moderna nació con el estudio de la gravitación, la fuerza que gobierna el movimiento de los planetas y la caída de los cuerpos, que son dos caras de la misma moneda. A comienzos del siglo XX se descubrió que la materia y la energía modifican la estructura del espacio y del tiempo. El gran logro de la teoría de la relatividad de Einstein, que es LA teoría de la gravitación, fue comprender que la materia determina cómo se curva el espacio, y que este establece cómo se mueve la materia. Muchas de las predicciones de la teoría de Einstein fueron confirmadas, pero una se ha resistido hasta ahora a todos los intentos de hacerlo: la existencia de ondas gravitatorias.

Dichas ondas, según la teoría, son irradiadas por cualquier objeto en el que la distribución de materia varíe en el tiempo. En ese caso, se produce una alteración de la estructura del espacio que se propaga como una onda. Al llegar hasta nosotros, las ondas gravitatorias producen pequeñas vibraciones que tienen una forma peculiar: hacen que los objetos se acerquen en una dirección mientras que se alejan en la dirección perpendicular a ella. La detección de ondas gravitatorias será una de las protagonistas de la próxima década. Hay varios experimentos en marcha –de los que el más notable es el Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, o LIGO– que parecen hallarse cerca de detectar ondas gravitatorias generadas por fenómenos astrofísicos frecuentes, como el choque de dos estrellas compactas. Asimismo, los avances en la comprensión de la forma que tendrían dichas ondas han logrado aumentar significativamente la posibilidad de encontrarlas. Si esto se lograra, no solo quedaría confirmada una teoría fundamental sino, también, se abriría una nueva ventana para observar el universo: sería el nacimiento de la astronomía de ondas gravitatorias, que se sumaría a la astronomía de ondas de luz u óptica y a la radioastronomía.

El nuevo tipo de astronomía permitiría conocer detalles de las primeras etapas de la vida del universo, aun-



Instalaciones del gran colisionador de hadrones (LHC) del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), cerca de Ginebra.

que durante la próxima década muchos de esos detalles podrán ser develados por otros experimentos, que serán actores protagónicos de la física del futuro. En ese lapso, midiendo variaciones en la polarización de la radiación cósmica de fondo, se detectarán las propiedades de esta con precisión nunca antes alcanzada. Esos experimentos, junto con otros, lograrán que se desarrolle la cosmología de precisión, que a nuestro juicio será una de las vedettes de la década venidera.

Por primera vez, las predicciones cuantitativas de modelos cosmológicos podrán ser puestas a prueba mediante experimentos que nos permitirán relevar las grandes estructuras de nuestro universo. Esos esfuerzos probablemente nos acerquen a responder preguntas tan fundamentales como por qué caminos el universo adquirió la estructura tan compleja que tiene partiendo de un estado primordial en que era extremadamente homogéneo. Asimismo, tal vez logremos determinar misterios sobre la expansión del universo. En la actualidad no se comprende aún cuál es el tipo de energía que podría estar generando la expansión acelerada que hoy se observa. Por analogía con la materia oscura, esa desconocida energía se denomina *energía oscura*.

Si bien la física hizo grandes avances en la comprensión del universo, todavía no logró una comprensión completa: pese a los grandes esfuerzos realizados, no ha podido formular un modelo consistente de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales de la naturale-

za. La gravitación se resiste a los intentos por unificarla con la interacción electromagnética, y con las fuerzas nucleares débil y fuerte. En el modelo estándar –que está formulado según la mecánica cuántica–, estas tres interacciones se describen mediante el intercambio de partículas mediadoras. En cambio, todavía no vio la luz una teoría matemáticamente consistente que describa la gravitación como el intercambio de mediadores (que se denominan *gravitones*). El trabajo en pos de la teoría unificada de las cuatro interacciones –o teoría del todo– continuará insumiendo esfuerzos y recursos durante la próxima década, pero no me atrevo a predecir que logrará avances definitivos en ese lapso, pues se trata de un problema fundamental que ha resistido todos los intentos por resolverlo durante más de medio siglo. Si me equivoco, mi excusa será la frase del epígrafe que encabeza este texto.

La mecánica cuántica en la era de la información

La unificación de la gravitación, una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, y la mecánica cuántica, el marco teórico en el que se describen todas las otras interacciones fundamentales, es una cuenta pendiente de la física. Pero a cien años del nacimiento de la mecánica cuántica estamos viviendo, de acuerdo con la opinión de muchos, una nueva revolución cuántica.

Esta será una de las protagonistas de la física de la próxima década, que pondrá a prueba las predicciones cuánticas más curiosas, como el *entrelazamiento*, en cuya presencia el todo es más que la suma de las partes. Hoy consideramos al entrelazamiento no solo una extraña propiedad de la materia sino, también, un recurso valioso que permite realizar tareas incomprensibles para el sentido común. La producción, el control y la manipulación del entrelazamiento en escala macroscópica ocuparán una posición de privilegio en dicha física, y quizá se extienda más allá de las investigaciones fundamentales para hacer viable una nueva tecnología que podría tener fuerte incidencia en la sociedad de la información: la computación cuántica. Probablemente en los próximos diez años no logremos construir computadoras cuánticas poderosas, pero podremos comprender si son factibles o tan solo una quimera.

La nanoescala y el diseño de nuevos materiales

La física actual permite controlar y manipular la materia en tamaños de unos pocos nanómetros (millonésimas partes de milímetro). Es el tamaño característico de las moléculas, en el que química y física interactúan de manera natural. En la próxima década es probable que sigamos produciendo nuevos materiales de comportamiento tan sorprendente como los que vieron la luz en los últimos años, por ejemplo, los diseñados sobre la base de grafeno y nanotubos de carbono. Veremos aparecer algunos con propiedades ópticas especialmente buscadas. Los llamados 'metamateriales' permitirían fabricar lentes sin aberraciones y habría otros que podrían volverse invisibles iluminados con luz de ciertos colores.

En los próximos años se hará un esfuerzo importante para diseñar y fabricar micro y nanomáquinas, que son dispositivos similares a los que existen en el interior de las células y podrán usarse para realizar varias tareas de interés práctico. Como los dispositivos nanomecánicos operan en la frontera entre la mecánica clásica y la cuántica, darán lugar a experimentos con los que se podrá estudiar una región de la naturaleza poco explorada hasta el momento.

Epílogo

La física seguirá buscando responder a preguntas fundamentales para avanzar en la comprensión del universo y de la estructura de la materia. A la vez, seguirá siendo la fuente de innovaciones que cambian a la sociedad, como nuevas formas de generar y almacenar energía aprovechable. (Se continuará estudiando el control de la fusión nuclear, pero pocos vaticinan avances revolucionarios en ese campo.) Pero, ante todo, la física seguirá siendo, como escribió Albert Einstein, una aventura del pensamiento. CH

Juan Pablo Paz

Doctor en física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, FCEYN, UBA.
http://www.qufiba.df.uba.ar

CH 25 años

Alejandro C Olivieri
Instituto de Química de Rosario, UNR-Conicet

¿Habrá un futuro sin química?

El futuro tiene muchos nombres:
para los débiles es lo inalcanzable,
para los temerosos, lo desconocido,
para los valientes, la oportunidad.
Víctor Hugo

La química es y será la ciencia de los fenómenos de transformación de la materia. Unida a su prima hermana, la tecnología química, es la ciencia de la producción de nuevos materiales. Inicialmente, en su antiguo traje de alquimia, fue guiada principalmente por la experimentación aleatoria y el descubrimiento fortuito. A partir de su transformación en la actual química, en cambio, se orienta por caminos de la racionalidad en la predicción de fenómenos y en la cuidadosa planificación experimental. En un sentido casi paradójico, la química es la ciencia de la predicción del futuro: del futuro de las reacciones químicas entre sustancias.

Son misiones de la química pronosticar qué sucederá cuando la sustancia A se mezcla con la B, se calienta el agregado o se lo somete a presión, o vaticinar qué estructuras químicas deben tener A y B para que el producto de una reacción de ambas posea tales o cuales propiedades tecnológicas, o permita tratar tal o cual enfermedad. El notable éxito de la química en esta empresa del conocimiento ha modificado radicalmente la vida humana sobre la Tierra. Concretamente, no existiría el actual presente sin la química, un hecho tan natural que suele pasar inadvertido. Sin la química no habría transporte moderno: ni automóviles, aviones o naves espaciales; ni existirían la electrónica actual de las computadoras, los teléfonos celulares y la televisión; la medicina contemporánea, que incluye prótesis biocompatibles y medicamentos para posibilitar trasplantes de órganos, sería muy diferente sin la química. ¿Habrá, entonces, un futuro sin química?

Son conocidos los riesgos de los ejercicios de anticipación; después de todo, los futurólogos no predijeron la crisis del petróleo de la década de 1970, ni la financiera que puso en vilo a la economía mundial, casi como si un meteorólogo no fuese capaz de pronosticar la lluvia de mañana. Sin embargo, en el caso de la química pueden hacerse algunas conjeturas razonables, sobre la base de lo que sabemos acerca de qué es y cómo opera la disciplina.

¿DE QUÉ SE TRATA?

En la mayoría de las cuestiones de importancia para el porvenir participará la química, desde la producción de nuevos y mejores materiales, nuevos tratamientos de enfermedades, más avanzados robots, el diagnóstico precoz de enfermedades y la exploración del espacio exterior.

En diciembre de 1999, imbuida del espíritu del fin de siglo, *Scientific American*, una revista de divulgación de prestigio, convocó a un grupo de destacados investigadores de diferentes ramas y les pidió opinión sobre 'qué sabrá la ciencia dentro de cincuenta años', un futuro por cierto relativamente cercano. Publicó sus respuestas como número especial en diciembre de ese año. Según los interrogados, en la mayoría de las cuestiones de importancia para el porvenir participará la química.

Probablemente la contribución paradigmática de la química del futuro será la producción de nuevos y mejores materiales, que podrán sustituir con ventaja a los tradicionales en múltiples objetos de la vida cotidiana, así como permitir nuevos tratamientos de enfermedades, fabricación de más avanzados robots y obtener valiosa información de la navegación espacial. También serán parte del futuro de la disciplina mejores métodos de análisis químico para, por ejemplo, diagnóstico precoz de enfermedades, estudio de las modificaciones del genoma humano y exploración del espacio exterior, in situ o con sensores remotos. En un plano más general, la química continuará con su habitual inquisición de los fenómenos naturales, para comprender el mundo, corregir problemas como la contaminación ambiental o colaborar en la interpretación de los cambios climáticos.

Pietro Longhi (1702-1785), *Alquimistas*, óleo sobre tela, 61 x 50cm, 1757, Museo del Settecento, Ca' Rezzonico, Venecia. La imagen legendaria de la alquimia y su mundo de fantasía quedaron asociadas con el nacimiento de la química, cuya mutación en ciencia en el sentido moderno ocurrió en las últimas décadas del siglo XVIII, principalmente con Antoine de Lavoisier (1743-1794).

Las tendencias actuales que a nuestro juicio persistirán en un futuro más o menos mediato son el estudio de entidades químicas de importancia biológica, la síntesis de moléculas de complejidad y tamaño creciente, la producción de nuevos materiales, y el empleo de sensores remotos y no invasivos para detectar cantidades cada vez menores de sustancias de interés. Entre otros procesos de relevancia biológica, la química estudiará las señales celulares y los mecanismos de interacción entre sustancias químicas y centros biológicos activos. La química combinatoria permitirá la creación, de modo simple y eficiente, de grandes números de estructuras relacionadas entre ellas y orientadas a la búsqueda de nuevos y más eficaces medicamentos. La química de los materiales generará una gama de productos que bien podrían haberse descripto en los clásicos libros de ciencia-ficción, de los cuales, solo a modo de ejemplo, se pueden citar polímeros semiconductores, cuyas características sean modificadas a pedido y reemplacen ventajosamente a los actuales chips en los circuitos electrónicos, o 'cables' de tamaño microscópico con los que podría construirse una 'piel artificial' para dotar a los robots del sentido del tacto.

El análisis químico seguirá empeñado en la detección de moléculas o átomos individuales. Esto es hoy posible, en determinadas circunstancias, gracias al diminuto tamaño de pulsos de láser, capaces de ser dirigidos a dichas entidades sin perturbar a sus vecinas. En algún sentido, las actividades del demonio de Maxwell –un microscópico personaje de ficción imaginado por el premio Nobel de física Richard Feynman (1918-1988) que manipulaba moléculas una por una– pasarán del ámbito de la imaginación al de la realidad. El otro gran sueño de la química analítica pertenece al mundo de los sensores remotos, cuya manifestación insigne es la capacidad de detectar moléculas –incluso biomoléculas– en objetos extraterrestres, algo hoy solo posible recurriendo a mediciones luminosas de diversa índole. Es parte de ese sueño el uso médico de sensores no invasivos, por ejemplo, para llevar a cabo análisis de sangre sin realizar una extracción sino, simplemente, iluminando la piel del paciente con un haz de luz.

En todos los casos, el futuro de la química será verde, en el sentido ambiental de procesos limpios, con menor o ningún uso de solventes o reactivos tóxicos, pues estos serán reemplazados por otros más eficaces e inofensivos para el medio, o desaparecerán por recurrirse a reacciones en fase sólida. Entre los principios que guían la química verde se cuentan evitar los residuos tóxicos, generar sustancias inocuas para la salud humana y el ambiente, disminuir el gasto de energía (por ejemplo, trabajando a temperatura y presión ambientes), usar materias primas renovables y fabricar productos químicos que, al final de su vida útil, no persistan en el medio.

La pregunta del título parece entonces sencilla de responder: no habrá un futuro sin química. Pero es posible que buena parte de la química del futuro termine llamán-

dose por otro nombre, siguiendo el modelo de alguna de sus ramas o de la biología molecular, o que están a caballo de ambas disciplinas, y están tomando denominaciones terminadas en *ómica*. Por ejemplo, la *genómica*, que se ocupa de genes; la *proteómica*, que lo hace de las proteínas; la *metabolómica*, que analiza pequeñas moléculas indicativas de procesos celulares; la *glicómica*, que se refiere a los azúcares o glúcidos; la *metalómica*, que estudia elementos metálicos presentes en sistemas biológicos, y otras.

Con mi corazón de químico, ¿me resulta lo anterior favorable o desfavorable? Por un lado, advierto que la tradicional división de la química en orgánica, inorgánica, química física y química analítica no refleja cabalmente la situación actual, en la que han tomado cierta autonomía científica cuerpos de conocimiento relacionados tanto con la química como con la física y la biología. Ello, entre otras cosas, puso en cuestión el clásico concepto de química orgánica, que enfoca los organismos vivos, e inorgánica, que considera la materia inanimada, pues hay una química orgánica de materiales industriales y una química inorgánica de elementos metálicos relacionados con la vida.

Pero la química ha sabido reinventarse mediante esas fusiones parciales con otras ciencias, lo que me parece muy positivo. Su alianza con la biología desembocó en las químicas bioorgánica, bioinorgánica, bioanalítica, biofisicoquímica. Se puede hablar de quimiometría para aludir a una química que recurre a las matemáticas, en especial a la estadística. Y su colaboración con la física dio lugar a las *nanociencias* y a las *nanotecnologías*, que se ocupan del estudio, el control y la manipulación de la materia en la escala de entre uno y cien nanómetros (millonésimas de milímetro). En esa escala los fenómenos y las propiedades de las sustancias son únicos y radicalmente diferentes a los que estamos habituados, lo que puede dar lugar a materiales, aparatos y sistemas revolucionarios.

Pero por el lado negativo veo la posibilidad de que progresivamente se vaya esfumando la palabra 'química' de la cada vez mayor familia de disciplinas que indica el párrafo anterior. Las terminadas en *ómica* ya no la llevan, y hay otras iniciativas que la eliminarían, entre ellas, que la química analítica pase a llamarse simplemente *analítica*, con el argumento de que se basa en muchas disciplinas diferentes de la química, desde la física a la metrología. Me hace escasamente feliz ver extinguir el nombre de la química y pensar que para generaciones futuras pueda ser un recuerdo similar al que nosotros tenemos de la alquimia.

Para mi consuelo, sin embargo, confío razonablemente en que la disciplina se mantendrá viva, aunque no puedo asegurar que lo haga su nombre. Lo único cierto es que mientras jugamos el romántico juego de la adivinación, nuestro gran jurado, el futuro, delibera en secreto. CH

El clásico laboratorio de química, que hoy se mantiene hasta cierto punto en ámbitos escolares, es un mundo de tubos de ensayo, retortas y mecheros de Bunsen, como el que muestra la foto, usado en cursos universitarios iniciales.

En muchas de las ramas contemporáneas de la química, los laboratorios no se asemejan al que muestra la ilustración anterior y consisten en complejos instrumentos que recurren fuertemente a la electrónica, como este del Center for Integrative Nanotechnology Sciences, de la Universidad de Arkansas en Little Rock.

LECTURAS SUGERIDAS

ELGUERO J, 2005, 'La química del porvenir: ¿habrá química en el siglo XXII?', en DEL CAMPO URBANO S, *Anticipaciones académicas*, II, Instituto de España, Madrid, pp. 149-168.

SPANEVELLO RA y **SUÁREZ AG**, 2011, 'Los pecados de la química', en Galagovsky L (ed.), *Química y civilización*, Asociación Química Argentina, Buenos Aires.

Alejandro C Olivieri

Doctor en química, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, FCBYF, UNR.
olivieri@iquir-conicet.gov.ar

UNA VIDA DE CONOCIMIENTO

El CONICET festejó sus 55 años en Tecnópolis

Su presidente, Roberto Salvarezza, destacó el rol que cumple la investigación como motor del desarrollo nacional.

Bajo el lema "Una vida de conocimiento" se llevó a cabo en Tecnópolis la conmemoración por los 55 años del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). El acto estuvo presidido por el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Dr. Lino Barañao, y por el presidente del Consejo, Dr. Roberto Salvarezza.

En la Nave de la Ciencia más de 800 asistentes participaron del reconocimiento otorgado a 24 investigadores con la distinción honorífica Investigador Emérito y a 107 investigadores por su promoción a la Clase Superior en los años 2009 y 2012.

Durante su discurso, el ministro de Ciencia y Tecnología, Lino Barañao, destacó que "poder festejar los logros del CONICET es un logro colectivo. En la dictadura los científicos eran peligrosos, en los 90 prescindibles; hoy estamos sacando la ciencia de un papel solamente cultural, una actividad para pocos, y la estamos poniendo al servicio de la industria y el desarrollo del país".

El ministro hizo referencia a que hoy la sociedad valora fuertemente a la ciencia y que "en este modelo, que afortunadamente ha imperado durante una década, la ciencia argentina juega un papel que nunca tuvo antes".

En su alocución el presidente del CONICET, Roberto Salvarezza, se refirió a la evolución del organismo a lo largo de la historia argentina, y destacó la actualidad que vive el sistema científico y tecnológico en el país. "La reconstrucción del sistema científico fue una tarea que emprendió el gobierno nacional en el año 2003 retomando un objetivo claro: la ciencia y la tecnología como un insumo básico para el desarrollo del país. Un sistema que conduzca a una mejor calidad de vida de los ciudadanos".

Esta reconstrucción, según Salvarezza, implicó "cambios profundos en las políticas que se venían realizando en la Argentina. Desde lo simbólico, a través de la valorización de la Ciencia y la Tecnología como actividad destacable y reconocida en la sociedad, hasta lo material, incrementando considerablemente el aporte económico del Estado Nacional a este sector científico del país".

En 2003 hubo una clara decisión del Estado Nacional para que la Ciencia y Tecnología sean el motor del desarrollo nacional. "El CONICET como organismo nacional de ejecución y promoción de la Ciencia y la Tecnología presente en todas las instituciones y en todo el país recibió un fuerte apoyo del gobierno nacional que se reflejó en un constante incremento de su presupuesto que avanzó de 265 millones en 2003 a 3.000 millones en 2013", indicó su presidente.

A lo largo de su discurso Salvarezza fue marcando que en estos diez años se duplicó el número de investigadores revirtiendo el envejecimiento que presentaba su plantel de científicos. Hoy en día cuenta con un plantel de investigadores con una excelente distribución de edad y de género.

Un aspecto que resaltó esta dirigido a la relación del CONICET con las universidades públicas, a fines de promover la investigación científica y tecnológica en todo el país. "No podemos concebir el CONICET actual sin la Universidad Pública a su lado, como socios", ya que "el 90% de los institutos del Consejo son de doble dependencia con universidades públicas".

Las universidades están asociadas a las distintas acciones de federalización que impulsa el organismo. "Estamos trabajando con las universidades del interior que deseen fortalecer sus actividades de investigación y desarrollo a través de los Centros de Investigaciones y Transferencia. Esto implica relocalización de investigadores con fuertes estímulos, apoyo en becas y posdoctorados, junto con infraestructura", destacó Salvarezza.

En este sentido, dio cuenta que a fin de estimular la investigación orientada a resolver problemas regionales o de organismos de control y aplicación, se sumaron a los tradicionales Proyectos de Investigación Plurianuales (PIPs) los Proyectos Orientados donde están las universidades, la Fundación YPF y el SENASA.

El organismo cuenta actualmente con 7.500 investigadores, 2.300 técnicos, 1.100 administrativos y financia el posgrado y posdoctorado de 9.100 estudiantes que realizan sus tesis doctorales en las universidades del país.

El CONICET se compone de 192 institutos y centros de investigación, 13 Centros Científicos y Tecnológicos, y dos centros multidisciplinarios. Recientemente se crearon 6 Centros de Investigaciones y Transferencia. Por su parte, el organismo se encuentra entre las 100 primeras instituciones en cuanto a la producción y calidad de trabajos científicos, de un total de 3300 en el mundo. Y en este sentido, está posicionada segunda en Latinoamérica y primera en la Argentina.

El Consejo Nacional conmemoró así sus 55 años de creación. Como primer antecedente se destaca, en el año 1951, la creación del Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas y Científicas (CONITYC), un organismo que 7 años más tarde daría lugar al CONICET, un 5 de febrero de 1958.

Tres caminos, tres miradas sobre la ciencia argentina

Un investigador principal, uno independiente y un becario doctoral reflexionan sobre su carrera e imaginan cómo serán los próximos años en el campo de la investigación.

El bioquímico cordobés Gabriel Rabinovich fue uno de los galardonados con el Diploma al Mérito "Premio Konex 2013: Ciencia y Tecnología" y el elegido por sus colegas para dar las palabras de agradecimiento.

Investigador Principal del CONICET y vicedirector del Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME, CONICET-FIBYME), identificó hace veinte años en el contexto del sistema inmunológico una molécula llamada galectina-1 (Gal-1), que tiene un rol importante en enfermedades autoinmunes, inflamatorias y cáncer.

Desde el inicio de su carrera en la investigación hasta la fecha, ¿le parece que se modificó el lugar que ocupa la ciencia para el país?

