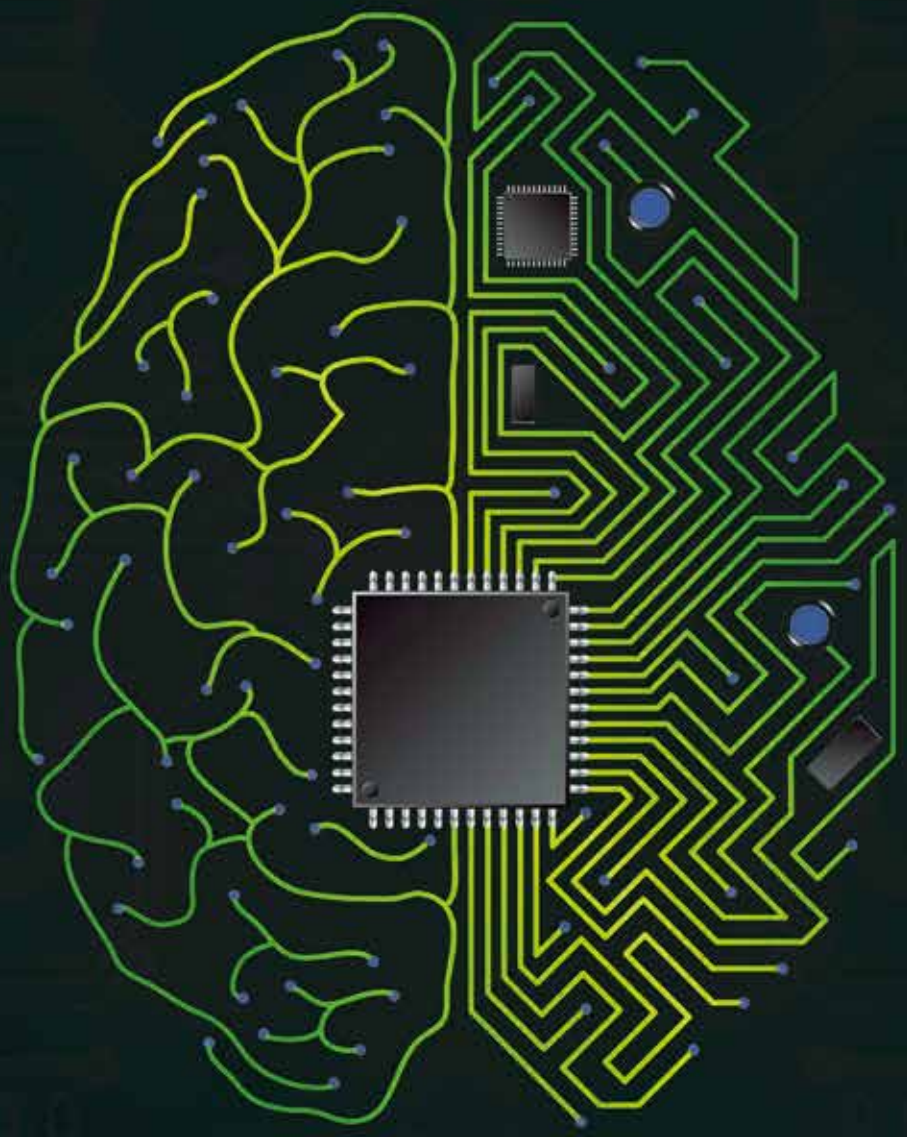
CIENCIA HOY

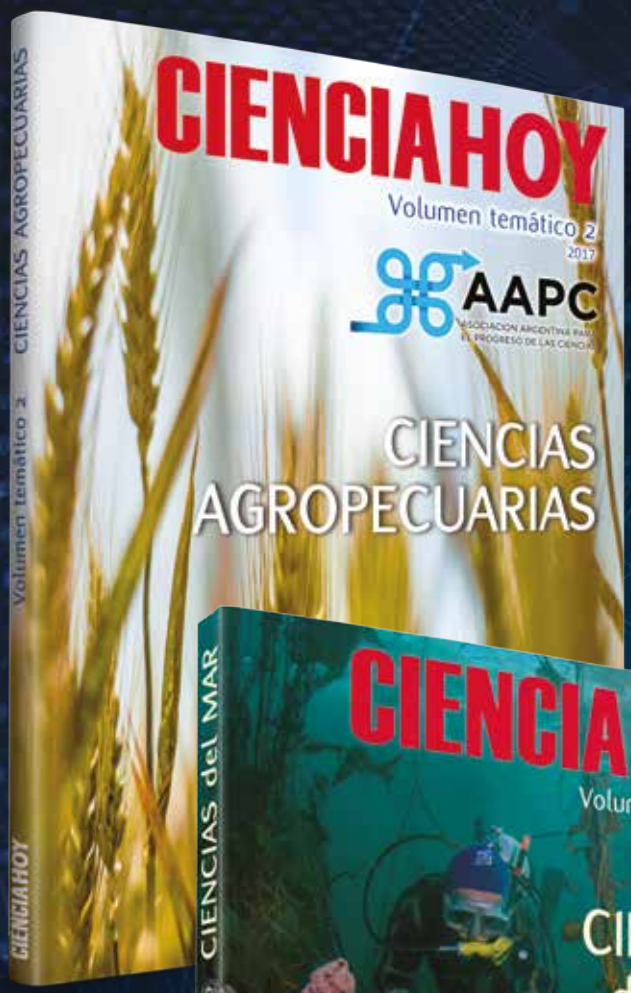
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 28 número 167 octubre - noviembre 2019
Ejemplar en la Argentina $185

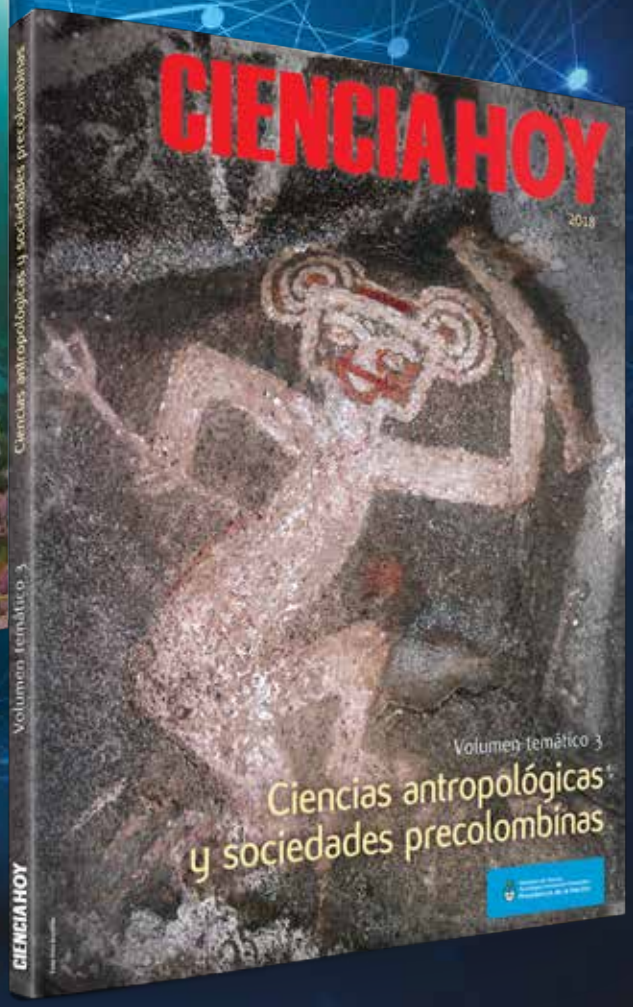
La revolución de la inteligencia artificial



ISSN 0327 - 1218
00167
9 770327 121009

El fitoplancton | El crecimiento de Puerto Madryn | Premios Nobel 2019 | Guía del cielo nocturno





CIENCIA HOY

CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS

www.cienciahoy.org.ar contacto@cienciahoy.org.ar

RevistaCienciaHoy Tel (011) 4961 1824 /4962 1330

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Aníbal Gattone

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

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

http://cienciahoy.org.ar

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

Editores responsables

Sebastián Barbosa
TECtv. Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Patricia Ciccioli
Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, UBA-Conicet

Federico Coluccio Leskow
Departamento de Ciencias Basicas, Universidad Nacional de Luján. Conicet

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

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

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

Aníbal Gattone
UNSAM

Roy Hora
Universidad Nacional de Quilmes. Conicet

Valeria Manzano
Instituto de Altos Estudios Sociales, Universidad Nacional de San Martín. Conicet

José X Martini
Asociación Ciencia Hoy

Paulina E Nabel
Asociación Ciencia Hoy

Pablo E Penchaszadeh
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

Santiago Francisco Peña
Instituto de Historia Antigua y Medieval. UBA-CONICET

Nicolás Pírez
Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias, UBA-Conicet

Roberto R Pujana
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

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

Consejo científico

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), José Carlos Chiaramonte (Instituto Ravignani, FFyL, UBA), Jorge Crisci (FCNYM, UNLP), Roberto Fernández Prini (FCEN, UBA), Stella Maris González Cappa (FMED, UBA), Francis Korn (Instituto y Universidad Di Tella), Juan A Legisa (Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética, UBA), Eduardo Míguez (IEHS, Unicen), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP) y Fidel Schaposnik (Departamento de Física, FCE, UNLP)

Secretaría del comité editorial
Paula Blanco

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

Representante en Córdoba
Nancy López
La Falda, Valle de Punilla, Córdoba
Teléfono: (03548)15 571-025
Correo electrónico: *nancylopez2635@gmail.com*

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

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $1180 (incluye envío)
EXTRANJERO: 6 números, US$ 27 + envío

Costo de envío
PAÍSES LIMÍTROFES DE LA ARGENTINA: US$ 60
SUDAMÉRICA: US$ 72
RESTO DE AMÉRICA: US$ 84
EUROPA: US$ 90
RESTO DEL MUNDO: US$ 96 (PayU)

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

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

ISSN 0327-1218
N° de registro DNDA 75312285

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Callao 132, EP (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Teléfono: (011) 4372-0117
Correo electrónico: *estudiomassolo@gmail.com*

Corrección
Mónica Urrestarazu

Impresión
Mundial impresos
Cortejarena 1862 (C1281AAB)
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

Omar Coso (presidente), Aníbal Gattone (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek, Galo Soler Illia, Roberto R Pujana (vocales).

Ciencia Hoy agradece el apoyo del Conicet y de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Esta revista aparece merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe –ni ha recibido en toda su historia– remuneración económica.

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Octubre - Noviembre 2019
Volumen 28 - número 167

EDITORIAL
4 Acceso abierto a publicaciones científicas

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY
6 Volumen 5 - número 26
Mayo - Junio 1994

8 COLUMNA LINGÜÍSTICA

10 GRAGEAS

ARTÍCULO
13 Aprender para predecir: la bioinformática como herramienta de estudio en biología
Cristina Marino Buslje y Gustavo Parisi
Uno de los objetivos de la ciencia es entender lo que sucede para poder hacer predicciones. La bioinformática se ha erigido, gracias a las mejoras en las tecnologías de gestión de datos, en una herramienta muy poderosa para formular predicciones en el terreno de la biología.

ARTÍCULO
19 ¿De qué nos habla el fitoplancton?
Irina Izaguirre, Inés O'Farrell y María Laura Sánchez
Fitoplancton es un conjunto de organismos que vive suspendido en la columna de agua de mares y lagos a merced de las olas, las corrientes y las mareas. Forma una comunidad microscópica muy sensible a los cambios ambientales, por lo que resulta muy informativo sobre la integridad del ecosistema acuático donde habita. La evaluación periódica del fitoplancton es fundamental para la apreciación de la calidad del agua, incluida el agua potable, de riego y de uso recreativo. Las autoras analizan en particular el caso de las lagunas pampeanas.

ARTÍCULO
27 Puerto Madryn: crecimiento urbano, conservación ambiental y turismo
María Paula Bunicontro
Todo asentamiento humano tiene consecuencias ambientales, que van creciendo con el número de habitantes congregados y alcanzan enormes proporciones en las grandes urbes. Un caso especialmente delicado es el de las ciudades costeras, sobre todo si están en zona de playas y atraen turistas, pues aun pequeñas aglomeraciones enfrentan difíciles decisiones para encontrar un balance adecuado entre conservación y uso de la playa. Puerto Madryn constituye un buen ejemplo de esto.

CIENCIA EN EL MUNDO
35 Los premios Nobel 2019

ENTREVISTA

43 Carl Benedikt Frey entrevistado por Daniel Schteingart

ARTÍCULO

46 La revolución de la inteligencia artificial: derribando mitos

Agustín Gravano

La inteligencia artificial es, parafraseando a varios autores, como el sexo adolescente: todo el mundo habla de ella, nadie sabe bien cómo hacerla, pero todo el mundo piensa que los demás la están haciendo. Como tal, arrastra mitos, algunos de los cuales deben ser derribados.

MATEMÁTICA, ILUSIONES Y HUMOR

51 *Crossfit* cerebral: matemática, ilusiones y humor

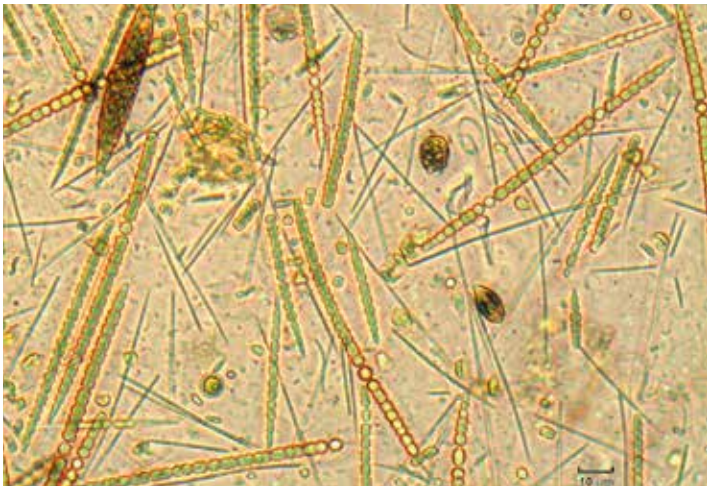
ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

56 Ciencia en tu vida

ASTRONOMÍA

60 Guía del cielo nocturno

Número 46. Enero-junio 2020



Acceso abierto a publicaciones científicas

En los últimos años, un tema por el que la comunidad científica viene mostrando creciente interés es distribuir los resultados de la investigación entre sus miembros, sin costo y sin otras barreras de acceso. El debate que el asunto suscitó ha ido acompañado por algunas decisiones drásticas tomadas en ámbitos oficiales. Así, Alemania y Suecia excluyeron el uso de dinero organismos públicos para pagar suscripciones a revistas de una de las editoriales más importantes, la firma holandesa Elsevier, fundada en 1880, que publica unas 2500 revistas en las que salen anualmente alrededor de 470.000 artículos. Algo semejante hizo el estado de California. La Unión Europea estableció el Plan S, por el cual, a partir de 2020, los resultados de la investigación que financie deben ser de libre acceso, y en la Argentina la ley 26.899, reglamentada en 2016, también establece la obligación de dar acceso libre y gratuito por medios digitales a resultados de investigaciones financiadas con dinero público.

El paradigma tradicional acerca de cómo se dan a conocer los resultados de la investigación científica –esencialmente, publicándolos en lenguaje técnico en revistas especializadas luego de su revisión por árbitros calificados– fue cuestionado por alguien apelando a la siguiente ironía. 'Imagínense', habría explicado el autor del cuestionamiento, 'que sospecho de la fidelidad de mi pareja y contrato a un detective para que investigue su conducta. Este, por supuesto, me solicita dinero para los gastos de su trabajo con el respaldo de un presupuesto detallado, y me asegura que, en un tiempo razonable, cuya duración acordamos, averiguará qué está pasando. Al cabo de ese lapso, me presenta una rendición muy precisa de los gastos incurridos, pero cuando lo interrogo acerca del resultado de su investigación –que es lo único que me interesa– me dice que aparecerá en una inminente edición de la revista *Journal of Research into Marital Fidelity* (el 80% de las publicaciones científicas mundiales está en inglés), a la que se accede por suscripción. Decepcionado, le pido que, por lo menos, me revele la evidencia que sustenta sus conclusiones y me responde que los datos son confidenciales, así como los métodos que utilizó para obtenerlos. Le pregunto, ya desesperado, de cuáles fuentes los obtuvo, y me responde muy seguro que ellas también son confidenciales. Dispuesto a desafiarlo, argumento que no me deja ver los resultados porque no averiguó nada o hizo un trabajo tan pobre que lo avergüenza mostrarlo. Ofendido me responde que la revista que publicará sus resultados hace evaluar por otros detectives internacionalmente reconocidos todos los manuscritos que le llegan, que es uno de los órganos más exigentes de la disciplina y que está en el primer cuartil de las publicaciones científicas más citadas. Totalmente abrumado vuelvo a casa y procuro suscribirme a la revista, pero descubro que hacerlo como individuo me resulta carísimo. También advierto que la Sociedad de Cónyuges Engañados, a la que me asocié, está suscripta, y que su biblioteca la pone a disposición de sus socios junto con muchas otras, dado que compra un paquete de ellas (también a un formidable precio)'.

Sustituya el lector 'cónyuge engañado' por 'Estado' y 'detective' por 'comunidad científica', y tendrá una descripción que, a pesar de su índole caricaturesca, refleja notablemente bien los mecanismos actuales de difusión de los resultados de la ciencia financiada con dinero público, en especial en el conjunto de disciplinas que solemos llamar ciencias exactas y naturales. En las humanidades y las ciencias sociales las cosas son algo distintas, en parte por la importancia que todavía conserva el libro como vehículo para la difusión de resultados de la investigación científica, y en parte por la mayor diversidad de medios de difusión.

Adviértase que en lo anterior solo nos hemos estado refiriendo a difundir los resultados de investigación, y no a todo el procedimiento de producción científica, que en otras cosas difiere netamente de lo relatado en el párrafo precedente. Así, sin ir más lejos, la abrumadora mayoría de la investigación mundial no se emprende por encargo sino por iniciativa de los propios investigadores, sin perjuicio de que los organismos estatales de fomento consideren prioritarios ciertos temas a la hora de elegir proyectos a financiar. Aunque en cuanto a difusión de resultados nuestro relato resulte por completo ridículo, es sin embargo aceptado como un mecanismo normal, y hasta meritorio, por una parte sustancial de la comunidad científica de dichas disciplinas.

No se llegó a esta situación por la perversidad de algún conjunto de individuos, sino por la lenta evolución de los modos de producir conocimiento. La investigación científica como la conocemos hoy comenzó principalmente en Europa hacia el siglo XVII, en bibliotecas, gabinetes y

laboratorios privados pertenecientes a unos pocos individuos curiosos (y por lo común adinerados). Continuó en el ámbito de sociedades científicas que ellos formaron o de academias creadas por las monarquías, instituciones que comenzaron a publicar revistas para difundir las teorías y los descubrimientos. En el siglo XIX tomó cuerpo la investigación científica en ámbitos universitarios, primero en Europa y luego en los Estados Unidos, la que con el tiempo se convirtió en dominante y, para las primeras décadas del siglo XX, se había extendido a otros continentes. Después de la Segunda Guerra Mundial, en el marco de la Guerra Fría, el acceso al conocimiento científico se tornó en un recurso militarmente estratégico pero, concluida esta, cobró fuerza y terminó por imponerse la idea de que la ciencia constituye un bien público internacional.

En grandes números, hoy el 35% de la producción científico-tecnológica mundial se financia con dinero provisto por los Estados, independientemente del tipo de entidad en que se desempeñen los investigadores. Los resultados de esa investigación, en consecuencia, serían por definición bienes públicos de libre acceso, y son precisamente aquellos a los cuales más se aplica el relato inicial sobre los mecanismos que frustraron tal libertad de acceso.

El 65% restante de la producción científico-tecnológica mundial se paga con dinero de empresas en busca de servirse de dichos resultados para mejorar productos que comercializan o para crear productos nuevos. Un número importante de esos resultados, también por definición, pertenece a la clase de los bienes privados, de acceso restringido, lo cual efectivamente se pone en práctica por otra vía: mediante un muy complejo entramado de derechos de propiedad y de patentes, establecidas en la legislación de diferentes países, que los protegen.

La claridad de esta explicación, sin embargo, que lleva a buscar sencillas medidas para poner las cosas en su lugar, se desdibuja en la práctica por muchas razones, entre ellas las características del mercado editorial científico, que es un oligopolio bilateral, pues las transacciones están concentradas en un número reducido de vendedores –las grandes editoriales científicas– y un número reducido de compradores –las bibliotecas académicas, muchas veces unidas en grupos para negociar en bloque–. Del lado de los vendedores la concentración resulta favorecida porque los mejores investigadores quieren publicar en las revistas más prestigiosas, que son las más leídas, y a su vez, los investigadores leen las revistas en las que publican los mejores de sus colegas. Debido a este sistema, las revistas más leídas gozan de importantes ingresos, proporcionales a la cantidad de lectores que logran atraer. El mercado de las publicaciones científicas también se tiende a concentrar porque las editoriales ganan ofreciendo vender paquetes de muchas revistas distintas por un precio global, lo que las ha llevado a comprar editoriales menores e incluso, contra un pago anual muy atractivo, los derechos exclusivos de publicar revistas de asociaciones científicas, mientras que los compradores de muchos países, incluida la Argentina, realizan sus compras de modo unificado, con frecuencia con intervención de su gobierno, que en última instancia financia la mayoría de las bibliotecas académicas. Es así que en el decenio 1995-2005 el costo de las suscripciones a revistas científicas creció alrededor de 300% en moneda constante, y otro 200% en el decenio 2005-2015. Se estima que en la actualidad el gasto anual conjunto de los países latinoamericanos en suscripciones a revistas científicas excede los 150 millones de dólares.

El modo tradicional de difundir resultados de investigación tiene, sin embargo, importantes virtudes, que explican su éxito a lo largo de décadas. El más importante es que permite ejercer, mediante el sistema de arbitraje (*peer review*), un eficiente control de calidad de lo publicado. Si bien tal sistema no está exento de rigideces y fallas, en líneas generales funcionó y funciona bien. Por su parte, algunos de los rasgos del acceso abierto crean peligros y dilemas ausentes en el modo tradicional, pero por ahora sin manera de evitar en el nuevo. Entre esos peligros, quizá el mayor sea la dificultad de discernir entre investigación genuina realizada por profesionales competentes e investigación espuria o seudoinvestigación publicada por aficionados o embaucadores. El nuevo sistema, por otro lado, hace más difícil evitar que se disemine información confidencial, ya sea en violación de la privacidad de personas, en detrimento de legítimas aspiraciones comerciales o perjudicial para objetivos o políticas de organismos públicos (como una universidad nacional o el Conicet en procura de patentar un descubrimiento). También es comprobadamente riesgoso dar acceso directo al público a conclusiones y procedimientos de investigación médica, o, más generalmente, poner en manos de aficionados investigaciones complejas cuyas conclusiones solo pueden interpretar los especialistas. Y sin duda el acceso libre hace más difícil interceptar el plagio antes de su diseminación.

Como se advierte, el acceso abierto plantea cuestiones que exceden largamente a los modos de circulación del conocimiento científico. El debate que suscita, por otro lado, es parte de uno mayor, inscripto en un movimiento denominado *Ciencia abierta*, que, para algunos de sus propulsores, apunta a poner la investigación científica, incluidos datos, fuentes, métodos, evaluaciones por pares, experimentos, programas de computación, etcétera, a disposición de todos, profesionales o aficionados. Tal concepción, aún poco precisa, significaría repensar radicalmente la forma de hacer ciencia, de promoverla y de administrar los organismos públicos o privados que la cobijan. También obligaría a repensar la manera en que las normas legales deben adaptarse y los dineros públicos utilizarse para optimizar el rendimiento social del gasto en esta actividad tan fundamental para el progreso de la sociedad. CH

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

MENINGITIS EN LA ARGENTINA

CIENCIA HOY entrevistó al infectólogo Horacio López, para conocer la real magnitud de un problema que preocupa a muchos, en particular a los padres de niños pequeños, y sobre el cual hay información contradictoria. La entrevista analiza el estado actual del brote de meningitis en la Argentina y la conveniencia del uso de la vacuna desarrollada en Cuba. Se complementa con descripciones de la naturaleza de la enfermedad, sus causas y su evolución, y de las características de esa vacuna, para prevenirla.

REPRODUCCIÓN ASISTIDA

SUSANA E SOMMER

La fertilización in vitro fue desarrollada para resolver la infertilidad causada por la obstrucción de las trompas de Falopio. Si bien existen algunos proyectos de ley, la Argentina carece aún de legislación sobre el tema. La autora analiza la eficacia de este tratamiento y sus efectos sobre las mujeres sometidas a él, y también plantea la necesidad de que la futura legislación contemple estos factores e incluya también el consentimiento informado y el establecimiento de comités de ética.

En 2013 se promulgó la Ley 26.862 de Reproducción Médicamente Asistida también conocida como Ley Nacional de Fertilización Asistida, mediante la cual se garantiza el acceso integral a procedimientos y técnicas médico-asistenciales y se regulan la fecundación asistida y la criopreservación de embriones.

HISTORIA NATURAL DEL UNICORNIO

MIGUEL DE ASÚA

Los unicornios han encendido desde hace siglos la imaginación de distintas civilizaciones. Aquí se utilizan como un modo de investigar las diferentes maneras de representar la naturaleza —a través de textos e imágenes— en la transición del Medioevo al Renacimiento.

A LA BÚSQUEDA DEL ÚLTIMO QUARK

ALBERTO ETCHEGOYEN

A los no iniciados les costaría mucho entender a esa multitud de físicos exaltados reunidos en el auditorio del Fermilab (laboratorio donde se encuentra el acelerador de más energía del mundo, ubicado en las afueras de Chicago, Estados Unidos) el pasado 26 de abril, sobre todo porque quienes hablaban se cuidaron muy bien de pronunciar la palabra 'descubrimiento'. El grupo de CDF (Collider Detector of Fermilab) parece haber avistado al último de los quarks que quedaba por descubrir, el *top*, y este anuncio ocupó las primeras planas de los diarios más importantes del mundo. Qué es un quark, qué es el modelo estándar y cómo se trabaja en una colaboración multinacional de más de cuatrocientos científicos son algunas de las cosas que el autor describe en este artículo. Etchegoyen fue miembro de CDF entre 1990 y 1993, cuando se efectuaba el experimento que dio origen a este anuncio.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

¿QUÉ PASA CON LA EDUCACIÓN?

JOSÉ XAVIER MARTINI

¿Cómo afrontar la necesaria pero difícil reforma del sistema educativo argentino? En este terreno, en el que abundan las opiniones pero escasean los análisis bien fundados, el autor esboza una posible reorganización de los estudios y las principales medidas que podrían adoptarse.

EL DILEMA DE PERSEO

EDUARDO FELIZIA

Perseo debe rescatar a la bella Andrómeda prisionera en una caverna cuya entrada está bloqueada. Las cosas se complican cuando Perseo descubre que hay tres cavernas idénticas y que en dos de ellas habitan gorgonas, monstruos terribles que petrifican a los intrusos con la mirada. Perseo duda y elige finalmente la caverna del centro. Pegasa, la urraca mítica, interviene. No puede salvar a Perseo, pero sí ayudarlo. Le dice que en la caverna de la izquierda hay una gorgona. He aquí el dilema. ¿Le conviene a Perseo cambiar su elección, o no? Esta mítica disyuntiva puede, en realidad, ser más frecuente que lo que uno supone. El autor discute el dilema y nos provee de una respuesta a este.

ELEFANTES MARINOS DE LA PATAGONIA

CLAUDIO CAMPAGNA, FLAVIO QUINTANA Y CLAUDIO BISIOLI

Esta variedad de focas pasa el 80% de su vida en el mar. Los autores estudiaron la profundidad, duración y frecuencia de los buceos de hembras de elefantes marinos de la península Valdés. Para ello utilizaron registradores electrónicos adheridos a la piel de los animales, los que permiten acumular información durante meses. Los datos indican que, en el mar, los elefantes marinos bucean casi continuamente y alcanzan, en ocasiones, profundidades superiores a las que logran mamíferos más adaptados al mar como los delfines y las ballenas.

CIENCIA E INDEPENDENCIA

Por su participación en los bienes materiales del mundo, Israel se cuenta entre las naciones desposeídas. Sin embargo, tiene más investigadores, con relación a su población, que cualquier otro país del mundo. Esto, que tuvo un papel central para el desarrollo de Israel, se debe en buena medida al Instituto Weizmann de Ciencias. Durante su visita a Buenos Aires en 1993, el inmunólogo israelí Michael Sela describió cómo se fomenta la ciencia en este instituto.

HISTORIA DE NUESTRA CIENCIA

M SUSANA ROSSI Y ALBERTO R KORNBLIHTT

En los ensayos reunidos en el libro que se comenta, *Excelencia y atraso*, Osvaldo Reig, el biólogo evolucionista más importante que ha producido la Argentina desde Ameghino, analiza con mirada crítica una serie de cuestiones estrechamente vinculadas a la muchas veces turbulenta historia de nuestra ciencia.

G, j, w: tres grafías recientes

En castellano y otras lenguas con escritura fonetizada, que son la mayoría, todo sonido emitido por seres humanos tiene su representación escrita. Naturalmente la afirmación se refiere a los sonidos que forman parte del lenguaje y no otros producidos voluntaria o involuntariamente. Esa representación escrita es una letra o una combinación de ellas, y el conjunto de letras forma el alfabeto o abecedario. Sin embargo, en el alfabeto latino, que es el nuestro, existen tres letras que inicialmente no existían y fueron creadas en tiempos posteriores. Son la *g*, la *j* y la *w*. Veamos sus curiosas historias.

La *g* es una invención de los romanos, quienes tomaron su alfabeto de los etruscos. En el habla de estos no había un sonido como el representado por la *g* en la palabra 'gato', el cual sí existía en latín. Por eso, durante los tiempos más remotos de la historia romana no había grafía que representara el sonido inicial de, por ejemplo, *gratia*. Hasta entrado el siglo IV anterior a nuestra era, esa palabra se escribía *cratia*, aunque la gente la pronunciara como hoy pronunciaríamos 'gratia'. Había que adivinar según el contexto. Esta situación cambió cuando un liberto romano, manumitido por el cónsul Espurio Carvilio Ruga, tuvo la idea de agregar a la *c* (cuando sonaba como *g*) un breve trazo horizontal para indicar el sonido inicial de 'gato' y diferenciarlo del sonido de la *c* de, por ejemplo, 'casa'. Hoy ese trazo aparece en la mayúscula de la letra de todas las tipografías, mientras que en textos manuscritos lo reemplaza un lazo vertical.

