CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 23 número 134 agosto - septiembre 2013
Ejemplar en la Argentina $40

HIDROCARBUROS
convencionales y no convencionales

Alimentos para el futuro

El cerebro de los peces

Papas silvestres

Necrolestes

ISSN: 0327-1218

Concurso Literario Juvenil

La CIENCIA en los CUENTOS 2013

El Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Asociación Civil Ciencia Hoy, con el auspicio del Programa de Promoción de la Lectura del Ministerio de Educación de la Argentina, el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC/FCEYN-UBA) y el Área de Ciencias del Centro Cultural Borges, convocan a un concurso de cuentos cortos sobre temas científicos, con el objetivo de promover el interés de los jóvenes por la ciencia y por la literatura.

Se seleccionarán los tres (3) mejores cuentos. El premio consistirá en la publicación en forma de libro de estos trabajos, junto a los cuentos de otros siete (7) participantes, quienes recibirán menciones especiales. Se entregará además una suscripción anual gratuita a la revista Ciencia Hoy a cada uno de los autores de los tres (3) cuentos ganadores.

El jurado está compuesto por los siguientes expertos:

Lic Mariano Ducros, profesor de literatura, Universidad de Palermo, ex director del Departamento de Extensión Cultural del Centro Cultural Borges

Dr Daniel Salomón, investigador independiente del Conicet, primer premio en los concursos Julio Cortázar, Eduardo Bocco y Attilio Betti

Dra Ana María Vara, profesora de la Escuela de Humanidades, UNSAM, diploma al mérito 1997 de la Fundación Konex

Los autores deberán tener entre dieciséis y dieciocho años al cierre de la convocatoria y ser de nacionalidad argentina o bien extranjeros residentes en la Argentina.

El plazo de presentación de las obras se cerrará irrevocablemente el día

30 de SEPTIEMBRE de 2013

Serán coordinadores del concurso
Viviana Bianchi y Alejandro Gangui

Bases del concurso en:
http://cms.iafe.uba.ar/gangui/difusion/concurso/13/

Informes o consultas:

CONICET
Dirección de Relaciones Institucionales
Tel: +5411 5983-1341
Contacto: *eventos@conicet.gov.ar*
www.conicet.gov.ar

Asociación Civil Ciencia Hoy
Tel: +54 11 4961-1824 o 4962-1330
E-mail: *pab@retina.ar*

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

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

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5º 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
Nº 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*

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

Agosto-septiembre 2013
Volumen 23 - Número 134

EDITORIAL

4 **BANCOS DE DATOS GENÉTICOS**

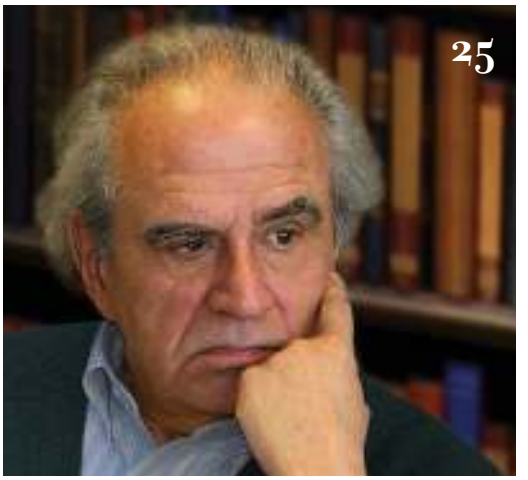
CARTAS DE LECTORES

6 **MAYONESAS**

ARTÍCULO

7 **CENTENARIO DE LA FÍSICA ATÓMICA**
Daniel R Bes

Se cumplen cien años del trabajo fundamental del físico danés Niels Bohr, que permitió entender la estructura atómica e inició los estudios de la física atómica.



ARTÍCULO

12 **NECROLESTES**
Un mamífero patagónico que sobrevivió a la extinción de los dinosaurios
Nicolás R Chimento, Federico L Agnolin y Fernando E Novas

En 1891 Florentino Ameghino dio a conocer restos fósiles correspondientes a un pequeño mamífero extinto de vida subterránea encontrado por su hermano Carlos en yacimientos geológicos de unos 20 millones de años en la Patagonia. Lo llamó *Necrolestes patagonensis*. Con el tiempo se descubrió que pertenecía a una especie mucho más antigua, que había convivido con los dinosaurios y sobrevivido a los cataclismos que causaron la extinción de estos unos 65 millones de años atrás. El esclarecimiento de su historia, aún en sus inicios, arrojaría luz sobre la todavía oscura evolución de los mamíferos del continente sudamericano.

19 **LAS PAPAS SILVESTRES Y EL CONCEPTO DE ESPECIE**
Elsa L Camadro

Para las plantas, el concepto taxonómico de *especie*, definido atendiendo a determinadas características morfológicas, resulta una categoría artificial que con frecuencia no coincide con el orden natural. Esto se aprecia analizando las numerosas papas silvestres que vegetan en las Américas, de las que desciende la papa doméstica que nos alimenta. Pero, si esas características no son confiables para reconocer especies biológicas, ¿cómo reconocerlas? La dificultad reside, en las palabras de un autor, en que la naturaleza ha evolucionado con total falta de consideración por los problemas prácticos que tienen que enfrentar los estudiosos.

25 **GUILLERMO O'DONNELL Y SU CONTRIBUCIÓN A LA CIENCIA POLÍTICA**
Osvaldo M Iazzetta

Guillermo O'Donnell fue uno de los más importantes y originales pensadores sobre democracia y dictadura en la historia de la ciencia política. Sus reflexiones sobre la naturaleza de los regímenes autoritarios sudamericanos, la dinámica de las transiciones de dictadura a democracia y las particularidades no siempre ejemplares de las democracias recuperadas de la región tienen valor y reconocimiento universales.

ARTÍCULO

29 ESTRATEGIAS PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Daniel J Miralles

El inminente aumento de la población mundial plantea serios desafíos para asegurar la alimentación en un futuro cercano. El trigo es uno de los pocos cereales en los que se sustenta la alimentación de la humanidad y, por lo tanto, identificar las estrategias que permitan aumentar su rendimiento por unidad de superficie es un deber fundamental de científicos y técnicos.

35 EL CEREBRO DE LOS PECES Y SUS VARIADAS FORMAS DE REPRODUCCIÓN

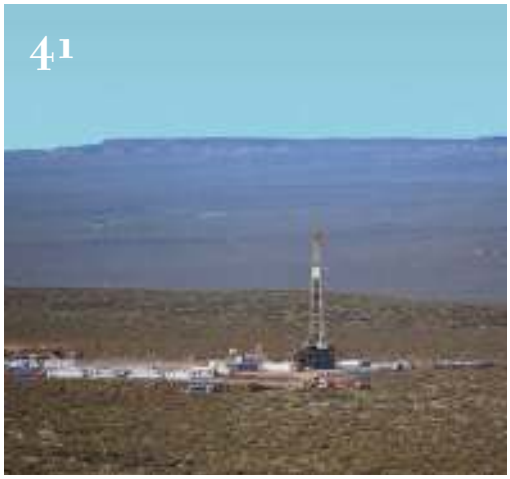
Matías Pandolfi, Martín Ramallo y Agustina Birba

Los peces constituyen el mayor grupo de vertebrados actuales. Tienen más especies que la suma de todos los otros grupos de ellos, así como gran diversidad de formas, colores, tamaños, dietas, hábitats, maneras de reproducirse y modos de vida, además de algunas particularidades que les confieren enorme interés como objeto de estudio de distintas disciplinas científicas. Entre ellas las más destacable es la presencia de un cerebro que sobrevive muchas horas fuera de la cabeza y que además tiene una gran capacidad para formar neuronas a lo largo de toda la vida.

41 HIDROCARBUROS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES

Luis Cabanillas, Gustavo Carstens, Juan Pablo Lovecchio, Patricio A Marshall, Luis Rebori, Juan Carlos Soldo, Eduardo Vallejo y Gustavo Vergani.

¿De qué se habla cuando se menciona *shale gas* y *shale oil*? ¿Cómo son los yacimientos convencionales de hidrocarburos? ¿En qué se diferencian de los no convencionales?



ARTÍCULO

49 PETRÓLEO Y GAS EN LA ARGENTINA: CUENCAS PRODUCTIVAS

Luis Cabanillas, Gustavo Carstens, Juan Pablo Lovecchio, Patricio A Marshall, Luis Rebori, Juan Carlos Soldo, Eduardo Vallejo y Gustavo Vergani.

¿Donde están las cuencas productivas argentinas?

60 LA GEOPOLÍTICA INTERNACIONAL DEL CONOCIMIENTO

Elizabeth Jelin

La producción científica es objeto de estudio por diversos campos académicos, como la historia de la ciencia, la sociología y la antropología del conocimiento, la economía y el análisis de las políticas públicas. La práctica de la ciencia incluye la colaboración entre científicos de distintos lugares del mundo. En las ciencias sociales, a las que se refiere el artículo, esa colaboración a menudo se realiza en el marco de asimetrías de poder entre los centros académicos de los países más avanzados y los de las periferias. Esas asimetrías, sin embargo, podrían ser distintas o no valer para las ciencias exactas y naturales.

CIENCIA Y SOCIEDAD

57 ¿QUÉ SUCEDE CUANDO SE FRÍEN LOS ALIMENTOS?

Mariana Koppmann

Freír es cocinar con aceite o grasa calientes, que pueden estar a temperaturas muy superiores a la de ebullición del agua y provocan la rápida deshidratación de los alimentos que se sumergen en ellos. Pero la fritura debe desecar solo el exterior de las piezas que se fríen y mantener en el interior la humedad propia del alimento. Para lograrlo, con raras excepciones —como las papas—, no se fríe directamente sino después de haber recubierto o *rebozado* las piezas con sucesivas capas secas y húmedas, como pan rallado y huevo, o con una mezcla de diversos ingredientes, como almidones, leche, huevos o bebidas gasificadas.

Víctor B Penchaszadeh
Universidad Nacional de La Matanza

Bancos de datos genéticos

Los bancos de datos genéticos, también llamados genéricamente *biobancos*, se componen de dos partes: una guarda físicamente muestras biológicas y fragmentos de ADN y ARN que se extraen de ellas; la otra archiva electrónicamente la información genética contenida en esas muestras, que consiste en el registro digital de las secuencias de las estructuras químicas que componen dichos fragmentos. El almacenamiento se organiza de forma tal que permita manipular grandes masas de datos para realizar análisis comparativos, cuyas características dependen de los objetivos de cada banco.

En la secuencia de alrededor de 3000 millones de unidades –llamadas *nucleótidos*– que componen el ADN del genoma humano, se han detectado millones de sitios en que existen variaciones genéticas por las que las personas se diferencian entre sí. La complejidad de la estructura genética del ser humano –su genoma– y las grandes variaciones de este de un individuo a otro se están conociendo cada vez más gracias a técnicas que permiten determinar de forma automática dicha secuencia de nucleótidos, es decir, realizar secuenciamientos genéticos automáticos en gran escala. A la vez, la interpretación de sus resultados requiere de plataformas informáticas de alta complejidad.

Los bancos de datos genéticos comenzaron a establecerse hace algunas décadas, para obtener, procesar y almacenar información genética humana con diferentes propósitos. Entre sus objetivos se cuentan: (i) facilitar la investigación relacionada con el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de algunas de las miles de enfermedades humanas causadas por mutaciones en un solo gen (o *enfermedades monogénicas*); (ii) facilitar la investigación *farmacogenómica*, es decir, identificar genes vinculados con la respuesta del organismo a fármacos y tóxicos; (iii) individualizar variantes genéticas asociadas con mayor probabilidad de desarrollar determinadas enfermedades comunes, y (iv) establecer la identidad genética de personas y sus relaciones familiares, sobre la base de que las características del ADN de cada individuo son exclusivas, irrepetibles (excepto en gemelos idénticos) y hereditarias.

Desde sus comienzos los bancos de datos genéticos dieron lugar a controversias y debates sobre sus aspectos científicos, tecnológicos, legales, políticos, sociales y éticos. Las polémicas incluyen la pertinencia, la utilidad y el costo de almacenar millones de datos genéticos, asociados o no con información personal de miles o millones de personas, así como la relación entre sus posibles beneficios médicos, económicos u otros y sus costos tanto monetarios como no monetarios, por ejemplo, la invasión de la privacidad de las personas y los riesgos de discriminación o reduccionismo en la interpretación y el uso de la información.

Si bien las peculiaridades de cada banco dependen de su finalidad, en todos ellos se almacena genoma humano, por lo que es absolutamente crítico que toda muestra de ADN destinada a un banco de datos genéticos llegue de manera voluntaria, haya sido obtenida con el consentimiento formal, libre e informado del donante e ingrese acompañada de un documento en el que este indique a qué tipos de análisis consiente y con qué objetivos. Cuando el objetivo es la identificación de personas en la investigación de crímenes (sean comunes o de lesa humanidad, como desapariciones forzadas o supresión de identidad por acción del Estado), la obtención de muestras puede ser compulsiva, según lo establezca la legislación internacional y de los países.

En materia de investigación biomédica, el almacenamiento de datos genéticos de miles de personas cuya salud se controla durante años permitiría buscar genes asociados con múltiples enfermedades comunes. Ello se hace pensando que las variaciones del genoma de las personas podrían explicar las enfermedades que van contrayendo y así identificar los genes presumiblemente vinculados con ellas. Los críticos de este enfoque argumentan que deriva de una concepción determinista y reduccionista de la salud, que no toma en cuenta las interacciones entre genoma y ambiente. Sostienen, además, que el enorme

gasto de seguir a centenares de miles de personas durante años está escasamente justificado.

También hay disputas acerca de la obtención, el contenido, la propiedad y la utilización de la información genética de las poblaciones e individuos incluidos en las bases de datos, así como sobre los riesgos de discriminación y estigmatización genética de esas personas y comunidades. Estas consideraciones se aplican igualmente a los bancos de ADN que crecientemente forman parte de los ensayos clínicos de nuevos medicamentos, y que tienen por fin detectar variaciones de posible origen genético en las respuestas del organismo a las drogas. Otra cuestión a tener en cuenta es que, ante la posibilidad de que estos bancos redunden en conocimientos aplicables a la salud, existan previsiones para compartir sus eventuales beneficios con las personas y las comunidades que entregaron las muestras de las que se obtuvieron los datos.

La identificación genética de personas se hace por el cotejo de información del ADN del individuo (o muestra biológica) a identificar, con la de personas de identidad conocida contenida en bases de datos formadas con ese propósito. Dependiendo de su objetivo, los bancos en cuestión suelen contener bases de datos genéticos de grupos determinados, como miembros de fuerzas armadas, delincuentes, familiares de víctimas de desapariciones forzadas o de supresión de identidad u otros.

Por ejemplo, con el objetivo de identificar responsables de crímenes, en los Estados Unidos el FBI tiene una base de datos genéticos de delincuentes federales conocida por el acrónimo CODIS (*Combined DNA Index System*). Con el mismo propósito, el Reino Unido estableció la NDNAD (*National DNA Database*), que actualmente almacena perfiles genéticos de más de ocho millones de acusados, arrestados o condenados por la Justicia. En la Argentina se acaba de promulgar una ley que dispone constituir una base de datos genéticos de personas que hayan cometido delitos sexuales. La justificación de las bases de datos de delincuentes es la posibilidad de identificar reincidentes por los rastros biológicos que puedan dejar en la escena del nuevo crimen. No hay sin embargo evidencia de que con la sola existencia de bases de datos con ADN de criminales se logre desalentar las actividades delictivas. Y existe el riesgo de que se avasallen derechos fundamentales de las personas, como la privacidad y no ser estigmatizado injustificadamente, entre otros. Por ello muchos políticos y juristas insisten en que las políticas públicas de prevención del delito enfaticen medidas que vayan a las raíces de mucha criminalidad, entre ellas la pobreza, la injusticia social, la inequidad y la falta de oportunidades de educación y trabajo para los jóvenes.

En la Argentina tiene gran notoriedad el Banco Nacional de Datos Genéticos (BNDG), creado por ley en 1987 como dependencia del Poder Ejecutivo Nacional para resolver conflictos de filiación y establecer la identidad genética desconocida de centenares de niños –hoy adultos– sustraídos de sus padres (que luego desaparecieron) y entregados ilegalmente a allegados a las fuerzas represivas durante la última dictadura. Desde 2009 el BNDG se rige por la ley 26.548, que lo puso bajo la órbita del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Almacena información personal y muestras de ADN de familiares, mayoritariamente abuelos que buscan a sus nietos. Dada la gran variación en la población de las secuencias genéticas (o *marcadores*) utilizadas para establecer identidad genética, el cotejo positivo con una muestra de ADN de la base de datos establece una probabilidad de parentesco (en estos casos, de 'abuelidad') superior al 99,9%. El funcionamiento del BNDG ha permitido que hasta el presente hayan recuperado su identidad ciento nueve personas ilegalmente apropiadas cuando eran niños. Por su parte, el Equipo Argentino de Antropología Forense ha creado una base de datos de perfiles genéticos de más de ocho mil familiares de personas desaparecidas durante la última dictadura militar, contra la cual coteja el ADN obtenido de los restos óseos de más de mil individuos hallados en fosas comunes o inhumados en cementerios como NN, presumiblemente víctimas de desaparición forzada. Merced a este trabajo, se han identificado hasta el presente 573 desaparecidos.

Como toda actividad científica, los bancos de datos genéticos pueden ser utilizados para fines deseables o indeseables. Para promover los primeros (por ejemplo, reparar violaciones del derecho a la identidad o investigar causas de enfermedades) y evitar los segundos (por ejemplo, avasallamiento de derechos humanos fundamentales), sus objetivos, métodos y funcionamiento deben seguir los criterios científicos y éticos aceptados internacionalmente, y estar sujetos a control social.

Las bases de datos genéticos son un tema de actualidad en la Argentina. Establecerlas y utilizarlas es una tarea que se basa en complejos avances científicos y tecnológicos. Pero además plantea cuestiones legales y éticas que solo pueden resolverse en el ámbito del control social y político, y del debate ciudadano. Es para plantear esas cuestiones que Ciencia Hoy *resolvió dedicar al tema la página editorial de este número.*

Víctor B Penchaszadeh

Médico, Universidad de Buenos Aires.
Máster en genética y salud pública, Johns Hopkins University, Baltimore.
Ex profesor de genética y salud pública, Columbia University, Nueva York.
Profesor asociado, departamento de ciencias de la salud, Universidad Nacional de La Matanza.
victorpenchas@gmail.com

Cartas de lectores

Mayonesas

En el último número, en la nota sobre emulsiones culinarias (Mariana Koppmann, 'Emulsiones. El arte de mezclar agua con aceite', Ciencia Hoy, 133: 62-64), se afirma que 'una mayonesa casera durará varias horas', dependiendo de la habilidad del cocinero. La autora explica que eso se debe a que 'el agua y el aceite no se mezclan', y aclara las razones fisicoquímicas por las que se produce el rechazo a mezclarse. Todo muy interesante e instructivo.

Sin embargo, en las mayonesas comerciales de los supermercados debe estar operando algún otro factor, porque duran indefinidamente. ¿Qué tienen además de aceite y huevo? ¿Cómo mantienen imperturbable la unión del agua y el aceite?

Julián Gutiérrez Marino
San Nicolás de los Arroyos

Respuesta de la autora

Las mayonesas comerciales tienen agregados de diferentes espesantes. Cada fabricante utiliza uno o varios de ellos para lograr que la emulsión sea muy estable. Los más habituales son almidón modificado, un polisacárido llamado goma xantana y otro llamado goma guar. Los mismos espesantes se pueden encontrar en otros aderezos, sopas instantáneas, dulces, yogures y más productos. La función que cumplen en el caso de la mayonesa es hacer que la sustancia acuosa o dispersante, que es el huevo, resulte muy viscosa, de suerte que haya poca fluidez y, por lo tanto, poco movimiento. En esa situación, las gotas de aceite dispersas en ella tienen menos oportunidad de encontrarse, lo que confiere estabilidad a la emulsión. Es una alegría tener lectores atentos que se hacen preguntas a partir de lo que leen en Ciencia Hoy.

Daniel R Bes
Comisión Nacional de Energía Atómica

Centenario de la física atómica

A principios del siglo XVII comenzó la construcción de lo que hoy llamamos 'física clásica', con propuestas revolucionarias para aquel entonces. Por ejemplo, la física de Aristóteles postulaba que todo movimiento necesitaba de un agente motor, con las consiguientes implicaciones filosóficas, religiosas, etcétera, en contradicción con la nueva idea de que un cuerpo conserva su movimiento en ausencia de fuerzas exteriores. El edificio clásico aparecía terminado a fines del siglo XIX, e incluía la mecánica del italiano Galileo Galilei (1564-1642) y del inglés Isaac Newton (1642-1727), el electromagnetismo de Michael Faraday (inglés, 1791-1867) y James C Maxwell (escocés, 1831-1879), y la termodinámica del austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) y del alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894). Este edificio fue completado definitivamente en el siglo XX con las teorías especial y general de la relatividad de Albert Einstein (alemán, 1879-1955) y con el estudio del caos iniciado por el francés Henri Poincaré (1854-1912). Su construcción requirió dos cosas: por un lado, de tratamientos precisos para predecir la evolución de los sistemas mediante ecuaciones matemáticas, lo cual implicó el abandono de la intuición a favor del formalismo; por el otro, la verificación experimental de las predicciones.

La física clásica tiene un carácter determinista y supone la existencia de una realidad física independiente del observador. Su mayor triunfo conceptual fue la descripción del movimiento de los astros, incluyendo la predicción de la existencia de nuevos planetas, para lo cual se implantó el concepto de partícula independiente (un planeta era un punto que se movía alrededor del Sol). También se unificó el tratamiento de campos eléctricos y magnéticos, dando lugar a la representación de rayos de luz y de las otras radiaciones electromagnéticas en términos de ondas caracterizadas por su frecuencia. Siguiendo la correspondencia

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo aprendimos a interpretar los resultados de experimentos con átomos y a compatibilizar esos resultados con la aceptada teoría electromagnética de James C Maxwell.

Niels Bohr en 1922, cuando recibió el premio Nobel de física por sus investigaciones sobre 'la estructura de los átomos y la radiación que emana de ellos'. Foto AB Lagrelius & Westphal, Wikimedia Commons.

histórica entre los cambios conceptuales de la física y de las otras ciencias –incluso las sociales–, aparecieron los trabajos del escocés Adam Smith (1723-1790), del inglés Thomas Hobbes (1588-1679) y de otros, basados en comportamientos individuales independientes. Estos nuevos paradigmas estuvieron en la base de la industrialización de Europa y de los Estados Unidos. Produjeron también una sensación de omnipotencia de la razón: *Si concibiéramos una inteligencia que, en un instante dado, pudiera comprender todas las relaciones entre las entidades del universo, esta podría conocer todas las posiciones y movimientos de estas entidades por todos los tiempos pasados y futuros* (Pierre-Simon Laplace [1749-1827], 1843, matemático y astrónomo francés).

Alrededor de 1900 aparecieron problemas con las 'verdades eternas' de la física clásica y se necesitaron pioneros con mucho coraje y mucha capacidad para cuestionarlas y reemplazarlas. Los más relevantes durante el primer cuarto de siglo fueron los alemanes Max Planck (1858-1947) y Albert Einstein y el danés Niels Bohr (1885-1962). Los dos primeros trataron radiaciones electromagnéticas; el tercero, la materia. Al cumplirse los cien años de las contribuciones fundamentales de cada uno, no conozco en la Argentina rememoraciones del primero (2000) pero sí (muy buenas) del segundo (2005). Es la intención de este trabajo recordar la contribución del tercero (2013).

En octubre de 1900 Planck inventó una expresión matemática que, hasta el día de hoy, da cuenta de la distribución de la radiación emitida por un cuerpo negro –un cuerpo que no refleja la luz– en función de la frecuencia y de la temperatura. Dotado de un temperamento conservador, dedicó muchos esfuerzos a derivar esta expresión. Lo logró, pero a costa de postulados no clásicos, uno de los cuales requiere que la radiación electromagnética sea emitida en paquetes de energía proporcional a la frecuencia ´ν´. La constante de proporcionalidad se representa con el símbolo ´h´, la constante de Planck. Clásicamente, cualquier intensidad era posible para una radiación de frecuencia ν.

La propuesta revolucionaria de Einstein (1905) consistió en suponer que la radiación electromagnética libre, y no solamente la emitida por un cuerpo negro, está compuesta por fotones, paquetes de energía similares a los de Planck. Esto contradecía la naturaleza ondulatoria de la luz, uno de los aspectos de la teoría de Maxwell mejor comprendidos y verificados hasta entonces. Una consecuencia de esta hipótesis fue que en el efecto fotoeléctrico se absorbe un fotón. Si bien la expresión resultante para la energía del electrón emitido fue citada en el otorgamiento del premio Nobel de 1921, la hipótesis de Einstein fue aceptada recién cuando el norteamericano Arthur Compton (1892-1962) verificó experimentalmente en 1923 las leyes del choque entre partículas para el caso del fotón. Esta fue la primera partícula predicha teóricamente.

La tesis de Bohr (Universidad de Copenhague, 1911) continuó la teoría clásica del movimiento de electrones en metales del holandés Hendrik Lorentz (1853-1928). Mediante la aplicación de la mecánica estadística, Bohr dedujo resultados muy generales, entre ellos, la existencia de fenómenos no explicables en el marco de la teoría clásica. A partir de septiembre de ese año, Bohr realizó una estadía posdoctoral en la Universidad de Cambridge donde trabajaba Joseph J Thompson (1856-1940), el científico inglés que descubrió el electrón y responsable de importantes avances en la teoría de esa partícula. Bohr había corregido resultados de Thompson en su tesis y fue un gran desaliento darse cuenta de que Thompson jamás se había sentado a leerla. En marzo de 1912 Bohr pasó a Manchester, donde el neocelandés Ernest Rutherford (1871-1937) había realizado trabajos fundamentales en radiactividad, que culminaron en 1911 con el descubrimiento de que la masa atómica está concentrada en un núcleo de extensión muy pequeña, del orden de 100.000 veces menor que la del átomo. Fue

el nacimiento de la física nuclear. El modelo atómico de Rutherford consistía en electrones girando alrededor del núcleo, a semejanza de los planetas en torno del Sol, pero no decía nada de la estabilidad ni del tamaño del átomo. Para la física clásica los electrones debían perder rápidamente energía por emisión de radiación y precipitarse hacia el núcleo. Tampoco se cumplía la relación que Maxwell había deducido entre la frecuencia de la radiación emitida y la de la órbita del electrón, algo que sí se había verificado experimentalmente en antenas para ondas de radiofrecuencia y las corrientes que las producen.

Otro dato que se sumaba a las consideraciones de la estructura atómica era el aportado, en 1885, por el matemático suizo Johann Balmer (1825-1898). Este había encontrado que las cuatro frecuencias que emitían los átomos de hidrógeno, y que habían sido medidas por el sueco Anders Ångström (1814-1874), seguían una relación proporcional a la diferencia de los inversos cuadrados de dos números naturales. Como alguna vez dijo el mismo Bohr, estas regularidades del espectro del hidrógeno eran consideradas como los dibujos en las alas de las mariposas: su belleza podía ser admirada, pero no se suponía que podían revelar ninguna ley biológica fundamental.

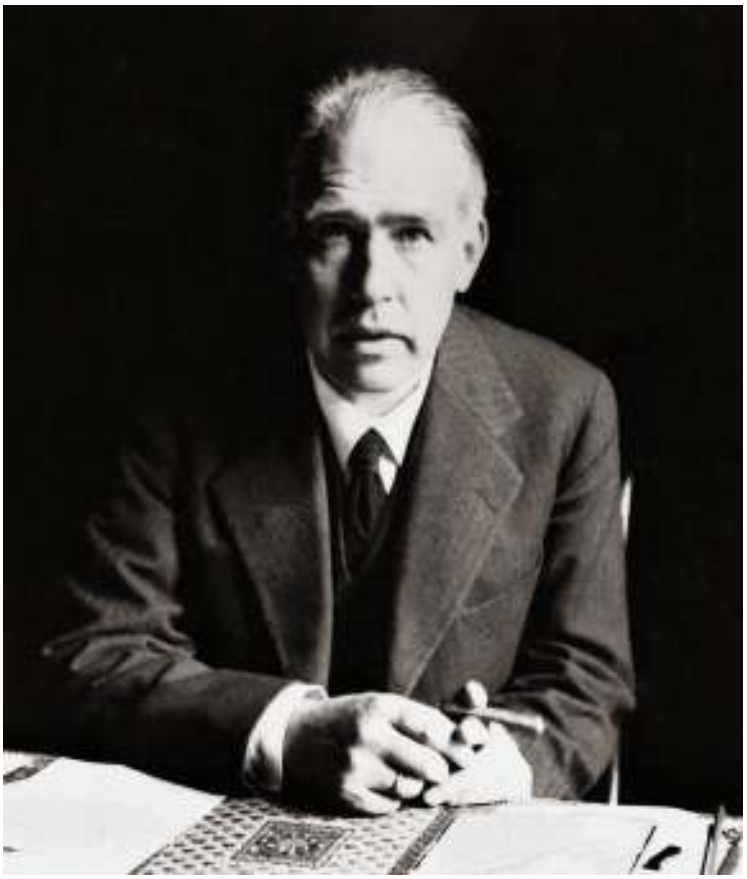
Al concluir su estadía de tres meses en Manchester, Bohr volvió a Dinamarca. Durante el otoño del 1912 desarrolló ideas acerca de la estructura de los átomos en su estado fundamental y en febrero de 1913, casi treinta años después de su publicación, tomó conocimiento de la expresión de Balmer. Era lo que le faltaba para completar su modelo. El aporte de Bohr fue considerar al electrón en el átomo moviéndose a distancias fijas del núcleo sin perder energía mediante radiación. Se mantiene en 'estados estacionarios' determinados por la condición de que la energía cinética del electrón esté cuantificada, como lo habían hecho Planck y Einstein para la radiación. Combinando esta condición con reglas simples derivadas de la mecánica de Newton, Bohr obtuvo energías inversamente proporcionales al cuadrado de un número natural, $-R/n^2$ donde ´R´ es una constante que se denomina de Rydberg. Declaró estable el estado con $n = 1$, en flagrante contradicción con el electromagnetismo clásico, e inestables los estados excitados con números mayores. El electrón podía caer de un estado con un número alto a otro con un número bajo emitiendo radiación de frecuencia dada por la fórmula de Balmer. Derivó teóricamente un valor para la constante ´R´ que concordaba con el valor empírico hallado por Balmer, dentro de la incertidumbre de los valores de la carga del electrón y de la constante de Planck conocidos entonces. También aparecía por primera vez en física la idea de un número cuántico.