A mi parecer lo más importante que sucedió en estos últimos años fue una jerarquización de la actividad de los científicos por parte de la sociedad. A futuro, creo que los desafíos pasan por involucrarse aún más en los problemas sociales y regionales y tornar la ciencia aún más competitiva para romper los paradigmas de la investigación universal, es decir volar aún más alto. A mi entender, otro desafío que tienen nuestros gobernantes es generar políticas científicas que perduren y se mantengan con los años.

¿Cuál cree que son los mayores aportes de su investigación a la ciencia?

Nuestro trabajo nos ha permitido identificar un nuevo mecanismo a través del cual una familia de proteínas llamadas galectinas modula en forma negativa o positiva la respuesta inmunológica. Observamos que los tumores, a medida que se hacen más invasivos, producen mayores niveles de galectina-1, un miembro de esta familia de proteínas, para escapar a la respuesta inmunológica y promover la formación de vasos sanguíneos (angiogénesis). Recientemente observamos que la inhibición de galectina-1 utilizando un anticuerpo monoclonal específico bloquea el crecimiento de tumores y la formación de metástasis, estimula la respuesta inmune anti-tumoral e impide la generación de nuevos vasos sanguíneos en el microambiente tumoral. De esta forma, se reduce la expansión del tumor y su diseminación, fenómeno conocido como metástasis.

¿Y en las patologías autoinmunes?

Por otro lado observamos que el aumento en la expresión de galectina-1 durante el pico de estas enfermedades, como esclerosis múltiple, artritis reumatoidea y uveítis, promueve la resolución de la respuesta inflamatoria. Estos estudios permiten sentar las bases de un nuevo paradigma donde la interacción entre lectinas endógenas –es decir, producidas por el organismo– y glicanos de superficie –que son moléculas de azúcar que recubren las células– restaura la homeostasis inmunológica y regula la respuesta inflamatoria en microambientes inflamatorios y tumorales.

Dentro de los resultados de sus investigaciones, ¿cuáles considera de mayor relevancia y por qué?

En primera instancia, diría que el más importante fue la identificación de galectina-1 como un nuevo mecanismo por el cual los tumores evaden la respuesta inmunológica.

Luego, el rol de estas moléculas y sus receptores celulares específicos para resolver la respuesta inflamatoria en fenómenos autoinmunes, como por ejemplo la esclerosis múltiple. También encontramos que la Gal-1 promueve la tolerancia fetal, lo que activa una cascada de eventos inmunosupresores en las primeras etapas del embarazo y permite su continuidad.

¿Se pueden traducir estos resultados en el desarrollo de potenciales tratamientos?

En la actualidad estamos trabajando en el desarrollo de herramientas terapéuticas capaces de interrumpir la interacción entre galectina-1 y sus glicanos para potenciar la respuesta inmune antitumoral y bloquear fenómenos de angiogénesis. Los primeros resultados muestran que el bloqueo de estos mecanismos permite suprimir el crecimiento del tumor e inhibir la angiogénesis en animales de experimentación. ■

Tres caminos, tres miradas sobre la ciencia argentina

Entrevista a Rolando González-José, investigador independiente del CONICET, doctor en Biología de la Universidad de Barcelona y vicedirector del Centro Nacional Patagónico (CENPAT) en Puerto Madryn, Chubut.

En el año 2003 recibió el Premio Extraordinario a la mejor Tesis Doctoral en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.

¿En qué área trabaja actualmente y qué estudia?

Soy un bioantropólogo enfocado en la variabilidad biológica de las poblaciones mestizas de Latinoamérica. En el marco de un consorcio internacional estudiamos el genoma de la población de las grandes ciudades latinoamericanas e intentamos buscar la base genética de rasgos de interés biomédico y forense. En este momento trabajamos en lanzar una plataforma de muestreo multicéntrico en la Argentina, que compile información valiosa acerca de los genomas, la historia de la población y su propensión a padecer determinadas enfermedades. El contar con una plataforma de muestreo permanente es clave para desarrollar políticas a largo plazo en el tratamiento de enfermedades de interés para el país.

¿Qué significa para usted ser un científico del CONICET?

Muchas cosas. Es un orgullo y un honor porque el CONICET cuenta con una historia rica y está distribuido en toda la extensión del país. Además porque es una institución preocupada por su propia democracia y transparencia, donde existe el doble desafío de aplicar las políticas en ciencia y tecnología emanadas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y al mismo tiempo hacerlo buscando la excelencia científica. Pero también significa un desafío, pues sin dudas es un organismo dinámico que debe atravesar cambios fundamentales para la proyección a futuro del sistema científico tecnológico.

Desde sus inicios como biólogo ¿se modificó el lugar que ocupa la ciencia para el país?

Desde 2003 en adelante la ciencia en la Argentina ha dado un giro copernicano. Mi caso particular sirve como modelo: fui un exiliado económico, hice mi doctorado en el exterior y volví como repatriado en el 2004. Hoy soy investigador independiente, y veo una masa de jóvenes becarios que realizan su doctorado con la seguridad de un estipendio justo, y en el seno de una institución que hace esfuerzos tangibles por articularse con el mundo productivo en particular y con la sociedad en general. Esto no es un reconocimiento "bobo" al científico, ni un "relato", sino una política de Estado a largo plazo que considero fundamental. El tejido de recursos humanos dedicados a la ciencia, lo que conocemos como Grupos de Investigación, estaba desarticulado, desarmado, emigrado. Hoy lo tenemos de nuevo funcionando.

¿Qué desafíos le parece que enfrentará la ciencia argentina en los próximos diez años?

¡Unos cuantos! Uno que me preocupa particularmente es que aprendamos a hacer Síntesis, con S mayúscula. Cualquier científico sabe que hoy en día tomamos más datos de los que humanamente podemos analizar. Además, esas tomas de datos suelen estar encasilladas dentro de las "disciplinas": el enfrascamiento de las Academias aún prima por sobre su integración. Argentina necesita estructuras o centros de síntesis específicamente diseñados para lidiar contra eso, y capaces de responder las grandes preguntas de la sociedad. Pensemos en "retiros espirituales" donde 15 o 20 científicos de disciplinas ultradispares se sienten a pensar en una Gran Pregunta, y tengan a su disposición todas las bases de datos que requieran. Hay que incubar el pensamiento lateral, los *brainstorming* de calidad, y cierto desparpajo intelectual para aproximarse a los datos desde lugares diferentes.

¿Cómo ve esa ciencia futura?

A la ciencia futura la veo apasionante, sin dudas, con los que hoy son jóvenes científicos pisando fuerte como líderes de sus grupos. Pero no exenta de riesgos: me inquieta ver partidos políticos que no explicitan sus programas electorales en materia de Ciencia y Tecnología. Hay que recordarles la máxima de Bernardo Houssay: "Los países ricos lo son porque dedican dinero al desarrollo científico-tecnológico, y los países pobres lo siguen siendo porque no lo hacen. La ciencia no es cara, cara es la ignorancia". ■

A sus veintiocho años Leandro Arístide es licenciado en Biología de la Universidad de Buenos Aires y becario doctoral del CONICET. A comienzos de 2013 se integró a la División Antropología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata, bajo la dirección de Iván Pérez, antropólogo e investigador adjunto del CONICET.

¿En qué área trabaja actualmente y qué estudia?

Soy biólogo en la División Antropología del Museo de La Plata y me dedico a la rama llamada antropología biológica, un híbrido entre ambas disciplinas. Particularmente trabajamos en evolución morfológica, y mi tema de tesis doctoral es sobre la diversificación evolutiva de los primates –monos– sudamericanos. Específicamente, estudio los cambios en la morfología del cráneo entre alrededor de 120 especies de este grupo de mamíferos a lo largo de unos 35 millones de años, tratando de entender el patrón y las posibles causas de esas variaciones evolutivas.

¿Cómo nació su vocación científica?

Es difícil precisarlo, pero ya de chico me fascinaban los animales, particularmente los dinosaurios (como a muchos chicos) y la naturaleza en general. Recuerdo que una de mis salidas favoritas era ir al Museo de Ciencias Naturales. Luego eso quedó un poco relegado pero decidí que quería estudiar biología aunque sin estar muy convencido porque mi hermano, también biólogo, en ese momento estaba estudiando y lo veía constantemente en casa leyendo y eso me espantaba un poco. Pero ya en la primera materia de la carrera quedé fascinado y convencidísimo de que la cosa iba por ahí. Luego lentamente me acordé de todo lo que hacía de chico y que apuntaba inevitablemente en esta dirección.

¿Cómo describiría al sistema científico nacional hoy desde su lugar de becario del CONICET?

Este es mi primer año como becario y mi pura y exclusiva experiencia ha sido muy positiva. Todo ha funcionado relativamente bien y se nota que se trabaja por mejorar las cosas. Por ejemplo, en breve nos estamos mudando a un nuevo edificio donde vamos a tener más espacio para todos. En definitiva, percibo que las cosas mejoran y eso en los laboratorios y pasillos se traduce en una atmósfera más optimista, lo que supongo deviene en mejores resultados. De todas formas, hay diversas cuestiones del "mundo becario" en las que se debería seguir trabajando.

¿Qué desafíos le parece que enfrentará la ciencia argentina en los próximos diez años?

Por un lado, lo principal es que se mantenga la decisión de invertir en ciencia y que exista una política científica a largo plazo, independiente del signo político del gobierno. Creo que en la Argentina la discusión sobre si se debe o no invertir en ciencia no está saldada y hay sectores neoliberales con cierta posibilidad de acceso al poder que consideran que el país sólo debe producir granos y productos primarios, sectores competitivos por naturaleza, en vez de apuntar a una industrialización con valor agregado. En ese esquema la inversión en ciencia es vista como un desperdicio de recursos, lo hemos vivido en los años 90, por ejemplo. Esto me lleva a pensar que el futuro de la ciencia argentina dependerá del futuro político. Así como se avanzó durante 10 o 12 años, se podría retroceder, y aunque creo que lo que pueda pasar es incierto, soy optimista.

¿Y el otro?

Hay otros desafíos que tienen que ver con seguir incrementando el presupuesto, agrandar el sistema científico nacional y continuar creando espacios de formación y crecimiento profesional para los investigadores y becarios, más allá de la vía académica. A la vez hay que fortalecer la vinculación con toda la sociedad, además de con las empresas. Hay infinidad de problemas sociales concretos que el sistema científico puede ayudar a resolver. Creo que es un tema que necesita una política activa que puede y debe sostenerse en el futuro.

Imagen satelital tomada en el inicio del verano. Muestra explotaciones agrícolas irrigadas por aspersión mediante dispositivos de pivote central que cubren áreas circulares. Cada círculo tiene entre 800m y 1600m de diámetro.

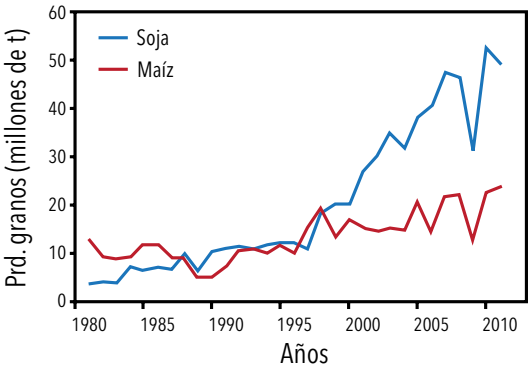
CH 25 años

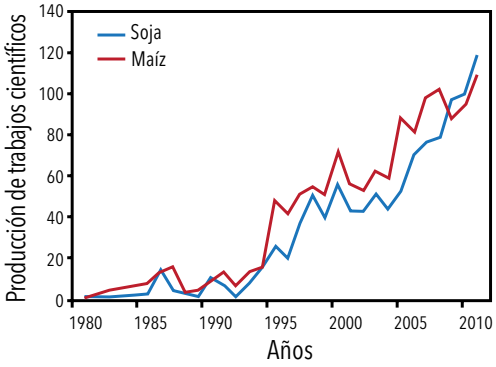
Martín Oesterheld
María Elena Otegui
IFEVA, Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Algunos desafíos para las ciencias agropecuarias

Las investigaciones de los próximos años en esta disciplina dependerán de los problemas científico-tecnológicos que plantee el sector agrícola-ganadero y de la inercia de las actuales líneas de trabajo de los científicos. Los problemas del sector se encuadran en la actualidad en las perspectivas sobre la población humana, que predicen una situación alimentaria compleja y preocupante. Se estima que un 15% de la población no logra suplir sus necesidades de energía y proteína. Muchos más carecen de ciertos micronutrientes. A su vez, la población mundial alcanzará los nueve mil millones para la mitad del siglo XXI. La demanda de alimentos en cantidad y calidad crecerá más que proporcionalmente debido a cambios de hábitos alimentarios y mayor riqueza en diferentes países. Surge entonces una intranquilidad generalizada por lo que se ha llamado 'seguridad alimentaria'.

El efecto de la inercia de las investigaciones actuales sobre las futuras queda ilustrado por el hecho de que, desde 1999, la producción de soja en la Argentina su-





Evolución temporal de la producción de maíz y soja y de los trabajos científicos sobre esos cultivos en la Argentina. Fuentes: FAO y base de datos Scopus (no muy confiable antes de 1995).

¿DE QUÉ SE TRATA?

Se necesita que la investigación científica y tecnológica proporcione nuevo conocimiento para que la producción agropecuaria pueda satisfacer de manera sostenible la creciente demanda de alimentos y fibras creada por la más numerosa población mundial.

peró a la del maíz hasta llegar a duplicarla en 2011; sin embargo, la generación de conocimiento sobre soja, medida por la producción de trabajos científicos sobre esta especie, recién superó a la del maíz once años más tarde, y solo por un 10%. Ante un fuerte cambio de la realidad agropecuaria, el sistema científico reaccionó con una demora significativa y aún no terminó de hacerlo. En consecuencia, la trayectoria de la disciplina en los próximos años será una combinación de una respuesta demorada a acontecimientos del pasado y de una incipiente respuesta a los problemas nuevos.

Las ciencias agropecuarias no son las únicas implicadas en la seguridad alimentaria. El estudio de la reducción de los desperdicios de alimentos, la modificación de dietas o los cambios de distribución de la riqueza pueden ser muy relevantes, pero exceden el campo de acción de este artículo. Aquí analizaremos algunos desafíos recientes y futuros para las ciencias agropecuarias y algunas respuestas que está dando y deberá dar esta disciplina.

Expansión y contracción del área agrícola

La mayor demanda de alimentos llevará la agricultura hacia zonas hoy no cultivadas. Si bien numerosos análisis sostienen que no hay demasiado excedente de tierra para cultivar, no toman en cuenta que muchos suelos hace treinta años considerados ineptos para ese uso hoy se cultivan en forma rutinaria. Cambios de tecnología, de condiciones climáticas y de precios han permitido el avance de los cultivos sobre lugares con enormes limitaciones productivas. Los cultivos penetraron en áreas que más frecuentemente ocupaba la ganadería. Como consecuencia, las áreas ganaderas remanentes son explotadas con mayor intensidad. El extremo de intensificación ganadera es el engorde a corral (*feed lot*), una ganadería sin tierra en la que los animales están encerrados y comen alimento balanceado.

Engorde de novillos en corral: un *feed lot* de la pampa húmeda.

Además del avance de la agricultura sobre nuevas tierras, el área de producción de alimentos se reducirá por competencia con la urbanización, y también con el cultivo para fines no alimentarios. El crecimiento urbano por expansión de las ciudades y colonización de áreas más alejadas retira de la producción agropecuaria grandes superficies que mayoritariamente tienen alta calidad productiva. De manera similar, el uso creciente de los cultivos para producir combustible reduce el área disponible para producir alimentos.

Tanto el avance de los cultivos sobre tierras nunca cultivadas como la pérdida de área para la producción de alimentos plantean una gran diversidad de necesidades de investigación. El avance de la agricultura requiere conocer las condiciones ambientales de nuevas regiones, y de áreas particulares dentro de ellas. También se deben generar las variedades de cultivos adecuadas por mejoramiento genético, y crear las herramientas de manejo que se adapten a esas nuevas áreas. Se plantean preguntas sobre la sostenibilidad de estos avances y sus consecuencias sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

La intensificación ganadera resultante de la expansión agrícola demanda conocimientos de los problemas de nutrición, sanidad y bienestar general de los animales confinados, y de las consecuencias ambientales de la mayor concentración de ganado. Pero sin llegar al nivel de confinamiento, la intensificación de la ganadería demanda conocimientos sobre nuevos forrajes, genética animal, técnicas de producción, manejo del sistema de producción y planes sanitarios.

La expansión y la contracción del área agrícola acrecienta el interés por investigar no solo la posibilidad de incorporar nuevas tierras para la agricultura sino también los patrones de variación del uso de la tierra, las bases técnicas para desarrollar sistemas de ordenamiento del territorio, y la manera en que los diversos usos afectan la sostenibilidad global y los servicios ecosistémicos en las escalas regionales y locales.

Brechas de rendimiento

Aumentar el rendimiento (producción por unidad de área) permite aumentar la producción en la misma superficie agrícola. Por ejemplo, el área cultivada con maíz en

Campo sembrado con maíz en la provincia de Buenos Aires.

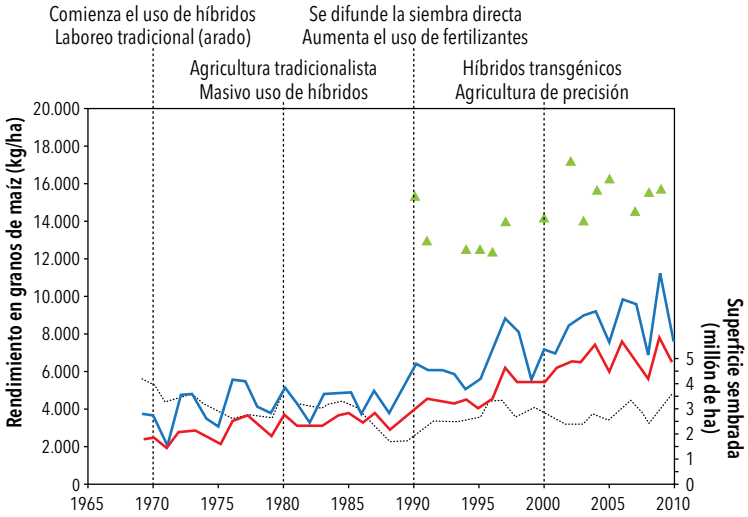
la Argentina no ha variado o incluso ha disminuido levemente en las últimas décadas. Sin embargo, la producción aumentó en forma sostenida gracias al mayor rendimiento, que fue motorizado por cambios genéticos y tecnológicos. Aun así, los rendimientos promedio suelen ser del orden del 50% menores que los alcanzables. Esa diferencia se conoce como *brecha del rendimiento*. Siguiendo el ejemplo del maíz, aun los rendimientos de las mejores zonas están muy por debajo de los potenciales obtenidos en experimentos conducidos con riego y abundante fertilización.

Las causas de la brecha son muy diversas y complejas. Una de ellas es la falta de conocimiento para aplicar los recursos necesarios de acuerdo con la heterogeneidad ambiental. Este problema es abordado explícitamente por la *agricultura de precisión*, pero incluye todo el manejo de la agricultura y la ganadería. Otra causa es económica, manifestada por las relaciones entre los costos y los beneficios de alcanzar mayores rendimientos. Finalmente, en el orden institucional, las intervenciones de los gobiernos por medio de incentivos, penalizaciones, barreras arancelarias y no arancelarias, e inversión en infraestructura e investigación pueden afectar la viabilidad de cerrar la brecha.

Cerrar la brecha abre numerosas líneas para investigar. Los productores deberán contar con más información sobre la heterogeneidad ambiental y el manejo apropiado para distintos ambientes. Este mayor ajuste entre manejo y ambiente demandará avances en la gestión de gran cantidad de datos, mejores pronósticos climáticos de mediano plazo, mayor conocimiento de las variaciones de las propiedades del suelo, técnicas para manejar mejor el agua, crecimiento de las tecnologías basadas en monitorización satelital de cultivos y pasturas, y modelos de simulación que incorporen esa monitorización y la vinculen con distintos escenarios ambientales y alternativas de manejo. Las investigaciones deberán relacionar lo productivo con lo comercial, particularmente para quienes deben tomar decisiones de gran escala. Es decir, una visión integrada de cadena de producción-comercialización.

Los límites del rendimiento

El mejoramiento genético ha logrado aumentar paulatinamente el potencial de rendimiento de los cultivos, es decir, el rendimiento en un ambiente con nutrientes y agua ilimitados y con malezas, enfermedades, plagas y otras fuentes de estrés controladas. En tal condición, el potencial de rendimiento solo está limitado por la genética (además de otras cuestiones difíciles de manejar en cultivos extensivos como la radiación solar incidente o la temperatura). Sin embargo, los cultivos experimentan limitaciones en el campo que el mejoramiento genético también tiende a mitigar, como sucede con las varieda-



Evolución temporal del rendimiento de maíz (en granos, líneas roja y azul) y de la superficie cultivada sembrada con ese cultivo (línea punteada negra). La línea roja refleja el rendimiento en el país; la azul, en el partido de Pergamino. Los triángulos verdes indican el rendimiento de parcelas experimentales bajo riego y fertilización (también en Pergamino). Arriba se consignan los cambios tecnológicos más importantes de cada década. Fuentes: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y datos de fuentes diversas recopilados por ME Otegui.

des resistentes a herbicidas como el glifosato, o a plagas como los insectos barrenadores del tallo, o a la sequía.

La mayoría de los análisis son poco optimistas sobre el futuro, debido a que se observa cierto estancamiento y se tiene poca esperanza en que cambios en unos pocos genes –como promete el avance de los organismos genéticamente modificados– puedan traducirse en aumentos significativos del rendimiento potencial. En los últimos años, el mejoramiento genético produjo avances sustanciales en la forma de lidiar con malezas y plagas, pero no logró aún aumentos equivalentes del rendimiento. También, tanto malezas como insectos han evolucionado hacia formas adaptadas a esas transformaciones genéticas de los cultivos, por lo que en los próximos años veremos la respuesta de los mejoradores a estas adaptaciones.

También hay una amplia ventana para la mejora genética animal. El mejoramiento tradicional por cruzamientos dentro y entre razas seguirá empujando los límites del rendimiento gracias a un gran progreso de los métodos estadísticos que cuantifican el mérito genético de los individuos, el uso difundido de la inseminación artificial y la selección más enfocada en caracteres directamente ligados al rendimiento. Además, se intensificará la selección por otras características que son demandadas con fuerza creciente: calidad de los productos, bienestar animal, resistencia a enfermedades y menores consecuencias ambientales.

