CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 30 número 178 diciembre 2021 - enero 2022
Ejemplar en la Argentina $400

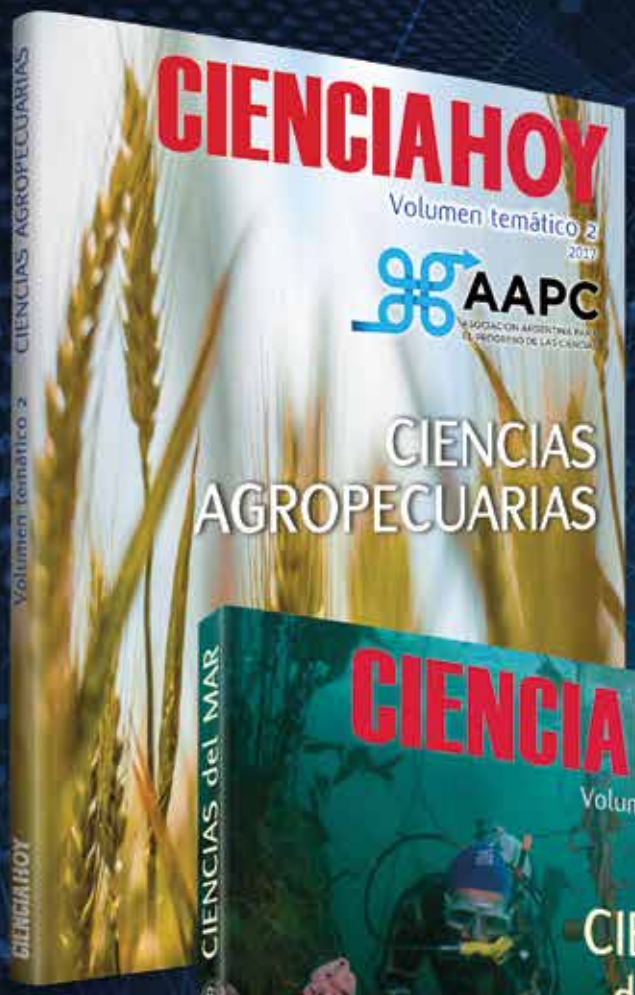
El diario de Guido Boggiani: etnología y arte en Sudamérica

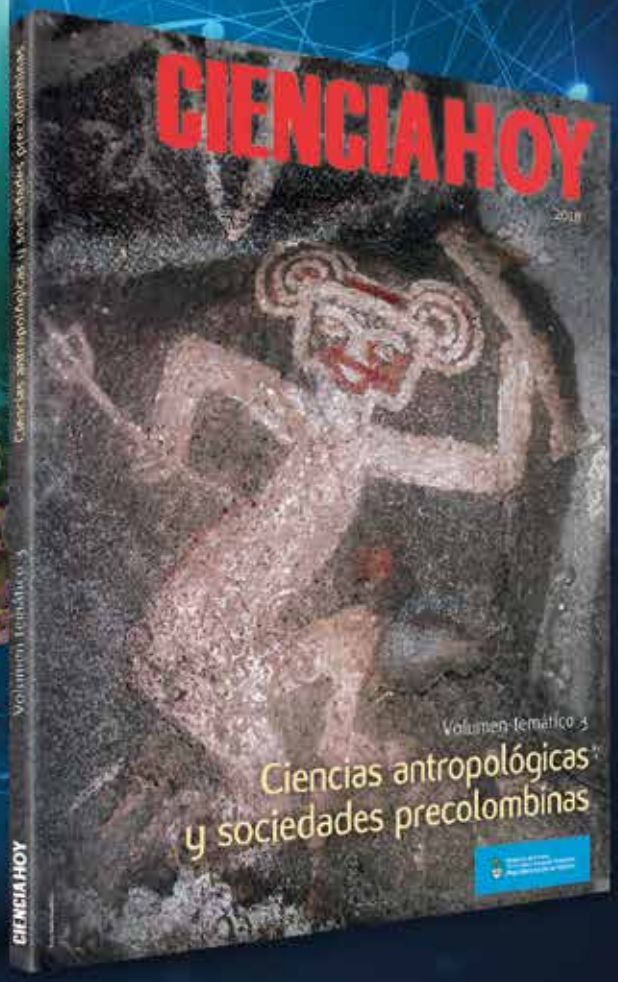
Premios Nobel 2021

Supernovas extremas

Redes de servicios públicos inteligentes

9 770327 121009 00178





CIENCIA HOY

CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS

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

@CienciaHoyOK 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*

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. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación

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

Federico Coluccio Leskow
Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. 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
Universidad Nacional de San Martín

Karina V Mariño
Instituto de Biología y Medicina Experimental-Conicet

Mariano I Martinez
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia-Conicet

Santiago Francisco Peña
Departamento de Humanidades y Artes, UNIPE-Conicet

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

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

Jorge L Roggero
–en uso de licencia–
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires-Conicet

Julia Rubione
Instituto de Investigaciones en Medicina Traslacional. Universidad Austral-Conicet

Consejo científico

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), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP) y Fidel Schaposnik (Departamento de Física, FCE, UNLP)

Secretaría del comité editorial
Paula Blanco –en uso de licencia–
Josefina Marino

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*

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $3000
EXTRANJERO: 6 números, US$ 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

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

ISSN 0327-1218
N° de registro DNDA 75312285

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Guatemala 4627, 6° C (C1425AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Correo electrónico: *estudiomassolo@gmail.com*

Corrección
Mónica Urrestarazu

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), María Semmartin (vicepresidente), Aníbal Gattone (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), Diego Golombek (prosecretario), Hilda Sábato, Cecilia Kunert, Galo Soler Illia y Karina Mariño (vocales).

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy ***@revistacienciahoy*** ***@CienciaHoyOK***

Ciencia Hoy agradece el apoyo del Conicet y del Ministerio 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.

Sumario

Diciembre 2021 – enero 2022
Volumen 30 - número 178

A MODO DE EDITORIAL

4 A 25 años del '*affaire* Sokal': ciencia, imposturas y condicionamientos

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

8 Volumen 6, número 36 - 1996

10 Grageas

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

12 Ciencia en tu vida

MEMORIA DE LA CIENCIA

16 A cien años del descubrimiento de la insulina: Houssay, sus discípulos, y la producción en Argentina

Damasia Becu-Villalobos y Alejandro F De Nicola

En 1921, Frederick Banting y Charles Best aíslan y purifican la primera insulina de origen animal, dando un paso clave hacia el tratamiento efectivo de la diabetes. En este artículo y en conmemoración del centenario, los autores nos llevan a descubrir los desafíos enfrentados en el desarrollo de la insulina como terapéutico, con una perspectiva histórica y local.

ARTÍCULO

21 La gran belleza: el diario de Guido Boggiani

Diego Villar

La reciente publicación del diario perdido del viajero, artista y etnólogo italiano Guido Boggiani (1861-1902) nos permite aclarar algunos puntos oscuros de su biografía, reconstruir el contexto de producción de sus célebres imágenes fotográficas de los pueblos nativos sudamericanos, y también matizar la idea romántica de que su fascinación antropológica por el mundo indígena surgió repentinamente de la nada.

ARTÍCULO

28 El lenguaje de las flores: mujeres y botánica en el siglo XIX

Vanesa Miseres

La conexión entre las mujeres y el mundo de las flores y las plantas puede vincularse a muchos fenómenos y tradiciones. A partir de finales del siglo XVIII y durante todo el XIX, esta asociación cobra un sentido particular en la cultura occidental. En Europa y en América la historia natural se vuelve un pasatiempo para la aristocracia y las clases altas, que comienzan a coleccionar plantas y flores entre otros especímenes como pájaros, insectos o caracoles.

ARTÍCULO

36 Redes de servicios públicos inteligentes

Patricio G Donato y Marcos A Funes

El crecimiento de la demanda energética mundial predice para 2050 el equivalente a la incorporación de dos países nuevos, con los actuales tamaños de India y China. Junto con el esfuerzo por disminuir el impacto de los combustibles fósiles —y aún limitados por la intermitencia de los renovables— surgen nuevas ideas para optimizar la distribución de energía que, además, impacta en otros servicios.

ARTÍCULO

41 Supernovas extremas: los cataclismos estelares más espectaculares

Gloria Dubner

A pesar de que las observamos como algo permanente a lo largo de nuestra existencia, la vida de las estrellas está lejos de ser estática. Las explosiones más violentas conocidas ocurren al final de la vida de muchas de ellas y nuevas observaciones nos llevan a sugerir nuevos mecanismos

ARTÍCULO

46 Pepinos de mar en las ofrendas mexicas del Templo Mayor, México

Francisco Alonso Solís-Marín, Leonardo López Luján, Belem Zúñiga-Arellano, Andrea Alejandra Caballero-Ochoa, Carlos Andrés Conejeros-Vargas y Tayra Parada Zárate

Un nuevo hallazgo en las excavaciones del proyecto Templo Mayor, de la Ciudad de México, revela la existencia de pepinos de mar en las ofrendas que hacían los sacerdotes mexicas a sus dioses hace un poco más de quinientos años.

CIENCIA EN EL MUNDO

51 Los premios Nobel 2021

60 ILUSIONES Y JUEGOS MATEMÁTICOS

Crossfit cerebral N.° 10

A 25 años del '*affaire* Sokal': ciencia, imposturas y condicionamientos

Se han cumplido ya veinticinco años del experimento realizado por el físico norteamericano Alan Sokal, quien logró en 1996 que su artículo deliberadamente paródico sobre 'hermenéuticas transformadoras de la gravedad cuántica' fuera aceptado y publicado por la revista *Social Text* de la Universidad de Duke. El objetivo de Sokal era probar la existencia de 'imposturas intelectuales' y determinantes ideológicos dentro de las ciencias sociales que reproducían dinámicas perniciosas para el desarrollo científico y, naturalmente, afectaban la calidad de la producción académica. Ciencia Hoy advirtió la importancia del asunto y se ocupó inmediatamente de él con sendos comentarios escritos por Miguel de Asúa en 1996 (N.º 36), 1997 (N.º 43) y 2001 (N.º 64) –además de la entrevista realizada por el propio Asúa (N.º 47) cuando Sokal visitó nuestro país en 1998. Por eso, desde la revista se planteó la necesidad de realizar un balance de la cuestión y calibrar la vigencia de los problemas por entonces planteados en la década de 1990.