El trabajo de Bohr sirvió también para reconciliar la discrepancia entre la fórmula de Balmer y la frecuencia clásica de la radiación emitida. Cuando el número cuántico se hace muy grande, los períodos de dos órbitas consecutivas tienden a un valor común que está de acuerdo con la frecuencia asociada a la transición de una órbita a la otra. Aunque los mecanismos fuesen distintos, los resultados de la teoría de Bohr tienden a los de la física clásica; se dice que *se corresponden* con los de la física clásica. El principio de correspondencia constituyó para Bohr la esencia de la cuántica y él dedicó muchas horas de su vida para reformularlo y perfeccionarlo.

Este fue el primer triunfo de la mecánica cuántica. En menos de un mes Bohr desarrolló la primera parte de su obra fundamental, que envió a Rutherford para su publicación. En la respuesta, Rutherford criticó la longitud del trabajo y se ofreció para reducirla a la mitad. Asustado, Bohr tomó el primer barco para Inglaterra y consiguió, después de horas de discusión, salvar todos sus argumentos, excepto por los cambios lingüísticos. El trabajo apareció en la revista especializada *Philosophical Magazine* en 1913. Bohr desarrolló la segunda y la tercera parte de su trabajo durante la primavera y el verano de 1913. Aplicó su teoría a átomos más complicados y a moléculas, con éxitos y fracasos.

A diferencia de lo sucedido con la hipótesis fundamental de Einstein, ya a partir de 1913 hubo importantes verificaciones experimentales del modelo:

Niels Bohr en la década de 1930.



1. Para el caso de un solo electrón moviéndose alrededor de un núcleo de carga Z, la energía debe multiplicarse por Z^2. Bohr sugirió que muchas líneas atribuidas al hidrógeno, con Z = 1, correspondían en realidad al helio ionizado que tiene Z = 2. El astrónomo inglés Alfred Fowler (1868-1940) había medido esas líneas en su laboratorio de Londres y señaló que, experimentalmente, el cociente entre helio e hidrógeno era de 4,0016 y no de 4, como la teoría predecía. Bohr contestó que si se toma en cuenta que la masa del núcleo no es infinita respecto de la del electrón, es decir, si se usa la masa reducida del electrón, el cociente de las líneas correspondientes toma el valor 4,00163. Se predecía así por primera vez en espectroscopia atómica un resultado con cinco cifras significativas.
2. En el otoño de 1913, el inglés Henry GJ Moseley (1887-1915) midió sistemáticamente frecuencias de rayos X secundarios asociados a las primeras frecuencias de la fórmula de Balmer. Multiplicó la energía por el factor $(Z-1)^2$, que se justifica porque la órbita con n = 1 admite 2 electrones. No solo pudo reordenar los elementos conocidos de la tabla periódica, sino que también predijo los que faltaba descubrir (por ejemplo, el hafnio, Hf).
3. En 1914 los alemanes J Franck (1882-1964) y GL Hertz (1887-1975) proporcionaron otra confirmación del modelo al bombardear átomos de mercurio con electrones. Estos pierden en la colisión una energía de 4,9 eV (eV es una unidad de energía denominada electrón-Volt) y el sistema emite radiación ultravioleta de exactamente la misma energía. Bohr interpretó que el electrón incidente promueve al electrón exterior del átomo de mercurio a la órbita siguiente, y este vuelve a la inicial emitiendo radiación de acuerdo con el modelo. La explicación recién fue aceptada por los dos experimentalistas en 1919.

Bohr se refería con humor a estas verificaciones contando que un visitante, al ver una herradura colgada encima de la puerta, preguntó si él (Bohr) realmente creía que traía buena suerte. La respuesta fue: *Por supuesto que no, pero me dijeron que funciona, incluso si uno no cree en ello*. El modelo partía de una inconsistencia al suponer la validez simultánea de la física clásica y de la cuantificación de la energía cinética; ambas se contradecían entre sí. Bohr siempre fue consciente de esta contradicción. En su conferencia ante la Sociedad Científica Danesa de diciembre de 1913, reconoció *el conflicto entre estas consideraciones y el admirablemente coherente grupo de conceptos correctamente llamados teoría clásica de la electrodinámica*.

En 1914 el físico alemán Arnold Sommerfeld (1868-1951) incluyó efectos relativísticos y órbitas elípticas en el modelo. Bohr recibió con entusiasmo los trabajos de Sommerfeld, que predecían el desdoblamiento de las líneas, medido poco tiempo antes por el alemán Friedrich Paschen (1865-1947) en el helio ionizado. También un coterráneo de este, Johannes Stark (1874-1957), había descubierto en 1913 el desdoblamiento de las líneas emitidas por un átomo de hidrógeno sometido a un campo eléctrico.

Durante la década siguiente a 1913 se fueron acumulando éxitos y dificultades con el modelo. Por ejemplo, el

Copenhague, 1957, en los jardines de la casa de Niels Bohr, de izquierda a derecha: Lev Abramovich Sliv, físico soviético (1911-1983); Niels Bohr, el protagonista de esta nota; Åge Bohr (1922-2009), hijo de Niels y premio Nobel de física 1975; Ben Mottelson (1926), físico norteamericano nacionalizado danés y premio Nobel de física 1975 compartido con Åge Bohr; el doctor Kumar y su esposa, ambos de la India; la esposa de VM Strutinsky, físico soviético (1926-1993); L Picman, físico matemático yugoslavo; Spartak Belyaev (1923), físico soviético y premio Feenberg 2004; el autor de este artículo y Susumu Kamefuchi, físico japonés (1928).

espectro del helio resultó intratable, a pesar de los heroicos esfuerzos para entenderlo realizados por científicos como el holandés Hans Kramers (1894-1952), el alemán Werner Heisenberg (1901-1976) y otros. Hubo que introducir además conceptos nuevos e importantes que fueron apareciendo, como el número de electrones con un mismo número cuántico ´n´, más números cuánticos, el ´spin´ que definía el tipo de partícula (si se trataba de un fermión o un bosón), el principio de exclusión de Pauli y las estadísticas asociadas. Todo esto llevó a la etapa siguiente de la cuántica, la que va de 1925 a 1928, con las formulaciones de Heisenberg, de Erwin Schrödinger (austríaco, 1887-1961) y del inglés Paul Dirac (1902-1984). Curiosamente, estas formulaciones también predijeron la validez del espectro $-R/n^2$ anticipado por Bohr sobre la base de un solo número cuántico principal ´n´, pero solamente para campos potenciales que fuesen inversamente proporcionales con la distancia. Probablemente no hubiera existido fórmula de Balmer ni modelo de Bohr si el potencial del núcleo hubiese tenido otra dependencia radial.

En 1920 se creó el Instituto que hoy lleva el nombre de Niels Bohr, dependiente de la Universidad de Copenhague. Allí trabajaron muchos físicos cuyos nombres están asociados a publicaciones fundamentales de la mecánica cuántica. El nombre de Bohr no figura en la lista. Pero es testimonio unánime de los que participaron de esta *gran aventura del pensamiento* que fue Bohr quien guió y profundizó rumbos (a veces, equivocándose). Para ello no necesitó escribir fórmulas mucho más complicadas que las sencillas a las que nos hemos referido. Insistió en comprender las implicaciones filosóficas de la nueva física, usando como herramientas fundamentales las palabras, que constantemente luchaba para definir en forma precisa. Este legado es necesario para comprender la mecánica cuántica, pero no para calcular con ella. Debido a esto muchos físicos ignoran hoy que Bohr constituyó una figura tan relevante.

Durante la década de 1950 Bohr abrió su Instituto (todavía entonces centro mundial de la física teórica) para que allí se conocieran y trabajaran juntos físicos de uno y otro lado de la cortina de hierro. Posiblemente quiso incluir a algunos representantes del sur, y a eso se debió que yo fuese admitido en 1956. Allí trabajé junto a Åge Bohr y a Ben Mottelson. Para Bohr padre, esta fue la época de la serenidad y de la pipa. Conservo el recuerdo de las reuniones en su casa de Carlsberg en las cuales los visitantes terminábamos sentados en un círculo alrededor de él. Recuerdo su conversación a la vez profunda y llena de humor, durante la cual se apagaba –y volvía a prender– innumerables veces la misma pipa.

Fotografía firmada de Niels Bohr tomada hacia 1950.

Termino haciendo mío un párrafo del celebrado físico e historiador holandés-norteamericano de la ciencia Abraham Pais (1918-2000), autor de las biografías más profundas, tanto sobre Einstein como sobre Bohr: *Bohr, completamente consciente de que estos conceptos posiblemente no podrían ser descriptos en términos de la física clásica pero que, sin embargo, era esencial establecer una conexión entre la física clásica y la cuántica, dio la primera orientación firme y duradera hacia un entendimiento de la estructura atómica y de la dinámica atómica. En este sentido puede ser considerado el padre del átomo.* CH

Daniel R Bes

Doctor en ciencias físicas, UBA.
Doctor honoris causa, UNSAM y Universidad Favaloro.
Investigador emérito, CNEA.
bes@tandar.cnea.gov.ar

LECTURAS SUGERIDAS

MOORE R, 1966, *Niels Bohr. The Man, His Science & the World They Changed*, Alfred A Knopf, Nueva York.

PAIS A, 1991, *Niels Bohr's Times In Physics, Philosophy and Polity*, Clarendon Press, Oxford.

ROZENTAL S (ed.), 1967, *Niels Bohr. His life and work as seen by his friends and colleagues*, North-Holland, Amsterdam.

Nicolás R Chimento, Federico L Agnolin y Fernando E Novas
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia

Necrolestes

Un mamífero patagónico que sobrevivió a la extinción de los dinosaurios

Un descubrimiento patagónico

En 1891, Florentino Ameghino (1854-1911) dio a conocer unos restos fósiles encontrados por su hermano Carlos (1865-1936) en las barrancas de Monte Observación, en la provincia de Santa Cruz, en yacimientos de unos 17 millones de años de antigüedad. Determinó que pertenecían a un pequeño –escasos 10cm de largo, del hocico a la cola– y desconocido mamífero extinguido. Estudió los diminutos huesos y consideró que el animal habría sido un pariente lejano de los topos africanos vivientes. Le dio el nombre científico *Necrolestes patagonensis*, es decir, ladrón de tumbas de la Patagonia, en alusión a sus hábitos excavadores. El hallazgo, publicado por Ameghino en el número de la *Revista Argentina de Historia Natural* citado entre las lecturas sugeridas, atrajo la atención del ámbito científico, ya que hasta ese momento en Sudamérica no se habían encontrado restos fósiles de topos.

En décadas posteriores, expediciones de diversos paleontólogos a la misma zona de la Patagonia, cercana a la desembocadura del río Santa Cruz, descubrieron esqueletos fósiles prácticamente completos del *Necrolestes*. El estudio de esos esqueletos llevó a pensar que se trataba de un mamífero muy arcaico en la historia de la evolución, más que un ancestro de los topos, como había supuesto Ameghino. Por determinados rasgos se pensó que podía haber sido un *marsupial*, es decir, un pariente lejano de las comadrejas, los canguros y los coalas actuales.

Ciertos investigadores aceptaron esta última hipótesis de parentesco, pero otros se mostraron escépticos acerca de ella y se inclinaron por considerar inciertas las relaciones genealógicas del diminuto mamífero. Así, su posición en el árbol evolutivo de los mamíferos fue objeto de debate durante gran parte del siglo XX. Para algunos, era pariente lejano de las mulitas; otros seguían pensando que podía estar relacionado con los topos, y para un tercer grupo, sus vínculos eran con los marsupiales australianos. Figuras eminentes de la paleontología mundial, como el estadounidense George Gaylord Simpson (1902-1984) y el argentino Osvaldo Reig (1929-1992), se manifestaron perplejos por sus extraños rasgos y no

¿DE QUÉ SE TRATA?

Descubrimientos de los últimos años revelaron una complejidad desconocida en la historia evolutiva de los mamíferos de América del Sur.

lograron relacionarlo con otros mamíferos conocidos.

Recientes estudios han aportado nuevas hipótesis sobre las relaciones genealógicas del *Necrolestes* y permitido una novedosa reconstrucción de su aspecto externo, que se presenta en los dibujos de esta nota.

Los mamíferos mesozoicos

La historia de la vida sobre la tierra se divide en lapsos de muchos millones de años –llamados *eras*–, cada uno de los cuales posee una fauna que le es característica. Por ejemplo, la era mesozoica, que transcurrió entre hace 235 y 65 millones de años, es llamada frecuentemente *era de los dinosaurios*, pues los fósiles que se encuentran en estratos geológicos de dicha era suelen pertenecer a esos animales, mientras que en ellos son extremadamente raros los fósiles de mamíferos. Por el contrario, en los estratos más modernos de la era cenozoica, que se extiende por los últimos 65 millones de años, los restos de mamíferos son muy abundantes, lo que llevó a llamarla *era de los mamíferos*. Las eras, a su vez se dividen en períodos que llevan diversos nombres, como se puede apreciar en el gráfico de la página 18.

La dominación de un grupo animal por sobre otro en el registro fósil se relaciona tanto con la diversidad de especies como con el tamaño corporal de los individuos de cada una. Los dinosaurios aparecieron por primera vez en el registro fósil a comienzos de la citada era mesozoica, durante la cual también aparecieron los primeros mamíferos. Por causas aún no bien entendidas, los dinosaurios dominaron los ecosistemas terrestres de todo el globo durante unos 170 millones de años, lapso en que los mamíferos se mantuvieron pequeños, lo que los hace muy difíciles de encontrar en estratos en que abundan dinosaurios.

La mayor parte de los mamíferos mesozoicos pertenece a grupos grupos hoy extinguidos, que no se relacionan directamente con los actuales, sean placentarios o marsupiales. Solo la descendencia directa de algunos escasos mamíferos del Mesozoico ha sobrevivido hasta nuestros días. Entre ella se cuentan los ornitorrincos y los equidnas, que integran un grupo llamado *monotremas*, restringidos a algunos sectores de Oceanía, como lo explicó un artículo publicado en 2009 en Ciencia Hoy (A Kornblihtt, 'El genoma del ornitorrinco y la evolución', 19, 113: 74-75).

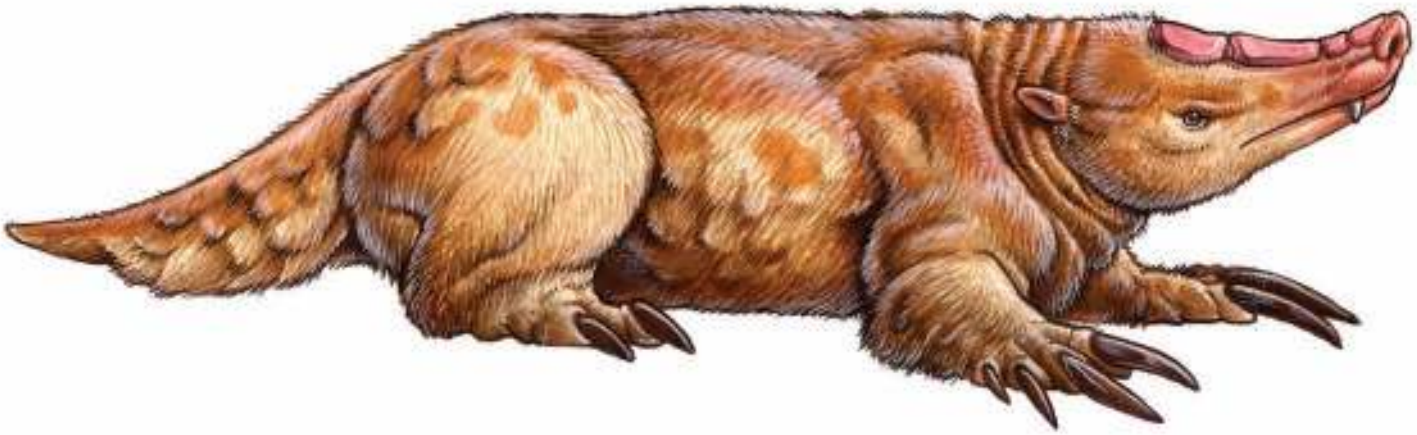
Durante la segunda mitad del siglo XX, otro destacado paleontólogo argentino, José Bonaparte, recorrió la Patagonia en búsqueda de fósiles mesozoicos. Descubrió un importante yacimiento fosilífero en la provincia del Río Negro, en una estancia llamada Los Alamitos, del que fueron recuperados abundantes restos óseos de dinosaurios carnívoros y herbívoros, de tortugas, cocodrilos y peces, vivos hace unos 70 millones de años, es decir, a finales de la era mesozoica.

Uno de los hallazgos que más llamó la atención de los investigadores de Los Alamitos fue el de diminutos dientes de mamíferos, de solo algunos milímetros de largo, mezclados con cuantiosos restos de dinosaurios. Concluyeron que pertenecieron a animales de escasos centímetros de longitud que vivieron a la sombra de los enormes dinosaurios. Además, pusieron de manifiesto que hubo una gran diversidad de especies extinguidas de mamíferos, entre ellas las pertenecientes a grupos denominados *gondwanaterios* y *driolestoideos*.

Los gondwanaterios se conocen mayormente por piezas dentarias aisladas, por lo que no se puede decir mucho sobre su aspecto externo o sus hábitos. Por su lado, los driolestoideos tenían un aspecto posiblemente semejante al de los *sorícidos* actuales, también conocidos por *musarañas*. Luego de los hallazgos de Bonaparte se encontraron diversos mamíferos primitivos, incluyendo driolestoideos, en otros lugares de la Argentina, como los yacimientos de Cerro Tortuga y La Buitrera, en Río Negro, y La Colonia y Cerro Cóndor en el Chubut, como lo detalla la tabla siguiente.

Especies de mamíferos mesozoicos de las que se han encontrado restos fósiles en la Patagonia

Provincia	Yacimiento	Especie
Neuquén	La Amarga	*Vincelestes neuquenianus*
Río Negro	La Buitrera	*Cronopio dentiacutus*
	Cerro Tortuga	*Trapalcotherium matuastensis* *Mesungulatum lamarquensis* *Barberenia allenensis*
	Los Alamitos	*Ferugliotherium windhauseni* *Gondwanatherium patagonicum* *Vucetichia gracilis* *Groebertherium stipanici* *Groebertherium novasi* *Brandonia intermedia* *Casamiquelia rionegrina, Alamitherium bishopi* *Barberenia araujoae* *Leonardus cuspidatus* *Bondesius ferox* *Paraungulatum rectangularis* *Rougiertherium tricuspes* *Reigitherium bunodontum, Mesungulatum houssayi* *Quirogatherium major* *Austrotriconodon mckennai* *Austrotriconodon sepulvedai*
Chubut	Cerro La Colonia	*Coloniatherium cilinskii* *Argentodites coloniensis*
	Cerro Cóndor	*Condorodon spanios* *Argentoconodon fariasorum* *Henosferus molus* *Asfaltomylos patagonicus*



Posible aspecto del antiguo mamífero patagónico extinto *Necrolestes patagonensis.* Medía escasos 10cm del hocico a la cola.

Hasta hace una década se pensaba que esos mamíferos mesozoicos se habían extinguido junto con los dinosaurios hace 65 millones de años, por efecto de la caída de un gigantesco asteroide en México que habría desencadenado una serie de cambios climáticos catastróficos para numerosos grupos de animales, entre ellos los dinosaurios y gran parte de los mamíferos primitivos, por ejemplo, los driolestoideos.

Sin embargo, la historia de los mamíferos mesozoicos no parece haber sido tan simple. En 2001, dos paleontólogos del Museo de La Plata, Javier Gelfo y Rosendo Pascual, descubrieron en la provincia del Chubut, en estratos de alrededor de 60 millones de años de antigüedad, un driolestoideo que había sobrevivido a los mencionados cambios climáticos. Conocido por *Peligrotherium tropicalis*, habría sido del tamaño de un zorro y estado bien adaptado a machacar con sus dientes los alimentos vegetales que constituían la base de su dieta.

Mandíbula fósil del *Necrolestes* encontrada por Carlos Ameghino y publicada por su hermano Florentino en 1891. Actualmente se encuentra en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

Del mismo modo, algunos gondwanaterios también parecen haber sobrevivido a la extinción de fines del Mesozoico, pues se ha encontrado esporádicamente restos de ellos en estratos de distintos momentos de la era cenozoica. Además, en la Patagonia se hallaron en tales estratos restos de un ornitorrinco extinto, conocido por *Monotrematum sudamericanum*, que también habría convivido con los dinosaurios.

En suma, ciertos driolestoideos, gondwanaterios y ornitorrincos pudieron sobrevivir a la gran extinción de fines del Cretácico. Su hallazgo en la Patagonia argentina abrió una nueva perspectiva sobre la vida de los mamíferos antes de la extinción de los dinosaurios, y convirtió a Sudamérica, hasta donde hoy se sabe, en el único lugar donde pequeños mamíferos mesozoicos sobrevivieron a la masiva extinción de hace 65 millones de años.

Con estos descubrimientos se obtuvo suficiente información para poder hacer un análisis comparativo de los fósiles del *Necrolestes* con los de mamíferos mesozoicos y con los actuales. Se llegó así a la conclusión de que el primero muestra muchos rasgos anatómicos cuya simplicidad indica que son extremadamente arcaicos, es decir, corresponden a etapas muy antiguas de la evolución y se acercan más a los mamíferos mesozoicos que a los actuales.

Así, su esqueleto tiene características que no están hoy presentes en ningún mamífero, sea placentario o marsupial. La forma de irrigación sanguínea del oído y el cráneo del *Necrolestes* presenta numerosos rasgos primitivos semejantes a los mamíferos del Mesozoico y muy distintos de los mamíferos modernos. Algo parecido sucede con los dientes y la masticación: *Necrolestes* está más cerca en la forma de masticar de los mamíferos mesozoicos que de los placentarios y los marsupiales de hoy, grupos cuyos dientes poseen disposiciones mucho más complejas.

Diversos restos fósiles del *Necrolestes* encontrados por Carlos Ameghino y conservados en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

Nueva luz sobre *Necrolestes patagonensis*

En los últimos diez años los paleontólogos tomaron nuevo interés en el debate sobre el *Necrolestes* y publicaron numerosos artículos sobre su anatomía. Las hipótesis predominantes sugerían que habría sido un marsupial aberrante, cuyo esqueleto exhibía rasgos muy primitivos. En 2012, dos equipos de investigadores llegaron a otra conclusión: que el animal perteneció al mencionado linaje de los driolestoideos, es decir, era un sobreviviente de una de las especies de mamíferos mesozoicos que no se extinguió con las catástrofes que terminaron con los dinosaurios, pero que tampoco había seguido el camino de la evolución y dado lugar a descendencia de otras especies. Se mantuvo viviente y sin cambios cruciales hasta bien entrada la era cenozoica. De hecho, en su época habría sido casi un fósil viviente, un relicto arcaico de la era de los dinosaurios.

Los autores de esta nota fueron los integrantes de uno de esos equipos; el otro estuvo liderado por Guillermo Rougier, un paleontólogo argentino que enseña en la Universidad de Lousville, en el estado norteamericano de Kentucky. Los artículos que publicaron ambos comparan los dientes superiores e inferiores de muchos driolestoideos, proporcionan datos sobre cómo masticaba *Necrolestes*, analizan las estructuras que forman su hocico, la base de su cráneo, el hueso que protege su oído y los vasos sanguíneos que tuvo asociados, su oído interno y los huesos de sus extremidades. Los autores de esta nota sacaron sus conclusiones analizando los mismos materiales que estudió Florentino Ameghino, los cuales integran las colecciones de fósiles del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, en Buenos Aires. El otro grupo de trabajo analizó restos muy completos de *Necrolestes* hallados a fines del siglo XIX y llevados a museos de los Estados Unidos. Así, analizando restos pertenecientes a varios individuos de *Necrolestes*, ambos grupos de trabajo comprobaron la presencia de numerosas características primitivas en la anatomía del animal.

El rompecabezas de los mamíferos cenozoicos sudamericanos

En el registro fósil sudamericano se han identificado etapas durante las que aparecen y se diversifican diferentes grupos de mamíferos. Se las denomina informalmente *estratos faunísticos*, de los que se han reconocido tres en la era cenozoica:

El estrato autóctono. Fue el período en que aparecieron los *metaterios* (que eran principalmente marsupiales), los *xenartros* o *desdentados* (mulitas, perezosos, osos hormigueros) y cinco grupos de mamíferos conocidos como *ungulados nativos sudamericanos* (astrapoterios, notoungulados, piroterios, xenungulados y litopternos). Casi todos hicieron su aparición en la fracción inicial de la era cenozoica, el Paleoceno, y fueron los primeros en surgir después de la extinción de los dinosaurios. Si bien se desconoce hoy cuáles fueron sus ancestros, se los ha relacionado con los mamíferos africanos conocidos por afroterios, entre los cuales están los elefantes y los manatíes. Si así fuera, probaría que hubo vínculos entre África y Sudamérica durante la era cenozoica.

Los primeros inmigrantes. El segundo estrato faunístico comienza a fines del Eoceno y se encuentra representado por los primates platirrinos o monos del nuevo mundo (titíes, aulladores, etcétera) y los roedores caviomorfos (carpinchos, tuco-tucos, cuises u otros). Cómo habrían llegado estos mamíferos es tema de debate; una de las teorías es que lo habrían hecho accidentalmente, cruzando el Atlántico desde África sobre balsas de plantas flotantes.

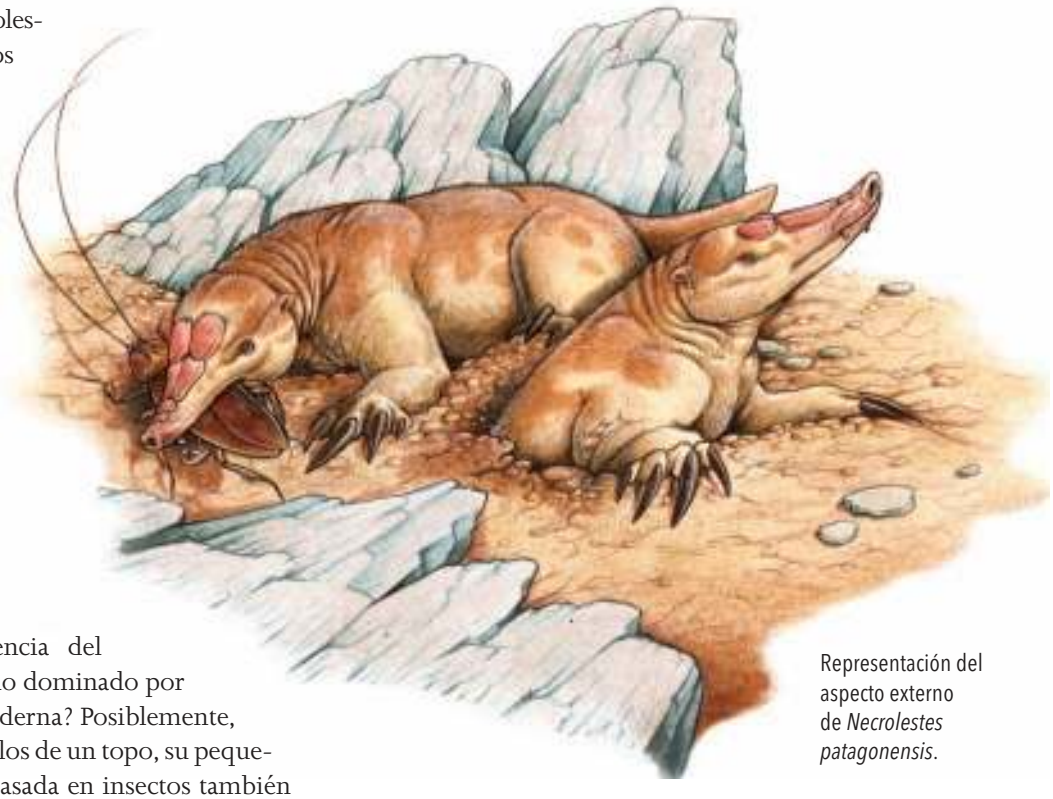
Los inmigrantes del norte. El tercer y último estrato faunístico comienza en el Mioceno y dura hasta la actualidad. Está representado por numerosos mamíferos ingresados por el istmo de Panamá, que unió nuestro continente con América del Norte y le hizo perder su carácter insular, por mucho tiempo aislado por los mares de las restantes masas continentales. Ese vínculo permitió el paso de mamíferos en ambas direcciones. Así, poblaron Sudamérica artiodáctilos (ciervos, guanacos, pecaríes), perisodáctilos (caballos, tapires), carnívoros (mapaches, felinos, zorros, osos, zorrinos, etcétera), proboscídeos (mastodontes), roedores miomorfos y sciuromorfos (lauchas, ratones de campo, ardillas), lagomorfos (conejos autóctonos o tapetíes), sorícidos (musarañas) y, finalmente, los humanos.

Monte Observación, donde Carlos Ameghino hizo su hallazgo, cerca de la costa y a unos 50km al sur de Luis Piedra Buena, en la provincia de Santa Cruz. Foto John G Fleagle

La mayor parte de los grupos de mamíferos que aparecieron en el primer estrato faunístico continuaron presentes durante el segundo, pero muchos de ellos, lo mismo que de los aparecidos durante dicho segundo estrato, se extinguieron, por causas que no se conocen, en el transcurso del tercero. La historia el arcaico *Necrolestes* indica que los mamíferos placentarios y marsupiales avanzados convivieron con ma-

Reconstrucción hipotética del esqueleto del *Necrolestes*. En rojo, los huesos conocidos por habérselos encontrado fosilizados.

míferos primitivos como los driolestoideos, los gondwanaterios y los ornitorrincos, algo que no se ha observado en ningún otro lugar del mundo. Esos demuestra que estos antiguos linajes de mamíferos no se extinguieron con los dinosaurios al finalizar la era mesozoica hace 65 millones de años, sino que sobrevivieron hasta bien avanzada la era cenozoica.