En cuanto a la *j*, en latín nunca existió un sonido sordo guturalizado como la *j* del castellano moderno en el vocablo 'joroba'. Ese sonido apareció en la tardía Edad Media como una evolución fonética que condujo a modificar la palabra *filius* en dirección a 'hijo'. Al principio, para representar el nuevo sonido se recurría a la *x* (práctica que se conservó en México, entre otros términos, para el nombre del país, aunque se pronuncie 'Méjico'). En vez de usar *x* también se echó mano a escribir 'tz'. Así, *filius* pasó a escribirse *fixo* o *fitzo* (de la segunda versión derivaron apellidos como Fitzgerald –'hijo de Gerald o Gerardo'–, Fitzroy o Fitzcarraldo) antes de que la *x* o la 'tz' fueran

reemplazadas por la *j*. ¿Cómo fue ese reemplazo? Hay que buscar la respuesta en Holanda.

Cuando se inventó la imprenta, los Países Bajos estuvieron entre los primeros en adoptarla: el idioma holandés también tiene un sonido gutural similar a la *j* española. Para representarlo en el papel, los holandeses se valieron de la *i longa* latina (distinta de la *i breve*), que había caído en desuso puesto que las lenguas romances ya no diferenciaban vocales largas de breves. Así apareció la *i holandesa*, escrita como una *i* normal con una pequeña curva debajo para diferenciarla de esta. Los impresores castellanos vieron esa letra en las ediciones que llegaban a España y la copiaron para representar esos sonidos, similares, pero etimológicamente distintos, a los de la *g* suave (como en la palabra 'gemir'). Así la *j* inició su carrera por el mundo.

Posiblemente a muchos la *w* les parezca creación germana o inglesa, pues solo aparece en palabras de lenguas de esos pueblos, pero no es así. Es romana, si bien del Imperio tardío. En latín clásico había una *u* que, según el contexto, podía ser vocal o consonante. En mayúscula se escribía *V* y en minúscula, *u* (en las inscripciones en piedra era engorroso trazar la curvatura de la *u* y más fácil grabar dos rectas unidas en un vértice, como la *v*). La *u* consonante se pronunciaba como la *w* inglesa, de suerte que un nombre como Vera se pronunciaba como nosotros pronunciaríamos 'uera' o 'güera'. Cuando los romanos escribían nombres germánicos que llevaran ese sonido, no tenían más remedio que hacerlo con la *v*, porque sonaba casi igual. Pero a partir del siglo II de nuestra era, esa *v* se fue convirtiendo en un sonido más cercano a nuestra *b* (de allí la confusión moderna entre ambas, y a que en España denominen a la primera 'uve'). A medida que se intensificó el contacto de los romanos con los pueblos germanos, y que los mercenarios germanos del ejército romano se hicieron cada vez más numerosos, resultó necesario escribir sus nombres, la mayoría de los cuales tenía sonidos como el de la *w* inglesa. Puesto que la *v* ya no servía para representar ese sonido porque su pronunciación había evolucionado hacia la *b*, se empleó entonces el recurso de escribirla dos veces, como 'vv' o 'uu'. Así en textos romanos de los siglos IV y V de nuestra era encontramos nombres propios como VVolfram o UUolfgang, que se leían como hoy leeríamos Wolfram o Wolfgang.

Cuando los monjes cristianos evangelizaron a los germanos, que no sabían escribir, les enseñaron la escritura latina y, como parte de ella, la letra *w*, que se difundió por toda Europa del norte. No lo hizo por los países del sur europeo porque no era ni es necesaria en las lenguas romances, salvo para términos que estas tomaron de lenguas noreuropeas, sobre todo los nombres propios. Hacia los siglos XV o XVI, durante el Renacimiento, habiéndose olvidado su origen, se llamó a la letra *w* contenida en esas palabras *u* (o *v*) *valona*, *normanda* o *inglesa*. En castellano, igual que en francés, italiano o portugués, hoy se llama *doble v* (en España es *uve doble*) y, como resabio de la equivalencia romana de la *u* y la *v*, en inglés se le dice *double u*.

Jorge Barale
Responsable del software
educativo SuperWord
www.sesoloco.com

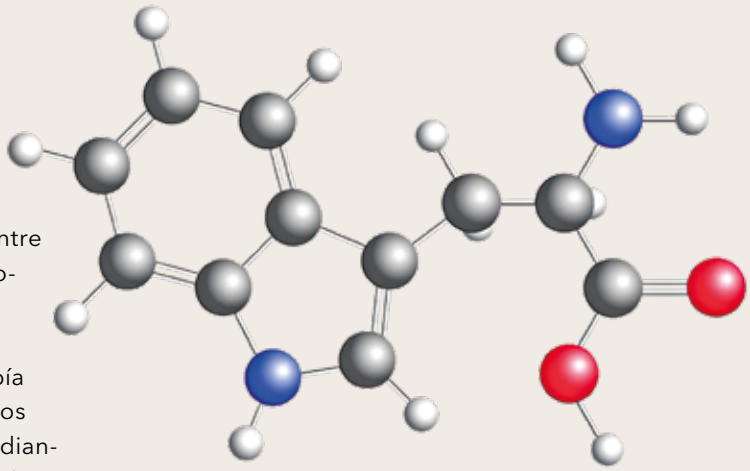
Inscripción del Arco de Triunfo de Tito, erigido por Domiciano en el año 81 de nuestra era en el Foro romano para el décimo aniversario de las campañas militares de su hermano Tito. Ilustra el uso en latín de la letra *V* como vocal y como consonante.

¿Un aminoácido generado en la naturaleza sin intervención de un organismo vivo?

Después de años de esfuerzos, una expedición científica francesa descubrió algo nunca encontrado antes: un aminoácido, el *triptófano*, generado por un proceso geoquímico abiótico, es decir, sin intervención de un organismo vivo. Lo encontró en la dorsal medioatlántica, en muestras de rocas silíceas denominadas *serpentinitas* extraídas de 170m por debajo del fondo oceánico, el cual, en el sitio donde los investigadores lo horadaron desde un navío con un trépano, está a unos 4000m de profundidad.

En muchos animales, incluidos los humanos, el triptófano es uno de nueve aminoácidos *esenciales* para producir (o sintetizar) proteínas. 'Esenciales' significa aquí que sus organismos no los pueden sintetizar y necesitan incorporarlos con la dieta (abundan en muchos alimentos vegetales y animales). En el caso que se comenta, el triptófano apareció en poros microscópicos ricos en hierro y carbono de una arcilla ferrosa llamada *saponita*, componente de las mencionadas serpentinitas. Ello permite pensar que esos poros pudieron desempeñarse como reactores naturales para sintetizar el aminoácido.

El hallazgo confirma lo que modelos termodinámicos y experiencias de laboratorio sugerían desde hace decenas de años: que simples reacciones químicas pueden formar aminoácidos sin intervención de un organismo biológico si los constituyentes químicos, la temperatura y la presión son los adecuados. Uno de los pioneros de tales estudios fue el norteamericano Stanley Miller (1930-2007), que entre 1960 y 1994 fue profesor de la Universidad de California en San Diego y había comenzado con ellos en 1952 como estudiante de doctorado en la Universidad de Chicago. Esos experimentos fueron confirmados por la presencia de moléculas prebióticas (aquellas de tipo orgánico formadas en condiciones naturales en un entorno terrestre o extraterrestre en ausencia de organismos vivos) en numerosos meteoritos.



Modelo de la estructura de la compleja molécula de triptófano, que responde a la fórmula $C_{11}H_{12}N_2O_3$. Las esferas grises grandes representan átomos de carbono; las grises chicas, de hidrógeno; las azules, de nitrógeno, y las rojas, de oxígeno. La sustancia, contenida en muchos alimentos, fue descubierta en un derivado lácteo, la caseína, en 1901, y sintetizada por primera vez en laboratorio en 1906. Molecule of the Week, American Chemical Society.

La gran pregunta sobre el hallazgo de triptófano en rocas subterráneas es si hay certeza sobre la absoluta ausencia en ellas de seres vivos o sus productos. Los científicos galos no encontraron indicio alguno de actividad biológica: ninguna traza de otras macromoléculas biológicas, ni restos de bacterias, ni fragmentos de membranas celulares. Hallaron triptófano solo en las arcillas de las rocas, y los análisis espectroscópicos realizados con un sincrotrón de última generación revelaron que su estructura espectral es próxima a la del triptófano libre, distinta de la del triptófano integrado en una proteína. Consideraron estas constataciones suficiente prueba de la ausencia de contaminación biológica de sus muestras.

El mismo grupo de investigación analiza ahora muestras tomadas a mayor profundidad bajo el fondo oceánico (hasta 1200m), donde las mucho mayores temperaturas descartan la posibilidad de que existan o hayan existido seres vivos. Esperan encontrar más aminoácidos de formación abiótica en el futuro y creen que están ante una evidencia que respalda la teoría hidrotermal del origen de la vida en la Tierra. CH

Más información en MÉNEZ B *et al.*, 2018, 'Abiotic synthesis of amino acids in the recesses of the oceanic lithosphere', *Nature*, 564, 7734: 59-63, y en DELBECQ D, 2019, 'Un acide aminé formé sans intervention biologique', *La Recherche*, 543, accesible en *https://www.larecherche.fr/biologie-exobiologie-chimie/un-acide-amine-formé-sans-intervention-biologique*.

Planetas en la zona habitable

La mitad del premio Nobel de física de 2019, comentado más ampliamente en la página 37, se otorgó a los suizos Michel Mayor y Didier Queloz por el descubrimiento del primer *exoplaneta*, es decir, un planeta fuera de nuestro sistema solar en órbita alrededor de otra estrella que el Sol. Luego de este descubrimiento, ocurrido y dado a conocer en 1995, la comunidad astronómica se lanzó a una intensa exploración del espacio en busca de planetas en la *zona habitable* de sus estrellas anfitrionas, o zona habitable circunestelar (CHZ, por su sigla en inglés), esto es, aquella en la cual, dada una presión atmosférica suficiente, puede haber agua líquida en la superficie planetaria, y las condiciones pueden ser adecuadas para el desarrollo de la vida.

Los resultados de la misión Kepler, lanzada por la NASA en 2009 con ese propósito, indican que la tasa de ocurrencia de tierras y supertierras –estas son planetas de hasta diez veces la masa de la Tierra– en zonas habitables puede rondar entre el 5% y el 20% de los exoplanetas. A pesar de esta abundancia, explorar las condiciones y las propiedades atmosféricas en cualquiera de dichos planetas habitables es extremadamente difícil y ha sido imposible de alcanzar hasta ahora.

En un artículo reciente, publicado en *Nature Astronomy* por investigadores del University College London, los autores informaron haber detectado vapor de agua y la probable presencia de nubes de agua líquida en la atmósfera de un planeta de la zona habitable de una estrella enana roja usando datos obtenidos con el telescopio espacial Hubble (con el instrumento *Wide-Field Camera*). Con una órbita de 33 días alrededor de la estrella, K2-18b –tal el nombre del planeta, descubierto en 2015–, recibe prácticamente la misma cantidad de radiación total de su estrella anfitriona (1441 ± 80 W/m^2) que la Tierra recibe del Sol (1370 W/m^2), por lo que se trata de un buen candidato para albergar nubes de agua líquida. Si bien la gruesa envoltura gaseosa de K2-18b significa que no es un verdadero análogo de la Tierra, las observaciones realizadas muestran que los planetas de baja masa en zonas habitables con las condiciones adecuadas para agua líquida son explorables con los telescopios actuales.

El anuncio de este descubrimiento –que dio lugar a otro artículo similar y casi simultáneo sobre el mismo planeta–, las frases usadas por los autores abriendo la puerta a especulaciones y los grandilocuentes anuncios de prensa que siguieron generaron una ola de expectativas sobre el descubrimiento de vida en un planeta extrasolar que impactó fuerte en la sociedad. Cuando el humo se disipó gracias a la difusión de comentarios sensatos, quedó claro que se avanza con rapidez en la búsqueda de planetas habitables fuera del sistema solar, y que, en ciencia, como en cualquier actividad, la prudencia es buena consejera. CH

Aníbal Gattone
agattone@unsam.edu.ar

Más información en TSIARAS A *et al.*, 2019, 'Water vapour in the atmosphere of the habitable-zone eight-Earth-mass planet K2-18b', *Nature Astronomy*, *doi.org/10.1038/s41550-019-0978-9*, y en BENNEKE B *et al.*, 2019, 'Water vapor on the habitable-zone exoplanet K2-18b', accesible en *arXiv:1909.04642v1.pdf*.

Dibujo interpretativo del planeta K2-18b. Próxima al ángulo superior izquierdo aparece la estrella K2-18 alrededor de la cual orbita, una enana roja de la constelación Leo ubicada a unos 111 años luz de la Tierra. Debajo y a la derecha de la estrella aparece, pequeño, K2-18c, otro planeta de la misma estrella. Arte por Alex Boersma

Pensar con el intestino

En nuestro intestino conviven múltiples microorganismos que forman una colección en fino equilibrio. Esa *microbiota* intestinal nos ayuda de muchas maneras, incluida la digestión de los alimentos, el entrenamiento de nuestro sistema inmunológico y la prevención del crecimiento excesivo de bacterias dañinas. Investigaciones recientes sugieren que nuestra microbiota intestinal también afecta la comunicación cerebral y la salud neurológica.

Se piensa, pues, que existe un eje formado por la microbiota, el sistema nervioso entérico, el sistema nervioso autónomo, el sistema neuroendocrino, el sistema neuroinmune y el sistema nervioso central. El sistema nervioso entérico se encarga del funcionamiento básico gastrointestinal –que incluye motilidad, secreción mucosa y flujo sanguíneo–; el control central de las funciones del intestino se lleva a cabo gracias al nervio vago. Este complejo eje conforma un sistema de comunicación neurohumoral bidireccional. Así, existe una correlación entre las alteraciones de la microbiota y trastornos como la encefalopatía hepática, la ansiedad, el autismo o el colon irritable. En dichas enfermedades acaecen cambios en la composición normal de la microbiota, que generan modificaciones en la motilidad gastrointestinal, afectan las secreciones y producen una hipersensibilidad visceral. En tales circunstancias se ven alteradas las células neuroendocrinas y las del sistema inmune, y modificada la liberación de neurotransmisores, lo cual se podría traducir en diferentes manifestaciones psiquiátricas.

Por otro lado, se llama *trastornos del espectro autista* a un grupo de condiciones del desarrollo neuronal que incluyen cambios en la interacción y la comunicación social. Los tratamientos efectivos de esos trastornos abarcan terapia conductual, terapia del habla y social, medicamentos psiquiátricos y, en el último tiempo, enfoques dietéticos y nutricionales.

Estudios recientes demostraron que niños con diagnóstico de trastornos del espectro autista obtienen efectos beneficiosos en el largo plazo del *trasplante de microbiota fecal* (*microbiota transfer therapy*, en la literatura médica en inglés), un tipo de trasplante originalmente ensayado por el gastroenterólogo australiano nacido en Polonia Thomas Borody. Sorprendentemente, las mejoras en la salud intestinal y en los síntomas del autismo parecen persistir mucho después del tratamiento.

Uno de dichos estudios constató que, a los dos años de este, persistía la mayoría de las mejoras iniciales en los síntomas intestinales. Además, los padres de los niños tratados informaron una reducción lenta y constante de los síntomas durante el tratamiento y a lo largo de los mencionados dos años. Un evaluador profesional encontró una reducción del 45% en los síntomas centrales (lenguaje, interacción social y comportamiento) a los dos años del tratamiento en comparación con antes de comenzarlo.

También constató que en ratones a cuyos intestinos se transfirió microbiota intestinal de pacientes con trastornos del espectro autista presentaron comportamientos característicos de aquel tipo de trastornos. ¿Podríamos entonces estar ante un nuevo tratamiento para el autismo? Quizá. CH

Florencia Cassani
cassaniflorencia@gmail.com

Más información en KANG DW *et al.*, 2019, 'Long-term benefit of Microbiota Transfer Therapy on autism symptoms and gut microbiota', *Scientific Reports*, 9, 1: 5821, y en SHARON G *et al.*, 2019, 'Human gut microbiota from Autism Spectrum Disorder promote behavioral symptoms in mice', *Cell*, 177, 6: 1600-1618.

Cristina Marino Buslje y Gustavo Parisi
Fundación Instituto Leloir

Aprender para predecir
La bioinformática como herramienta de estudio en biología

Aprender para predecir

Desde que adquirió conciencia sobre el tiempo, el ser humano sintió la necesidad de predecir situaciones y eventos: tormentas, abundancia de animales para cazar, períodos de lluvias para sus cosechas o cosas más abstractas como el resultado de alguna batalla o el amor de algún pretendiente. Estas predicciones tomaron distintas formas: desde oráculos que respondían inquietudes humanas recurriendo a la comunicación con un dios todopoderoso hasta, cuando no se contaba con el apoyo divino, relaciones entre características físicas como las formas de las entrañas –humanas o animales–, las líneas de las manos, la ocurrencia de fenómenos climáticos y astronómicos, con posibles evidencias de un futuro. La falta de correlación entre esas evidencias y los hechos a predecir hacían que dichas predicciones fallaran enormemente.

La ciencia actual propone aprender primero como método para mejorar la capacidad predictiva acerca de determinados hechos. En particular, en bioinformática es fundamental procesar la información contenida en sistemas biológicos conocidos con el fin de utilizarla en el desarrollo de herramientas capaces de realizar predicciones. Esta disciplina científica se dedica a responder preguntas de índole biológica mediante el procesamiento

¿DE QUÉ SE TRATA?

El uso de la informática permite el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de datos biológicos.

computacional de los datos, además de almacenar, extraer, organizar, analizar, interpretar y utilizar distintos tipos de información biológica. Así, cumple una función esencial para comprender aspectos biológicos derivados del procesamiento de una gran cantidad de datos, predecir fenómenos y propiedades donde la investigación experimental no ha llegado, optimizar el diseño de experimentos, acelerar los tiempos de investigación y abaratar sus costos.

Transformar los datos en información relevante: bases de datos

Las bases de datos biológicas son repositorios de información de muy distintos tipos; en la mayoría de los estudios bioinformáticos son la materia prima de la cual extraemos información para aprender. Las hay de secuencias de proteínas, de genes, de estructuras proteicas, de rutas metabólicas, de mutaciones asociadas a enfermedades, bibliográficas, para mencionar algunos pocos ejemplos de la variedad que existe en la actualidad. Los investigadores en bioinformática crean, *curan*, mantienen y analizan estas bases de datos. Y si bien es importante que estén actualizadas y fuertemente relacionadas entre sí, es esencial que la información que contienen sea confiable. Muchas pasan por un proceso de verificación o *curado* a mano, lo que quiere decir que un investigador experimentado (y no un programa o método automatizado) contrasta las distintas evidencias biológicas contenidas con publicaciones científicas para evaluar su validez. Como el curado de las bases de datos implica un alto costo de tiempo, algunas han comenzado a promover la participación activa de la comunidad científica para este propósito. Por ejemplo, la base de datos DisProt (*http://www.disprot.org/*), de *proteínas desordenadas* (proteínas que no tienen una estructura tridimensional definida) es curada a mano y en cada proteína figura el nombre del curador correspondiente. La base Uniprot está anotada con información biológica obtenida en forma automática (en su versión actual contiene unas 150 millones de proteínas). Sin embargo, una subdivisión de UniProt, denominada SwissProt, está curada a mano y contiene solo 500.000 proteínas, lo que resalta el esfuerzo que requiere la revisión de tal cantidad de información.

El ritmo extraordinario al que crecen las publicaciones científicas, la facilidad relativa de acceso a las nuevas técnicas de secuenciación de ADN y las enormes cantidades de información genética que generan estas y otras técnicas de alto rendimiento plantean un desafío computacional extraordinario para extraer información biológica en tiempos razonables.

Nombre	Tipo de información que contiene	Sitio web	Cantidad de datos almacenados
DisProt	Proteínas desordenadas	*http://www.disprot.org/*	803
PDB	Estructuras tridimensionales de proteínas	*http://www.rcsb.org/*	150.145
UniProt	Secuencias de proteínas y todo tipo de información disponible sobre ellas	*www.uniprot.org*	146.106.279
GenBank	Secuencias de ácidos nucleicos	*https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/*	212.260.377
PubMed	Publicaciones científicas	*https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/*	~29.000.000
Kegg	Rutas metabólicas	*https://www.kegg.jp/kegg/pathway.html*	530
IntAct	Interacciones proteína-proteína	*https://www.ebi.ac.uk/intact/*	882.962

Algunos ejemplos de bases de datos comúnmente usadas en bioinformática y los datos contenidos en ellas en marzo de 2019.

Predicción de la estructura de proteínas

La estructura de una proteína es en general esencial para llevar a cabo su función biológica. Por esta razón los científicos dedican mucho esfuerzo para determinarla en forma experimental. Sin embargo, este proceso es largo, costoso y a veces tedioso. Evidencia de esto es el número de estructuras de proteínas conocidas depositadas en la base de datos PDB, que alcanza a unas 150.000, mientras que el número de secuencias proteicas conocidas es cien veces mayor. Para achicar esta brecha es posible utilizar herramientas bioinformáticas que crean modelos computacionales de una proteína de la cual aún no se conoce la estructura, y lo hacen con bastante fidelidad. Se evitan así los gastos de recursos y de tiempo necesarios para su resolución y el modelo permite avanzar con la investigación, por ejemplo, para el diseño de una droga que inhiba a dicha proteína.

En bioinformática, como en todas las disciplinas científicas, primero debemos aprender para desarrollar métodos predictivos. Si quisiéramos utilizar la información de la secuencia de aminoácidos para predecir la estructura de una proteína, primero tendríamos que comprender cómo varían las estructuras en función de los cambios en dichas secuencias. Estos estudios fueron realizados por el inglés Cyrus Chothia y el norteamericano Arthur Lesk en la década de 1980. Ellos encontraron que dicha capacidad predictiva crece en forma exponencial con el aumento de similitud entre secuencia y estructura. Básicamente, cuanto más se asemejen las secuencias de dos proteínas, más parecidas serán sus estructuras. Esto permitió desarrollar métodos denominados de modelado molecular para predecir la estructura de las proteínas. Tales modelos utilizan la estructura conocida de una proteína (proteína molde) para predecir el modelo estructural de una proteína buscada (proteína blanco). Según Chothia y Lesk, cuanto más se parezcan entre sí las secuencias de las proteínas blanco y molde, mejor será el modelo predicho.

A modo de ejemplo, en la figura 1 se muestra en violeta la estructura de la proteína denominada factor de crecimiento del fibroblasto número 8 (FGF8) y, en otros colores, varios modelos estructurales obtenidos utilizando como molde proteínas cada vez más alejadas, o sea que comparten cada vez menos aminoácidos idénticos. Puede observarse entonces que, al disminuir de izquierda a derecha el porcentaje de identidad, menos parecidos son los modelos obtenidos a la estructura real en violeta. Dicha proteína FGF8 desempeña un papel importante en la regulación del desarrollo embrionario y como molécula de señalización en la inducción y el patrón del cerebro embrionario; de ahí que resulte una proteína esencial para el desarrollo normal del cerebro. Por lo tanto, es de suma utilidad conocer su estructura para descubrir su función.

Cambios genéticos y enfermedad

Si la conservación de la estructura de las proteínas es esencial para que estas puedan llevar a cabo su función biológica, sucede que durante su evolución, las proteínas pueden presentar cambios en sus secuencias. La enorme mayoría de estas sustituciones o mutaciones no tiene casi ningún efecto sobre la estructura de la proteína y por ende tampoco en su función biológica. Sin embargo, una mínima fracción de estos cambios puede ciertamente afectarlas. Varias enfermedades que ocurren en humanos pueden originarse por el mal funcionamiento,

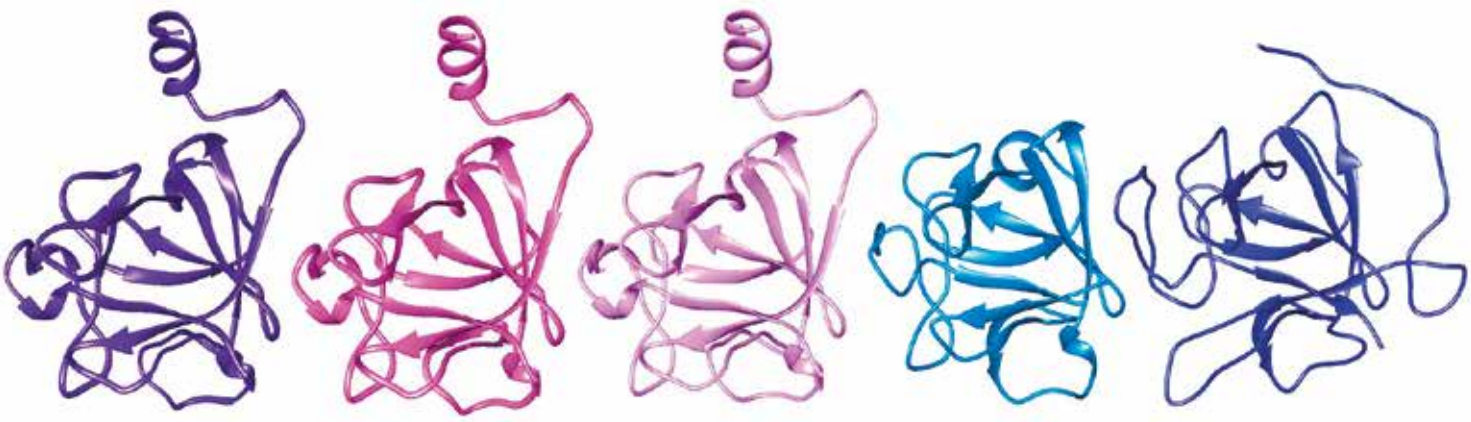


Figura 1. Representación en cintas de varios modelos estructurales para la proteína FGF8. A la izquierda, su estructura conocida experimentalmente (código PDB: 2FDB). Hacia la derecha, distintos modelos de ella ideados usando diferentes proteínas como moldes, con distintos porcentajes de identidad. Los modelos fueron realizados y representados con el programa Chimera (Universidad de California en San Francisco, 2004). A medida que la identidad de secuencia entre el molde y la proteína blanco decrece, disminuye la calidad del modelo, es decir, se parece cada vez menos a la estructura real en violeta.

la ausencia o la exacerbación de la actividad biológica de una determinada proteína. Existe una rama de la bioinformática que se dedica a desarrollar métodos para predecir el efecto de los cambios secuenciales en una proteína, y es actualmente un área en extremo activa debido a sus potenciales aplicaciones en el ámbito de la salud. Nuevamente, existen bases de datos que han acumulado millones de estas variaciones genéticas en distintas proteínas que podrían estar relacionadas con distintas enfermedades humanas. Por ejemplo, la base de datos COSMIC (*Catalogue Of Somatic Mutations in Cancer*, Welcome Sanger Institute, Universidad de Cambridge, 2018) contiene cerca de 2.800.000 mutaciones genéticas provenientes de, aproximadamente, 1.200.000 muestras correspondientes a 47 tipos de cáncer, incluyendo los de mama, páncreas, piel, colon, pulmón y ovarios. Detectar patrones entre las mutaciones en determinadas proteínas y poder relacionarlos con un algún tipo de cáncer es un área de gran interés ya que podrían ser utilizados para realizar pronósticos de la evolución de la enfermedad, su diagnóstico, predecir cambios de la respuesta a medicamentos, y ser útiles para la prescripción de las terapias adecuadas. Poder anticipar cuándo los cambios en el nivel molecular, en el nivel de los ácidos nucleicos o en el nivel de las proteínas, se correlacionan con la ocurrencia de enfermedades, implica un enorme desafío para las predicciones computacionales. La complejidad del sistema es aún mayor ya que se ha observado que los cambios en un determinado gen pueden afectar a muchos otros genes. La denominada medicina personalizada, que utiliza información genética del paciente para lograr el diagnóstico o el mejoramiento del tratamiento adecuándolo a las características particulares del individuo, constituye una de las principales áreas emergentes de la bioinformática y muestra una enorme potencialidad en el ámbito de la salud.

Los límites de la predicción en bioinformática

Si bien las predicciones computacionales en bioinformática pueden llegar a ser muy precisas, en ciertos casos distan mucho de tener una calidad tal como para reemplazar la medición y caracterización experimental. Es interesante mencionar que existen distintos 'torneos' en los cuales decenas de grupos de bioinformática en el mundo contrastan sus metodologías y predicciones computacionales con datos obtenidos en forma experimental. El denominado CASP (*Critical Assessment of Techniques for Protein Structure Prediction*) está dedicado a la evaluación de métodos de predicción de estructuras de proteínas. La organización provee a los grupos participantes de todo el mundo de una o varias secuencias de proteínas de las cuales cada uno estima computacionalmente su estructura, y obtiene distintos posibles modelos. Una vez finalizado el período de predicción, cada modelo es comparado con la estructura establecida en forma experimental para evaluar cuál es el mejor modelo y el mejor método de predicción (figura 2). De esta manera se pone a la luz cuáles son los métodos que funcionan mejor en ese momento.

Existen distintos trabajos comunitarios de este tipo para evaluar la confianza de las predicciones en distintos aspectos biológicos. Así tenemos que el de predicción de la función de la proteína se denomina CAFA (*Critical Assessment of Functional Annotation*); el de predicción del efecto de mutaciones relacionadas con patologías, CAGI (*Critical Assessment of Genome Interpretation*), solo por citar unos ejemplos. Estos torneos son de suma utilidad para diagnosticar el estado del arte en la predicción en una determinada área, detectar casos difíciles en los cuales las predicciones fallan sistemáticamente y ver los avances relativos con el pasar de los años.

¿Llegará el día en el que por aumento de nuestro conocimiento y de la capacidad de cálculo de nuestras computadoras las predicciones reemplacen a los experimentos en biología? Quizá esto se cumpla para muchos sistemas en un futuro cercano, pero esta afirmación nos tienta a una reflexión final. Las predicciones

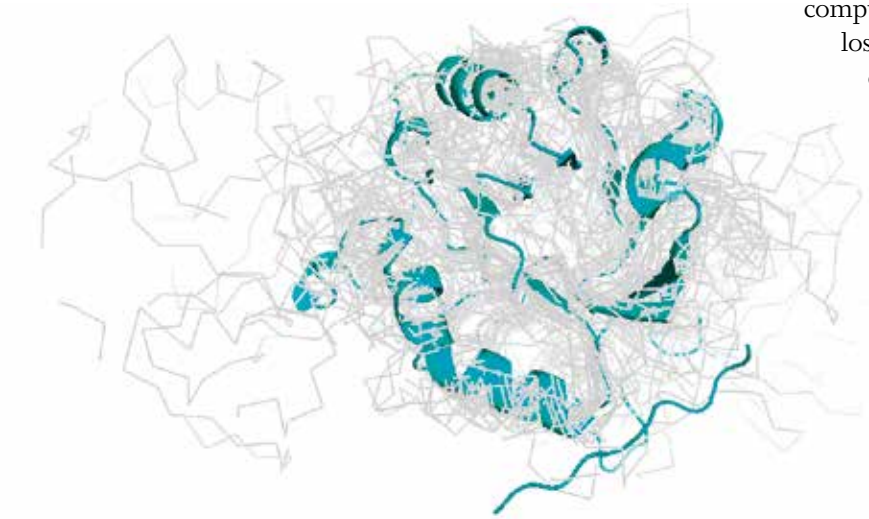


Figura 2. Resultados del CASP 2011. En formato cinta y en celeste se indica la estructura de la proteína obtenida en forma experimental por cristalografía de rayos X. Las líneas grises indican las distintas predicciones computacionales hechas por distintos grupos de investigadores alrededor del mundo (mostrando con una línea solo el esqueleto proteico). Observar que algunos modelos son más semejantes a la estructura experimental que otros.