A simple vista, el '*affaire* Sokal' podría parecer un nuevo episodio de la antigua 'batalla de las artes'; nos referimos a la tensión tradicional entre las humanidades y las ciencias exactas y naturales. En efecto, así lo percibieron varios de sus críticos, por las objeciones de Sokal a la superficialidad con que prestigiosos pensadores hacían uso de concepciones propias de la física o las matemáticas. Sin embargo, su experimento no responde a esa lógica binaria. Difícilmente, asimismo, podría ser reducido (o más bien promovido) a una expresión de la disputa secular dentro de la filosofía occidental entre realismo e idealismo. El dilema no responde tampoco a una querella política entre 'izquierdas' y 'derechas', considerando que, al igual que muchos de sus partidarios, el propio Sokal se define a sí mismo como un clásico *whig* o *left-liberal* en sus compromisos públicos. Finalmente, no representa una disputa entre tradiciones de pensamiento anglosajonas y continentales.

La lectura de Asúa dio en el clavo: 'La «broma» de Sokal ha levantado maremotos de tinta fresca porque, directamente o por alusión, toca puntos sensitivos donde se entrecruzan cuestiones filosóficas de fondo (la posibilidad del conocimiento, la naturaleza de la ciencia, las relaciones entre ciencias humanas y naturales), asuntos sociológicos (la organización académica, el presupuesto de la investigación, la existencia de «estilos nacionales» de saber), y cuestiones ideológico-políticas'. En definitiva, el experimento puso de manifiesto un problema transversal, tal vez más circunstancial pero no menos urgente: los condicionamientos ideológicos y las consecuencias lógicas y prácticas del relativismo cognitivo, según el cual la realidad física es sencillamente un constructo social y lingüístico –o bien una variable subjetiva, no objetiva–. Esta premisa, reducida al absurdo –como lo hace su artículo–, podía conducir a afirmaciones de carácter irracionalista como, por ejemplo, que una ciencia 'liberadora' solo sería posible mediante una 'profunda revisión del canon de las matemáticas'.

La conclusión de Sokal era que el relativismo cognitivo que percibía en el medio académico respondía menos a una honesta toma de posición epistemológica que a una agenda política y a una 'arrogancia intelectual' que interfería con la transparencia y la objetividad necesarias para la investigación científica. Desde su punto de vista, esta era la razón por la cual su artículo disparatado, publicado por decisión editorial de la revista *Social Text*, no había sido enviado a evaluar debidamente por expertos. Más concretamente, Sokal afirmaba que la revista había publicado su artículo simplemente porque su conclusión resultaba funcional a ciertos principios ideológicos, esto es, que 'el contenido y la metodología de la ciencia posmoderna provee un fuerte apoyo intelectual

al proyecto político progresista'. En efecto, 'no sintieron la necesidad de analizar la calidad de la evidencia, la coherencia de los argumentos o siquiera su relevancia en el desarrollo de la conclusión'. Por eso, este experimento provocó y anticipó intensos debates que hoy continúan vigentes, y tal vez incluso en mayor escala.

Veamos los ejemplos más recientes. En octubre de 2021, la revista *Higher Education Quarterly* publicó –y en seguida retiró– un artículo intitulado 'Donor money and the academy: Perceptions of undue donor pressure in political science, economics, and philosophy'. A pesar de adolecer de groseras imprecisiones estadísticas, sus conclusiones ratificaban con énfasis y entusiasmo las posiciones ideológicas de la revista. Sus supuestos 'autores' eran los heterónimos 'Sage Owens' y 'Kal Avers-Lynde III', cuyas iniciales formaban el acrónimo SOKAL, a quien aspiraban a homenajear, a pesar de los reparos que el propio Sokal les había manifestado sobre la eficacia de este nuevo experimento.

Algunos años antes, entre 2017 y 2018, Peter Boghossian, James A. Lindsay y Helen Pluckrose –investigadores en filosofía, matemáticas y letras, respectivamente–, llevaron a cabo una verdadera empresa 'sokaliana' de gran escala, llegando a enviar con seudónimos unos veinte artículos cuyo denominador común era la utilización de evidencia falsa con el objetivo de arribar a conclusiones que ratificaran puntos centrales del relativismo cognitivo en torno de una agenda política anclada en el llamado *progressivism*. Los campos de las ciencias sociales apuntados eran los llamados *Cultural Studies*, que incluyen la teoría poscolonial, los estudios de género y *queer*, la teoría crítica de la raza y el llamado feminismo interseccional. Boghossian, Lindsay y Pluckrose, ellos mismos *liberal–leftists*, definieron a estas expresiones de los *Cultural Studies* como *Grievance Studies*, lo cual podría traducirse como 'estudios del agravio'. La ferocidad de las respuestas fue similar a la recibida por Sokal veinte años antes, no por casualidad se conoce a este caso también como un 'Sokal al cuadrado'.

Estos son solo algunos de los tantos textos que lograron atravesar instancias de referato en los últimos años. Todos ellos, además del absurdo, priorizaban una agenda ideológica por sobre la rigurosidad metodológica y la precisión argumentativa. Su inspiración ha sido Sokal, quien tras su experiencia publicó dos libros detallando los pormenores del acontecimiento y las perspectivas de su descubrimiento: *Impostures intellectuelles* (París, 1997, en coautoría con el físico Jean Bricmont) y *Beyond the Hoax* (Oxford, 2008). Sokal admitía allí haberse inspirado en los libros *Science and Relativism* (Chicago, 1990), del epistemólogo Larry Laudan, y *Higher Superstition: The Academic Left and Its Quarrels with Science* (Baltimore, 1994) del biólogo Paul R. Gross y del matemático Norman Levitt. Estos últimos tomaron nota y en 1998 escribieron un nuevo prefacio donde celebraban la ruptura de la 'inmunidad' de la que hasta entonces habían gozado aquellas perspectivas que socarronamente llamaban *do–it–yourself epistemologies*. La aparición ese mismo año de la obra colectiva publicada por Oxford University Press, *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths About Science*, con un artículo del propio Sokal, editado por la epistemóloga Noretta Koertge, parecía cristalizar una suerte de 'partido sokaliano'. Veinticinco años después, uno podría preguntarse si Gross, Levitt *et al.* no fueron demasiado optimistas en su pronóstico.

Sinteticemos someramente la posición del 'partido sokaliano'. Uno de sus argumentos prácticos es que asumir la realidad como una construcción estrictamente subjetiva y social tiene efectos inmediatos y de evidente demostración: así como la experiencia y la teoría de Newton son suficientes para disuadirnos de arrojarnos desde una ventana –como Sokal invitaba a hacer a quienes sostuvieran que la realidad física era una mera construcción social–, un método sólido nos impide aceptar la verdad relativa del paradigma geocéntrico de Ptolomeo, debido a la contundencia de las observaciones geográficas y astronómicas. El optimismo no se sostenía solo en la demostración empírica sino también en la convicción de que no hay arma más decisiva que el humor, y eso había hecho Sokal, demoler el solemne castillo de arena relativista con una simple broma. Sin embargo, los experimentos de tipo sokaliano de los últimos años revelan que solo vemos la punta de un iceberg: el entorno académico sigue produciendo y reproduciendo material de dudoso rigor pero con la suficiente transparencia ideológica como para alimentar su promoción.

Ahora bien, ¿esta dinámica se reproduce sin cesar? La respuesta es ambigua: una visión optimista (y tal vez un tanto desalentadora) diría que este tipo de fenómenos (el relativismo cognitivo en ambientes académicos que se suponían inmunes) se presenta con regularidad y periodicidad, si es que no está siempre, irremediablemente, presente. ¿Sería exagerado afirmar que el relativismo de nuestros días facilita la adaptación de verdades a cierto tipo de consignas ideológicas? Sokal lo lleva al campo práctico de la política y advierte: 'La simpatía con las motivaciones (políticas o de cualquier índole) de un autor no pueden constituir nunca una razón válida para aceptar sus argumentos; con el mismo criterio, la oposición a aquellas motivaciones no puede constituir tampoco una razón válida para rechazarlos; los argumentos deben ser analizados por ellos mismos'.

Recordemos extremos y trágicos precedentes. No es baladí que dos premios Nobel como Philipp Lenard y Johannes Stark, por entonces ya fervorosos adherentes al nazismo, hablaran de 'física alemana' en contraposición

a la 'física judía' y que, desde ese lugar, desestimaran la teoría de la relatividad, con las consecuencias que esto tuvo para el futuro inmediato de la ciencia alemana. Por su parte, el distinguido físico británico John Desmond Bernal defendía las irracionalidades del biólogo (y comisario político) Trofim Lysenko, que le costaron la libertad y la vida a varios talentosos científicos soviéticos, entre ellos al gran agrónomo, botánico y genetista Nikolai Vavilov; además del daño profundo que el 'lysenkoísmo' produjo en la agricultura soviética, provocando millones de muertes. Es decir, el irracionalismo actual en ambientes académicos responde al mismo tipo de fenómeno: intentar forzar la evidencia de modo tal que se adapte a modelos ideológicos preestablecidos.