Representación del aspecto externo de *Necrolestes patagonensis*.

El secreto del Necrolestes

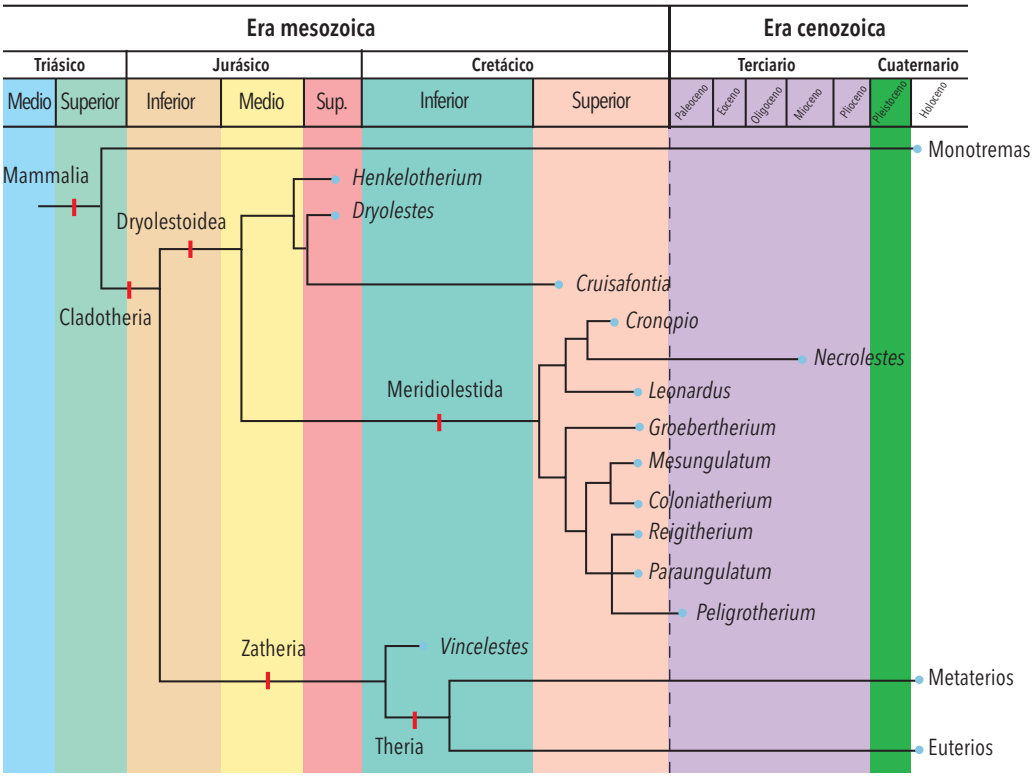
¿Qué explica la supervivencia del primitivo *Necrolestes* en un mundo dominado por mamíferos de biología más moderna? Posiblemente, sus hábitos subterráneos, como los de un topo, su pequeño tamaño y su alimentación basada en insectos también subterráneos hayan permitido la longevidad de millones de años de la especie en un nicho ecológico no ocupado por otros mamíferos. El descubrimiento de su pertenencia a un linaje antiguo se suma a otros hallazgos hechos en Sudamérica que indican la existencia allí de una mezcla única de mamíferos avanzados (como mulitas, roedores y monos) y primitivos (ornitorrincos, driolestoideos). En la era cenozoica, esa región del mundo tenía, pues, una fauna distinta de la del resto de los continentes.

La nueva luz sobre el *Necrolestes* plantea renovadas preguntas a la paleontología, ya que el diminuto mamífero

Características compartidas por los Necrolestes con los driolestoideos, los marsupiales y los placentarios

	Necrolestes	Driolestoideos	Marsupiales	Placentarios
Cantidad de premolares por quijada	3	3	3	4
Cantidad de molares por quijada	3	3 o más	4	3
Últimos premolares de forma subtriangular (molarizados)	Presente	Presente	Ausente	Presente
Cantidad de raíces en los caninos inferiores	2	2	1	1
Primer premolar tricuspidado	Presente	Presente	Ausente	Ausente
Dientes de la quijada inferior con talónido	Ausente	Ausente o muy reducido	Presente	Presente
Dientes de la quijada superior con protocono	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Dientes de la quijada superior con metacono	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Orientación del proceso angular de la mandíbula	Hacia atrás	Hacia atrás	Hacia adentro	Hacia atrás
Hueso aliesfenoides formando parte de la bula timpánica	Ausente	Ausente	Presente	Ausente
Enrollamiento coclear en el oído interno (vueltas)	Menos de 1,4	Menos de 1,4	Menos de 1,4	Más de 1,4
Cruce secundario entre los canales semicirculares posterior y lateral del oído interno	Presente	Presente	Por lo general ausente	Por lo general ausente
Canal proótico en el hueso petroso	Reducido	Reducido	Reducido	Bien desarrollado
Lámina anterior en el hueso petroso	Presente	Presente	Vestigial o ausente	Vestigial o ausente
Surco para la arteria estapedial en el hueso petroso	Presente	Presente	Ausente	Presente
Vacuidades en el paladar	Ausentes	Ausentes	Presentes	Ausentes

En amarillo los caracteres compartidos; en verde los no compartidos. Se advierte que los marsupiales –entre los que estaba clasificado *Necrolestes* antes de 2012– compartieron más caracteres con este que los otros dos grupos.



Árbol genealógico (llamado *cladograma* por los paleontólogos) simplificado que representa las relaciones de parentesco entre los grupos de mamíferos vivientes y los driolestoideos mesozoicos, incluido el *Necrolestes*.

sería el pariente más cercano hoy conocido del *Cronopio dentiacutus*, un driolestoideo de unos 95 millones de años de antigüedad descripto en 2011 por el mencionado Guillermo Rougier y sus colaboradores en un artículo publicado en *Nature* (479: 98-102). Pero hasta donde sabemos, ambas especies están separadas por más de 70 millones de años. Este lapso marca la magnitud de nuestra ignorancia y proclama que existe un vasto capítulo en la historia antigua de los mamíferos sudamericanos que espera ser escrito por los paleontólogos. CH

Los dibujos del *Necrolestes* fueron realizados por Gabriel Lio.

LECTURAS SUGERIDAS

AMEGHINO F, 1891, 'Nuevos restos de mamíferos fósiles descubiertos por Carlos Ameghino en el Eoceno inferior de la Patagonia austral. Especies nuevas, adiciones y correcciones', *Revista Argentina de Historia Natural*, 1: 289-328.

BONAPARTE JF, 1966, 'Cretaceous tetrapods of Argentina', *München Geowissenchaftliche Abhandlungen*, 30: 73-130.

CHIMENTO NR, **AGNOLIN FL** y **NOVAS FE**, 2012, 'The Patagonian fossil mammal *Necrolestes*: a Neogene survivor of Dryolestoidea', *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales,* nueva serie, 14, 2.

GELFO JN y **PASCUAL R**, 2001, '*Peligrotherium tropicalis* from the early Paleocene of Patagonia, a survival from a Mesozoic Gondwanan radiation', *Geodiversitas*, 23, 3: 369-379.

ROUGIER GW *et al.*, 2012, 'The Miocene mammal *Necrolestes* demonstrates the survival of a Mesozoic nontherian lineage into the late Cenozoic of South America', *Proceedings of the National Academy of Science*.

Nicolás R Chimento

Licenciado en biología, UNLP.
Becario doctoral de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica.
nicochimento@hotmail.com

Federico L Agnolin

Licenciado en biología, UNLP.
Becario doctoral de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica.
Integrante de la Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
fedeagnolin@yahoo.com.ar

Fernando E Novas

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Director del laboratorio de anatomía comparada del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.
Investigador independiente del Conicet.
fernovas@yahoo.com.ar

Elsa L Camadro
Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA-UNMDP

Las papas silvestres y el concepto de especie

Let it not suffice us to be Book-learn'd, to read what others have written, and to take upon Trust more Falsehood than Truth; but let us our selves examine Things as we have Opportunity and converse with Nature as well as Books. [No baste ser muy leído, estudiar lo que otros han escrito ni fiarse más de engaño que de verdad; examinemos las cosas cuando podamos y conversemos tanto con la naturaleza como con los libros.]

John Ray, *La sabiduría de Dios manifestada en las obras de Su Creación*, 1717

¿Cómo clasificar las plantas?

Desde los albores de la civilización, los seres humanos han coleccionado y descripto los elementos del mundo circundante. Ello los llevó, además, a pensar en formas de clasificarlos. De ahí que, a lo largo de los más de veinte siglos de historia de la ciencia occidental, filósofos y naturalistas procuraron establecer un sistema de clasificación de los seres vivos: sus esfuerzos dieron origen a una rama específica de las ciencias naturales llamada *taxonomía*. El recuadro 'Breve historia de la clasificación científica de los seres vivos', que se recomienda leer primero, proporciona una vista a vuelo de pájaro de esos intentos hasta mediados del siglo XIX, cuando la visión científica de la naturaleza cambió en forma marcada.

El núcleo central de la clasificación que fue decantando hasta ese momento es el concepto de *especie*, parte de un orden jerárquico de categorías que tomó su forma clásica en la segunda mitad del siglo XVIII con Lineo, por lo que se habla de taxonomía lineana.

En las plantas, una *especie taxonómica* agrupa aquellas con características anatómicas semejantes, bajo el supuesto de que se transmiten a sus descendientes. Este concepto no incluye consideraciones fisiológicas y de funcionamiento biológico, por lo que la noción de que la especie taxonómica reúne a todos los individuos que pueden aparearse y generar descendencia semejante a ellos no es necesariamente válida.

Especie taxonómica y especie biológica

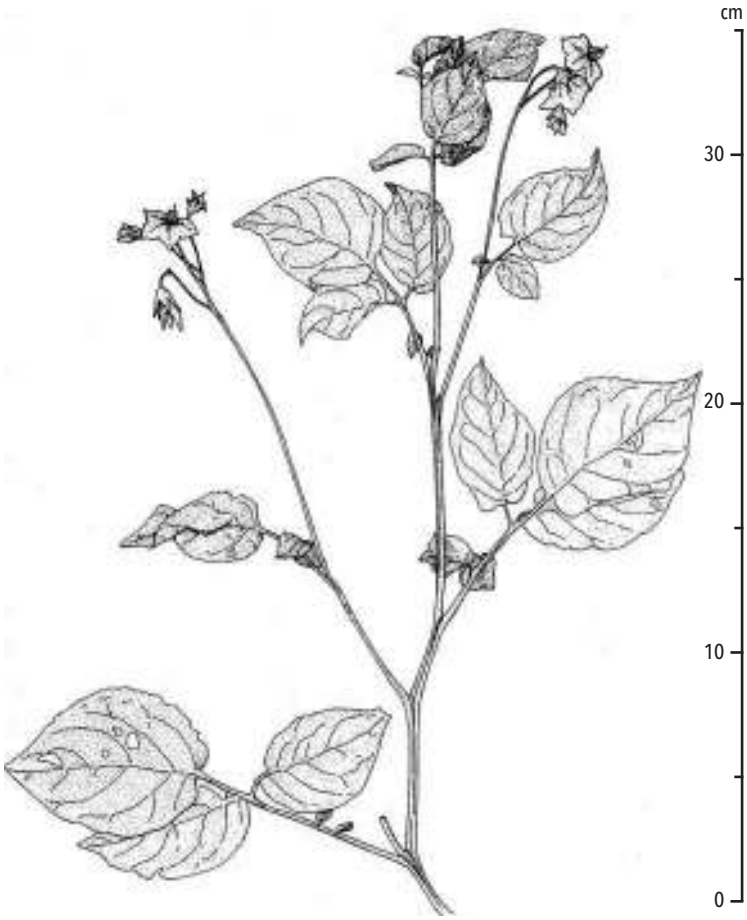
Los esfuerzos por clasificar a los seres vivos experimentaron grandes cambios a partir de la segunda mi-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Estamos acostumbrados a oír de hablar de especies de plantas y animales. Pero ese concepto resulta difícil de aplicar a muchos organismos, entre ellos las papas silvestres cuyos descendientes domesticados alimentan al mundo.

tad del siglo XIX, cuando el concepto de especie incorporó nuevos significados. El paso inicial en ese rumbo fue la teoría darwiniana de la evolución por selección natural, publicada en 1859, que explica la aparición y desaparición de las especies. Al mismo tiempo, Gregor Mendel (1822-1884), un monje agustino perteneciente a un monasterio de Brno, en lo que hoy es la República Checa, vislumbró la operación de la herencia haciendo experimentos sobre cruzamientos de arvejillas (*Pisum sativum*), en los que observó regularidades resumidas en las leyes que hoy llevan su nombre. Mendel las dio a conocer en alemán en 1865, pero su trabajo solo ganó la atención de la comunidad científica internacional luego de 1900.

El pleno valor de las visiones de Charles Darwin y Mendel se pudo apreciar cuando, a comienzos de la década de 1950, James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura química de la molécula de ácido desoxirribonucleico o ADN, lo que permitió comprender las vías biológicas por las que opera la genética, se transmiten rasgos a la descendencia y se producen aquellas alteraciones que, eventualmente, dan lugar a nuevas especies.



Holotipo de una papa silvestre. Corresponde a la especie taxonómica *Solanum okadae*. Fue coleccionado en el departamento de La Paz, en Bolivia, y depositado en el herbario de Kew, en las afueras de Londres.

Esta historia fue eclipsando el concepto de especie taxonómica y progresivamente iluminando el de *especie biológica*, la cual da también nuevo significado al concepto de aislamiento reproductivo que había sido retomado por algunos estudiosos del siglo XX como el genetista ucraniano-estadounidense Theodorius Dobzhansky (1900-1975).

Las especies biológicas son poblaciones cuyos integrantes se reproducen naturalmente entre ellos pero no lo hacen con miembros de otros grupos similares. Aun si su distribución geográfica se superpone –en cuyo caso se dice que son *especies simpátricas*–, no se cruzan o, si lo hacen, originan híbridos estériles. Los alcances de esta noción fueron analizados a lo largo de más de treinta años por Ernst Mayr (1904-2005), quien comenzó su carrera científica en Alemania, su país natal, y la continuó a partir de la década de 1930 en los Estados Unidos.

La biología moderna ha concebido otras nociones de especie, en muchos casos discutidas en profundidad y cuestionadas por Mayr. El mayor inconveniente de la especie biológica aplicada a las plantas es que solo vale para las que se reproducen sexualmente cuando, en realidad, algunas muy conocidas, como el ajo, se reproducen asexualmente, y muchas lo hacen de ambas maneras, por ejemplo, la papa, la batata y gramíneas forrajeras como el agropiro o la festuca.

Por lo general, los taxónomos de plantas han sido reticentes a usar el concepto de especie biológica u otros similares, y se siguen inclinando por la tradición taxonómica clásica de Lineo, si bien le introducen pequeñas modificaciones basadas en estudios moleculares o bioquímicos. Esto no carece de dificultades, porque las unidades de esa tradición taxonómica se definieron en muchos casos antes de que Darwin revelara la existencia de la evolución de las especies. Responden, en consecuencia, a la visión de un mundo natural compuesto por especies inmutables, siguiendo el modelo del relato bíblico.

A pesar de que responden a principios muy diferentes, con frecuencia los conceptos de especie biológica y especie taxonómica se usan como si fueran sinónimos. El primero vale para organismos biparentales y está basado en relaciones reproductivas. El concepto lineano de especie taxonómica, en cambio, se apoya en semejanzas o diferencias con relación a un ejemplar prototípico (llamado *holotipo*), que en el caso de plantas se conserva en algún herbario. En palabras de un autor, es una taxonomía de museo que tiene el propósito de confeccionar un inventario de plantas.

El uso indistinto de estos dos conceptos de especie crea confusión: dos plantas pueden ser morfológicamente similares, por lo que quedan clasificadas en la misma especie taxonómica pero están aisladas reproductivamente, lo que indicaría que integran dos especies biológicas distintas.

Esto puede deberse a la interacción entre genotipo y ambiente. Por ejemplo, en un mismo macroambiente,

BREVE HISTORIA DE LA CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LOS SERES VIVOS

Por siglos y con diversos propósitos, naturalistas, filósofos, químicos, botánicos y zoólogos, entre otros estudiosos de la naturaleza, intentaron ordenar de alguna manera los ejemplares de seres vivos que coleccionaban.

En esos intentos, Aristóteles (384-322 a.C.) desempeñó un papel crucial, porque trató de establecer criterios que permitieran clasificar animales y plantas en forma sistemática y jerárquica. En la Grecia clásica, a la que se remonta la historia natural como la entendemos en la actualidad, varias escuelas de pensamiento consideraban que los elementos físicos eran universales e inmutables: existían desde la eternidad y seguirían existiendo a través de una sucesión infinita de generaciones.

Las ideas de Aristóteles permearon el pensamiento científico durante varios siglos y abrieron un camino seguido por muchos discípulos, entre ellos su sucesor inmediato en Atenas, Teofrasto (372-287 a.C.), el primero en proponer una clasificación jerárquica de las plantas superiores. Tomó en cuenta para hacerlo su sistema reproductivo, el tipo de inflorescencia y, en aquellas de reproducción sexual, el número de *cotiledones* (primera hoja del embrión). Unos tres siglos más tarde, Pedanio Dioscórides (*ca*. 40-90), médico, farmacólogo y botánico griego de tiempos de Nerón, analizó el valor farmacológico de plantas y animales en los cinco volúmenes de su tratado *De materia medica*, que constituyó la principal referencia de la farmacopea de la Edad Media y del Renacimiento. Ese enfoque utilitario, igual que otras ideas sobre el mundo viviente de los primeros naturalistas y filósofos, prevaleció por muchos siglos e influyó poderosamente en el mundo árabe y el Imperio Bizantino.

Hasta el Renacimiento, era común que dibujantes y pintores recrearan más o menos libremente las características morfológicas de plantas y animales. Es así que en ilustraciones de una planta representaban con frecuencia órganos vegetativos o reproductivos de otras disímiles, con la consiguiente confusión. Eso comenzó a cambiar hacia el siglo XV.

El médico y botánico bávaro Leonhart Fuchs (1501-1566) elaboró una guía de plantas con nombres comunes y descripciones morfológicas, que incluía además aplicaciones terapéuticas y un glosario de botánica. Basó su ordenamiento en varias características de los órganos vegetativos. En su obra escrita en latín y aparecida en Basilea en 1574 con el título *Comentarios notables sobre la historia de las plantas* (*De historia stirpium commentarii insignes*) cuidó que las ilustraciones reprodujeran las plantas con la mayor fidelidad, para lo cual supervisó en forma estricta a los ilustradores.

El médico y filósofo toscano Andrea Cesalpino (1519-1603), quien trabajó la mayor parte de su vida en la Universidad de Pisa, suele considerarse el primer botánico en sentido moderno. Cambió el enfoque de la clasificación de las plantas, pues dejó de lado basarla en sus aplicaciones terapéuticas, y retomó el criterio de apoyarla en las características morfológicas observables de sus frutos y semillas, lo que hoy se llamaría *fenotipo* (que es el resultado de la interacción de la constitución genética o *genotipo* y el ambiente).

Hacia fines del siglo XVII, el naturalista inglés John Ray (1627-1705), de la Universidad de Cambridge, avanzó en la dirección de la descripción empírica —la misma que había tomado Cesalpino— en oposición a la definición de órdenes racionales a priori, y en su obra *Historia plantarum*, publicada en 1686, definió una especie como un grupo de individuos con ciertas características en común que se perpetúan en la progenie. En el siglo XVIII, Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), también adoptó esa noción, llamada de *aislamiento reproductivo*, para definir una especie. Ray consideró que los sistemas de clasificación de las plantas tenían que ser naturales, para lo cual debían basarse en el mayor número posible de rasgos.

En cambio, su contemporáneo Carl Linnaeus (1707-1778), conocido luego de recibir un título de nobleza por Carl von Linné, y en castellano por Lineo, un naturalista, botánico y zoólogo sueco que se desempeñó en la Universidad de Upsala, propuso un sistema artificial de clasificación de dos nombres (o binario), compuesto por género y especie. Además, agrupó los géneros en familias, las familias en clases y las clases en reinos, categorías que con el tiempo se incrementaron. Al advertir que su idea original, solo basada en características de las estructuras reproductivas, tenía limitaciones, recurrió en adición a otros rasgos. Por su parte, y en concordancia con las ideas de Ray, el médico y botánico francés Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836) ideó un método analítico de clasificación natural, basado en la continuidad de muchos caracteres morfológicos y la subordinación entre ellos.

También en el siglo XVIII, Erasmus Darwin (1731-1802), abuelo de Charles Darwin, relacionó la variación morfológica de las plantas con su modo de reproducción, que puede ser sexual, por semillas, o asexual, por estructuras vegetativas como tubérculos, gajos, raíces gemíferas u otras. Charles Darwin (1809-1882) retomó las ideas de su abuelo y describió y clasificó gran parte de los grupos entonces conocidos de plantas y animales.

Amapola (*Papaver rhoeas*). Xilografía coloreada a mano de la obra de Leonhart Fuchs *Comentarios notables sobre la historia de las plantas*, publicada en Basilea en 1574.

Kiwi (*Apteryx* spp.). Croquis de Charles Darwin en una carta que escribió en papel con membrete de la Zoological Society of London, 1851.

Flores normal (izquierda) y anormal de papa silvestre. La segunda pertenece a una planta estéril en la que operaron las barreras a la autofecundación.

Papas silvestres en Amaicha, provincia de Tucumán. Cada división de la vara que da la escala mide 15cm.

como una zona árida o semiárida, puede haber distintos microambientes: uno húmedo, por acumulación de limo debajo de plantas arbustivas o cactáceas, o en la orilla de cursos de agua o entre los meandros de un río o arroyo, como es muy común en Cuyo y el noroeste argentino; y otro seco, entre rocas o en suelos arenosos.

Una planta A puede ser alta, con muchas ramificaciones y foliolos muy desarrollados, porque creció en el microambiente húmedo, pero si se la encuentra o se la cultiva en un microambiente con déficit hídrico, puede ser de baja altura, poco ramificada y con foliolos poco desarrollados. Así, la interacción de genotipo y ambiente resulta un factor determinante de la morfología o fenotipo. Otra planta B puede tener fenotipo morfológico similar a la versión alta de A, pero mantenerlo en ambos microambientes, debido a que su genotipo interactúa escasamente con el ambiente.

Si el taxónomo recolecta plantas que crecen en el mismo sitio pero que ocupan distintos microambientes, como en el ejemplo de las plantas A y B, puede considerar que sus fenotipos morfológicos son similares y asignarlas a la misma especie taxonómica, cuando en realidad pueden ser genotípicamente diferentes y poseer barreras internas de aislamiento reproductivo. Si esas plantas se cultivan luego en las mismas condiciones ambientales, se descubrirá que lo que parecía similar era diferente, o a la inversa.

También podría suceder que dos individuos tuvieran capacidad reproductiva a pesar de grandes diferencias morfológicas. Considérense en este caso las razas caninas. Si se les aplicara el concepto de especie taxonómica utilizado para las plantas, un dálmata y un ovejero alemán pertenecerían a distintas especies por tener diferentes rasgos morfológicos (o fenotipos), lo mismo que un ovejero alemán y un collie. Sin embargo, los perros de esas razas pueden cruzarse entre ellos y producir descendientes fértiles, por lo que pertenecerían a una misma especie biológica.

Si las plantas se clasifican con criterios taxonómicos, no se puede establecer en forma objetiva qué magnitud de diferencias determinan una especie distinta. Se ha opinado que es aquella magnitud que, a juicio de un taxónomo competente, sea suficiente para asignar claramente esa categoría, y que con eso se obtienen resultados aceptables para lograr el principal objetivo de la clasificación, que es

simplemente disponer de un inventario ordenado de los organismos. Si bien los taxónomos a veces han incorporado herramientas estadísticas para trazar la línea divisoria entre especies de plantas, el resultado ha tendido a ser una excesiva diferenciación de especies, que no necesariamente se condice con la dinámica de las poblaciones naturales.

La conclusión que se puede sacar es que para las plantas la especie taxonómica es una categoría artificial que con frecuencia no coincide con el orden de la naturaleza, sobre todo si se toman en cuenta características ecológicas y reproductivas. En otras palabras, los caracteres morfológicos no son confiables para reconocer especies biológicas vegetales. Cómo reconocerlas es otra cuestión, porque, según escribió con ironía un autor, la naturaleza ha evolucionado con total falta de consideración por los problemas prácticos con los que tendrían que enfrentarse los estudiosos.

Flores de papa silvestre.

Las papas silvestres: ¿pertenecen a distintas especies biológicas?

La papa cultivada, clasificada por Lineo como *Solanum tuberosum*, está emparentada con un amplio número de grupos de plantas silvestres, clasificadas por su morfología en el mismo género pero como otras tantas especies taxonómicas. Como aquella, producen tallos subterráneos o tubérculos y son originarias de las Américas, donde crecen espontáneamente con muy amplia distribución geográfica y ecológica (véase la nota de esta autora 'Especies silvestres y mejoramiento genético de la papa', Ciencia Hoy, 6, 35: 46-53, 1996). Sus poblaciones naturales se adaptaron a condiciones ambientales muy variadas mediante cambios diversos que, en muchos casos, son heredables. Por eso, contienen genes de interés agronómico, como los que confieren resistencia a agentes adversos del tipo de déficit o exceso hídricos, bajas temperaturas, hongos, bacterias o virus, u otros que, por la clase y el contenido de almidón, vitaminas o metabolitos secundarios que regulan, mejoran la calidad culinaria o industrial de las papas, o les confieren valor farmacológico.

Las papas silvestres pueden reproducirse tanto de manera sexual, por semillas, como vegetativa, por *estolones* (brotes que se separan de la planta madre) o por tubérculos. La primera permite la formación de nuevas combinaciones de genes y confiere flexibilidad genética a las poblaciones; la segunda origina poblaciones genéticamente homogéneas, compuestas por individuos idénticos o clones. Estos tienen la ventaja de que garantizan la preservación de los genotipos mejor adaptados al ambiente, y la desventaja de que pueden sucumbir ante la propagación epidémica de infecciones, como sucedió en Irlanda en 1845, o ante cambios ambientales drásticos, riesgo menos importante en las poblaciones genéticamente diversas que resultan de la reproducción sexual.

Las papas silvestres en su mayoría, como los mamíferos, tienen dos juegos de cromosomas (son diploides), aunque también las hay con tres, cuatro, cinco o seis juegos (poliploides), que exhiben mecanismos más complejos de herencia. Todas tienen, además, un sistema de autoincompatibilidad, que impide la fecundación si las versiones de los genes del polen que llega al pistilo son idénticas a las de este.

Las poblaciones silvestres de papa están aisladas reproductivamente por barreras externas de tipo geográfico, ecológico o mecánico, reforzadas por barreras que residen en las mismas plantas y son heredables. Estas pueden ser precigóticas, si previenen la fecundación, o poscigóticas, si actúan después de ella, sea produciendo desarrollo anormal o aborto del embrión, o semillas viables de las que nacen plantas débiles o estériles, o que colapsan debido a trastornos genéticos.

También puede suceder que las barreras internas a la hibridación sean incompletas y permitan que se formen híbridos por cruzamientos entre plantas de poblaciones simpátricas. Si esos híbridos a su vez se cruzan con plantas de las poblaciones parentales, y se repite el ciclo con su progenie, se pueden incorporar en forma permanente genes de una población en la otra, fenómeno llamado *introgresión*. Así, dos poblaciones pueden diferenciarse morfológicamente pero, sin embargo, compartir genes.

Si bien hace unas décadas hubo botánicos que señalaron la gran frecuencia de la hibridación y de la introgresión en las papas silvestres, sin embargo continuaron asignando a sus grupos la categoría taxonómica de especie. Los estudios de esta autora y su grupo de investigación han dado fuerte sustento a la hipótesis de que las

Población natural de papas silvestres en Tafí del Valle, provincia de Tucumán.

poblaciones silvestres de papa se encuentran en diferentes estadios de divergencia evolutiva entre ellas, y no al final de ese proceso, como presupone considerar que cada una es una especie separada. Pero como las papas silvestres se reproducen tanto de manera sexual como asexual, no puede aplicárseles el concepto de especie biológica, que fue concebido para organismos biparentales.

Por otro lado, las clasificaciones taxonómicas suelen ser periódicamente revisadas, de modo que el número de especies varía. Así, según la literatura técnica, en los últimos veinte años el número de especies taxonómicas silvestres de papa se redujo de 227 en 1990 a 203 en 2001, a 189 en 2006 y a aproximadamente 110 en 2009. Si bien el concepto de especie y los criterios de clasificación son cuestiones taxonómicas mayores, no dejan de ser construcciones artificiales y por ende modificables.

En síntesis, la inocente aplicación del concepto de especie a la que estamos habituados encierra trampas difíciles de vislumbrar fuera de los círculos de especialistas, y no menos difíciles de obviar por estos. Lo último, entre otras razones, se debe a la manera en que se definen las especies taxonómicas, que no considera la biología reproductiva ni los cruzamientos dentro de las poblaciones naturales y entre ellas, y tampoco tiene en cuenta la variabilidad morfológica y genética que cabe esperar en poblaciones de fecundación cruzada. Por eso, hay especies taxonómicas distintas con poca diferencia morfológica, y plantas morfológicamente muy diversas que han sido asignadas a la misma especie taxonómica. Y sobre todo, se debe a que no se ha logrado definir las especies taxonómicas de forma biológicamente relevante a la luz de nuestros actuales conocimientos genéticos y de la evolución. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CAMADRO EL, 2012, 'Relevance of the genetic structure of natural populations, sampling and classification approaches for conservation and use of wild crop relatives: potatoes as an example', *Botany*, 90: 1065-1072.