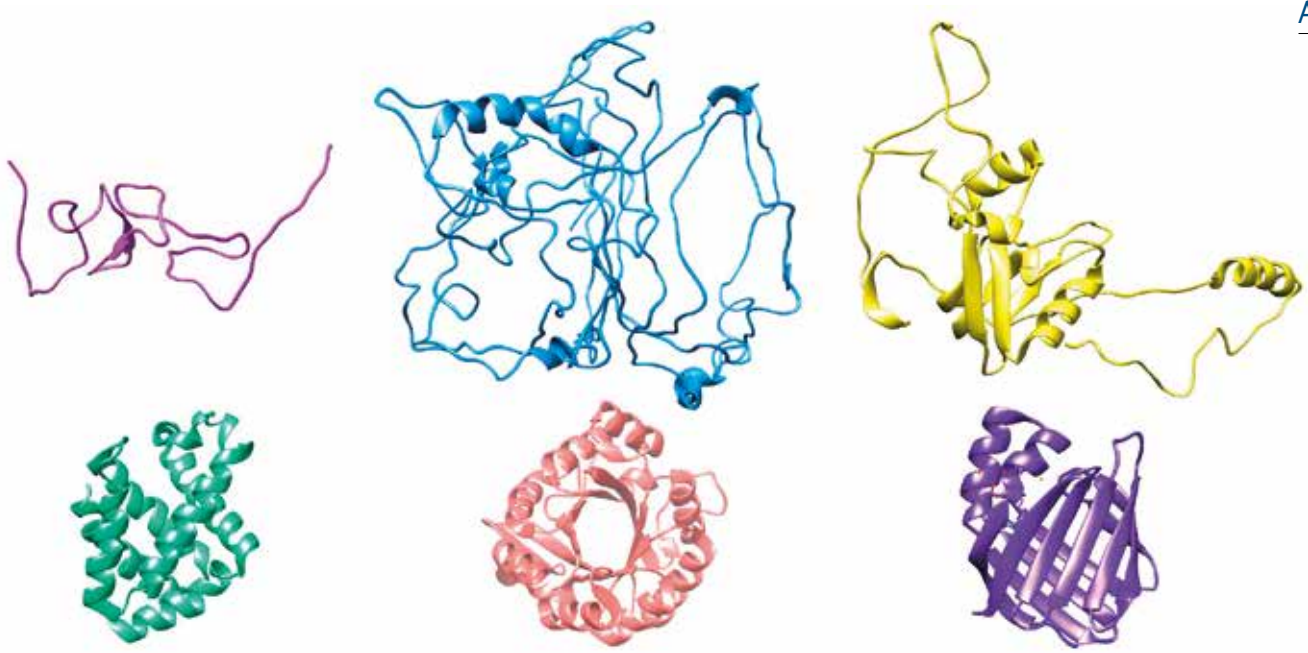


Figura 3. En la fila superior, ejemplos de proteínas desordenadas, y en la inferior, estructuras de proteínas ordenadas. Las proteínas ordenadas adoptan determinada estructura que les permite cumplir su función, la cual no sería imprescindible para que las desordenadas cumplan con la suya.

bioinformáticas se basan en extraer información de los sistemas biológicos que conocemos. ¿Qué pasaría si descubrimos en la Tierra sistemas biológicos con tales particularidades que hagan inaplicables nuestro conocimiento acumulado? Algo así ocurrió hacia principios de 2000 cuando se descubrieron las primeras proteínas desordenadas (figura 3), proteínas que por carecer de estructuras definidas y que por poseer una composición de aminoácidos muy particular hicieron ineficientes los métodos de predicción computacionales descriptos anteriormente. A pesar de numerosos avances, nuestro conocimiento sobre las proteínas desordenadas parece aún incompleto, lo cual hace ineficaces los métodos de predicción para estudiar la relación entre este desorden y su función biológica.

Avanzando más aún con esta idea, ¿qué pasaría si se descubriera vida en Marte o en algún otro planeta y estos sistemas vivos tuviesen, por ejemplo, proteínas compuestas por 30 aminoácidos en vez de los 20 comúnmente encontrados en las proteínas terrestres conocidas hasta ahora? Otra vez, nuestros métodos fallarían enormemente ya que todo lo que hemos aprendido es sobre la vida que conocemos en la Tierra. Como dice Isaiah Berlin en *Two Concepts of Liberty*: 'Knowledge liberates not by offering us more open possibilities amongst which we can make our choice, but by preserving us from the frustration of attempting the impossible' (El conocimiento libera no por ofrecernos más posibilidades entre las cuales podamos elegir, sino por preservarnos de la frustración de intentar lo imposible).

A diferencia de otras disciplinas científicas como la física y la química, que en principio son universales, la biología como la conocemos en la actualidad, y por ende la bioinformática, solo es aplicable en nuestro planeta, la Tierra. Si recordamos los sistemáticos fracasos de las predicciones en la antigüedad, debemos concluir que, en bioinformática, primero necesitamos aprender para mejorar nuestras predicciones, reconocer sus límites y delinear su campo de aplicabilidad. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CHOTHIA C & LESK AM, 1986, 'The relation between the divergence of sequence and structure in proteins', *The EMBO Journal*, 5 (4): 823-826.

GU, J. & P. BOURNE, 2009, *Structural Bioinformatics*, Nueva Jersey, Wiley-Blackwell.

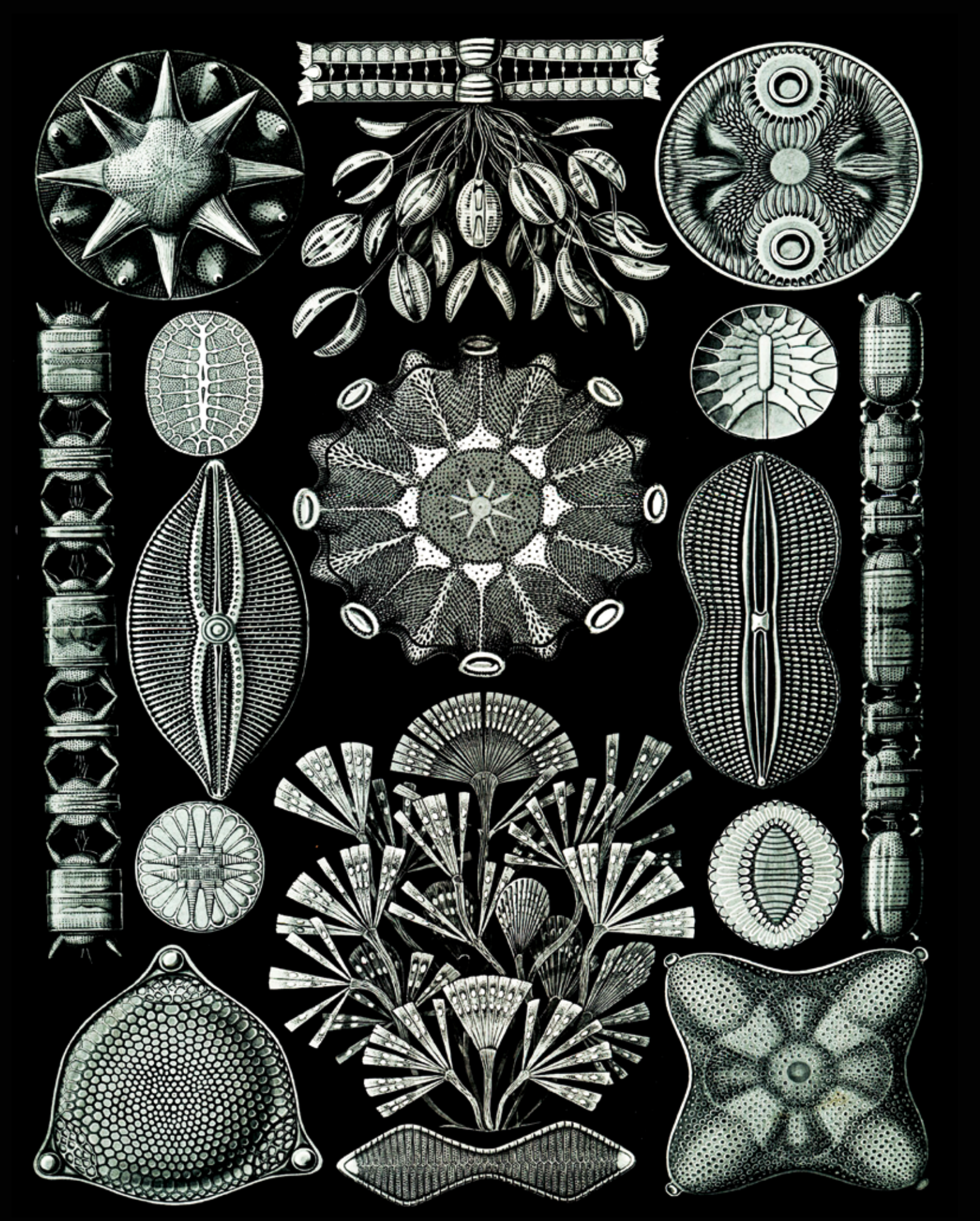
TOMPA P, 2012, 'Intrinsically disordered proteins: A 10-year recap.', *Trends in Biochemical Sciences*, 37, 12: 509-516.

Cristina Marino Buslje

Doctora en ciencias biológicas, Universidad Autónoma de Barcelona.
Investigadora independiente del Conicet.
Presidenta de la Asociación Argentina de Bioinformática y Biología Computacional.
cmb@leloir.org.ar

Gustavo Parisi

Doctor en ciencias biológicas, UNLP.
Profesor titular, UNQ.
Investigador principal del Conicet.
Vicepresidente de la Asociación Argentina de Bioinformática y Biología Computacional.
gusparisi@gmail.com



Diatomeas. Lámina 84 de la obra de Ernst Haeckel *Kunstformen der Natur* (Formas artísticas de la naturaleza), litografía de Adolf Giltsch, Instituto Bibliográfico, Leipzig y Viena, 1904.

Irina Izaguirre, Inés O'Farrell y María Laura Sánchez
Instituto de Ecología Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEBA), UBA-Conicet

¿De qué nos habla el fitoplancton?

Un universo microscópico en el agua

Los lagos, las lagunas, los ríos y los mares constituyen indudablemente elementos atractivos en los paisajes; invitan a la práctica de deportes, a la recreación, a la meditación y la relajación. Aun en medio de las ciudades, los lagos resultan sitios recreativos por excelencia, visitados por miles de personas. Sin embargo, el microuniverso vivo que se esconde en el agua de estos ambientes permanece prácticamente desconocido para la mayor parte de los seres humanos. Pocos saben, por ejemplo, que el color verde de cualquiera de los lagos de Palermo, en Buenos Aires, se debe a que en el agua viven miles de millones de microalgas que conforman una comunidad llamada *fitoplancton*. Una sola gota observada al microscopio con una lente que permita su aumento en unas 400 veces revela un universo integrado por una enorme diversidad de diminutos organismos verdes que componen el fitoplancton, con formas sumamente variadas: esféricas, estrelladas, cilíndricas, ovaladas, con espinas, con estrías, con envoltorios transparentes y un sinfín de morfologías más, como se aprecia en microfotografías de diatomeas.

Una pequeña muestra de agua de cualquier laguna puede albergar cientos de especies diferentes de fitoplancton, cada una con sus particularidades, sus ciclos de vida y sus requerimientos ecológicos. Algunas tienen mecanismos para evadir ser ingeridas por los minúsculos animales que conforman el zooplancton, o para evitar hundirse en la columna de agua y perder acceso a suficiente luz para el proceso de fotosíntesis, mediante el cual se alimentan. Si las condiciones de luz o de nutrientes inorgánicos no son adecuadas para realizar la fotosíntesis, algunas microalgas, conocidas como mixótrofas, pueden incluso, para subsistir, combinar la fotosíntesis (por la cual producen su propio alimento, lo que se llama *autotrofia*) con la ingestión de bacterias (que es alimentarse de otros organismos o *heterotrofia*). En este artículo nos proponemos acercar al lector algunas de las facetas más interesantes sobre esta fascinante comunidad microscópica y enfocar también en su rol de centinela de cambios ambientales.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un universo microscópico en cuerpos de agua dulce, entre ellos las lagunas pampeanas.

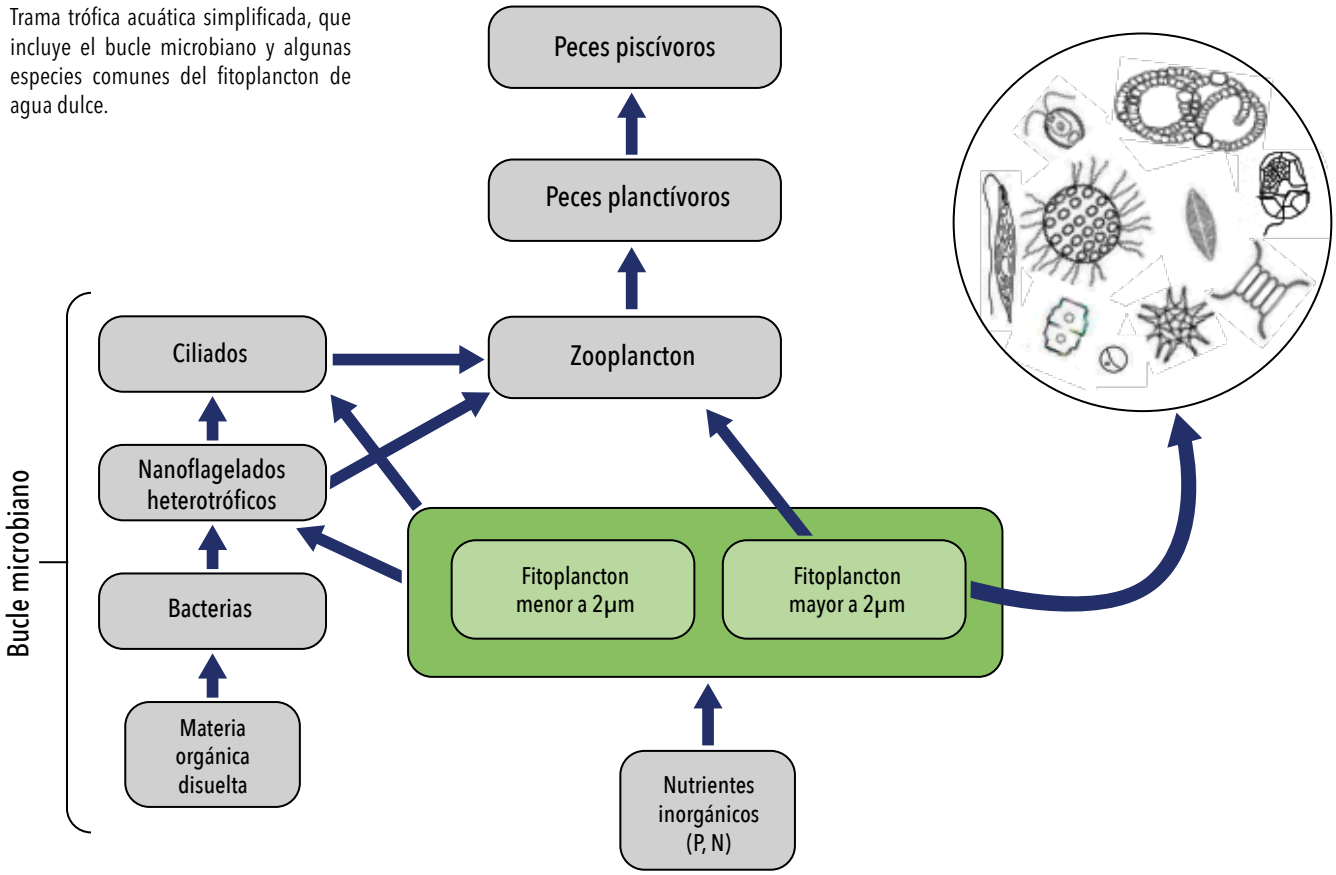
Mucho más que bellas miniaturas

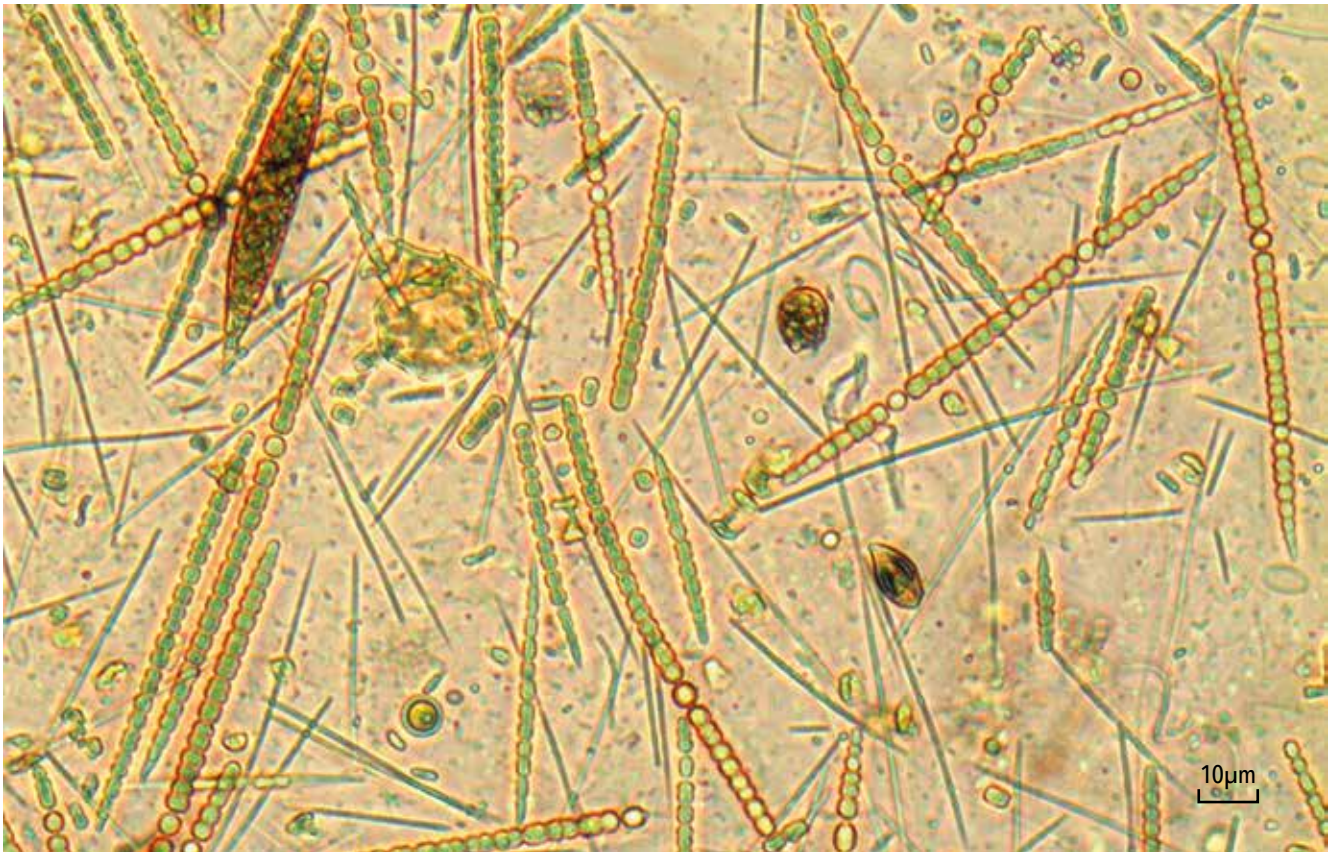
La belleza de las especies del fitoplancton solo puede ser apreciada a través de la lente de un microscopio. En este sentido, las microalgas fueron una de las fuentes de inspiración para el naturalista alemán Ernst Haeckel (1834-1919), cuyos bocetos dieron lugar a una de las más bellas obras sobre el mundo natural publicadas en el siglo XIX. Pero el fitoplancton es mucho más que una comunidad de pequeñísimos seres bonitos; su rol ecológico es absolutamente fundamental para nuestro planeta. Por un lado, en la mayoría de los ecosistemas acuáticos el fitoplancton constituye la base de toda la trama alimentaria, pues permite el desarrollo de los niveles tróficos superiores, incluyendo a los peces. Además, la fotosíntesis realizada por el fitoplancton es una de fuentes principales de oxigenación de las aguas. Por otro lado, en el nivel global, el fitoplancton marino es responsable de producir alrededor del 50% del oxígeno que respiramos y de absorber una parte muy importante del dióxido de carbono que genera el ser humano. Es, por lo tanto, de vital importancia en el presente contexto de cambio global. Además, el fitoplancton es un excelente centinela de los cambios que tienen lugar en el ambiente y brinda valiosa información sobre la calidad del agua, tema en el cual nos enfocaremos particularmente más adelante.

Cambios estacionales del fitoplancton

El fitoplancton generalmente experimenta cambios durante el año, que están asociados con la variación en el cuerpo de agua de diversos factores, tanto físicos (luz, temperatura) o químicos (concentración de nutrientes) como biológicos (predadores). Esas variaciones estacionales pueden implicar desde modificaciones en la abundancia de las distintas especies hasta reemplazos de unas especies por otras. En las regiones templadas o polares las variaciones estacionales pueden llegar a ser de una magnitud mil veces mayor que en regiones tropicales, donde la temperatura y la intensidad de luz son relativamente constantes a lo largo del año. Por ejemplo, en un lago ubicado en la península antártica, a partir de su descongelamiento a comienzos del verano algunas especies comienzan a multiplicarse rápidamente, y durante los dos o tres meses que el cuerpo de agua permanece descongelado tienen lugar un rápido crecimiento y fluctuaciones en la comunidad del fitoplancton. Los cambios estacionales son generalmente cíclicos; típicamente la mayor abundancia de fitoplancton en lagos de latitudes medias suele ocurrir en la época más cálida (primavera y verano), mientras en invierno la biomasa de esos orga-

Trama trófica acuática simplificada, que incluye el bucle microbiano y algunas especies comunes del fitoplancton de agua dulce.





Arriba. Muestra de fitoplancton de una laguna pampeana observada con 400 aumentos. La barra que da la escala mide 10 micrómetros.
Derecha. Laguna pampeana.

nismos se reduce notablemente. La estacionalidad también puede estar vinculada con los cambios del régimen de lluvias, sobre todo en zonas tropicales. En lagunas sometidas a pulsos de inundación, como las ubicadas en llanuras aluviales de ríos, los cambios temporales en la comunidad de fitoplancton están más o menos acoplados al régimen hidrológico.

Cambios en el largo plazo

Si aumentamos la escala temporal de análisis, la estructura del fitoplancton puede ir modificándose con el transcurso del tiempo, por ejemplo, debido a las actividades humanas o a cambios climáticos. Para poder apreciar tales cambios es necesario estudiar el ambiente durante mu-

chos años. Por ejemplo, estudios de largo plazo sobre el fitoplancton de lagos del hemisferio norte evidenciaron, conforme iba bajando el pH del agua, el efecto acumulativo de las lluvias ácidas en algunos de los lagos ubicados en las zonas más industrializadas.

Por otra parte, el análisis de los sedimentos que se van depositando en un lago permite dilucidar modificaciones del fitoplancton asociadas con actividades humanas o con cambios en las condiciones climáticas y geológicas. Por ejemplo, estudios de pigmentos fotosintéticos del fitoplancton en sedimentos de la laguna La Barrancosa, ubicada en el partido bonaerense de Benito Juárez, realizados por María Sofía Plastani y sus colaboradores, evidenciaron que a partir de la década de 1990 se aceleró la *eutrofización* de ese cuerpo de agua, es decir, se incrementó en él la concentración de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y aumentó la biomasa de algas.

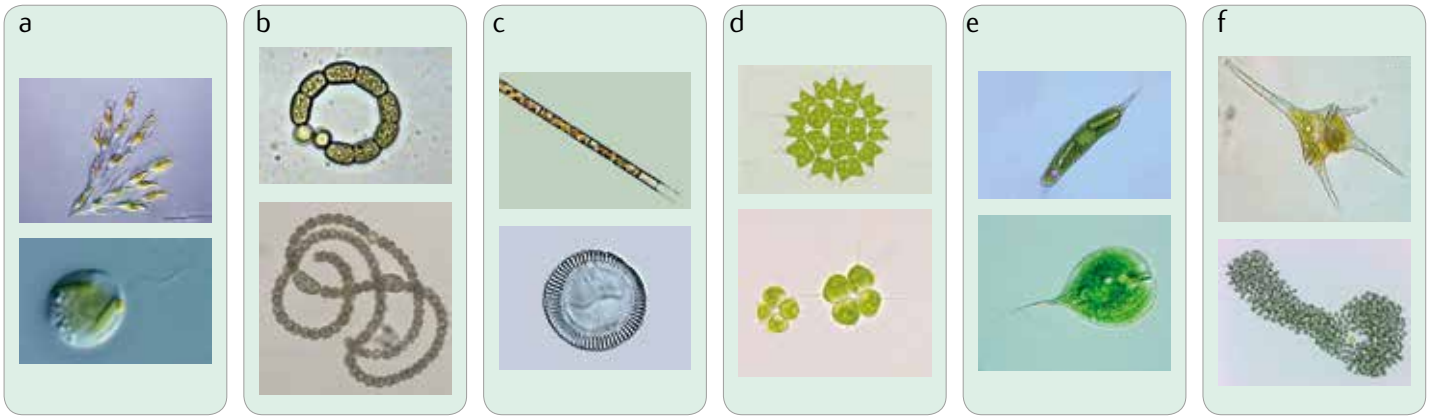
Otra forma de evaluar cambios de largo plazo es recurrir a técnicas de teledetección con sensores remotos. Así, a partir de una investigación realizada en lagos sudamericanos dirigida por Sarian Kosten, de la universidad holandesa de Radboud, en Nijmegen, publicada en la revista *Freshwater Biology*, comparando imágenes satelitales de 1987 y 2005, se infirió que tuvo lugar una disminución de la transparencia del agua en lagunas pampeanas asociada con un incremento de la biomasa de fitoplancton. Más del 50% de lagunas que eran claras en 1987 se mostraban turbias en 2005, posiblemente a causa del cambio del uso de la tierra en ese período.

La habilidad de las diferentes especies del fitoplancton para ser exitosas en un cuerpo de agua en un momento determinado depende de sus requerimientos ecológicos. Para caracterizar las principales formas de adaptación al ambiente de esa comunidad de fitoplancton, el fitoplanctólogo británico Colin Reynolds (1942-2018) adaptó una clasificación elaborada para plantas terrestres por su compatriota John Philip Grime, profesor emérito de la Universidad de Sheffield: el esquema CSR. En el caso del fitoplancton, las especies C (colonizadoras) son más pequeñas, se reproducen rápido y tienen éxito en ambientes en que los recursos no son limitantes (buenas condiciones de luz y abundancia de nutrientes), las especies S (resistentes al estrés) son generalmente más grandes, tienen una tasa de crecimiento más baja y suelen estar adaptadas a la escasez de recursos (algunas almacenan sustancias de reserva o fijan N) y las especies R (ruderales) presentan una gran adaptabilidad a vivir en ambientes con disturbios frecuentes, como mezclas continuas de la columna de agua.

Por otro lado, las especies del fitoplancton pueden presentar diversos rasgos funcionales, tanto morfológicos (tamaño, forma) como fisiológicos (adaptaciones a distintas condiciones de luz, fijación de nitrógeno). En este sentido, actualmente está muy difundido el uso de la diversidad funcional para clasificar las especies y establecer grupos funcionales que reúnen aquellas con rasgos similares, por lo común asociados con determinadas condiciones ambientales. El estudio de la diversidad funcional del fitoplancton se ha extendido ampliamente en los últimos años, porque permite analizar la comunidad de esos organismos sin necesidad de contar con gran experiencia en la identificación taxonómica. Analizar la diversidad funcional permite monitorear un ambiente acuático y evaluar si la calidad del agua se está deteriorando. En este sentido es una herramienta muy potente que puede ser usada por organismos de gestión ambiental. Si un cuerpo de agua se ve afectado por las actividades antrópicas que tienen lugar en la región –supongamos un aumento en el ingreso de nutrientes debido a la expansión de la agricultura–, el fitoplancton constituye un valioso centinela que registra ese cambio ambiental, pues su respuesta puede ser un cambio en los grupos funcionales, o en ciertas especies clave.

Adaptación al ambiente	C	S	R
Principales características ecológicas de las especies	Pequeño tamaño, rápida multiplicación, lento hundimiento en la columna de agua, muy susceptibles al ataque de zooplancton, invasoras oportunistas	Tamaño más grande (con frecuencia multicelulares), lenta multiplicación, poco susceptibles al ataque de zooplancton, resistentes a situaciones de escasez de nutrientes	Tamaño y morfología variables, en su mayoría no móviles, resistentes a los disturbios ambientales
Condiciones ambientales en que tienen más éxito	Abundancia de nutrientes y de luz	Escasez de nutrientes	Ambientes con frecuentes disturbios

Características principales de las formas primarias de adaptación al ambiente del fitoplancton, según el esquema de Colin Reynolds explicado en el texto.



Ejemplos de algunos géneros incluidos en distintos grupos funcionales fitoplanctónicos (de acuerdo con la clasificación de Reynolds), presentes en ambientes acuáticos con diferentes características: (a) *Dinobryon* –grupo E– y *Ochromonas* –grupo X3–, crisofitas mixotróficas típicas en lagos oligotróficos; (b) *Anabaenopsis* y *Dolichospermum* –grupo S_N–, cianobacterias que pueden fijar N y formar floraciones en ambientes eutróficos; (c) *Aulacoseira* –grupo P– y *Cyclotella* –grupo C–, diatomeas céntricas típicas en cuerpos de agua muy mezclados, tales como ríos; (d) *Pediastrum* y *Tetrastrum* –grupo J–, algas verdes del grupo de las clorococales frecuentes en ambientes eutróficos; (e) *Euglena* y *Phacus* –grupo W1–, euglenofitas frecuentes en ambientes con mucha materia orgánica, incluyendo cuerpos de agua contaminados; (f) *Ceratium* y *Microcystis* –grupo L_M– suelen coocurrir en lagos eutróficos a hipereutróficos, principalmente en algunos embalses.