Desde un punto de vista más pesimista, puede constatarse entonces que el relativismo cognitivo y sus derivaciones irracionalistas se ha profundizado en sus campos de origen y se ha expandido hacia otras áreas donde más difícil parecía la inserción de sus premisas. Protegidos por reivindicaciones éticas, ciertas instituciones exigen, para garantizar el progreso de una carrera académica, o bien adherir a determinadas consignas o bien adoptar sencillamente un superficial conformismo –abandonando *ipso facto* una condición necesaria para el trabajo científico–, el pensamiento crítico y autónomo. Esto parece sugerir el experimento llevado a cabo en el Imperial College de Londres en 2012 por Stephen McGann, Emma Houghton–Brown y Haralambos Dayantis, quienes mostraron con qué facilidad se podía convencer –o alentar el conformismo– a sus estudiantes cuando se los exponía a farsas presentadas como verdades científicas avaladas por un supuesto consenso institucional, tal vez como una extensión sutil del célebre experimento de Stanley Milgram en los años 60.

Todo esto nos conduce a una cuestión aún más amplia: las irracionalidades, la deshonestidad intelectual, el desprecio o la subestimación de la metodología de la investigación científica, las afirmaciones sin evidencias, percolan en la sociedad más allá de los claustros. Entornos académicos que priorizan inferencias subjetivas sobre los fenómenos por sobre el trabajo con evidencias lógicas, materiales y estadísticas y reproducen ideas deliberadamente imprecisas y carentes de transparencia metodológica eventualmente socavan la rigurosidad y la autonomía intelectual de la opinión pública. Podríamos preguntarnos, siguiendo este enfoque, si acaso existen las llamadas *fake news* o simplemente responden a otra concepción (subjetiva) de la verdad.

La eficacia de un argumento descansa en una simple premisa: sus supuestos tienen que ser transparentes. Un supuesto ambiguo (u oculto) debilita naturalmente la eficacia, la legitimidad y la viabilidad de la conclusión. El conocimiento científico requiere, entonces, argumentos que no dependan únicamente de la coherencia interna del enunciador, así como es preciso que los principios sobre los cuales formulamos juicios puedan ser puestos a prueba. Solo así se constituye una forma de conocimiento capaz de aspirar no solo a la racionalidad relativa (a la mera coherencia) sino también a la verdad. Sokal así lo confirmaba: 'Sean el blanco de mis objeciones los posmodernos de la izquierda, los fundamentalistas de la derecha o los ineptos sin importar su identificación política, el mensaje es el mismo: la claridad de pensamiento, combinada con un respeto por la *evidencia* –especialmente evidencia inconveniente e indeseada, que desafía nuestras preconcepciones–, son cruciales para la supervivencia de la especie humana en el siglo XXI'. Las circunstancias actuales parecen confirmar la precisión del diagnóstico y la urgencia del pronóstico. CH

Pablo Miguel Jacovkis
Santiago Francisco Peña
Enero de 2022

Hacé tu suscripción digital a CIENCIA HOY

Con tu suscripción digital por un año (6 ejemplares) o por 2 años (12 ejemplares) tendrás acceso a todo el material anterior editado por CIENCIA HOY.

Suscribite y accedé desde tu computadora, tablet o celular en tu casa o allí donde te encuentres.

¡Ingresá en **cienciahoy.org.ar/suscripcion/** y suscribite al conocimiento!

RevistaCienciaHoy @revistacienciahoy @CienciaHoyOK

cienciahoy.org.ar

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

Alan Sokal/Wikimedia Commons

EXPERIMENTO PELIGROSO

MIGUEL DE ASÚA

Relato de un 'experimento' realizado por un profesor de física de la New York University, quien transgredió las reglas y convenciones del debate académico.

A 25 años del '*affaire* Sokal' el editorial invitado de este número revisa el estado actual de la cuestión.

Flickr.com / Cécile Boulanger

LA BIODIVERSIDAD EN LOS UMBRALES DEL SIGLO XXI

JORGE V CRISCI, PAULA E POSADAS Y JUAN J MORRONE

La disminución de la diversidad biológica constituye una de las consecuencias más alarmantes y de efectos menos previsibles del desarrollo de la historia humana.

Posadas y Crisci comentan: las extinciones masivas no se han detenido. Sin embargo, algo ha cambiado en estos veinticinco años: la crisis de la biodiversidad no solo es un tema de la comunidad científica, sino que se ha instalado en las agendas de las sociedades y de las naciones. De hecho, dos de los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas incluyen como tema a la biodiversidad. Por otro lado, nuestro conocimiento de la biodiversidad es aún limitado, de ahí la necesidad de un intenso trabajo científico que continúe el estudio y el inventario de la biodiversidad y con ello nos permita protegerla. Una esperanza sin optimismo es posible. La esperanza a diferencia del optimismo no está relacionada con la autoayuda, y requiere reflexión, compromiso, amor y lúcida racionalidad; también obliga a reconocer el fracaso y la derrota pero negarse a capitular ante ellos.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

Flickr.com / NIAID

LA RESPUESTA INMUNE

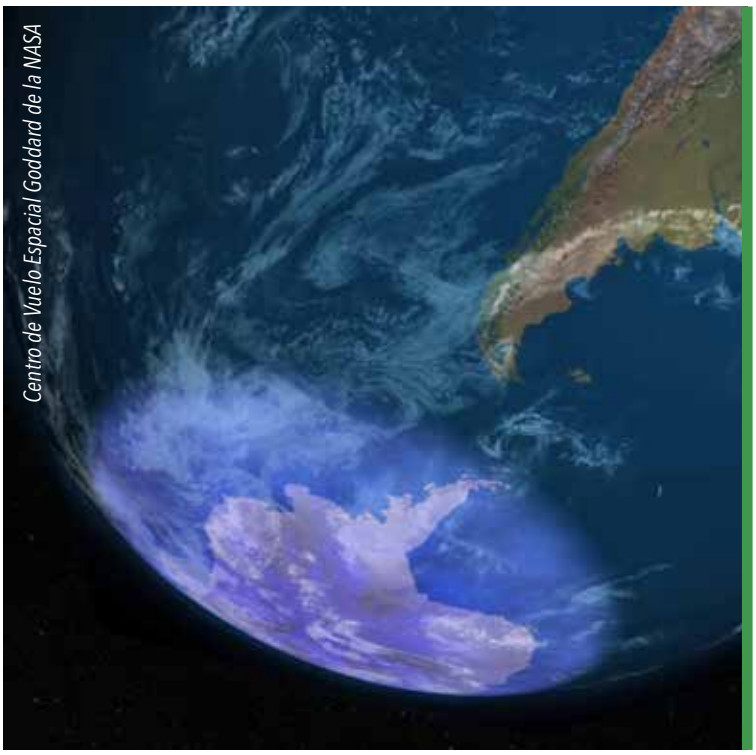
RICARDO A MARGNI

Estamos rodeados de microorganismos patógenos, como virus, bacterias, hongos y parásitos. A pesar de tal exposición continua a agentes agresores, rara vez padecemos infecciones graves. ¿Cómo hace el organismo para defenderse?

ENTREVISTA A MIGUEL ÁNGEL VIRASORO

Una discusión entre físicos sobre la evolución de la disciplina en los últimos treinta años, a la luz de la experiencia de uno de los importantes científicos argentinos expatriados.

En 2021 esta entrevista adquirió relevancia por tres razones. La primera, porque en 2020 se le otorgó a Miguel Ángel Virasoro la Medalla Dirac, junto con los físicos franceses André Neveu y Pierre Ramond, por sus contribuciones pioneras en la creación y formulación de la teoría de cuerdas que introdujo la simetría entre bosones y fermiones en la física. Este premio es, junto con el Nobel, uno de los más prestigiosos de la disciplina. La segunda es que en 2021 el premio Nobel fue para el físico italiano Giorgio Parisi (ver artículo en este número) con quien Virasoro trabajó en la teoría de los vidrios de espín y que sirvió para dar bases sólidas al estudio de los sistemas complejos, motivo del premio. La tercera es porque ese año el entrevistado falleció el 23 de julio a los ochenta y un años.


Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA

LOS CLOROFLUOROCARBONOS Y EL OZONO ESTRATOSFÉRICO: UN PROBLEMA GLOBAL

MARIO M MOLINA

Disertación pública del último premio Nobel de química sobre su tema principal de trabajo, que reviste candente actualidad en el sur de las Américas.

Durante su visita a la Argentina en 1996, el entonces recientemente galardonado Molina disertó en la Biblioteca Nacional con el auspicio de Ciencia Hoy. Lo hizo sobre su tema central, que fue el estudio de la capa de ozono atmosférico y la incidencia de las emisiones antropogénicas de clorofluorocarbonos (CFC). Veinticinco años después y luego del Protocolo de Montreal y la prohibición del uso de los CFC, el agujero de ozono antártico ya no se manifiesta con la profundidad con que lo hizo a fines de los años 80. Molina falleció en 2020 a los setenta y siete años.