Para cualquiera de estos objetivos, se espera que las técnicas de marcado molecular y de transgénesis cobren creciente importancia. Se conoce hoy el genoma completo de varias especies utilizadas en la producción animal extensiva e intensiva, y se espera que ese conocimiento revolucione el mejoramiento genético. También se ha avanzado significativamente en las técnicas para lograr animales transgénicos. De la misma manera que con los cultivos, se deberá resolver cómo los cambios genéticos concretos se traducen en mejoras del comportamiento global del individuo y del sistema de producción.

¿Intensificación sostenible?

En definitiva, se espera que en los próximos años, en el marco descripto por los párrafos precedentes, las ciencias agropecuarias marquen rumbos para obtener más producción con menos tierra, es decir, en un contexto de intensificación. Pero esa intensificación irá acompañada por una demanda igualmente fuerte por reducir las repercusiones ambientales de la actividad agropecuaria. En un escenario de cambio climático, de aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, de pérdidas inéditas de biodiversidad y de los servicios de los ecosistemas, tanto aumentar la producción como mitigar sus consecuencias ambientales requerirá conocimiento científico y tecnológico. Así como la ciencia y la tecnología fueron cruciales para el enorme crecimiento de la producción agropecuaria en el último siglo, se espera que también lo sean ahora para solucionar este multifacético desafío. Ya se han dado pasos significativos en ese sentido, tanto en el ámbito mundial como en el local. Es especialmente alentador que en los últimos años en muchas partes se hayan unido las ciencias ambientales con las agropecuarias en un mismo departamento o facultad, lo cual favorece que tanto la investigación como la educación confluyan hacia esta demanda por una mayor producción sostenible. El desafío para todos es enorme. CH

LECTURAS SUGERIDAS

GODFRAY HCJ *et al.*, 2010, 'Food security: the challenge of feeding nine billion people', *Science*, 327: 812-818.

TESTER M & LANGRIDGE P, 2010, 'Breeding technologies to increase crop production in a changing world', *Science*, 327: 818-822.

THORNTON PK, 2010, 'Livestock production: recent trends, future prospects', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 2853-2867.

Martín Oesterheld

Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, UBA.
Doctor en biología (PhD), Syracuse University, Nueva York.
Investigador principal del Conicet.
Profesor asociado, Facultad de Agronomía, UBA.
oesterhe@agro.uba.ar

María Elena Otegui

Ingeniera agrónoma, Facultad de Agronomía, UBA.
Doctora en ecología vegetal, Universidad de París XI.
Investigadora principal del Conicet.
Profesora titular, Facultad de Agronomía, UBA.
otegui@agro.uba.ar

CH 25 años

Gregorio Bigatti
Centro Nacional Patagónico, Conicet

Perspectivas de la biología marina

Primeros pasos

Aunque los estudios sobre la fauna y flora marinas de las costas argentinas y sudamericanas comenzaron en el siglo XIX con naturalistas europeos como Alcides D'Orbigny o Charles Darwin, la biología marina se empezó a desarrollar en el país en la década de 1960, con la creación del Instituto Interuniversitario de Biología Marina (IIBM) de Mar del Plata, donde se iniciaron jóvenes tanto argentinos como de otros países latinoamericanos. La buena marcha de la experiencia fue interrumpida por los gobiernos militares que usurparon el poder en 1966 y en 1976, lo que condujo a la dispersión de un número importante de investigadores y estudiantes, muchos de los cuales emigraron a países como Brasil, México y Venezuela. Con el regreso al régimen constitucional en 1983 se principió a remediar el atraso argentino en esta rama de la ciencia. Actualmente se puede afirmar que el sistema se ha normalizado y que la biología marina ocupa un lugar creciente en el panorama científico nacional.

Biodiversidad marina

Los estudios relacionados con determinados aspectos de la biodiversidad marina están entre las áreas más desarrolladas de la disciplina en la Argentina y han proporcionado buen conocimiento de la biología, el comportamiento y la conservación de aves, mamíferos y peces. Sobre invertebrados marinos y algas no se sabe tanto, en parte debido a su gran diversidad y en parte por su menor relevancia económica y turística. En este momento y con financiación local e internacional, se están haciendo estudios para constituir bases de datos mundiales sobre biodiversidad, que serán útiles para conocer las especies y los factores que dominan su distribución geográfica. El Censo de Vida Marina 2000-2010, un esfuerzo en el que tomaron parte investigadores de unos ochenta países, consigna casi cuatro mil especies de animales y algas del Mar Argentino.

La mayoría de las especies de mamíferos y aves del mundo fue descripta antes de 1850, mientras que para peces, invertebrados y algas eso no fue así. Los invertebrados son los que más especies nuevas para la ciencia

¿DE QUÉ SE TRATA?

La biología marina es una rama de las ciencias del mar de reciente desarrollo en la Argentina que está en franco crecimiento.

Zona intermareal rocosa expuesta con marea baja en Puerto Pirámides, Chubut. Foto María Bagur

registraron después de 1850, y siguen haciéndolo hoy. Por ejemplo, entre 2000 y 2009 se describieron en la Argentina y Uruguay dos nuevas especies de algas, siete de peces y veintitrés de invertebrados marinos. Las recientes campañas del Conicet a bordo del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, que exploraron profundidades de más de 3000m en los cañones submarinos y otras zonas del Mar Argentino, encontraron numerosas especies aún no conocidas, actualmente en proceso de descripción.

Equinodermos coleccionados en septiembre de 2013 en un viaje de investigación del buque oceanográfico *Puerto Deseado*. Fueron capturados a 1400m de profundidad en el cañón submarino de Mar del Plata. Foto Martín Brogger

Biología marina y producción pesquera

La pesca requiere ser guiada por el resultado de investigaciones biológicas. El Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) de Mar del Plata es el organismo que fija las pautas de manejo pesquero sobre la base de sus investigaciones y las de otros institutos de investigación marina, como el Centro Nacional Patagónico de Puerto Madryn (en el que se desempeña el autor de esta nota) y el Centro Austral de Investigaciones Científicas de Ushuaia –ambos del Conicet–, lo mismo que el Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni, en San Antonio Oeste, de la Universidad Nacional del Comahue y la provincia de Río Negro.

En el mundo, el 16,6% de las proteínas consumidas por la población provienen de la pesca. En 2009 el 87% de las poblaciones ícticas mundiales estaban explotadas al máximo o sobreexplotadas. En los últimos años se registró un crecimiento de las exportaciones pesqueras argentinas, que van principalmente a España (31%), Brasil (10%) e Italia (9%), aunque algunas especies están sobreexplotadas. Entre 1993 y 2004 los desembarques de merluza en puertos argentinos fueron superiores a las capturas máximas permitidas, por lo que la biomasa de adultos reproductores disminuyó en un 70% entre 1987 y 2006, y los peces capturados resultaron cada vez más chicos. Según un informe de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, en 2012 las exportaciones argentinas incluyeron unas 110.000 toneladas de merluza, 80.000 de langostinos y 70.000 de calamares. Aunque las capturas de langostino y calamar pueden fluctuar entre los años debido a su modo reproductivo, los científicos creen que si no se toman medidas adecuadas de manejo para todas las especies explotadas la pesca puede entrar en colapso.

Se carece de un conocimiento completo de las especies en explotación y resta explorar una extensa cantidad de otras, por ejemplo de invertebrados marinos, que no se comercializan pero tienen valor en mercados como Chile, Europa o Asia. Por otro lado, se está encarando el

cultivo de especies comerciales, entre ellas mariscos, cuyos resultados se espera ver en un futuro cercano. Hoy la acuicultura produce en la Argentina unas 3000 toneladas anuales, es decir un escaso 3,5% de la producción pesquera nacional, mientras en Chile se pescan 2,6 millones de toneladas y se cultivan 700.000 (27%), y en Brasil se pescan 785.000 toneladas y se cultivan 500.000 (63%), según los datos publicados en el Anuario de la FAO. La reciente creación de la Red de Fortalecimiento de la Maricultura Costera Patagónica, apoyada por el Conicet, busca fortalecer el avance de esa actividad en términos económica y ecológicamente sustentables.

Una deficiencia actual del sector pesquero es la poca relación entre los investigadores científicos y quienes toman las decisiones de manejo de los recursos. Aunque se dispone de bastantes datos confiables, que en el mejor de los casos terminan publicados en revistas científicas internacionales de excelente nivel, estos no llegan a la atención de los responsables de esas decisiones.

A bordo del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, septiembre de 2013. Selección de organismos capturados con una draga a 2930m de profundidad en el cañón submarino de Mar del Plata. Foto Cristina Damborenea

Amenazas a los ambientes marinos

La mayor amenaza para la biodiversidad marina está dada por la alteración de ambientes, la presencia de especies exóticas, el desarrollo urbano en áreas costeras, el establecimiento y la operación de puertos, dragados, la contaminación acuática y la pesca indiscriminada.

Si bien gran parte del Mar Argentino está alejada de las grandes ciudades, la contaminación se transfiere por las corrientes marinas y por el aire. Debido a ella se producen alteraciones fisiológicas y acumulación de contaminantes en organismos, malformaciones sexuales en moluscos, etcétera.

La contaminación no es la única amenaza: desde 2002 se detectaron más de cuarenta especies exóticas a lo largo de las costas, algunas de las cuales modificaron considerablemente los ecosistemas costeros. Llegaron en el agua de lastre o los cascos de barcos; otras veces fueron traídas para cultivarlas y luego escaparon o fueron liberadas al ambiente natural, en el que no encontraron competidores o predadores. Aunque es muy difícil controlar esas invasiones, se puede mitigar los efectos de su presencia si se toman medidas a poco de advertirla.

Conservación

Las costas de la Patagonia son lugar de alimentación, descanso y cría de aves y mamíferos marinos. Aunque en la actualidad existen programas que estudian a estas especies y proporcionan datos para su conservación, se puede anticipar un crecimiento de esa área de estudio, sobre todo en el uso de técnicas modernas como seguimiento satelital y cámaras de filmación colocadas en el cuerpo de los animales, las que toman así datos oceanográficos en toda la extensión del Mar Argentino.

Para conservar los ambientes marinos es deseable que se establezcan nuevas aéreas protegidas, como la existente en el norte del golfo San Jorge, o la recientemente creada sobre el banco Namuncurá (también llamado Burdwood), al sur de las Malvinas y cerca de Tierra del Fuego. La segunda tiene un alto interés, pues los ecosistemas de alta mar y de profundidad no han sido muy estudiados. Existen otras áreas de interés para la investigación científica del Atlántico sur, como el talud continental (en el área llamada Agujero Azul) y la zona de las islas Georgias y Sandwich del Sur. La existencia de áreas protegidas permite mantener porciones de mar en condición saludable, promueve la investigación científica y fomenta el uso sostenible de los recursos naturales.

Otra área en la que sería beneficioso y se puede esperar que continúen investigaciones que se han empezado a llevar a cabo es la de cooperación internacional para monitorear el estado de conservación de diferentes grupos de organismos y sus ecosistemas. Se constituyen así redes de trabajo multidisciplinario que proporcionan una visión global de la biología de las comunidades marinas y nos acercan a comprenderlas en su totalidad.

Perspectivas

Los futuros estudios de biología marina posiblemente orienten preferentemente su mirada a los procesos biológicos de los ecosistemas antes que a una especie. En la comunidad que forman los organismos

Anémonas de mar (*Metridium senile*) fotografiadas a 8m de profundidad en el Golfo Nuevo. Foto Gregorio Bigatti

de un ecosistema, cada especie está relacionada con las otras e interactúa con todas las variables ambientales. El juego de esas variables genera, a lo largo del tiempo, los procesos evolutivos que determinan las formas de vida, y la distribución y el comportamiento de las especies. Esa clase de estudios conduciría a que se entiendan sistemas de los que conocemos poco en estas latitudes, como las comunidades que viven en zonas intermareales y estuariales, que en otros países están bastante bien comprendidas.

También ayudarán al conocimiento de cada especie los estudios de biología integrativa, que analizan un organismo con distintos enfoques o técnicas; por ejemplo, recurren a isótopos estables para establecer cadenas alimentarias o determinar edad y crecimiento; examinan migraciones y dispersión de stocks pesqueros considerando sus efectos sobre los ecosistemas; determinan los efectos de las corrientes marinas y del movimiento de grandes masas de agua sobre aves, mamíferos e invertebrados, o enfocan la distribución y las formas de vida de muchas especies con relación a la producción de fitoplancton o a variables ambientales.

Los microorganismos son importantes eslabones de las comunidades marinas. Se están realizando en la Argentina estudios de comunidades microbianas marinas mediante el análisis de su ADN, y se llevó a cabo un primer estudio de metagenómica, que secuenció en forma masiva los genomas de comunidades microbianas de sedimentos marinos que degradan petróleo. En el futuro se puede esperar que se impulsen las aplicaciones tecnológicas de ese conocimiento, por ejemplo, para remediar derrames de petróleo y producir combustibles o enzimas de interés industrial. También se está participando en el país en el proyecto de un código de barras genético, que apunta a secuenciar un gen de cada una de las especies del mundo, no solo las marinas, y así obtener una identificación rápida de ellas. De la misma manera, se espera llegar en el futuro cercano a secuenciar a bajo costo el genoma completo de cada especie y a desarrollar algo así como un escáner que determine el nombre de cada organismo. El trabajo de los taxónomos seguirá siendo fundamental e imposible de sustituir, y es deseable que esa área del conocimiento continúe recibiendo atención y atraiga a jóvenes investigadores incitándolos a aplicar las más avanzadas tecnologías.

Se considera que el aislamiento de compuestos bioactivos en algas e invertebrados marinos podrá dar inicio a la creación de productos beneficiosos para la salud humana, como drogas anticancerígenas.

Por último, sería beneficioso que las iniciativas de divulgación científica se incrementen durante los próximos años, para transferir a la sociedad conocimientos adquiridos con estudios de los recursos marítimos, de suerte que alcancen a círculos más amplios que los de los investigadores. Por este camino, en un futuro próximo las entidades educativas podrán disponer de material didáctico ejemplificado con la fauna y flora marinas locales y no de otras latitudes, donde son muy distintas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2004, 'Las ciencias del mar en la Argentina', Ciencia Hoy, 13, 78: 23-46.

AAVV, 2011, 'Marine Biodiversity in the Atlantic and Pacific Coasts of South America: Knowledge and Gaps', PLoS ONE, 6, 1: e14631, *doi:10.1371/journal.pone.0014631*.

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

http://www.proyectosub.com.ar

http://www.marpatagonico.org/index.shtml

http://www.proyectoarrecife.com.ar/

Gregorio Bigatti

Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Investigador independiente del Conicet.
Director del Laboratorio de Reproducción y Biología Integrativa de Invertebrados Marinos, CENPAT.
Profesor adjunto de malacología, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
gbigatti@cenpat.edu.ar

CH 25 años

Juan Carlos Reboreda
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

La ecología del comportamiento animal

¿Qué es la ecología del comportamiento?

La ecología del comportamiento parte de la premisa de que el éxito de un individuo en sobrevivir y reproducirse depende, en gran parte, de su comportamiento. Así, los individuos más eficientes en buscar alimentos, evitar predadores, aparearse o alimentar y defender sus crías sobreviven mejor, se reproducen más exitosamente y dejan mayor número de descendientes que el promedio de la población.

Lo anterior se fundamenta en que las diferencias de comportamiento tienen una base genética: la selección natural favorece aquellos comportamientos que hacen más probable que un individuo sobreviva y transmita sus genes a la siguiente generación. Se concluye de esto que la mayoría de los comportamientos observados hoy fueron modelados por selección natural para su actual función, es decir, son *comportamientos adaptativos*, resultado de las presiones de selección en el ambiente físico y social en el que las especies evolucionaron.

La ubicación espacial del alimento o el riesgo de los predadores favorecen que los individuos de algunas especies sean solitarios mientras que los de otras vivan en grupos. La distribución de hembras en el espacio, o la importancia del cuidado parental por el macho para la supervivencia de las crías, favorece que en algunas especies haya poliginia, mientras que en otras prevalezca la monogamia o la poliandria.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Una rama de la biología nacida hace medio siglo y orientada a estudiar el valor adaptativo del comportamiento de los animales que resulta de la evolución.

William D Hamilton (1936-2000) en el Golfo Nuevo en 1997, cuando vino a la Argentina para repetir la travesía entre Chubut y Buenos Aires hecha por Charles Darwin en 1832. Foto Claudio Campagna

Pasado y presente

La ecología del comportamiento nació en un breve período en torno a 1960. Antes, los estudios sobre el tema procuraban entender el desarrollo y los mecanismos fisiológicos responsables del comportamiento animal y, en menor medida, su origen evolutivo. El zoólogo holandés Nikolaas Tinbergen (1907-1988), premio Nobel de medicina en 1973, fue uno de los primeros en considerar su valor adaptativo. Publicó en 1963 un trabajo ('On Aims and Methods of Ethology', *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20, 4: 410-433) en el que diferenció entre las *causas próximas* o mecanismos del comportamiento, es decir, aquellos factores que explican cómo un individuo se comporta de determinada manera a lo largo de su vida, y las *causas últimas* o la función del comportamiento, que son los factores explicativos de por qué la evolución condujo a ese comportamiento. Las primeras se refieren al desarrollo y a los mecanismos fisiológicos del comportamiento; las segundas, a su origen evolutivo y a su valor de adaptación al medio.

Una serie de trabajos teóricos que datan de la misma época usaron modelos adaptativos sencillos para contestar preguntas no abordadas o ignoradas hasta entonces sobre cuestiones como aprovechamiento de recursos, agresión intraespecífica, apareamiento, participación de machos y hembras en el cuidado parental o cooperación entre individuos emparentados y no emparentados. El denominador común de esos trabajos fue explicar los comportamientos como adaptaciones a la presión selectiva del ambiente físico y social en que evolucionaron los animales.

Uno de los principales avances conceptuales de ese tiempo fue reemplazar la idea de que la selección natural opera sobre el grupo por la de que actúa sobre el individuo. También se ideó el concepto de *eficacia biológica inclusiva* (en inglés *inclusive fitness*), se recurrió a modelos matemáticos de optimización y de teoría de juegos para entender las decisiones de los individuos y se revalorizó la importancia de la selección sexual para comprender la evolución de los sistemas de apareamiento, la elección de pareja y el cuidado que los padres dan a sus crías.

Yetapá de collar (*Alectrurus risora*). Vive en el noreste de la Argentina y el sur del Paraguay. Durante la temporada reproductiva los machos (como el de la foto) pierden las plumas de la garganta, la que adquiere un intenso color rojo, y se aparean con entre dos y cuatro hembras. Ese color y las flameantes plumas de la cola –que resultaron de la selección natural– no aumentan la supervivencia del macho sino su probabilidad de ser elegido por las hembras. Foto Cristian Bannier

De estas ideas, la que probablemente haya tenido más influencia en el rumbo de la ecología del comportamiento, y probablemente de la biología evolutiva, fue la mencionada eficacia biológica inclusiva, dada a conocer en 1964 por el biólogo inglés William D Hamilton (1936-2000). Eficacia es la contribución media de un individuo al acervo génico. Hamilton planteó que los individuos pueden aumentar su eficacia por dos vías, que denominó respectivamente directa e indirecta. La primera es la producción de descendientes; la segunda es ayudar a parientes a producirlos en forma adicional. Hamilton mostró que si un individuo ayuda a otro a producir un número extra de descendientes, pero incurre en un costo porque tiene menos descendientes directos, la evolución puede llevar al comportamiento altruista si los beneficios de la vía indirecta son mayores que los costos sufridos por la vía directa.

Pavo silvestre (*Meleagris gallopavo*). En esta especie nativa de Norteamérica solo los machos dominantes se aparean, pero los machos subordinados los ayudan durante el cortejo, una conducta a la que Hamilton encontró una explicación.

La expresión matemática de lo anterior se llama la *regla de Hamilton*, y constituyó un avance teórico que permitió contestar preguntas planteadas por el mismo Charles Darwin, como explicar en términos de selección natural la evolución de las castas estériles de algunos himenópteros, pregunta ignorada por los biólogos evolutivos durante más de un siglo. Ese avance estimuló la realización de numerosos estudios empíricos, por ejemplo, sobre vocalizaciones de alarma, cría cooperativa y comunal, o reciprocidad entre individuos no emparentados, que permitieron entender esos comportamientos por la relación entre costos y beneficios de las eficacias directa e indirecta.

A partir de la década de 1970 la ecología del comportamiento llevó a la revalorización de la selección sexual para explicar las preferencias de las hembras al elegir pareja. Darwin se había referido a esa selección como una forma de selección natural de caracteres que no aumentaban la supervivencia de sus portadores sino su éxito de apareamiento. Postuló que algunos caracteres habían evolucionado porque aumentaban el éxito de los machos en las contiendas con otros machos para acceder a hembras, por ejemplo, las cornamentas de algunos ciervos o el largo de los caninos en algunos primates, o porque aumentaban la probabilidad de que el macho fuese elegido por las hembras, como las plumas alargadas o los parches de coloración conspicua en algunas aves. A la luz de estas ideas, distinguió entre *selección intrasexual* y *selección intersexual*.

Resultó evidente entonces que el origen de la selección sexual es que las hembras realizan una mayor inversión parental que los machos. Esa asimetría comienza con una mayor inversión en gametos, y en muchos casos se incrementa con otras formas de inversión parental por parte de las hembras, como la incubación, el desarrollo embrionario o el cuidado y la alimentación de las crías. Por esto las hembras son el sexo con menor tasa reproductiva potencial, y los machos compiten por ser elegidos o acceder a ellas. Resultó también claro que las modalidades de apareamiento estarían determinadas por la habilidad del sexo con mayor tasa reproductiva potencial (generalmente los machos) para monopolizar individuos del sexo con menor tasa reproductiva potencial (generalmente las hembras), sea por control directo o por control del acceso a los recursos.

El mismo marco teórico también permitió explicar los casos de poliandria con reversión de roles sexuales, es decir, aquellos en los que las hembras compiten por acceder a machos. Se trata de situaciones en las que los machos realizan mayor inversión parental y, por lo tanto, tienen menor tasa reproductiva potencial. También se comprendió que en los casos en que los machos no pueden monopolizar a las hembras, estas al aparearse buscan beneficios directos o indirectos, es decir, para sí o para sus crías. En la mayoría de tales casos, las hem-

bras eligen a machos con caracteres que revelan su calidad genética.

Las ideas anteriores permitieron integrar en un único marco teórico el proceso de selección sexual, los sistemas de apareamiento, las distintas formas de cuidado parental y la evolución de señales honestas en los sistemas de comunicación. Con el tiempo dieron lugar a numerosos estudios empíricos que pusieron a prueba sus principales predicciones y llevaron a confirmarlas, reformularlas o plantear nuevas hipótesis. Así se hicieron importantes avances en el entendimiento del proceso evolutivo de las preferencias de las hembras, los sistemas de apareamiento, el cuidado parental, la comunicación entre machos y hembras, y la que tiene lugar entre padres y crías.