CAMADRO EL *et al.*, 2011, 'A genetic approach to the species problem in wild potatoes', *Plant Biology*, 14: 543–554.

GRANT V, 2002, *Especiación vegetal*, Limusa, Barcelona.

HUXLEY R (ed.), 2007, *Los grandes naturalistas*, Ariel, Barcelona.

MAYR E, 2006, *¿Por qué es única la biología? Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*, Katz, Buenos Aires.

Elsa L Camadro

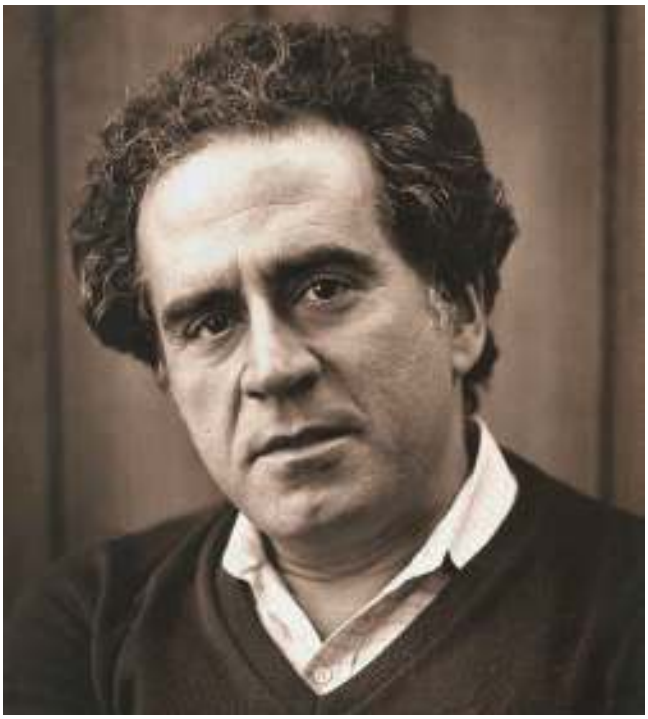
PhD, Universidad de Wisconsin.
Profesora titular, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar de Plata.
Investigadora principal del Conicet.
Investigadora del INTA.
ecamadro@balcarce.inta.gov.ar

Osvaldo M Iazzetta
Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales, UNR

Guillermo O'Donnell
y su contribución a la ciencia política

Guillermo O'Donnell (1936-2011) es posiblemente el politólogo argentino con mayor reconocimiento académico dentro y fuera del país. Graduado en abogacía en la Universidad de Buenos Aires en 1958, obtuvo un doctorado en ciencia política en la Universidad de Yale, en 1981. Residió muchos años y llevó a cabo buena parte de su labor académica en los Estados Unidos, en cuya universidad de Notre Dame, en South Bend, Indiana, alcanzó la posición de profesor emérito de ciencia política y de *senior fellow* del Kellogg Institute for International Studies (del que también fue director entre 1982 y 1997). En 2002-2003 ocupó la cátedra Simón Bolívar en la Universidad de Cambridge, y en 2007-2008 fue profesor visitante en la de Oxford. Igualmente actuó en universidades y centros de investigación de la Argentina y el Brasil. Se estableció en Buenos Aires en 2007, donde murió el 29 de noviembre de 2011.

Desde la aparición de su primer libro, *Modernización y autoritarismo* (Paidós, Buenos Aires, 1972), su amplia y original producción académica lo convirtió en referente de las ciencias sociales latinoamericanas, y en uno de los exponentes más creativos y sensibles de su generación. Sobresalió por su capacidad para condensar en conceptos



Guillermo O'Donnell en 1982, año de fundación del Instituto Kellogg de Estudios Internacionales de la Universidad de Notre Dame, en el estado norteamericano de Indiana, del que fue director por quince años.

¿DE QUÉ SE TRATA?

El análisis de la realidad concreta de países como los iberoamericanos es un camino fecundo para la construcción de conocimiento de valor universal. Guillermo O'Donnell demostró cómo hacerlo.

Guillermo O'Donnell en 2008.

breves y sugerentes los principales problemas y desafíos políticos de la región.

Su labor académica, guiada por el propósito de comprender los problemas que conmovieron y afligieron a la sociedad de su tiempo, también buscó convertir al conocimiento en una herramienta para superarlos. Su producción enfocó principalmente las cuestiones centrales de cada momento: el autoritarismo en la década de 1970, la transición de un régimen autoritario a uno democrático en la de 1980, y una vez implantada la democracia, sus limitaciones y las tareas pendientes. Así, en la década de 1990 reflexionó sobre la *calidad de la democracia* y concibió la idea de *democracia delegativa*, conceptos que no solo circularon en el medio académico, sino también ingresaron en el debate público y se incorporaron al lenguaje político cotidiano.

De sus primeras investigaciones provino el concepto de *Estado burocrático-autoritario*, término con el que designó el tipo de autoritarismo que emergió en la década de 1960 en los países de mayor desarrollo industrial de la región. Apoyándose en la experiencia de los gobiernos militares impuestos en el Brasil en 1964 y en la Argentina en 1966, desplegó un complejo análisis comparativo que lo llevó a concluir que un mayor desarrollo económico no asegura por sí mismo democracias estables. Refutó de ese modo expectativas optimistas muy difundidas por esos años para las cuales la modernización económica llevaría a la madurez política. Publicó su análisis en *Modernization and Bureaucratic-Authoritarianism: Studies in South American Politics* (Instituto de Estudios Internacionales, Universidad de California en Berkeley, 1973).

El análisis de las dos experiencias nacionales mencionadas le permitió reconocer aspectos novedosos de los autoritarismos de entonces, que los distinguían de los tradicionales agrupados en torno a la figura de un caudillo. Para los nuevos autoritarismos el núcleo era una corporación burocrática: las fuerzas armadas. Ellas detentaron en esos años la responsabilidad de gobernar, y lo hicieron con un discurso modernizante y tecnocrático, alejado del tradicionalismo que distinguió a dictaduras precedentes. Por esa distinción es quizá que O'Donnell no parece usar en sus escritos el término *dictadura*, sino el de *régimen autoritario*.

O'Donnell retomó y amplió el mismo tema tiempo después en un libro publicado en Buenos Aires: *1966-1973 el Estado burocrático-autoritario. Triunfos, derrotas y crisis* (Editorial de Belgrano, Buenos Aires, 1982), en el que trató específicamente el caso argentino. En contadas ocasiones, conceptos elaborados por académicos iberoamericanos lograron convertirse en materia de interés y reflexión para estudiosos de los países centrales. Entre ellos se contaron el concepto de *deterioro de los términos de intercambio* en el comercio internacional, elaborado en la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) por el argentino Raúl Prebisch (1901-1986), siguiendo un trabajo del británico nacido en Alemania Hans Singer (1910-2006), y la *teoría de la dependencia*, construida por el sociólogo (y luego político) brasileño Fernando Henrique Cardoso y el sociólogo chileno Enzo Faletto (1935-2003). El primero data de la década de 1950; el segundo, de la de 1960. Lo mismo sucedió con los conceptos de Estado burocrático-autoritario y de democracia delegativa de O'Donnell, cuyo interés pronto se vio reflejado en una extensa literatura especializada que exploró las características y condiciones de emergencia de

Juan Carlos Onganía, Artur Costa e Silva y Augusto Pinochet, dictadores que respectivamente encabezaron gobiernos en la Argentina, Brasil y Chile de lo que O'Donnell llamó *Estados burocrático-autoritarios*.

esos particulares autoritarismos y ahora está haciendo lo mismo con los nuevos tipos de democracia.

Tras haber contribuido a retratar las peculiaridades de esas dictaduras latinoamericanas, O'Donnell emprendió una ambiciosa investigación sobre las tensiones que jalonan el tránsito de un régimen autoritario a una democracia. Lo hizo junto con el politólogo estadounidense Philippe Schmitter, del Instituto Universitario Europeo –cuya sede está en las cercanías de Florencia–, y su colega británico Laurence Whitehead, de la Universidad de Oxford. De esa empresa resultaron cuatro volúmenes titulados *Transitions from Authoritarian Rule* (Johns Hopkins University Press, 1986, traducido al castellano como *Transiciones desde un gobierno autoritario*, Paidós, Buenos Aires, 1988), que reunieron contribuciones de numerosos especialistas en diferentes experiencias nacionales. La repercusión de esos estudios puede apreciarse por su vasta difusión, que incluyó traducciones a diversas lenguas. Hoy mantienen plena vigencia para analizar más recientes procesos de transición, como los que están en pleno despliegue a partir de la llamada *primavera árabe*.

Alberto Fujimori, Fernando Collor de Melo y Carlos Menem, presidentes electos por procedimientos constitucionales en Perú, Venezuela y la Argentina, respectivamente, que se apartaron de la democracia clásica para practicar lo que O'Donnell llamó *democracia delegativa*.

O'Donnell se mostró interesado en indagar el funcionamiento, la dinámica y la singularidad de las recuperadas democracias sudamericanas. Aunque nunca dejó de valorar la magnitud de su diferencia con el pasado autoritario, evitó caer en una postura complaciente ante sus desempeños. Alentó 'una crítica democrática de las democracias', que contribuya a su extensión, profundización y mejora.

Como parte de esa preocupación, en la década de 1990 se planteó una pregunta que aún constituye un motivo de interés y controversia: *¿qué son estas democracias que hoy tenemos?* Para intentar responderla, emprendió una investigación en la que agregó otra pregunta: *¿qué Estados acompañan a esas democracias?*

Ambas preguntas orientaron sus dos últimas décadas de labor académica. Acerca de la segunda, advirtió tempranamente que las nuevas democracias coexisten con Estados débiles, impotentes para garantizar los derechos ciudadanos prometidos por ellas. En esa clase de regímenes, si bien algunos derechos están relativamente asegurados, por ejemplo los relacionados con el momento electoral, otros, como los derechos civiles y sociales, no lo están tanto por la incapacidad de esos Estados de tornarlos efectivos, por los que se trata de democracias con *ciudadanías de baja intensidad*.

Al avanzar en este análisis, O'Donnell puso de manifiesto la existencia de una laguna teórica, pues las teorías que se ocupan del Estado no exploraron suficientemente las implicancias de este sobre los procesos de democratización.

En cuanto al tipo de democracia, su contribución más original se asocia a la idea de *democracia delegativa*, un concepto que acuñó a comienzos de la década de 1990 para designar una forma de democracia que emergió en algunos países iberoamericanos en contextos de severas crisis económicas. Eso sucedió en la Argentina en tiempos de Carlos Saúl Menem, en el Brasil en los del fugaz gobierno de Fernando Collor de Melo y en el Perú con Alberto Fujimori. Se trató, según O'Donnell, de un 'nuevo animal político', insuficientemente estudiado por las teorías sobre la democracia elaboradas en los países centrales.

Sostuvo que en esas democracias quienes resultan electos se sienten autorizados a gobernar como lo crean conveniente, y conciben a los otros poderes constitucionales y a los órganos de control como estorbos que entorpecen el cumplimiento de la misión que el pueblo les delegó. Son democracias no institucionalizadas, en la que las elecciones periódicas y libres conviven con una marcada debilidad de los mecanismos de rendición de cuentas. En ellas, los gobiernos resultan democráticos por su origen, pero al ejercer el poder se alejan de las prácticas de la democracia representativa.

La concepción del poder que anida en este tipo de democracias reposa en que es visto por quienes gobiernan como su solo patrimonio, lo que es compartido por amplias franjas de la sociedad que aceptan e incluso demandan que se gobierne de ese modo. Ello sucedió con la crisis económica y la hiperinflación que antecedieron al arribo de Menem a la presidencia de la Argentina y dispararon demandas de un gobierno fuerte que trajera alivio a cualquier costo, con la consiguiente tolerancia de soluciones cuestionables en otras circunstancias. En esto, una arraigada tradición política de tipo plebiscitario se activa y robustece en el excepcional contexto de una crisis y refuerza aquella forma de entender el ejercicio del poder.

Estos análisis sobre las debilidades del Estado y sobre la democracia delegativa permitieron a O'Donnell llamar la atención sobre aspectos de los procesos democráticos

Guillermo O'Donnell en 2010, con Scott Mainwaring, profesor de ciencia política en Notre Dame.

sudamericanos no contemplados en las teorías políticas originadas en el hemisferio norte y, apoyado en la especificidad de esos procesos, contribuir al debate universal sobre el sentido y los alcances de la democracia. Esta reflexión sobre las conexiones entre la democracia y el Estado guió su tarea hasta el fin de su itinerario intelectual y encontró expresión refinada y madura en su último libro, *Democracia, agencia y Estado. Teoría con intención comparativa* (Prometeo, Buenos Aires, 2010), también publicado el mismo año en inglés (Oxford University Press) y portugués (Paz e Terra, São Paulo).

Esa obra, escrita con una pluma elegante y precisa, resume las pasiones y reflexiones de un intelectual que trabajó intensamente por el perfeccionamiento de las democracias de la región. Sugiere que el objeto adecuado de reflexión, así como de práctica, reside más en la democratización que en la democracia, e invita a realizar un esfuerzo que no tiene término y tampoco se agota en el momento electoral, sino que también debe propagarse a la sociedad y al Estado y, de ese modo, penetrar nuestra experiencia social cotidiana.

Otra faceta de la obra de O'Donnell es su contribución a construir y consolidar instituciones. Tuvo participación decisiva en la creación en Buenos Aires, en 1975, del Centro de Estudios de Sociedad y Estado (CEDES), en tiempos difíciles en que la ciencia política no tenía la madurez que adquirió con el regreso del país al régimen constitucional. En el Brasil actuó en el Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEBRAP), de São Paulo, nacido en 1969 en circunstancias similares al anterior, y en el Instituto Universitário de Pesquisas do Rio de Janeiro (IUPERJ). Fue una figura clave en la gestación del mencionado Instituto Kellogg de Estudios Internacionales, al que como director convirtió en un centro de investigación de primer orden en el mundo. Fue presidente de la Asociación Internacional de Ciencia Política (IPSA-AISP), que reúne a los politólogos de todos los países, y se empeñó por fortalecer la Sociedad Argentina de Análisis Político, para congregar a quienes hoy practican la disciplina en el país.

La gravitación de Guillermo O'Donnell sobrepasa ampliamente el ámbito iberoamericano que fue objeto de sus estudios. Ello no solo debe atribuirse a su prolongada labor académica en los Estados Unidos, a su actuación en la IPSA-AISP y a haber formado discípulos hoy esparcidos por el mundo, sino especialmente al hecho de que, pensando sobre los países de Latinoamérica, siempre apuntó a construir una teoría de valor universal, algo que sin duda logró. Su mirada sobre asuntos como el autoritarismo, la democracia deficiente y la constante tentación de los gobernantes a concentrar más poder constituyen un ejemplo paradigmático de buena ciencia social, de valor universal, construida estudiando las características de este rincón del mundo. CH

Los editores agradecen a Judy Bartlett, del Instituto Kellogg de Estudios Internacionales de la Universidad de Notre Dame, su ayuda para obtener las fotos de O'Donnell.

LECTURAS SUGERIDAS

O'DONNELL G, 1997, *Contrapuntos. Ensayos escogidos sobre autoritarismo y democratización*, Paidós, Buenos Aires.

–, 2007, *Disonancias. Críticas democráticas a la democracia*, Prometeo, Buenos Aires.

–, **IAZZETTA OM** y **VARGAS CULLELL J** (eds.), 2003, *Democracia, desarrollo humano y ciudadanía. Reflexiones sobre la calidad de la democracia en América Latina*, PNUD-Homo Sapiens, Rosario.

–, **IAZZETTA OM** y **QUIROGA H** (eds.), 2011, *Democracia delegativa*, Prometeo, Buenos Aires.

Osvaldo M Iazzetta

Doctor en ciencias sociales, Universidad de Brasilia.
Profesor titular, Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales, Universidad Nacional de Rosario.
Investigador del Consejo de Investigaciones de la UNR.
iazzetta@arnet.com.ar

Daniel J Miralles
Facultad de Agronomía, UBA

Estrategias para aumentar la producción de alimentos

Una de las preocupaciones vigentes de gobernantes, técnicos, científicos, desde hace algunas décadas es la creciente demanda de alimentos y de su precio de mercado, en un contexto de incremento sostenido de la población mundial. Uno de los motivos de preocupación radica en que la tasa de incremento de la población no es acompañada por un incremento similar de la producción de alimentos, lo cual genera un desbalance entre demanda y oferta que pone en riesgo la provisión futura de alimentos.

Crecimiento poblacional y producción de alimentos

Desde mediados del siglo XX el crecimiento de la población humana ha experimento crecimientos lineales. Las proyecciones para 2050 estiman que será necesario alimentar a una población mundial de casi 10 mil millones personas (figura 1). Esta demanda de alimentos estará aun más amenazada por el reemplazo, al menos parcial, de la matriz energética actualmente basada en

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo lograr producir más alimento en un planeta cuya población aumenta pero sus recursos son finitos. El cultivo de trigo es uno de los pilares de la alimentación humana y ofrece algunas posibilidades para incrementar su rendimiento sin ampliar la superficie cultivada.

energía fósil como petróleo, gas y carbón, por energía obtenida a partir de recursos renovables como los cultivos (biocombustibles). En otras palabras, el uso del área agrícola para biocombustibles competirá con el uso para la producción de alimentos.

Por otro lado, el mayor crecimiento de la población se concentrará en los países con menor desarrollo ya que los desarrollados, como los de Europa occidental, estabilizarán mucho más tempranamente su crecimiento poblacional. Esto es importante ya que muchos de los países que experimentarán el mayor crecimiento poblacional, y por ende la mayor demanda alimentaria, no son necesariamente los que producen la mayor cantidad de alimentos. Si bien este artículo no aborda este aspecto, resulta evidente que los escenarios futuros de oferta y demanda de alimentos tendrán importantes implicancias políticas.

En el mundo se cultiva una diversa cantidad de especies vegetales comestibles que producen granos (comúnmente denominados cereales y oleginosos). Sin embargo, la base de la alimentación humana se sustenta solo en unas pocas especies de cereales que incluyen trigo, arroz y maíz. Más del 60% de la producción mundial de arroz y trigo y el 30% de la de maíz se destina al consumo humano. Por lo tanto, según las proyecciones de crecimiento poblacional de la figura 1, para satisfacer la demanda de alimentos en 2050 deberemos producir aproximadamente un 50% más de estos cereales que en la actualidad.

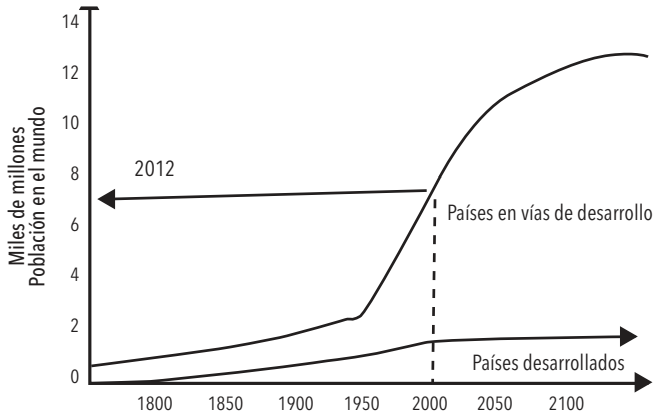


Figura 1. Crecimiento real y proyecciones de la población en el mundo en países desarrollados y en vías de desarrollo. Fuente: FAO 2009.

Una estrategia para incrementar la producción de alimentos es el aumento del área cultivada, si bien su alcance es limitado. Por un lado, buena parte de los suelos potencialmente disponibles no son aptos para la agricultura extensiva. Si bien en algunos lugares de América del Sur el avance de la frontera agrícola ocurre a expensas de selvas y bosques nativos, estos ambientes resultan muy frágiles ante la intervención agrícola, por lo que su conversión en zonas agrícolas no parece ambientalmente sostenible. Por otro lado, la expansión de las áreas urbanas, debido al crecimiento poblacional en ellas, ocurre a expensas de áreas rurales periurbanas, lo cual reduce la superficie cultivable.

Otra estrategia, y que ha sido crecientemente adoptada por los agricultores, es la intensificación agrícola que consiste en aumentar la proporción del tiempo en que una parcela de tierra permanece cultivada. De esta manera se logra una mayor producción por unidad de superficie a lo largo de un ciclo productivo. Esta tecnología involucra un diseño particular de secuencias de cultivos (rotaciones) de modo tal que optimice el aprovechamiento del agua, los nutrientes y la radiación solar. La intensificación, no obstante, requiere un equilibrio en la combinación de los cultivos y un manejo técnico particularmente idóneo que asegure la integridad de los recursos naturales involucrados y el rendimiento de los cultivos.

En definitiva, la mayor producción de alimentos requerida probablemente deba sustentarse más en el aumento de los rendimientos en las tierras actualmente cultivadas que en el cultivo de nuevas tierras. Si bien el desarrollo tecnológico orientado a reducir la incidencia de enfermedades y plagas o a aumentar el aprovechamiento de los recursos por parte de los cultivos es un

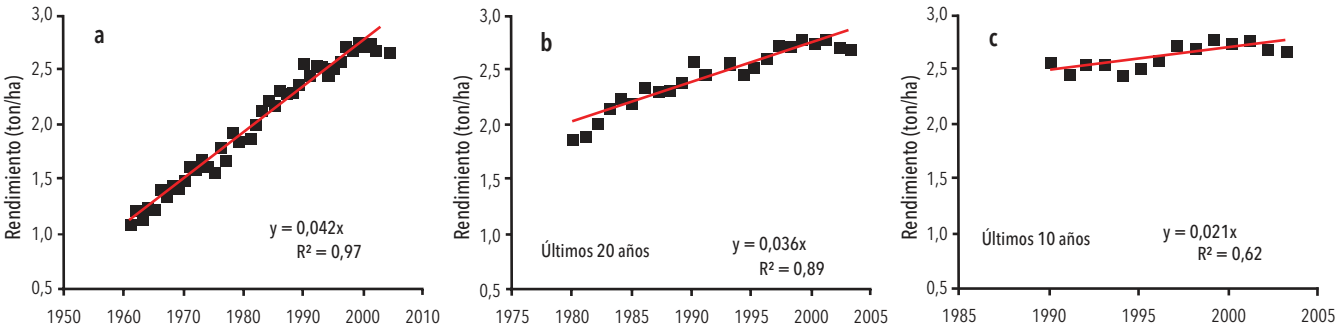


Figura 2. Rendimiento de trigo en el mundo y detalle de los últimos veinte y diez años. Los parámetros de las funciones corresponden a los ajustes mediante regresiones lineales (modificado de Miralles & Slafer, 2007).

camino posible, aquí trataremos las posibilidades que ofrecen los propios cultivos para modificar aspectos de su fisiología que redunden en mayores rendimientos.

Dinámicas de la demanda y la oferta de alimentos, ¿velocidades distintas?

La proyección de la demanda de alimento establece cuánto deberemos aumentar el rendimiento de los cultivos para satisfacerla. En el caso del trigo y el arroz, cuya producción actual anual en el mundo entero es de más de 1.000 millones de toneladas, prácticamente la totalidad del grano producido durante los últimos años fue consumido por la población, lo cual evidencia la limitada capacidad de acopio y la dependencia de aumentos en el rendimiento para satisfacer la demanda creciente.

El rendimiento mundial promedio de trigo por unidad de superficie desde los años 60 hasta la actualidad aumentó a una tasa anual de 42kg/ha (figura 2a). Sin embargo, si se consideran los últimos veinte años dicha tasa se redujo a 36kg/ha (figura 2b) y descendió a 21kg/ha en la última década (figura 2c). En términos relativos, las actuales tasas de incremento anual del rendimiento de los cereales oscilan entre 0,5 y 0,7%, mientras que las proyecciones basadas en la demanda indican que deberían alcanzarse tasas entre 1,1 y 1,3%. Entonces, el escenario más probable parece ser el de una demanda de alimentos insatisfecha en el futuro cercano, que debería promover el diseño de estrategias para aumentar el rendimiento de los cultivos que sostienen la base alimentaria mundial.

Estrategias para lograr aumentos en los rendimientos potenciales

El aumento cualitativo de los rendimientos de trigo y arroz registrados durante los años 60, en lo que se conoció como la Revolución Verde, se basó fundamentalmente en la reducción de la altura de las plantas, lograda mediante la introducción de genes de enanismo. Por un lado, la reducción de la altura de las plantas redujo el riesgo de vuelco (caída), por lo que aumentó la eficiencia de la cosecha. Paralelamente, la creación de plantas semienanas (como consecuencia de la reducción de altura) afectó el funcionamiento interno de las plantas de manera que una mayor parte de la energía obtenida mediante la fotosíntesis era redirigida hacia las espigas, que se volvieron más fértiles por la mayor disponibilidad de energía y produjeron más granos cosechables por unidad de superficie.

Si bien este camino fue exitoso en el pasado para lograr incrementos en los rendimientos, la relación entre el rendimiento y la altura de la planta responde a un óptimo, que ronda entre los 70 y 100cm (figura 3). Las plantas de mayor altura, además de ser susceptibles al vuelco, asignan proporcionalmente menos recursos al crecimiento de los granos mientras que las de menor altura, con su mayor asignación de recursos a los granos,

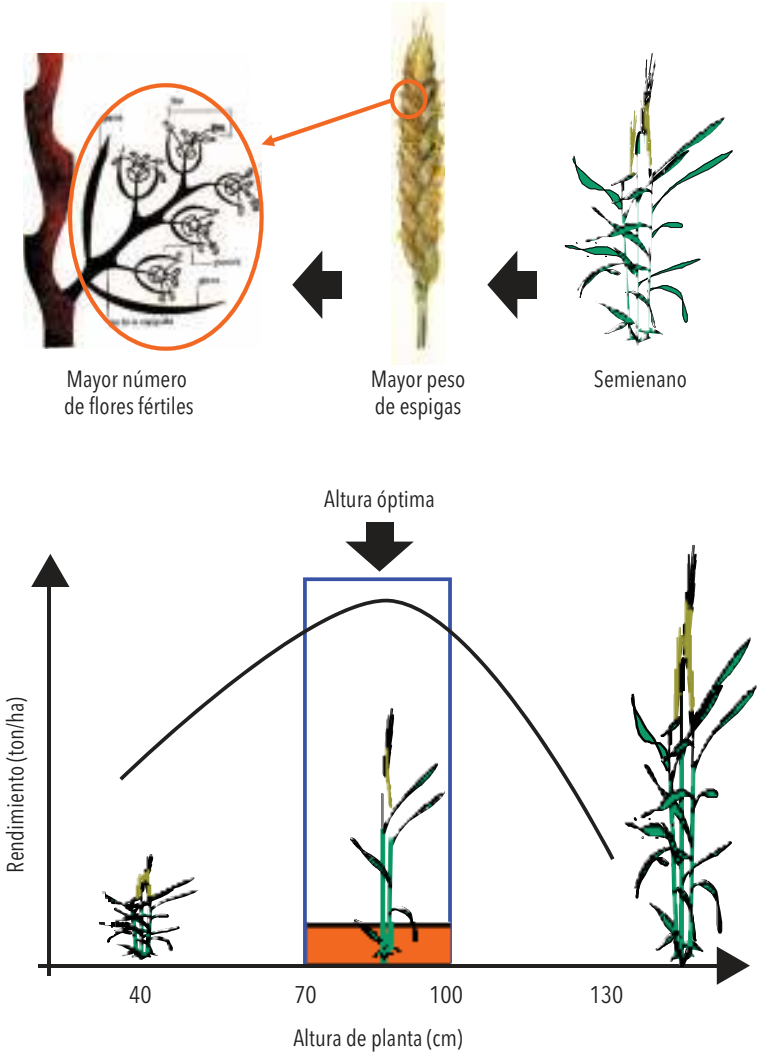
Pieter Brueghel, 1565. *La siega*. Cosecha de trigo en 1565 en la campiña europea. Nótese la altura de las plantas de trigo y además la proporción del tamaño de las espigas (muy pequeñas) en relación con la longitud de los tallos (muy altos). La cosecha se realizaba a mano y se acondicionaba en parvas para el secado de los granos.

no logran compensar las limitaciones impuestas por su porte pequeño.

Aumentos en la acumulación de biomasa y su asignación hacia las espigas

Desde hace algunos años, científicos de distintos países investigan estrategias que permitan incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, es decir, aquel que se registra cuando el cultivo se desarrolla sin restricciones ambientales. Si bien estas condiciones no son frecuentes en los campos de producción, se ha demostrado que las estrategias de mejoramiento que aumentan los rendimientos potenciales también se traducen en aumentos de los rendimientos reales registrados en esos campos, aun cuando exista una amplia brecha entre ambos.

Figura 3. Esquema de la relación entre el rendimiento y la altura de la planta de trigo. Se destaca el rango de alturas en que se logran los rendimientos óptimos y la mayor cantidad de flores fértiles.



En el caso del cultivo de trigo, entre las distintas estrategias que se proponen para lograr aumentos en los rendimientos potenciales se encuentran las mejoras en la acumulación de biomasa y otras complementarias que permiten que una mayor fracción de esa biomasa acumulada se distribuya hacia los granos que se cosecharán. La forma en que la planta reparte la energía obtenida durante la fotosíntesis entre los órganos cosechables y el resto se denomina *índice de cosecha*.

En el primer caso lo que se procura es aumentar la eficiencia de uso de la radiación solar por parte del cultivo. Es decir que se trata de aumentar la cantidad de biomasa que se produce por cada unidad de radiación solar interceptada. Otra vía de mejora consiste en optimizar la distribución del nitrógeno dentro de la planta de modo que las hojas superiores contengan la mayor concentración de nitrógeno, un nutriente imprescindible para la construcción de las enzimas que intervienen en la fotosíntesis. Finalmente, una tercera alternativa consiste en mejorar la capacidad fotosintética de las espigas que contienen los granos durante el período de llenado de estos últimos.