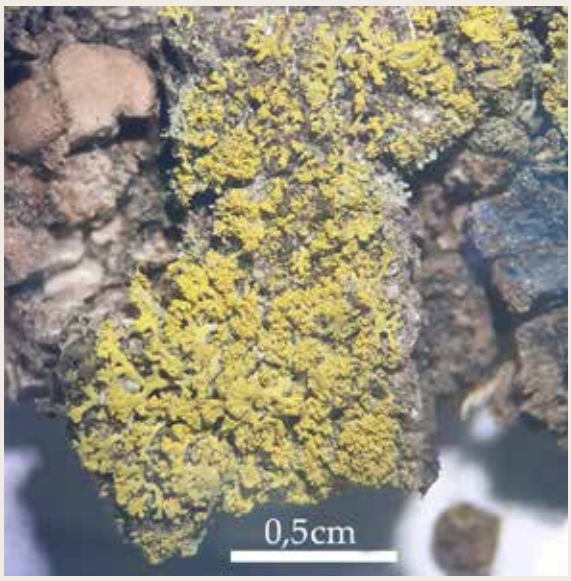
Líquenes y microplásticos

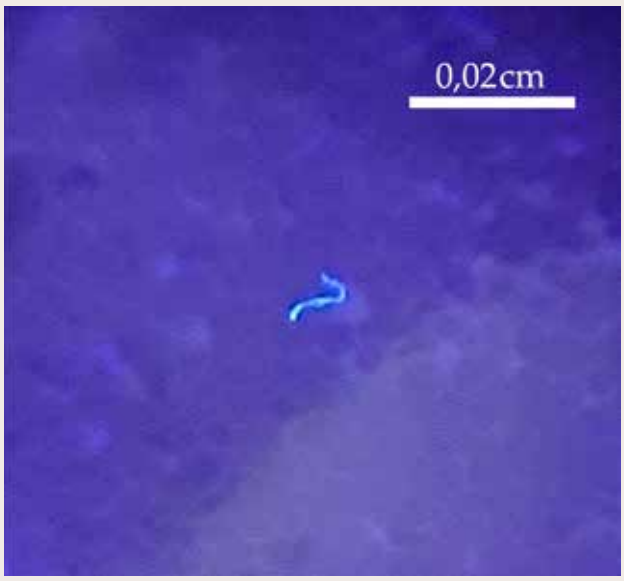
El lector casual comenzará con la pregunta más obvia: ¿qué son los líquenes? Los líquenes son asociaciones simbióticas formadas por un alga y un hongo. Estos organismos pueden habitar en diferentes sustratos, como la corteza de los árboles, las rocas, e inclusive sobre superficies de origen antrópico como el hormigón, la pintura, el vidrio y el plástico. Los problemas medioambientales generados por el plástico, por la producción de microplásticos (MP), omnipresentes en los entornos naturales, son actualmente muy conocidos. El término MP es bastante nuevo y se remonta a principios del año 2000. Los MP (partículas de menos de 5mm) se pueden generar por la fragmentación de plásticos de mayor tamaño a través de tres fuentes principales: la radiación UV, la abrasión y la degradación biológica. Uno de los tipos más comunes de microplásticos son las microfibras que proceden de los textiles, las redes, las tanzas de pesca, así como de la fragmentación de materiales plásticos más grandes. Varios estudios se han centrado en el transporte atmosférico de microplásticos, dominado principalmente por microfibras. Además, se ha registrado que algunos organismos son capaces de acumular MP, como es el caso de los musgos, cuya capacidad para acumular microfibras se ha demostrado. Los primeros en demostrar que los líquenes podían acumular MP fueron Stefano Loppi de la Universidad de Siena (Italia) y colaboradores, en su trabajo sobre la acumulación de microplásticos en el aire en los líquenes de un vertedero en Italia, publicado en 2021 en la revista *Scientific Reports*. En ese estudio se encontró que la acumulación de microplásticos en los líquenes estaba asociada con la distancia a un vertedero de residuos industriales en el centro de Italia. A menor distancia al vertedero, mayor era la cantidad de MP en los líquenes (ver figura de la izquierda).

Profundizar en el estudio de la acumulación de MP en los líquenes permite contar con una herramienta única para determinar qué zonas y especies pueden estar siendo afectadas por los MP. Finalmente, esperamos estimular al lector para que explore su entorno cercano y se maraville con las comunidades de líquenes que crecen a su alrededor y descubrir su importancia con relación a la contaminación ambiental.

Jonatan Gomez
gomezjonatanjose@yahoo.com.ar
Rocío García
rociolourdesgarcia@hotmail.com
Maira Gollo
maigollo_04@hotmail.com
Elizabeth Villagra
villagraelizabethlb@gmail.com

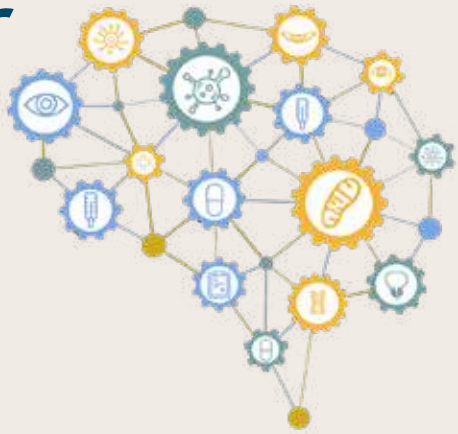
Más información en LOPPI S, ROBLIN B, PAOLI L & AHERNE J 2021, 'Accumulation of airborne microplastics in lichens from a landfill dumping site (Italy)', *Scientific Reports*, 11 (1): 1-5.





Microplásticos dentro del líquen limón (izquierda) y una fibra extraída del liquen limón bajo luz ultravioleta (derecha).

Oncología integrativa: una mirada holística sobre el cáncer



Según últimas estimaciones realizadas por la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer (IARC), la Argentina presenta una incidencia de cáncer media-alta, de 212 casos por cada 100.000 habitantes, posicionándose séptima entre los países latinoamericanos. A nivel global se trata de la segunda causa de muerte (luego de las enfermedades cardiovasculares). Esto evidencia la relevancia de la problemática en términos de salud pública y el compromiso que la ciencia debe asumir en pos de dar respuestas favorables y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

El cáncer ha mantenido en vilo durante años a la comunidad científica, y a través de los descubrimientos logrados hoy contamos con armas para luchar en su contra. Actualmente el discurso científico es el que goza de mayor prestigio y aceptación social. Los estudios desde las ciencias biológicas (biología molecular, bioquímica, química) han aportado un sinnúmero de tratamientos y aplicaciones clínicas; sin embargo, pocos estudios abordan al paciente con una mirada más humanística (psicológica, social), una visión integrada del paciente como persona.

El reduccionismo sostiene que el conocimiento de lo complejo debe ser estudiado como la suma de sus partes. En cambio, el holismo preserva la idea de complejidad, donde las partes del todo no tienen entidad ni significado alguno estudiadas por separado. En ese sentido, el estudio y tratamiento de patologías tan complejas y multifactoriales como las neoplásicas no solo incluye la dimensión biológica, sino también la social, cultural, económica y política. Cada persona es un ser integral que se desarrolla dentro de un ambiente influenciado por una compleja red de interacciones donde el sistema psíquico, nervioso, endócrino e inmunológico constituyen un 'supersistema' totalmente interrelacionado. De este modo, cualquier persona es una totalidad dimensional imposible de separar, donde la influencia de una dimensión resuena en el resto y conjuntamente influyen en el proceso salud-enfermedad. En este sentido existe vasta evidencia de que el estado de ánimo, el estrés, la situación psicosocial y cultural en el que se encuentran las personas modulan la liberación y acción de diferentes moléculas involucradas en este supersistema.

Actualmente existe una corriente denominada 'oncología integrativa' que consiste en la atención del paciente de cáncer como un todo y no únicamente apuntando a la patología a nivel molecular. Esta aproximación combina modificaciones en el estilo de vida y terapias que acompañan a los tratamientos convencionales (quimioterapia, radioterapia, terapias hormonales, inmunoterapia, terapia dirigida, cirugía, etc.). Como ejemplo, la acupuntura ayuda al paciente en los dolores articulares resultante de las terapias convencionales, y asiste en los tratamientos antináuseas que requiere la quimioterapia.

En 2019, la Sociedad Estadounidense de Oncología Clínica (ASCO), una organización oncológica líder a nivel mundial, avaló la guía de tratamiento de pacientes con cáncer de mama propuesta por la Sociedad de Oncología Integrativa de Estados Unidos. Se basa en los resultados obtenidos durante un estudio realizado por trece años (1990-2013), que demostró que los pacientes con un tratamiento integral mostraban mejoras en los síntomas y efectos secundarios resultantes del diagnóstico y/o tratamiento. ASCO remarcó la importancia de tratamientos integrados, nunca excluyendo los convencionales, y siempre con el aval del especialista médico. La aprobación de esta guía es clave para que más estudios se realicen, brindando evidencia que avale la aplicación de estas terapias en otras neoplasias. En nuestro país, el Hospital Pediátrico Garrahan y Fundaleu (Fundación de Lucha contra la Leucemia) son dos ejemplos de centros de salud que han comenzado a aplicar esta aproximación integral.

Ana C Castro Guijarro
carlacas24@gmail.com

Mauricio R Vargas López
vargaslopezmr@gmail.com

PILLAI G. G. *et al.*, 2021, 'Integrative oncology: Addressing the global challenges of cancer prevention and treatment', *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, DOI 10.3322/caac.21706, y ECKERLING A, RICON-BECKER I, SORSKI L, SANDBANK E. & BEN-ELIYAJU S, 2021, 'Stress and cancer: Mechanisms, significance and future directions', *Nature Reviews Cancer*, DOI *10.1038/s41568-021-00395-5.*

VINCULACIÓN TECNOLÓGICA

Se puso en marcha una planta de producción de ladrillos en base a PET desarrollados por el CONICET

El CEVE (CONICET-AVE) junto al Instituto Provincial de Vivienda y Urbanismo (IPVU) de Santiago del Estero, avanzan en la planta con el horizonte puesto en la construcción de viviendas.

A partir de la firma de un convenio de licenciamiento y transferencia tecnológica para la fabricación de componentes constructivos con PET reciclado entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y el Instituto Provincial de Vivienda y Urbanismo (IPVU) de la Provincia de Santiago del Estero, investigadores y profesionales del área de Nuevos Materiales del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE, CONICET-AVE) junto a funcionarios de dicha repartición provincial y de la Municipalidad de Santiago del Estero, inauguraron la planta de producción de componentes fabricados en base a PET en la localidad de Santa María, departamento Silípica, de esa provincia.