Algunos avances de la ecología del comportamiento se debieron a nuevas técnicas, como las derivadas de la biología molecular o el empleo de marcadores genéticos, que permitieron estimar en forma precisa y confiable las relaciones de parentesco en estudios de sistemas de apareamiento o de cría cooperativa. Pero los principales progresos de la disciplina se debieron al nuevo marco teórico, que generó hipótesis con predicciones cuantitativas y estimuló la realización de numerosos estudios empíricos. La combinación de un marco teórico con predicciones explícitas sencillas de poner a prueba con un enfoque empírico cuantitativo constituyó la principal fortaleza de la ecología del comportamiento.

Futuro

Resulta difícil predecir cuándo podrían ocurrir nuevos avances teóricos que resulten en otro salto cualitativo de la ecología del comportamiento, ni cuáles podrían ser. Podemos, en cambio, especular cómo progresos metodológicos y nuevos conocimientos provenientes de otras disciplinas podrían influir positivamente en el futuro de esta. Por ejemplo, uno de los temas pendientes para la ecología del comportamiento es incorporar en sus modelos mayor información sobre las bases genéticas de las variaciones de comportamiento.

Una manera de contar con más información sobre los fundamentos genéticos del comportamiento es realizar estudios en organismos que fueron extensamente investigados y cuyos genomas fueron secuenciados, como la mosca de la fruta, el pez cebra o el ratón. Pero esto implicaría renunciar a la principal fortaleza de la ecología del comportamiento: estudiar en condiciones naturales las consecuencias de la variación del comportamiento individual sobre la supervivencia y la reproducción, y elegir para ello las especies más apropiadas según la hipótesis a poner a prueba. Recientes innovaciones de la genómica, como recurrir a técnicas de ADN recombinante, de secuenciación de ADN y de bioinformática para analizar la función de los genomas, hacen pensar que en un futuro no muy lejano lo que hoy está restringido a unas pocas especies podrá extenderse a la mayoría de ellas.

Hasta el presente la mayoría de los estudios de ecología del comportamiento se han concentrado en relativamente pocas especies, oriundas mayormente de América del Norte y Europa y, en menor grado, de África y Oceanía. Las regiones con mayor diversidad de especies, como América del Sur y Asia, se encuentran muy infrarrepresentadas en esos estudios. Es probable que en ellas existan numerosas especies con patrones comportamentales no explicables en el actual marco teórico. Esas especies serán las que concentren la atención de futuros estudios de ecología del comportamiento.

Si en un futuro cercano se logra un importante avance en comprender las bases genéticas del comportamiento, como parece probable, entenderemos la manera en que el genoma interactúa con el ambiente durante el desarrollo y los procesos fisiológicos que subyacen en los distintos comportamientos y en los procesos cognitivos asociados con ellos. Es decir, habremos avanzado en explicar las causas próximas del comportamiento, pero la pregunta de por qué evolucionó determinado comportamiento seguirá vigente. La historia de la ecología del comportamiento en los últimos cincuenta años revela que esa pregunta resultó una importante fuente de inspiración para programas de investigación que contribuyeron en forma sustantiva al progreso de la biología. CH

LECTURAS SUGERIDAS

DAVIES NB, KREBS JR & **WEST S**, 2012, *An Introduction to Behavioural Ecology*, Wiley-Backwell.

HOSKEN DJ & **HOUSE CM**, 2011, 'Sexual selection', *Current Biology*, 21: R62-R65.

OWENS IPF, 2006, 'Where is behavioural ecology going?', *Trends in Ecology and Evolution*, 21: 356-361.

WEST SA, GRIFFIN AS & **GARDNER A**, 2007, 'Evolutionary explanations for cooperation', *Current Biology*, 17: R661-R672.

Juan Carlos Reboreda

Doctor en ciencias biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
Investigador principal del Conicet.
Profesor titular, FCEYN, UBA.
reboreda@ege.fcen.uba.ar

CH 25 años

Alberto Carlos Frasch
Instituto de Investigaciones Biotecnológicas-Instituto Tecnológico de Chascomús, Universidad Nacional de San Martín-Conicet

ADN: ahora, ¿hacia dónde?

En 1970 Francis Crick y James Watson recibieron el premio Nobel de medicina por la determinación de la estructura del ADN. En noviembre de ese año la revista *Nature* afirmó que, según el primero, para 2000 probablemente se habría resuelto la mayoría de los problemas que en ese momento enfrentaba la biología molecular, pero que nuevos e inesperados desarrollos harían que el área fuera tan apasionante como tres décadas antes. Así fue, y hoy es posible decir lo mismo.

En los próximos treinta años, el interés de los científicos por nuevos conocimientos y las necesidades de la sociedad y de sus gobernantes serán las guías de los desafíos que enfrentarán las ciencias biológicas. Algunos de los temas que abarcarán son predecibles, la gran mayoría no lo es. Seguramente las nuevas ideas irán mucho más allá de lo que podemos imaginar o deducir de la información que actualmente poseemos. Veamos algunos posibles rumbos.

De dónde venimos, adónde vamos

Chimpancés y humanos somos esencialmente iguales, con algunas diferencias como la postura y las llamadas funciones mentales superiores, entre ellas el pensamiento, el aprendizaje, el razonamiento o la creatividad, exclusivas de nosotros, que dependen de nuestro genoma y del ambiente. No es extraño, entonces, que el ADN de chimpancés y el de humanos posean secuencias idénticas en un 99%. Se concluye de esto que pocas diferencias en el material genético bastan para generar nuevas especies.

Sin embargo, fueron necesarios unos tres a cuatro millones de años de evolución para pasar del australopiteco Lucy, diferenciable de los simios por su desplazamiento bípedo, hasta el *Homo sapiens*, el hombre actual. Muy poco tiempo comparado con el que tomó el desarrollo de la vida en el planeta, estimado en 3500 millones de años. En el camino quedaron especies que se extinguieron, como

¿DE QUÉ SE TRATA?

La evolución de nuestra especie, los procesos de funcionamiento de nuestro cerebro, los factores genéticos y ambientales que determinan nuestro comportamiento y cómo sacar provecho del conocimiento que venimos de adquirir sobre las secuencias de nucleótidos que componen el ADN humano se contarán seguramente entre los desafíos de las ciencias biológicas de los años venideros.

Humanos moderno y de Neandertal. Además de menor altura –en promedio 175cm el primero contra 165cm el otro–, este tenía un cráneo más chato, mayores cavidades nasales, arcos superciliares más pronunciados, antebrazos más cortos, articulaciones más robustas en los hombros, codos, cadera, rodillas y tobillos, caderas más anchas y tibias más cortas y chatas. Fuente *http://sciencemadefun.net/ blog/?p=4255*

el *Homo neanderthalensis*, que dejó una pequeña cantidad de su ADN en nuestro genoma. La reciente secuenciación de ADN de fósiles del neandertal de hace 38.000 años demostró que es posible aprender de dónde viene biológicamente nuestra especie. En los próximos años seguramente veremos una explosión de información sobre nuestros antecesores y podremos saber cómo llegamos a ser *Homo sapiens*.

No hace mucho se hallaron, atrapados en los hielos de Siberia, restos tan bien preservados de un mamut que contenía músculo y sangre líquida. Ese hallazgo permitiría traer a la vida a un animal extinguido hace diez mil años.

¿Será posible encontrar ancestros nuestros en igual estado de conservación y volverlos a la vida? Fascinante alternativa, más allá de los problemas morales que suscita.

Si descubrimos de dónde venimos, ¿será posible establecer adónde vamos? En esto, todo es imaginación. Algunos investigadores piensan que el *H. sapiens* sería el punto máximo que puede lograr la naturaleza. Dado que la selección lleva decenas de miles de años para generar diferencias, creen que nuestra especie no evolucionará mucho en el corto plazo. Otros consideran que los cambios generados por nosotros mismos nos podrían llevar a situaciones más extremas, sea en la Tierra, en una colonia en el espacio o en Marte, y que la adaptación a esos nuevos ambientes podría hacer evolucionar a la especie humana y dar lugar a dos o más especies diferentes. Si bien hoy esto es especulación, quizás en treinta años nos hagamos estas preguntas sobre bases concretas.

Cómo funciona el cerebro

El gran desafío de la década de 1990 fue obtener la secuencia de los 3000 millones de nucleótidos que forman el ADN humano, cuyo ordenamiento determina las funciones de nuestras células. El gran desafío del siglo XXI será saber cómo opera nuestro cerebro. Una tarea no menor, pues contiene miles de millones de neuronas que interaccionan entre ellas por señales eléctricas transmitidas por millones de millones de conexiones denominadas *sinapsis*. Esas conexiones generan una red de circuitos, cada uno con una función particular, que nos posibilitan interpretar música, enojarnos o hacer investigación científica.

Para saber cómo opera nuestro cerebro deberemos identificar esos circuitos, sus funciones y sus interacciones. Logrado esto, comenzará una nueva era de investigación, con resultados que deberemos integrar a lo que sabemos para conocer los procesos bioquímicos y moleculares que ocurren en cada una de las neuronas que forman parte de cada circuito. Un gran viaje hacia la ciencia del futuro.

Recientemente se han lanzado dos grandes programas internacionales con esos propósitos: Brain Initiative en los Estados Unidos y Human Brain Project en la Unión Europea. El costo estimado de cada uno es de unos mil millones de dólares en el lapso de diez años. Su primera actividad será desarrollar los métodos y la tecnología que requerirán.

¿Qué determina nuestro comportamiento?

Qué sentimos, cómo nos comportamos y cuál es nuestro estado de ánimo son consecuencias de una serie de factores. Los ambientes físico y social ejercen importante influencia sobre nuestros sistemas neuroendocrino e inmunológico. Los cambios ambientales obligan a una constante de adaptación para llegar a la estabilidad. Nuestras respuestas dependen, además, de nuestras experiencias previas, de nuestros genes y de las proteínas que resultan de la información que contienen esos genes. En adición, nuestro comportamiento depende de los llamados *cambios epigenéticos*, que son modificaciones moleculares que alteran la expresión de genes sin alterar la secuencia del ADN. Por esto, dos individuos con genes iguales (como mellizos idénticos) pueden tener respuestas diferentes a interacciones entre ambiente e información genética. La respuesta al ambiente requiere también de plasticidad en cuanto a la reorganización a lo largo de toda la vida de los circuitos nerviosos de nuestro cerebro, incluso en el período prenatal, en el que se transmiten mecanismos de resistencia y sensibilidad a factores ambientales.

La interacción entre factores genéticos y epigenéticos y factores ambientales, así como su resultante en materia de comportamiento, estado de ánimo y forma de expresión, será tema central de investigación en los próximos años. Es de esperar que los resultados que se obtengan contribuyan al tratamiento de dolencias y a la solución de conflictos sociales. Esta área de investigación requiere que participen especialistas de múltiples disciplinas, como ingenieros, biólogos, matemáticos, sociólogos, médicos, entre otros.

¿Para qué sirve secuenciar el genoma humano?

En la década de 1970, determinar el orden de 100 bases del ADN era una tarea difícil que requería semanas de trabajo. En 2001 se obtuvo el primer borrador de la secuencia de las 3000 millones de bases del genoma humano, luego de trece años de trabajo de docenas de grupos de investigación y a un costo de 3000 millones de dólares. Hoy, con un cambio radical en la tecnología para secuenciar ADN, un solo laboratorio puede obtener esa información de una persona en pocos días y por escasos miles de dólares.

A partir de estos resultados, recientemente se han comenzado investigaciones que en conjunto podríamos llamar *era posgenómica*. Sus propósitos, entre otros, incluyen entender patologías de la mente, cáncer y enfermedades cardiovasculares. Como todas las actividades humanas están en parte influenciadas por los genes y sus productos, la información que se obtendrá repercutirá en actividades tan variadas como deportes, conservación del ambiente, artes y legislación, lo mismo que en lograr una medicina personalizada por la que podríamos saber qué enfermedades nos esperan y cómo controlarlas.

Viejos problemas, nuevas soluciones

Los avances de las ciencias médicas han sido realmente grandes en los últimos años. Pero la persistencia de enfermedades conocidas por años, como la tuberculosis, las diarreas, la malaria o el mal de Chagas, igual que la aparición de variantes de agentes patógenos, como el VIH –virus de la inmunodeficiencia humana–, que infectó a 36 millones de personas, nos recuerdan que aún no tenemos los conocimientos ni las tecnologías necesarias para actuar eficazmente frente a muchos agentes infecciosos. Tampoco contamos con soluciones definitivas para los 12,7 millones de nuevos casos de cáncer en el mundo, ni para las 17 millones de personas afectadas por patologías cardiovasculares, ni para quienes sufren de alteraciones mentales.

En los próximos años podemos esperar una importante contribución al mejoramiento de fármacos y vacunas, y se difundirán terapias recientemente desarrolladas, como el reemplazo de genes alterados y el uso de células progenitoras (*stem cells*) para regenerar y reemplazar tejidos dañados.

Se estima que 870 millones de personas padecen hoy de hambre. Por ello, la producción de alimentos será un gran desafío, sobre todo si continúa el incremento de la población mundial, que alcanzaría a 9000 millones en 2050. La producción mundial de granos es actualmente de 2500 millones de toneladas, gracias al incremento de 2,5 veces ocurrido en los últimos cincuenta años. Este gran aumento se debió a los esfuerzos de mejoramiento genético y, en tiempos más recientes, a desarrollos biotecnológicos que incluyeron plantas transgénicas resistentes a herbicidas e insectos. A pesar de esto, la producción mundial de granos parecería estar llegando a un límite. Los desafíos de lograr mayor producción incluyen hoy, además, el concepto de sustentabilidad. Actualmente hay más de 1700 bancos que almacenan cientos de miles de variedades primitivas de vegetales como maíz, trigo y papa, y constituyen un reservorio de genes para uso futuro. El análisis de esas plantas seguramente posibilitará identificar nuevas variantes genéticas que contribuyan a mejorar, entre otras cosas, la productividad agrícola, así como la resistencia de los cultivos a climas y suelos adversos y a agentes patógenos.

Bioinformática

Todos los temas mencionados harán necesario recurrir al análisis computacional, pues la investigación biológica seguramente generará en pocos años enorme cantidad de información. Se estima, por ejemplo, que el cerebro humano genera en treinta segundos más información que la que produjo el telescopio espacial Hubble en toda su vida útil. Esa información deberá ser analizada por computadoras más potentes que las actuales, que se sirvan de nuevos sistemas de análisis y almacenamiento.

Las aéreas mencionadas solo constituyen una porción de las que la biología encarará en los próximos años en su esfuerzo por contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas. Algunos temas no nombrados pero no menos importantes son las energías alternativas, la conservación del ambiente y biotecnología animal. Algunos resultados a los que se llegará tendrán aplicación en el corto plazo; otros la tendrán en un futuro menos inmediato. Los habrá que formen parte de una cadena de descubrimientos que lleven a un nuevo servicio o producto. En países como los iberoamericanos el gran desafío seguirá siendo contar con una cantidad suficiente de investigadores formados en diferentes aéreas y con los instrumentos y equipos que posibiliten tanto contribuir al conocimiento científico como a la solución de los problemas que afectan al ser humano y al ambiente. CH

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2012, 'What Makes us Humans', *Scientific American*, Special Collector's Edition.

ABBOT A, 2013, 'Neuroscience: Solving the Brain', *Nature*, 499: 272-274.

CRICK F, 1970, 'Molecular Biology in the Year 2000', *Nature*, 228: 613-613.

McEWEN BS, 2012, 'Brain on stress: How the social environment gets under the skin', *Proceedings of the National Academy of Science*, 109: 17180, *http://www.ncbi.nlm. nih.gov/pmc/articles/PMC3477378/*.

Alberto Carlos Frasch

Doctor en odontología, UBA.
Profesor titular de genética molecular, UNSAM.
Investigador superior del Conicet.
Director del IIB-INTECH, UNSAM-Conicet.

CH 25 años

Armando J Parodi
Fundación Instituto Leloir

Alberto R Kornblihtt
Instituto de Fisiología, Biología Molecular
y Neurociencias, UBA-Conicet

Tres genes con historia

A los científicos nos resulta muy difícil predecir el futuro de nuestras disciplinas. El rigor y la cautela, dos cualidades deseables en todo investigador, muchas veces nos impiden especular sobre la naturaleza de los avances que vendrán. Si lo intentáramos, lo más probable es que nos quedemos cortos en nuestras predicciones, comparadas con las de quienes ven la actividad desde cierta distancia. No es de extrañarse, pues para un investigador la sorpresa de lo inesperado es uno de los estímulos mayores, y encontrarse con preguntas distintas de las que se planteó al comenzar una investigación se convierte en un motor poderoso de su actividad.

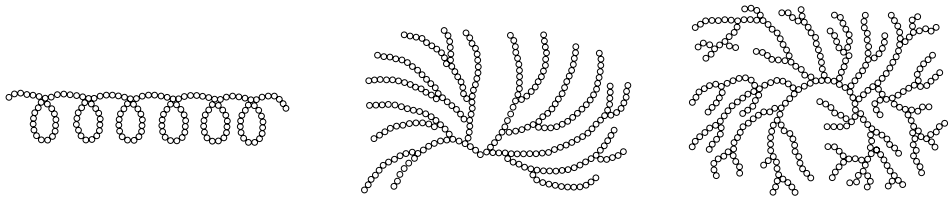
Una manera de ilustrar estos conceptos es realizar un análisis retrospectivo sobre experimentos o ideas fundamentales de la biología realizados en el siglo XIX y principios del XX y verificar que no perdieron validez pese a que quienes los postularon no tenían conocimiento alguno como para predecir los mecanismos subyacentes, descubiertos muy posteriormente.

Mendel, la semillas de arveja y la bioquímica argentina

Son mundialmente conocidos los trabajos del monje agustino Gregor Mendel (1822-1884), nacido en Heinzendorf, hoy República Checa. Mediante cruzamientos de plantas de arveja con distintas características, descubrió las leyes de la herencia al darse cuenta de que los caracteres parentales no se diluyen en la descendencia sino que están determinados por "elementos" o "partículas", hoy conocidos como genes, que se encuentran de a pares en los individuos. Un carácter estudiado por Mendel fue la rugosidad de las semillas. Comprobó que la apariencia lisa (cuyo gen llamaremos R) es dominante sobre la rugosa (llamaremos r a su gen). Advirtió que las plantas con pares RR (que llamamos *homocigotas*) o Rr (*heterocigotas*) tenían semillas lisas, en tanto que solo las plantas con pares rr (homocigotas) tenían semillas rugosas. Al cruzar una planta RR (semillas lisas) con una rr (semillas rugosas), todos

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las investigaciones de Gregor Mendel, Frederick Griffith y Charles Darwin, a la luz de los actuales conocimientos de la biología molecular, nos permiten ver que la ciencia siempre se planteará nuevas preguntas, aunque resulte en gran medida imposible anticipar cuáles serán.



Esquemas que representan las estructuras químicas de los polisacáridos amilosa, amilopectina y glucógeno. Cada circulito representa una molécula de glucosa, que es un monosacárido.

los descendientes tenían semillas lisas porque todos eran Rr. En cambio al cruzar dos plantas Rr entre ellas, el 75% de la descendencia tenía semillas lisas (25% RR + 50% Rr) mientras que un 25% tenía semillas rugosas (rr).

Hoy sabemos que las características rugosas o lisas de las semillas de Mendel dependen de la calidad del almidón almacenado en ellas. El almidón es el polisacárido de reserva de las plantas, componente mayoritario de las harinas que obtenemos de sus semillas, y está formado por la mezcla de dos tipos de polímeros del monosacárido glucosa: la amilosa y la amilopectina. La diferencia entre uno y otro es que las glucosas de la amilosa están unidas linealmente, mientras que las de la amilopectina forman cadenas ramificadas.

En 1990 se descubrió que las arvejas con semillas rugosas, como las analizadas por Mendel, tienen mutado el gen que da lugar a –en términos técnicos, *codifica*– la enzima ramificadora, es decir, la que fabrica amilopectina. La primera descripción de esa enzima fue publicada en 1943 por Carl Cori (1896-1984) y Gerty Radnitz (1896-1957), de la Washington University en los Estados Unidos, esposos que en 1947 compartieron el premio Nobel de medicina con Bernardo Houssay. Clara Krisman, en su tesis doctoral de 1963 en la entonces Fundación Campomar de Buenos Aires, dirigida por Luis Leloir, purificó la enzima y desarrolló un método rápido y fácil para medir la conversión de amilosa en amilopectina o en glucógeno, el polisacárido de reserva de los animales, también muy ramificado. Difícilmente Mendel podría haber predicho esas derivaciones.

Griffith, el ADN como portador de información genética y el descubrimiento de Leloir

Con el objetivo de producir una vacuna para prevenir la neumonía, el microbiólogo británico Frederick Griffith (1879-1941) publicó en 1928 un experimento que, sin él saberlo, sentó las bases de la biología molecular moderna, pues puso en evidencia que la información genética de todos los seres vivos está codificada en la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN). Griffith estudiaba dos cepas morfológicamente diferentes de la bacteria causante de neumonía, *Streptococcus pneumoniae*, también conocida como neumococo. La cepa S tenía una cápsula polisacarídica protectora que rodeaba a la célula bacteriana y por ende la hacía más resistente a las defensas de los organismos que infectaba; la cepa R carecía de dicha cápsula y era más fácilmente eliminada por el sistema inmune de esos organismos. Cuando se inyectaba neumococos de la cepa S en ratones, estos enfermaban y morían, pero sobrevivían a la inyección de neumococos de la cepa R.

Cuando Griffith les inyectó neumococos S muertos por calor mezclados con neumococos R vivos, comprobó con sorpresa que los ratones enfermaban y morían. Dedujo que alguna sustancia de los neumococos S muertos penetraba en los de la cepa R vivos y provocaba que las bacterias fabricaran una cápsula, se hicieran más resistentes y mataran a los ratones que infectaban. Fuera lo que fuera, dicha sustancia debía tener información genética y el descubrimiento de que se trataba de ADN fue hecho solo unos años más tarde, en 1944, por el médico canadiense Oswald Avery (1877-1955) y sus colaboradores.

Quiso la casualidad que el gen que estaba mutado en los neumococos de Griffith es el que tiene la información para producir la enzima que fabrica el compuesto descubierto por Luis Leloir en la década de 1940, por el que recibió el Nobel en 1970. Ese compuesto se llama UDPG (o UDPglucosa) y es una molécula pequeña formada por un nucleótido (UDP) unido con un azúcar (glucosa). Los nucleótido-azúcares son una familia de compuestos descubierta por Leloir que funcionan como precursores con los cuales se fabrican los polisacáridos. Sin la enzima productora de UDPG, los neumococos R no pueden generar cápsula. El primero en medir la actividad de dicha enzima fue Raúl Trucco, también en la Fundación Campomar. El UDPG participa en una compleja red metabólica de las células humanas conocida como *vía de Leloir* que convierte la galactosa, presente en la lactosa de la leche, en glucosa. Cuando los genes de ciertas enzimas de esa vía se encuentran mutados, el individuo sufre una enfermedad hereditaria conocida como galactosemia, que produce daños en el hígado, los riñones y el sistema nervioso central si consume leche, algo sin duda inimaginable por Griffith.