El fitoplancton responde rápidamente a las principales amenazas

En los cuerpos de agua continentales de la Argentina algunas de las principales amenazas para la integridad ecológica son la eutrofización, la contaminación de distinto tipo, la introducción de especies y el cambio climático.

La eutrofización lleva al incremento en la biomasa fitoplanctónica y, en su etapa avanzada, a la proliferación de algunas especies en forma de floraciones que pueden llegar a ser nocivas. Esta problemática afecta a gran parte de las lagunas pampeanas argentinas, por causas relacionadas con cambios del uso de la tierra (expansión de la agricultura, ganadería, urbanizaciones, canalizaciones, etcétera), y es también frecuente en muchos embalses.

La contaminación, principalmente la de origen industrial y la orgánica por desechos domiciliarios no tratados, afecta fuertemente los cursos de agua ubicados en los alrededores de los grandes centros urbanos, por ejemplo, la cuenca Matanza-Riachuelo. El fitoplancton de estos ambientes muestra signos evidentes de cambio, con incrementos de especies tolerantes a la contaminación –como ciertas diatomeas o los euglenoideos– e incluso la presencia de formas anormales o teratológicas de algunas especies.

El efecto de la introducción de especies sobre el fitoplancton se ha visto claramente plasmado en lagos de la meseta patagónica que naturalmente carecen de peces. En algunos localizados en campos privados, se han introducido truchas con propósitos deportivo-comerciales, lo que ha generado alteraciones de la red trófica acuática, entre ellas cambios en los grupos funcionales fitoplanctónicos y aumento de la biomasa algal.

El cambio climático también puede afectar marcadamente los cuerpos de agua y, por consiguiente, al fitoplancton. Por ejemplo, una gran sequía puede provocar un drástico descenso en el nivel de un lago, como los que se han visto en lagunas de la meseta patagónica y de la región pampeana, y han llevado a la muerte de plantas acuáticas sumergidas y a un consiguiente aumento en la biomasa del fitoplancton.

Un ejemplo de monitoreo de largo plazo: el proyecto PAMPA 2

El proyecto PAMPA 2 (Proyecto Argentino de Monitoreo y Prospección de Ambientes Acuáticos), financiado por el Conicet, reúne a diferentes grupos de investigación de la Argentina dependientes de dicho organismo y de universidades nacionales cuyas temáticas de estudio están vinculadas a lagunas de la región pampeana. Uno de sus objetivos principales es analizar los cambios asociados con la actividad antrópica y con la variabilidad climática que tienen lugar en las lagunas. El proyecto incluye el monitoreo de un conjunto de lagunas ubicadas en la región a lo largo de un gradiente de temperatura y humedad. En algunas se llevan a cabo muestreos continuos de alta frecuencia mediante boyas de medición automática que permiten el registro de variables de interés, mientras que otras se monitorean mensualmente y se analizan variables limnológicas y de las comunida-

des planctónicas (incluyendo al fitoplancton). Estos estudios están mostrando diferencias en la estructura del fitoplancton entre cuerpos de agua localizados en distintas zonas del gradiente climático analizado, y también entre aquellos que están sometidos a diferente grado de consecuencias de la acción humana. En general, la mayoría de las lagunas de la región se caracterizan por ser eutróficas y por su alta biomasa de fitoplancton. En algunas se registran floraciones algales recurrentes en el período cálido, y en muchos casos se está observando que estas se extienden al período otoñal. Este tipo de monitoreo, que abarca varios años consecutivos, es imprescindible para poder evaluar cambios de largo plazo en la comunidad fitoplanctónica.

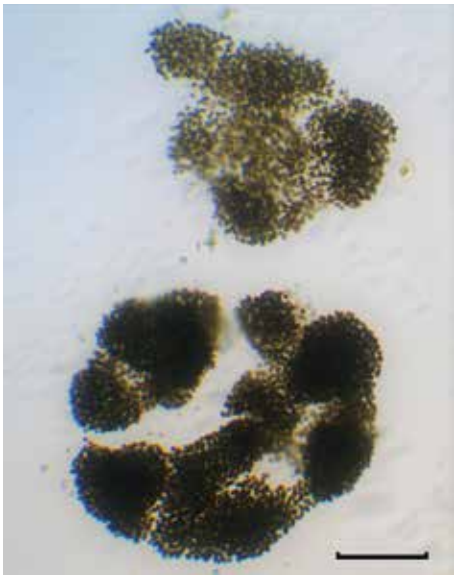
Laguna	Cianobacterias	Microcistina LR
Grande (Otamendi)	273.840	0,77
Chascomús	453.665	1,41
Salada (Monasterio)	915.168	0,97
Gómez (Junín)	192.915	0,76
Carpincho (Junín)	191.603	1,26
Triunfo (Lezama)	445.771	1,04
Helvecia (Canals)	146.139	No medido
Salada (Tedín Uriburu)	16.337	No medido

Abundancia de cianobacterias y concentración de la toxina microcistina LR en lagunas pampeanas monitoreadas en el marco del proyecto PAMPA 2. La columna de cianobacterias indica la medición máxima de células por mililitro de agua registrada entre octubre de 2012 y diciembre de 2015. La concentración de microcistina LR está en microgramos por litro de agua e indica el registro máximo entre enero de 2013 y agosto de 2017. En rojo, valores que superan el nivel guía definido por la Organización Mundial de la Salud (1µg/l) para el agua potable. Según los criterios de este organismo, si en aguas de uso recreativo hay más de 20.000 células de cianobacterias por mililitro, se debe informar a los usuarios y a las autoridades; con más de 100.000, además de lo anterior, es necesario observar si se forman cúmulos, investigar los riesgos y restringir el baño.

Cianobacterias: un grupo muy exitoso

Las cianobacterias estuvieron entre los primeros organismos que poblaron la Tierra. El oxígeno liberado en la atmósfera por su fotosíntesis habría sido el precursor de la capa de ozono. Han colonizado casi todos los ambientes acuáticos del planeta. Son varias las características ecofisiológicas que les conceden una gran aptitud ecológica: su capacidad de fijar nitrógeno, de regular la flotabilidad y de almacenar fósforo, sus óptimas tasas de crecimiento a altas temperaturas, su captura de luz en un amplio rango de longitudes de onda, su gran supervivencia en tiempos de condiciones adversas. A medida que cambian los recursos limitantes en el ambiente, uno o más de estos rasgos colocan a las cianobacterias en posición muy competitiva.

La proliferación de las floraciones de cianobacterias tóxicas constituye una amenaza creciente para las aguas dulces de todo el mundo, ya que estas reducen la biomasa y la diversidad de la vegetación sumergida y alteran la dinámica de la red trófica. Las condiciones de bajo oxígeno causadas por el colapso y la degradación de las floraciones pueden desencadenar la muerte de los peces. Los animales



Izquierda. Aspecto de una floración de cianobacterias en la playa Las Palmeras del embalse de Salto Grande, formado en el río Uruguay por el dique homónimo.
Derecha. Cianobacterias de la especie *Microcystis aeruginosa* encontradas en Salto Grande fotografiadas con microscopio óptico a 400 aumentos. Esta especie produce neurotoxinas como la microcistina y puede causar peligrosas floraciones. La barra que da la escala mide unos 100 micrómetros. Foto Facundo Bordet

Boya de monitoreo continuo de las variables limnológicas estudiadas en el marco del proyecto PAMPA 2.

que beben agua de ambientes con floraciones pueden morir por intoxicación con cianotoxinas. Estos eventos generan elevadas pérdidas económicas asociadas con el agua potable, recreativa y agrícola. Tanto el calentamiento global como el aumento de la carga de nutrientes de los cuerpos de agua por la acción humana, igual que la regulación de los ríos mediante embalses, han promovido la intensidad y toxicidad de las floraciones de cianobacterias.

En la Argentina, las floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas afectan especialmente a los cuerpos de agua con menor profundidad de las regiones pampeana y chaqueña y a los embalses. Mediante un estudio estadístico llamado metaanálisis (citado entre las lecturas sugeridas), una de las autoras de este artículo (O'Farrell) y sus colaboradores encontraron que el 74,5% de las floraciones advertidas en la Argentina excedieron los umbrales de alerta establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Los resultados del proyecto PAMPA 2 mostraron que muchas lagunas de la región pampeana están seriamente comprometidas por floraciones tóxicas. A diferencia de otros países de la región, en la Argentina esta problemática ambiental no se considera actualmente entre los indicadores de calidad de agua. Ello convierte a las cianobacterias en una amenaza silenciosa para la salud humana, la biota acuática y la sustentabilidad del ecosistema.

Consideraciones finales

Dado que el fitoplancton, como comunidad microscópica muy sensible a los cambios ambientales, dice mucho sobre la integridad ecológica de un ecosistema acuático, en cualquier monitoreo que pretenda evaluar la calidad del agua es crucial el control periódico de la comunidad fitoplanctónica. Por otro lado, los estudios de ciencia básica enfocados a ella son de gran interés pues permiten comprender la dinámica ecológica del fitoplancton en diferentes sistemas acuáticos. En este sentido, la combinación de ciencia básica con sus aplicaciones es clave para mejorar la calidad de vida de la sociedad. CH

LECTURAS SUGERIDAS

GIANNUZZI L (ed.), 2011, *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*, Ministerio de Salud de la Nación, Buenos Aires.

KOSTEN S *et al.*, 2012, 'Bimodal transparency as an indicator for alternative states in South American lakes', *Freshwater Biology*, 57: 1191-1201.

O'FARRELL I *et al.*, 2019, 'Ecological meta-analysis of bloom-forming planktonic Cyanobacteria in Argentina', *Harmful Algae*, 83: 1-13.

PLASTANI MS *et al.*, 2019, 'Recent environmental changes inferred from sediments in a shallow lake of the Argentinian pampas', *Journal of Paleolimnology*, 61: 37-52.

REYNOLDS CS, 2006, *Ecology of Phytoplankton*, Cambridge University Press.

TELL G, IZAGUIRRE I & O'FARRELL I (eds.), 2014, *Freshwater Phytoplankton of Argentina: Phytoplankton diversity and ecology in different aquatic systems*, Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.

Irina Izaguirre

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Investigadora principal del Conicet en el IEGEBA.
Profesora asociada, FCEN, UBA.
iri@ege.fcen.uba.ar

Inés O'Farrell

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Investigadora principal del Conicet en el IEGEBA.
ines@ege.fcen.uba.ar

María Laura Sánchez

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Investigadora asistente del Conicet en el IEGEBA.
Ayudante de primera, FCEN, UBA.
laurasanchez@ege.fcen.uba.ar

María Paula Bunicontro
Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), UBA-Conicet

Puerto Madryn
Crecimiento urbano, conservación ambiental y turismo

Las zonas costeras, emplazadas entre el mar y el continente, albergan actualmente el 40% de la población urbana mundial, mayormente en grandes urbes. A su vez, según un informe de las Naciones Unidas de 2018, casi el 70% de las megaciudades –aquellas con más de 10 millones de habitantes– están localizadas en áreas costeras. Se deduce fácilmente, en consecuencia, que las urbanizaciones costeras constituyen lugares fundamentales tanto en materia social y económica como ambiental, pues conforman una gran concentración demográfica y económica en una reducida porción de la superficie terrestre.

La Argentina, por el peso del área metropolitana de Buenos Aires, ocupa el décimo lugar en la lista de países ordenados por el número de sus habitantes costeros, y, con unos 6800km de desarrollo costero continental, es considerada una de las veinticinco naciones con mayor longitud de línea de costa. Sin embargo, por las dificultades técnicas de la medición, los datos sobre longitud de costas varían entre las diversas fuentes que los estiman.

Problemática general de las zonas costeras

El crecimiento demográfico y económico de las ciudades y el concomitante empleo de recursos naturales alteran el paisaje natural costero. Entre las acciones que producen ese cambio están las actividades portuarias, industriales, pesqueras e incluso mineras; las obras de arquitectura e ingeniería, incluidas las redes de transporte y servicios; la recreación y el turismo. Casi siempre, los asentamientos urbanos en espacios costeros han tenido

¿DE QUÉ SE TRATA?

Consecuencias ambientales del crecimiento urbano en una ciudad turística de la Patagonia.

lugar sin previa planificación ambiental y territorial, sobre todo en las décadas más recientes, cuando su ritmo se aceleró.

Lo anterior tuvo innumerables consecuencias –de magnitud variable según la escala de la urbanización–, entre ellas, impermeabilización del suelo, contaminación de este, de la atmósfera y del agua, inundaciones y deterioro de acuíferos. En forma directa o indirecta, las acciones humanas modificatorias de los sistemas naturales litorales son una de las mayores causas de alteración del balance sedimentario (equilibrio entre aporte y pérdida de sedimentos, incluida la arena) de las playas en la mayoría de las localidades costeras. Esto se debe a que dichas acciones modifican el transporte de los sedimentos hacia y desde las playas por el viento y las corrientes litorales, lo cual tiene consecuencias diversas.

Unos 3400km de la longitud costera argentina corresponden a la Patagonia. Debido a su ubicación, sus condiciones climáticas y la baja densidad de su población, la costa patagónica es probablemente una de los mejores conservadas en el mundo, con una presión poblacional relativamente baja sobre los recursos naturales y sobre el hábitat. Sin embargo, esta situación está cambiando, pues en las últimas décadas algunas zonas patagónicas han experimentado los efectos de un acelerado crecimiento demográfico e industrial. Ello no sucedió en forma gradual, sino por pulsos intermitentes, y sobrevino sin considerar la capacidad del ambiente natural para soportarlo. Además, en ciertos casos tuvo lugar en ciudades costeras que dependen económicamente del turismo, por lo cual hacer un uso conservacionista o sustentable de los recursos es clave para evitar consecuencias sociales irreversibles.

El caso de Puerto Madryn

Si bien Puerto Madryn no es una megaciudad, su caso es adecuado para estudiar las consecuencias ambientales del crecimiento urbano en zonas costeras turísticas. Su historia se remonta a 1865, cuando en pleno invierno

Año	1914	1947	1960	1970	1980	1991	2001	2010
Habitantes	1.800	3.441	5.586	6.115	20.103	45.224	57.614	81.995
Incremento por período (%)		91	62	9	229	125	27	47

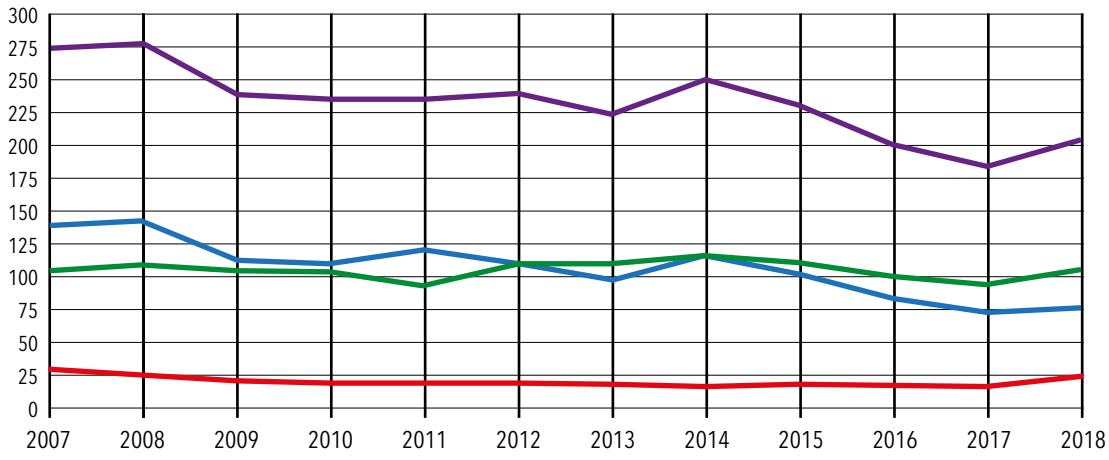
Crecimiento de la población de Puerto Madryn según los censos nacionales. Se advierte la explosión demográfica producida durante la década de 1970, que coincidió con la instalación de la fábrica Aluar, la terminación del pavimento de la ruta a Buenos Aires, la renovación de los aeropuertos, la ampliación de la capacidad hotelera local y la creación de diversas reservas de fauna silvestre en la península Valdés. Si en los 56 años anteriores la tasa media anual acumulativa de aumento poblacional había sido del 2,21%, en dicha década fue del 12,64%.

unos 160 colonos galeses desembarcaron de un pequeño velero llamado *Mimosa*, después de dos meses de navegación desde Liverpool, en la árida y deshabitada costa del golfo Nuevo, al sur de la península Valdés. La provincia del Chubut no existía y las autoridades nacionales carecían de presencia en la región. Los inmigrantes dieron al punto de desembarco un nombre de su país, pero no lo eligieron como sede principal de su asentamiento, pues explicablemente prefirieron las cercanas tierras fértiles del valle del río Chubut. Puerto Madryn permaneció como su nexo con el mundo que habían dejado atrás y, con el tiempo, también con Buenos Aires. Unos años después, quedó unido con su primer sitio de colonización del valle, Trelew, por un ferrocarril que atravesaba 70km de meseta, inaugurado en 1889.

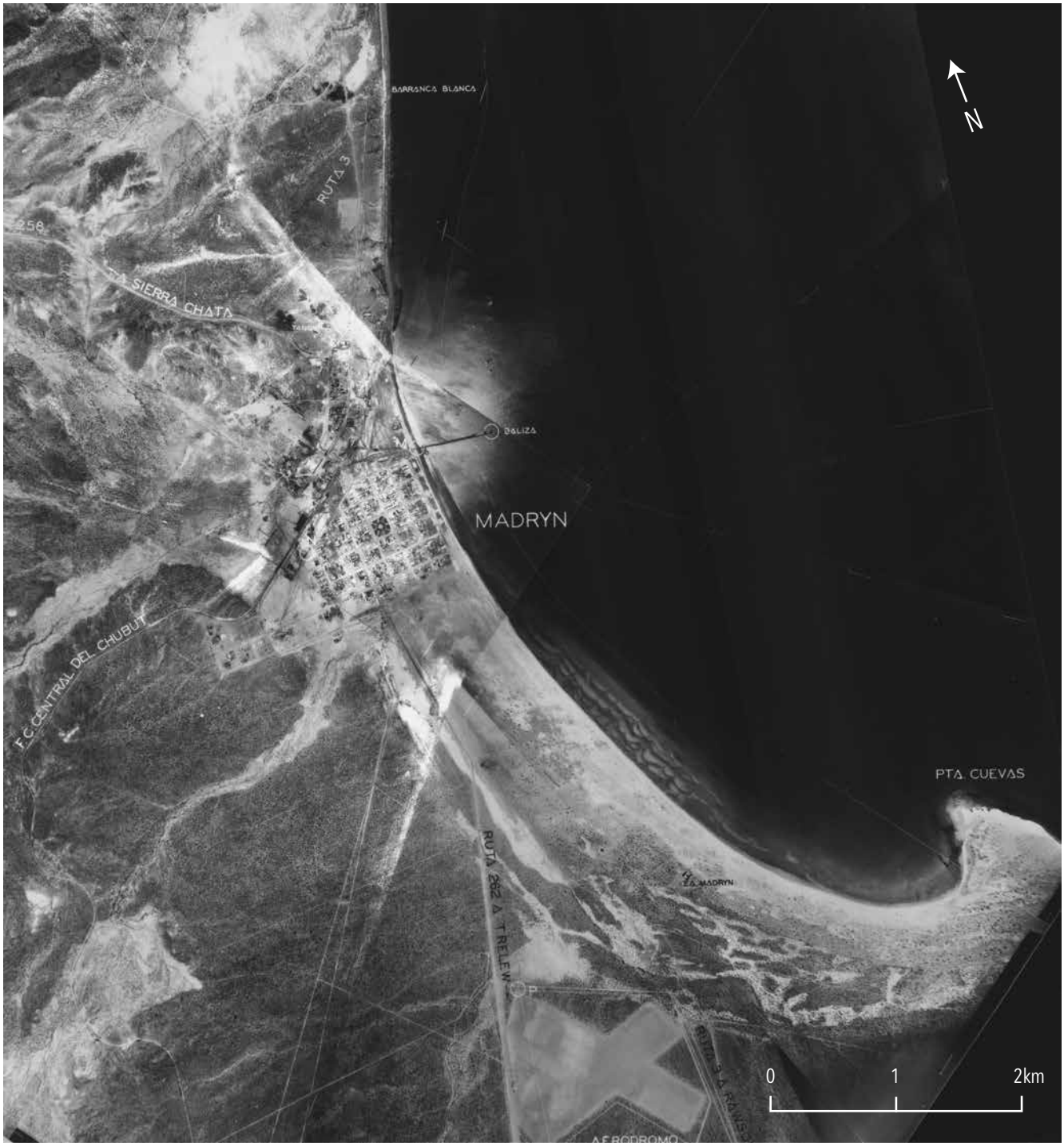
A medida que transcurría el siglo XX, Madryn (como acostumbran decir los locales) fue incrementando sus actividades comerciales y portuarias, y con ellas su talla urbana. El caserío inicial se convirtió en un pueblo de casas predominantemente bajas agrupadas alrededor de la terminal ferroviaria y del muelle al que se podía acceder desde ella. Hoy el ferrocarril ha desaparecido y ese muelle, modernizado y con el nombre de Comandante Luis Piedrabuena, se usa para el amarre de cruceros turísticos. Hasta la década de 1970, el deterioro ambiental causado por el crecimiento urbano fue modesto.

A partir de entonces, la situación cambió como consecuencia de un amplio conjunto de transformaciones económicas y sociales acaecidas en el país. Uno de los factores que dispararon el crecimiento de Puerto Madryn fue la edificación en las afueras de la ciudad, sobre la costa, por la empresa de capital nacional Aluar, de una planta productora de aluminio. Comenzó a producir en 1974, con bauxita importada de Australia y, como principal insumo, hidroelectricidad generada en la misma provincia por la central cordillerana de Futaleufu, a unos 400km de distancia, construida simultáneamente por el Estado nacional con ese propósito y transportada a la fábrica por una línea ad hoc de alta tensión. Complementariamente se construyó frente a la fábrica el muelle industrial Almirante Storni.

Lo anterior estuvo acompañado por una marcada expansión demográfica y urbana debido a la inmigración de trabajadores y sus familias, con la consiguiente construcción de viviendas para alojarlos. Así, la población de Puerto Madryn se triplicó en solo una década, lo cual transformó la demografía, hizo expandir la demanda de servicios e infraestructura y alteró el diseño urbano de la zona costera. Considerada en un lapso más largo, la cantidad de habitantes creció de unos 6000 en 1970 a más de 80.000 registrados en el censo nacional de 2010; hoy se estima que supera los 100.000 permanentes.



Arribos de visitantes a Puerto Madryn entre 2007 y 2018 según la información publicada por las autoridades municipales. Rojo, fuera de temporada; verde, temporada de avistamiento de ballenas; azul, temporada de verano; violeta, arribos totales. Valores en miles.



Una de las características atractivas de la zona para la industria turística es que tiene dos temporadas altas. Una se extiende entre fines del invierno y la primavera, cuando en sus migraciones anuales regresa la ballena franca austral (*Eubalena australis*) a las aguas que rodean la península Valdés y, para verla desde la costa o a bordo de embarcaciones, arriban los turistas de mayor capacidad económica. La otra temporada alta abarca el verano, cuando se producen la mayor llegada de cruceros –cuyos pasajeros tienen alta capacidad de gasto, pero solo permanecen un día y no pernoctan en tierra– y la del turismo regional de playa –cuyo gasto per cápita es menor pero su estadía es más larga–.

Según datos difundidos por las autoridades municipales, la población de la ciudad prácticamente se duplica durante los meses turísticos. El número anual de arribos de visitantes promedió unos 230.000 entre 2008 y 2018. Para la Patagonia, Puerto Madryn es al presente una ciudad turística.

Fotografías aéreas tomadas por especialistas de la base aeronaval de Punta Indio en 1942 y 1988. Puede apreciarse en la más antigua el amplio campo de médanos costeros entre el límite sur de la ciudad (marcado en ese momento por la calle Sarmiento) y punta Cuevas, prácticamente urbanizado por completo para la fecha de la segunda toma.

Alteraciones del paisaje natural

Entre los efectos directos o indirectos sobre el medio físico de las actividades humanas en las zonas costeras se pueden señalar la degradación y segmentación de las dunas litorales, la destrucción de hábitats naturales, la reducción del ancho de playa, el desbalance sedimentario, el incremento de la posibilidad de inundaciones, la introducción de especies vegetales o animales ajenas al ecosistema (técnicamente, *especies exóticas*), los cambios topográficos, las modificaciones de la línea de costa y otros. En Puerto Madryn, una de las modificaciones más llamativas es la reducción del campo costero de dunas.

Las dunas o médanos costeros tienen usos diversos. Pueden constituir áreas de recreación y forestación; constituyen hábitats de aves y de insectos, reptiles e invertebrados con que ellas conviven; en la provincia de Buenos Aires suelen ser el único lugar a mano donde el subsuelo contiene agua potable (técnicamente, el único *acuífero*) para abastecer a la población. También proporcionan protección a la costa y constituyen una fuente de abastecimiento de arena para la playa. Luego de una tormenta, por ejemplo, las playas quedan erosionadas porque gran parte de su arena fue captada por el oleaje y las corrientes y transportada hacia el mar (que con el tiempo la devolverá en otro lugar). Sin embargo, también con el tiempo la playa tiende naturalmente a reconstruirse y a recuperar su perfil, para lo cual es clave el transporte de arena por el viento desde las dunas costeras. De ahí que el intercambio de esta en ambos sentidos entre médanos litorales y playas sea fundamental para mantener el equilibrio sedimentario, y que la existencia de reserva de arena en médanos cercanos sea esencial. En otras palabras, la reducción de los campos de dunas debido al desarrollo urbano altera esos procesos e impide la natural reversión de los fenómenos erosivos.

Las alteraciones más comunes de las dunas costeras actuales entre las playas y la ciudad de Puerto Madryn son su cobertura parcial por vegetación plantada, que entorpece el intercambio de arena entre playa y médano, y su interrupción por desagües pluviales a cielo abierto y por senderos peatonales hacia la costa. Además, las edificaciones sobre la misma playa, que brindan servicios altamente apreciados por los veraneantes, constituyen otro serio obstáculo a la conservación de las playas.

Los edificios de la ciudad moderna ocupan prácticamente toda la superficie de la antigua franja de dunas.

Como se aprecia en una fotografía aérea de 1942 que consultó la autora y se reproduce parcialmente en la página 30, tomada por especialistas de la base aeronaval de Punta Indio, gran parte de lo que hoy es la ciudad de Puerto Madryn estaba cubierta por un manto de arena que se extendía por 3,1km de norte a sur, entre la calle Sarmiento y Punta Cuevas, y tenía un ancho aproximado de 700m desde la línea de costa hacia el continente, es decir, cubría unos 2,2km^2. En otra fotografía de 1988 (p. 31), del mismo origen, se advierte la eliminación del 30% de lo anterior en sentido longitudinal y del 90% en sentido transversal a la costa. Hoy han quedado dunas costeras muy degradadas y angostas, pues tienen entre 30m y 60m de ancho. Sobre la base de fotografías históricas, puede estimarse que la reducción del campo de dunas avanzó al ritmo de 5ha por año.

Además, la estrecha franja de dunas costeras se ha hecho discontinua, pues la interrumpen accesos peatonales a la playa, construcciones de balnearios y desagües pluviales. La forman médanos que no superan los 3m de alto y están compuestos por arena fina cubierta parcialmente de vegetación exótica plantada, la cual fija la arena e impide que el viento la lleve a la playa. Estas características difieren por cierto de las adecuadas para mantener el equilibrio sedimentario entre dunas y playa.

Por otro lado, pese a que las playas de arena de Madryn parecen muy amplias, con anchos que pueden alcanzar los 400m, ello solo es así en la bajamar, cuando gran parte de ellas queda al descubierto. Debido a la amplitud de las mareas en la zona, en la pleamar la playa resulta casi totalmente anegada y queda reducida en promedio a unos 20m de ancho, los que forman la *playa seca*, por oposición a la *playa húmeda*, sucesivamente cubierta y descubierta por el mar.

Lo anterior indica la importancia de conservar una franja de dunas costeras que pueda proveer de arena a la playa luego de intensas lluvias o tormentas. De lo contrario, la playa va perdiendo arena y el recurso que buscan los veraneantes resulta cada vez menos atractivo para ellos.

A modo de conclusión

El código de planeamiento urbano de Puerto Madryn, sancionado en 2010, indica que 'la situación urbana actual de la ciudad se caracteriza por el impacto de un crecimiento acelerado, una perspectiva de crecimiento dinámico, una excesiva dispersión en la ocupación del suelo urbano y una distribución espontánea de usos en forma desarticulada'. Considerando ese diagnóstico, resulta importante entender la dinámica natural de los sistemas costeros para hacer frente a las nuevas urbanizaciones de manera planificada, establecer pautas de ordenamiento territorial y hacer un uso sustentable de los recursos. En particular, para impedir la erosión de la playa es necesaria la restauración en alguna medida y la conservación de las dunas costeras. Otra norma municipal declara 'zona natural protegida a la cadena medanosa que se extiende entre la línea de más alta marea y la ruta costera, en todo el ejido urbano' y prohíbe 'la extracción de arena, la destruc-

Celebrity Eclipse (317m de eslora, 2850 pasajeros y 1270 tripulantes) y *Costa Luminosa* (294m de eslora, 2830 pasajeros y 1050 tripulantes) amarrados al muelle Comandante Piedrabuena.

ción de la vegetación natural y la circulación por playas y médanos de todo tipo de vehículos'.

Las normas gubernamentales son necesarias, pero están lejos de ser suficientes. Resulta importante no solo que la población las respete sino, también, que las haga suyas por comprender la situación costera que las motiva, los propósitos que persiguen, los beneficios que generan y los inevitables costos –tanto en dinero como en oportunidades renunciadas– que tienen asociados. Conservar las playas es, en última instancia, una cuestión social y cultural. De ahí la necesidad de emprender permanentes acciones de concientización de la comunidad acerca de las razones para preservar el ambiente y las consecuencias que se enfrentan si la tarea se descuida.