La iniciativa e interés del IPVU en dicha planta se enmarca en una política pública impulsada desde el Gobierno de la Provincia de Santiago del Estero respecto al cuidado del ambiente y la generación de espacios y de organismos de la administración pública orientados a la investigación y desarrollo de productos y/o servicios que promuevan, desde la problemática habitacional, conciencia ecológica, inclusión y desarrollo social.

Los componentes constructivos elaborados en base a PET posibilitan la reutilización de un residuo de gran volumen y complejo tratamiento como son las botellas descartables de polietilen-tereftalato, para convertirlas en componentes constructivos. Se trata de una tecnología de triple impacto –ambiental, social y productivo- que procura reducir el enterramiento y la acumulación en basurales de un residuo importante como son las botellas de PET, brindar soluciones tecnológicas para el mejoramiento del hábitat y generar trabajo para emprendimientos productivos de fabricación de componentes.

Convenio de licencia y certificaciones

Cuando el CEVE, CONICET-AVE desarrolla una tecnología, tramita las certificaciones de aptitud técnica en la Secretaría de Vivienda y Hábitat de la Nación. , que requieren de una serie de ensayos físicos y mecánicos para determinar los alcances y posibles usos de los componentes constructivos. La tecnología para la producción de ladrillos en base a PET cuenta con Certificado de Aptitud Técnica (CAT) desde 2006.

"Los desarrollos tecnológicos se acompañan con estudios muy rigurosos sobre las características químicas, mecánicas y físicas del material a fin de determinar si, al usar un residuo, liberan algún tipo de contaminación al ambiente o si tiene las características físicas y mecánicas que le permite ser utilizado en la construcción", apunta el investigador Jerónimo Kreiker.

Articulación entre municipalidad y provincia

Desde el IPVU explicaron que, si bien la provincia es quien ha montado la planta, trabajarán en conjunto con el municipio de Santiago del Estero para recolectar los materiales reciclados a través de puntos verdes instalados en distintos centros de acopio. Su intención es construir viviendas a partir de tecnologías innovadoras y técnicamente aptas.

Sobre este aspecto, el vicedirector del CEVE e investigador, Dr. Jerónimo Kreiker, señaló que están necesitando mayor volumen de PET para poder incrementar la cantidad de materia prima y ajustar el proceso de triturado para tener una producción sostenida. "Hemos llevado muestras al CEVE para analizarlas y realizar los ensayos correspondientes para ajustar el proceso", destacó. También ponderó la puesta en marcha de la planta de producción y la voluntad de los equipos de trabajo para mejorar cada uno de los procesos tanto de molienda, postura y calidad de los componentes, que se acerca a la óptima.

CIENCIAS AGRARIAS, DE LA INGENIERÍA Y DE MATERIALES

Científicos y científicas del CONICET promueven un uso sustentable de la lana de guanaco

Se trata de un proyecto para esquilar en vivo, bajo estrictos protocolos de bienestar animal, a poblaciones silvestres de la especie que habitan la estepa patagónica. El objetivo es favorecer la coexistencia entre la fauna autóctona y la actividad ganadera.

Fibra natural procedente de la lana de camélidos como el guanaco. Foto: gentileza Dr. Ramiro Ovejero.

Por Maximiliano Grosso

El guanaco es el herbívoro más grande de la región patagónica y el de mayor rango de distribución de todos los camélidos sudamericanos, con una extensa historia de uso y de relación cultural con los pueblos originarios de la zona. No obstante, históricamente, los ganaderos locales han considerado a las poblaciones de guanaco como una plaga debido a la competencia por la pastura. Esto condujo al exterminio del grupo, al punto que hoy en día solo queda un 15 por ciento del número original de guanacos, y sus poblaciones se encuentran fragmentadas.

En ese contexto, toma relevancia un proyecto liderado por Ramiro Ovejero, investigador del CONICET en el Instituto de Ecología Regional (IER, CONICET-UNT), que apunta a hacer un uso sustentable de las poblaciones de guanaco, a través de la obtención de su fibra mediante la esquila en vivo en la reserva La Payunia (ubicada al sur de la Provincia de Mendoza) y en otros sitios de la estepa patagónica.

El objetivo central de la iniciativa es favorecer la coexistencia de las actividades productivas tradicionales y la producción ganadera, así como promover un buen uso del suelo y proteger la biodiversidad.

Además de Ovejero, participan del proyecto otros científicos y científicas del CONICET, pertenecientes en su gran mayoría al Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA, CONICET-UNCOMA).

Una propuesta con reconocimiento internacional y anclaje en la comunidad local

La propuesta liderada por Ovejero, especialista en ecología espacial y de poblaciones silvestres, cuenta con la colaboración de personas e instituciones del país y del extranjero.

En 2020, la iniciativa recibió un premio del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, por sus siglas en inglés), en reconocimiento a su empeño de conservar altos estándares de bienestar animal, inclusión social y sustentabilidad ambiental.

"Gracias a este premio podemos seguir fomentando soluciones basadas en la naturaleza y acciones favorables para con la vida silvestre, que nos permitan ayudar a frenar el acelerado proceso de degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático; y, sobre todo, darle tiempo al planeta para recuperar los recursos necesarios para su funcionamiento y para el nuestro", señala Ovejero.

Pero, además, el proyecto involucra la participación de la cooperativa Payun Matru, conformada por personas que viven en los alrededores de la reserva de La Payunia y que anualmente realizan el arreo y la esquila en vivo de guanacos para recoger su valiosa lana, bajo estrictos protocolos de bienestar animal. Se trata de la primera experiencia para el manejo de guanacos silvestres en Argentina -y en el cono sur- llevada a cabo por pequeños productores.

"A lo largo de estos años, se desarrollaron productos derivados del uso sustentable del guanaco, con lo cual se generó empleos y se evitó la emigración de los jóvenes a las ciudades; además se ha constituido en un espacio para preservar la cultura y las tradiciones lo-

cales. Estas finas fibras contribuyen a preservar el hábitat de la vida silvestre, los medios de vida sostenibles y una forma de vida", destaca Melania Moraga, presidenta de la cooperativa.

Una apuesta para favorecer la coexistencia de la fauna silvestre y las actividades tradicionales con la ganadería.

De acuerdo con Ovejero, uno de los desafíos más urgentes de la actualidad en Sudamérica está vinculado a encontrar la mejor manera de gestionar las tierras públicas, para, de modo, establecer un equilibrio con el uso de las tierras privadas destinadas a la producción.

"Desde el comienzo del Antropoceno -etapa geológica que se caracteriza por el significativo impacto global de las actividades humanas sobre los ecosistemas terrestres-, el manejo de las tierras mantuvo la dicotomía 'público-privado' en los tomadores de decisiones, siempre con una mirada eurocéntrica y en pos de un desarrollo que nos dejó siglos de perjuicios para con nuestros recursos naturales", explica el investigador, y resalta que en la actualidad se sostienen las mismas prácticas e idénticos paradigmas productivos. "Pero el planeta Tierra requiere un cambio urgente", agrega.

Para Ovejero, al desafío ambiental y al de mejorar la distribución de tierras se suma el conflicto humano con la fauna silvestre. En la estepa andina patagónica, ecorregión que comprende casi 700 mil kilómetros cuadrados en el sur de la Argentina, más del 90 por ciento de la tierra es de propiedad privada, y en su mayor parte fue convertida para la cría de ganado ovino/caprino. No obstante, en las zonas rurales de la Patagonia pastores trashumantes todavía recorren con sus rebaños hasta 200 kilómetros entre las zonas de alimentación de invierno y de verano. "Lo hacen acompañados por sus familias, e incluso, en muchos casos, por los profesores de colegio de los niños. Este paradigma de producción, con más de 100 años de historia de sobrepastoreo, condujo a un severo proceso de desertificación de la Sabana Sudamericana", explica el científico.

Al proceso de desertificación se sumó la declinación de las poblaciones silvestres de guanacos como consecuencia de la percepción negativa que tienen de ellos las comunidades locales, ya que los consideran competidores naturales de las ovejas.

"La implementación de leyes para proteger nuestros recursos naturales y el retroceso numérico del ganado ovino provocó que las poblaciones de guanacos se fueran recuperando, lo que revivió este viejo conflicto", explica el investigador.

En este sentido, de acuerdo, con Ovejero, el proyecto de esquila en vivo de las poblaciones de guanacos se erige sobre el concepto de "hilar coexistencia", y apunta a favorecer la relación entre la biodiversidad, los humanos, la inclusión social y la sustentabilidad ambiental. "Los pastores locales necesitan una alternativa para poder enfrentar el cambio climático y los cambios socio-económicos", concluye el investigador. ■

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Nueva investigación conecta la composición química de los exoplanetas rocosos con la de sus estrellas huéspedes