Darwin, el desarrollo del ojo y los genes maestros

Entre las dificultades que se planteaban para aceptar la teoría de la selección natural de Charles Darwin (1809-1882) estaba la formación evolutiva del ojo en los animales.

En el capítulo VI de *El origen de las especies* (1859) Darwin afirmó que *parece totalmente absurdo* [...] *suponer que el ojo* [...] *pudo haberse formado por selección natural*. Sin embargo, más adelante en su libro indicó que a partir de la estructura simple de ciertos invertebrados, consistente en *un nervio óptico rodeado por células pigmentarias y cubierto por piel translúcida, pero sin cristalino ni otro cuerpo refringente*, es posible que por cambios graduales se haya formado una estructura tan perfecta como el ojo de un águila.

Darwin explicó que los complejos ojos de los artrópodos (insectos y crustáceos), los moluscos cefalópodos (calamares y pulpos) y los vertebrados (peces, anfibios, reptiles y mamíferos) constituyen tres tipos de estructuras oculares diferentes, que pueden haber aparecido en la evolución en forma independiente entre ellas, ante las enormes ventajas de la percepción de la luz. Hizo suya la hipótesis que hoy se conoce como *convergencia evolutiva*, es decir, en sus propias palabras: *Así como algunas veces dos hombres llegan independientemente al mismo invento, así también* [...] *parece que la selección natural* [...] *produce en seres distintos órganos semejantes en cuanto a su función, los cuales nada deben de su estructura común a la herencia de un progenitor compartido*.

La hipótesis convergente para explicar la aparición de los tres tipos de ojo en la escala animal prevaleció en la zoología contemporánea hasta que el biólogo suizo Walter Gehring (1939-) identificara al gen Pax6 como el gen maestro necesario para el desarrollo de ojos en los insectos. Un gen maestro es aquel que lleva la información para producir una proteína, que tiene la propiedad de regular a un conjunto de genes que determinan la diferenciación de una parte del embrión a un tejido u órgano específico. Así la acción –o *expresión*– del gen Pax6 es necesaria para que se desarrollen los ojos. Si este gen sufre una mutación que impide que se exprese, la mosca se desarrolla sin ellos. Es así que fue descubierto y por esta razón se lo conoce también como el gen 'sin ojos' (*eyeless*).

Con ligeras variantes, Pax6 está presente en todos los grupos de animales, desde las planarias (gusanos planos con un esquema corporal muy simple) hasta los mamíferos, pasando por artrópodos (grupo al que pertenece la mosca), moluscos, equinodermos y el resto de los vertebrados. Esta permanencia a lo largo de la evolución hizo sospechar a los investigadores que Pax6 era el factor común del desarrollo de estructuras perceptoras de luz en toda la secuencia evolutiva. Gehring demostró el carácter maestro del gen Pax6 con un experimento bastante espectacular: al activar el gen Pax6 en embriones de mosca en forma ectópica, es decir en sitios

Sellos postales conmemorativos de Gregor Mendel y de Charles Darwin.

del embrión distintos de aquellos en los que normalmente se expresa, logró obtener moscas adultas con ojos ectópicos. Sí, moscas con ojos en sus alas, en sus patas y en sus antenas. Más allá del carácter monstruoso de estas moscas, lo que el experimento confirma es que Pax6 comanda la formación del ojo. No se trata de que el producto de este gen sea un ojo, sino que la proteína producida por Pax6 tiene la propiedad de activar los genes cuyos productos hacen que un grupo de células indiferenciadas del embrión se organicen y formen un ojo. Más aún, para probar que Pax6 es el requisito para la formación de ojos en cualquier especie, Gehring utilizó ectópicamente el gen Pax6 de ratón en embriones de mosca. El resultado fue el mismo que obtenido anteriormente: la aparición de ojos en distintas partes del cuerpo. El gen Pax6 de ratón actuó como maestro y despertó la expresión de todos aquellos genes propios que tienen que ser activados para formar el ojo en la mosca.

En pocas palabras, independientemente de la estructura o la complejidad del ojo de cualquier grupo taxonómico de animales, todos tienen en común el gen que regula su formación. La funcionalidad intercambiable del gen Pax6 plantea la posibilidad de que su función hubiera sido seleccionada en un ancestro común a todos los animales, lo que debilitaría la hipótesis convergente, algo muy difícil de predecir por Darwin.

Los tres ejemplos descriptos fortalecen la idea de que las predicciones de largo plazo no son frecuentes en la historia de las ideas científicas, simplemente porque en el momento de realizarlas carecemos de los conocimientos suficientes. En todo caso, podemos predecir que la búsqueda será constante, que nunca acabará y que siempre habrá nuevas preguntas a responder. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BHATTACHARYYA MK *et al*., 1990, 'The wrinkled-seed character of pea described by Mendel is caused by a transposon-like insertion in a gene encoding starch-branching enzyme', *Cell*, 60: 115-122.

GRIFFITH F, 1928, 'The significance of pneumococcal types', *The Journal of Hygiene*, 27: 113-159.

HALDER G, **CALLAERTS P** & **GEHRING WJ**, 1995, 'Induction of ectopic eyes by targeted expression of the eyeless gene in *Drosophila*', *Science*, 267: 1788-1792.

Armando J Parodi

Doctor en ciencias químicas, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
aparodi@leloir.org.ar

Alberto R Kornblihtt

Doctor en ciencias químicas, UBA.
Profesor titular plenario, FCEN, UBA.
Investigador superior del Conicet.
ark@fbmc.fcen.uba.ar

Carlos W Rapela
Centro de Investigaciones Geológicas, UNLP-Conicet

La geología en la Argentina

Para analizar hacia dónde se podría encaminar la geología argentina en los próximos diez años, es conveniente partir del hecho de que la disciplina tiene dos caras: es una avanzada ciencia básica que indaga los procesos evolutivos por los que pasó y sigue pasando nuestro planeta; por eso se dice que es parte de las *ciencias de la Tierra*; y también es una ciencia aplicada, imprescindible para actividades como prospección y explotación mineras y de petróleo o gas, ingeniería civil, manejo de cuencas hídricas, prevención de accidentes por fenómenos naturales como terremotos y erupciones volcánicas, etcétera.

Por otro lado, la geología es poco conocida para el común de la población. Cuando ocurren catástrofes causadas por los procesos devastadores pero normales en la dinámica de la Tierra, como inundaciones o los mencionados terremotos y erupciones volcánicas, la gente mira por televisión con asombro sus imágenes, que le son presentadas como algo inusual y espectacular, mientras un geólogo (a veces) o un periodista intentan describir en dos minutos un complejo fenómeno natural. En esas circunstancias el televidente no suele entender mucho, porque desconoce las nociones elementales de la ciencia geológica, algo poco adecuado en un país tan extenso y diverso como la Argentina.

No hay ambiente natural sobre el que la geología no tenga algo que decir, y no hay que irse hasta los Andes para practicar la geología, pues ella está presente en la geomorfología urbana y los recursos hídricos, la protección del ambiente, el riesgo sísmico y de erupciones volcánicas, la búsqueda y extracción de petróleo y gas, y la prospección y explotación de minerales metálicos y

¿DE QUÉ SE TRATA?

Como ciencia académicamente reconocida, la geología ocupa un lugar importante en universidades y centros de investigación. Al mismo tiempo, la aplicación de sus teorías, métodos de análisis y conclusiones constituye un insumo imprescindible para la actividad económica y el desenvolvimiento de la sociedad.

no metálicos. En el contexto sudamericano, la Argentina partió con ventaja en ciencia geológica básica y aplicada. Pellegrino Strobel (1821-1895), un naturalista italiano, dio la primera clase de geología en el país, en 1865, en el recién creado Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires.

Hoy diecisiete universidades dispersas por todo el país enseñan geología, no solo las más antiguas, sino también otras más recientes, como la Universidad Nacional del Comahue, la de Río Negro y la de Tierra del Fuego. En casi todas las que lo hacen, también se lleva a cabo investigación geológica en muy diversas áreas de la disciplina, en muchos casos en institutos en que la casa de estudios está asociada con el Conicet. Existen instituciones de doble dependencia de este tipo en numerosas localidades del país, desde Buenos Aires, donde hay tres, y La Plata, donde se desempeña este autor, hasta Córdoba, Tucumán, Mendoza, Santa Rosa y Bahía Blanca, donde hay dos.

Además de la geología domiciliada en el medio académico, existe en la Argentina geología aplicada en instituciones nacionales y provinciales específicas, como el Servicio Geológico Nacional, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y las comisiones provinciales de minería.

Tanto en el campo científico como en el de las aplicaciones de la geología a actividades diversas se pueden señalar determinadas áreas de la disciplina con menor desarrollo relativo en el país, o incluso desarrollo incipiente y hasta insuficiente para el rumbo tomado por la geología en el mundo o para las necesidades de aplicación que se pueden anticipar en los próximos años. Enumeramos algunas a continuación, sin orden de prioridad.

Áreas de investigación académica

No sorprende, teniendo en cuenta las recurrentes crisis económicas del país, que varias de las especialidades geológicas básicas más rezagadas sean aquellas que requieren instrumental complejo y de alto costo. Entre ellas cabe mencionar a la *geocronología*, la *geología isotópica* y la *geoquímica*. Establecer la edad de una roca, un mineral, un sedimento o un resto orgánico es un dato clave del cual dependen muchísimas disciplinas de las ciencias de la Tierra, e incluso otras ajenas a ellas como la historia y la arqueología. Además de la edad, la medición de distintos sistemas de isótopos permite abordar importantes cuestiones, como el origen de las rocas, la medición de paleotemperaturas en los mares, la acumulación de hielo en los polos, el crecimiento de los glaciares y diversas otras. De la geoquímica, tanto inorgánica como orgánica, puede decirse lo mismo. No hay, sin embargo, ningún equipo en el país que permita realizar análisis químicos específicos de materiales como los que emplean ablación láser.

Prospección de yacimientos de hidrocarburos

Hay que distinguir la prospección en tierra y la realizada en el mar. En la segunda se registra una clara deficiencia que el sector académico no puede subsanar solo, porque la actividad requiere cuantiosas inversiones, que incluyen el uso de plataformas marinas. Brasil lo viene haciendo desde hace cuatro décadas y adquirió la capacidad de explorar en profundidades no alcanzadas antes con tecnología propia que desarrolló para ese fin. Es conocido que la Argentina no ha dedicado al estudio del mar un esfuerzo proporcional a la extensísima plataforma de su litoral atlántico. Con esta afirmación vamos más allá de los estudios geológicos aplicados a la exploración y explotación de petróleo y gas; nos referimos a todas las ciencias del mar, incluidas la oceanografía física en mar abierto, las corrientes marinas con sus fenómenos geológicos y geoquímicos conexos y hasta la biología marina. En los últimos años se ha incrementado la necesidad de equipar buques oceanográficos para tales fines.

La exploración en tierra, por el contrario, tiene en su haber casi un siglo de trabajo relacionado con la empresa Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), en la cual se desempeñaron muchas camadas de geólogos que también dejaron su impronta como profesores universitarios. Es así como, por ejemplo, la estratigrafía y la estructura de la cuenca neuquina de hidrocarburos, en la cual se encuentra el yacimiento de lutitas petrolíferas (*oil-shale*) de Vaca Muerta, del que se leen noticias en los periódicos actuales, fue estudiada por geólogos de varias universidades argentinas y descripta en numerosos trabajos científicos. La tecnología de extracción de esa clase de yacimientos es altamente compleja y necesita de fuerte inversión que, de ser movilizada, no encontraría obstáculos en la falta de personal técnico especializado, aunque existen áreas temáticas que sería necesario reforzar, como la geoquímica orgánica.

Geología ambiental

Las ciencias ambientales constituyen un campo multidisciplinario que no existía hace cuarenta años. Se ocupa de la relación de los seres humanos con el medio, de los riesgos de esa interacción y las formas de paliar sus efectos negativos. Los factores ambientales pueden ser naturales, como inundaciones, avalanchas, actividad sísmica y vulcanismo, o pueden tener causas humanas,

como la deforestación o la contaminación de los suelos, del agua y de la atmósfera, las que en ocasiones agravan los riesgos naturales.

Antiguas ramas de la geología, como la geomorfología y la hidrogeología, tienen muchas aplicaciones directas en la geología ambiental, si bien su conocimiento no ha sido siempre aprovechado por las autoridades, como sucedió en el caso de las inundaciones sobrevenidas en abril de 2013 en La Plata. Ocurrieron en la zona por la que antes corrían los arroyos Regimiento y Pérez, que desembocan en el arroyo El Gato en el área de Tolosa. Hace treinta años, Francisco Fidalgo, profesor de la UNLP que estudiaba la geomorfología del partido del que esa ciudad es cabecera, había señalado el riesgo de la zona en caso de lluvias mayores. Pero el crecimiento urbano sepultó los arroyos, al punto que nadie recordaba su ubicación, y hasta habían quedado en el olvido sus nombres. Muchas ciudades de la llanura pampeana enfrentan similares problemas para planear el futuro de sus desagües.

Los riesgos volcánicos y sísmicos son realidades que tiene que afrontar la Argentina, igual que los demás países andinos, pero no entran en las vivencias cotidianas de la mayoría de la población, que vive en el este del territorio donde esos riesgos son insignificantes. La situación es distinta para quienes habitan en las cercanías de los Andes, pues el más lejano recuerdo de los terremotos que afectaron a San Juan (1944) y Caucete (1977), y las más recientes erupciones de los volcanes Hudson, Chaitén y Copahue, ponen sobre el tapete el hecho de que esos fenómenos geológicos se seguirán produciendo en el futuro. Si bien es virtualmente imposible que se llegue a eliminar las causas de esas catástrofes, se puede avanzar mucho en las medidas de prevención que disminuyan los daños. En ese sentido, les cabe a los geólogos y geofísicos una tarea importante de investigación y monitoreo de la enorme región que corre esos riesgos, labor que es a todas luces aconsejable realizar en colaboración con colegas chilenos. Pero a diferencia de lo que ocurre en materia de geomorfología y de hidrogeología, la vulcanología y la geofísica son áreas de carencia relativa de la geología

Sector Vaca Muerta de la cuenca petrolífera neuquina. Las rocas estratificadas datan del período jurásico y son lutitas negras con alto contenido de materia orgánica. La pieza central es roca calcárea y muestra el molde de un fósil de amonite.

Paisaje de la cuenca petrolífera neuquina, en la que se ha localizado una de las mayores reservas mundiales de petróleo y gas en lutitas.

Campo de rocas volcánicas en el sur de la puna.

argentina, sobre todo en relación con la magnitud del territorio que se requiere cubrir.

Explotación minera

La geología de yacimientos tiene menor desarrollo en la Argentina que en el Brasil y Chile, por lo que sin duda es un campo que debería crecer en los próximos diez años. Pero no es seguro que lo haga. El estudio de yacimientos requiere frecuentemente de la geoquímica y la geocronología de minerales y rocas, ramas cuyo déficit de equipamiento se comentó, por lo que la necesidad de invertir en importantes equipos podría constituir una limitación de peso.

Al mismo tiempo, las implicancias ecológicas de una explotación minera realizada sin cuidados ambientales y los perjuicios que ella ha causado en muchos lugares han sensibilizado en buena hora a la población de muchas partes del mundo, incluidas determinadas zonas de la Argentina. Ello impide un análisis sereno de los proyectos y un intercambio constructivo entre todos los interesados. Este, además, se ve obstaculizado por los grandes intereses económicos y políticos que moviliza la minería.

La pregunta clave a responder a propósito de lo anterior es si es posible realizar explotación minera con resguardo ecológico. Conozco muchos colegas que piensan honestamente que ello es factible. En tales circunstancias, hay que distinguir entre el beneficio total de la minería para la sociedad y el beneficio monetario para la empresa explotadora, sea estatal o privada. Es posible que, por comparación con una minería exenta de controles ambientales, en la sujeta a esos controles el primero sea incluso mayor, porque preservar el medio es un beneficio real para todos, pero dichos controles tienen un costo que debe ser pagado, por lo menos en parte, con la reducción del beneficio empresario. Mi opinión personal es que la población merece un debate realizado con altura.

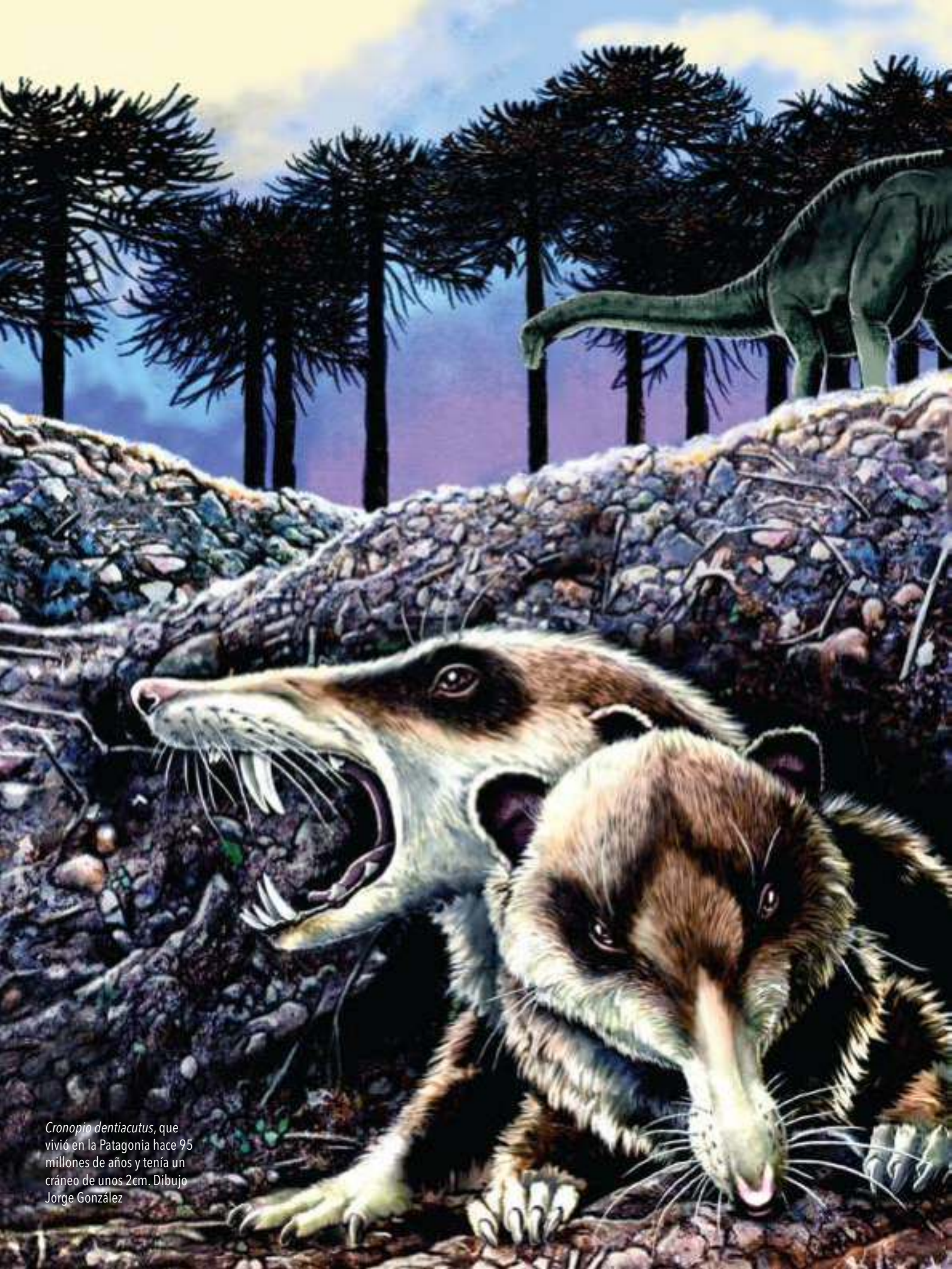
En suma, la geología argentina está en condiciones de realizar investigación académica de calidad internacionalmente reconocida y de formar profesionales para satisfacer la demanda previsible de aplicación de los conocimientos geológicos a las muchas actividades que los requieren. Al mismo tiempo, registra atraso relativo o desarrollo insuficiente en algunas de sus especialidades avanzadas, que incluye deficiencias de equipamiento de alta tecnología o la necesidad de inversiones no menores, como las requeridas por la geología marina para operar embarcaciones de investigación en mar abierto. CH

LECTURAS SUGERIDAS

KUMP LR, **KASTING JF** & **CRANE RG,** 2009, *The Earth System*, 3ª edición, Prentice Hall, San Francisco CA.

Carlos W Rapela

Doctor en ciencias naturales, Universidad Nacional de La Plata.
Profesor emérito, UNLP.
Investigador superior del Conicet.
Director del Centro de Investigaciones Geológicas, Conicet-UNLP.
Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias.



Cronopio dentiacutus, que vivió en la Patagonia hace 95 millones de años y tenía un cráneo de unos 2cm. Dibujo Jorge González

CH 25 años

Guillermo W Rougier
University of Louisville

El futuro del pasado

Los paleontólogos estudiamos la evidencia fósil para entender el pasado biológico lejano. No tenemos acceso directo a él, pero lo reconstruimos gracias a esa evidencia, con el auxilio de la geología, que es un componente integral de nuestras interpretaciones. El tiempo geológico no solo establece el contexto temporal en el que los procesos evolutivos produjeron una enorme variedad de organismos; también provee un marco geográfico dinámico, signado por los cambios de los continentes, océanos, desiertos y junglas. La paleontología resulta así una ciencia híbrida, con un origen biológico que, según el tema, se mezcla en mayor o menor grado con la geología.

Esa combinación de continuo cambio geológico, que se manifiesta en la atmósfera, la tierra y el mar, y permanente cambio biológico, con extinciones y apariciones de nuevas formas de vida, produce una historia compleja, que descubrimos en la constitución de comunidades que se vuelven endémicas de un lugar o en las dispersiones de sus organismos.

¿Cómo será la paleontología en el futuro? ¿Cómo influirán en ella los avances de las últimas décadas de la geología y de la biología, e incluso de la medicina? ¿Cómo cambiará nuestro entendimiento del pasado?

Lo que no cambiará

La información con que trabaja la paleontología continuará proviniendo de los fósiles. La prospección de campo y la colección de especímenes seguirán proporcionando la base de la disciplina. Dado que solo una pequeña fracción de la superficie del planeta ha sido explorada en busca de fósiles, se puede esperar que por muchas décadas haya jóvenes paleontólogos recorriendo el mundo con una piqueta geológica, un GPS y un mapa, y que descubran fósiles que cambien nuestra visión del pasado.