Debido a que la mayoría de los cultivos de trigo en condiciones de campo alcanzan valores que prácticamente interceptan toda la radiación solar que incide sobre ellos (95%), la estrategia de aumentar más aún este aprovechamiento de la luz no despierta grandes expectativas. Sin embargo, lograr una mayor producción de biomasa mediante una mayor eficiencia del proceso de fotosíntesis constituye un gran desafío. Los eventuales aumentos de eficiencia requieren alterar numerosos atributos del cultivo que implican distinto grado de dificultad así como distintas expectativas de tiempo para modificar dichos atributos del cultivo. El aumento de la actividad de la principal enzima que interviene en la transformación del carbono del aire en azúcar (rubisco o ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa) constituye uno de los desafíos más importantes. Una mayor actividad de esta enzima mejoraría la capacidad fotosintética del cultivo y, por lo tanto, su capacidad de producir biomasa, que redundaría en aumentos de rendimiento. Si bien esta alternativa es una de las que demandará más tiempo de investigación y desarrollo, en la actualidad se estudian los factores que inhiben la actividad de esta enzima a fin de poder bloquearlos, inhibirlos y/o desactivarlos.

Las estrategias tendientes a mejorar el índice de cosecha de las plantas dependen más de aumentar el número de granos producidos que su peso y tamaño individual (figura 3). En el pasado vimos cómo los aumentos en el índice de cosecha estuvieron asociados a la reducción de altura y las limitaciones que este camino ofrecía en el futuro. En la actualidad se investigan estrategias de incorporación de genes de otras especies al genoma del trigo, con el fin de aumentar la supervivencia de las flores. Por ejemplo, la introducción de genes de una especie gramí-

nea (Agropiro, *Thinopyrum ponticum*), muy utilizada como alimento para ganado, ha mostrado rendimientos entre 10 y 20% superiores a sus congéneres no modificados genéticamente, debido a una mayor fertilidad de las flores y, en consecuencia, un mayor número de granos por espiga.

Otra estrategia para aumentar el crecimiento y tamaño final de las espigas que albergan los granos consiste en que a lo largo del desarrollo de la planta se prolongue la duración de los estadios reproductivos (crecimiento de las espigas) a costa de los vegetativos (crecimiento de hojas, tallo y raíces). Si bien los resultados experimentales son alentadores, ha resultado difícil transmitir la capacidad para modificar la duración relativa de las distintas etapas de la planta de una generación a otra. A su vez, esta capacidad parece variar notablemente frente a cambios en las condiciones ambientales en las que crece el cultivo. Esta estrategia, no obstante, aún sigue siendo explorada a fin de identificar el grupo de genes que interviene en definir la duración de las etapas de desarrollo de las plantas.

Consideraciones finales

Las proyecciones del crecimiento de la población mundial indican que será necesario aumentar la producción de alimentos para satisfacer una demanda creciente. Como contrapartida, las actuales tasas de mejora del rendimiento de los cultivos más relevantes para la alimentación muestran aumentos inferiores a lo requerido que comprometen la seguridad alimentaria de los próximos treinta años. Esta preocupación ha intensificado la investigación hacia la exploración de estrategias para aumentar el rendimiento potencial de los cultivos por unidad de área debido a las limitaciones para incrementar el área sembrada.

La investigación de las últimas décadas ha demostrado que aumentos en los rendimientos potenciales de los cultivos producen efectos de arrastre en los obtenidos bajo las condiciones reales de los campos de producción. Por lo tanto, comprender y modificar los factores que incrementan los rendimientos potenciales parece un camino promisorio para lograr mayores rendimientos reales. En este contexto, el trigo y el arroz son las dos especies que reciben la mayor atención ya que conforman la base de la alimentación mundial.

Aquí hemos presentado y discutido algunas estrategias para aumentar la producción por unidad de área, que varían en su factibilidad y tiempo necesario para desarrollarlas y difundirlas entre los agricultores. La biotecnología es una herramienta clave para acelerar los tiempos de dicha eficiencia, si bien requiere un profundo conocimiento de los mecanismos que determinan los aumentos de rendimiento y cómo varían frente a distintos escenarios de producción (climáticos y tecnológicos).

Sin duda, los avances en el futuro para incrementar la eficiencia de producción y los rendimientos manteniendo una adecuada calidad requieren de equipos multidisciplinarios de trabajo. En ellos, biotecnólogos, ecofisiólogos, mejoradores y técnicos deberán trabajar conjuntamente para acelerar la eficiencia y los tiempos de la mejora genética a fin de satisfacer una demanda creciente de alimentos en el futuro cercano. CH

Daniel J Miralles
Doctor en ciencias agropecuarias, UBA.
Profesor asociado, Facultad de Agronomía, UBA.
Investigador principal del Conicet.
miralles@agro.uba.ar

LECTURAS SUGERIDAS

BRUINSMA J, 2009, 'The resource outlook to 2050. By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?', *FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, FAO, Roma *(http://www.fao.org/wsfs/forum2050/ background-documents/expert-papers/en/)*.

HALL AJ & **RICHARDS RA**, 2013, 'Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops', *Field Crops Research*, 143: 18-33.

MIRALLES DJ & **SLAFER GA**, 2007, 'Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?, *Journal of Agricultural Science*, 145: 139-149.

REYNOLDS M *et al*, 2009, 'Raising yield Potential in Wheat', *Journal of Experimental Botany*, 60: 1899-1918.

SLAFER GA *et al*, 2001, 'Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat', *Euphytica*, 119: 191-197.

Matías Pandolfi
Martín Ramallo
Agustina Birba
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

El cerebro de los peces y sus variadas formas de reproducción

El grupo más diverso de vertebrados

En la actualidad los peces conforman el grupo de vertebrados con mayor número de especies, las que exceden las 31.000, más que las de todos los otros grupos de vertebrados sumadas. Para conservar esa gran biodiversidad, así como para la cría de especies comestibles, especialmente de agua dulce, o de especies que pueblan los acuarios ornamentales, no alcanza con conocer sus características generales. Es importante, además, comprender su fisiología, es decir, cómo funcionan todos los sistemas de estos animales adaptados al medio acuático. En esa abundancia de organismos podemos encontrar una gran diversidad de formas, colores, tamaños, dietas, hábitats, maneras de reproducirse y modos de vida.

Los primeros estudios sobre la fisiología de los peces datan de mediados de la década de 1960, mucho más

	PECES	AVES	REPTILES	ANFIBIOS	MAMÍFEROS	TOTAL
Número de especies	31.300	9.998	9.084	6.433	5.490	62.275
Porcentajes	50,2	16,0	14,6	10,4	8,8	100,0

Diversidad de los vertebrados. Datos de la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza, 2010.

¿DE QUÉ SE TRATA?

El estudio del funcionamiento del cerebro, del comportamiento y de las modalidades reproductivas de los peces es importante para el avance de múltiples disciplinas científicas.

Pez dorado chino (*Carassius auratus*), del que se descubrió en la década de 1980 que la actividad eléctrica de algunas neuronas cerebrales se mantenía idéntica en animales muertos y en vivos, y permanecía así por hasta veinticuatro horas después de la disección de su cerebro si este se conservaba en un medio adecuado y con buena aireación. Fue domesticado hace siglos y en la actualidad existen diversas razas de acuario cuyos ejemplares tienen muy diversos tamaños y configuraciones. Lámina de William Houghton & Alexander Lydon, *British Fresh-Water Fishes*, Londres, 1879.

tarde que los similares sobre mamíferos, y desde entonces se han producido grandes avances. Mucho de lo que se aprende sobre las características únicas de estos animales acuáticos puede servir para conocer cómo funcionan los animales en general, incluidos los terrestres y, como parte de ellos, los mamíferos, los que incluyen a los humanos.

Un cerebro con propiedades únicas

Los peces constituyen un excelente modelo para estudiar el sistema nervioso de los vertebrados, ya que poseen dos características únicas: (i) fuera de la cabeza su cerebro mantiene sus funciones casi intactas por muchas horas, y (ii) son capaces de formar nuevas neuronas en muchas regiones del cerebro durante su vida adulta.

La primera característica del cerebro de los peces permite estudiar por largos períodos la actividad eléctrica de sus neuronas con el órgano intacto. En otros vertebrados, en cambio, siempre se debe trabajar con porciones de masa encefálica. En la década de 1980 se demostró que la actividad eléctrica de algunas neuronas de cerebros disecados del pez dorado chino (*Carassius auratus*) era idéntica a la de los animales vivos, y se mantenía así por hasta veinticuatro horas después de la disección si el cerebro se conservaba en un medio adecuado y con buena aireación. Se comprobó también en esos experimentos que por hasta diecisiete horas luego de retirar el cerebro del cráneo la síntesis y la liberación de proteínas fuera de las neuronas eran idénticas en ellos y en animales intactos. A partir de ese estudio pionero se hicieron otros sobre diferentes especies ictícolas que permitieron analizar, de un modo más cercano a la realidad fisiológica que en otros vertebrados, el funcionamiento de zonas específicas del cerebro. Estos estudios permiten investigar el sistema nervioso ocasionando mínimo daño en los numerosos axones y dendritas, que son unas delicadas prolongaciones de las neuronas.

La segunda característica del cerebro de los peces, técnicamente llamada *neurogénesis adulta*, contradice uno de los principios aceptados de la biología, según el cual no existía formación de nuevas neuronas en la vida adulta de los vertebrados. En 1962, un grupo de investigación del Instituto de Tecnología de Massachusetts dirigido por Joseph Altman (que en 2011 recibió el premio Príncipe de Asturias), demostró que algunas zonas del cerebro de las ratas eran capaces de formar nuevas neuronas. Hoy es ampliamente aceptado que en cuatro regiones específicas del cerebro de los mamíferos –ventrículos laterales, hipocampo, corteza del cerebelo y mucosa olfatoria– hay formación de nuevas neuronas a partir de células precursoras. Algo similar ocurre en los reptiles y en las aves, grupos para los que no hay tantos estudios que lo avalen como para mamíferos.

En contraste, los peces exhiben una capacidad mucho mayor para la neurogénesis adulta y la regeneración neuronal. El primer estudio sobre el tema se llevó a cabo en 1970, sobre una especie de agua dulce del norte de Sudamérica denominada lebiste o guppy (*Poecilia reticulata*), muy conocida por los aficionados a los peces tropicales. Investigaciones posteriores de esa y otras especies dejaron en evidencia que la capacidad neurogenerativa de los peces se da en todo el cerebro y durante toda la vida. Es cuatro veces superior a la de un ratón.

En los peces, las células que se dividen y dan origen a nuevas neuronas se denominan *células gliales radiales*. Se encuentran en varias regiones del cerebro, en las que dan lugar a precursores neuronales que luego migran a áreas específicas del órgano. Las células gliales radiales se caracterizan por tener una única prolongación, larga y de orientación radial, que actúa como guía para las neuronas recién formadas en su viaje hasta el lugar en que finalmente quedarán. En los mamíferos, en cambio, las células gliales radiales solo aparecen en estadios tempranos de su desarrollo.

Las células gliales radiales también se caracterizan por producir *estradiol*, una hormona de la familia de los esteroides relacionada con la regulación de la reproducción en las hembras de los vertebrados.

Una posible explicación de por qué la historia evolutiva de los mamíferos los llevó a tener, comparados con los peces, una reducida capacidad de generar nuevas neuronas en la vida adulta es la llamada *hipótesis de equivalencia numérica* (*numerical matching hypothesis*), que predice la existencia de una relación entre el número de células cerebrales y de células periféricas, como las musculares. En los peces, que tienen la capacidad de crecer a lo largo de toda su vida, se comprueba la aparición de nuevas células musculares, lo mismo que de nuevas células sensoriales que deben ser inervadas por nuevas neuronas. Los mamíferos, en cambio, dejan de crecer al alcanzar la edad adulta: su masa muscular aumenta por el incremento de tamaño de sus células musculares más que por la aparición de nuevas.

Actualmente, un importante número de investigadores estudia los mecanismos de la neurogénesis en la vida adulta, que son de gran interés para la medicina para definir tratamientos de lesiones del sistema nervioso y enfermedades neurodegenerativas. El conocimiento de los factores moleculares que influyen en la regeneración neuronal en los peces permitiría en un futuro comprender mejor los procesos de los mamíferos.

Múltiples formas reproductivas

Al pensar en cómo se reproducen los peces, la primera imagen que se nos viene a la mente es la hembra que libera sus huevos en el agua, sobre los que el macho disemina después el esperma. En ese caso, los espermatozoides masculinos fecundan las gametas femeninas fuera del cuerpo de la hembra, lo que se denomina *fecundación externa*. Las gametas pueden provenir de una única hembra o de un grupo que desova junto. La ovulación y la espermiación pueden acontecer a la vez, como en muchas especies que habitan arrecifes de coral, o en distintos momentos. En segundo caso, puede suceder que el macho libere primero el esperma y lo deje adherido a las paredes de algún nido (como algunas especies de góbidos) o que la hembra lo haga primero con los huevos, incluso que luego los tome con su boca y el macho libere su esperma en la boca de la hembra (como sucede en algunas especies de cíclidos africanos). La mayoría de las especies que presentan fecundación externa son *ovíparas*, es decir, sus hembras expulsan huevos sin fecundar por su poro genital.

Sin embargo, los peces tienen otras formas reproductivas, que en varios casos incluyen también fecundación interna, mucho menos frecuente que la externa. En esos casos, el macho tiene alguna disposición de las aletas pélvicas o anales que facilita la llegada de los espermatozoides a las cavidades ováricas de las hembras, donde ocurre la fecundación. Un caso curioso es el de algunas especies de caballitos de mar, cuyas hembras

Lebiste o guppy (*Poecilia reticulata*), pez de agua dulce del norte de Sudamérica, muy conocido por los aficionados a los peces tropicales, sobre el cual se realizaron en la década de 1970 los primeros estudios de neurogénesis y regeneración neuronal. Mide unos 3,5cm. Foto Wikimedia Commons

depositan los huevos en una bolsa incubadora que los machos llevan en su vientre, dentro de la cual estos liberan los espermatozoides y ocurre la fecundación.

Las especies con fecundación interna pueden ser *vivíparas* u *ovovivíparas*. En las primeras la hembra expulsa juveniles completamente formados por su poro genital. Muchas rayas y tiburones tienen ese tipo de reproducción, propia de unas mil especies, en gran parte marinas. Las especies ovovivíparas también expulsan crías vivas, pero recién eclosionadas. A diferencia de las vivíparas, las ovovíparas retienen los huevos hasta la eclosión, pero la nutrición del embrión no depende de la madre sino del vitelo o yema del huevo. Esta forma reproductiva no es muy común en los peces marinos. Aparece en muchas especies tropicales de agua dulce, muy demandadas para acuarios ornamentales, como las de los géneros *Poecilia* y *Xiphophorus*.

Las especies con un macho y una hembra que no cambian de sexo se llaman *gonocóricas* y son la gran mayoría entre los peces. Pero también hay *hermafroditas* entre estos, que pueden ser de dos tipos: *hermafroditas simultáneos*, que son los menos frecuentes, o *hermafroditas secuenciales*. Los individuos de los primeros pueden actuar sea como machos o como hembras durante el apareamiento, incluso el mismo día; todos tienen en uso simultáneo testículos y ovarios. Los hermafroditas secuenciales, en cambio, pueden cambiar de sexo a lo largo de su vida. Sus ovarios y testículos no son funcionales al mismo tiempo: en algunas especies los individuos son machos en la primera etapa de la vida y luego se convierten en hembras y en otras sucede lo inverso.

El ejemplo más conocido de hermafroditas secuenciales son los peces payaso, de la especie marina *Amphiprion ocellaris*. Viven en pequeños grupos formados por una única hembra dominante de mayor tamaño, un macho dominante subordinado a la hembra, y tres o cuatro machos juveniles asexuados. Si la hembra muere, el macho dominante se transforma en hembra y asegura la reproducción para la comunidad. Los individuos de otras especies son hembras en la primera etapa de su vida y luego cambian a machos, como sucede con algunos que forman harenes constituidos por un macho que cuida a numerosas hembras durante toda su vida. Las dos principales responsabilidades de esos machos son defender su territorio de otros machos y reproducirse con sus hembras. Si uno de ellos muere, la hembra dominante del harén sufrirá un cambio de sexo y pasará a ser macho.

Pez payaso (*Amphiprion ocellaris*), pez marino que mide unos 10cm y vive en pequeños grupos formados por una única hembra dominante de mayor tamaño, un macho dominante subordinado a la hembra, y tres o cuatro machos juveniles asexuados. Si la hembra muere, el macho dominante se transforma en hembra y asegura la reproducción para la comunidad. Foto Ritikis, Wikimedia Commons.

Como vemos, hay varias formas de clasificar las modalidades reproductivas. La mayoría de los peces liberan sus huevos directamente en el agua, y dejan que se dispersen por las corrientes. Los hay que producen huevos más densos que el agua y tienen la capacidad de adherirse a alguna superficie. En estos suelen observarse comportamientos más complejos en cuanto a la agresividad desplegada por los machos o las hembras para la elección y defensa de un territorio y la construcción de nidos. Cuanto más escasos son los recursos pareja, territorio, alimento, mayor es la competencia y la agresividad desplegada, lo que resulta en engorrosas interacciones sociales, con la presencia de individuos de distinta jerarquía.

Especies modelo para la investigación científica

Desde hace unos quince años, para estudiar los peces se ha difundido recurrir a ciertas especies modelo, como el pez cebra (*Danio rerio*) o el pez medaca (*Oryzias latipes*), habitantes de agua dulce del sudeste asiático, para las cuales hay varias líneas de animales transgénicos, es decir, animales que poseen un gen que no les pertenece, el cual les fue introducido por procedimientos de ingeniería genética. Por ejemplo, hay medacas con un gen que expresa una proteína verde fosforescente, típica de las medusas, en algunas neuronas, lo que permite al investigador observarlas de manera directa durante la vida del animal. Como se conoce la totalidad de la información genética de estos peces, pues se ha logrado secuenciar su genoma completo, pueden realizarse con ellos muchos experimentos originales y de avanzada que revelan el funcionamiento de su organismo.

En los últimos años se comenzó a usar varias especies de la familia de los cíclidos (*Cichlidae*) para estudiar el control social de la reproducción. Se trata de especies territoriales que poseen individuos dominantes e individuos subordinados en distintos grados, lo que resulta en complejas interacciones sociales. En ese grupo se han estudiado mucho los cíclidos africanos, de los que algunos,

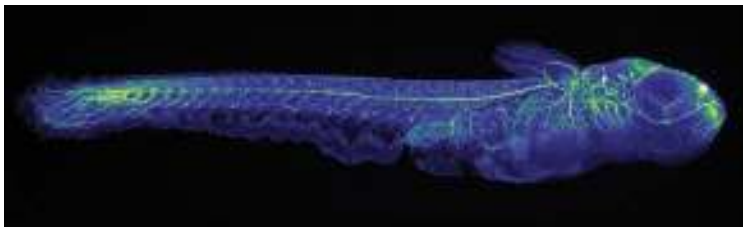
como las tilapias –nombre común usado para cerca de un centenar de especies–, son importantes pues además son comestibles. En la Argentina, el primer autor de esta nota y sus colaboradores trabajan desde hace más de diez años en estos temas con un cíclido autóctono (*Cichlasoma dimerus*) conocido comúnmente como chanchita. Es una especie monógama y con cuidado biparental, que vive en aguas quietas y poco profundas de lagunas asociadas con los ríos Paraná y Paraguay, desde Brasil hasta el norte de la provincia de Buenos Aires.

En los últimos años hemos comprobado mediante experimentos que en los grupos de estos peces imperan distintas jerarquías sociales y se dan complejas interacciones entre sus individuos. El estudio de su desempeño en acuario indicó que antes de su tiempo reproductivo los peces tienen un comportamiento gregario y un patrón de coloración característico. Cuando comienzan a observarse conductas vinculadas con la reproducción, aumenta la agresividad entre los individuos y se establece un orden jerárquico. El macho dominante elige un territorio y lo defiende de sus congéneres; la hembra selecciona al macho dominante con mejor territorio, forma pareja con él y se transforma en reproductora agresiva. Realizada la puesta, aumenta más la agresividad de los reproductores para con los individuos no dominantes. Al eclosionar los huevos acaece otro aumento de la agresividad, la que llega a su máximo cuando las larvas comienzan a nadar libremente.

Conclusiones

Investigar a los peces es importante para distintas disciplinas y actividades. Iluminan los estudios sobre sistemática y evolución pues constituyen el grupo más diverso de vertebrados vivientes. Proporcionan una oportunidad única para avanzar en el conocimiento de la biología reproductiva y el comportamiento social, ya que forman todos los tipos conocidos de estructuras sociales: especies monógamas, especies que vive en harén, especies con conflictividad social elevada y distintos tipos de dominancia, especies que puede cambiar de sexo, etcétera. Ponen a disposición de las neurociencias un cerebro que por varias horas permanece vivo y con sus propiedades intactas fuera del cuerpo del animal, y además una altísima capacidad neurogenerativa que se extiende a la edad adulta. Por último, sus muchas especies comestibles y ornamentales constituyen un recurso para la piscicultura. CH

Pez cebra (*Danio rerio*), pez de agua dulce de la región del Himalaya, en el sudeste asiático, popular como pez de acuario. Mide unos 5cm. Se ha secuenciado su genoma completo y suele emplearse como modelo para investigación. Foto Duke University



Pez del arroz o medaca (*Oryzias latipes*), originario del Japón y común en arrozales del este y sudeste de Asia. La imagen muestra un ejemplar de diez días, que mide 5mm, y fue tomada con un microscopio de fluorescencia y luz láser. Los trazos verdes corresponden al cerebro, el ojo y la espina dorsal en pleno desarrollo. Es un buen organismo modelo pues comparte muchos procesos moleculares con los vertebrados terrestres. Foto Philipp Keller, Laboratorio Europeo de Biología Molecular.

Chanchita (*Cichlasoma dimerus*), pez que vive en aguas quietas y poco profundas de lagunas asociadas con los ríos Paraná y Paraguay, desde el Brasil hasta el norte de la provincia de Buenos Aires. Mide unos 10cm. Foto Rainer Stawikowski

Matías Pandolfi

Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Investigador adjunto del Conicet.
Profesor adjunto, FCEN, UBA.
pandolfi@bg.fcen.uba.ar

Martín Ramallo

Licenciado en biología, UBA.
Estudiante de doctorado y
becario del Conicet, FCEN, UBA.

Agustina Birba

Estudiante avanzada de
la licenciatura de ciencias
biológicas, FCEN, UBA.
Becaria estímulo de la UBA.

HP

Luis Cabanillas
Gustavo Carstens
Juan Pablo Lovecchio
Patricio A Marshall
Luis Rebori
Juan Carlos Soldo
Eduardo Vallejo
Gustavo Vergani

Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos del Petróleo

Hidrocarburos
convencionales y no convencionales

Conceptos básicos de la geología del petróleo

Los *hidrocarburos* son compuestos orgánicos formados por cadenas de carbono e hidrógeno originados en el subsuelo terrestre por transformación química de la materia orgánica depositada con rocas sedimentarias de grano fino en el pasado geológico. Las *rocas sedimentarias* se forman a partir de la depositación o precipitación de sedimentos (partículas o granos no consolidados de minerales, materia orgánica o rocas preexistentes) que pueden ser transportados por el agua, el hielo o el viento y depositados en zonas deprimidas de la corteza terrestre denominadas *cuencas sedimentarias* donde pueden ser preservados durante un determinado lapso de la historia geológica; normalmente, millones de años. En las cuencas sedimentarias, los sedimentos se depositan en distintos *ambientes*: continentales (fluvial, lacustre, eólico, glacial, etcétera), marinos (en plataforma submarina somera o ambiente marino profundo) o en ambientes de transición (playas, deltas, llanuras costeras, otros). Al depositarse, los sedimentos llevan consigo y sepultan restos de fitoplancton y zooplancton; estos restos de microorganismos son, junto con las algas y el material vegetal, los portadores de la materia orgánica que, al depositarse en un ambiente *anóxico* (con escaso oxígeno), es preservada sin que llegue a descomponerse. Con el sucesivo soterramiento, los sedimentos se transforman en rocas, en este caso sedimentarias, y al incrementar la profundidad estas son sometidas a mayores temperaturas según el gradiente del área. Así, los restos de microorganismos ricos en materia orgánica contenidos en sedimentos finos (comúnmente llamados roca madre o roca generadora) se transforman en kerógeno. A partir de que la roca madre alcanza una temperatura en torno a los 90°C, el kerógeno comienza a ser transformado en hidrocarburo líquido. En este caso se dice que la roca madre ingresa en ventana de petróleo (figura 1). El petróleo así generado

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las fuentes de energía en el mundo provienen mayoritariamente de la explotación de hidrocarburos. En los últimos años se dio a conocer un nuevo tipo de yacimiento, denominado *no convencional*, en comparación con los tradicionalmente explotados o *convencionales*. En este artículo se explican sus características y diferencias.

se va acumulando en los poros, incrementando paulatinamente su volumen y presión hasta que es expulsado hacia las rocas circundantes. Cuando la roca madre alcanza los 130°C comienza a producir hidrocarburo gaseoso, ingresando en ventana de gas (figura 1) y empobreciéndose gradualmente en kerógeno residual.

Como los hidrocarburos son menos densos que el *agua de formación* (agua contenida en las rocas), estos tienden a moverse en un camino preferentemente ascendente a través de la columna sedimentaria; en este proceso de *migración* (o desplazamiento) pueden encontrar *rocas reservorio*, porosas y permeables, que los alojen y si, además, encuentran algún elemento o barrera que sirva de *sello* impermeable, se pueden acumular. Al conjunto de roca reservorio y roca sello con capacidad para alojar y retener a los hidrocarburos se lo denomina *trampa*. El volumen de hidrocarburo en una trampa o *acumulación* depende de las características, configuración y extensión de la misma. Se conocen trampas de distinto tipo y existen muchas clasificaciones para ellas pero, básicamente, pueden ser *estructurales*, conformadas por pliegues y/o pliegues o bloques limitados por fallas; *estratigráficas*, conformadas por cambios en la geometría o características del reservorio (acuñamiento, pérdida de porosidad o de permeabilidad, etcétera), y *combinadas*, es decir, trampas definidas por componentes tanto estructurales como estratigráficos.

Se denomina *migración* al proceso por el cual los hidrocarburos generados por la roca madre se desplazan desde las rocas madre hasta los reservorios. Más específicamente, se habla de *migración primaria* cuanto estos son inicialmente expulsados de las rocas donde se generan, y de *migración secundaria* cuando, adicionalmente, se desplazan hasta encontrar una trampa.

Se denomina *sistema petrolero* al conjunto de elementos y procesos necesarios para que, sincronizados temporalmente de manera apropiada, conduzcan a la generación de hidrocarburos y su posterior migración, entrampamiento y preservación dentro de una acumulación. Para que un *sistema petrolero convencional* sea efectivo es necesario que exista roca madre *madura* (en condiciones de generar), vías de migración, roca reservorio, sello y trampas que hayan sido formados antes o durante el proceso de migración (figura 1).

Reservorios convencionales y no convencionales

En los *reservorios* o *yacimientos convencionales*, las fuerzas de flotabilidad mantienen los hidrocarburos en la trampa por debajo de un nivel de sello; en este tipo de reservorios, las características porosas y permeables y las del fluido (gas, condensado y/o petróleo) permiten que el hidrocarburo fluya con relativa facilidad hacia el pozo. En estas acumulaciones, es crítica la existencia de una trampa que evite la fuga del hidrocarburo en su ascenso hacia la superficie (figura 1). En los yacimientos convencionales es normal encontrar, además, por la densidad y flotabilidad del hidrocarburo, una columna de agua por debajo del petróleo o del gas acumulado. En general, estos reservorios son explotados con tecnología tradicional, sin mayor dificultad técnica y con buen caudal con pozos verticales, sin tener que recurrir a estimulaciones especiales para mejorar sustancialmente la permeabilidad del reservorio y así producir estos de manera económica.

Bajo el término *no convencional* se incluyen aquellos reservorios o yacimientos que se explotan con medios que no responden a los criterios de lo que actualmente es considerado convencional (figura 1). En el cuadro 1 se indican algunas características distintivas de yacimientos convencionales y no convencionales.

Los reservorios no convencionales requieren para su explotación económica mayores precios y más tecnología, si bien los volúmenes a recuperar son sustancialmente mayores que en los convencionales (figura 2). Pero este es un concepto dinámico, y lo que por distintos motivos en un momento dado es no convencional o complejo puede

Yacimientos convencionales	Yacimientos no convencionales (tipo *shale*)
Existencia de una roca reservorio porosa y permeable para la acumulación de hidrocarburos.	Existencia de una roca reservorio de muy baja porosidad y permeabilidad
Acumulación relacionada a una trampa con una roca impermeable que evita su fuga.	No necesita de una trampa para su acumulación, debido a que los hidrocarburos se alojan en la roca madre.
Normalmente presentan dentro del reservorio un límite definido o una separación inferior, entre los hidrocarburos y el agua.	No hay límites definidos entre los hidrocarburos y el agua en la roca que los aloja.
Normalmente no necesitan estimulaciones (mejora artificial de la permeabilidad) para producir. Cuando lo requieren es a una escala mucho menor que la de los no convencionales.	Necesitan estimulación artificial para producir (fracturación) de gran envergadura.
Predominan los pozos verticales sobre los horizontales.	Mejor producción con pozos horizontales.

Cuadro 1. Algunas características distintivas de los yacimientos convencionales y no convencionales.