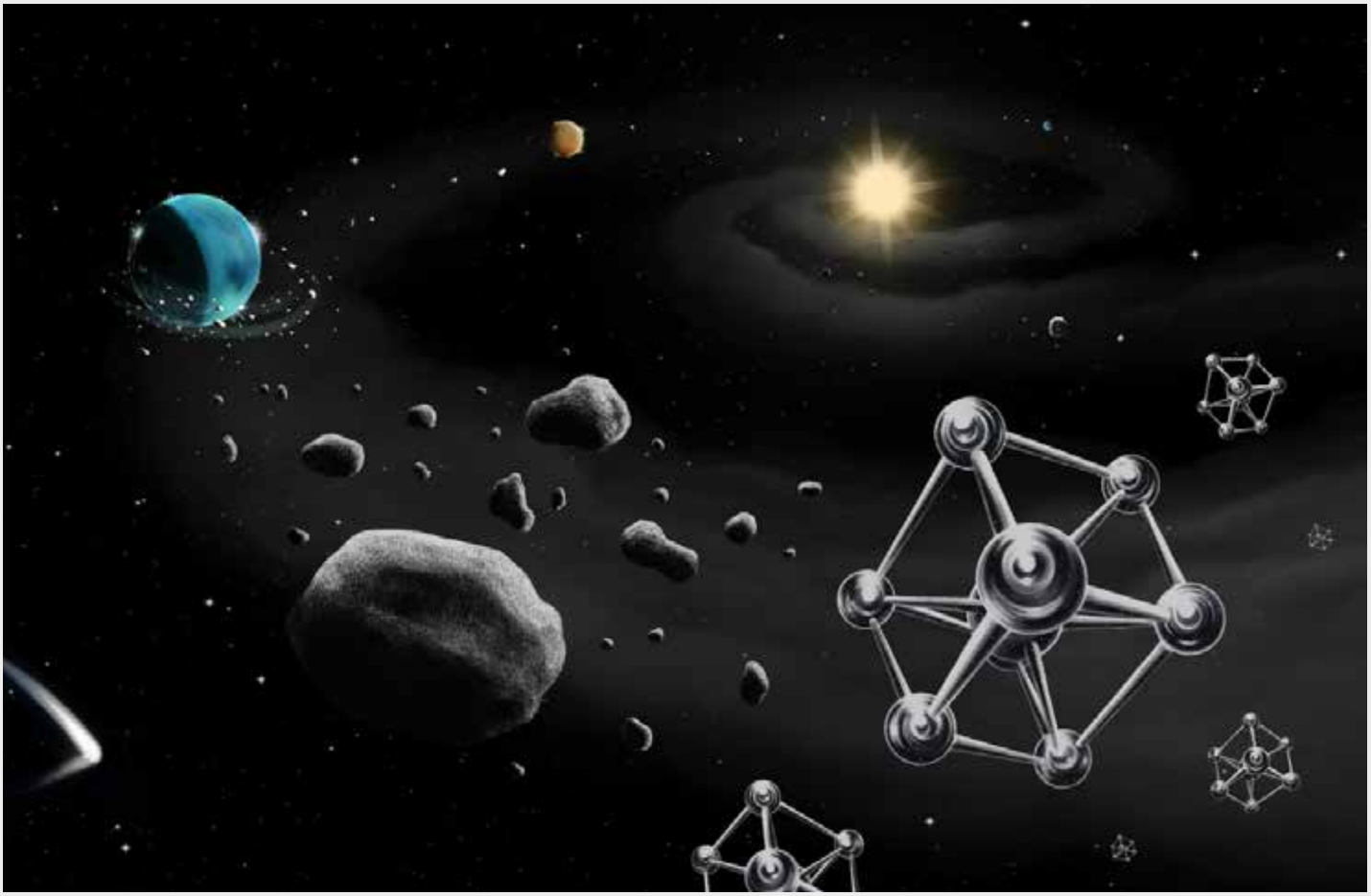
El importante hallazgo fue publicado en la prestigiosa revista científica Science por un equipo internacional de investigadores e investigadoras, del cual participan especialistas del CONICET y del Observatorio Astronómico de Córdoba.

Las estrellas recién formadas se encuentran rodeadas por un disco circunestelar de gas y polvo, que se conoce como disco protoplanetario. Una fracción del polvo que se encuentra en este disco se condensa para formar las rocas que constituyen los planetas telúricos (o también denominados rocosos o terrestres y que están formados principalmente por silicatos y metales), mientras que el resto del material eventualmente cae sobre la estrella. Dado el origen común de este material, en los modelos de estructura planetaria generalmente se asume que la composición de los planetas rocosos es similar a la composición química de las estrellas que orbitan.

Sin embargo, hasta el momento, no había evidencia observacional directa de una conexión entre la composición química de las estrellas y aquélla de sus planetas terrestres. La única referencia era nuestro Sistema Solar para el cual se sabe que la abundancia de los principales elementos que constituyen las rocas (tales como magnesio, silicio y hierro) de los planetas telúricos (con excepción de Mercurio) es similar a la del Sol.

En una investigación publicada en la prestigiosa revista científica Science, se presentó, por primera vez, una correlación observacional entre la composición química de los exoplanetas rocosos y la composición de sus estrellas huéspedes. El trabajo fue realizado por un equipo internacional de astrónomos y astrónomas encabezado por expertos del Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (Portugal) y contó con la participación de un investigador y una investigadora del CONICET, Emiliano Jofré y Romina Petrucci, ambos pertenecientes al Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba (OAC, UNC).

Para llevar a cabo este trabajo, el equipo seleccionó una muestra de 21 exoplanetas rocosos que cuentan con mediciones de masa y radio de alta precisión para determinar sus densidades y



Formación de planetas telúricos, alrededor de una estrella similar al Sol. Crédito: Tania Cunha (Planetário do Porto - Centro Ciência Viva & Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço - Portugal).

cantidades de hierro. Por otro lado, se determinó la composición química de las estrellas que albergan estos planetas y se dedujo la abundancia de los principales elementos que forman las rocas en los discos protoplanetarios (magnesio, silicio y hierro). Para esto último, los investigadores usaron espectros de alta resolución obtenidos con instrumentos de última generación montados en grandes observatorios astronómicos alrededor del mundo, tal como Mauna Kea, La Silla, Paranal y Roque de los Muchachos. "En esta parte del trabajo fue muy importante el aporte de los datos obtenidos con tiempo argentino en el telescopio de 8.1 metros y el espectrógrafo GRACES del Observatorio Gemini", comenta Jofré.

El equipo, además, descubrió que la relación entre la composición estelar y planetaria no es tan simple (uno-a-uno), como se asumió hasta el momento en los modelos de interior planetario. El análisis de los datos reveló que el contenido de hierro de los planetas rocosos, obtenido a partir de mediciones de la densidad planetaria, es mayor al que se obtiene de la composición de los discos protoplanetarios, derivada a partir del análisis de las estrellas huéspedes. Los investigadores interpretan que este enriquecimiento en hierro de los exoplanetas rocosos podría ser atribuido a la química de los discos protoplanetarios y las peculiaridades de los procesos de formación planetaria.

"Varios estudios previos buscaron una relación entre la composición de los exoplanetas terrestres de baja masa y aquélla de sus estrellas huéspedes, sin embargo, estos trabajos se basaron en el análisis de sistemas planetarios individuales o muestras muy pequeñas. Debido a esto, ninguno de ellos encontró una correlación fuerte tal como la que hemos obtenido en nuestra investigación", señala Petrucci.

Conocer la composición de un planeta rocoso es clave para saber si éste puede tener océanos o incluso una atmósfera y en base a ello analizar su potencial habitabilidad. "Derivar la composición de este tipo de planetas, sin embargo, no siempre es posible porque a veces no puede determinarse su masa. Los resultados de nuestra investigación son extremadamente útiles porque ahora sabemos con mayor seguridad que podemos tener una estimación de la composición de los planetas rocosos simplemente haciendo un análisis químico detallado de sus estrellas huéspedes. Esto es clave cuando no es posible medir la masa planetaria con facilidad", concluye Jofré. ■

Damasia Becu-Villalobos y Alejandro F De Nicola
IBYME-Conicet

A cien años del descubrimiento de la insulina

Houssay, sus discípulos, y la producción en Argentina

La diabetes como patología se conocía desde los antiguos egipcios, pero no fue hasta 1889 cuando Joseph von Mering y Oskar Minkowski describieron que la extirpación del páncreas en animales llevaba a una patología con los mismos síntomas de la diabetes. Los estudios subsiguientes permitieron relacionar esta patología con una proteína a la que se denominó insulina, pero los intentos de validar su función mediante la administración de extractos de páncreas habían sido infructuosos, debido a que esta proteína era degradada por las enzimas proteolíticas del páncreas.

Entre 1921 y 1922 el médico canadiense Frederick Grant Banting y el entonces estudiante de Medicina Charles Herbert Best aíslan y purifican la primera insulina de origen animal. Un paso gigante para el tratamiento de la diabetes. La originalidad de su aproximación fue la ligadura del conducto pancreático en animales para que desaparecieran los acinos productores de las enzimas digestivas, y lograr así preservar las células de secreción interna del páncreas y la insulina intacta. En un par de meses hidrataron y filtraron el material macerado obteniendo un extracto que inyectaron a un perro al que se le había extirpado el páncreas (pancreatectomizado, y por ende diabético), obteniendo un descenso significativo de la glucemia. Este fue el momento eureka que definiría los pasos a seguir. Los relatos de Best muestran un investigador apasionado: 'La lucha en el subsuelo del Medical Building durante el invierno y verano de 1922 fue épica. Recuerdo el túnel de viento para evaporar la acetona de

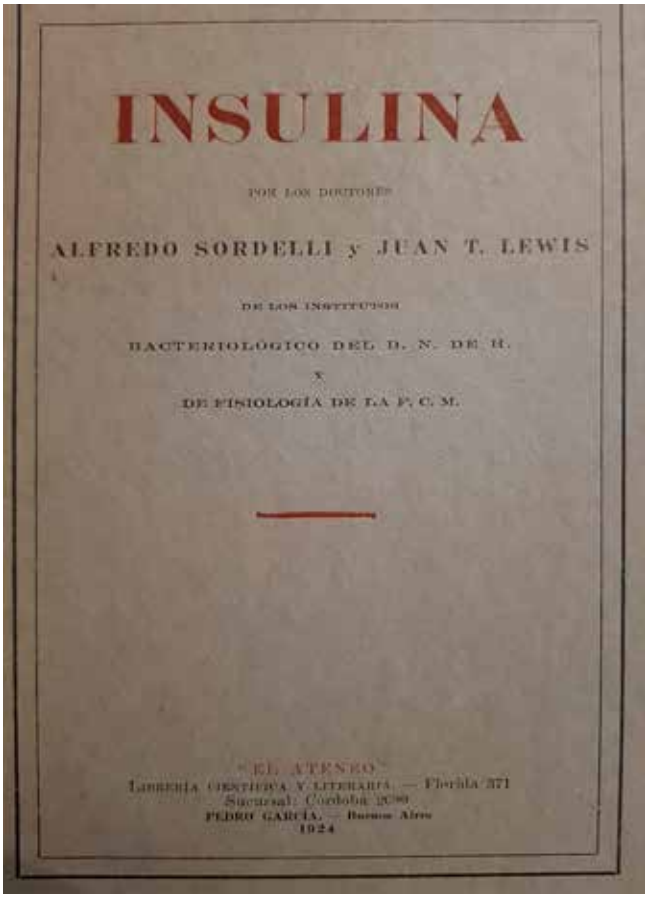
¿DE QUÉ SE TRATA?