Menos del 1% de todas las especies que vivieron en la Tierra fueron recobradas como fósiles, y estos, independientemente del esfuerzo y la tenacidad que se ponga en colectarlos, siempre nos brindarán un panorama incompleto, sesgado en favor de organismos con partes duras como leños, valvas, caparazones, huesos o dientes, que se

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué harán igual que siempre y qué harán diferente que ahora los paleontólogos en los próximos diez años? ¿Qué preguntas científicas se plantearán en la Argentina?

El futuro de la paleontología descansa en la colección de nuevos fósiles, como los de pequeños mamíferos que busca este joven paleontólogo de campo en el árido paisaje patagónico.

preservan más fácilmente. Los organismos sin partes duras tienen menos probabilidad de llegar al museo y a la mesa de estudio. De todos modos, los paleontólogos de campo seguirán encontrando especies hoy desconocidas.

El conocimiento anatómico de los fósiles y su clasificación taxonómica o sistemática son fundamentales para entender los restos que aparecen. Si un paleontólogo encuentra o le llevan nuevos fósiles de un animal que se asemeja a un elefante, debe determinar si se trata de un mamut, de un mastodonte o de una especie desconocida, extinguida como las otras dos. Para ello debe ubicar el nuevo fósil en el marco de la evolución de los elefantes y establecer las relaciones de parentesco de las especies que forman su grupo y el momento de origen de cada una.

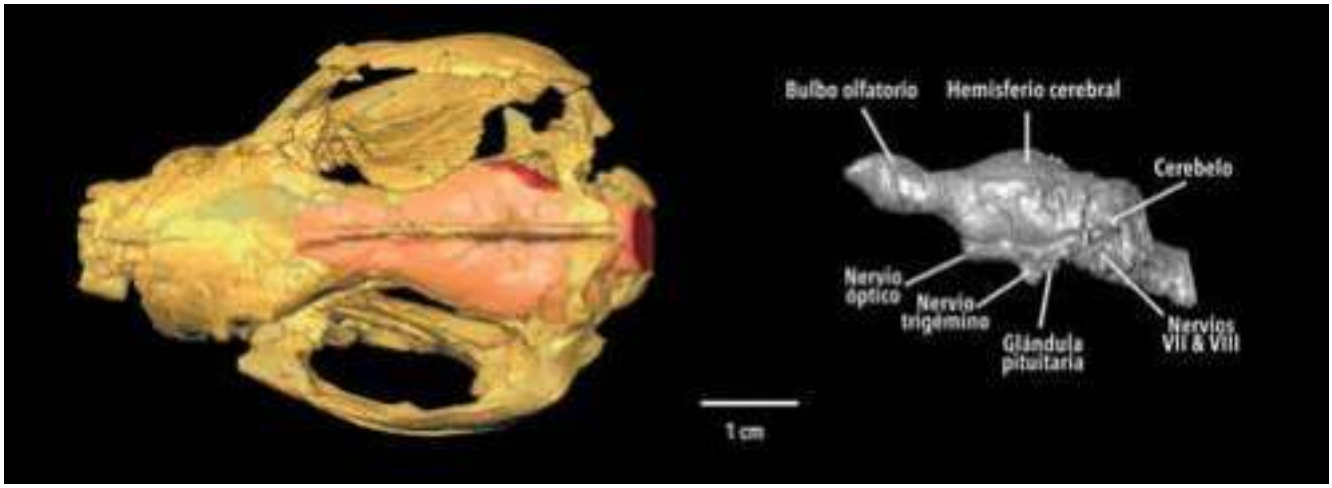
Trabajar con un marco sistemático basado en la anatomía y en las relaciones de parentesco entre organismos será un rasgo común a los buenos paleontólogos del presente y del futuro. Para las especies que viven hoy, esas relaciones de parentesco pueden deducirse de las afinidades de sus genomas, en forma paralela o como complemento de las evidencias morfológicas o anatómicas. Los análisis que combinen genética molecular y morfología, importantes hoy, lo serán aun más en el futuro.

Lo que cambiará

La invención del microscopio abrió la posibilidad de estudiar un mundo biológico antes desconocido. De la misma manera, las imágenes digitales y los programas de procesamiento electrónico de esas imágenes están abriendo posibilidades comparables a aquella.

El reemplazo de la fotografía analógica por la digital permite ahorrar dinero y hacer mejor uso del tiempo, pero no significó un salto cualitativo, como lo es la posibilidad de manipular las imágenes y de hacerlas interactuar entre ellas para producir reconstrucciones muy difíciles de lograr por otras técnicas. También ha traído avances notables el uso en paleontología de recursos hoy comunes en medicina y ciencia de materiales, más allá de las radiografías clásicas con rayos X que, si bien estuvieron disponibles hace bastante, son de limitada utilidad para analizar el interior de fósiles. En cambio, en determinados casos han resultado efectivas para esto técnicas como la tomografía computada, que también se vale de rayos X y puede producir imágenes tridimensionales, por ejemplo, para estudiar el interior de los fósiles y la densidad de la roca que rellena sus cavidades. También se ha recurrido con provecho, en otros casos, a la resonancia magnética nuclear y a la ecografía.

Con estas técnicas fueron reconstruidas pequeñas flores de hace noventa millones de años, fosilizadas dentro de bloques de ámbar. En el pasado reciente se accedía a los espacios internos de los fósiles en forma fortuita, cuando



Cráneo del mamífero *Vincelestes neuquenianus* que vivió hace unos 135 millones de años en la Patagonia. Imagen de tomografía computada del cráneo visto desde arriba, con el cerebro en rosado (foto izquierda), y reconstrucción del cerebro a partir de tomografía computada de alta resolución con indicación de nervios craneanos y otras características neuroanatómicas que permiten inferir ciertas habilidades del animal.

un espécimen se rompía, o por destrucción expresa de un ejemplar para fotografiar lo que iba apareciendo. Pero el camino destructivo, deliberado o fortuito, no podía usarse en forma sistemática.

Entre los logros más destacados en el campo del procesamiento digital de imágenes se cuentan los estudios de la evolución del cerebro de los linajes que desembocan en las aves y mamíferos modernos. Ambos grupos poseen cerebros grandes comparados con los de otros vertebrados. En los fósiles se conservan impresiones creadas por las distintas regiones del cerebro en el interior del cráneo. Recurriendo a tomografías computadas fue posible analizar la forma y el volumen de esos cerebros, más un conjunto de otros parámetros antes imposibles de cuantificar. Procedimientos similares, siempre con fósiles, se han aplicado al estudio del oído interno y de la cavidad nasal de mamíferos que vivieron hace más de 65 millones de años y a estudios de microestructura de invertebrados.

Los archivos digitales de imágenes obtenidos con estas técnicas pueden usarse para construir réplicas en materiales plásticos, sea de especímenes completos o de partes de ellos. Las novedosas impresoras de objetos tridimensionales han abierto en esto importantes posibilidades para la investigación, la enseñanza y la divulgación. Con las rebajas que están experimentando sus costos y la generalización de su uso, es previsible que la impresión en tres dimensiones sea algo cotidiano para el paleontólogo del futuro.

Evolución y desarrollo

La evolución del desarrollo (conocida por *evo-devo*) es un área relativamente reciente de la biología. Vincula el estudio de la evolución biológica con el del desarrollo (los procesos que gobiernan el crecimiento de los organismos). Se remonta a un grupo de artículos publicados en los *Proceedings of the National Academy of Sciences* de los Estados Unidos (CS Goodman & BC Coughlin, 'The evolution of evo-devo biology', 97, 9: 4424-4425, 25 de abril de 2000, doi: 10.1073/). Su factor desencadenante fue el descubrimiento pocas décadas antes de un grupo de genes (llamados *hox*, contracción de *homeobox*) que determinan el plan corporal del embrión a lo largo del eje principal cabeza-cola. Sutiles cambios en la expresión de esos genes conducen a cambios radicales en la diversidad de los organismos.

Sobre la base de esas constataciones, se han diseñado modelos matemáticos que reflejan las morfologías conocidas de organismos pertenecientes a especies vivientes o extinguidas. Entre otros casos, estos modelos se utilizaron para explorar el origen del ala de las aves a partir de extremidades de dinosaurios, el desarrollo del oído medio de mamíferos a partir de huesos de mandíbula de parientes distantes, y la formación de cúspides en los dientes de mamíferos.

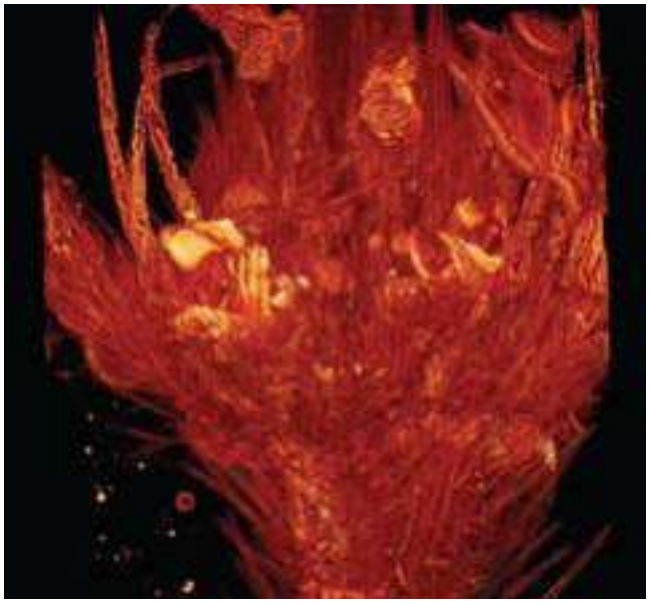
Hasta el advenimiento de esos modelos, que explican las variaciones anatómicas de los individuos como parte del proceso de desarrollo, los paleontólogos nos hemos conformado en gran parte con describir las secuencias evolutivas que constatábamos. Así, pudimos advertir que las serpientes son en realidad cuadrúpedos relacionados con los demás reptiles porque una multitud de caracteres así lo indican, y concluimos que no tienen patas porque las perdieron. Hoy conocemos los caminos genéticos de esa pérdida, en los que interviene un gen llamado *distal-less*.

El estudio conjunto realizado con el auxilio de la genética molecular del desarrollo y la evolución abrió un campo enorme para explorar el cúmulo de organismos extinguidos que esperan ser descubiertos y analizados por los paleontólogos, y constituyen un repositorio de diversidad morfológica que estamos procurando explicar con los parámetros que conocemos. Podemos anticipar que en el futuro dispondremos de modelos con mayor capacidad predictiva, y que los ajustaremos con los datos que provean nuevos descubrimientos. Los paleontólogos están en vías de convertirse en verdaderos biólogos del pasado.

Otras áreas

La paleontología es compleja y multifacética. Es poco probable que alguien pueda abarcar sus múltiples ramas. A fuerza de necesidad, los paleontólogos somos cada vez más especializados y, a la vez, necesitamos crecientemente colaborar con colegas de nuestra y de otras disciplinas. Estas son algunas vías previsibles de cooperación:

- El uso de bancos de datos a los que puedan acceder en tiempo real múltiples investigadores, como Morphobank, con casi ilimitada capacidad de asociar imágenes, notas, datos, información bibliográfica, etcétera, que ayuden a abordar temas paleontológicos complejos, del tipo del origen de las angiospermas (plantas con flor) o la aparición de los mamíferos, que no pueden ser bien abordados por investigadores individuales en sus laboratorios. La necesidad de incluir disciplinas que hoy no son necesariamente parte del arsenal del paleontólogo, como biología molecular o modelos matemáticos y estadísticos, hace pensar que el paleontólogo del futuro se asemejará más a un organizador político que a un recluso genio en la torre de marfil.
- Dado que los seres vivos tienen requerimientos ambientales específicos en cuanto a temperatura, humedad, salinidad, acidez y otros, permiten inferir el clima y en parte la geografía del pasado. La paleobotánica y la paleontología de invertebrados son particularmente informativas al respecto, pues posibilitan discernir los niveles estratigráficos y correlacionar



Flor de noventa millones de años preservada en ámbar. Mide unos 3mm y pertenece al grupo que integran especies actuales como mentas, margaritas y zanahorias. Foto Mark Riccio, laboratorio William Crepet, Cornell.

formaciones rocosas de distintos lugares. Estas cuestiones tienen importante utilidad económica, por ejemplo, en la exploración de hidrocarburos, y solo pueden crecer en importancia en el futuro.

- Ciertos elementos químicos, lo mismo que determinadas moléculas, son muy estables: sobreviven decenas y aun cientos de millones de años. Analizando tales moléculas se ha deducido qué colores tenían plumas de dinosaurios y de aves primitivas, la composición química de la cutícula de artrópodos fósiles y la de distintas partes anatómicas de invertebrados. El análisis molecular de fósiles se encuentra en su infancia y promete proporcionar información original sobre ellos.

Las preguntas científicas

¿Qué temas atraerán preferentemente la atención de los paleontólogos en los próximos diez años? ¿Qué preguntas se están planteando, en especial en la Argentina? El país se beneficia de una tradición paleontológica de más de un siglo. Ya Florentino Ameghino (1854-1911) puso la paleontología del Río de La Plata en la mira internacional. En años recientes, las investigaciones sobre el período mesozoico (entre unos 245 y 65 millones de años atrás) hicieron importantes descubrimientos sobre dinosaurios y otros vertebrados, en especial en la Patagonia, de la cual solo una fracción ha sido explorada y seguramente será uno de los focos de la paleontología venidera en la Argentina.

También podemos pensar que la disciplina, sin perder importancia en lugares tradicionales como Buenos Aires, La Plata, Córdoba y Tucumán, tenderá a descentralizarse y florecerá en instituciones como el museo Egidio Feruglio de Trelew. El futuro de la paleontología está inexorablemente ligado a la riqueza de los yacimientos, que en la Argentina cubren gran parte del tiempo geológico y reflejan la gama de las comunidades biológicas del pasado, desde organismos unicelulares, plantas e invertebrados hasta vertebrados.

Para mantener al carácter avanzado de su disciplina, los paleontólogos del futuro deberán integrarse más estrechamente con la geología y la biología, sus disciplinas de origen. Deberán entender la genealogía de las especies sobre la base de datos moleculares, manejar las técnicas de procesamiento de imágenes, interactuar con bases de datos y operar modelos de desarrollo. Son requerimientos similares a los que esperan a los biólogos. Es posible que en el país haya más paleontólogos profesionales por habitante que en cualquier otro, lo que, unido al hecho de que la cantidad necesaria de dinero para llevar adelante las investigaciones es relativamente modesta, se puede contar un futuro feliz para quienes sueñan con la vida en el pasado. Pero a pesar de nuestra profesión, los paleontólogos no debemos, ni queremos, vivir en el pasado. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BALANOFF AM, **BEVER GS** & **ROWE TB**, 2013, 'Evolutionary origins of the avian brain', *Nature*, doi: 10: 1038/nature12424.

EKDALE EG, 2013, 'Comparative Anatomy of the Bony Labyrinth (Inner Ear) of Placental Mammals', PLoS ONE 8, 6: e66624, doi: 10.1371/journal.pone.0066624

LUO Z-X, 2011, 'Developmental patterns in Mesozoic evolution of mammal ears', *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 42: 355-80, doi: 10.1146/annurev-ecolsys-032511-142302.

SEPKOSKI D & **RUSE M** (eds.), 1992, *The Paleobiological Revolution*, University of Chicago Press.

SALAZAR-CIUDAD I & **JERNVALL J**, 2010, 'A computational model of teeth and the developmental origins of morphological variation', *Nature*, 464: 583-586.

TAMURA K *et al.*, 2011, 'Embryological evidence identifies wing digits in birds as digits 1, 2 and 3', *Science*, 331, 6018: 753-757.

Guillermo W Rougier

Doctor en biología, Universidad de Buenos Aires. Profesor plenario en el Departamento de Anatomía y Neurobiología, Universidad de Louisville, Kentucky. Investigador asociado del American Museum of Natural History, Nueva York, y del Carnegie Museum of Natural History, Pittsburg.

grougier@louisville.edu

CH 25 años

José A Pérez Gollán
Conicet

Javier H Nastri
Fundación Azara, Universidad Maimónides

Gustavo G Politis
Facultad de Ciencias Sociales,
Universidad Nacional del Centro de la
Provincia de Buenos Aires

Las arqueologías por venir

Para el público, la arqueología es la disciplina que estudia los restos materiales de sociedades desaparecidas. Una visión más académica la considera un campo científico dedicado a investigar los grupos humanos del pasado a partir de sus restos materiales y de datos hallados en su contexto natural y social. Desde que se comenzó a usar el término griego *archaios* con el significado de viejo o antiguo, la arqueología amplió su campo para ocuparse no solo de los pueblos ágrafos, sino también de las civilizaciones del Mediterráneo –se habla entonces de arqueología clásica para referirse a Grecia y Roma, o la del antiguo Egipto– y de los primeros estados en América, África y Asia que desarrollaron sistemas propios de escritura.

Hoy algunos arqueólogos estudian la cultura material contemporánea para establecer analogías que ayuden a interpretar la complejidad del pasado remoto. Este interés por el presente nace de reflexiones sobre la práctica arqueológica en la sociedad actual, dado que las nociones de pasado y de patrimonio cultural han alcanzado una notable dimensión política con la activa participación de nuevos museos. En este contexto se ubica la actual necesidad de conocer el proceso histórico que conformó los distintos sectores étnicos y sociales de las naciones americanas.

La historia de la arqueología argentina arrancó con los trabajos de Florentino Ameghino (1854-1911), Samuel Lafone Quevedo (1835-1920), Eric Boman (1867-1924) y Juan B Ambrosetti (1865-1917). Continuó con los aportes de Luis María Torres (1878-1937), Milcíades Vignati (1895-1978), Félix Outes (1878-1939), Salvador Debenedetti (1884-1930), Antonio Serrano (1899-1982) y Os-

¿DE QUÉ SE TRATA?

En los próximos años los arqueólogos se ocuparán tanto de las culturas indígenas prehispánicas como de los tiempos históricos –en los que la población incluye a indígenas, europeos, criollos, africanos y mestizos–, el período contemporáneo y el patrimonio cultural.

Sitio arqueológico Los Tres Cerros, en territorio de Entre Ríos del delta superior del Paraná a aproximadamente la latitud de Victoria. Foto Mariano Bonomo.

valdo Menghin (1888-1973), y se consolidó con el impulso renovador de Alberto Rex González (1918-2012). En la actualidad es una disciplina científica con teorías y métodos originales, en la que numerosos arqueólogos profesionales trabajan diseminados por todo el país: solo en el sistema del Conicet revistan 137 investigadores y 128 becarios dedicados de tiempo completo a la investigación arqueológica.

Para esbozar el futuro de la disciplina en la Argentina, nos centraremos en cuatro grandes capítulos que se destacan en ella: la arqueología de las culturas indígenas prehispánicas, la de tiempos históricos (que trata tanto de indígenas como de europeos, criollos, africanos, mestizos, etcétera), la del período contemporáneo y, por último, la vinculada con el patrimonio y los recursos culturales.

Las sociedades indígenas americanas del pasado fueron y son el campo principal de interés de los arqueólogos argentinos. Para avanzar en su estudio se hizo necesario superar algunos importantes escollos, empezando por el paradigma por mucho tiempo dominante en la sociedad argentina, que representó a los pueblos aborígenes como parte de la naturaleza y no como sujetos de la historia y agentes de cambio cultural. Además, los prejuicios y la discriminación echaron al abandono siglos de memoria y tradición indígenas. Más allá de las subdivisiones regionales, existe hoy una separación entre el estudio de los cazadores recolectores de Tierra del Fuego, la Patagonia, la pampa y el chaco, y la investigación de las sociedades aborígenes más complejas de agricultores y pastores sedentarios del noroeste y las Sierras Centrales, y de los horticultores de la Mesopotamia.

Para el primer grupo predominan los marcos teóricos evolucionistas, con una visión ecológica de la cultura. Con esa orientación se ha enfatizado el estudio de los procesos adaptativos, la explotación del medio y los ajustes sociales ante el cambio ambiental. Las investigaciones sobre la Patagonia han adoptado varios enfoques para explicar cómo se formaron los sitos arqueológicos, entre las que se destacan la observación y el análisis de los procesos actuales de degradación y dispersión de los materiales orgánicos, sobre todo de los huesos.

En cambio, en el estudio de los antiguos agricultores y pastores del noroeste –y también en parte de los cazadores-recolectores de la región pampeana– predomina un encuadre teórico que coloca el eje sobre las acciones de individuos y sectores sociales. Es una arqueología que busca comprender a las sociedades apelando a la teoría social, al conocimiento antropológico y al método histórico. Resalta, entre otras cuestiones, el potencial del arte para interpretar las cosmovisiones indígenas, las distribuciones diferenciales de bienes simbólicos y de consumo, las evidencias de conflictos, el cometido de las redes de intercambio en el surgimiento de las representaciones del poder y la construcción social del paisaje. Esta orientación enfrenta el pasado en términos políticos y, en ese sentido, adquiere relevancia en el contexto de renovación de las identidades étnicas del país y del continente. Probablemente en el futuro esta tendencia concite creciente adhesión entre los investigadores de las sociedades de cazadores-recolectores. Todo indica que la separación general entre regiones y abordajes teóricos es operativa, pues en cada una de ellas se resumen enfoques y matices diversos –en los que resulta imposible entrar aquí– que reflejan la vitalidad y variabilidad de la teoría y la práctica de la arqueología argentina contemporánea.

Desde hace algunos años se viene celebrando con regularidad en el ámbito académico una reunión internacional sobre teoría arqueológica en América del Sur, en la que el debate se orienta a los aspectos teóricos y metodológicos antes que a los regionales. El encuentro fomenta la discusión y el intercambio entre profesionales sudamericanos y constituye una auspiciosa vía para superar la historia de subordinación a la tradición arqueológica angloamericana. El entusiasmo que se advierte en esas discusiones teóricas sugiere que ellas se afianzarán en el futuro.

Un tema que agrupa a las diferentes vertientes mencionadas es el conjunto de técnicas y procedimientos de las ciencias naturales necesarios para arribar a inferencias arqueológicas. Se le da el nombre de *arqueometría*, y aporta información mediante estudios físico-químicos de una variedad de materiales, desde textiles a metales y sedimentos. Ha estimulado la colaboración transdisciplinaria y se revela como una especialidad pujante e integradora.

En las últimas décadas se han planteado investigaciones arqueológicas en contextos para los cuales existe documentación escrita. Estamos ante la *arqueología histórica* que complementa, contrasta, integra y discute las fuentes documentales con el registro arqueológico, y da protagonismo a actores sociales subalternos en el pasado: indios, esclavos, inmigrantes o mujeres. A veces los modos de vida de estos no aparecen en el relato historiográfico tradicional, o bien las representaciones que perduran

han sido manipuladas por intereses de los grupos dominantes. La arqueología histórica busca despejar ese sesgo y construir una visión amplia y pluralista del pasado.