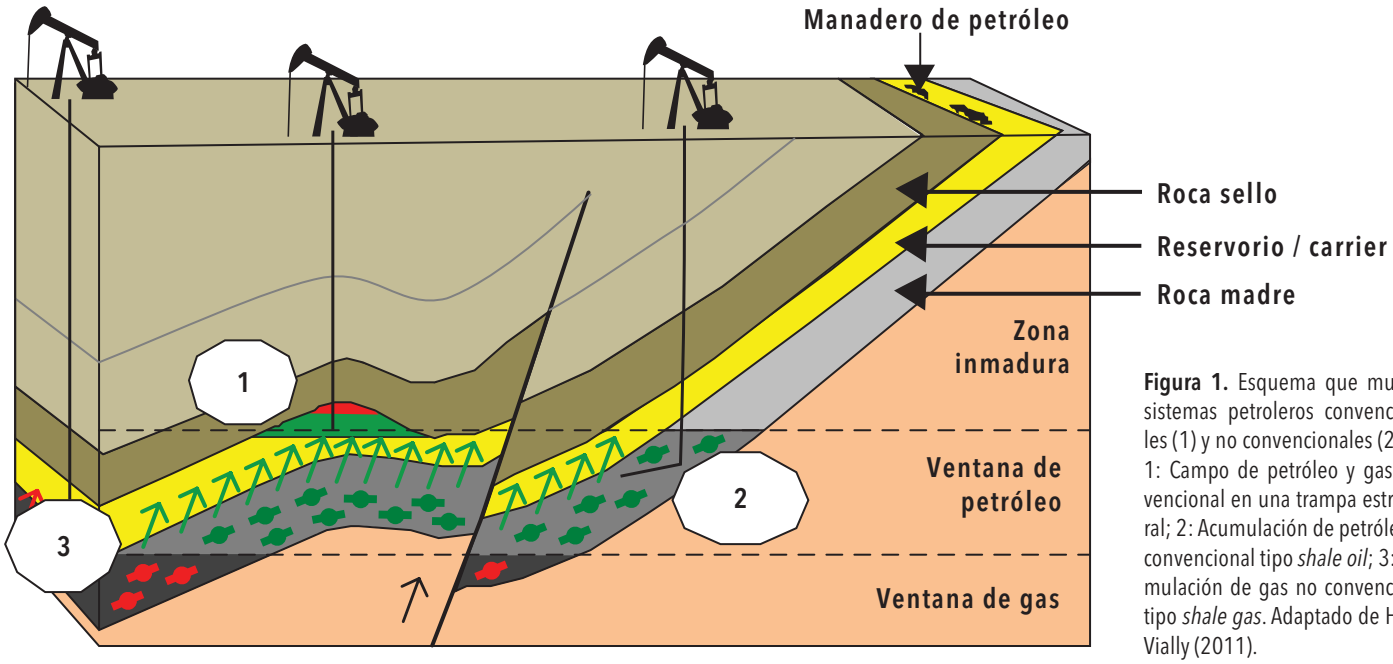


Figura 1. Esquema que muestra sistemas petroleros convencionales (1) y no convencionales (2 y 3). 1: Campo de petróleo y gas convencional en una trampa estructural; 2: Acumulación de petróleo no convencional tipo *shale oil*; 3: Acumulación de gas no convencional tipo *shale gas*. Adaptado de Huc & Vially (2011).

derivar en convencional ante situaciones favorables como mejor entendimiento técnico del reservorio o modernos desarrollos tecnológicos y condiciones de mercado que impulsen el desarrollo de los nuevos recursos. En la actualidad, el término *no convencional* en la industria del petróleo y del gas se utiliza, de un modo amplio, para hacer referencia a los reservorios cuya porosidad, permeabilidad, mecanismo de entrampamiento u otras características difieren respecto de los reservorios tradicionales. Bajo la categoría de reservorios no convencionales, y con distintos tipos de complejidad, se incluyen los siguientes depósitos:

- *Gas metano de carbón (coalbed methane o CBM)*: gas metano extraído de las capas de carbón a poca profundidad de la superficie. El metano se encuentra en estado casi líquido revistiendo el interior de los poros y/o en fracturas abiertas como gas libre.
- *Hidratos de gas (gas hydrates)*: básicamente, hielo con gas encerrado en su estructura cristalina; donde el gas es principalmente metano de origen biogénico producido a partir de la descomposición de materia orgánica en sedimentos de fondos marinos, aunque también puede ser termogénico atrapado en la estructura cristalina de ese hielo en su migración hacia la superficie. Los hidratos de gas se generan y son estables en condiciones de muy baja temperatura y alta presión, en la mayoría de sus ocurrencias en fondos marinos profundos. Si bien es un recurso que comprende volúmenes muy importantes, no hay por el momento tecnologías seguras para explotarlo y se encuentra en una etapa de investigación y experimentación.
- *Reservorios fracturados*: rocas de muy baja porosidad de matriz que presentan fracturas naturales donde se aloja el hidrocarburo.
- *Gas de arenas compactas (tight gas)*: este término se utiliza para describir reservorios, mayormente arenosos pero también carbonáticos, de muy baja permeabilidad al gas. Es un término ambiguo ya que puede incluir acumulaciones de gas en trampas convencionales con contactos de agua. Un término más amplio, de connotación genética, es el *Basin-Centered Gas System* o gas de centro de cuenca; con este término se consideran los sistemas semiconfinados con reservorios de muy baja permeabilidad en los cuales, bajo condición de sobrepresión y por un efecto de cuello de botella, la acumulación del gas generado excede la capacidad de migración o escape del mismo hacia niveles más someros. No aplican a estos reservorios los conceptos tradicionales de entrampamiento. Para facilitar la fluencia de los hidrocarburos hacia el pozo, el reservorio es estimulado mediante trabajos de fracturas hidráulicas. Se denomina *fractura hidráulica* el proceso de inyectar agua y arenas a alta o muy alta presión en una roca a fin de generar, artificialmente fracturas que aumenten la conexión entre los espacios porosos y mejoren su permeabilidad; el agua a presión fractura la roca y la arena actúa como sostén de la misma, evitando que se vuelva a cerrar.
- *Gas o petróleo de lutitas (shale gas-shale oil)*: los términos *shale gas* y *shale oil* describen rocas de grano fino, ricas en materia orgánica (*lutitas*) capaces de producir hidrocarburos en forma comercial cuando son estimuladas mediante fracturas hidráulicas. En estos yacimientos, la roca generadora actúa al mismo tiempo como reservorio y sello. Tampoco aplican en este caso los conceptos tradicionales de entrampamiento.

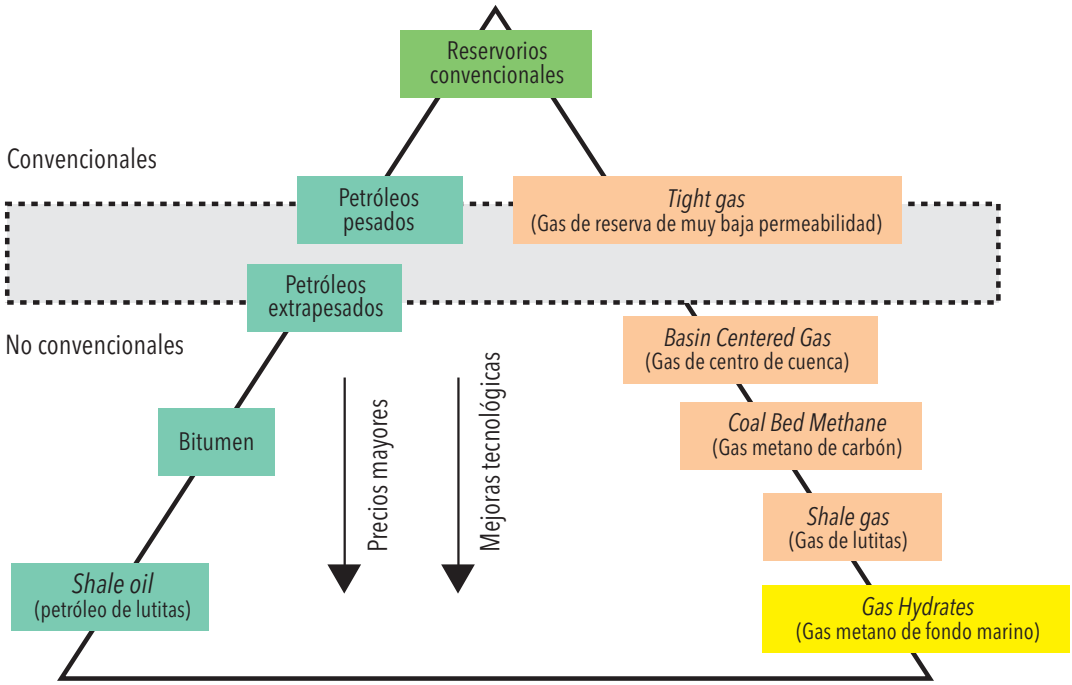


Figura 2. Reservorios convencionales y no convencionales. Las líneas punteadas demarcan lo actualmente considerado como transicional entre las dos clases de reservorios. Hacia la base de la pirámide, los volúmenes de recursos considerados son mayores. Modificado de Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System, noviembre de 2011, -Society of Petroleum Engineers (SPE) - American Association of Petroleum Geologists (AAPG) - World Petroleum Council (WPC) - Society of Petroleum Evaluation Engineers (SPEE) - Society of Exploration Geophysicists (SEG)

Si bien la exploración y el desarrollo de los reservorios no convencionales requieren la aplicación de métodos y tecnologías nuevas y costosas, estos contienen, por su gran extensión, volúmenes de hidrocarburos sustancialmente mayores a los contenidos en los reservorios convencionales (figura 2). Este hecho, sumado a que ya casi no se encuentran trampas convencionales de gran magnitud que permitan reponer reservas, ha llevado a las empresas petroleras a concentrar esfuerzos en tratar de entender cómo funcionan y cómo pueden ser desarrollados los reservorios no convencionales. En este sentido, a partir del desarrollo de mejores y más eficientes métodos de fracturamiento hidráulico y perforación horizontal, más la existencia de una industria de servicios dinámica y competitiva, los yacimientos de *tight gas* y de *shale* están siendo intensamente desarrollados en los Estados Unidos con tanto éxito que ese país experimentó un fenomenal crecimiento, tanto en reservas como en producción de gas y petróleo; tan notable que, a futuro, prevé cambiar su posición de importador a exportador de hidrocarburos.

En los Estados Unidos, y también en Canadá, el desarrollo comercial de los *tight gas sands* comenzó en la década del 80. Desde esa época, las mejoras tecnológicas y la optimización de las actividades de perforación y terminación de pozos han permitido, de manera progresiva, disminuir costos y hacer factible la puesta en producción de un gran número de campos. En la actualidad, en estos dos países el desarrollo de este tipo de yacimientos se considera convencional. En la Argentina, en la cuenca neuquina, se experimenta una situación similar ya que cada vez más se están explorando y poniendo en producción campos de gas de arenas compactas.

En el caso de los reservorios *shale*, comenzaron a ser desarrollados en los Estados Unidos a principios de los años 90. En los reservorios *shale*, el hidrocarburo está contenido en la roca, por lo que el único proceso necesario es la generación. El término *shale* es usado de manera genérica, ya que los hidrocarburos pueden estar almacenados en una gran variedad de tipos de rocas de grano fino con materia orgánica diseminada, incluyendo arcilitas, limolitas y areniscas de grano muy fino. Estas rocas pueden ser silíceas o carbonáticas, o encontrarse intercaladas entre ellas en capas muy delgadas. La presencia de distintos tipos de rocas orgánicamente ricas implica que existen numerosos mecanismos de almacenaje de hidrocarburos. Técnicamente se denomina *shale oil* al crudo producido por *pirólisis* o disolución termal a partir de *esquistos* (*shale*) *bituminosos*, y *tight oil* al crudo contenido en las rocas generadoras. En las lutitas, el gas puede estar almacenado como gas libre en el sistema poroso (microporos y nanoporos) y adsorbido en la materia orgánica. El proceso de maduración, generación y expulsión de hidrocarburos de una roca madre produce en la misma un incremento en la porosidad. La permeabilidad de los sistemas *shale* es extremadamente baja.

Aunque en los detalles ningún reservorio *shale* es igual a otro, hay factores de primer orden que son necesarios para que una roca generadora constituya un reservorio; estos factores son los siguientes:

- Contenido de materia orgánica mayor de 2% para gas y mayor de 4% para petróleo.
- Estar en ventana de generación de hidrocarburos, es decir, en condición de madurez adecuada para la materia orgánica.
- Estar distribuida de manera amplia y continua y poseer buen espesor.
- Tener una composición litológica que le otorgue condiciones de fragilidad para que pueda ser fracturada.

A estos factores se suman otros elementos que pueden contribuir a mejorar y/o modificar la productividad, entre ellos:

- Presencia de fracturas y microfracturas.
- La relación entre la cantidad de gas libre (en el espacio poral) en relación con el gas adsorbido en la materia orgánica que genere hidrocarburos.
- La presión de poros en el reservorio.
- El tipo de materia orgánica (tipo de kerógeno).
- La composición y mineralogía de las rocas (volumen de sílice y carbonatos respecto del volumen de arcillas).
- Cantidad y tipo de porosidad orgánica y de matriz.

En general, la calidad de un reservorio *shale* resulta de la combinación entre las características de la roca y la calidad de las fracturas inducidas en la misma, ya que estimular hidráulicamente una lutita es equivalente a dotarla de las condiciones de permeabilidad necesarias para que los hidrocarburos puedan ser movilizados.

El desarrollo de los reservorios *shale* demanda fuertes inversiones, el uso de tecnologías de punta, la perforación de una alta densidad de pozos, estimulaciones hidráulicas continuas y una intensa gestión ambiental.

En la Argentina, el termino *shale* cobró notoriedad cuando el Departamento de Energía de los Estados Unidos difundió un informe con los resultados de una evaluación realizada sobre las rocas generadoras de 48 cuencas en 32 países (EIA, 2011). En ese informe, los recursos hidrocarburíferos técnicamente recuperables estimados para seis rocas generadoras de cuatro cuencas sedimentarias argentinas alcanzan los 744 trillones de pies cúbicos (TCF) de gas según el siguiente desglose:

- Fm Vaca Muerta (cuenca neuquina) 240 TCF
- Fm Los Molles (cuenca neuquina) 167 TCF
- Fm Palermo Aike (cuenca austral) 108 TCF
- Fm Aguada Bandera (cuenca golfo San Jorge) 50 TCF
- Fm Pozo D-129 (cuenca golfo San Jorge) 45 TCF
- Fm San Alfredo (cuenca chaco-paranaense) 164 TCF

TOTAL **744 TCF**

Según el citado informe, esta evaluación posiciona al país en el tercer lugar del ranking en recursos *shale*, luego de China y de los Estados Unidos.

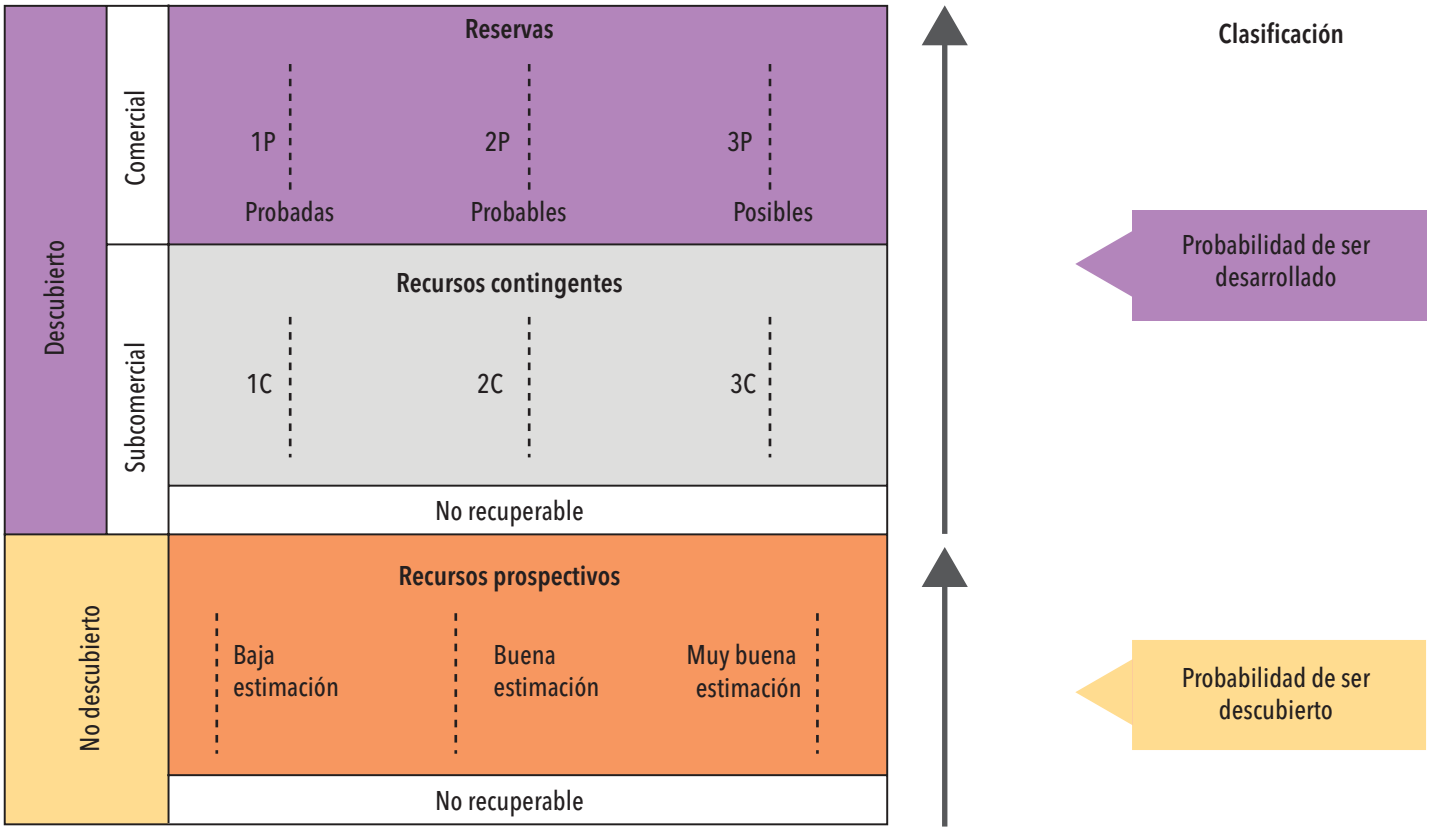


Figura 3. Clasificación de recursos y reservas de hidrocarburos. Modificado de *Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System*, noviembre de 2011, Society of Petroleum Engineers, American Association of Petroleum Geologists - World Petroleum Council - Society of Petroleum Evaluation Engineers - Society of Exploration Geophysicists.

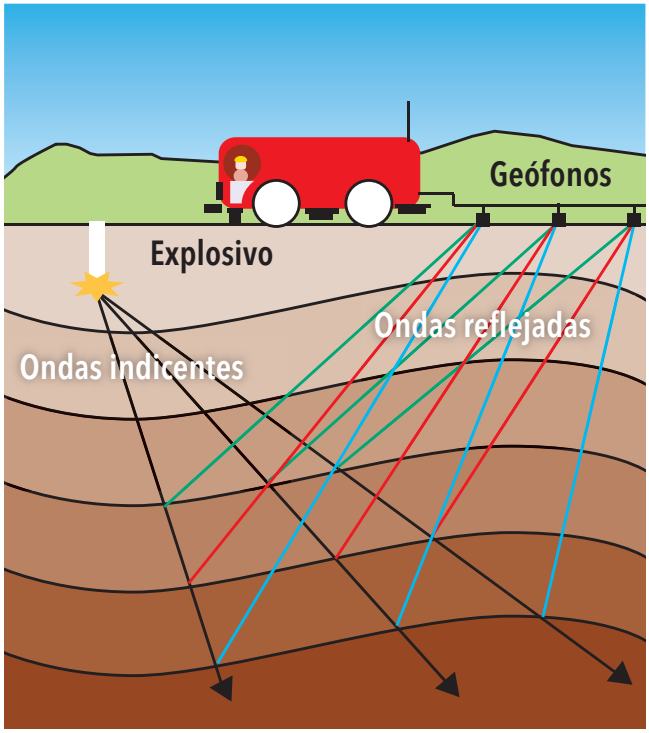


Figura 4. Esquema básico del trayecto de ondas sísmicas en registro sísmico en dos dimensiones en tierra.

De las rocas evaluadas se destaca la formación Vaca Muerta, en la cuenca neuquina, que presenta características geoquímicas y geológicas que la equiparan con los mejores reservorios *shale* actualmente en producción en los Estados Unidos.

Reservas y recursos

En la industria del petróleo y del gas, como se hace en otras actividades económicas, es imprescindible disponer de un inventario de recursos ya que el valor de las empresas está en relación a cuanto se tiene y cuanto se puede vender. El problema, a diferencia de las otras industrias, es que en este caso los recursos se encuentran a centenares y miles de metros de profundidad; no son visibles a nuestros ojos y tampoco los podemos contar con nuestras manos. Por ello, la estimación debe efectuarse sobre la base de evaluar datos que nos proporcionan evidencias respecto de cantidades de petróleo y gas que pueden estar acumuladas en los reservorios.

La estimación de recursos en esta industria es un asunto primordial, y por ello están claramente definidos y actualizados permanentemente los criterios y la nomenclatura que deben ser utilizados (figura 3). Según la clasificación vigente, las categorías de recursos consideradas –como recursos prospectivos, recursos contingentes 1C, 2C o 3C y reservas probadas, probables y posibles– se ordenan en función de la certeza o la incertidumbre de su existencia y de la comercialidad de los proyectos. La mayor o menor incertidumbre de cada categoría depende básicamente de la cantidad, el tipo y la calidad de los datos disponibles (mucho, poco, directo, indirecto, etcétera), que a su vez está relacionado con el tipo de herramienta y método utilizado, y de la experiencia de los profesionales que lo interpretan.

Como generalmente se trata de fluidos, las cantidades se expresan en unidades de volumen; en nuestro país y en algunos otros se utiliza el sistema métrico (metros cúbicos) tanto para gas como para petróleo; en otros países –en la gran mayoría–, se emplean las unidades inglesas (barril para el petróleo y pie cúbico para el gas).

Exploración de hidrocarburos: métodos y técnicas

Desde hace más de un siglo, geólogos y geofísicos han estado buscando hidrocarburos y realizando importantes descubrimientos en muchas partes del mundo. En la actualidad se piensa que la gran mayoría de los denominados *campos gigantes* de tipo convencional (mayores a 500 millones de barriles de petróleo o gas equivalente recuperable, que representan casi 82 millones de m^3) ya se han encontrado y que probablemente los hallazgos futuros sean cada vez más pequeños y más complejos.

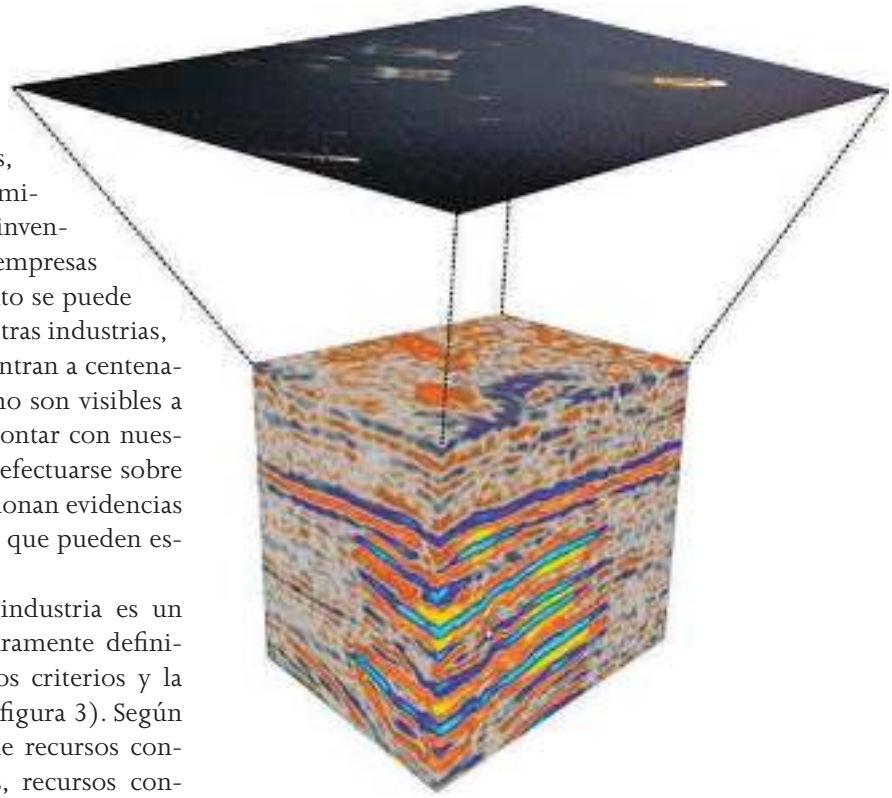


Figura 5. Esquema de cubo de datos sísmicos obtenido a partir de un registro de reflexión en tres dimensiones en el mar.

Las tecnologías involucradas en la exploración de hidrocarburos han evolucionado de tal manera que la eficiencia en su búsqueda tiende a disminuir el riesgo exploratorio de los proyectos. De esta forma, los objetivos exploratorios de mayor complejidad, los pozos de exploración y de avanzada, pueden ser localizados con más precisión y mejor chance de éxito. A pesar de estas mejoras tecnológicas, la exploración de hidrocarburos es una actividad de alto riesgo comparada con otras actividades del mercado mundial. Una gran cantidad de compañías, estatales o privadas, poseen importantes carpetas de proyectos exploratorios globales, cada uno de estos con sus características geológicas y económicas y matriz de riesgos asociados, con posibilidad de encontrar petróleo y/o gas. Gestionar y llevar a cabo estos proyectos y sus operaciones forman parte de los desafíos más importantes para las compañías.

Para una compañía petrolera, es muy común trabajar durante varios años antes de tomar la decisión final de perforar un pozo. Durante ese período, la historia y los antecedentes geológicos del área a ser explorada deberán ser estudiados de manera tal de poder cuantificar la incertidumbre y los riesgos asociados al proyecto. Habitualmente, estos estudios involucran trabajos de campo, levantamientos, estudios potenciales (magnéticos y gravimétricos) y estudios sísmicos.

El objetivo principal de cualquier proyecto exploratorio es encontrar nuevos volúmenes de hidrocarburos a un costo razonable y en un período relativamente corto, esto es, de pocos años.

La secuencia más comúnmente usada en los proyectos exploratorios, una vez que la región en cuestión ha sido seleccionada, es definir la cuenca. Para ello se realizan estudios geológicos de superficie y geofísicos. Estos últimos son los que permiten entender lo que ocurre en el subsuelo y están orientados a encontrar trampas de hidrocarburos. Una vez corroborada la presencia de una cuenca sedimentaria, el primer dato geofísico que se interpreta son las anomalías de gravedad y magnéticas.

Luego de identificar dentro de la cuenca los sectores de mayor interés prospectivo asociados, se procede generalmente a adquirir el dato sísmico bidimensional (2D) de tipo regional, con un gran espaciamiento entre líneas (figura 4). Esta información permite representar en una sección en profundidad las características geológicas de la cuenca, como su estratigrafía y estructura. Las campañas sísmicas por lo general cubren grandes áreas con el fin de refinar los objetivos anteriormente identificados de manera tal de encontrar indicios de trampas estructurales y/o estratigráficas que eventualmente contengan el hidrocarburo atrapado. Últimamente y con la mejora de la confección y evolución de las herramientas y algoritmos de registración sísmica, la adquisición tridimensional (3D) con parámetros adecuados a veces forma parte de la etapa de estudio exploratorio. Esta metodología también se vio favorecida por el crecimiento del poder de procesamiento de datos digitales (figura 5).

Con la información recolectada se procede a analizar e interpretar la geología del subsuelo y definir posibles trampas donde puedan existir acumulaciones de interés para *prospectar*. La decisión de perforar un prospecto se toma luego de la cuantificación de sus recursos, de las chances de éxito de encontrar hidrocarburos y de la evaluación frente a todas las opciones definidas en la zona, de acuerdo con criterios de tamaño, riesgos e inversiones. Los resultados del pozo perforado permiten validar el concepto estudiado, ya que no hay otra manera de comprobar la presencia de hidrocarburos en el subsuelo. Un pozo exploratorio por lo general es perforado en una región donde hay incertidumbre y riesgo debido al poco conocimiento del modelo geológico al inicio del estudio. En la figura 6 se muestra un equipo de perforación. Los pozos perforados se convierten

Figura 6. Equipo de exploración profunda, yacimiento Ramos, Salta, cuenca paleozoica.

en descubridores cuando se comprueba que encuentran acumulaciones de petróleo y/o gas. Luego se analizan los datos aportados y se establece si los hallazgos otorgan al proyecto viabilidad económica. Por el contrario, si el pozo no encuentra hidrocarburos (puede producir agua de formación o directamente no tener productividad), se lo denomina *pozo seco*.

En el cuadro 2 se indican los usos más comunes de los métodos geofísicos y de perforación según se trate de yacimientos convencionales o no convencionales. CH

Metodología	Yacimientos convencionales	Yacimientos no convencionales (tipo *shale*)
Gravimetría – Magnetometría	Utilizado para delinear áreas de interés a escala de cuenca o minicuenca, poca resolución vertical, gran extensión areal.	Generalmente no se utilizan pues normalmente los reservorios no convencionales se encuentran en cuencas productoras.
Sísmica 2D	Interpretación de eventos sísmicos que permiten delinear con más detalle los conceptos exploratorios respecto de la gravimetría o la magnetometría.	Análisis especiales de atributos sísmicos.
Sísmica 3D Interpretación estructural	Refinamiento en términos de las características estructurales y estratigráficas de los prospectos y/o locaciones de pozos exploratorios.	Análisis especiales de atributos sísmicos.
Sísmica 3D Interpretación sismoestratigráfica	Caracterización de rocas potenciales de ser reservorios usando la información sísmica.	Ubicación de sectores donde las condiciones paleoambientales habrían favorecido la acumulación de más y mejor calidad de materia orgánica.
Sísmica 3D Inversión de trazas	Usado para caracterizar propiedades petrofísicas y cuantificar la calidad del reservorio.	Usado para estimar propiedades mecánicas de la roca y presencia de zonas más fracturables.
Pozos verticales y/o dirigidos	Comprueban la existencia de acumulaciones en rocas reservorios. Producen petróleo y gas.	Comprueban la existencia de acumulaciones en roca madre ya sea petróleo (*shale oil*) o gas (*shale gas*). Resultan productivos de acuerdo con las características de la roca.
Pozos horizontales	Incrementan la sección productiva del reservorio	Son una opción para obtener producciones más rentables sobre todo cuando los espesores de la roca madre no son importantes.
Estimulación durante la terminación	Muchos reservorios no la necesitan, otros requieren acidificaciones y/o fracturación.	Necesitan fracturar la roca para aumentar la permeabilidad y de esa manera alcanzar caudales productivos económicos.