El desarrollo de la insulina en nuestro país, desde la óptica de sus protagonistas y los desafíos que se encontraron en el camino.

los extractos de páncreas, con la ayuda de cables eléctricos calientes y sin protección, el matraz gigante que explotó, el condensador hambriento de hielo que surtíamos a mano, las inundaciones, las ratas salvajes, todo eso dejó vívidas impresiones en la mente del primer becario que trabajaba en el proyecto'. El primer trabajo científico se publica en 1922 en el *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*. Mas tarde se sumaría al equipo James Bertran Collip, un destacado bioquímico que cambió el procedimiento para obtener el extracto, utilizando alcohol en vez de acetona. Con el extracto purificado se inyectaron los primeros pacientes con resultados espectaculares. Este logro marcó un hito clínico en una época cuando el único remedio para enfermos con diabetes era hacer dieta, y su perspectiva de sobrevida era muy baja. Los relatos del efecto de la administración de insulina revelan el impacto y la emoción de ser testigos de los beneficios casi inmediatos que se obtenían con normalización de la glucosa en sangre, inhibición de la glucosa y disminución de los cuerpos cetónicos en orina, y mejora clínica con aumento del vigor y sentimiento de bienestar.

En la Argentina (sin internet, ni redes, ni aviones), al año siguiente, y habiendo leído la publicación de Banting y Best, Bernardo Houssay se entusiasma con la idea y se convierte en motor de un proyecto para fabricar la insulina en nuestro país. Le pide a Alfredo Sordelli (por entonces de treinta y tres años, auxiliar docente de Química Biológica en el Instituto de Fisiología dirigido por Houssay y con quien lo unía una estrecha relación personal y científica) que prepare insulina en el Instituto Bacteriológico Malbrán, 'para ser usada en experimentos, en enfermos, y para ser vendida'. En un pasillo Sordelli entabla conversación con el estudiante Venancio Deulofeu (de veintiún años) para convocarlo al proyecto. 'Pienso que debo haberle preguntado algo sobre la insulina, pues algunos días después me preguntó a su vez si quería acompañarlo en un trabajo que estaba realizando con el fin de preparar insulina de una pureza que permitiera su empleo en experiencias con animales. La única condición era trabajar gratis *et amore*'. Esa conversación de pasillo cierra el destino de Deulofeu, quien se une al proyecto decididamente.

Y así comenzaron el trabajo Sordelli y Deulofeu solo con la separata de la publicación para guiarlos. El esfuerzo demandó mucha imaginación y habilidad técnica para soslayar inconvenientes por la falta de equipos o de la información incompleta. Pero el resultado fue que a solo un año de publicada su extracción por Banting, Best, Collip y otros investigadores, la Argentina obtuvo insulina para sus pacientes, compitiendo con Estados Unidos y Europa, gracias a la acción movilizadora de Houssay, y la vocación y el entusiasmo de Sordelli y Deulofeu. Una necesidad social, un motor, una idea genial, y pasión por el trabajo.


INSULINA

POR LOS DOCTORES

ALFREDO SORDELLI y JUAN T. LEWIS

DE LOS INSTITUTOS

BACTERIOLOGICO DEL D. N. DE H.

Y

DE FISIOLOGÍA DE LA F. C. M.

"EL ATENEO"

LIBRERIA CIENTIFICA Y LITERARIA — Florida 371

Sucursal: Córdoba 2000

PEDRO GARCÍA. — Buenos Aires

1924

Tapa del libro *Insulina* publicado en 1924 por Sordelli y Lewis, con la descripción de la extracción de insulina.

Deloufeu acompañó a Sordelli cuando llevaron las primeras muestras de insulina a Houssay, quien comprobó la acción terapéutica 'útil, eficaz y notable' del producto obtenido por ambos colaboradores. Casi inmediatamente fue usada en experimentos en animales por Houssay, y en la clínica por Malamud.

Por otro lado, Houssay envió al recientemente graduado médico Juan Lewis a Canadá para conseguir insulina. La primera administración de insulina en nuestro país fue realizada el 1 de agosto de 1923 con gran éxito, ya que la paciente se recuperó de su cuadro de precoma diabético. La inyección la efectuó el mismo Lewis y quedaron a cargo de la enferma, pasando la noche junto a ella los practicantes Félix Puchulu y Pedro B Landabure, ambos discípulos de Pedro Escudero, quien luego sería conocido como el padre de la nutrición en nuestro país. Escudero, profesor titular de la cátedra de Clínica Médica (1921) fue clave en el crecimiento de la nutrición clínica en la Argentina.

Así, hace noventa y nueve años, los pacientes con diabetes de la República Argentina disponían de la insulina que les aseguraba la supervivencia.

En el Instituto Bacteriológico Malbrán, Sordelli (aho-

ra director) promovió a Deulofeu a jefe de la sección de Organoterapia, y ambos estuvieron asociados desde los inicios en la producción industrial de insulina. Esta insulina tenía el inconveniente de actuar por un corto lapso, con un pico de acción a los 30 minutos que la hacía ideal para el tratamiento de los comas diabéticos; pero para el tratamiento crónico en pacientes diabéticos graves su corta duración obligaba a utilizar tres o cuatro inyecciones diarias. En esa misma sección, Deulofeu desarrolló entonces las insulinas de acción lenta, las que aumentaban su tiempo de acción hasta casi veinticuatro horas. En 1936, el investigador danés Hans Hagedorn había sintetizado estas insulinas asociándolas a la proteína extraída del salmón: la protamina. Ante la imposibilidad de obtener esa proteína en el país (como vemos, las dificultades de importación de reactivos no es nueva), Deulofeu extrajo otra proteína a partir del hígado, la histona, con la que obtuvo resultados comparablemente satisfactorios para producir insulinas de acción lenta: la insulina-histona. Con ello en 1936 la Argentina y Dinamarca estaban a la cabeza en la innovación de insulinas de larga duración.

Pasaron muchos años desde aquel protagonismo innegable de la Argentina en la ciencia y la producción de insulina. En 1944 Houssay crea la Fundación Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME), donde continúa los estudios de la insulina, y recibe el premio Nobel de medicina en 1947.

Para 1960 ya se había dilucidado la estructura molecular y tridimensional de la insulina humana, y a partir de los desarrollos en el área de biología molecular y ADN recombinante en 1978 se comienza la producción de la proteína humana en *Escherichia coli*, generando y comercializando la insulina recombinante humana en 1980 por Eli Lilly y Genentech. Hasta este punto, la insulina se preparaba a partir del páncreas, generalmente de bóvidos y cerdos. Mientras en la Argentina, en 1993 Eduardo H. Charreau crea la primera unidad de vinculación tecnológica del país en la Fundación IBYME, acción que sería vital en la historia de la insulina nacional.

La Argentina necesita importar la insulina recombinante necesaria para sus 400.000 enfermos de diabetes insulinodependientes, y en este marco surge un nuevo proyecto en IBYME: la formulación de una insulina nacional. Así es que la idea de Houssay cobra nueva vida y la Fundación IBYME se propone la síntesis y producción de una insulina recombinante humana totalmente argentina estableciendo un convenio a partir de 1996. Charreau será ahora el motor, como lo fuera antes Houssay, y Néstor Annibali, Mercedes Goin y Claudia Trejo, entusiasmados por él, serán los nuevos Sordellis y Deloufeus. En este escenario reciben apoyo financiero de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y el Conicet. Y entran como contraparte del convenio nuevos agentes, las empresas biotecnológicas. El laboratorio Beta con Francisco Stefani, discípulo de Houssay y director de la empresa, financia los primeros desarrollos en IBYME, seguido por la empresa Denver Farma que escala la producción y financia la segunda parte del desarrollo.

El aporte original para lograr esta patente fue la elección del sistema de expresión. En general se usan bacterias *E. coli* modificadas genéticamente como vector de expresión. En este sistema, el precursor de insulina sobreexpresado requiere pasos posteriores de solubilización y replegado oxidativo. También se usan sistemas de expresión basados en levaduras (principalmente *Saccharomyces cerevisiae*) en los cuales el precursor de insulina es secretado al sobrenadante y su plegado es correcto. Es por ello que la mitad de la insulina mundial deriva de *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, los pasos para recuperación y purificación de la insulina son también complicados. El proyecto de IBYME/Conicet/Beta/Denver utilizó la levadura metilotrófica *Pichia pastoris* con características especiales para la producción de proteínas heterólogas, como su capacidad de llegar a altas densidades celulares y elevadas cantidades de producción de proteínas bajo el control de promotores fuertes y altamente regulados. En 2017 el proyecto pasa del IBYME al escalado para la producción en planta en Garín.