Una línea fructífera de investigación es la dedicada al estudio de las fronteras, áreas en las que se mezclaron poblaciones de diversas procedencias culturales. Hace décadas, la historia escolar fijó en nuestras mentes la idea de que los límites actuales de la Argentina no han variado desde la Revolución de Mayo. En realidad, durante varios siglos los europeos y los criollos convivieron con los indígenas ocupantes de los territorios no colonizados por aquellos –el 'desierto'– en la pampa, la Patagonia y el chaco. Entre ambos territorios existieron interacciones de diversa intensidad y carácter: malones indios y razias del ejército; acuerdos que articularon el tráfico de mercancías, ideas y bienes de prestigio; difusión de idiomas, productos y saberes y, si se quiere, también refugio de expatriados y prófugos. La arqueología aporta evidencias que demuestran una fluida cooperación transcultural, además de dar cuenta de la violencia y el desarraigo que padecieron las poblaciones originarias. Los crecientes reclamos de las comunidades indígenas por la restitución de sus tierras conceden a esta arqueología una importancia que no puede más que aumentar en años venideros.

Un capítulo, que en las circunstancias argentinas no es posible dejar de mencionar, está constituido por la arqueología y la antropología forenses. Constituye la innovación más dramática que experimentó la disciplina. Tiene fuerte anclaje en la antropología biológica y se vincula tanto con la política y el derecho como con las ciencias fisicoquímicas. Construye un nexo –a veces apenas tenue, otras deslumbrante– entre el pasado inmediato y el momento actual.

La arqueología forense ha investigado centros clandestinos de detención en varias ciudades del país, fosas comunes en cementerios públicos y, por último, ayudó identificar a decenas de víctimas del terrorismo de Estado que integraban la categoría de los desaparecidos. En ese campo, el Equipo Argentino de Antropología Forense abrió rumbos tanto en la Argentina como en otros países en que actuó. Su aporte a la construcción de una nueva sensibilidad por los derechos humanos es una de las dimensiones más trascendentes de la praxis arqueológica contemporánea en la Argentina.

Además de abordar el pasado, la investigación arqueológica se interesa por la dimensión material de la vida presente. Los etnoarqueólogos trajeron innovaciones con su trabajo en comunidades actuales, por ejemplo, de cazadores-recolectores de las selvas tropicales o de pastores del altiplano andino. Estudiaron in situ diversas prácticas de esos grupos, registraron sus productos materiales y miraron con una luz distinta de las sociedades contemporáneas. Asimismo, otros arqueólogos tomaron interés por los objetos de la vida cotidiana actual, como automóviles, envases, aviones, etcétera. Colocan el foco, por lo general, en la práctica antes que en el discurso, y

Sitio arqueológico El Carmen de la cultura Santa María, sierra del Cajón, Tucumán.

Excavación del Equipo Argentino de Antropología Forense de una fosa común en el cementerio de San Vicente, Córdoba, 2003, que contenía los restos de decenas de 'desaparecidos' durante la dictadura militar de 1976-1983. Foto EAAF

en considerar lo inconsciente o no visible antes que lo declamado. Los estudios sobre la capacidad de la arquitectura de condicionar las acciones de los actores sociales constituyen quizá el mejor ejemplo de esta orientación.

La arqueología argentina actual ha dejado de considerar a los yacimientos y objetos arqueológicos solo como fuente de datos para reconstruir el pasado y comprender la conducta humana: hoy son concebidos como patrimonio cultural, con un valor simbólico más complejo y amplio que el de meros objetos de estudio. Ese patrimonio, a su vez, se ha transformado en un ámbito de memoria en el que los pueblos originarios y las comunidades locales recrean escenarios del pasado y del presente. Un claro ejemplo de esto es el reciente reclamo –aún no satisfecho– de organizaciones indígenas y la comunidad local de preservar un sitio arqueológico ubicado en Punta Querandí, en el partido bonaerense de Tigre.

Por lo general, los sitios arqueológicos suelen tener notable atractivo turístico y, en consecuencia, son potencial fuente de recursos económicos tanto para las comunidades locales como para los gobiernos. La arqueología del presente –y la que está por venir– deberá asumir un papel cada vez más activo en esta materia. Le corresponderá, por un lado, aportar conocimientos que conduzcan a valorizar el patrimonio y, por otro, colaborar en la creación de políticas de protección de eventuales consecuencias negativas, en especial las que puedan afectar a los grupos más débiles de la sociedad. En un terreno afín, ha adquirido relevancia la participación de los arqueólogos en los estudios de las repercusiones ambientales de grandes inversiones, como represas o explotaciones mineras y petrolíferas. Es importante que los arqueólogos ejerzan esa labor de manera lúcida, responsable y ética, y que pongan cuidado en evaluar adecuadamente los riesgos que pueda correr el patrimonio natural y cultural del continente.

Citemos para concluir unas palabras de Lafone Quevedo, uno de los pioneros que mencionamos al comienzo: *...por experiencia sé cómo cambia de aspecto un país cuando podemos decir: aquí sucedió tal cosa, allí tal otra, y cuando cada legua nos presenta un recuerdo histórico.* Construir la memoria enriquece a las sociedades, ya que recuperar, valorar y respetar las diversas culturas que las constituyen es condición necesaria para dotar de amplitud y profundidad al presente. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BARBERENA R, **BORRAZZO K** y **BORRERO L** (eds.), 2009, *Perspectivas actuales en arqueología argentina*, IMHICIHU, Buenos Aires.

DIEZ JC y y **NASTRI J** (eds.), 2011, *Cómo sobrevivir con dos piedras y un cerebro. Manual práctico de arqueología experimental*, Atapuerca-Fundación Félix de Azara, Burgos.

JOHNSON M, 2000, *Teoría arqueológica. Una introducción*, Ariel, Barcelona.

RENFREW C y **BAHN P**, 1993, "Diario de los Yacimientos de la Sierra de...", *Arqueología. Teorías, métodos y prácticas*, Akal, Madrid.

José A Pérez Gollán

Doctor en historia, Universidad Nacional de Córdoba. Investigador principal del Conicet.

Javier H Nastri

Doctor en arqueología, UBA. Investigador independiente del Conicet en la Universidad Maimónides.

Gustavo G Politis

Doctor en ciencias naturales, UNLP. Profesor titular, UNCPBA y UNLP. Investigador superior del Conicet.

gpolitis@fcnym.unlp.edu.ar

CH 25 años

José Carlos Chiaramonte
Instituto de Historia Argentina y Americana Emilio Ravignani, UBA-Conicet

Reflexiones sobre la naturaleza y las perspectivas de la investigación histórica

El propósito de aventurar un juicio sobre el futuro desarrollo de la investigación histórica se complica por la dificultad propia de la índole del conocimiento en este campo del saber. Si en las ciencias exactas y naturales existen criterios encontrados respecto de la naturaleza de la 'verdad' y de los procedimientos para alcanzarla, las discrepancias son mayores en la historia por efecto de la mayor diversidad de supuestos teóricos en que se basan las llamadas *ciencias humanas*, y también por lo que implica que su campo de indagación sea el pasado.

En el párrafo anterior podemos advertir ya otro reflejo de las dificultades del problema. Me pregunto, por ejemplo, porqué eludí la expresión *ciencias duras* y, además, si el sustituto *exactas* y *naturales* conserva aún valor. No se me hubiera ocurrido proferir *ciencias blandas*, tanto por razones de pudor, inevitable en alguien perteneciente a ellas, como porque en la actividad profesional de muchos de sus cultores no suelen registrarse blanduras.

Pero la mayor complejidad de este asunto deriva de las particularidades de la investigación del pasado de la humanidad. Una primera dificultad proviene del desacuerdo entre historiadores que consideran que su labor posee un objeto real y procedimientos de conocimiento válidos para su investigación, y los que estiman que el conocimiento histórico es equiparable a los productos de la ficción. Pronosticar qué líneas de investigación pueden preverse para el futuro diferiría según las posturas adoptadas.

Por otra parte, la complejidad del conocimiento científico en la historia no consiste solo en su frecuente índole imperfecta o provisoria. En la historia hay un problema anterior: la inexistencia actual de su objeto, no un objeto existente y solo momentáneamente oculto a la indagación. Las ciencias naturales investigan objetos que por lo general están aquí y ahora (o allá, para los astrónomos, pero en tal caso, a partir de conocimientos relativos a lo accesible aquí y ahora), con excepciones como las de la paleontología.

Esto no desconoce que en las ciencias naturales el objeto investigado tampoco es evidente por sí mismo y está mediado por las herramientas conceptuales y técnicas de la investigación. Pero la historia investiga objetos que no están aquí, ni ahora, sino que existieron y desaparecieron, dejando solo dos tipos de indicios: testimonios de participantes y testigos, y vestigios materiales. En el caso de testimonios de participantes o testigos de los sucesos en estudio, la evidencia es incierta por la subjetividad propia de la observación, y requiere particulares procedimientos de verificación. Ese rasgo de subjetividad es también un

¿DE QUÉ SE TRATA?

La mayor parte de los historiadores considera que los hechos del pasado son cognoscibles y evaluables mediante los procedimientos apropiados, y para ello formulan hipótesis y buscan verificarlas mediante evidencias empíricas.

riesgo que acecha al propio historiador, por motivos que van desde prejuicios personales a supuestos ideológicos.

Pero habitualmente el historiador no parte de vestigios del pasado sino de productos historiográficos elaborados previamente por otros historiadores. Podría argüirse que su situación es similar a la del investigador de cualquier disciplina, que por lo general parte del resultado de investigaciones anteriores. Pero, para el historiador, el estudio del pasado añade una dificultad distinta, recién aludida, que es una de las más serias de afrontar: el efecto de su afinidad intelectual y aun emocional con lo investigado. Es decir, el posible efecto deformador motivado por el hecho de que *la historia es producto del trabajo de seres humanos relativo a asuntos humanos*. De ahí nace también un frecuente cuestionamiento de la posibilidad del conocimiento del pasado –objeción por demás discutible: el argumento del filósofo italiano Benedetto Croce de que toda historia es historia contemporánea–. De acuerdo con ese criterio, la interpretación del pasado estaría determinada por intereses intelectuales del presente, de manera tal que el resultado sería la imposibilidad de conocerlo tal cual fue.

Se advierte, también, la dificultad proveniente del enfoque con que solemos dar cuenta de las diferencias entre las ciencias al remitirlas a las de su objeto, según la distinción *ciencias de la naturaleza-ciencias de la sociedad*. Y, en el caso en que se escinda a la historia de las ciencias sociales como parte de las humanidades, la distinción crecería por la aparente ausencia en ella de los requisitos del método experimental.

Pero su peculiaridad proviene no solo de lo que distingue los hechos naturales de los sociales, sino de lo que las diferencias temporales de estos implica de diferencias en metodología y técnicas de trabajo, y hasta en construcciones teóricas como las que pueden motivar las sociedades prehistóricas o las contemporáneas. Se trata de algo que está en la base de la diferencia entre la economía política y la historia económica y que es también uno de los motivos del desacuerdo entre historiadores de la economía que conciben las leyes económicas como válidas para todo tiempo y lugar –prolongando los criterios de la denominada *economía clásica*–, con otros para quienes esas leyes resultan función de cada época.

Otra característica diferenciadora de la historia es el grado de cuantificación de sus hallazgos, pues los historiadores acometen trabajos de distinta naturaleza. Unos consisten en mediciones, evaluaciones e inferencias sobre su objeto, en los que lo más cercano a la cuantificación se encuentra en disciplinas como la historia económica o la demografía histórica, aunque también se registra en otras especialidades, aun en las más presuntamente alejadas de tal perspectiva, como los estudios lexicométricos en historia política, los de prosopografía en la misma especialidad, y en estudios de historia social, entre otros.

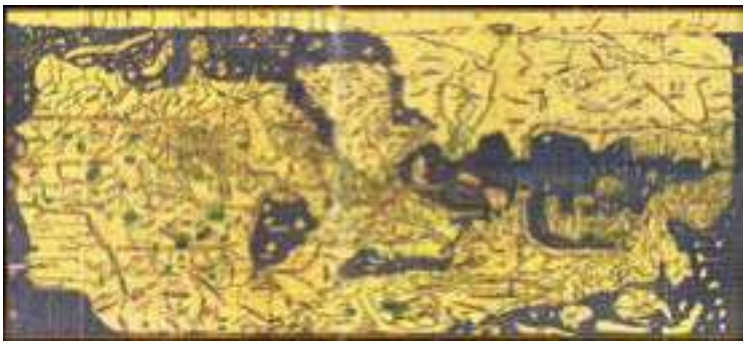
Pero la más destacable particularidad de la historia consiste en que uno de sus principales objetos es algo que escapa a la posibilidad de cuantificación: el estudio de acontecimientos particulares que se destacan en un lapso dado. Lo que frecuentemente constituye el objeto del historiador es precisamente lo no sometido a leyes, lo que escapa a la búsqueda de regularidades; por ejemplo, el papel de las grandes personalidades o fenómenos como revoluciones, guerras o contiendas políticas, que acortan, prolongan, empobrecen o enriquecen la vida humana, con independencia de las leyes que la rigen –individual o grupalmente considerada– desde el nacimiento a la muerte.

Si alguien arguyese que se pueden obtener resultados cuantificables, por ejemplo, de la serie de guerras en determinado lapso histórico, la respuesta sería que, independientemente de ese resultado que nos informaría de tendencias generales, a la historia le importa también la singularidad de cada una de esas guerras. Por eso, cuando a este tipo de reflexiones se conteste que la historia como ciencia comienza solo cuando puedan establecerse tal tipo de tendencias y regularidades, se puede responder que gran parte del interés de la historia se centra en lo circunstancial y, consiguientemente, en la capacidad de los seres humanos de modificar el curso de procesos históricos y, más aún, en la capacidad de regular las relaciones interindividuales.

Se trata de algo que sí contemplaban quienes, como es el caso de filósofos pertenecientes al historicismo alemán, concebían como objeto distintivo de la historia el estudio de lo particular y producían una opuesta aunque equivalente mutilación del quehacer historiográfico. Porque la más distintiva peculiaridad de la historia es la de reunir ambas facetas del trabajo intelectual, característica que no surge solo de la necesidad de reunir auxilios provenientes de todos los campos del saber –por cuanto la historia es un conjunto de historias: historia de la ciencia, historia política, historia de las ideas, historia económica, historia de la cultura, historia del arte, historia de la población–. Su principal singularidad proviene de esa cualidad de reunir dos perspectivas intelectuales que suelen considerarse incongruentes: el estudio de regularidades cuantificables, y la indagación y el relato de acontecimientos particulares.

Perspectivas

Excedidos por el incesante incremento de la especialización, los historiadores no suelen interrogarse sobre el sentido de su quehacer ni sobre su inserción en el conjunto de la disciplina. Siguiendo el flujo de corrientes historiográficas característico de la profesión –a veces lamentablemente meras modas académicas–, entre las tendencias enriquecedoras se cuentan desde los últimos años las que con expresiones discutidas se han llamado *nueva historia política* y *nueva historia intelectual*. Fuesen realmente nuevas formas de hacer historia o, como afirman algunos, solo un conjunto de nuevos enfoques, cabe destacar en parte de sus



Tabula rogeriana, mapa del geógrafo árabe Muhammad al-Idrisi (1100-1165), 1154. Biblioteca Nacional de Francia

cultores la consideración de estas disciplinas como campos autónomos del saber –por su distanciamiento de la historia económica, nexo de amplia vigencia en las décadas de 1960 y 1970, y por su falta de inserción en algunas de las grandes teorías interpretativas de la historia– mientras otra parte continúa interrogándose sobre los nexos de su trabajo con el conjunto de la historia.

En el marco de estas y otras orientaciones han sido abordados problemas de la vida social antes descuidados, como la historia de la vida privada, la historia de las mujeres o los conflictos interétnicos, entre otros, y se ha renovado el enfoque de la formación de los Estados nacionales. Parte de los avances provienen también de una corriente desarrollada en las últimas décadas, los denominados *estudios culturales*, de imprecisa definición, que tienden a una concepción unificadora de los distintos campos historiográficos. En todos estos ámbitos ha cobrado importancia una metodología denominada análisis del discurso, surgida aproximadamente en la década de 1960, cuyo auge suele a veces asociarse a innovaciones provenientes del denominado *giro lingüístico* de la primera mitad del siglo XX.

De todos modos, no han desaparecido los trabajos de historia económica, con dos grandes motivaciones. Una, la de examinar las actividades económicas de momentos del pasado que suscitan el interés de los historiadores. La otra, convertir a la investigación del pasado en una especie de campo de prueba de algunos esquemas de análisis de la economía contemporánea, objetivo que puede colisionar metodológicamente con el criterio del condicionamiento histórico de las leyes económicas.

La historia económica, así como buena parte de lo que se hace en historia política, historia de los movimientos sociales o historia intelectual, en realidad, sigue caminos opuestos a los propulsados por quienes conciben la historia como solo construcción discursiva. Creo que uno de los rasgos propios del desarrollo de la ciencia moderna es que, independientemente de sus posibles creencias religiosas, los científicos trabajaban bajo el supuesto de que el mundo exterior existe, es cognoscible y funciona con sus propias leyes, las que descartan la intromisión de factores sobrenaturales.

De hecho, también los historiadores han trabajado así aunque, a partir de las llamadas *corrientes antipositivistas* de fines del siglo XIX en adelante, se han formulado diversas alternativas metodológicas. Sin embargo, la mayor parte de ellos siguen considerando que los hechos del pasado son cognoscibles y evaluables mediante el uso de procedimientos apropiados, y continúan reproduciendo en su trabajo la estructura lógica del método experimental. Por ejemplo, ¿por qué el famoso recurso al archivo, a la búsqueda de evidencias en los archivos históricos? Porque pese a todo el debate relativo a la estructura del conocimiento, y pese a las críticas provenientes de los estudios culturales, gran parte de los historiadores continúan bajo el esquema del método experimental, formulando hipótesis y buscando verificarlas mediante evidencias empíricas.

Cabe por último aludir, en esta brevísima reseña, a la vieja aspiración de lograr un enfoque global de la historia de la humanidad. Es cierto que, si bien se mira, es posible que esa aspiración sea producto de una limitación de lenguaje, porque mientras 'naturaleza' y 'ciencias naturales' son denominaciones distintas para, respectivamente, el objeto y las disciplinas que lo estudian, 'historia' es un único nombre usado para designar a ambos. Pero esa aspiración sigue atrayendo y a ella han tendido dos soluciones distintas. Una, de pocos ejemplos, las obras de algunos historiadores que han buscado acercarse a ese objetivo. Otra, las ediciones colectivas que, en realidad, son una reunión de historias parciales. Saber si el efecto a la vez enriquecedor y distorsionante de la creciente especialización de los historiadores pueda compensarse con un esfuerzo en pos de la unidad que implica el concepto de historia es aún una incógnita difícil de despejar. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CARR EH, 1966, *¿Qué es la historia?*, Seix Barral, Barcelona.

HOBSBAWM E, 2002, *Sobre la historia*, Crítica, Barcelona.

MOMIGLIANO A, 1990, 'Estudios bíblicos y estudios clásicos. Simples reflexiones sobre el método histórico', en *Páginas hebraicas*, Mondadori, Madrid.

WHITE H, 1992, *El contenido de la forma. Narrativa, discurso y representación histórica*, Paidós, Buenos Aires.

José Carlos Chiaramonte

Historiador. Graduado en filosofía, Universidad Nacional del Litoral.
Profesor honorario de la Universidad de Buenos Aires.
Investigador superior del Conicet en el Instituto Ravignani, UBA-Conicet.
chiaramo@retina.ar

Nova totius terrarum orbis geographica ac hydrographica tabula, mapa de Henricus Hondius (1573-1650), ca. 1630. Biblioteca del estado de Nueva Gales del Sur

CH 25 años

Hilda Sabato
Instituto de Historia Argentina y Americana Emilio Ravignani, CONICET-UBA

La historia en tiempo presente

La producción historiográfica mundial de los últimos años muestra, en primera aproximación, dos rasgos evidentes: una expansión sostenida de los trabajos realizados en la disciplina y una heterogeneidad de enfoques y metodologías. En ese contexto, cualquier intento de dar cuenta del estado del arte o de predecir tendencias a futuro resulta, cuanto menos, arriesgado y con escasas probabilidades de éxito. Es posible, sin embargo, detectar algunas orientaciones muy generales, que se inscriben en la serie de cambios decisivos inaugurados hace más de tres décadas y que imprimen nuevas marcas a la historia.

Historia global

Estamos en la hora de la *historia global*, que desde los centros de producción más renombrados en la disciplina ha salido a conquistar la historiografía de un mundo en vías de globalización. No hay una definición precisa del término, que se utiliza genéricamente para hacer referencia a un conjunto de aproximaciones diferentes al pasado. Estas tienen, sin embargo, un denominador común: la crítica a las *historias nacionales*, que focalizan su mirada dentro de las fronteras de cada país o de otros espacios sociopolíticos específicos, como imperios o ciudades-estado. Así, se han acuñado distintos términos para aludir a diferentes orientaciones incluidas dentro del amplio marco de la historia global, entre las cuales se destacan las historias transnacional, mundial y cruzada (*croisée*).

Más allá de ese punto de partida ¿qué se proponen esas historias? Si bien la literatura sobre el tema es prolífica y el debate intenso, existe cierta coincidencia en señalar que estamos ante una perspectiva historiográfica, una manera de interrogar el pasado que aspira a ampliar los marcos y las escalas espaciales y temporales de referencia, pero que no tiene el estatuto de una teoría o metodología precisa.

Es posible distinguir dos orientaciones principales en el conjunto de enfoques que, con nombres diferentes, reconocen esta perspectiva. Por una parte, están los trabajos que se proponen trascender las fronteras políticas

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las formas de hacer historia han variado de manera sustantiva en los últimos treinta años. ¿Cuáles han sido los cambios más importantes que revolucionaron la disciplina?

y territoriales de sociedades particulares para atender a procesos más abarcadores, idealmente globales o mundiales, pero también regionales, y que se ocupan de cuestiones como, por ejemplo, la producción y difusión del café, del maíz o del chocolate en el mundo; la Primera Guerra Mundial como fenómeno que no solo incumbe a los países directamente afectados, sino también al resto del planeta, o el proceso revolucionario del siglo XVIII y principios del XIX en el llamado mundo atlántico, donde se incluye a Inglaterra, Francia, la península ibérica, Estados Unidos e Iberoamérica. Por otra parte, están aquellas indagaciones que se preocupan por los intercambios, los flujos, las transferencias y las conexiones entre sociedades diversas, y que abordan temas como las migraciones, la circulación de mercancías, los contactos culturales y los entrecruzamientos que ocurren entre espacios diferentes. En sus versiones más atractivas, estas dos orientaciones no reniegan de las historias más acotadas, sino que se proponen abordajes que atiendan a diferentes escalas de observación y análisis.