Entre las iniciativas de comunicación tomadas en años recientes con este objetivo, se celebraron talleres y charlas abiertas a todos en escuelas e instituciones diversas. Por su lado, en 2013, las autoridades comunales pusieron en marcha un programa de recuperación de médanos costeros que estuvo activo hasta 2015. Sería aconsejable retomar esas acciones e incluir el manejo de los médanos en un plan de ordenamiento territorial y urbano que rija el crecimiento futuro. A pesar de que las consecuencias de la urbanización pueden ser similares en localidades costeras con gran crecimiento urbano, resulta necesario estudiar cada caso particular para comprender su dinámica y establecer pautas de manejo adecuadas.

Como en la mayoría de las situaciones en que se discuten conflictos entre la conservación y el uso de recursos, no existen soluciones que satisfagan los deseos de todos. Pueden existir, si nos empeñamos en encontrarlos, compromisos razonables. CH

LECTURAS SUGERIDAS

LEY VEGA DE SEOANE C, GALLEGO FERNÁNDEZ J y VIDAL PASCUAL C, 2007, *Manual de restauración de dunas costeras*, Ministerio de Medio Ambiente (España), accesible en *www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0652461.pdf.*

MARCOMINI S y LÓPEZ R, 2008, 'Erosión y manejo costero de Villa Gesell', accesible en *https://digital.bl.fcen.uba.ar/gsdl-282/Libro_0002_Marcomini/index2.htm.*

MARCOMINI S y LÓPEZ R, 2014, *Geología y manejo costero*, Eudeba, Buenos Aires.

MEDINA R, 2017, 'Cambios de las playas por la construcción del puerto de Mar del Plata', Ciencia Hoy, 26, 156: 13-19.

MONTI A, 2013, 'Gestión de riesgo y complejidad en el litoral urbanizado de Puerto Madryn', *Estudios Ambientales*, 1, 1: 29-44, accesible en *http://ojs.fch.unicen.edu.ar/index.php/estudios-ambientales/article/view/25/16.*

WEILER N y GÓMEZ SIMES E, 2005, 'Análisis ambiental de la zona de playa y médanos de la localidad de Puerto Madryn', *Párrafos Geográficos*, IV, 4: 190-206, accesible en *http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2005_V4/4-8.pdf.*

María Paula Bunicontro

Doctora en ciencias geológicas, UBA.
Becaria posdoctoral del Conicet en el IGEBA.
Auxiliar docente en la FCEN, UBA.
paulabunicontro@hotmail.com

Los premios Nobel 2019

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

FISIOLOGÍA O MEDICINA

Pablo Wappner
Fundación Instituto Leloir

Funcionamiento de los mecanismos de adaptación celular a hipoxia

El premio Nobel de medicina ha sido otorgado en su edición 2019 al británico Peter J Ratcliffe y a los norteamericanos Gregg L Semenza y William G Kaelin Jr por sus contribuciones en el campo de la adaptación celular a la hipoxia.

Todos los animales tienen la capacidad de adaptarse a condiciones de escasez de oxígeno o *hipoxia*. Cuando subimos a 4000 metros sobre el nivel del mar o nuestro miocardio recibe poca irrigación sanguínea a través de las arterias coronarias, algunas (o todas) las células de nuestro organismo enfrentan situaciones de hipoxia (oxígeno por debajo de los niveles normales observados en la *normoxia*). Se sabe ya desde la década de 1980 que, en respuesta a la hipoxia, se altera el perfil de expresión génica y se activa la transcripción de centenares de genes que permiten a las células adaptarse al bajo oxígeno. Uno de los genes que median la adaptación a hipoxia es el gen de la *eritropoyetina* (Epo), una hormona sintetizada en el riñón que estimula la producción de glóbulos rojos por la médula ósea. Cuando la presión parcial de oxígeno desciende por debajo de niveles críticos, se dispara la expresión del gen Epo, aumentan los niveles circulantes de esta hormona, lo cual provoca que se incremente la cantidad de glóbulos rojos circulantes. De esta manera se mejora sustancialmente la eficiencia del transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos, y se mitiga el efecto de la hipoxia.

A comienzos de la década de 1990, el joven médico nefrólogo Peter Ratcliffe atendía por la mañana a sus pacientes en el hospital John Radcliffe de Oxford, y por la tarde investigaba en su laboratorio junto a dos colaboradores, algo más jóvenes que él y nefrólogos también, sobre los mecanismos moleculares mediante los cuales la expresión del gen Epo se regula en condiciones de hipoxia. Así, Ratcliffe y sus colaboradores identificaron las secuencias regulatorias del gen Epo responsables de su inducción por hipoxia. Al poco tiempo, descubrieron que secuencias regulatorias muy similares a las del gen Epo están presentes en decenas (luego se vio que en centenares) de otros genes inducibles por hipoxia y que dicha regulación se verifica en un gran número de tipos celulares. Surgía así la prime-

Peter J Ratcliffe

Gregg L Semenza

William G Kaelin Jr

ra evidencia de que existe un mecanismo de regulación concertado de todos los genes que median la adaptación celular a la hipoxia.

En simultáneo, el grupo de Gregg Semenza de la Universidad Johns Hopkins, en la costa este de los Estados Unidos, identificó y purificó a homogeneidad el factor de transcripción responsable de la inducción por hipoxia de Epo y otros genes, al que denominaron HIF (por *Hypoxia Inducible Factor*). Los laboratorios de Ratcliffe en Inglaterra y de Semenza en los Estados Unidos llegaban entonces por distintos caminos a la conclusión de que un mismo factor de transcripción, HIF (luego se vio que en realidad son varios HIF y no solo uno), controla de manera concertada la expresión de una gran cantidad de genes que median la adaptación celular a la hipoxia.

Estudios llevados a cabo durante la década de 1990 por varios laboratorios en distintos continentes permitieron demostrar que, si bien HIF se sintetiza de manera constitutiva, el factor de transcripción se destruye rápidamente en presencia de oxígeno y deja de destruirse en condiciones de hipoxia. Como resultante de este proceso, los niveles intracelulares de HIF son siempre bajos en normoxia y se incrementan dramáticamente en condiciones de hipoxia. ¿Qué mecanismos determinan que la destrucción de HIF dependa del oxígeno? ¿Cuál es la tijera molecular que lo destruye? La respuesta a estas preguntas provino de estudios de un campo de investigación diferente. Trabajos en el área de la biología del cáncer, y en particular del estudio del síndrome de Von Hippel Lindau (VHL), una grave enfermedad genética en la que los pacientes con mutaciones en el gen VHL sufren a temprana edad la aparición de múltiples tumores en diversos órganos del cuerpo. El grupo de Kaelin de la Universidad de Harvard era, en la década de 1990, uno de los principales referentes en el estudio del síndrome VHL. Hacia finales de esa década, dicho grupo descubrió que la proteína VHL forma parte de un tipo especial de complejos enzimáticos que se denominan E3 y que son fundamentales para la destrucción regulada de proteínas específicas dentro de la célula. ¿Qué proteína es destruida como consecuencia de la acción de VHL? El grupo de Ratcliffe en Oxford demostró casi simultáneamente, en 1999, que el propio HIF se destruye por la acción de VHL, y que dicha destrucción ocurre solamente en normoxia. Por lo tanto, el trabajo de los grupos de Kaelin y Ratcliffe aportaban, por distintos caminos, información fundamental para comprender la maquinaria de respuesta a hipoxia: VHL es la tijera molecular que destruye a HIF en normoxia.

La siguiente pregunta era, entonces, por qué razón HIF se destruye por acción de VHL solamente en normoxia y no en hipoxia. La respuesta fue provista por el grupo de Ratcliffe en un artículo histórico publicado en 2001. Encontraron que solamente cuando hay oxígeno disponible en el entorno celular (normoxia) HIF sufre una modificación en uno de sus aminoácidos: la hidroxilación de un residuo de prolina. Más aún, encontraron que solo cuando dicha prolina de HIF está hidroxilada HIF se destruye por acción de VHL. En un segundo trabajo, también de importancia histórica publicado el mismo año, el grupo de Ratcliffe reveló la identidad de la enzima que cataliza la hidroxilación de la prolina clave de HIF. Esta enzima, a la que denominaron PHD, se encuentra conservada en todos los animales y opera como el sensor molecular de oxígeno de las células. Cuando hay oxígeno disponible, PHD es capaz de hidroxilar a la prolina de HIF, y sentenciar su destrucción mediada por VHL. Dado que el oxígeno es sustrato de la reacción que PHD cataliza, en hipoxia PHD no se encuentra activa y la prolina clave de HIF queda sin hidroxilarse. De este modo, en hipoxia HIF queda protegido de la destrucción, y se acumula en niveles suficientes para estimular la expresión de los centenares de genes que nos permiten adaptarnos a hipoxia.

¿Y qué pasó desde 2001 a esta parte? ¿Cómo evolucionó el campo de la adaptación celular a hipoxia? Los descubrimientos fundacionales de los que fuimos testigos durante la década de 1990 y comienzos de la de 2000 culminaron con el del sensor molecular de oxígeno y suscitaron un interés enorme entre biólogos moleculares, biólogos celulares, biólogos del cáncer, bioquímicos, médicos y muchos otros. Se verificó desde comienzos de dicha década de 2000 una expansión geométrica de este campo de trabajo, al cual se sumaron miles de laboratorios de todo el mundo. El esfuerzo se centró a partir de entonces en desentrañar detalles de cada uno de los mecanismos de la respuesta a hipoxia. Un número considerable de laboratorios, que incluyeron a los grupos de Ratcliffe, Semenza y Kaelin, mientras seguían con sus estudios sobre la biología básica de la adaptación a hipoxia, se volcaron también a la búsqueda de inhibidores y de activadores farmacológicos de PHD, VHL o HIF. Estos moduladores podrían servir como nuevos fármacos para prevenir o combatir diferentes condiciones patológicas, como cáncer, enfermedades isquémicas del sistema cardiovascular, accidentes cerebrovasculares y anemia, entre otras. Se concretaron acuerdos de cooperación multimillonarios entre la industria farmacéutica y los principales grupos de investigación del campo de la hipoxia. Luego de aproximadamente dos décadas de trabajo cooperativo entre los laboratorios de investigación básica y la industria, varios fármacos se están probando en pacientes, en ensayos clínicos que se encuentran en diferentes fases de desarrollo.

La historia de Ratcliffe, Semenza y Kaelin, y del campo de la hipoxia en general, constituye un ejemplo paradigmático de cómo la investigación básica –guiada por la simple curiosidad y llevada a cabo con altísimos ni-

veles de creatividad y excelencia– unos veinte o treinta años más tarde condujo al desarrollo de productos que podrán tal vez mejorar la calidad de vida de millones de personas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

EPSTEIN AC *et al.*, 2001, 'C. elegans EGL-9 and mammalian homologs define a family of dioxygenases that regulate HIF by prolyl hydroxylation', *Cell*, 107: 43.

HUANG LE, GU J, SCHAU M & BUNN HF, 1998, 'Regulation of hypoxia-inducible factor 1alpha is mediated by an O2-dependent degradation domain via the ubiquitin-proteasome pathway', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95: 7987.

JAAKKOLA P *et al.*, 2001, 'Targeting of HIF-alpha to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O2-regulated prolyl hydroxylation', *Science*, 292: 468.

MAXWELL PH *et al.*, 1999, 'The tumour suppressor protein VHL targets hypoxia-inducible factors for oxygen-dependent proteolysis', *Nature*, 399: 271.

MAXWELL PH, PUGH CW & RATCLIFFE PJ, 1993, 'Inducible operation of the erythropoietin 3' enhancer in multiple cell lines: evidence for a widespread oxygen-sensing mechanism', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90: 2423.

PUGH CW, TAN CC, JONES RW & RATCLIFFE PJ, 1991, 'Functional analysis of an oxygen-regulated transcriptional enhancer lying 3' to the mouse erythropoietin gene', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88: 10553.

SEMENZA GL, NEJFELT MK, CHI SM & ANTONARAKIS SE, 1991, 'Hypoxia-inducible nuclear factors bind to an enhancer element located 3' to the human erythropoietin gene', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88: 5680.

STEBBINS CE, KAELIN JR. WG & PAVLETICH NP, 1999, 'Structure of the VHL-ElonginC-ElonginB complex: Implications for VHL tumor suppressor function', *Science*, 284: 455.

Pablo Wappner

Doctor en ciencias químicas, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor, FCEN-UBA.
Director del Laboratorio de Genética y Fisiología Molecular de Fundación Instituto Leloir.
pwappner@leloir.org.ar

FÍSICA

Esteban Calzetta
Departamento de física, FCEN-UBA

El premio Nobel de física 2019 fue otorgado, por un lado, a James Peebles 'por descubrimientos teóricos en cosmología física', y, por otro, a Michel Mayor y Didier Queloz 'por el descubrimiento de un exoplaneta orbitando una estrella similar al Sol'. Ambas menciones difieren en su temática y naturaleza (trabajo teórico en el caso de Peebles, observacional en el caso de Mayor y Queloz). También se diferencian porque en el caso de Mayor y Queloz se está premiando un logro concreto, en el espíritu del legado original de Alfred Nobel, mientras que en el de Peebles se premian más de cincuenta años en la vanguardia del área de conocimiento, sobre la cual ejerció una enorme influencia tanto por sus trabajos originales como por sus libros. En esta nota vamos a ofrecer una breve puesta en contexto de los logros que motivaron este reconocimiento.

El contexto de los aportes de Peebles es la transición de la cosmología científica a la cosmología de precisión, cuyo nacimiento (arbitrariamente, como siempre en estos casos) podemos asociar a la demostración de la existencia de anisotropías (diferencias de temperatura dependientes de la dirección) en la radiación cósmica de fondo. Por este logro se otorgó el premio Nobel 2006 a George Smoot y John Mather. James Peebles fue parte del grupo, liderado por Robert Dicke, que en 1965 había interpretado correctamente que el ruido de microondas detectado por Arnold Penzias y Robert Wilson (premios Nobel 1978) era efectivamente el fondo cósmico de radiación predicho en 1948 por George Gamow junto con sus colaboradores Ralph Alpher y Robert Herman. A partir de ese momento Peebles fue protagonista de cada uno de los avances en el área, tanto respecto de la distribución de materia en gran escala como de la radiación de fondo.

La cosmología de precisión consiste en realizar observaciones sobre nuestro universo con precisión de varias cifras significativas, explotando, fundamentalmente, la posibilidad de medir con semejante nivel de detalle las anisotropías en intensidad y polarización de la radiación cósmica de fondo. De esa manera podemos obtener una imagen detallada de cómo era el universo 400.000 años después de la Gran Explosión. Otra ventana al cosmos es el efecto de lente gravitatoria, que permite mapear directamente la distribución de materia, sea que esté asociada o no con fuentes de luz. Nuevas formas observacionales, como la astronomía de ondas gravitacionales, también comienzan a realizar aportes significativos.

Además de su contribución fundacional de 1965, Peebles fue uno de los pioneros en predecir que en el mapa de la radiación cósmica de fondo debía ser posible dis-

James Peebles

Michel Mayor

Didier Queloz

tinguir señales que se repetían periódicamente, en función del ángulo de mira, y que la intensidad y el período de estas señales se podían correlacionar con los distintos tipos de materia en el universo. Combinando el análisis de la radiación cósmica de fondo con el de formación de galaxias, Peebles mostró que el espectro de la radiación de fondo confirmaba que el universo debía contener un componente de materia oscura. Esta es una forma hipotética de materia que interactúa gravitacionalmente de la misma manera que la bariónica (materia ordinaria compuesta por protones y neutrones), pero es completamente inerte frente a la interacción electromagnética. Su presencia ha sido conjeturada, desde la década de 1930 en adelante, para explicar las velocidades de rotación de estrellas alrededor de galaxias, y de galaxias alrededor de cúmulos galácticos. Su importancia cosmológica es que, mientras que la materia ordinaria, es decir, aquella de la que se ocupa nuestra física de partículas, no puede colapsar para formar galaxias hasta que la presión de la radiación se vuelve despreciable, la materia oscura, que no 've' la radiación, colapsa mucho antes. De esa manera el proceso de formación de galaxias, cuando finalmente comienza, se hace sobre un molde de materia oscura, lo cual es mucho más rápido y eficiente.

Continuando con el análisis de la radiación de fondo en relación con la formación de estructuras, Peebles introdujo en 1984 el concepto de energía oscura. La energía oscura es una sustancia inherentemente inestable, cuyo efecto gravitacional es acelerar la expansión del universo; recientemente (en términos cosmológicos) se ha vuelto la forma dominante de masa-energía. Peebles apeló a la presencia de energía oscura como una manera de hacer compatibles la predicción de la densidad media del universo que surge de la radiación de fondo (equivalente a veinte protones por metro cúbico, aproximadamente) con las cotas sobre materia oscura y materia ordinaria que surgen del proceso de formación de estructuras (alrededor de la quinta parte de esa cantidad). La hipótesis de Peebles se ha visto confirmada por la observación directa de la aceleración cósmica en 1998, logro por el cual se otorgó el premio Nobel 2011 a Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess.

James Peebles también ejerció gran infuencia con sus libros, principalmente *Physical Cosmology* (Princeton University Press, 1971), *The Large-Scale Structure of the Universe* (PUP, 1981), y *Principles of Physical Cosmology* (PUP, 1993). Estos libros ayudaron a sistematizar los esfuerzos en el área, a desarrollar un lenguaje común entre investigadores y a motivar a un sinnúmero de jóvenes a dedicarse a ella. Una contribución más reciente –PJE Peebles, LA Page y RB Partridge (eds.), *Finding the Big Bang* (Cambridge University Press, 2009)– reúne una serie de reminiscencias sobre el desarrollo de la cosmología de precisión desde sus orígenes.

En resumen, James Peebles ha sido un pionero y un protagonista de una gesta científica que ha revolucionado nuestras ideas sobre el origen y la estructura del cosmos.

Para poner en perspectiva los aportes de Mayor y Queloz, debemos notar que identificar un planeta a varios años luz de distancia (la estrella más cercana al Sol se encuentra a cuatro años luz) es extraordinariamente difícil porque son diminutos, no emiten luz propia y están inmersos en la luz emitida por la estrella alrededor de la cual orbitan. Por eso, la forma habitual de buscarlos no es intentar verlos directamente, sino deducir su presencia a partir de alguna anomalía en la luz de la estrella madre.

Por ejemplo, cuando decimos que la Tierra orbita alrededor del Sol, nos referimos a que en realidad la Tierra y el Sol orbitan alrededor del centro de masa común. Como el Sol está un millón de veces más cerca del centro de masa que la Tierra (de hecho, el centro de masa del sistema Sol-Tierra se encuentra dentro del Sol), el desplazamiento del Sol en su órbita es muy pequeño. Pero observado con suficiente precisión se puede percibir.

En el caso de un exoplaneta y su estrella madre, al orbitar el centro de masa común, esta adquiere periódicamente una velocidad en dirección hacia nosotros o en dirección contraria. Esa velocidad variable a su vez induciría una variación periódica en el espectro de la estrella, por el efecto Doppler. La búsqueda del exoplaneta se reduce a la detección de esa variación. Como el efecto es diminuto, y podría ser enmascarado por otras fuentes de variabilidad, conviene descomponer la emisión de la estrella en varias bandas según frecuencia, y analizar cada banda por separado.

El problema es el umbral a partir del cual la luz de la estrella es demasiado débil para permitir un análisis de este tipo. Las primeras búsquedas de exoplanetas estaban limitadas a estrellas muy brillantes y próximas al Sol. Mayor y Queloz introdujeron una serie de mejoras en la instrumentación, que les permitieron bajar ese umbral y fi-

nalmente lograron, en 1995, una detección positiva de un planeta con una masa similar a Júpiter orbitando una estrella a 50 años luz del Sol. Michel Mayor y Pierre-Yves Frei cuentan en detalle la historia de este logro en el libro *Los nuevos mundos del cosmos* (Seuil, 2001; traducción al castellano, Akal, 2006).

En la actualidad llevamos descubiertos más de 4000 exoplanetas. Las técnicas de detección se han diversificado y perfeccionado al punto de que podemos detectar planetas que están a una distancia de su estrella similar a la que existe entre la Tierra y el Sol (la distancia de 51 Pegasi b, el planeta de Mayor y Queloz, a su estrella, es la vigésima parte de la distancia de la Tierra al Sol). En algunos casos se ha logrado una imagen directa del planeta. Existen formas de discriminar la luz que nos llega de un planeta de la de su estrella madre, ya que, por ejemplo, la luz reflejada por el planeta está generalmente polarizada, mientras que la luz que nos llega directamente de la estrella madre no lo está. Esto permite discriminar entre ambas y determinar no solo la presencia de un planeta, sino también características de su atmósfera. Recientemente se ha anunciado la detección de vapor de agua en un planeta a 110 años luz del Sol.

No es exagerado decir que Mayor y Queloz nos han acercado un paso a lo que bien podría ser el descubrimiento científico más importante en la historia de la humanidad, el descubrimiento de planetas habitables y vida fuera del sistema solar.

Cabe destacar que, al momento de su logro, Didier Queloz era estudiante de doctorado. Como en el caso del premio Nobel 1999 a Gerardus 't Hooft y su director de tesis Martinus Veltman, se trata de un oportuno reconocimiento a la importancia del aporte de estudiantes y becarios al avance de la ciencia. CH

El autor agradece a Rodrigo Díaz por sus comentarios sobre los aportes de Mayor y Queloz a la búsqueda de exoplanetas, y a María Isabel Zuleta por sus comentarios sobre el texto.

LECTURAS SUGERIDAS

DÍAZ RF, 2019, 'Gliese 411b. Encuentro cercano con un nuevo exoplaneta', CIENCIA HOY, 28, 166: 27-32.

PEEBLES PJE, 1982, 'Large-scale background temperature and mass fluctuations due to scale-invariant primeval perturbations', *Astrophysical Journal*, 263, L1.

PEEBLES PJE, 1984, 'Tests of cosmological models constrained by inflation', *Astrophysical Journal*, 284, 439.

PEEBLES PJE & YU JT, 1970, 'Primeval adiabatic perturbation in an expanding Universe', *Astrophysical Journal*, 162, 815.

TSIARAS A, WALDMANN, IP, TINETTI G, TENNYSON J & YURCHENKO SN, 2019, 'Water vapour in the atmosphere of the habitable-zone eight-Earth-mass planet K2-18 b', *Nature Astronomy*, accesible en *https://doi.org/10.1038/s41550-019-0878-9*.

Esteban Calzetta

Doctor (PhD) en física, Universidad de Wisconsin-Milwaukee.
Profesor titular, FCEN-UBA.
Investigador principal del Conicet.
calzetta@df.uba.ar

ECONOMÍA

María Laura Alzúa

Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales (CEDLAS) / UNLP

Este año, el premio en ciencias económicas instituido por el Banco de Suecia fue conferido a Abhijit Banerjee, Esther Duflo –ambos investigadores del Massachusetts Institute of Technology– y Michael Kremer –de la Universidad de Harvard– por la aplicación del método experimental en la búsqueda de cómo aliviar la pobreza.

Ni dicho método ni los deseos de aliviar la pobreza son objetivos que han estado ausentes de la agenda de las ciencias. Este mismo premio fue recibido por Angus Deaton en 2015 por su contribución al desarrollo económico y sus estudios sobre la medición de consumo y bienestar, especialmente de las personas pobres. Por otra parte, la utilización de experimentos comenzó hace ya casi un siglo, y fue formalizada por el estadístico Ronald A Fisher en 1935. Los primeros experimentos fueron realizados en el contexto de la investigación agrícola, al tiempo que su utilización en las ciencias médicas fue muy anterior a su uso en ciencias sociales.

Resulta particularmente innovador que la contribución de estos tres investigadores transformara la disciplina del desarrollo económico. Sus experimentos permitieron identificar efectos causales de los programas para paliar la pobreza. Mediante este método, se establece un grupo de beneficiarios de la intervención o el tratamiento y se mantiene y monitorea otro grupo llamado de control, que no recibe la intervención en el mismo momento que el primero. Así, es posible estimar el efecto causal de una intervención en algún resultado de interés y evitar los sesgos muchas veces presentes cuando se trabaja con datos de carácter observacional.

Abhijit Banerjee

Esther Duflo

Michael Kremer

La concesión del premio Nobel a Duflo, Banerjee y Kremer es por diversos motivos un aliciente para quienes trabajan en áreas vinculadas con el desarrollo económico.

En primer lugar, las investigaciones resultantes de los experimentos de este trío han tenido efectos medibles y cuantificables sobre poblaciones en contextos muy vulnerables. A modo de ejemplo, Edward Miguel y Michael Kremer mostraron que los beneficios de los programas de desparasitación generalizada de niños en escuelas rurales de Kenia –donde la prevalencia de enfermedades es altísima– van más allá de evitar el crecimiento en las tasas de infecciones e incrementar la asistencia escolar, pues también mejoraron los rendimientos en los exámenes de graduación de la escuela primaria, especialmente para las mujeres. Este descubrimiento hizo que la intervención se implementara en varios países de África, así como en la India y Vietnam.

Lo mismo se verificó en otro experimento que buscaba determinar cuál es la forma más conveniente para que comunidades sin acceso a agua potable purifiquen la que consumen regularmente. La instalación de dispensadores de cloro cerca de la fuente de agua resultó en un uso más generalizado que otras formas alternativas. El programa se implementó en Kenia, Malawi y Uganda, y trajo como resultado una reducción de enfermedades transmitidas por el consumo de agua no potable.

Casos similares pueden encontrarse en el campo de la educación, por ejemplo, con un programa de tutorías para mejorar los aprendizajes de los niños en la India.

Para el caso específico de América Latina, pionera en el uso de experimentos (incluso antes de que lo hicieran los galardonados), puede señalarse la evaluación del programa Progresa de México, realizada por Santiago Levy. Dicho experimento dio credibilidad al uso de las transferencias monetarias condicionadas, no solo para aliviar la pobreza sino también para incrementar la asistencia a la escuela de parte de niños y jóvenes. Gracias a sus aspectos positivos, el programa se extendió a muchos países en desarrollo, que lo mantuvieron incluso cuando hubo cambios de gobierno. La Asignación Universal por Hijo, un programa argentino, basa su diseño en el Progresa mexicano.

Una segunda virtud es que los profesionales que trabajan en este tipo de experimentos también adquieren 'otras herramientas que permiten un mejor vínculo entre teoría económica, resultados empíricos y el mundo real', como dice John List en el artículo sugerido como lectura. Esto puede facilitar que los resultados de las investigaciones sean utilizados por gobiernos y hacedores de política.

Por último, los resultados obtenidos son fácilmente interpretables y comunicables, lo que es importante para su difusión y adopción por parte de organizaciones y gobiernos.

Los experimentos no están libres de críticas, sean o no fundadas. Conviene detenerse en cuatro de ellas. La primera argumenta que la exclusión de un grupo de los beneficios para constituir un grupo de control supone una falta ética. Se trata, sin embargo, de una crítica algo superficial. Los experimentos –en especial los que han conducido los ganadores del premio Nobel– son sometidos a la evaluación de comités de ética, atentos a determinar posibles violaciones de los principios que deben guiar la investigación. Además, muchas veces estos experimentos buscan medir el impacto de una intervención cuyas consecuencias no se conoce de antemano, o que pueden tener efectos contraproducentes, por lo que la ampliación del universo de potenciales beneficios no conocidos puede resultar problemática.

La segunda crítica tiene que ver con el criterio de validez externa, que sostiene que los resultados de un experimento solo tienen validez para el caso específico en cuestión. Se trata de una crítica válida, pero que no es específica de estos experimentos. La objeción puede ser válida para cualquier estudio empírico en el que la muestra no sea adecuadamente representativa del grupo al que se extrapolan las conclusiones.

La tercera objeción hace referencia al hecho de que los experimentos de estos investigadores se refieren a problemas pequeños, supuestamente enfocados en la incapacidad de los individuos pobres de decidir de manera racional. En este sentido, diversos estudios ya han mostrado que los individuos no suelen ajustar su comportamiento al modelo de elección racional. No hay motivos para pensar que los individuos pobres deban ser una excepción a esta regla.

La última crítica se refiere a que la mayor parte de los experimentos arrojan resultados de equilibrio parcial. Estos resultados pueden ser distintos de los que se obtienen al momento de aplicar un programa a una escala mayor

que la del experimento. Esta limitación no quita mérito a los experimentos: en todo caso, pone de manifiesto la necesidad de emplear otro tipo de herramientas que complementen el análisis basado en experimentos.

El uso sistemático de experimentos en temas de desarrollo económico probablemente no dé respuesta a todos los problemas de los países en desarrollo. Sin embargo, su reconocimiento con el galardón más alto que se otorga en la disciplina es muy bienvenido. El desarrollo económico y la erradicación de la pobreza son demasiado complejos para pretender que una sola innovación metodológica permita resolverlos. CH

LECTURA SUGERIDA

LIST J, 2011, 'Why economists should conduct field experiments and 14 tips for pulling one off', *Journal of Economic Perspectives*, 25, 3: 3-16.

María Laura Alzúa

Doctora (PhD) en economía, Universidad de Boston.
Docente en la UNLP y la UBA.
Investigadora adjunta del Conicet.
Subdirectora del CEDLAS, Facultad de Ciencias Económicas, UNLP.
malzua@cedlas.org

QUÍMICA

Ernesto J Calvo
Instituto de Química Física de los Materiales, Medioambiente y Energía (INQUIMAE), UBA-Conicet

El premio de este año se otorgó a John B Goodenough, de la Universidad de Texas en Austin, M Stanley Whittingham, de la Universidad Binghamton (parte de la Universidad Estatal de Nueva York) y Akira Yoshino, de la firma Asahi Kasei de Tokio y profesor de la Universidad Meijo en Nagoya. Con noventa y siete años, Goodenough es el galardonado de mayor edad en la historia del Nobel.

El premio reconoció el desarrollo de las baterías livianas recargables de ion-litio, que fue posible por los aportes científicos de los tres premiados. Sus estudios sobre cuestiones fundamentales de la química de sólidos y de la electroquímica tuvieron enormes consecuencias tecnológicas: sin ellos no hubiese ocurrido la revolución de los teléfonos celulares y, por ende, no existiría la ubicua conectividad inalámbrica de hoy.

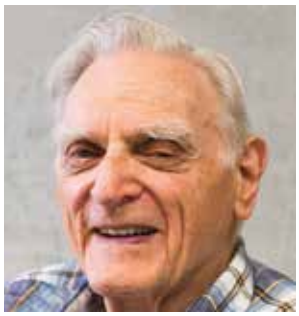
Desde la invención de la pila por Alessandro Volta (1745-1827), hacia 1800, las baterías primarias, que se usan solo una vez, y las secundarias o recargables experimentaron un extraordinario desarrollo, motivado por el propósito de disponer de energía eléctrica portátil.