Cuadro 2. Usos más comunes de métodos geofísicos y de perforación según el tipo de yacimiento.

LECTURAS SUGERIDAS

DOBRIN M & **SAVITT C**, 1988, *Introduction to Geophysical Prospecting*, 4ª edición, McGraw-Hill.

Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System, noviembre de 2011, Society of Petroleum Engineers (SPE)-American Association of Petroleum Geologists (AAPG)-World Petroleum Council (WPC)-Society of Petroleum Evaluation Engineers (SPEE)-Society of Exploration Geophysicists (SEG).

HUC AY & **VIALLY R**, 2011, *New perspectives for fossil fuels: Hydrocarbons in unconventional settings*, CNRS e-book.

KUHN O, 2004, 'Ancient Chinese Drilling, Geo-X Systems', Calgary, CSEG RECORDER. Disponible en *www.cseg.ca/publications/recorder/2004/06jun/06jun-ancient-c-*

SHERIFF RE, 2002, *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*, 4ª edición, Society of Exploration Geophysicists Tulsa.

TELFORD WM, **GELDART LP** & **SHERIFF RE**, 1990, *Applied Geophysics*, 2ª edición, Cambridge University Press, Cambridge.

Los autores son miembros de la Comisión Directiva 2012 - 2014 de la Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

www.aaggp.org.ar

aagygp@gmail.com

Luis Cabanillas
Gustavo Carstens
Juan Pablo Lovecchio
Patricio A Marshall
Luis Rebori
Juan Carlos Soldo
Eduardo Vallejo
Gustavo Vergani

Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos del Petróleo

Petróleo y gas en la Argentina: cuencas productivas

La Argentina posee una larga historia exploratoria y productiva de petróleo y gas en sus cuencas. Antes del famoso descubrimiento de petróleo sucedido el 13 de diciembre de 1907 en Comodoro Rivadavia (figura 1), existían emprendimientos privados que buscaron y explotaron petróleo en Jujuy, Salta, Mendoza y Neuquén a partir de manifestaciones de aceite en superficie. Son muy interesantes las historias de estos pioneros, que a fines del siglo XIX, en condiciones precarias, se adelantaron a esta aventura de la búsqueda de asfaltos o breas que alimentaran el consumo de kerosene de la época. Esto ocurrió simultáneamente con otros países como los Estados Unidos y la región del mar Caspio del antiguo Imperio Ruso.

A principios del siglo XX compañías privadas nacionales e internacionales comenzaron a operar áreas en el territorio argentino, pero el despegue productivo se produjo a partir de la creación de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), en 1922, con operaciones de exploración y desarrollo productivo en varias cuencas del territorio (figura 2).

La Argentina posee hoy cinco cuencas sedimentarias productivas de petróleo y gas (figura 3), con yacimientos que en muchos casos superan los cien años de producción. En ese lapso se fueron descubriendo acumulaciones nuevas ligadas a la prospección de nuevos conceptos geológicos y a la aplicación de nuevas tecnologías como el uso de sísmica de reflexión o perforaciones para alcanzar mayor profundidad.

Figura 1. Pozo descubridor N° 2, Comodoro Rivadavia, cuenca golfo de San Jorge.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Esta nota presenta una síntesis de los descubrimientos y las características principales de las cuencas productivas argentinas

Figura 2. Pozo petrolífero de Plaza Huincul, cuenca neuquina

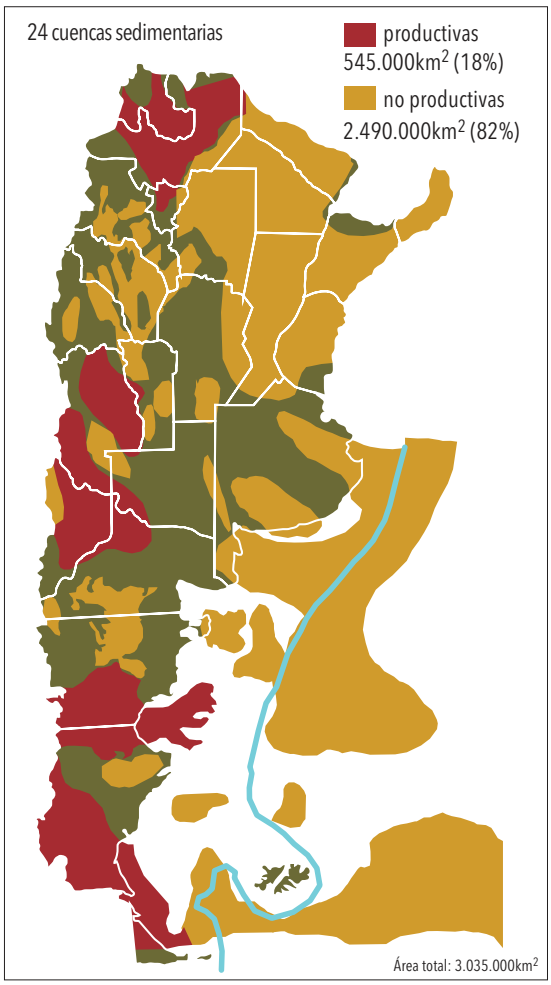


Figura 3. Mapa de cuencas sedimentarias.

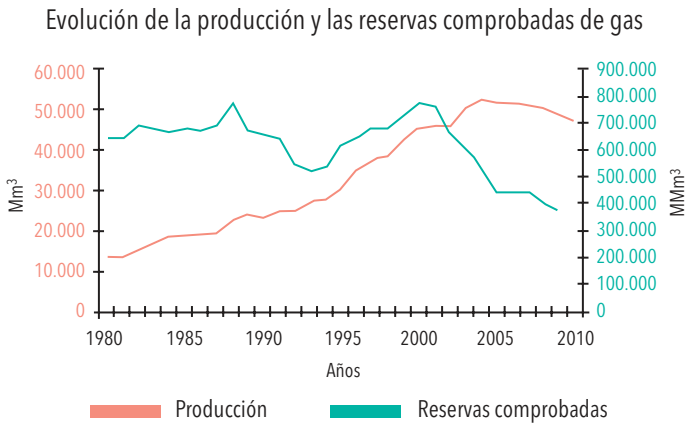
Los yacimientos del norte de la Argentina se encuentran en las provincias de Salta, Jujuy y Formosa, y están relacionados a las cuencas paleozoica y cretácica, siendo la primera predominantemente gasífera, condición que comparte con Bolivia, en lo que se conoce geográficamente como sierras subandinas. Entre ellos los de Ramos, Aguaragüe o Acambuco son ejemplos de acumulaciones de gas en areniscas fracturadas de edad devónica, con pozos considerados profundos para la media nacional. La cuenca cretácica, en cambio, es más petrolífera. En ella, yacimientos como Caimancito o Palmar Largo producen petróleo de reservorios carbonáticos y volcánicos a profundidades del orden de los 3000m a 4000m. Si bien la exploración del norte argentino continuó en las últimas dos décadas con exploración de riesgo, como fue el pozo profundo realizado en Ramos a 5800m en 2009 (figura 6 del artículo anterior), no hubo incorporaciones importantes de nuevas reservas en los últimos años, lo que se traduce a la fecha en una declinación permanente en su producción.

Más al sur, en la región centrooeste del país, se encuentra la cuenca cuyana, con rocas de origen continental y edad triásica, productora de petróleo solamente en la provincia de Mendoza. Se considera que la explotación comercial a escala comenzó en 1932, cuando el gobierno de la provincia le otorgó los derechos mineros a YPF del yacimiento Cacheuta. Este campo era explotado desde 1886 por la Compañía Mendocina de Petróleo, que perforaba pozos a percusión con la dirección técnica de geólogos e ingenieros. YPF descubrió los yacimientos Tupungato en 1934, Barrancas en 1939, La Ventana en 1957 y Vizcacheras en 1962, entre los mayores. Desde entonces no hubo incorporaciones significativas en la cuenca, que comparte con las de norte un estado de madurez productiva avanzado, con una producción declinante.

Hacia el sur y abarcando las provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro y La Pampa, se desarrolla la cuenca neuquina, de origen principalmente marino y de edad jurásico-cretácica. Es la más importante del país por sus reservas y producción de petróleo y gas en yacimientos convencionales y por su potencial en recursos no convencionales. Con una larga historia productiva, en sus primeras cinco décadas se hallaron yacimientos en las zonas cordilleranas de Mendoza y en la denominada Dorsal de Huincul (figura 2). A partir de la década del 60 comenzaron a descubrirse yacimientos de mayor envergadura como El Medanito-25 de Mayo (1962), Puesto Hernández (1968), Aguada Pichana (1970), Loma La Lata (1977), este último considerado la mayor acumulación de gas de la cuenca, y El Trapial-Chihuido de la Sierra Negra en la década del 90, considerados los más importantes en acumulaciones de petróleo convencional. Con el nuevo siglo se descubrió otra gran acumulación en el borde nororiental, el yacimiento El Corcovo, que introdujo nuevas reservas de petróleo, de tipo pesado.

Asimismo, en los últimos años se iniciaron en la cuenca neuquina la perforación y la evaluación de un nuevo recurso de gas y petróleo, en varias formaciones entre las que se destaca la formación Vaca Muerta, denominada no convencional

Figura 4. Foto de afloramiento de la formación Vaca Muerta, Mendoza.



Producción y reservas comprobadas en reservorios convencionales y no convencionales en la Argentina.

debido a las características del reservorio (baja porosidad y permeabilidad) (figura 4). Si bien esta unidad productiva se encuentra aún en etapa de evaluación, se cree que tomará relevancia en la producción diaria, en la medida en que la tecnología y el mercado alcancen las condiciones apropiadas para su explotación comercial.

Hacia el sur, ya en ámbito patagónico se encuentra la cuenca del golfo San Jorge, con rocas de origen continental y edad jurásica y cretácico-terciarias, productora de petróleo en las provincias de Chubut y norte de Santa Cruz. Su desarrollo se inició en 1907, con el descubrimiento del yacimiento en Comodoro Rivadavia (figura 1), desatando una gran actividad e incorporación de reservas entre la década del 30 y el 80, con descubrimientos de yacimientos como Diadema (1930), El Tordillo (1936), Cañadón Seco (1944), Cañadón León y Meseta Espinosa (1947), Cerro Dragón y El Huemul (1957) y Los Perales-Las Mesetas (1975), entre otros. La incorporación de reservas petroleras en las últimas décadas se registra asociada a la exploración cercana a las zonas en producción. Por otra parte, la escasa exploración costa afuera de la cuenca no tuvo resultados comerciales al presente. A la fecha es la principal cuenca productora de petróleo en el país aunque su participación en gas es menos importante.

Finalmente en el extremo sur de la Argentina, y compartida con Chile, se desarrolla la cuenca austral, que involucra a las provincias de Santa Cruz y Tierra del Fuego, tanto en su parte continental como marina. Comprende rocas sedimentarias del Jurásico, Cretácico y Terciario, y está caracterizada por la producción de gas y petróleo. Su historia de descubrimientos se inicia en 1945 en la provincia de Magallanes, en Chile, con el yacimiento Cerro Manantiales de la formación Springhill, que se convirtió en el principal reservorio de la cuenca. Una serie de importantes yacimientos de gas en la Argentina fueron encontrados en el continente, como Cóndor (1962), San Sebastián y Cerro Redondo (1962), Campo Boleadoras (1985) y Estancia La Maggie (1988). A estos fueron sumándose otros en el mar, como Ara-Cañadón Alfa (1981), Vega Pléyade (1981) y Carina (1983). Hallazgos más recientes son los de María Inés (1994), Puesto Peter (1991), Barda Las Vegas (1998) y María Inés Sur (2003), en la provincia de Santa Cruz. Si bien la actividad exploratoria se vio disminuida en los últimos años, existen expectativas de lograr nuevos descubrimientos pues es una de las regiones productivas más inmaduras en su exploración.

Finalmente, en el gráfico superior se muestran la producción y las reservas de hidrocarburos hasta fines de 2010. Obsérvese que refleja la evolución de las reservas (no confundir con recursos). A partir de estimaciones a nivel global realizadas por la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos de América (US Energy Information Administration), la Argentina fue ubicada en el tercer lugar en el mundo en recursos de *shale*. Una posterior actualización publicada en junio de 2013 modifica la estimación al cuarto lugar en recursos de *shale oil* y al segundo lugar en *shale gas*. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ARRIGONI GH, 2007, *Historias del petróleo*, Ediciones Atlántico, Comodoro Rivadavia.

GADANO N, 2006, *Historia del petróleo en Argentina. 1907-1955: desde los inicios hasta la caída de Perón*, 1ª edición, Buenos Aires, Edhasa,

REPSOL YPF, 2000, *La exploración de petróleo y gas en la Argentina: el aporte de YPF*, 2ª edición, Buenos Aires.

YERGIN D, 1992, *La historia del petróleo*, Vergara, Buenos Aires.

Los autores son miembros de la Comisión Directiva 2012 - 2014 de la Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

www.aaggp.org.ar

aagygp@gmail.com

FEDERALIZAR LA CIENCIA

Centros de investigación y transferencia en distintos puntos del país

El CONICET ha impulsado junto a distintas universidades nacionales la creación de unidades de investigación científico-tecnológicas, con el fin de potenciar desarrollos regionales y promover la investigación nacional.

Este programa de creación de centros de investigaciones y transferencia (CIT) busca el fortalecimiento institucional regional al promover una distribución territorialmente más equilibrada de los recursos humanos y las capacidades de investigación en todo el país.

Sobre la creación de estos centros, localizados en Santiago del Estero, Entre Ríos, Catamarca, Jujuy, Chubut y Villa María (Córdoba), el presidente del CONICET, Roberto Salvarezza, comenta que es una iniciativa para "distribuir recursos humanos y económicos a las provincias" con el objetivo de fomentar una política de federalización y ampliar las capacidades de investigación y transferencia.

Para lograr la integración de los grupos de investigación, el CONICET creó un programa de radicación de investigadores. El mismo brinda una serie de beneficios para facilitar el establecimiento en los distintos centros: subsidios para la movilidad personal e instalación en el nuevo lugar de trabajo, posibilidad de acceso a vivienda, gestión de cargo docente universitario, subsidios para la investigación en las temáticas del CIT y contratación de investigadores no perteneciente a la carrera del CONICET.

También ofrece becas de formación doctoral y posdoctoral en áreas vinculadas a las problemáticas asociadas a la región.

El vicepresidente de Asuntos Tecnológicos, Santiago Sacerdote, precisa que el CONICET "ha dado un salto enorme en los últimos diez años: se ha ampliado fuertemente la base de investigadores, fortalecido las capacidades en cuanto a equipamiento e infraestructura, hay muchas más fuentes de financiamiento y una mayor articulación de todos los organismos del Sistema Científico y Tecnológico".

Enmarcados en las políticas de focalización

establecidas en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación "Argentina Innovadora 2020", creado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, actualmente se han consolidado seis CIT.

Para más información, se puede visitar la página web del CONICET: *www.conicet.gob.ar*

Diálogo con investigadores

CICLO DE ENTREVISTAS CONICET

"A algunos biólogos les resulta perturbador que la mayor parte de nuestro genoma no sea funcional"

Estudios recientes sobre el llamado "ADN basura" abren el debate en el mundo académico. ¿Qué porcentaje de nuestro genoma es realmente funcional?

Ana Belluscio

Es un hecho poco conocido que casi el 50% del genoma de los humanos está formado por secuencias repetitivas de ADN que se incorporaron y autoduplicaron en nuestros ancestros a lo largo de cientos de millones de años. En 1972 dos investigadores, David Comings y Susumu Ohno, plantearon, independientemente, la hipótesis de que más del 90% de los genomas animales no codifica proteínas ni ARN y le asignaron el nombre de "junk DNA" (ADN basura) por considerar que no cumpliría ninguna función esencial.

Sin embargo, estudios recientes realizados por el consorcio de investigación internacional ENCODE (Enciclopedia de los Elementos de ADN) estimaron que el porcentaje del genoma humano que desempeña alguna función bioquímica sería del 80%, lo que resignifica la importancia de esas secuencias repetitivas.

Estos trabajos, que tenían el objetivo de determinar todos los elementos funcionales del genoma humano, fueron publicados a fines de 2012 en revistas de alto impacto y movilizaron a la comunidad científica. La pregunta que sobrevolaba era "¿Cuánto conocemos entonces sobre las funciones del ADN?" o "Entonces, ¿no era todo ADN basura?".

Los investigadores de CONICET Marcelo Rubinstein y Flavio Silva Junqueira de Souza advierten sobre estos resultados de ENCODE en un *review* que fue tapa de la edición de junio de la revista *Molecular Biology and Evolution*. "Hay gente que atribuye funciones a elementos repetitivos basándose en experimentos que no llegan a demostrar función real sino simples interacciones bioquímicas", explica Rubinstein.

¿Cuál es la controversia en torno a este tema?

MR: Nuestro grupo trabaja hace algunos años en el estudio de elementos repetitivos de ADN que aparecieron a lo largo de la evolución de mamíferos y que se transformaron en *enhancers* transcripcionales, es decir, regiones cortas de ADN que aumentan la expresión de determinados genes. Y para poder decir que esos elementos son realmente funcionales hicimos experimentos que demuestran su actividad en modelos in vivo.

FS: En este *review* enfatizamos en la importancia de hacer experimentos funcionales más definitivos para determinar si efectivamente una región de ADN tiene una función real sobre un gen o no. Esto es importante porque últimamente aparecieron un gran número de publicaciones donde se asegura que casi todo el genoma es funcional, incluso el 50% que está constituido por secuencias repetitivas, considerado hasta ahora como "ADN basura". Y en realidad creemos que no es así: es esperable que gran parte del genoma no sea funcional por varias razones de biología evolutiva.

¿Creen que existe una necesidad de demostrar que todo el ADN tiene una función para cumplir?

FS: A algunos biólogos les resulta perturbador que la mayor parte de nuestro genoma no sea funcional porque tienen la idea de que somos como máquinas perfectas y que si ese ADN existe es porque aporta alguna función clave. Pero en realidad se ve que en el genoma hay mucha actividad bioquímica no productiva y sin función específica.

MR: Igual hay que tener cuidado con el término "ADN basura". Muchos creen que es un término peyorativo, cuando para quienes investigan en genética y evolución molecular simplemente indica que es material genético que ahora no tiene una función específica o que perdió la que tenía ancestralmente. El ADN basura puede ser reciclado y adquirir, luego de incorporar mutaciones más recientes, funciones nuevas en el genoma. Por ejemplo, nosotros identificamos secuencias antiguas que adquirieron funciones nuevas imprescindibles para el funcionamiento de los genes que controlan. Se podría utilizar como ejemplo una botella cuya función inicial fue contener una bebida alcohólica. Luego de acabarse, la botella quedó por años en un depósito hasta que fue rescatada por un artista que la convirtió en la base de un velador que ahora depende de ese soporte para mantenerse sobre la mesa. Los genomas emplean mucho este mecanismo: usan y reutilizan secuencias para funciones nuevas. Este fenómeno que se conoce como cooptación o exaptación llama cada vez más la atención de la comunidad científica.

¿Qué rol tiene la exaptación en la evolución de las especies?

FS: Aún no está bien establecido, aunque sí se sabe que ocurre con mucha frecuencia. Cuando miramos nuestro genoma vemos que se acumularon secuencias repetitivas y mutaciones a lo largo del tiempo evolutivo, como si no tuvieran ninguna función. Lo que creemos es que permite el nacimiento de reguladores transcripcionales nuevos y así modificar la forma en que los genes funcionan.

MR: Son como reliquias fósiles que se insertaron en nuestro genoma y el de nuestros antepasados a lo largo de millones de años y luego aumentaron su número mediante un mecanismo similar al copiado o corte y pegado.

¿Hay casos documentados de secuencias repetitivas que sí tengan una función regulatoria sobre otros genes?

MR: Hasta ahora se documentaron al menos diez secuencias de exaptación que actúan como *enhancers*. De esas diez, nuestro grupo descubrió dos. Pensamos que estos pocos casos sólo representan la punta del iceberg y que se van a descubrir miles de estos eventos en los próximos años.

FS: Sin embargo, lo que nos parece más importante es que hay que ser cautos antes de decir que una secuencia tiene función: hay que realizar experimentos en profundidad y separar la paja del trigo, es decir, identificar y caracterizar la función real de una secuencia de ADN y no quedarse sólo con que se observa una actividad bioquímica. ■

Formación

Marcelo Rubinstein es investigador principal del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular (INGEBI, CONICET-UBA). Es además profesor adjunto en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, donde recibió su título de grado en Ciencias Químicas y obtuvo su doctorado en la misma disciplina. Realizó además un posdoctorado en el Vollum Institute, Oregon Health Sciences University, Porland, Oregon, Estados Unidos.

Flavio Silva Junqueira de Souza es investigador adjunto del CONICET en el INGEBI y profesor adjunto en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Se recibió de biólogo en la Universidad de Brasilia, Brasil, y obtuvo un Master en Ciencias en la Universidad de São Paulo. Realizó su doctorado en Biología en la Universidad de Heidelberg, Alemania y un posdoctorado en el INGEBI.

IMPAM

Mapa genético de la tenia: una ruta hacia la cura

Conocer el genoma de este grupo de parásitos podría contribuir al desarrollo de nuevos fármacos que permitan combatirlos.

Alejandro Cannizzaro

Un grupo de investigadores del CONICET secuenció junto a científicos de diferentes países el genoma de cuatro especies de tenias, parásitos que afectan a animales y humanos. "Hasta ahora no se conocían estos genomas, y esa información podría ayudar a mejorar las herramientas de terapia, vacunación y diagnóstico", asegura Mara Rosenzvit, investigadora del CONICET en el Instituto de Microbiología y Parasitología Médica (IMPAM-UBA-CONICET).

Ciertas especies de tenias son causantes de enfermedades endémicas en América del Sur, como la hidatidosis. Esta nueva información permitiría no sólo combatirla, sino entender el comportamiento de su desarrollo en donde intervienen neoblastos, que son las células madres de este tipo de organismos.

Los parásitos estudiados tienen ciertas características vinculadas a su estructura que les permiten desarrollarse, adaptarse y sobrevivir. No tienen intestinos y todos los nutrientes los captan a través de una cobertura que se llama tegumento. Además, su ciclo de vida particular (ver "Impacto en la salud") les permite sobrevivir en condiciones ambientales adversas.

Algunas singularidades que distinguen a las tenias, como su plasticidad fenotípica –capacidad de adaptar su morfología y fisiología en respuesta a cambios ambientales–, les otorga una gran capacidad de adaptación y proliferación. Según la investigadora, es muy importante estudiar los genes involucrados en procesos de desarrollo y de adaptación, algunos de los cuales son particulares de estos organismos.

"Es muy importante el estudio de genes vinculados a la comunicación con el huésped como transportadores de metabolitos y neurotransmisores, así como los expresados en las células madre de estos parásitos, ya que éstas presentan características particulares probablemente relacionadas con la gran plasticidad de desarrollo de estos organismos", afirma Rosenzvit.

Impacto en la salud

La investigación publicada en abril de 2013 por la revista científica *Nature* estudia cuatro especies de tenias, una de las cuales es un modelo de laboratorio y las otras tres son parásitos que producen patologías desatendidas en el hombre como la hidatidosis, una enfermedad grave que se transmite de los animales al humano.

Según el Sistema Nacional de Vigilancia de Salud (SNVS) del Ministerio de Salud de la Nación, los datos de casos notificados de hidatidosis humana en la Argentina fueron 613 durante 2012. En zonas endémicas, 500.000 niños están en riesgo de contraerla.

El organismo causante, *Echinococcus granulosus*, crece en el intestino del perro, donde principalmente por autofecundación produce huevos. Cuando los elimina a través de la materia fecal, estos huevos contaminan aguas y pasturas, y son luego ingeridos por mamíferos, principalmente el ganado, y también el hombre.

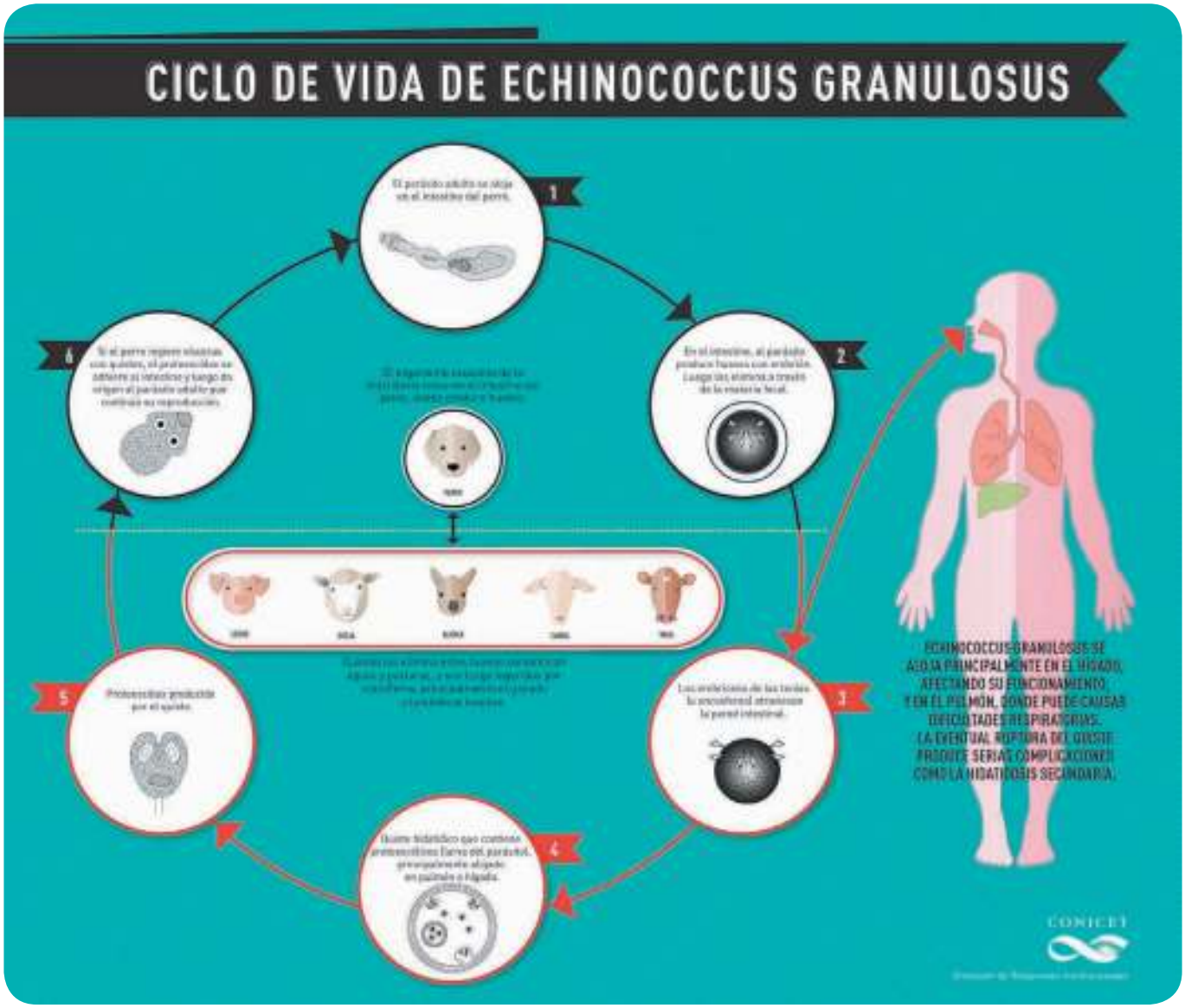
Al ingresar al nuevo huésped, cada embrión contenido en el huevo puede formar un nuevo quiste, muchas veces del tamaño de una pelota de golf, en las vísceras de los animales infectados. En esos quistes crecen larvas y, cuando el perro come las vísceras de otros animales, esas larvas pueden dar origen a un parásito adulto, que continúa su reproducción.

Según Rosenzvit, esto es frecuente en zonas rurales, donde se usan las entrañas de ovejas y otros ganados para alimentar a los perros. En el hombre el quiste hidatídico se aloja principalmente en el hígado, donde puede afectar su funcionamiento, y en el pulmón, donde puede causar dificultades respiratorias.

Otras localizaciones pueden tener consecuencias graves, como la cerebral o la ósea. Además, si ocurre rotura del quiste, pueden presentarse complicaciones como la hidatidosis secundaria, que es la formación de múltiples quistes a partir de las larvas liberadas del quiste principal.

La investigadora asegura que una de las principales causas de perpetuación del ciclo del parásito es alimentar a los perros con vísceras infectadas. "Una medida efectiva sería hervir las vísceras antes de alimentar a los perros, pero las regiones vulnerables son justamente las que no tienen gas o agua y por lo tanto el ciclo se mantiene. La hidatidosis es endémica en la Argentina al igual que en otros países de América del Sur".

Para Rosenzvit la información obtenida al secuenciar los genomas de las tenias puede ser utilizada para desarrollar nuevas drogas, mejorar herramientas de diagnóstico y perfeccionar por ejemplo la vacuna desarrollada contra la hidatidosis que actualmente se produce para aplicar en el ganado. Si bien es exitosa, es bueno contar con alternativas en caso de que se desarrolle resistencia por parte del parásito. ■



Construcción de una base de datos parasitaria

La investigadora de CONICET Laura Kamenetzky, desde el Laboratorio de Biología Molecular de Hidatidosis del IMPAM, es la encargada de generar una base de datos genómica en conjunto con científicos de la Universidad de Minas Gerais en Brasil y de la Universidad Nacional de la República de Uruguay que incluirá datos de las variantes genéticas de patógenos que circulan en la región: *Cestodes y Trematodes*, parásitos que pueden provocar diferentes enfermedades en el ser humano.

Según Kamenetzky, la creación de esta base de datos también permite formar recursos humanos especializados en bioinformática y adquirir equipamiento informático para la región.