Si bien esta es una síntesis un tanto esquemática de un campo complejo y en expansión, nos muestra que no estamos ante problemas estrictamente nuevos, pues desde los orígenes mismos de la disciplina no han faltado los intentos de escribir historias universales, así como de dar cuenta de las articulaciones de diversa índole entre distintas partes del mundo. Lo novedoso reside, quizá, en dos factores que han potenciado la vigencia de estas propuestas. Primero, ante un mundo que se globaliza y en el que circulan ideologías de globalización, interrogarse sobre ese proceso ha puesto en primer plano la cuestión de las escalas espaciales y temporales de indagación. Segundo, la propia disciplina ha experimentado una intensificación de los intercambios y las interconexiones, que ha reforzado la influencia de las historiografías que se practican en los países centrales, lo que llevó a una relativamente rápida expansión de la historia global. En esta materia, la prédica en pos de no replicar las viejas formas de la historia universal –caracterizada por un eurocentrismo hoy objeto de fuertes críticas– no implica, sin embargo, el fin de las hegemonías a la hora de construir conocimiento. Y si bien en América Latina existen muy interesantes precedentes en materia de aproximaciones globales o transnacionales al pasado, la nueva ola proviene, en este caso, de los centros académicos del norte.

La coyuntura favorece, así, la vigencia de la historia global. Pero ¿cuánto hay de nuevo y transformador en esta tendencia?

Crisis y cambio

Como otras áreas del conocimiento, en su vasta trayectoria la historia se rigió por diferentes paradigmas epistemológicos. Su consagración profesional tuvo lugar en el siglo XIX, cuando se sistematizaron las reglas de lo que se consideraba una historia científica. El estudio del pasado humano (que a eso se dedica nuestro campo) se ajustó desde entonces a las convenciones que la propia comunidad profesional fue estableciendo para distinguirla de aproximaciones al pasado hechas desde la literatura, la política o el periodismo.

A lo largo del siglo XX la disciplina experimentó importantes cambios, el último de los cuales se inició en la década de 1980, cuando una profunda crisis sacudió las formas vigentes desde hacía varias décadas. En consonancia con transformaciones culturales más amplias, se inauguró entonces la crítica a los llamados *grandes relatos*, que postulaban un avance progresivo de la humanidad que, según diferentes versiones, llevaba inevitablemente hacia la modernización, el desarrollo o la expansión de las fuerzas productivas. La puesta en cuestión de ese presupuesto fuerte para las disciplinas sociales, incluida la historia, incidió de manera directa en sus prácticas.

Otro núcleo de cuestionamiento se dio en torno al estructuralismo y a las nociones de totalidad y determinación social, que habían marcado la disciplina en su proceso de renovación anterior, en las décadas centrales del siglo XX. Frente a los tradicionales enfoques de historia institucional y política, estas visiones postularon la necesidad de detectar los mecanismos profundos de funcionamiento social, radicados en la dimensión material de la vida humana: solo a partir de esas estructuras podía explicarse el devenir de cada sociedad. La historia se identificó entonces con las ciencias sociales, en un movimiento a partir del cual la economía y la sociología se convirtieron en disciplinas de referencia obligada que proveían a los historiadores de modelos de causalidad fuerte y métodos positivos. Al mismo tiempo, en las décadas de 1960 y 1970, la historia social pasó a ocupar un lugar privilegiado como área innovadora por excelencia, desde la cual parecía posible desentrañar las claves de la sociedad en su conjunto.

Un tercer terreno de turbulencia se dio en torno a la noción de tiempo, tan central para los historiadores. En ese plano, hubo un quiebre en las concepciones más lineales de la temporalidad, que postulaban una continuidad entre pasado, presente y futuro. Al estudiar el pasado, los historiadores aparecían, desde el presente, como mediadores entre pasado y futuro. Esta colocación era particularmente importante para legitimar los Estados-nación, en la medida en que la historia les ofrecía articulaciones hacia atrás que confirmaban su camino hacia adelante. Durante los siglos XIX y XX, la disciplina alcanzó con ello un lugar de privilegio, pues desempeñó un papel clave en la construcción de los mitos nacionales. Ese papel se había desdibujado parcialmente hacia la segunda posguerra, pero la historia siguió influyendo en la constitución de identidades colectivas, ya no solo nacionales sino también étnicas y de clase. El quiebre de la

concepción continua del tiempo resultó, en cambio, decisiva para desplazarla de ese lugar, el cual ahora quedó, básicamente, en manos del campo de la memoria social.

Todos estos cambios contribuyeron a poner en crisis las formas de concebir y escribir la historia que habían mantenido su hegemonía durante varias décadas, y dieron paso a revisiones radicales sobre la naturaleza de la producción historiográfica y las características del conocimiento histórico, así como a un período de controversias y ensayos en diferentes direcciones. La segmentación de las miradas sobre el pasado, la multiplicidad de lenguajes y estrategias de investigación, la disolución de hegemonías interpretativas y la falta de confianza en cualquier interrogación que se pretendiera omnicomprensiva mostraron que el paradigma epistemológico previo se disolvía, mientras otro tomaba forma. A partir de allí, la propia práctica historiográfica fue generando renovados parámetros para el oficio, reglas y protocolos siempre pasibles de nuevos cambios pero que se han mostrado resistentes a cualquier subordinación a teorías sociales y filosofías de la historia.

Esta transformación abrió la disciplina a una diversidad de preguntas, métodos e interpretaciones. El repertorio de temáticas de indagación experimentó un verdadero estallido y hoy no hay ámbito del quehacer humano que quede descartado de la agenda del historiador. Han surgido, asimismo, orientaciones originales –como la perspectiva de género y la microhistoria, entre otras–, con importante impacto sobre las formas de analizar el pasado. Por su parte, la historia social y la económica no ocupan ya un lugar de privilegio, mientras que ramas que habían quedado relegadas, como la historia política y la historia cultural y de las ideas, se renovaron profundamente, a la vez que surgieron otras nuevas, entre ellas la historia ambiental y la conceptual.

Esta coexistencia de concepciones historiográficas, que no ha sido siempre pacífica, se ha revelado, sin embargo, reacia a las hegemonías. Posiblemente el intento más sostenido y solo parcialmente exitoso de imponer una nueva ortodoxia haya sido el llamado *giro lingüístico*, que hacia finales del siglo XX desencadenó verdaderos combates, sobre todo en el mundo académico estadounidense y de algunos países europeos. Hoy las controversias se han calmado, las propuestas de esa corriente han contribuido a complejizar la construcción del conocimiento histórico y se ha llegado a un consenso inestable de convivencia historiográfica e institucional entre diversas ramas específicas, orientaciones teóricas y epistemológicas, e inclinaciones temáticas, en un marco general común y compartido. Esta situación ha generado algunos reclamos por la fragmentación de la disciplina, que desalienta las preguntas e interpretaciones integradoras destinadas a dar cuenta de procesos sociales amplios.

La historia global mencionada al comienzo de esta nota se inscribe en las nuevas tendencias. Si bien en alguna de sus versiones se orienta a investigar, precisamente, fenómenos de índole global o general, está lejos de pretender dar cuenta de la totalidad a la manera de las explicaciones omnicomprensivas de otras épocas. Asimismo, al proponer romper con miradas hacia adentro de las fronteras de espacios políticos como la nación, se inscribe en la señalada tendencia a aumentar la autonomía de la historia frente a imperativos –como la construcción de identidades o el reforzamiento de legitimidades políticas– que ponían límites a su independencia como campo de conocimiento. En materia metodológica, por su parte, en la medida en que pone el acento en la perspectiva de análisis más que en los fundamentos de la investigación, sus formulaciones son acotadas y específicas. Estas precisiones no pretenden opacar sus logros, sino ubicarlos en el marco del profundo cambio que se inició hace más de tres décadas y del cual –estoy convencida– la historia global es parte. Ella contribuye a la renovación, pero no plantea desafíos fuertes al consenso, laxo y a la vez bastante sólido, que prevalece en la disciplina acerca de la práctica historiográfica. En suma, no estamos frente a una revolución en los parámetros que la orientan, sino a una manifestación más de su vigencia. Cuando lleguen los vientos de cambio–si llegaran– seguramente vendrán de otro lado. CH

LECTURAS SUGERIDAS

APPLEBY J, HUNT L & **JACOB M**, 1994, *Telling the Truth about History*, Norton, Nueva York [versión castellana: *La verdad sobre la historia*, Andrés Bello, Santiago, 1998].

CHARTIER R, 1996, *Escribir las prácticas. Foucault, de Certeau, Marin*, Manantial, Buenos Aires.

WERNER M & **ZIMMERMANN B**, 2003, 'Penser l'histoire croisée: entre empirie et réflexivité', *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 58, 1: 7-36, y en *http://www.cairn.info/ revue-annales-2003-1-page-7.htm.*

STRUCK B, FERRIS K & **REVEL J**, 2011, 'Introduction: Space and Scale in Transnational History', *The International History Review*, 33, 4: 573-584.

GILLS B & **THOMPSON WR** (eds.), 2006, *Globalization and Global History,* Routledge, Nueva York [versión castellana: *Globalización e historia*, Universidad de Zaragoza, 2009].

PALTI E, 1998, *Giro lingüístico e historia intelectual*, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal.

Hilda Sabato

Doctora en historia, Universidad de Londres. Investigadora superior del Conicet.

hsabato@arnet.com.ar

Miguel de Asúa
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Ciencia como cultura

Las derivas de la historia y la filosofía de la ciencia

Es arduo definir a la ciencia. Desde un punto de vista filosófico, se trata de un tipo de conocimiento sobre la realidad, garantizado por una fundamentación empírica y en ocasiones sistematizado matemáticamente. Desde una perspectiva afín a las ciencias sociales, ciencia es lo que hacen aquellos que se declaran pertenecientes al sistema científico y a las estructuras e instituciones de dicho sistema. Para advertir la enorme heterogeneidad temática y metodológica de lo que entra bajo el concepto de ciencia, no hace falta más que hojear las páginas de una revista como *Nature* o *Science*, ¿Qué tienen de común todas esas cosas? No demasiado y, sin embargo, todos estamos más o menos seguros de que cuando hablamos de 'ciencia' estamos refiriéndonos a algo tan sólido y evidente como un banco de plaza en un día de sol.

La ciencia como cultura

De una polémica sobre las relaciones entre el puritanismo, el capitalismo y la revolución científica que tuvo lugar en 1964 en la revista *Past and Present* entre el historiador marxista inglés Christopher Hill (1912-2003) y su colega y crítico Hugh F Kearney (1924-) resultaron dos conclusiones: (i) el surgimiento de la ciencia moderna fue simultáneo con el ascenso del capitalismo, y (ii) las relaciones entre capitalismo, ciencia y puritanismo constituyen una cuestión muy espinosa y discutida. Es sabido que fue la escuela de sociología alemana de comienzos del siglo XX la que planteó las relaciones entre pensamiento protestante y capitalismo –la famosa tesis de Max Weber (1864-1920), publicada por primera vez en 1904, y la posterior de Ernst Troeltsch (1865-1923), que data de 1911–.

A su vez, en 1938, el sociólogo estadounidense Robert K Merton (1910-2003), algo así como el padre fundador de la sociología clásica de la ciencia, publicó en un número monográfico de *Osiris* un trabajo en el que, sobre la base de elaboraciones estadísticas, argumentaba acerca de la participación sobresaliente de los sectores puritanos en la revolución científica. La tesis de Merton fue muy criticada en las últimas décadas, por ejemplo, en un número especial de 1989 de la revista *Science in Con-*

¿DE QUÉ SE TRATA?

La historia y la filosofía de la ciencia, que permiten entender cómo la ciencia es un fenómeno cultural, adquirirán mayor importancia en el futuro con el creciente reconocimiento del cometido de esta en la sociedad.

Las instalaciones de BASF (*Badische Anilin und Soda Fabrik*) en 1890, en Ludwigshafen, sobre el Rin. La industria química alemana de fines del siglo XIX fue uno de los pilares de la segunda revolución industrial que, a diferencia de la primera del siglo XVIII, se fundó en los progresos de la ciencia, en especial la química.

text. Pero no hace falta profundizar en los debates sobre las componentes sociopolíticas del origen de la ciencia moderna para darse cuenta del peso de la aseveración de que la ciencia es un producto social y cultural.

Lo fascinante (por lo menos para el que esto escribe) es que sea, a la vez, una búsqueda de reconstruir teóricamente el universo material para aproximarnos a su estructura y poder operar sobre ella (o evitar hacerlo). Toda cultura reinterpreta simbólicamente el universo y se construye una imagen de él. La ciencia moderna, tal como la conocemos, es un elemento decisivo en la representación contemporánea del mundo. Más allá de las obvias transformaciones sociales producidas por la tecnología, la ciencia configura a tal extremo los modos de pensar y de vivir de nuestras sociedades modernas, que su tremenda influencia nos resulta transparente.

La exitosa serie de televisión *Connections*, del historiador de la ciencia británico James Burke, que la BBC estrenó en 1978, era una demostración práctica de cómo el complejo de conocimientos empíricos constituido por la ciencia, la tecnología y la medicina conforma un cerrado entretejido con la historia social y cultural. En la Argentina, por diversos motivos, parece a veces haber síntomas de una negación de la ciencia como fenómeno cultural. Recuerdo que cuando una importante biblioteca pública argentina estaba haciendo un registro de revistas culturales, Ciencia Hoy fue rechazada con el argumento de que era un órgano de divulgación científica. Contra esto, uno podría argumentar que hay géneros literarios que descansan en la ciencia, como la ciencia-ficción o la ficción científica, o hablar de la pululación de temas científicos en el arte. Pero esta ruta de ganar carta de ciudadanía en el mundo de las artes y las letras a partir de casos particulares, si bien productiva, es en el fondo trivial. Porque de lo que se trata es de algo bastante más hondo, a saber, de entender de qué manera la ciencia elabora las redes conceptuales con las que nos orientamos en el mundo, y nos otorga un vocabulario y un equipo mental para comprender la realidad y comprendernos.

Sobre todo a partir de la Ilustración, que la adoptó como modelo de racionalidad y orden social, la ciencia constituyó buena parte de la columna vertebral de la historia de Occidente, tanto para bien como para mal. Es curioso que quienes más pongan esto de relieve sean los críticos de la ciencia, en particular la crítica ambientalista, que argumenta que el complejo de ciencia e industrialismo funcionó en detrimento del ambiente y a favor de la explotación de los recursos (ver, por ejemplo, las obras de la historiadora de la ciencia feminista Carolyn Merchant). El villano de estas historias es invariablemente Francis Bacon, con su eficaz retórica de dominio y sometimiento de la naturaleza y su apología del método científico.

Un químico y novelista inglés, Charles Percy Snow (1905-1980), a la larga alto funcionario de política

La era atómica se instaló como denominación histórico-cultural durante la década de 1940, de la misma manera como, en la de 1980, la revolución digital dio lugar a la era digital. Equipo recreativo-didáctico para niños, Estados Unidos, ca. 1950.

científica en su país, acuñó a comienzos de la década de 1960 la ahora archimencionada idea de 'las dos culturas', para expresar lo que él veía como el abismo que separaba el mundo de las humanidades del de las ciencias. Lo que Snow hizo fue, en realidad, magnificar la falta de comunicación entre científicos y gente de letras que partía las aguas en el enrarecido invernadero intelectual que es la Universidad de Cambridge. Y su proyecto de superar esa división se vinculaba con acentuar la influencia de los países occidentales sobre el Tercer Mundo, en tiempos de la Guerra Fría. Pero, más allá de esto, parece oportuno ver que el uso que se suele hacer de la intuición de Snow a favor de cerrar una supuesta brecha de culturas académicas muchas veces enmascara una cuestión más radical: la de la falta de reconocimiento de la ciencia como fenómeno cultural.

La historia y filosofía de la ciencia

Desde la Antigüedad, correspondieron a la filosofía los intentos de definir qué es la ciencia. Pero si al momento de contar la historia de los intentos de dar cuenta de la ciencia comenzamos con los pitagóricos del sur de Italia en el siglo VI antes de nuestra era, el surgimiento de la *filosofía de la ciencia* como disciplina académica independiente tuvo lugar recién en la segunda mitad del siglo XIX, el momento de triunfo de la física clásica, la formulación de la teoría evolutiva y el florecimiento de la segunda revolución industrial, asentada sobre la industria química y la electricidad. Por su parte, la *historia de la ciencia* se configuró como disciplina poco más tarde, durante la primera mitad del siglo XX. La más reciente de estas especialidades es la *sociología de la ciencia*, que apareció después de la Segunda Guerra Mundial.

Entre la primera y la segunda posguerra del siglo XX, el empirismo lógico constituyó la ortodoxia de la filosofía de la ciencia, con sus raíces en el empirismo inglés, el positivismo alemán y los grandes avances de la lógica de fines del siglo XIX y comienzos del XX. En la década de 1960, como consecuencia de la revolucionaria obra del historiador estadounidense de la ciencia Thomas Kuhn (1922-1996), la filosofía de la ciencia resultó transformada por un giro historicista, que desembocó en el establecimiento de programas conjuntos de historia y filosofía de la ciencia.

En la década de 1980 irrumpió con fuerza en ese escenario la sociología del conocimiento científico, en la versión denominada 'programa fuerte', que buscaba estudiar las determinaciones macro y microsociales de los contenidos de la ciencia. Si poco antes había sido la historia la que había renovado la filosofía de la ciencia, ahora era la sociología la que, con vocación hegemónica, se convertía en un polo de aglutinación de los que, a partir de entonces, comenzaron a llamarse 'estudios sociales de la ciencia' (SSS, por su sigla en inglés).

En el entramado teórico e institucional de este nuevo tipo de programas se fue perfilando el área de los 'estudios de ciencia, tecnología y sociedad', con una impronta más sociológica que histórico-filosófica, y más tecnológica que científica. A mi entender, después de haber atravesado las sacudidas posmodernas, y haber comprado la partida entera de herramientas teóricas de deconstrucción y construcción de discursos, la historia de la ciencia sale de esta saga agotada y desorientada. A algunos de mi generación, que ingresamos a la disciplina movidos por un entusiasmo por las ciencias humanas que

La teoría heliocéntrica de Copérnico, manifestada en plenitud en el libro altamente técnico *De revolutionibus* (1543), transformó profundamente la imagen del mundo.

no colisionaba con la admisión de la validez del conocimiento de las ciencias naturales, se nos hace difícil reconocer, cuando hojeamos las revistas de la especialidad, qué queda de aquella historia de la ciencia robusta y vital de las décadas de 1960-1980, que fue el motivo por el cual nos enamoramos de la disciplina.

Ante el grado de fragmentación discursiva, es difícil pronosticar qué será de la historia de la ciencia en los próximos años. Agotadas las variantes de la gran narrativa de la revolución científica, la historia de la ciencia ha entrado en lo que podemos calificar como un período helenista, con una historiografía hiperelaborada y un estilo demasiado maduro que, aun cuando sorprenda por el virtuosismo, no deja de ser un ejercicio de *omphaloskepsis*, sin mucho que comunicar más allá de un círculo áulico de especialistas. En Iberoamérica podrían ir un poco mejor las cosas, dado que considerables segmentos de la historia de la ciencia en la región restan por ser explorados. Pero habría que esperar que los futuros autores de estas historias posibles eviten tanto el enfoque presentista o anacrónico de la historiografía anterior a 1930, como las versiones locales de la historiografía anglohablante de la costa oeste de los Estados Unidos y su muy particular óptica de ese objeto imaginario que se ha dado en llamar *Latin American science*.

En cuanto a la filosofía de la ciencia, tuvo lugar entre nosotros una curiosa historia. En las últimas décadas experimentamos aquí el auge de la epistemología, nombre con el que se designa a la filosofía de la ciencia. Paradójicamente, mientras que el modelo teórico predominante recibido y difundido aquí fue el anglosajón, lo que podemos llamar el modo social de la disciplina se asemejó más al francés, es decir, la epistemología pasó a ser una suerte de moda cultural, algo de lo que todo el mundo hablaba para sentar patente de persona actualizada.

Esto contrasta con lo que sucedido en los Estados Unidos, donde esta materia fue siempre el oficio de un puñadito de especialistas, en general jóvenes con formación científica (la gran mayoría eran físicos) que hacían sus doctorados en filosofía. Estamos hablando de una formación larga y exigente con resultados más bien esotéricos, muy formalizados y, para el común de las gentes, soberanamente aburridos. El libro de Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (1962), tuvo la (buena o mala, según se mire) virtud de popularizar varias cuestiones de filosofía de la ciencia. Así, en las décadas de 1960 y 1970, en el mundo anglohablante la disciplina experimentó una primavera amable, que fue verano en el Río de la Plata. Pero creo que desde hace una o dos décadas la cosa retomó los carriles de la ultraespecialización. Parecería que el futuro va a ver un desplazamiento desde la filosofía de la ciencia general hacia la especial, es decir, hacia la filosofía de la biología o de la física. El debate sobre el cambio teórico o la dinámica de teorías y la polémica entre realismo científico e instrumentalismo, que dominó el escenario en las últimas décadas del siglo XX, vienen cediendo el paso a temas más focalizados.

Charles Percy Snow (1905-1980), químico inglés de Cambridge, acuñó la noción de las dos culturas. Las novelas de su serie *Desconocidos y hermanos* (*Strangers and Brothers*), que aspiraban a reflejar ambientes científicos ingleses, fueron mal recibidas por la crítica literaria de su país (y con justicia).

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), el historiador y filósofo de la ciencia más influyente de la segunda mitad del siglo XX. Su discutido libro *La estructura de las revoluciones científicas* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962) fue prácticamente un best-seller mundial.

Colofón

La historia y la filosofía de la ciencia continúan siendo la avenida real para acceder a la ciencia como un fenómeno cultural, sobre todo cuando están enriquecidas por enfoques antropológicos, sociológicos y de otras humanidades, como la crítica literaria y la lingüística. En el futuro inmediato, estos complejos disciplinares focalizados sobre la ciencia aumentarán su importancia, en proporción al creciente reconocimiento que se tenga del papel que esta desempeña en la sociedad. CH

Miguel de Asúa

Doctor en medicina, UBA.
PhD en historia, University of Notre Dame.
Profesor titular, Universidad Nacional de San Martín.
Investigador principal del Conicet.

25 ANIVERSARIO

Suscríbase al **conocimiento**

CIENCIA HOY

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

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

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

PROMOCIÓN 25 ANIVERSARIO DE CIENCIA HOY

3 x 2

¡Suscriba a dos amigos y obtenga su suscripción gratis!

EN UN SOLO PASO

SUSCRIPCIÓN 3X2 ☐ $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