Con el telégrafo, la linterna, el encendido electrónico del automóvil, las herramientas eléctricas y los juguetes eléctricos, aparecieron también, a lo largo de los años, diversos tipos de baterías. La electrónica móvil en satélites, las computadoras portátiles, los usos militares y más recientemente los vehículos eléctricos plantearon nuevos desafíos para lograr el almacenamiento de gran volumen de energía eléctrica. La generación de electricidad aprovechando fuentes renovables intermitentes, como el viento o el sol, igualmente requiere almacenarla en forma química en baterías.

Las baterías de ion-litio comercializadas por la empresa Sony desde 1991 y ubicuas en los teléfonos celulares cambiaron radicalmente la forma de comunicarnos. Gracias a ellas, los teléfonos experimentaron una drástica reducción de peso y tamaño, a la vez que se convirtieron en pequeñas computadoras de mano.

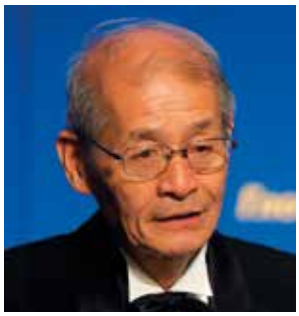
En la década de 1970, la química fue el centro de esta revolución, producida mediante el aprovechamiento de la *intercalación de iones* en sólidos, es decir, insertar átomos con carga eléctrica en la estructura de materiales sólidos cristalinos, cuyos átomos, moléculas e iones están dispuestos en forma de una red microscópica que se extiende con el mismo orden en todas las direcciones. Por su pequeño tamaño, el ion-litio puede acomodarse en ese tipo de estructuras sólidas en una amplia variedad de disposiciones con poca distorsión de la red cristalina, en un esquema de huésped (litio)-anfitrión (red cristalina). Es decir, la estructura del sólido permite la entrada y la salida de iones litio acumulando cargas negativas (electrones) que circulan por un circuito externo. Esto requiere que los materiales posean estados electrónicos accesibles, los cuales dependen de la estructura y el tipo de átomos que forman el material. Además, los materiales de los electrodos deben poseer buena conductividad electrónica y el proceso de intercalación debe ser altamente reversible para permitir almacenar energía eléctrica en forma de energía química durante muchos ciclos sucesivos de carga y descarga.

Impulsado por la crisis del petróleo de 1971, en 1976 Whittingham fabricó en Exxon Research and Engineering Company una batería con ánodo (electrodo negativo) de litio metálico y cátodo (electrodo positivo) de sulfuro de titanio (TiS_2) con estructura laminar que permitía la intercalación de litio. Esa batería suministraba más de 2,5 voltios de tensión eléctrica. El crecimiento de dendritas o agujas de litio metálico condujo a un cortocircuito y a la



John B Goodenough

M Stanley Whittingham



Akira Yoshino

explosión de la batería, que contenía solventes inflamables, por lo que se desestimó el proyecto.

Si bien el litio metálico del ánodo permitía almacenar una gran cantidad de energía en muy poca masa (el litio es el metal más liviano y es muy electropositivo) y permitía crear la batería ideal para la electrónica portátil, como es extremadamente reactivo, ella resultó explosiva e inadecuada para fines prácticos.

Yoshino resolvió este problema en 1985 reemplazando el litio por coque de petróleo, que tiene gran capacidad de intercalar iones litio. Esa capacidad se debe a la existencia en el coque de una de las varias formas de carbono, el grafito. El ánodo así fabricado da a la batería un potencial eléctrico cercano al provisto por el ánodo de litio metálico.

En paralelo, hacia 1980 Goodenough, que trabajaba en la Universidad de Oxford, propuso usar un óxido de cobalto (Li_xCoO_2) como cátodo, lo que logra baterías de más de 4 voltios. Antes había alcanzado gran reputación por sus estudios de las propiedades electrónicas de óxidos metálicos de diversas estructuras cristalinas. Sobre la base de ellos y utilizando la mecánica cuántica pudo predecir las propiedades eléctricas y magnéticas de un gran número de óxidos metálicos de diversa estructura, entre ellos, el mencionado óxido de cobalto, que se sigue usando para el cátodo de las baterías de los teléfonos celulares.

La batería comercializada con éxito por Sony en 1991 tenía un ánodo grafítico, un cátodo de óxido de cobalto y, entre ellos, un electrolito de fluorfosfato de litio (LiPF6) disuelto en carbonato de propileno líquido. Su potencial eléctrico era de 4,1 voltios y una densidad de energía de 80 vatios-hora por kilogramo (o 200 por litro). Al evitar el uso de litio metálico, resultó segura. Alcanzaba un gran número de ciclos de carga y descarga con mínima pérdida de capacidad.

En 1997 Goodenough propuso emplear otro material para el cátodo, el fosfato de hierro y litio ($LiFePO_4$) llamado LiPO en la jerga de baterías. Resulta más seguro y utiliza un elemento más abundante que el cobalto en la corteza terrestre, y más barato: el hierro. En 2005 se consiguió fabricar nanopartículas de ese material y lograr así un notable aumento de la velocidad de carga de la batería.

La gran ventaja de las baterías de ion-litio es que no usan litio metálico, que las haría peligrosas. A diferencia de las baterías que las precedieron, funcionan por un mecanismo de intercalación iónica en los materiales del ánodo y del cátodo conocido como *sillón-hamaca* (*rocking chair*): los iones litio con carga positiva fluyen en el electrolito desde el ánodo hacia el cátodo, mientras que los electrones con carga negativa fluyen del ánodo al cátodo por el circuito externo durante la descarga y en sentido inverso durante la carga. Los materiales del ánodo y del cátodo constituyen reservorios de los iones litio; y el exceso de carga en el ánodo, igual que el defecto de carga en el cátodo, es decir, exceso y defecto de electrones, resultan de las reacciones electroquímicas en cada electrodo.

En las baterías actuales, la capacidad de almacenamiento de carga del grafito del ánodo (unos 300 mAh/g) aproximadamente duplica la de los materiales de cátodo (140-160 mAh/g). Esto limita el rendimiento de las baterías de ion-litio. Por eso se estudian alternativas con ánodos de silicio (con capacidad de 3000 mAh/g) y cátodos de un óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto ($LiNiMnCoO_2$). También se encuentran en desarrollo baterías avanzadas llamadas Li-aire y Li-azufre, con densidades de energía comparables a la de los combustibles fósiles. Ellas garantizarían mayor autonomía a vehículos eléctricos pero, dada la complejidad de la química de tales baterías, aún no han llegado a la etapa comercial.

Debe señalarse que todos estos desarrollos que buscan satisfacer demandas tecnológicas de la sociedad parten del estudio de la química de diversos materiales y están basados en la comprensión del comportamiento de los componentes fundamentales de la materia. Cabe comparar el aporte actual de la ciencia a la tecnología con la invención del acumulador de plomo, ampliamente usado en automóviles, realizada por el físico francés Gaston Planté (1834-1889) en 1859. Ella se anticipó en treinta años al descubrimiento de la unidad de carga eléctrica, el electrón.

Según la Academia Sueca, los premiados de este año 'crearon el mundo recargable' a partir de conceptos de química que datan de hace no más de cuarenta años. CH

Ernesto J Calvo

Doctor en ciencias químicas, UNLP.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, FCEN, UBA.
Director del INQUIMAE, UBA-Conicet.
ernestojulio.calvo@gmail.com

Carl Benedikt Frey entrevistado por Daniel Schteingart

...our discovery of means of economising the use of labour [is] *outrunning the pace at which we can find new uses for labour* ('nuestro descubrimiento de medios para ahorrar el uso de mano de obra va más rápido que el ritmo al que encontramos nuevas formas de usar trabajadores')

JM Keynes, 1930
('Economic possibilities for our grandchildren',
en *Essays in Persuasion*, Macmillan & Co., Londres, 1931)

En 2013, el economista sueco-alemán Carl Benedikt Frey, director de un programa sobre tecnología y empleo en la Universidad de Oxford, publicó con su colega de la misma universidad Michael Osborne un artículo titulado 'El futuro del empleo' ('The future of employment', accesible en *https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/ The_Future_of_Employment.pdf*), que analiza la exposición de puestos de trabajo en los Estados Unidos a la informatización y la inteligencia artificial. Los autores concluyeron que el 47% de los empleos de ese país tenían alguna probabilidad de desaparecer por la automatización. Llegaron a esa conclusión por el camino de estimar dicha probabilidad para 702 ocupaciones –sobre las que encontraron datos en la literatura– mediante técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*), es decir, de inteligencia artificial, y de robótica móvil (*mobile robotics*) que ellos mismos pusieron a punto.

El artículo tuvo una recepción positiva en la comunidad científica y también fue objeto de cuestionamientos, seguidos por intercambios entre los autores y sus críticos. De cualquier modo, es uno de los textos más representativos de la reflexión académica actual sobre las consecuencias socioeconómicas de la computarización. Por su lado, Frey es considerado uno de los referentes mundiales en la temática. Realizó estudios de economía e historia en la Universidad de Lund, y se doctoró en el Instituto Max Planck para Innovación y Competencia de Múnich. Además, es autor del libro *The Technology Trap: Capital, labour and power in the age of automation* (Princeton University Press, 2019) y coautor de un documento sobre los conductores londinenses de Uber, 'Uber happy? Work and wellbeing in the gig economy', 2018 (accesible en *https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/ 201809_Frey_Berger_UBER.pdf*).

La metodología de Frey y Osborne fue empleada por especialistas del Banco Mundial para estimar que el 77% de los empleos de China, el 69% de los de la India y el 85% de los de Etiopía son susceptibles de automatización.

A fines de 2018, Frey estuvo de visita en Buenos Aires y fue entrevistado por Daniel Schteingart para el programa ToquinTEC, uno de los programas de divulgación científica del canal de televisión TECtv, perteneciente a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del gobierno nacional. Dicho programa consiste en entrevistas a científicos realizadas por otros científicos. El entrevistador se doctoró en sociología en la Universidad Nacional de San Martín y es becario posdoctoral del Conicet. La conversación ocurrió en el auditorio principal del Centro Cultural de la Ciencia, en el barrio porteño de Palermo.

–¿Cómo se interesó en el futuro del empleo?
–Cuando era chico, mi papá puso dos libros sobre la mesa y dijo que eran de lectura esencial: *The Lever of Riches* ('La palanca de riquezas'), de Joel Mokyr (Oxford University Press, 1990), y *The Innovator's Dilemma* ('El dilema del innovador'), de Clayton Christensen (Harvard Business Review Press, 1997). Esos dos libros me enseñaron que la tecnología es crucial para el crecimiento económico. Me interesé más en el tema con la lectura de *The Race Against the Machine* ('La carrera contra la máquina') de Erik Brynjolfsson y Andrew McAfee (Digital Frontier Press, Lexington MA, 2011). Cuando conocí a Michael Osborne, hablando nos dimos cuenta de que había muchos ejemplos de lo que la tecnología era capaz de hacer, pero no teníamos noción alguna sobre la magnitud del fenómeno. Y así nos enfocamos en la cuestión.

Sin duda, hay cada vez más ejemplos sobre las consecuencias de la tecnología, pero es cierto que siempre los hubo. Quizá la diferencia más notoria entre las revoluciones tecnológicas pasadas y la actual, que Frey llama la 'continuación de la revolución computacional que comenzó a fines de la década de 1980', es que su avance es más vertiginoso y su campo de aplicación, más abarcador. Antes, las computadoras se empleaban para automatizar tareas rutinarias, y con ellas se obtenían resultados más rápido y con menos errores que por los caminos tradicionales. Hoy, la inteligencia artificial puede hacer mucho más; justamente por eso nos enfrentamos con los difundidos temores y las incertidumbres sobre pérdida de empleos.

–En las revoluciones anteriores, el balance entre los empleos que se crearon y los que se perdieron como producto de la innovación fue positivo, porque aparecieron nuevas tareas que dieron lugar a puestos de trabajo antes inexistentes. ¿Tenemos elementos para considerar que esta vez será diferente?
–No sabemos lo suficiente para contestar la pregunta así formulada. Creo que habrá suficientes puestos de trabajo durante los próximos diez o veinte años, pero desconozco qué pasará en 2050. Entiendo que haya mucha gente que está preocupada por el avance de la inteligencia artificial, pues consideran que va a eliminar muchos empleos. La clave de la cuestión está en la productividad. Si la inteligencia artificial incrementa la productividad de los procesos, estaremos mejor de lo que se teme; pero no sería así si la tecnología simplemente reemplaza a las personas sin incremento de la productividad.

En su artículo, Frey y Osborne establecen tres dimensiones o cualidades del desempeño de las personas que tienen ventajas sobre la automatización: la percepción, la creatividad y la interacción social. La prensa suele referirse a los puestos laborales que requieren esas capacidades con la frase 'los empleos que prevalecerán'. Los robots, por ejemplo, no pueden igualar los distintos niveles de la percepción humana, ni pueden desenvolverse con eficiencia en un ambiente de interacción, como una reunión o una conversación entre dos o más personas. Esas situaciones no solo implican relación entre interlocutores sino, también, con el entorno. Mientras alguien habla, quienes escuchan procuran comprender lo que quiere comunicar, a la vez que evalúan posibles respuestas –incluso no dar ninguna–, y además manipulan una taza de café o hacen anotaciones en un cuaderno o en una computadora. Esta clase de acciones conjuntas tiene un nivel de complejidad que está muy lejos de las posibilidades de un robot.

Por su lado, explica Frey, la creatividad es una de las capacidades humanas más trascendentes. Es tan apasionante como compleja. No solo desconocemos los procesos psicológicos que la subyacen, sino que tampoco hemos acordado qué significa ser creativo. ¿Es originalidad? ¿Es generar una nueva y diferente combinación

de elementos existentes? Mediante inteligencia artificial podrían encontrarse combinaciones nuevas de algo que ya existe. Pero nuevo o novedoso no es lo mismo que creativo. Lo creativo para una persona puede no serlo para otra, o para un grupo. Según el entrevistado, en este asunto clave la inteligencia artificial está aún muy lejos del nivel de las personas, pues estas entienden qué gustos o preferencias de sus pares pueden ser satisfechos de modo creativo.

–¿Cómo se traduce esto en términos de empleos o tareas? ¿Cuáles son los sectores más expuestos a la automatización?
–Creo que son la industria y la agricultura. En los Estados Unidos la agricultura ha estado expuesta a la tecnología desde hace mucho tiempo. La industria manufacturera tuvo un pico de ocupación en la década de 1970 pero desde entonces está en declinación, en parte por la automatización y los robots, y en parte porque las plantas se trasladaron a China y otros países. También el empleo en tareas administrativas viene disminuyendo desde la década de 1990, y las computadoras han reemplazado a personas en labores contables, lo mismo que como operadores telefónicos y como cajeros en los bancos. Pero ahora vemos que muchas más áreas están expuestas a la automatización, por ejemplo, el transporte y la logística, con los vehículos automáticos o sin conductor. Otro ejemplo son las traducciones, con aplicaciones como el traductor de Google, que está lejos de ser perfecto, pero toda revolución tecnológica empieza con tecnología imperfecta, y esta no tiene por qué ser diferente.

–No hay consenso, sin embargo, sobre qué porcentaje del trabajo será automatizado en el futuro. ¿Por qué?
–Por muchas razones. Una, porque es muy difícil estimarlo. En nuestro trabajo, no intentamos predecir que el 47% de los trabajos en Estados Unidos será automatizado: simplemente procuramos establecer ciertos límites de probabilidades. Dos, porque a menudo las cifras que se citan responden a preguntas diferentes. Muchas consultoras tratan de estimar la cantidad de puestos de trabajo que desaparecerán para 2030 o cualquier otra fecha, pero eso depende de muchos y muy variados factores, como el costo relativo de capital y trabajo, la legislación sobre las innovaciones, en particular las restricciones que protegen el orden establecido, por lo cual es sencillamente imposible estimar cuántos trabajos desaparecerán cuándo. Por último, no tenemos certeza de que los datos que se manejan capturan toda la información sobre el empleo.

Tratar de adivinar lo que sucederá a futuro es imposible y a la vez inútil, concluye Frey. Una cosa completamente diferente es utilizar los elementos actuales para tratar de realizar estimaciones sobre posibles escenarios futuros, y sobre esa base tomar decisiones en el presente. Una conclusión que recalca es que los empleos con menos probabilidades de ser computarizados son los que actualmente están mejor remunerados y requieren mayor nivel de educación. Otras cuestiones que fueron objeto de comentarios ante preguntas del entrevistador abarcaron cómo se aplicaría el análisis del entrevistado a los países latinoamericanos, dado el desarrollo de las industrias manufactureras que tienen y el importante aunque variado peso del agro en casi todos. El lector podrá ampliar esta nota con la lectura del artículo de Frey y Osborne, y con la grabación de la entrevista. Si mira la segunda, seguramente hará sin esfuerzo algo que una computadora tardará bastante en lograr: entender qué tratan de decirse dos personas de lengua distinta hablando en otra que no es la suya. CH

Nota preparada por **Sebastián Barbosa**

La entrevista completa puede verse en *https://bit.ly/2PShnV8*

Agustín Gravano
Departamento de Computación, FCEN, UBA

La revolución de la inteligencia artificial: derribando mitos

Los avances constantes en el terreno de la inteligencia artificial generan opiniones encontradas en diferentes ámbitos. En particular, hay tres mitos que se escuchan con cierta frecuencia. El primero dice que el auge actual de la inteligencia artificial es en realidad una moda pasajera, que produce un entusiasmo exagerado. El segundo, en las antípodas del primero, sostiene que la inteligencia artificial despliega tecnologías rayanas en la magia, capaces de brindar soluciones superadoras a casi cualquier problema tecnológico. Y el tercero, en el plano educativo, consiste en la creencia errónea de que aprender estos temas conlleva una dificultad extrema, lo cual mantiene alejados a muchos estudiantes potenciales. Los tres mitos tienen su razón de ser, pero los tres son falsos, y es importante esforzarse en derribarlos. Esta nota presenta un breve resumen histórico de la inteligencia artificial, para comprender su estado actual y perspectivas a corto y mediano plazo.

Los orígenes

La inteligencia artificial surge en la década de 1950, pocos años después de la aparición de las primeras computadoras. El brillante matemático inglés Alan M Turing (1912-1954), uno de los fundadores de las ciencias de la computación, estuvo entre los primeros en preguntarse, en un artículo publicado en 1950, en qué consistiría una máquina que pudiera pensar. También propuso una definición metodológica, que sigue vigente en el test que lleva su nombre: se dice que un sistema es inteligente si es capaz de realizar una tarea en forma indistinguible de como la haría un ser humano.

Las dos décadas que siguieron a este trabajo seminal estuvieron marcadas por un entusiasmo desmesurado por la posibilidad de construir sistemas inteligentes. En un encuentro de investigadores en la Universidad de Dart-

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué es la inteligencia artificial? ¿Cuáles son sus perspectivas?

mouth, en 1956, se acuñó el término *inteligencia artificial*. En esos años se escribieron, con métodos rudimentarios, los primeros programas capaces de jugar al ajedrez, o de realizar razonamientos lógicos, o incluso de mantener una conversación simple con una persona. Estos éxitos relativos condujeron a promesas grandilocuentes –o incluso irresponsables– por parte de científicos de mucho renombre. Un ejemplo notable es lo expresado por el matemático norteamericano Marvin Minsky (1927-2016) a la revista *Life*, en 1970: 'Dentro de tres a ocho años tendremos máquinas con la inteligencia general de un ser humano promedio'. ¡La inteligencia general de un ser humano promedio! No es de extrañar que tales promesas desencadenaran enormes expectativas en la sociedad. Para contextualizar, esos años generaron obras emblemáticas de la ciencia ficción, como la novela *Yo, Robot* de Isaac Asimov (1950), o la película *2001: odisea del espacio*, con dirección de Stanley Kubrick y guion de Arthur C Clarke (1968).

El paradigma dominante de las primeras décadas de la inteligencia artificial fue el de los enfoques simbólicos, apoyados en tres pilares: el razonamiento, la planificación y la representación del conocimiento. El razonamiento busca codificar predicados y operaciones lógicas para así poder demostrar el valor de verdad de nuevos predicados. Por ejemplo, partiendo de representaciones de 'Todos los humanos son mortales' y 'Sócrates es humano', debería concluirse que 'Sócrates es mortal' es un predicado de valor verdadero. La planificación consiste en la búsqueda de secuencias de acciones que permitan cumplir un objetivo, por ejemplo, que un robot encuentre la salida de un laberinto o que pueda ordenar bloques de letras para formar una palabra. La representación del conocimiento procura codificar en una computadora información general del mundo, mediante analogías, taxonomías y otros formalismos, para luego usar esa información en otras tareas informáticas, entre ellas el razonamiento y la planificación.

Bajo el paradigma simbólico se lograron algunos éxitos relativos (y varios de ellos resultaron de vital importancia unas décadas después); sin embargo, resultaban insignificantes si se los comparaba con las promesas realizadas. A principios de la década de 1970, la escasez de aplicaciones concretas produjo un desencanto generalizado, socavó la confianza en el potencial de la inteligencia artificial y condujo a serios replanteos de parte de las agencias financiadoras de investigación. En 1973 el gobierno del Reino Unido encargó un informe sobre los avances en el área a James Lighthill (1924-1998), reconocido profesor de matemática aplicada en Cambridge. El informe dio un diagnóstico lapidario: 'No hay área de la inteligencia artificial en la cual se hayan producido descubrimientos con el impacto mayúsculo que se había prometido'. Las consecuencias no se hicieron esperar: una virtual parálisis del

Alan Turing a los dieciséis años. Wikimedia Commons

financiamiento y la inversión en investigación en inteligencia artificial en todo el mundo. En los años posteriores la investigación prosiguió, aunque con muchos menos recursos que antes. Comenzaba lo que pasó a la historia como el primer invierno de la inteligencia artificial.

Pese a su saldo negativo, la era dorada dejó varios legados. Entre ellos figuran los sistemas expertos, que maduraron y florecieron en la primera mitad de la década de 1980. Consisten en programas que codifican y automatizan procesos conocidos. Son desarrollados conjuntamente por un experto del dominio y un programador, empleando formalismos ideados en los años de expansión de la inteligencia artificial, tales como los árboles de decisión, las redes bayesianas o el lenguaje de programación Prolog. Esos formalismos resultaron efectivos para automatizar tareas de diagnóstico, análisis y capacitación en medicina y en fábricas, por ejemplo. En consecuencia, alrededor de los sistemas expertos prosperó una pujante industria de software y hardware.

Pero este apogeo de la inteligencia artificial fue muy breve y llegó a su fin por las mismas razones que una década antes: generó demasiadas expectativas. Los sistemas expertos aportaron soluciones novedosas y contribuyeron a mejorar la competitividad de varias industrias, pero eran rígidos y caros de mantener, y no escalaban bien a problemas de mayor complejidad. Otra vez, la burbuja había crecido de manera desproporcionada. Corría ya la segunda

mitad de la década de 1980 y la inteligencia artificial todavía no conseguía destacarse en el mundo de la tecnología, máxime considerando el torrente de avances desplegados durante el siglo XX por otras disciplinas. Esta persistente escasez de frutos desembocó en un creciente escepticismo y una pérdida generalizada de credibilidad. La inteligencia artificial comenzaba su segundo invierno. Quedaba confinada al terreno de la ciencia ficción.

La era moderna

Incluso en un escenario tan negativo como el de finales de los años 80, con un profundo descrédito por parte de la sociedad, se continuó investigando, tanto en el sector público como en el privado. En esos años comenzó a ganar mayor relevancia un paradigma distinto: un enfoque basado en datos, que consiste en construir programas a partir de la información contenida en colecciones de imágenes, audios, textos, etc. Hoy conocemos esta forma de resolver problemas como aprendizaje supervisado. Si bien empezó su expansión en esos años, aún le faltaba bastante tiempo para llegar a su apogeo.

Garry Kasparov en 1987. Wikimedia Commons

Debió transcurrir otra década para que, finalmente, ocurriera el primer cimbronazo de la inteligencia artificial. En 1997 el sistema Deep Blue desarrollado por IBM derrotó al maestro ajedrecista ruso Garry Kasparov (nacido en 1963), considerado uno de los mejores jugadores de la historia. El resultado final de 3½-2½ a favor de Deep Blue fue aplaudido globalmente y caló fuerte en la opinión pública, algo atribuible a que la inteligencia artificial (¡por fin!) lograba un éxito a la altura de sus cuentas pendientes, tras casi medio siglo de espera.

A partir de ese hito histórico, comenzaron a sucederse casos de éxito cada vez con mayor frecuencia. En 2002 se empezó a comercializar Roomba, un robot-aspiradora de 35cm de diámetro por 10cm de alto, capaz de limpiar un ambiente de manera autónoma mientras va aprendiendo las dimensiones y la forma de él. Fue un éxito de ventas que continúa en la actualidad.

En 2004 comenzaron a aparecer los primeros vehículos autónomos (autos que se manejan solos), en competencias organizadas por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Las primeras dos ediciones se llevaron a cabo en zonas despobladas y, ante el éxito de los prototipos ganadores (de las universidades Stanford y Carnegie Mellon), poco tiempo después se replicaron en zonas urbanas.

En 2011 IBM consiguió otra hazaña: su sistema Watson derrotó a los dos campeones históricos de Jeopardy, un juego de televisión en el cual los participantes deben encontrar las preguntas a las respuestas presentadas sobre temas de cultura general. Watson debía ser capaz de interactuar verbalmente, interpretar las respuestas, y buscar y combinar la información necesaria para construir las preguntas. Estas tareas pusieron a prueba al estado del arte de técnicas de procesamiento del lenguaje natural, representación del conocimiento, recuperación de información y razonamiento. La victoria del sistema de IBM fue aplastante, y comenzó a saldar otras viejas deudas de la inteligencia artificial.

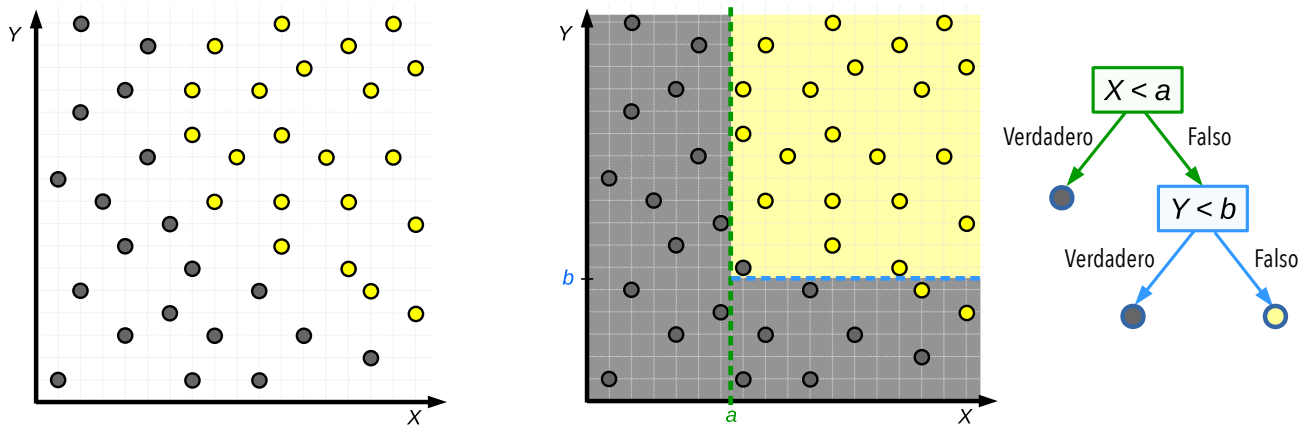
Es importante notar que los ejemplos mencionados hasta el momento no estaban basados en las técnicas de aprendizaje profundo (o *deep learning*), las cuales comenzaron a surgir, como las conocemos hoy, recién alrededor de 2010. Los sistemas mencionados hasta ese entonces estaban basados en combinaciones de técnicas clásicas del paradigma simbólico y de otras más modernas del cada vez más afianzado enfoque basado en datos, o aprendizaje supervisado. Este hecho resulta crítico para entender que la revolución de la inteligencia artificial ya estaba en marcha bastante antes de la eclosión del aprendizaje profundo, que obedeció a la coincidencia de múltiples factores, incluyendo la creciente capacidad de cómputo, el desarrollo de mejores algoritmos de entrenamiento y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos.

Primera generación del robot-aspiradora Roomba. Wikimedia Commons

Durante la última década, el aprendizaje profundo aportó un salto cualitativo realmente impactante, que aceleró los tiempos del desarrollo como nunca se había visto en el área. Para dar una idea de la magnitud de los avances conseguidos, los siguientes dos ejemplos pueden ser ilustrativos. Hasta 2012, la investigación en la clasificación de imágenes encontraba obstáculos que dejaban las tasas de error de los mejores modelos por arriba del 25% en un conjunto de datos estandarizado llamado ImageNet. Es decir, clasificaban erróneamente una de cada cuatro imágenes. En 2012, el primer sistema basado en aprendizaje profundo obtuvo 15% de errores: 10 puntos menos. La tasa de error de los sistemas actuales ronda el 3% sobre los mismos datos. Las mejoras han sido tan contundentes que hoy en día los sistemas de reconocimiento de objetos consiguen un alto desempeño incluso en videos en tiempo real.

Otro ejemplo son los sistemas de reconocimiento del habla, cuya tarea consiste en transcribir las palabras contenidas en una grabación. Hasta 2012, los mejores sistemas conseguían el

APRENDIZAJE SUPERVISADO



Supongamos que en el problema ilustrado en la figura izquierda tenemos un conjunto de puntos (que llamamos *instancias*). Las instancias tienen ciertos *atributos* que las describen; en este ejemplo, tienen dos coordenadas numéricas *X* e *Y*. Además, cada instancia pertenece a una *clase*: en nuestro caso, pueden ser de color amarillo o gris. El objetivo de un algoritmo de aprendizaje supervisado consiste en construir (es decir, *aprender*) una forma de clasificar instancias a partir de un conjunto de datos (que denominamos *datos de entrenamiento*).

Veamos cómo hace esto un algoritmo basado en árboles de decisión. Con los datos de dicha figura, el algoritmo podría primero elegir el atributo *X* y la constante *a* para crear la primera regla, que se coloca en lo más alto del árbol: '$X < a$'. Las instancias que cumplen esta regla son todas grises, con lo cual puede darse por terminada la construcción de esa rama del árbol. Entre las instancias que no cumplen esa regla, vemos que hay ambos colores; por lo tanto, todavía pueden agregarse nuevas reglas para hacer más preciso al modelo. El algoritmo podría aprender que con *Y* y una constante *b* se puede separar bastante bien a las instancias restantes. Luego de ello, el algoritmo podría detenerse, olvidar los datos de entrenamiento y dejar como resultado un *modelo* que sirve para clasificar nuevas instancias (con cierto margen de error). En este ejemplo, el modelo resultante es un algoritmo muy simple: si una nueva instancia tiene valor de *X* menor que *a* o valor de *Y* menor que *b*, entonces es gris; en caso contrario, es amarilla.