"Nos interesa generar una plataforma específica para las variantes que circulan en nuestro país y en la región porque no hay estudios específicos de las enfermedades provocadas por estos parásitos. Hasta ahora, si se buscaba generar una nueva droga antihelmíntica, había que basarse en el análisis de datos generados en otras especies", comenta.

Ahora, con la disponibilidad de los nuevos datos genómicos y su futura incorporación en bases de datos especializadas, será posible focalizar los estudios sobre drogas antihelmínticas y mejorar su efectividad.

Para la investigadora, estas enfermedades desatendidas, como aquellas causadas por parásitos platelmintos –incluyendo las tenias–, afectan estimativamente a más de 250 millones de personas en el mundo, y un gran número de animales destinados a la producción ganadera.

Mariana Koppmann

¿Qué sucede cuando se fríen los alimentos?

En estos tiempos en que la comida saludable se ha vuelto un tema importante en la vida de cada persona, permitirse una milanesa con papas fritas es casi pecaminoso y queda reservado para ocasiones especiales. Por eso es bueno conocer los procesos que ocurren durante la cocción de alimentos en aceite o grasa, los cuales, si están bien freídos, probablemente no terminen tan aceitosos como tendemos a imaginarnos. La mezcla de texturas que se logra en una buena fritura estimula el sistema sensitivo con cada bocado, pues el alimento sale de la cocina con el exterior crocante, sin estar quemado sino con un buen dorado, y el interior cocido y tierno, sin estar embebido en aceite.

La fritura tiene características muy particulares debidas a que se usa aceite como vehículo para transferir calor al alimento. El aceite es un medio líquido seco; permite cocinar a una temperatura que ronda los 200°C, muy superior a la de ebullición del agua, a la que supera en 100°C (en el nivel del mar). Como esta es el componente principal de los alimentos, freírlos produce una rápida desecación de su exterior por ebullición del agua

¿DE QUÉ SE TRATA?

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

de la superficie, lo que conduce a que se forma una apetecible costra. Y como el aceite es un medio líquido, toda la superficie del alimento, sin importar su forma, resulta embebida en él y recibe calor en forma pareja.

Así planteado parece muy sencillo, pero hay un delicado equilibrio entre la cantidad de aceite, la cantidad de alimento, la temperatura de aquel, la temperatura de este, el tamaño de cada porción, el tiempo necesario para la cocción del alimento, el tiempo necesario para la formación de la costra y si se recubre o no se recubre el alimento.

Pocos alimentos se fríen directamente, como se hace con papas o batatas. Para evitar que el producto a freír se deseque se lo reboza, es decir, se lo recubre de sustancias que terminan como una capa crocante y, durante la cocción, forman una barrera a la transmisión de calor, con el resultado de que el alimento no se seca.

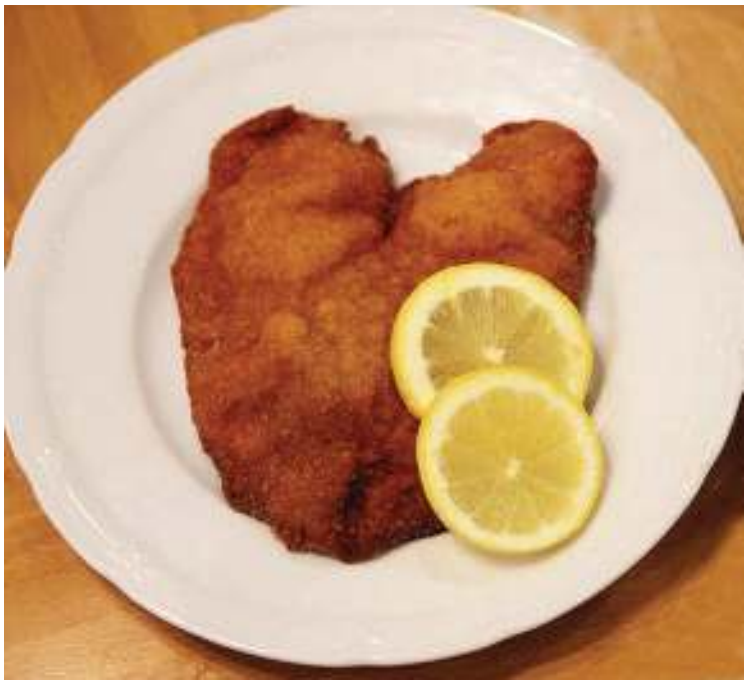
Durante la fritura ocurren diversos fenómenos simultáneos. El exterior del alimento, en contacto directo con el aceite, se deshidrata, pues el agua superficial se transforma en vapor. Por eso, al colocar un alimento en aceite caliente se producen burbujas en la superficie. El exterior deshidratado forma una costra que, junto con el vapor que sale, impide el ingreso de aceite en el interior del alimento. La costra no solo crea una textura crujiente sino que provee de nuevos sabores y aromas debido a dos fenómenos a los que nos hemos referido en una nota anterior a la que remitimos al lector: la reacción de Maillard y la caramelización de los azúcares ('La masa del pan', Ciencia Hoy, 22, 130: 39-41, diciembre de 2012-enero de 2013). La costra debe terminar como la única parte del alimento impregnada con grasa.

Dado que la temperatura del aceite disminuye cuando se ingresa el alimento, se debe mantenerla en un nivel suficiente para que el alimento se cocine en su interior, pero no excesivo para que no se queme el exterior. En muchas ocasiones es conveniente comenzar con el aceite bien caliente, digamos a 180ºC, para que se forme rápidamente la costra, y luego permitir que baje su temperatura a unos 150ºC, que es suficiente para que el alimento se siga cocinando y el vapor siga escapando, pero no lleva a que se queme el exterior.

Una vez terminado de cocinar, el siguiente paso es escurrir la mayor cantidad posible de aceite sin que se enfríe el alimento. Cuando este se enfría, el vapor que no escapó se condensa y produce una baja de presión que succiona aceite hacia adentro. Por esta razón es importante escurrir bien el aceite, primero sobre el fuego y luego con papel absorbente. Además, a medida que el alimento se va enfriando la humedad interior hace que la costra se vaya ablandando.

Para rebozar los alimentos antes de freírlos se puede recurrir a sustancias como harina, huevo, leche y pan rallado, que se aplican sea de a una, en sucesivas capas, o como mezclas. Una buena cubierta debe adherirse al alimento y permanecer así durante la fritura. Además, no debe absorber mucho aceite, terminar crocante y ser friable, es decir, deshacerse en la boca al masticar. No debe ser dura ni gomosa.

Para que la cubierta se adhiera al producto a freír hay que recordar que lo húmedo se adhiere a lo seco y viceversa. Si el alimento a recubrir es muy húmedo, por más que se seque su exterior exudará líquido al final del proceso: en tal caso, la primera capa de recubrimiento debe ser de sustancias secas, como harina, pan rallado o almidón de maíz. Esa capa seca, además, generará una superficie rugosa para que, en el siguiente paso, se pueda adherir a ella, por ejemplo, huevo, que cubrirá toda la pieza.



Si antes de freírlo el alimento exuda una cantidad de agua que no puede ser absorbida por el recubrimiento, en contacto con el aceite el agua excedente se transforma en vapor, aumenta el volumen del trozo y hace que la costra se despegue. Si no se rompe, queda un tanto abombada, pero si se rompe, el aceite entra en contacto con el alimento, que lo absorbe, y el resultado es una fritura grasosa.

También es importante que la capa de rebozado no se humedezca antes de comenzar la fritura, pues si lo hace, el tiempo de formación de la costra se prolonga, y hay más posibilidades de que la cubierta se despegue o que quede menos crocante. Por esta razón, si se debe preparar muchas milanesas, conviene corregir el rebozado pasándolas por la sustancia seca un instante antes de la fritura, la que solamente se adherirá a las partes húmedas y se evitarán esos resultados adversos.

Los rebozadores que se aplican como mezcla en lugar de capas se forman con un líquido mezclado con un almidón para conseguir una pasta viscosa que se adhiera al alimento. Cuanto más viscosa sea, más cantidad se pegará al alimento, y cuanto más grueso procuremos que sea el recubrimiento, más viscosa tendrá que ser la mezcla. Se pueden poner recubrimientos gruesos en alimentos que se rebozan por capas y no necesitan cocción, como manzanas con las que se preparan buñuelos.

Algunas recetas aconsejan agregar agentes leudantes, como bicarbonato de sodio o polvo para hornear, o bebidas gasificadas, como soda o cerveza, para que la masa formada durante la fritura entre el alimento y la costra sea esponjosa y más liviana. Por otro lado, los alveolos que se forman obstaculizan la transferencia del calor del aceite al interior del alimento.

Foto Benjamin Thompson, *flickr.com.*

Entre los líquidos a utilizar en las mezclas para freír se cuentan el agua, la leche, la soda, la cerveza, el vodka, los huevos y las combinaciones entre ellos en distintas proporciones. Las fuentes de almidón más utilizadas son la harina o el almidón de maíz. Si se utiliza harina, no es recomendable que la mezcla se prepare con anticipación ya que, contrariamente a lo que ocurre en una mezcla para panqueques, no queremos que la masa formada sea elástica, pues en una fritura la elasticidad dará una textura gomosa. Por su lado, el vodka –que suele usar el conocido chef británico Heston Blumenthal– se evapora rápidamente durante la cocción por tener mucho alcohol y da una cubierta muy crocante.

Contrariamente a lo habitual en las preparaciones con almidón o harina, en el plato japonés de pescados o vegetales fritos llamado tempura es deseable que la harina quede con grumos, pues al freírlos crean una textura más crocante. El agregado de bicarbonato de sodio aumenta el pH y favorece el dorado por obra de la mencionada reacción de Maillard, lo que hace más intenso el color de la fritura. CH

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

Mariana Koppmann

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

Elizabeth Jelin
Instituto de Desarrollo Económico y Social, Conicet

La geopolítica internacional del conocimiento

Colaboración académica internacional y geopolítica

La experiencia indica que la colaboración internacional en las ciencias sociales –y quizá también en el resto del campo científico– ha estado en mucha medida traspasada por la geopolítica. Académicos que aparentemente colaboran entre ellos o trabajan juntos actúan a menudo en un marco de relaciones desiguales, en el que la agenda de investigación y los grandes conceptos de las disciplinas –o *paradigmas*– vienen fijados en forma dominante por las comunidades científicas de los países llamados centrales.

No es este un fenómeno nuevo. Durante los dos últimos siglos, el desarrollo del Estado moderno estuvo unido a la expansión colonial europea e implicó un doble movimiento: por un lado, una creación y consolidación institucional de ese Estado en los países más poderosos, que se concebían a sí mismos como unidades autónomas; por otro, un proceso de intercambios desiguales y de dominación mundial por parte de esos países, para los cuales el resto del mundo estaba allí como colonia o como territorio a ser colonizado y era visto por ellos como 'primitivo' o 'exótico'. La actividad académica no escapó a este marco histórico. Los cambios actuales vinculados con la globalización, sin embargo, están produciendo alteraciones en los ritmos y contenidos de los flujos de conocimiento. Esos flujos no son neutrales ni se mantienen ajenos a las relaciones globales de poder, las que a menudo resultan mantenidas e incluso reforzadas.

A la luz de esta historia, en el contexto presente los flujos transnacionales de conocimiento raramente pueden ser vistos como transacciones igualitarias entre pares o entre instituciones colegas. Son, más bien, parte del escenario geopolítico mundial. La terminología con que se describe a este incluye conceptos como centro-periferia, norte-sur, Occidente y resto del mundo, Primer Mundo-Tercer Mundo, o países desarrollados-en vías de desarrollo. Las preguntas medulares permanecen: ¿qué vínculos se han establecido o pueden establecerse entre socios desiguales?, ¿quién define la agenda internacio-

¿DE QUÉ SE TRATA?

La reflexión crítica sobre los flujos transnacionales del conocimiento ha sido tema recurrente de las ciencias sociales, y revela tanto las diversas concepciones posibles de esas disciplinas como las estructuras de poder de las comunidades científicas.

nal?, ¿en qué medida la cooperación académica resulta moldeada por las relaciones económicas y políticas?, ¿cómo se ve el centro desde la periferia, y esta desde aquel?

La argumentación que expongo en esta nota se basa en la historia de los vínculos establecidos en el último medio siglo entre académicos e instituciones de las ciencias sociales de América Latina, y toma también en consideración debates mantenidos en otras partes del mundo. La pregunta que procuro plantear es si existen formas alternativas de cooperación. ¿Es posible establecer vínculos horizontales? ¿Hay indicios de que se están desarrollando formas de colaboración más igualitarias?

Además, en términos más generales, es posible interrogarse sobre si los patrones que prevalecen en las disciplinas sociales son observables en otros campos científicos, y si en las ciencias exactas y naturales se pueden señalar comparables relaciones transnacionales de poder científico.

Copiar al centro o buscar autenticidad nativa

En enero de 1973 Roberto Schwarz, un crítico literario brasileño de origen austríaco, publicó un artículo en la revista del Centro Brasileiro de Análise e Planejamento con el título de 'As ideas fora do lugar' (*Estudos*, 3, pp. 149-161). Planteó en él las maneras en que en el Brasil –o más generalmente en los países en desarrollo– el debate cultural y político se organizaba en forma binaria: lo importado y lo auténtico, el original y la copia, lo hegemónico y lo dependiente, el centro y la periferia. La nota tuvo importante repercusión en su ámbito académico, lo mismo que un ensayo que escribió una década después y apareció con el título 'Nacional por subtração' en un libro del que fue editor (*Que horas são? Ensaios*, Companhia das Letras, São Paulo, 1987). Ambas piezas siguen siendo cruciales para comprender la geopolítica del conocimiento.

Las categorías europeas de pensamiento y de lenguaje fueron trasplantadas a los países de la periferia en tiempos coloniales. Según el análisis de Schwarz, la respuesta intelectual se polarizó ante este trasplante: hubo quienes vieron en esas ideas la deseada modernidad y la 'civilización', y pensaron que bastaba reproducir las tendencias de las metrópolis para alcanzar una activa producción intelectual. También existió una posición nacionalista, tanto en la izquierda como en la derecha política, que buscaba núcleos nacionales genuinos, no adulterados por importaciones o contactos. Para los segundos, esas importaciones no podían ser otra cosa que copias o 'ideas fuera de lugar', desubicadas, desajustadas a la realidad.

Estas dos formas de reaccionar ante conceptos y teorías que fueron llegando de Europa y después de los Estados Unidos nos han acompañado desde hace mucho tiempo, y los argumentos que las sostienen no han per-

UNA EXPERIENCIA

En 2004, un grupo asesor del gobierno de Suecia invitó a un conjunto de representantes de las disciplinas sociales de países en desarrollo a estudiar la desigualdad de género en los países nórdicos, según puede leerse en la obra de Naila Kabeer y Agneta Stark, incluida en las lecturas sugeridas. La iniciativa resultó de una directiva de los programas de asistencia internacional de los países nórdicos, por la que estos debían fomentar la igualdad de género en los lugares beneficiados por esos programas. Después de algunos años de insistir en ese principio, se pensó conveniente preguntarse si las políticas de género nórdicas serían aplicables de manera universal.

Así, integrantes de diferentes campos disciplinarios de la Argentina, Hungría, la India, Irán, México, Nigeria, Pakistán y Sudáfrica tuvieron oportunidad de investigar la realidad nórdica. Los temas de investigación fueron elegidos por cada integrante del grupo y resultaron muy variados: mercados de trabajo, educación, familia, participación política, políticas sexuales, estadísticas sociales, acción colectiva, etcétera. El análisis de la experiencia nórdica –en realidad, de Suecia y Noruega– se hizo en términos comparativos con la mirada de la experiencia del país de cada colega participante.

El planteo puede parecer raro. ¿Qué es posible aprender de comparar la alfabetización en Suecia y en Pakistán? ¿Hay algo en común entre las políticas de maternidad de Noruega y de la República Islámica de Irán? ¿Qué se puede decir de la política de familia en Suecia por comparación con la legislación de familia de raigambre católica de varios países iberoamericanos? ¿Qué tienen en común la prostitución en la India y en Suecia? ¿Cuál es el significado del trabajo a tiempo parcial de las mujeres en Suecia, Noruega y Hungría? En un nivel descriptivo, las diferencias son enormes. No tiene mucho sentido comparar resultados precisos, políticas o instrumentos. Más bien pareció necesario concentrarse en los procesos y propósitos de adoptar unas políticas y no otras, y en las condiciones que facilitan un curso de acción y dificultan otro.

Las académicas y activistas feministas escandinavas estaban preocupadas: sentían que eran ellas quienes debían formular la agenda de investigación, pues quienes provenían del extranjero no sabrían elegir los problemas correctos a investigar. El patrón habitual en esos países es que sus claustros académicos asesoren a colegas de otros países, antes que lo contrario. Esta actitud tiene su contracara en las expectativas en los países del sur, donde quienes llegan del extranjero –estudiantes, profesionales o fundaciones– llegan y definen los problemas 'correctos' que deben ser estudiados. Claramente, desde su punto de vista, la definición del problema no es una simple cuestión de cooperación internacional sino un ejercicio de poder.

En el curso de las investigaciones de ese proyecto, se plantearon cuestiones metodológicas y epistemológicas significativas e innovadoras. Se reveló también cómo miradas extrañas producen novedosas preguntas de investigación e interpretaciones inéditas sobre cuestiones no planteadas antes. En suma, se produce innovación.

dido actualidad. En un extremo están quienes conciben la modernidad europeo-norteamericana como el modelo a seguir, y se preocupan por los obstáculos que pueden crear las tradiciones y los rasgos culturales locales a los procesos de modernización y occidentalización. En el otro extremo se ubican aquellos para quienes todo lo que viene de afuera debe ser visto como foráneo y resistido: son los que buscan una esencia nacional en la autenticidad de las tradiciones y raíces culturales locales, e intentan eliminar –la *sustracción*, en el giro irónico de Schwarz– todo lo que viene del exterior. ¿Qué queda entonces?

El enfoque localista o nacionalista suele reaparecer periódicamente como reacción al internacionalista, al que concibe como imperialismo cultural. Argumenta que los académicos del sur dependen tanto en materia teórica como institucional de la generación de conocimientos que tiene lugar en el norte. La manera de superar ese imperialismo es, para algunos, buscar conceptos e ideas que no provengan de los países centrales, y generar discursos alternativos anclados en experiencias históricas y prácticas culturales locales y regionales. O sea, buscar una autenticidad nativa u originaria.

Esta posición extrema contrasta con la de Schwarz, para quien las innovaciones locales no necesitan descartar las ideas importadas sino tomarlas como indicación del desafío que esas ideas enfrentan cuando se trasplantan. Para los viajeros europeos de hace un par de siglos, ese trasplante era un viaje al tropicalismo y a lo exótico; para los intelectuales locales, significó confusión y desorientación, el reconocimiento de dualismos, contrastes, anacronismos y contradicciones. Hubo debates políticos e intelectuales interminables, posiciones polarizadas, intentos de encontrar caminos intermedios o síntesis que permitieran superar las paradojas creadas por el encuentro o el choque. Como consecuencia, fue tomando cuerpo el reconocimiento de que los ámbitos académicos del mundo periférico tienen características específicas que les son propias y se pueden identificar. Se trata de ámbitos que forman parte de la dinámica internacional del conocimiento y cuyos integrantes enfrentan el desafío de comprender y explicar su especificidad, lo mismo que su ubicación en esa dinámica internacional.

Esta afirmación, aparentemente tan simple, ha estado en el corazón de una fuerte tradición intelectual latinoamericana, para la cual la condición local o periférica no es un lugar donde están desubicadas las ideas del centro, sino parte de un sistema de relaciones geopolíticas e históricas mundiales. Para esta tradición, cada ámbito periférico es específico y distintivo, y no hay lugar para preguntarse sobre la autenticidad, para denunciar la copia, para buscar la esencia pura y no contaminada de la nación o del pueblo.

Esto permite llegar a una primera conclusión general: el internacionalismo como preocupación académica, intelectual y política surgió y creció en la periferia porque fue allí y no en el centro donde debió enfrentarse la cuestión de las importaciones y las imposiciones. Las ciencias sociales y las humanidades latinoamericanas fueron internacionales desde su nacimiento, pero su internacionalismo, sin embargo, no fue ni es una copia. Desde muy temprano, implicó una consideración crítica y un debate sobre los diversos procesos y mecanismos que lo originaron. En esto, América Latina no está sola. Sus intelectuales concibieron, entre otras, la teoría de la dependencia; también crearon conceptos originales sobre marginalidad, colonialismo, colonialismo interno y culturas híbridas. Los intelectuales de la India, por su parte, abrieron el capítulo de los estudios poscoloniales y los estudios subalternos. ¿Podrían estas contribuciones haber sido hechas en el centro? ¿Cómo llegaron esas ideas al centro? ¿Cómo fueron consumidas y metabolizadas allí?

Roberto Schwartz, académico y crítico literario brasileño, nacido en Viena en 1938, cuyo pensamiento sobre literatura es inseparable de su reflexión más amplia sobre política y sociedad. Sus textos sobre las corrientes literarias y sus vínculos internacionales, que inspiraron este artículo y son citados en él, plantean cómo el debate cultural latinoamericano refleja las tensiones entre la importación de ideas y la reivindicación de una autenticidad de la región.

La producción académica en el centro

Al igual que en otros campos de la ciencia, con las posibles excepciones de la arqueología, la antropología y áreas especiales de la lingüística, los desarrollos acadé-

micos de las ciencias sociales tuvieron lugar en los países centrales sin mayor referencia a otros ámbitos que los propios. La modernidad y el racionalismo implicaron una fuerte creencia en el progreso continuo, de manera que se esperaba que esos otros ámbitos (cuando se reconocía su existencia) se asimilaran o siguieran los senderos abiertos por los líderes del progreso mundial.

Los países de desarrollo tardío alcanzarían a los otros; los subdesarrollados se desarrollarían. Si bien siempre hubo formas de colaboración entre científicos de distintos países, en ciertos casos se establecieron modalidades más cercanas a la explotación que a la colaboración. Así, especialmente bajo la órbita de las ciencias sociales norteamericanas de las décadas de 1950 y 1960, se creó una forma específica de división del trabajo internacional: los académicos de los países centrales elaboraban la teoría, mientras que sus colegas del mundo subdesarrollado, además de ser consumidores de sus escritos y de poblar los programas de posgrado de sus universidades, proporcionaban los datos con los que corroborar esas teorías.

Esos intercambios desiguales, semejantes a los verificados en muchas industrias extractivas de la periferia, fueron el modelo que se adoptó para el trabajo académico. En ese modelo, los datos equivalían a las materias primas, y buena parte de la comunidad académica profesional periférica actuaba dominada por formas de gestión administradas desde el centro.

Con el inicio de la Guerra Fría, las posturas ideológicas mundiales se tornaron más polarizadas. La Revolución Cubana introdujo en los Estados Unidos una preocupación importante sobre América Latina, preocupación que condujo a organismos estatales a aplicar diversas políticas, desde intentos de frenar el crecimiento demográfico por las vías de la educación, la distribución de anticonceptivos e incluso la esterilización, hasta acciones clandestinas como las relacionadas con los *contras* nicaragüenses. ¿Cuántas veces la colaboración académica se convirtió en una máscara de operaciones de inteligencia? Cuando estos casos fueron descubiertos –como sucedió con un proyecto llamado Camelot (una investigación patrocinada por el ejército y el departamento de Defensa de los Estados Unidos a comienzos de la década de 1960, analizada en Irving Louis Horowitz, ed., *The Rise and Fall of Project Camelot: Studies in the Relationship between Social Science and Practical Politics*, The MIT Press, Cambridge MA, 1967)–, la indignación moral de la comunidad académica del sur no siempre fue compartida por los colegas del norte.

Sin duda, la comunidad universitaria estadounidense no era homogénea en términos ideológicos, y en ella muchas voces críticas se opusieron a las posiciones dominantes. Las tareas académicas nunca estuvieron aisladas de las batallas ideológicas y políticas de la colectividad científica, e iniciativas de diálogo y de colaboración más equitativa convivieron con intentos que reforzaban las desigualdades internacionales.

Las discusiones sobre las relaciones entre Occidente y el resto (*the West and the rest*) se mantuvieron por décadas. En las ciencias sociales hubo en los Estados Unidos, especialmente durante la década de 1990, debates acerca del cometido de los llamados estudios de áreas (*area studies*). Para muchos académicos de los países centrales, hay una línea divisoria neta entre las ciencias sociales orientadas teóricamente y los estudios enraizados en realidades concretas, etiquetados con ese nombre. Tal línea divisoria se basa en las fuertes creencias de algunos sobre el carácter ateórico de ese segundo tipo de estudios, y en el convencimiento de que la consideración del contexto histórico en las investigaciones de las diversas ciencias sociales solo sirve para lograr mejores mediciones y datos que puedan alimentar las hipótesis teóricamente orientadas producidas en el norte.

El resultado es una jerarquía del saber en la que los estudios de áreas generan conocimientos de segunda clase, de cuyo carácter científico mismo a veces se duda. Para quienes piensan así, parecería que conocer en profundidad la lengua y las tradiciones históricas y culturales de un grupo social carece de utilidad para el avance del conocimiento y solo sirve para recoger datos que se puedan ubicar en los marcos teóricos significativos desarrollados en el centro.

Reclamo estudiantil reciente en Chile. ¿Con qué categorías se puede analizar este movimiento? ¿Cómo combinar su especificidad en determinado momento histórico y político con las categorías analíticas y los modelos teóricos sobre protesta y movilización?

En este mapa geopolítico –que refleja una parte importante del mundo de las ciencias sociales– la producción intelectual original de la periferia puede ser objeto de tres tratamientos posibles: primero, se la puede ver como algo exótico, merecedor de lo que podríamos llamar 'turismo intelectual'; segundo, puede ser apropiada e incorporada a los esquemas dominantes con escaso o nulo reconocimiento de autoría; y tercero, puede ser recibida de manera 'amable' en el marco de la llamada corrección política (*political correctness*) del diálogo internacional y confinada a algún rincón específico con el benévolo comentario de ¡qué interesante!

Hacia una mirada transregional

¿Existen modelos alternativos de cooperación? ¿Hay maneras de abordar el avance cooperativo del conocimiento en un marco de mayor igualdad?

Es posible que el momento histórico actual sea propicio para dar este paso. Los cambios geopolíticos recientes confrontan al mundo con un nuevo escenario: la periferia ha cambiado y varios países antes considerados subdesarrollados o tradicionales están mostrando una nueva cara. La China, la India y el Brasil, para nombrar solo tres países clave, pudieron afianzar sus comunidades científicas con modelos que no necesariamente siguen la distinción centro-periferia. Hay comunidades intelectuales activas y dinámicas en otros lugares, desde México hasta Sudáfrica. Al mismo tiempo, hay posibilidades técnicas y políticas que facilitan la creación de redes descentralizadas, con nuevas maneras de establecer contactos e intercambios. Además, en muchos países centrales la política universitaria y científica actual empuja hacia la internacionalización, pues entre otras cosas los sistemas de evaluación requieren mostrar colaboraciones internacionales. ¿Qué implica esto en términos de flujos, de diálogos y de cooperación?

Una primer resultado podría ser estimular la reproducción de los patrones anteriores, con políticas de colaboración que se mantienen asimétricas y se basan en relaciones de poder y subordinación. Pero alternativamente se abrió la posibilidad de formar redes descentralizadas, con una visión del mundo cuyos agrupamientos y regiones –sean geográficas o simbólicas– estén en pie de igualdad, sin centros ni periferias. Hoy es viable imaginar un mundo sin centro, con flujos de información que pueden ir en diversas direcciones, y en el que los cánones y los controles no estén en manos de una autoridad única sino que provengan de formatos múltiples y flexibles.

Para las ciencias sociales, esto implica cambios significativos en la dirección de los flujos de saber. Significa no considerar el conocimiento elaborado en el centro como el más válido y teóricamente más sólido, sino valorar los conocimientos provenientes de otros contextos, y hacer preguntas analíticas y comparativas sobre esa base.

En esta perspectiva de estudios transregionales, los centros tradicionales del poder científico, es decir, Europa occidental y los Estados Unidos, aparecen como regiones entre muchas que requieren ser miradas comparativamente en su especificidad y en el contexto de las relaciones globales de poder. Vistos desde la periferia, se trataría de desprovincializar esos antiguos centros y volverlos más internacionales. Este nuevo internacionalismo de las políticas científicas implica analizar todos los flujos entre regiones con las mismas herramientas.

Una posibilidad que se comienza a entrever es la de revertir la mirada: estudiar el centro por parte de la periferia, como en la experiencia que relata el recuadro con ese título. En tal caso, el desafío estaría en renunciar a la supremacía de fijar la agenda de investigación por parte de quienes tienen los resortes del poder académico y concentran los recursos materiales, y permitir que la periferia analice al centro. Posiblemente esto implique más desorden, pero también más participación democrática. CH

Esta nota es una versión revisada de un capítulo escrito por la autora y titulado 'Models of transnational scholarly cooperation: a site of geopolitical struggles?', publicado en el libro de Barbie Zelizer citado entre las lecturas sugeridas.

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2010, *World Social Science Report. Knowledge Divides*, Unesco-Consejo Internacional de Ciencias Sociales, Paris, accesible en *http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/resources/reports/world-social-science-report/*.

BEIGEL F, 2013, 'Centros y periferias en la circulación internacional del conocimiento', *Nueva Sociedad*, 245, mayo-junio, pp. 110-123.

KABEER N & STARK A (eds.), 2008, *Global Perspectives on Gender Equality. Reversing the Gaze,* Routledge, Nueva York-Londres.

ZELIZER B (ed.), 2011, *Making the University Matter*, Routledge, Londres-Nueva York.

Elizabeth Jelin

Doctora en ciencias sociales (PhD), Universidad de Texas en Austin.
Docente del programa de posgrado en ciencias sociales, Universidad Nacional de General Sarmiento-Instituto de Desarrollo Económico y Social.
Investigadora superior del Conicet.
elijelin@gmail.com

Suscríbase al conocimiento

CIENCIA HOY

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

Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 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)*

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