Esta es la idea central del aprendizaje supervisado. Existen muchos algoritmos además de los árboles de decisión; por nombrar algunos: vecinos más cercanos, regresión logística, análisis del discriminante lineal, *naive bayes*, máquinas de vectores soporte, *random forest* y redes neuronales. Todos hacen en esencia lo mismo: a partir de datos, construir un modelo que sirva para clasificar nuevas instancias. También existen algoritmos de regresión que, en lugar de aprender a predecir clases, aprenden a predecir valores numéricos.

20% de errores sobre datos estandarizados (*Switchboard*): un error cada cinco palabras. Ese año se introdujeron los sistemas que emplean aprendizaje profundo, que llevaron la tasa de error a la mitad. En 2016 Microsoft logró reducirla hasta el 5,9%, equivalente a la tasa de error promedio de un ser humano, y desde entonces ha seguido bajando aún más. Estas mejoras llevaron a la inclusión del reconocimiento del habla como una herramienta estándar en celulares y demás dispositivos electrónicos, lo cual a su vez posibilitó la proliferación de nuevas tecnologías, como la traducción automática, el subtitulado automático de videos y las interfaces de usuario basadas en comandos de voz.

La última conmoción en la inteligencia artificial tiene apenas seis o siete años: gracias al empuje del aprendizaje profundo resurgió otra subárea conocida como aprendizaje por refuerzos. Consiste en construir sistemas que aprenden en forma autónoma a realizar una tarea, aprovechando la experiencia acumulada al repetirla una y otra y otra vez. En 2013 un equipo de la empresa DeepMind construyó un sistema capaz de jugar mejor que los seres humanos a varios juegos de la consola Atari 2600. En 2015 el sistema AlphaGo, también creado por DeepMind, derrotó al campeón mundial de go, un juego de mesa computacionalmente mucho más complejo que el ajedrez, lo cual constituyó otro hito histórico en el área. En 2019 esta técnica se extendió a otros escenarios aún más complejos, como el póker y los juegos de estrategia multijugadores, desafíos completamente impensados tan solo un puñado de años atrás.

Los mitos

Volvamos entonces a los tres mitos mencionados al principio de la nota. El primero dice que el éxito actual de la inteligencia artificial es solo una exageración, una moda pasajera. Habría sido entendible que al comienzo de esta revolución, alrededor del cambio de siglo, hubieran surgido reparos al respecto, sobre todo si consideramos los antecedentes del área en cuanto a promesas incumplidas. Pero hoy en día, viendo los resultados cada vez más impresionantes y los efectos concretos sobre las vidas de millones de personas, las dudas resultan insostenibles. La inteligencia artificial ha logrado patear el tablero en el mundo tecnológico, y ya nada será igual.

El segundo mito está en el extremo opuesto: la inteligencia artificial se aproxima a la magia; sirve para mejorar cualquier sistema informático. Tampoco es el caso. La inmensa mayoría de los casos de éxito se encuadran en el paradigma conocido como aprendizaje supervisado (ver recuadro). Para poder construir un sistema en este paradigma, necesitamos tener una buena cantidad de datos etiquetados y (más importante aún) una tarea bien definida. Por ejemplo: predecir el color de un punto, clasificar compras con tarjeta de crédito en legítimas o fraudulentas, filtrar mensajes espurios (*spam*), etc. Esto último también es cierto para otros paradigmas, como el aprendizaje por refuerzos, el aprendizaje no supervisado (el cual, a grandes rasgos, nos permite explorar datos no etiquetados), el aprendizaje semisupervisado y otras variantes: siempre es necesario definir una tarea acotada y concreta que se desea resolver. Todavía falta mucho para poder hablar de una inteligencia general, en los términos en que se prometía en la década de 1970. Sin dudas, se está yendo en esa dirección, pero aún queda mucho camino por recorrer.

Por último, el tercer mito sostiene que aprender inteligencia artificial está reservado para unos pocos iluminados en matemática y computación. En este punto debemos ser cuidadosos, evitando transmitir que son temas fáciles, porque no lo son. Hay que estudiar para aprenderlos. El camino fácil es muy tentador: programar a los tumbos, sobre la base de tutoriales de dudoso origen y mediante un código conseguido en internet, sin entender demasiado lo que se hace. Esa es la mejor manera de meterse en problemas. Los temas de inteligencia artificial que están cambiando el mundo requieren dedicarle tiempo de estudio; no debe haber dudas al respecto. Pero tampoco son temas tan difíciles como a menudo se cree. Con una base de programación, probabilidad, estadística y álgebra lineal (temas conocidos por los estudiantes de segundo o tercer año de muchas carreras informáticas del país), ya se está en el punto de partida para acceder a libros y materias específicas del área. Solo hay que animarse y dedicarle el tiempo necesario, para sumarse a una revolución en curso que todavía parece lejos de encontrar su techo. CH

LECTURAS SUGERIDAS

GOODFELLOW I, BENGIO Y & COURVILLE A, 2016, *Deep Learning*, The MIT Press, Cambridge.

JAMES G, WITTEN D, HASTIE T & TIBSHIRANI R, 2013, *An Introduction to Statistical Learning*, Springer, Berlín.

RUSSELL SJ & NORVIG P, 2009, *Artificial Intelligence: A modern approach*, Prentice Hall, Nueva Jersey.

Agustín Gravano

Doctor (PhD) en ciencias de la computación, Universidad de Columbia.
Profesor adjunto, FCEN, UBA.
Investigador adjunto del Conicet en el Instituto de Investigación en Ciencias de la Computación, UBA-Conicet.
gravano@dc.uba.ar

Crossfit cerebral

Matemática, ilusiones y humor

A partir de este número Ciencia Hoy incluye una nueva sección que tiene como objetivo principal entretener. ¿Cómo haremos eso? Mediante juegos, acertijos e ilusiones ópticas. De esa manera, mientras juguemos, ejercitaremos nuestro querido cerebro y también aprenderemos un poco de matemática, física, biología, historia y otro montón de cosas. Y por si todo esto no fuera suficiente, tenemos también una columna de humor. El origen de esta sección puede encontrarse en los libros de Yákov Perelman. Búsquenlos, ya que son clásicos. Esta sección está inspirada en ellos y es el resultado de una colaboración multidisciplinaria. Esperamos que todos disfruten ejercitándose y leyendo la sección tanto como nosotros disfrutamos haciéndola. No dejen de enviarnos sus comentarios, sugerencias y preguntas *(contacto@cienciahoy.org.ar)*. ¡A jugar!

Nicolás Pírez

Imágenes biestables

El rostro ¿se encuentra de frente o de perfil? ¡Ambos! Pero cuando miramos la foto percibimos el rostro de frente o de perfil. Estas ilusiones se conocen como imágenes biestables: en una misma imagen conviven dos posibilidades. Sin embargo, nuestro cerebro, que no puede percibir la ambigüedad de la imagen, *elige* alguna de las dos opciones. Si prestamos atención a la oreja, percibimos el rostro de frente; pero si prestamos atención a la nariz, lo percibimos de perfil. Nuestra percepción del rostro es modulada en función de los elementos donde fijemos nuestra atención.

Para más ilusiones y juegos perceptuales puede visitarse la página web del Laboratorio de la Percepción: *https://bit.ly/33qz29K*.

Adivine el próximo

Observá los siguientes números, y decidí cuáles son los que siguen:

1, 11, 21, 1211, ...

Con la misma regla, ¿cuáles siguen acá:

2, 12, 1112, 3112, ...?

Un comentario: a muchos matemáticos no les gusta esta clase de problemas porque, argumentan, con un polinomio interpolador de grado suficientemente grande se puede justificar siempre cualquier valor que nos guste agregar. Pero acá estamos buscando una regla más general, que nos dé el siguiente número en ambas sucesiones y nos permita extender la idea para cualquier número inicial.

De hecho, estas secuencias tienen su historia: un importante matemático no fue capaz de descubrir la regla, y terminó escribiendo un trabajo muy completo sobre ellas, probando, entre otras cosas, lo siguiente:

a) Hay una constante c = 1,303... (irracional) tal que el cociente de dos términos consecutivos tiende a c cuando la sucesión crece.

b) La longitud (el número de dígitos) de los términos crece como c, c^2, c^3...

c) La constante c es la única raíz positiva de un polinomio de grado 71.

d) Existen 71 números, llamados elementos, tales que, tras finitos pasos, toda secuencia se escribe concatenando estos números.

e) Hay un solo elemento x estable (llamado hidrógeno, en un derroche de imaginación), tal que sucesión es $x, x, x, x, \ldots$

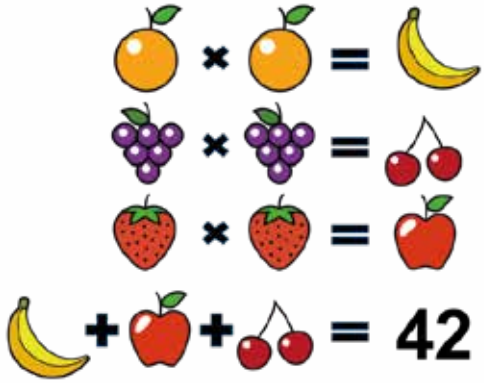
Las primeras no son fáciles de probar, pero… ¿te animás a encontrar x?

En familia

Nicolás con su hijo y Pedro con su padre se fueron a pescar. Nicolás pescó tantos como su hijo, y Pedro un tercio de los que pescó su padre.

Si entre todos trajeron 7 pescados, ¿cuántos pescó cada uno?

El sentido de la vida, el universo y todo lo demás



¿Cuánto valen , y ?

Divagaciones

Queridos lectores:

Debo confesarles que me sentí sorprendido al recibir la propuesta de escribir columnas de humor en una revista de divulgación científica, por lo que solo atiné a hacer lo que la poca lucidez de lo repentino me permitió: responder breve y conciso, usando la menor cantidad de palabras y letras posible.

En este caso, fue solo una palabra. Coincidirán en que fui ahorrativo, contribuyendo así a evitar el derroche alfabético que tanto daño le hace a nuestra ecología. Y fueron solo dos letras, que por tratarse de una *s* y una *i* tampoco alteraban el equilibrio entre vocales y consonantes, y además se trata de recursos renovables, ya que abundan en nuestro idioma. De modo que dije 'sí'.

Quizá cuestionarán ustedes (es casi un deber hacerlo, si son científicos) mi respuesta, y dirán: 'Pudiste haber dicho no'. Pues no, no pude. O no quise. O no supe.

En verdad, la respuesta es otra, como suele serlo en cada problema que la ciencia nos plantea. Este no es uno de ellos, pero no por ello no puede tener la misma explicación que los que sí lo son. Lo que ocurrió es que lo estuve midiendo, meditando y calculando largamente, y, si seguía por ese camino, mis intenciones ahorrativas iban a perderse, ya que mi psicoanalista, si le llegaba a consultar si debería o no colaborar con esta revista, iba a mirar al retrato de Freud con cara de pena, y me iba a aumentar los honorarios por preguntarle a él lo que yo mismo podía resolver.

Y esa vía del ahorro fue la que me llevó al sí. Porque sabía que con el sí terminaba la cosa. En cambio, si decía que no, ustedes ya lo pueden palpitar, se vendría automáticamente un '¿Y por qué no?', lo que llevaría a usar gran cantidad de letras y palabras, quizá algunas de ellas incunables, en el vano intento de explicar mi negativa sin tener motivo válido alguno.

En cambio el sí era fácil. O sea que la ciencia, mal mirada, es lo contrario del requerimiento sexual. O al menos, de lo que debería ser. Porque en sexo 'no, es no' y listo, mientras que 'sí' lleva a '¿Cuándo? ¿Dónde? ¿Cómo? ¿Con quién/es' y tantas otras preguntas que han engalanado las arcas de mi analista y de los de tanta otra gente.

Cuando ya obtuve mi sí y creía tener todo resuelto, me pregunté cómo iba a escribir en una revista de divulgación científica, sin tener yo el menor conocimiento de ningún tema acorde. Allí recordé las sabias palabras de un profesor, no recuerdo de qué materia, que me dijo: 'Si no puedes vencerlos, únete a ellos'. No sé si se refería a mis enemigos, a los mosquitos o a mis síntomas neuróticos, y tampoco sé a qué viene esa reflexión, pero fue lo que recordé.

Pensándolo bien, o mal, me di cuenta de que mi problema podía ser una ventaja. ¿No es acaso la ignorancia lo que lleva a un investigador a hacer su trabajo? ¿O acaso los científicos invierten años, fuerzas y afectos de su vida para averiguar lo que ya sabían?

Y, por otra parte, sentía que estaba cumpliendo con la confidencialidad necesaria en estos terrenos. Nada de lo que yo escriba implicará divulgar un secreto de Estado ni de mercado, puesto que no los conozco.

Luego de tanto prurito resuelto sin rascarme, me pregunté si los verdaderos científicos no se reirían al leer mis palabras.

Ojalá que sí… me respondí.

Rudy

#TeRegaloUnTeorema

Este apartado llamado #TeRegaloUnTeorema nos regalará un teorema en cada número. A veces serán piedras fundamentales del edificio matemático, a veces pequeños decorados o balcones para asomarse a mirar. A veces daremos demostraciones matemáticas rigurosas y otras, a falta de espacio y otro tipo de especias, los discutiremos sin llegar a una prueba. De todas maneras, siempre se aprende.

En esta primera entrega, habiendo pasado tan poco de las elecciones nacionales, se impone el...

Teorema del escrutinio

Si en una votación entre dos candidatos *n* votantes votan por A y *m* votantes votan por B (con $n > m$), la probabilidad de que A le vaya ganando a B a lo largo de todo el escrutinio es

$$p = \frac{n - m}{n + m}$$

Antes de la demostración, primero un ejemplo: si hay 5 votantes, 3 votan por A y 2 votan por B, los posibles escrutinios (el orden en que aparecen las boletas cuando se abre la urna) son los siguientes:

AAABB AABAB ABAAB AABBA ABABA
ABBAA BAAAB BAABA BABAA BBAAA

Todos tienen la misma chance y solo en los dos primeros A va ganando todo el tiempo. Entonces la probabilidad es **2 / 10 = 1 / 5 = (3 - 2) / (3 + 2).**

Fíjense que el enunciado del teorema tiene como datos la cantidad de votos que obtuvieron A y B, aunque eso no es información disponible antes de hacer el escrutinio. Está disponible al final del escrutinio, pero en ese momento la probabilidad en cuestión ya cambió, ¿no? A pesar de eso, todo esto tiene total sentido (¿lo tiene?).

El teorema también supone que las boletas se vayan sacando al azar e independientemente de la urna. No lo pusimos antes para no arruinar el enunciado, pero es una hipótesis fundamental (y ya vimos en elecciones pasadas que no siempre es válida).

Demostración del teorema del escrutinio

Llamamos un escrutinio a un posible orden en que van apareciendo las boletas, o sea, cada una de las tiras tipo AABBA del ejemplo. En la lista de arriba están los diez posibles escrutinios cuando hay 3 votos para A y 2 votos para B.

Identificamos cada escrutinio con una trayectoria como la de la figura 1, que empieza en 0, va uno para arriba si viene un voto para A y uno para abajo si es para B. Entonces nuestro problema consiste en calcular la probabilidad de que la trayectoria no toque el eje *x* (salvo al comenzar, claro).

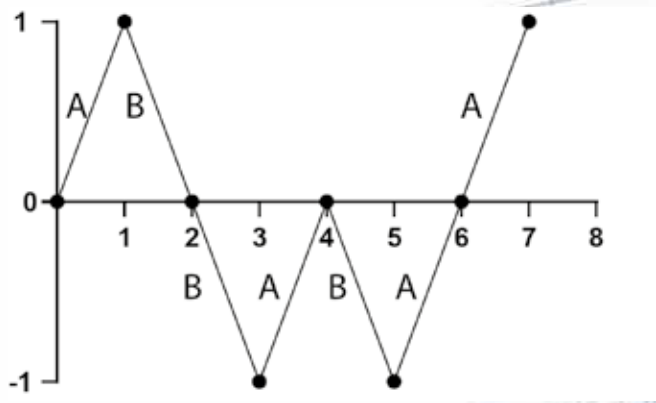


Figura 1. Un posible escrutinio con 4 votos para A y 3 para B. El orden en que salieron las boletas es ABBABAA y en este caso no ocurrió que A haya ido ganando a lo largo de todo el escrutinio. Aunque, desde ya, fue el ganador al final del recuento. Los momentos en que la trayectoria toca el eje *x* (el de abscisas) son aquellos en que el recuento está empatado.

Vamos a concentrarnos en las trayectorias en que *no* pasa eso, es decir, que vuelven al eje *x* (como en la figura 1, en que el recuento está empatado tres veces, además de al inicio). Si el primer voto es para A y la trayectoria toca el eje *x* en algún momento posterior, podemos identificarla con una trayectoria 'reflejada'. Reflejamos solo la parte de la trayectoria que está entre el momento de comenzar el escrutinio y el primer momento (sin contar el inicio) en que A y B están empatados (cuando la trayectoria vuelve a tocar el eje *x*). El resto la dejamos tal cual, como en la figura 2.

Estas trayectorias (las originales y las reflejadas) están en correspondencia uno a uno y por lo tanto tenemos la misma cantidad. Repito: tenemos la misma cantidad de trayectorias que empiezan hacia arriba y vuelven al eje *x*, que las que empiezan hacia abajo y vuelven al eje *x*.

Como todas las trayectorias son igualmente probables (¿lo son?), obtenemos que la probabilidad buscada es la siguiente:

p **= 1** – probabilidad de empate en algún momento del recuento
p **= 1** – probabilidad de que la trayectoria vuelva al eje *x*
p **= 1** – probabilidad de que la trayectoria vuelva al eje *x* y empiece ganando A o B

Acá viene la magia (seguimos la cuenta de arriba):

p **= 1 – 2 *** (probabilidad de que la trayectoria vuelva al eje *x* y empiece ganando B)

p **= 1 -2 *** (probabilidad de que empiece ganando B)

p **= 1 – 2 *** (probabilidad de que el primer voto sea para B) =

$$p = 1 - 2 \cdot \frac{m}{n + m}$$

$$p = \frac{n - m}{n + m}$$

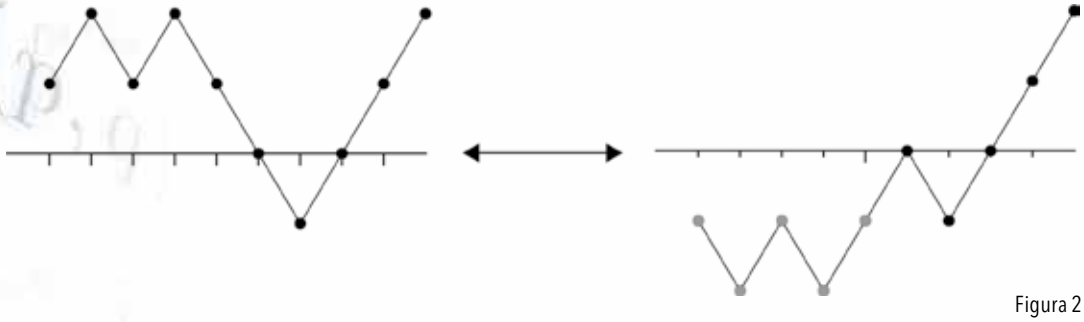


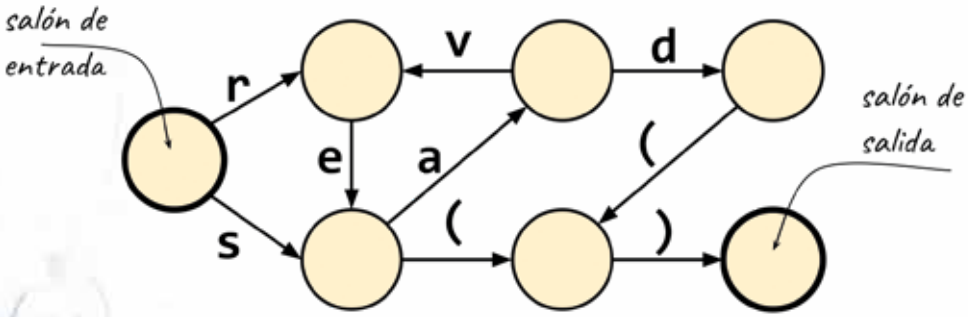
Figura 2

Por último, algunas cuestiones para reflexionar:

1) ¿Por qué es importante reflejar solo la primera parte de la trayectoria?
2) Al truco que usamos se lo llama *principio de reflexión* y es superútil para calcular probabilidades en paseos al azar, colas de atención, finanzas y fenómenos microscópicos. O sea, tiene muchas aplicaciones.

#TeRegaloUnTeorema está también en Twitter *@pgroisma*. Podés encontrar este y muchos más siguiendo el hashtag o con este código QR:

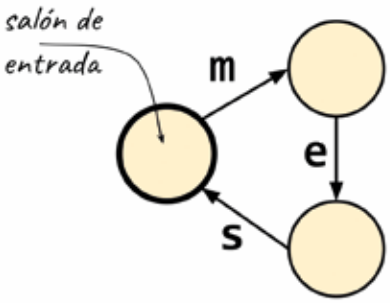
Autómatas



Estás en el salón de entrada, y tenés una palabra en la mano. A medida que vas leyendo una letra, vas pasando al salón indicado por la flecha. ¿Puedo llegar al salón de salida leyendo las siguientes palabras?

read()
read
save()
red()
saveave()

Por ejemplo, en el siguiente gráfico, con la palabra 'mes' vuelvo al salón de entrada, pero con la palabra 'mermelada' no puedo llegar a ningún lado.



Corolario:

Los programas de computadora se suelen escribir como un texto muy riguroso y esquemático, que debe respetar las reglas de un lenguaje. ¿Cómo sabemos si un texto escrito respeta las reglas del lenguaje? Utilizando un 'mapa de salones' similar a este, que se conoce como *autómata*.

Soluciones

Adivine el próximo

John Horton Conway publicó en *Eureka 46* (1986: 5-16) el trabajo 'The weird and wonderful chemistry of audioactive decay', probando los puntos que mencionábamos. Ya parte del título, 'decaimiento audioactivo', nos sugiere cómo se forman: partiendo de un número inicial, digamos el 1, los siguientes se leen así:

11 (un uno), 21 (dos unos), 1211 (un dos, dos unos), 111221 (un uno, un dos, dos unos), etcétera.

El único elemento estable es x = 22.

Respecto del punto (d), que tras finitos pasos todo número de la secuencia se escribe concatenando algunos de los 71 bloques elementales, existieron dos demostraciones, pero se perdieron. El resultado se conoce como el teorema cosmológico perdido (*the lost cosmological theorem*).

En familia

Pedro solo pudo pescar 1, y su padre 3, con otra opción (2 y 6, 3 y 9) nos pasamos de 7, que es lo que pescaron en total. Ahora, Nicolás y su hijo pescaron 1 + 1, 2 + 2 o 3 + 3, siempre un número par, que sumado al 1 + 3 nunca puede darnos 7. Así que la única solución posible es que Pedro sea el nieto de Nicolás, y pescaron 3, 3 y 1.

El sentido de la vida, el universo y todo lo demás

Las frutas que vemos, desde luego, no tienen importancia alguna en este problema. Representan incógnitas. Por ejemplo, si llamamos *x* a la naranja y X a la banana, la primera ecuación dice que $x^2 = X$. Así, la cuarta ecuación, que es la que nos interesa resolver, se puede leer como $x^2 + y^2 + z^2 = 42$.

Lo que buscamos entonces es escribir al 42 como suma de cuadrados, un tipo de problemas que viene siendo estudiado desde la antigua Grecia. El hecho de que todo cuadrado sea positivo implica que las posibles soluciones estén acotadas: si alguno de los valores de *x*, *y* o *z* es demasiado grande, entonces $x^2 + y^2 + z^2$ será mayor que 42. Por eso es que se puede encontrar una solución por simple inspección, si es que la hay; además, el conjunto de soluciones, de ser no vacío, será finito. Por ejemplo, x =1, y = 4, z = 5 es la solución.

Más allá de la inspección, el teorema de los tres cuadrados de Legendre asegura la existencia de una solución (*https://en.wikipedia.org/wiki/Legendre%27s_three-square_theorem*). Muy distinta es la situación con la ecuación $x^3 + y^3 + z^3 = 42$, que fue resuelta este año (*https://www.lanacion.com.ar/sociedad/enigma-de-la-suma-de-tres-cubos-matematicos-encuentran-la-solucion-final-despue-nid2287107*).

Autómatas

Las únicas respuestas posibles son:

read(), save(), saveave().

Equipo de la sección 'Matemática, ilusiones y humor'

Nicolás Fernández Larrosa
Biólogo, IFIBYNE, UBA-Conicet
fernandezlarrosanicolas@gmail.com

Juan Pablo Pinasco
Matemático, UBA-Conicet
jpinasco@gmail.com

Rudy
Humorista
marcelorudy10@gmail.com

Nicolás Sirolli
Matemático, UBA-Conicet
nsirolli@dm.uba.ar

Pablo Groisman
Matemático, UBA-Conicet
pgroisma@dm.uba.ar

Nicolás Pírez
Neurobiólogo, IFIBYNE, UBA-Conicet
npirez@gmail.com

Alfredo Sanzo
Ingeniero, ICC, UBA-Conicet
alfredo.sanzo@gmail.com

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Yateí: la abeja nativa que cura, alimenta y conserva el ambiente

Su miel fue incorporada al Código Alimentario Argentino y se consolidará como un recurso genuino de las comunidades del norte del país. A través de la etnobiología, investigadores del CONICET estudian sus usos e importancia cultural.

Por Cecilia Fernández Castañón
CCT CONICET Nordeste

Hasta hace pocos meses, el Código Alimentario Argentino indicaba que miel era el producto proveniente de las abejas obreras, haciendo referencia a la especie *Apis mellífera,* originaria de Europa y distribuida en todo el mundo. Una reciente modificación incorporó a esta categoría a la sustancia que producen las meliponas *Tetragonisca fiebrigi*, conocidas popularmente como yateí o rubita, convirtiéndola en un recurso genuino para múltiples comunidades del norte del país que crían y utilizan estos insectos desde hace varios siglos.

La miel de las abejas nativas sin aguijón es usada como medicina y como alimento, tanto por grupos de pueblos originarios como por descendientes de inmigrantes, según reportaron diversos estudios realizados durante la última década por investigadores del CONICET en distintas provincias. Además de resaltar su importancia cultural y nutricional, aseguran que mantener y valorizar la cría de meliponas podrá ayudar a la conservación del ambiente, mediante la preservación de fragmentos de bosques nativos que, a su vez, servirán de soporte para la recuperación de especies.

Para lograr la incorporación de la miel de yateí al Código nacional, fueron necesarias múltiples acciones provenientes de distintos sectores comunitarios, gubernamentales y académicos. “Requirió un trabajo de equipo multidisciplinario, que fue muy largo e intenso, similar al que hacen estas abejas para producir su miel”, compara la investigadora independiente del CONICET en el Instituto de Biología Subtropical (IBS, CONICET - UNaM), Norma Hilgert.

Es que, para producir apenas un litro de miel, una colonia compuesta por 5 mil abejas trabaja todo un año. Esto convierte a la producción de las yateí en un bien sumamente preciado para las comunidades, donde la utilizan selectivamente para fines específicos o la comercializan a más de 100 dólares por litro.

De acuerdo al grupo cultural y a la especie de abeja que prospere en cada ambiente, en los estudios realizados por investigadores del CONICET se han reportado más de 400 usos distintos de las mieles -solas o combinadas con plantas-, que van desde el tratamiento de infecciones en la piel o en el sistema respiratorio hasta la cura de cataratas. “También se la utiliza como un suplemento para fortalecer el sistema inmunológico de los niños. Por ejemplo, es muy frecuente darles a los niños una cucharadita de miel de yateí antes de ir a la escuela”, comenta Hilgert, quien desde hace varios años se involucró en estudios vinculados a las meliponas nativas desde la etnobiología.

Una miel por cada región

En Argentina, las meliponas están distribuidas principalmente en las provincias del Norte, llegando incluso hasta algunas regiones de Catamarca y Buenos Aires. Misiones es la que tiene mayor trayectoria en el aprovechamiento de este recurso y hace más de 30 años promueve talleres sobre el manejo de las abejas en los que, junto a los pobladores, se definen las mejores prácticas de cría, se establecen los métodos para mudar un nido desde un árbol a una caja y se evalúa cuál es el momento más adecuado para iniciar la cosecha.

Pese a esta vasta experiencia, los emprendimientos vinculados a la miel de yateí no lograron el desarrollo esperado en las últimas décadas porque la producción no podía comercializarse formalmente. La incorporación al Código es el primer paso para lograr las certificaciones y registros necesarios para que se pueda vender en mercados oficiales.

La próxima instancia en el proceso de valorización de la producción melífera, explican los investigadores, es la caracterización por regiones. “Tenemos evidencia de que estas abejas prefieren la flora nativa y que particularmente usan el néctar de especies frutales silvestres que, a su vez, se emplean para hacer dulces. Con un trabajo organizado, se van a poder obtener no sólo mermeladas regionales, sino también mieles exclusivas de cada zona”, agrega Hilgert.

Además, adelanta que está previsto que se registren mieles de otras cuatro especies de meliponas, características de otros ambientes y valoradas por diferentes grupos culturales. “Uno de los objetivos es que estos recursos puedan convertirse en un ingreso más para el sistema diversificado que tienen los productores locales, que en sus chacras se dedican a distintos cultivos y hacen un aprovechamiento integral. De esa manera, se potencian las economías nativas sustentables y se fortalecen los sistemas productivos familiares, además de contribuir al mantenimiento de las funciones ecosistémicas a partir de la promoción de la presencia de estos insectos nativos polinizadores”, destaca la investigadora.

Soberanía alimentaria y conservación

Desde la etnobiología, los investigadores navegan entre los marcos teóricos de la biología y la antropología para estudiar los usos y el manejo que los distintos grupos humanos hacen de los recursos de la naturaleza. El abordaje pone en primer plano al vínculo que se establece entre la persona y el recurso, analizando tanto el uso como la manera en la que se adquiere y transmite el conocimiento.

La valorización de la meliponicultura en cada una de las regiones del país en las que están presentes las abejas sin aguijón será un modo de fortalecer la soberanía alimentaria, que es el derecho que tienen los pueblos a elegir qué producir y consumir. “Cuando hablamos de sistemas productivos locales nos referimos a aquellos que están vinculados a recursos silves-

tres o a aquellos naturalizados que han sido incorporados al acervo cultural local, es decir a recursos que se renuevan de manera natural. Esto es fundamental para generar identidad, además de aportar a la economía familiar", explica Hilgert, al tiempo que aclara que la producción de miel de yateí no debe ser vista como una oportunidad de enriquecimiento de los productores o una alternativa de explotación a escala masiva.

"La lógica industrial, aplicada a sistemas productivos diversificados de mediana o pequeña envergadura, generalmente no se lleva bien con la conservación. Lo que buscamos es hacer un aporte a través del uso", advierte la investigadora. Una posible estrategia para lograr este fin será la recuperación de fragmentos de bosques nativos que están empobrecidos en terrenos privados. "Los dueños de las chacras verán que es una buena alternativa volver a plantar especies nativas porque son usadas por las yateí para hacer miel. Esto no sólo les permitiría generar productos únicos, sino que también les dará valor a esos remanentes que, a su vez, serán de ayuda para la recuperación de la biodiversidad", agrega.

Colmenas en riesgo

Por múltiples causas vinculadas con deterioro del ambiente, las abejas de la especie *Apis mellifera* están en declive, con casos de mortandad masiva en los nidos y escasez de producción de miel en muchos países del mundo. Aunque en Argentina aún no se registra este fenómeno, la posibilidad de que las colmenas locales sean afectadas está motivando el interés de los apicultores en el uso de abejas nativas.

Los trabajos de los etnobiólogos señalan que el conocimiento acerca de las meliponas se está fragmentando. "En las comunidades, encontramos gente mayor que sabe cuáles son las meliponas que producen remedios y para qué usarlos en muchas recetas diferentes, pero ya no van al campo. Por otro lado, están los jóvenes que saben dónde están las abejas y cómo cosecharlas, pero no saben exactamente cómo se llaman. Eso significa que estamos ante el riesgo de que se pierda la información. A esto hay que sumarle que las poblaciones de algunas especies están mermando debido a las modificaciones en el ambiente", explica Hilgert, quien confía que la incorporación de la miel de yateí al código alimentario genere un impulso comercial que se traduzca en un interés renovado por todo el elenco de meliponas. ■

Colmena de yana o negrita (*Scaptotrigona jujuyensis*), que produce más miel que la yateí, y posee otro sabor, color, aromas y propiedades medicinales. Es una especie complementaria y/o alternativa a la yateí. Foto Favio G Vossler

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Revelan cómo cambiaron los glaciares de la Cordillera de los Andes en los últimos veinte años

El trabajo se realizó con imágenes satelitales tomadas entre 2000 y 2018 y fue publicado en Nature. Permitirá mejorar las predicciones sobre el impacto del cambio climático.

Por Cintia Kemelmajer

Una de las experiencias más singulares del turismo en Argentina es observar de cerca la belleza gélida de un glaciar como el Perito Moreno, a orillas del Lago Argentino de la provincia de Santa Cruz. Pero los glaciares son mucho más que apenas espectáculos naturales: ocupan más de 31 mil kilómetros cuadrados de hielo a lo largo de toda la Cordillera de los Andes –que se extiende desde Venezuela hasta Tierra del Fuego- y en algunas regiones áridas –como en La Paz, Bolivia- son fuente de agua a las ciudades; en otras –como al sur del continente- repercuten en el aumento del nivel del mar; y además, cumplen la función de ser uno de los mejores indicadores del cambio climático. Es que los glaciares son muy sensibles a los cambios del clima y si la temperatura general aumenta, los glaciares se derriten más; pero si las precipitaciones aumentan, los glaciares crecen. Esos elocuentes cambios en el volumen de los glaciares, que denotan cómo cambia el clima, fueron estudiados recientemente por un grupo internacional de científicos, entre los que participaron tres investigadores del CONICET, que pudieron acceder y comparar por primera vez imágenes satelitales de toda la Cordillera de los Andes tomadas entre el 2000 y el 2018. El trabajo acaba de publicarse en la revista Nature Geoscience.

"En este trabajo pudimos analizar por primera vez la evolución de todos los glaciares de las diferentes zonas climáticas de los Andes durante los últimos veinte años. Comparamos más de treinta mil modelos digitales de terreno, realizados a partir de pares de imágenes estereoscópicas del satélite Aster, que nos permitieron alcanzar un nivel de precisión inédito", explica el investigador del CONICET Lucas Ruiz, que junto con Pierre Pitte y Mariano Masiokas -los tres investigadores del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)- participaron del paper desde Argentina. El equipo de científicos, liderado por Inés Dussaillant de la Universidad de Toulouse, se completa con colegas de diferentes instituciones de Francia.

Al superponer los distintos modelos digitales de terreno en el tiempo, los científicos pudieron observar las diferencias de elevación de los glaciares y medir los cambios en el volumen de los mismos. "Registramos si un glaciar se adelgazó o se engrosó", aclara Ruiz. "Además, pudimos verificar que el cambio de volumen de los glaciares varia espacial y temporalmente: vimos, por ejemplo, que la pérdida de masa en los glaciares ubicados en los trópicos y en el sur de la Patagonia se mantuvo a una tasa elevada y constante en los últimos veinte años. Pero en los Andes Áridos y del Norte de la Patagonia, desde Salta hasta el sur de Chubut, entre 2009 y 2018 los glaciares perdieron masa a una tasa más elevada que entre 2000 y 2009, lo que marca que hubo un cambio de régimen climático".

Los científicos asociaron este aumento en la pérdida de masa glaciar en la región central de los Andes con la megasequía que está sufriendo la región en el último tiempo. En los Andes de Mendoza y San Juan, puntualmente, entre el 2010 y el 2018, se registró uno de los períodos más secos de la historia. "Este aumento en la pérdida de masa de los glaciares en esta región coincide temporalmente con la sequía y parcialmente el aumento del derretimiento de los glaciares logro mitigar su efecto: como nevaba menos en cordillera, el caudal del río debía ser menor, pero al tener un aumento en el derretimiento de los glaciares, estos entregaron más agua en el río y mitigaron este efecto. Es decir que tener estos glaciares en la región hizo que la sequía no sea tan severa. El problema –advierte Ruiz- es que, si los glaciares se siguen achicando, en el futuro no vamos a tener esa `caja de ahorro` desde donde sacar agua, que son los glaciares".

Este paper marca una referencia para otros colegas, por el nivel de detalle que tiene el estudio que realizaron los científicos y la posibilidad que brinda de ver cómo está cambiando el derretimiento o el cambio de volumen de los glaciares. "Además, tener esta información a lo largo de la Cordillera nos va a permitir calibrar mejor los modelos que usamos nosotros para ver cómo van a ser los glaciares en el futuro y así hacer mejores pronósticos a largo plazo. Nuestra incertidumbre sobre qué va a pasar con los glaciares en el futuro va a disminuir, gracias a este trabajo", asegura Ruiz.

Los estudios sobre las proyecciones de cambio de los glaciares en el futuro hasta ahora vaticinaban que hacia finales de este siglo, en los escenarios más optimistas, el volumen perdido de los glaciares sería de un treinta por ciento del volumen actual. Mientras que en los escenarios más pesimistas, si las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente siguieran siendo como hasta ahora, la pérdida de volumen glaciares sería el doble: desaparecería un sesenta por ciento del volumen actual. "Estos estudios, hasta ahora, estaban hechos en base a modelos calibrados con datos puntuales de algunos glaciares. Con este nuevo estudio, tenemos información de referencia mucho más fidedigna sobre cómo cambiaron todos los glaciares a lo largo de los Andes y cómo influirá eso en el medioambiente –concluye Ruiz-. Así podremos tener más certezas de los escenarios futuros". ■

Referencia bibliográfica:

Dussaillant, I.; Berthier, E.; Brun, F.; Masiokas, M.; Hugonnet, R.; Favier, V.; Rabatel, A; Pitte, P.; Ruiz, L. (2019) "Two decades of glacier mass loss along the Andes". *Nature Geoscience*. *https://doi.org/10.1038/s41561-019-0432-5*

CAMPAÑA SOUTHTRAC

Lanzan una campaña sin precedentes para estudiar la atmósfera

Se medirán aspectos dinámicos y químicos hasta ahora desconocidos de su estructura vertical, entre el sur argentino y la península Antártica, mediante instrumentos de última generación.

Por Miguel Faigón

La campaña *Transport and Composition of the Southern Hemisphere Upper Troposphere and Lower Stratosphere* (SOUTHTRAC), como su nombre lo indica, tiene como propósito conocer diversos aspectos de la estructura vertical de los procesos atmosféricos en el hemisferio sur, esto es, desde sus capas más cercanas a la superficie terrestre hasta a más de 90 kilómetros de altura.

El proyecto, que tendrá lugar en el sur argentino –sus bases operacionales se ubicarán en las localidades Río Grande (Tierra del Fuego) y El Calafate (Santa Cruz)- cuenta con la cooperación de investigadores del CONICET (Universidad Austral, Universidad Tecnológica Nacional y Universidad Nacional de Cuyo) y del Servicio Meteorológico Nacional, así como de varias decenas de especialistas de Alemania y de universidades de Chile y del Instituto Antártico Chileno. Cinco serán las instituciones científicas alemanas involucradas: *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (Munich), *Forschungszentrum Jülich*, *Karlsruhe Institute of Technology*, Universidad de Mainz y Universidad de Frankfurt.

Se trata de un experimento de características inéditas, debido a que las mediciones de los procesos, tanto dinámicos como químicos de la atmósfera, se realizarán desde el suelo, con satélites e –*in situ*- desde una aeronave alemana, GULFSTREAM G550. Esta última, ha sido equipada con instrumentos de última generación y hará varios vuelos cruzados a través de la Patagonia sur, sobre los Andes y sobre la península Antártica. Además, se contará con dos planeadores STEMME S-10, equipados con instrumental de medición a bordo, capaces de realizar vuelos de larga distancia y a gran altura a sotavento del sector argentino de la cordillera.

La importancia especial de esta tarea radica en que es la primera vez se van a estudiar en forma integral, los aspectos dinámicos y químicos de la atmósfera del sur de la Patagonia y de la península Antártica.

Dinámica de la atmósfera

La primera etapa de la campaña tuvo lugar entre septiembre y octubre de este año y se centró en los llamados aspectos dinámicos de la actividad atmosférica, vinculados principalmente al comportamiento de las ondas de gravedad. Se sabe que éstas últimas tienen una incidencia fundamental en la circulación general de la atmósfera, en la determinación precisa de pronósticos meteorológicos y en la turbulencia que afecta a la aeronavegación. Esta parte contó con la participación de investigadores del CONICET que pertenecen al Grupo de Investigación en Dinámica de la Atmósfera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Austral, que dirige Alejandro de la Torre, investigador principal del Consejo.

"Al igual que sucede con el agua del mar, la atmósfera, lejos de estar en reposo, se encuentra permanentemente perturbada. Lo que nosotros hacemos es, justamente, estudiar estas perturbaciones u ondas atmosféricas, responsables del transporte vertical de energía y de cantidad de movimiento, para poder entender y pronosticar mejor el comportamiento de la atmósfera a escala global", explica de la Torre.

La región donde se tomaron las mediciones fue elegida porque es un sector de la atmósfera donde se sabe que existe una enorme actividad de ondas de gravedad, del cual, paradójicamente, se dispone actualmente de muy escasa información experimental.

"El área seleccionada es significativa además porque coincide con la formación del vórtice polar antártico, un elemento de la circulación de la atmósfera de cuya dinámica casi no hay mediciones, pero que tiene gran importancia global. En Argentina nos va a servir, entre otras cosas, para conocer mejor las incursiones de aire frío. Además, va a posibilitar inferir también cómo funciona el vórtice polar ártico", afirma Rodrigo Hierro, investigador adjunto del CONICET e integrante del grupo que dirige de la Torre.

"Los modelos globales de circulación de la atmósfera que se usan para hacer el pronóstico no toman en cuenta la influencia de las ondas de gravedad. Poder incluirlas, además de permitir hacer mejores predicciones sobre el clima, va a posibilitar tener información en tiempo real de posibles turbulencias de la atmósfera a alturas que afectan a la aeronavegación", explica de la Torre, cuyo grupo ya trabajó en numerosas ocasiones en el análisis de datos atmosféricos con varias instituciones extranjeras, algunas de las cuales forman parte de esta investigación.

Química y composición atmosférica

La segunda fase de la campaña se realizará entre noviembre y diciembre de este año y estará destinada al estudio de los procesos químicos y de composición de la atmósfera. Esta parte de la investigación involucrará dos proyectos distintos que cuentan con la participación de investigadores del CONICET de la regional mendocina de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Uno de estos proyectos estará a cargo de Enrique Puliafito, investigador independiente del Consejo, y se centrará en obtener información aérea *in situ* de contaminantes y de aerosoles relacionados con la quema de biomasa, los cuales tienen efectos potenciales sobre la precipitación, las propiedades de las nubes y el balance radiactivo.

También durante esta segunda etapa, el investigador adjunto del CONICET, Rafael Pedro Fernández, tendrá bajo su responsabilidad un proyecto que buscará evaluar el impacto que poseen los Halógenos tipo VSL sobre la destrucción del ozono estratosférico en la periferia del vórtice polar antártico, donde debido a las bajas temperaturas, la existencia de cristales de hielo y los altos niveles de radiación, se incrementa la química de reciclado heterogéneo que destruye catalíticamente al ozono. ■

Jaime García Número 46 Enero-junio de 2020

GUÍA del cielo NOCTURNO

Cómo utilizar esta guía

El objetivo es que esta guía sea útil para toda la Argentina, de modo que las horas utilizadas están en hora legal argentina, correspondiente al huso horario -3; sin embargo, la salida, culminación y puesta del Sol y otros fenómenos como tránsitos y eclipses están calculados para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y, por lo tanto, deben realizarse las correcciones correspondientes. Hemos sido más concisos en la versión impresa, de modo que si se desea una mayor explicación será necesario recurrir a la versión en línea *http://cienciahoy.org.ar/guia-del-cielo/*. En la Guía Nº 38 (Ciencia Hoy, 25, 146, p. 61, noviembre-diciembre de 2015) incluimos un glosario para facilitar la comprensión de la terminología utilizada que puede consultarse ahí o en la versión en línea.
En la tabla de visibilidad de los planetas incluimos, para los planetas exteriores, la constelación donde se lo puede localizar a mediados del mes. Para cada mes, incluimos una lista de constelaciones seleccionadas, con sus respectivos objetos difusos destacados para observar en las noches oscuras del mes, próximas a la Luna nueva.

Tabla de visibilidad de los planetas

2019	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Mercurio	No visible	Crepúsculo vespertino	Crepúsculo matutino	Crepúsculo matutino	Crepúsculo vespertino	Crepúsculo vespertino
Venus	Del anochecer a 22:20h	Del anochecer a 21:50h	Del anochecer a 21:20h	Del anochecer a 20:40h	Crepúsculo vespertino	No visible
Marte	De 3h al amanecer en Libra	De 2:10h al amanecer en Ophiuchus	De 1:40h al amanecer en Sagittarius	De 1:20h al amanecer en Capricornus	De 1h al amanecer en Capricornus	De 0:40h al amanecer en Aquarius
Júpiter	No visible	De 4h al amanecer en Sagittarius	De 2:30h al amanecer en Sagittarius	De 1h al amanecer en Sagittarius	De 23h al amanecer en Sagittarius	De 21h al amanecer en Sagittarius
Saturno	No visible	De 5h al amanecer en Sagittarius	De 3:30h al amanecer en Sagittarius	De 1:30h al amanecer en Capricornus	De 23:30h al amanecer en Capricornus	De 21:30h al amanecer en Capricornus
Urano	Del anochecer a 1:30h en Aries	Del anochecer a 23:30h en Aries	Del anochecer a 21:30h en Aries	Crepúsculo vespertino en Aries	No visible	De 5h al amanecer en Aries
Neptuno	Del anochecer a 23:30h en Aquarius	Del anochecer a 21:30h en Aquarius	Crepúsculo vespertino en Aquarius	No visible	De 3:30h al amanecer en Aquarius	De 1:30h al amanecer en Aquarius

ENERO

DJ 2458850 (ENERO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida

(1) 5:44
(15) 5:57

Puesta

(1) 20:10
(15)20:09

3 1:47

10 16:23

17 10:00

24 18:44

2 Centenario del natalicio de Isaac Asimov (1920-1992), gran divulgador científico de origen ruso.

5 La Tierra pasa por su perihelio: 147.091.149km del Sol, a las 4:48h.

10 Coincidente con la Luna llena, que se produce a las 16:23, tendrá lugar un eclipse penumbral lunar a las 16:10 pero no será visible desde Sudamérica.
Mercurio en conjunción superior con el Sol, a las 12h.

13 Saturno en conjunción con el Sol, a las 11h.

21 Por estos días, Marte, Júpiter, la Luna y Antares se reúnen poco antes del amanecer hacia el este, y hacia fin de mes Saturno reemplaza a la Luna.

24 Luna nueva, época de cielo oscuro. El cambio de fase tiene lugar a las 18:44.

27 Venus pasa a 0,07° al sur de Neptuno, a las 17h, buena oportunidad para ver al último planeta del sistema solar con unos buenos binoculares o con pequeños telescopios en el crepúsculo vespertino. Próxima a ellos estará la Luna creciente.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 24/1)

Selección de constelaciones visibles en enero (1/1 a las 23h, 15/1 a las 22h, 30/1 a las 21h).
Del cielo austral: Dorado (el pez dorado), Pictor (el caballete del pintor), Tucana (el tucán) y Mensa (el monte de la mesa). **Del boreal:** Taurus (el toro).
Objetos destacados: en Dorado y Mensa, se destaca la Nube Mayor de Magallanes, con su maravillosa nebulosa Tarántula (NGC 2070), una región accesible a un buen par de binoculares o a un pequeño telescopio (6 a 12,5cm de apertura). En Pictor, encontramos la estrella doble iota Pictoris, bastante brillante y fácil de separar con pequeños instrumentos. En Tucana se destacan la Nube Menor de Magallanes, con sus pequeños cúmulos galácticos, y dos cúmulos globulares: 47 Tucanae (NGC 104, muy brillante) y NGC 362, el popular *Tucanito*. Ya Taurus presenta varios objetos interesantes, partiendo por las Híades y las Pléyades (las famosas 7 cabritas o 7 hermanas), dos cúmulos galácticos visibles a ojo desnudo. A ellas se suma la nebulosa M1, remanente de supernova, que es un objeto desafiante para telescopios de entre 15 y 20cm de apertura.

Región de la Nube Mayor de Magallanes con la nebulosa de la Tarántula.

FEBRERO

DJ 2458881 (FEBRERO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 6:13
(14) 6:26

Puesta
(1) 20:01
(14)19:49

1 22:43 — **9** 4:34 — **15** 19:19 — **23** 12:33

7 a 8	Máximo de la lluvia de meteoros alfa Centauridas (102 ACE); activas entre 31/1 y 20/2; THZ entre 6 y 25; radiante entre alfa y beta Centauri. Al instante de máximo (a las 10h del 8 de febrero) no lo favorece la Luna prácticamente llena, que se produce el 9 de febrero a las 4:34.
9	Luna llena de perigeo ('superluna'). El cambio de fase a las 4:34 y el perigeo lunar ocurren el 10 de febrero a las 17:31.
10	Mercurio en máxima elongación este: 18,19°, a las 11h.
12	Mercurio en su perihelio, a las 2:05 (distancia al Sol: 0,307UA = 45.926.546km).
18	La Luna menguante pasará muy próxima a Marte antes del amanecer mirando al este y se producirá una ocultación diurna para el sudeste de Argentina, a eso de las 10 de la mañana.
19	La Luna menguante pasará muy próxima a Júpiter antes del amanecer mirando al este y al día siguiente lo hará junto a Marte y a la estrella Antares.
23	El novilunio producirá la noche de cielo oscuro del mes, con el cambio de fase a las 12:33h.
25	Mercurio en conjunción inferior con el Sol, a las 23h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL23/2)

Selección de constelaciones visibles en febrero (1/2 a las 23h, 15/2 a las 22h, 29/2 a las 21h)
Canis Major (el can mayor), Monoceros (el unicornio) y Auriga (el cochero).
Objetos destacados: esta vez nos ocuparemos de cúmulos galácticos. En Canis Major además de M41 se destacan NGC 2360, 2354 y 2345, todos accesibles a pequeños telescopios de 6 a 8cm de apertura. En Monoceros encontramos M50, NGC 2335, 2232 y 2343. Ya en la constelación bien boreal de Auriga, región no muy brillante de la Vía Láctea, M38 y M36, pero se destaca M37 cuyas estrellas componentes están muy apiñadas semejando el aspecto de un cúmulo globular.

MARZO

DJ 2458910 (MARZO 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida

(1) 6:41
(14) 6:53

Puesta

(1) 19:30
(14)19:11

2 16:59 | **9** 14:48 | **16** 6:36 | **24** 6:30

8	Neptuno en conjunción con el Sol, a las 9h.
9	Luna llena de perigeo ('superluna'). El cambio de fase será a las 14:48h y el perigeo lunar, el 10 de marzo a las 3:33h.
14 a 15	Máximo de la lluvia de meteoros gamma Nórmidas (118 GNO), activas entre 25/2 y 28/3; THZ 6; radiante próxima a gamma Normae. Este año se verá parcialmente favorecida por la Luna menguante.
18	A partir de la madrugada de este día comenzará una danza de planetas antes del amanecer que involucra primero a Marte, Júpiter, Saturno y la Luna menguante. Este espectáculo para madrugadores continuará hasta fin de mes, en la constelación de Sagittarius. Para la Patagonia, antes del crepúsculo matinal se producirá la ocultación de Marte por la Luna, a las 5:19h.
19	Venus en su perihelio, a las 23:09h (distancia al Sol: 0,718UA = 107.411.271km).
20	Equinoccio de otoño, en el hemisferio sur, de primavera en el norte, a las 0h51m9s. Al amanecer, los planetas Marte y Júpiter estarán separados por tan solo 42', algo más del diámetro de la Luna llena. Se lo podrá apreciar a simple vista, en la constelación de Sagittarius, antes de la salida del Sol, mirando hacia el este.
23	A las 2:15 se producirá el máximo acercamiento, 41'', entre el planeta Marte (magnitud 0,88) y el planeta enano Plutón (magnitud 14,34). Solo visible con telescopios de 25cm de apertura o más. Mercurio en máxima elongación oeste: 27,78°, a las 23h.
24	Venus en máxima elongación oeste: 46,07°, a las 19h. La Luna nueva producirá la noche de cielo oscuro de marzo, el cambio fase será a las 6:30.
26	Al amanecer, los planetas Marte y Júpiter estarán separados por tan solo 42', algo más del diámetro de la Luna llena. Se lo podrá apreciar a simple vista, en la constelación de Sagittarius, antes de la salida del Sol, mirando hacia el este.
27	Mercurio en su afelio a la 1:43h (distancia al Sol: 0,467UA = 69.862.206km).
31	Al amanecer, los planetas Marte y Saturno estarán separados por 1°, equivalente a dos diámetros de la Luna llena. Se lo podrá apreciar a simple vista, en la constelación de Capricornus, antes de la salida del Sol, mirando hacia el este.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL24/3)

Selección de constelaciones visibles en marzo (1/3 a las 23h, 15/3 a las 22h, 31/3 a las 21h)

Del cielo austral, el grupo del navío Argos: Carina (la quilla), Vela (las velas), Puppis (la popa). **Del boreal:** Gemini (los gemelos).

Objetos destacados: se destacan la región de eta Carina, con su bella nebulosa NGC 3372, y los cúmulos galácticos NGC 3293, 3532, 3572 y 3590. Además, en el asterismo del Rombo, el muy notable cúmulo galáctico llamado las Pléyades australes. Todo esto es accesible con binoculares o pequeños telescopios. En Vela, se encuentra un bello y destacado cúmulo globular, NGC 3201. En Puppis destacamos los cúmulos galácticos M46 (que incluye la bella nebulosa planetaria NGC 2438) y M47. En Gemini se destaca M35, entre los otros cúmulos abiertos NGC 2158 y 2129 e IC 2157.

Nebulosa de eta Carinae NGC3372.

ABRIL

DJ 2458941 (ABRIL 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 7:07
(14) 7:18

Puesta
(1) 18:48
(14) 18:29

1 7:23 | **7** 23:37 | **14** 19:58 | **22** 23:27 | **30** 17:40

3	El planeta Venus pasará entre las Pléyades, el brillante cúmulo galáctico M45 de la constelación de Taurus. Visible a partir del fin del crepúsculo vespertino, mirando hacia el oeste.
7	Luna llena de perigeo ('superluna'). El cambio de fase será a las 23:37h y el perigeo lunar, a las 15:08h.
8	En Marte se produce el comienzo del otoño en el hemisferio norte y la primavera en el sur.
17 a 19	Tendrá lugar la Star Party Valle Grande 2020, 16ª edición, uno de los eventos astronómicos más populares entre los aficionados: http://institutocopernico.org/starparty.php.
22	La Luna nueva marca la noche más oscura del mes. El cambio de fase ocurre a las 23:27h.
24	Máximo de la lluvia de meteoros pi Púpidas (PPU), activas entre 15 y 28/4; THZ variable hasta 40; radiante próxima a pi Puppis. La Luna apenas creciente, de dos días de edad, favorece las condiciones de observación de esta lluvia.
26	Urano en conjunción con el Sol, a las 7h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL22/4)

Selección de constelaciones visibles en abril (1/4 a las 23h, 15/4 a las 22h, 30/4 a las 21h)

Del cielo austral: Norma (la regla) y Triangulum Australe (el triángulo austral). **Del boreal:** Leo (el león).

Objetos destacados: en Norma abundan los cúmulos galácticos, destacando NGC 6067, 6087, 6134, 6152 y 6169, todos aptos para binoculares. En Triangulum Australe, encontramos NGC6025, un cúmulo estelar abierto brillante, accesible a telescopios de 6 a 8cm de apertura. En Leo nos encontraremos con una gran cantidad de galaxias, accesibles a instrumentos medianos (entre 114 y 150mm de apertura). Se destacan las espirales M95, M96, NGC 3521 y el bello triplete formado por M65, M66 y NGC 3628. Por el lado de las galaxias elípticas, el sitial de honor lo lleva M105.

MAYO

DJ 2458971 (MAYO 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 7:30
(15) 7:41

Puesta
(1) 18:11
(15) 17:59

7 7:48 | **14** 11:04 | **22** 14:40 | **30** 0:32

4	Mercurio en conjunción superior con el Sol, a las 18h.
5 a 6	Máximo de la lluvia de meteoros eta Aquaridas (ETA), activa entre 19/4 y 28/5; THZ entre 40 y 85; radiante próxima a eta Aquarii. Como el máximo tendrá lugar a las 11h del 6 de mayo y la Luna llena ocurre el 7 de mayo, a las 7:48h, no favorecerá su observación.
7	Luna llena de perigeo ('superluna'). El cambio de fase será a las 7:48h y el perigeo lunar, el 6 de mayo a las 0:03h.
10	Mercurio en su perihelio, a la 1:20 (distancia al Sol: 0,307UA = 45.926.546km).
22	El cambio de fase a Luna nueva se produce a las 14:40, marcando la noche más oscura del mes. Los planetas Mercurio y Venus se reúnen en conjunción en el crepúsculo vespertino a muy poca altura sobre el horizonte oeste.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL22/5)

Selección de constelaciones visibles en mayo (1/5 a las 22h, 15/5 a las 21h, 30/5 a las 20h)

Hydra (la medusa) y Corvus (el cuervo).

Objetos destacados: la extensa constelación de Hydra presenta la galaxia espiral quizá más bella del cielo austral, M83. Otro objeto notable de Hydra es la nebulosa planetaria *Fantasma de Júpiter*, NGC3242. Ambos son perfectos para un telescopio de 20cm de apertura. En Corvus se destaca delta Corvi, una estrella doble muy accesible a pequeños telescopios, y el par de galaxias en colisión Antena, NGC4038/9, desafiante para telescopios de 20cm de apertura. En el límite con la constelación de Virgo reside una de las notables galaxias espirales vistas de canto, la famosa *Galaxia del Sombrero*, M104; se la percibe con telescopios a partir de los 10cm de apertura.

JUNIO

DJ 2459002 (JUNIO 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida

(1) 753
(15) 7:59

Puesta

(1)17:51
(15) 17:50

5 16:14 | **13** 3:25 | **21** 3:43 | **28** 5:17

3	Venus en conjunción inferior con el Sol, a las 15h.
4	Mercurio en máxima elongación este (23,6°), a las 10h.
5	En coincidencia con la Luna llena que tendrá lugar a las 16:14h se producirá un eclipse penumbral de Luna, con máximo a las 16:24h y magnitud de 0,55. Difícil de apreciar ya que se produce una disminución parcial de su brillo y, para el este de Sudamérica, ocurrirá al atardecer durante la salida de la Luna.
20	Solsticio de invierno, en el hemisferio sur, verano en el norte, a las 18h44m37s. Noche de Luna nueva, cielo oscuro. El cambio de fase tiene lugar a las 3:43h del 21 de junio.
21	Coincidente con la Luna nueva se producirá un eclipse anular de Sol, a las 3:41h, pero no será visible en el continente americano.
23	Mercurio en su afelio a la 0:58h (distancia al Sol: 0,467UA = 69.862.206km).
30	Mercurio en conjunción inferior con el Sol, a las 24h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL21/6)

Selección de constelaciones visibles en junio (1/6 a las 22h, 15/6 a las 21h, 30/6 a las 20h)

Del cielo austral, Centaurus (el centauro) y Crux (la cruz del sur); **del boreal:** Virgo (la virgen).

Objetos destacados: en Centaurus se destacan el gigantesco cúmulo globular Omega Centauri y, muy próxima a él, la galaxia peculiar NGC5128, aptos para pequeños telescopios de 10 a 15cm. Próxima a delta Crucis, encontramos la bella Nebulosa Planetaria Azul NGC 3918, una de las más aptas para pequeños telescopios. En Crux tenemos a alfa, una notable estrella doble, y al bello cúmulo galáctico kappa Crucis, el Joyero, visibles con binoculares. En Virgo nos encontraremos con una gran cantidad de galaxias, accesibles a instrumentos medianos (entre 150 y 200mm de apertura), entre las espirales tenemos a M90, M58 y NGC 5068, entre las elípticas e irregulares están M87, M49 o M60.

Jaime García

Doctor en matemática aplicada, Universidad Federal de Minas Gerais.
Profesor del Instituto de Enseñanza Superior Dr Salvador Calafat, General Alvear, Mendoza.
Director del observatorio astronómico del Instituto Copérnico, Rama Caída, Mendoza.
jgarcia@institutocopernico.org

Cúmulo galáctico kappa Crucis, el Joyero, junto a la estrella Mimosa, beta Crucis.

SUSCRIBITE A CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

¡NO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!

Para suscribirte, ingresá a:
www.chicosdecienciahoy.org.ar

Tel (011) 4961 1824
chicos@cienciahoy.org.ar CHicosdeCienciaHoy

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