La línea de trabajo de la insulina fue una constante en el IBYME, iniciada por Houssay y continuada por Virgilio Foglia, quien descubrió que aparecían

Intervención artística a cargo de Patricia Saragueta en la biblioteca Houssay del Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME). Tres etapas de la vida de Houssay, premio Nobel de medicina y fundador del Instituto.

cambios de la glucosa en la sangre antes de manifestarse clínicamente la diabetes, y Alejandro F. De Nicola, quien estudió la patología del sistema nervioso central que se desarrollaba por la ausencia de insulina. Otros grupos más recientes del Instituto fundado por Houssay continúan trabajos relacionados con insulina, como Becu, Rulli, Libertun, Lux-Lantos y Saravia. Merece una mención especial en la historia de la insulina relacionada a Houssay Juan José Gagliardino. Comenzó trabajando con Ricardo Rosendo Rodríguez, un discípulo directo de Houssay, en la Facultad de Medicina de Universidad Nacional de La Plata, por lo que se lo puede considerar un nieto científico de Houssay. Gagliardino no solo tiene estudios mundialmente reconocidos sobre la regulación molecular, bioquímica y funcional de la secreción de insulina por islotes aislados de células beta, sino que a lo largo de su vida participó de varios programas de índole social. Desde el Centro de Educación Terapéutica Bernardo A Houssay (CBAH) y el Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada del que fue director por 37 años, participó en la educación y el tratamiento de pacientes con diabetes. De gran relevancia en la historia de la insulina y diabetes en la Argentina fue la creación de la Sociedad Argentina de Diabetes en 1954, cuyo primer presidente fue Pedro Landabure (aquel médico que había supervisado los efectos de la inyección de insulina en la primera paciente) y el segundo, Virgilio G Foglia. Luego, se creó en 1972 la Federación Argentina de Diabetes, que nuclea a las asociaciones nacionales de pacientes y familiares de diabéticos.

Para culminar, queremos destacar que la historia argentina de la producción de insulina que nace con la gesta de Houssay rescata una faceta no tan bien conocida del científico: su voluntad por realizar proyectos biotecnológicos de alcance social. Por ejemplo, siendo un investigador básico experimental, él pensaba que para el futuro de la endocrinología se deberían encarar proyectos de índole clínico y social (ampliación de las aplicaciones de los hormonoides en la limitación de la natalidad en los países superpoblados, medicina social y preventiva, acción de las hormonas sobre el sistema nervioso central y funciones psíquicas) y, también, aquellos de importancia en la producción de alimentos. Entre otras ideas, remarcaba la relevancia de estudios en endocrinología que apuntasen a aumentar la fertilidad en los animales de labranza, el incremento de la producción y calidad de las carnes y aves de consumo, el mejoramiento de las condiciones de las pieles y finalmente, la regulación de la ovulación en la industria pesquera.

Eduardo H Charreau en ocasión de presentar el caso exitoso en la interacción público-privada: producción nacional de insulina humana recombinante. IBYME, 2017.

Estas líneas de pensamiento preclaro que apuntan a las necesidades de la sociedad señalan la importancia de la confluencia de las investigaciones básicas, biotecnológicas, clínicas y de la industria farmacéutica, para llevar a buen puerto una solución cuasi definitiva para una enfermedad que afecta no solamente al 10% de nuestros connacionales sino también al resto de la humanidad. CH

Agradecemos a Flavia Hernández del Departamento de Comunicación del IBYME por las imágenes incluidas en este artículo.

LECTURAS SUGERIDAS

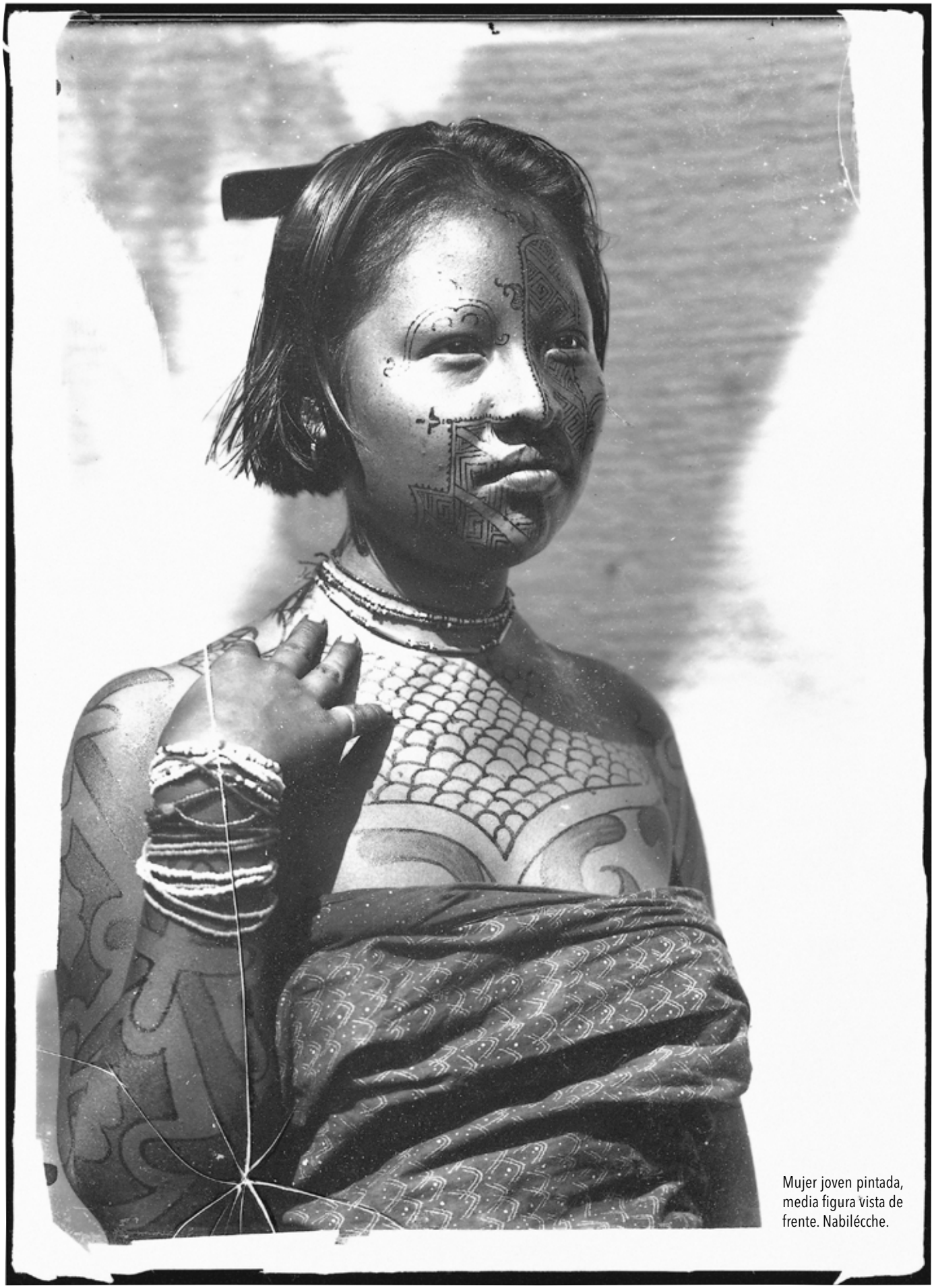
BANTING, FG y **BEST CH**, 1987, 'The internal secretion of the pancreas', *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 7, 5: 251-266.

BEST, CH, 1960, 'Forty years of interest in insulin', *British Medical Bulletin*, 16, 3: 179-182.

BARRIOS MEDINA, A (coord.), 1997, *Bernardo Alberto Houssay: primer premio Nobel científico argentino*, Buenos Aires, CD, 1997. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto. Universidad Nacional de Quilmes.

Damasia Becu-Villalobos
Doctora en bioquímica, UBA.
Investigadora superior del Conicet, Laboratorio de Regulación Hipofisaria, IBYME.
dbecu@dna.uba.ar

Alejandro Federico De Nicola
Doctor en medicina, UBA.
Investigador superior emérito del Conicet.
Profesor emérito de la UBA.
alejandrodenicola@gmail.com



Mujer joven pintada, media figura vista de frente. Nabilécche.

Diego Villar
IICS-UCA/Conicet

La gran belleza

El diario de Guido Boggiani

El pintor Guido Boggiani (1861-1902) es conocido fundamentalmente por sus fotografías de la cotidianeidad indígena, que cifran para la posteridad la imagen clásica de las pinturas y los tatuajes faciales de los aborígenes sudamericanos. Nacido en el seno de una familia acomodada del Piamonte, Boggiani se inscribió a los diecisiete años en la Academia de Bellas Artes de Milán para abandonarla al poco tiempo y enrolarse en las filas del naturalismo lombardo, una escuela paisajista que le permitió desarrollar su talento, ser premiado en Mónaco y en Roma, y que la Galleria Nazionale d'Arte Moderna comprara uno de sus óleos. Por razones que la historia y la biografía no terminan de dilucidar, emprendió un viaje hacia Sudamérica, donde, más allá de la pintura, se fascinó por la antropología, la historia y la lingüística de los pueblos indígenas. Allí capturó esas imágenes por las cuales ganaría su fama y se convertiría en una especie de prócer o ancestro de los estudios americanistas.

Parte de esa historia es conocida por sus propias publicaciones, así como también por una cada vez más profusa literatura 'boggianística'. Sin embargo, lo cierto es que las condiciones precisas en que se obtuvieron aquellas célebres fotografías siguen siendo, en el mejor de los casos, opacas. Aun teniendo en cuenta el carácter inevitablemente subjetivo de cualquier texto que recoge memorias personales, la reciente publicación del diario perdido de Guido Boggiani nos permite disipar la niebla en torno de algunos puntos oscuros de su biografía, reconstruir mejor el contexto de producción de esas imágenes y matizar la idea un tanto romántica de que su fascinación antropológica por el mundo indígena surge repentinamente de la nada.

En 1887, un joven Boggiani llega a Sudamérica para pintar paisajes exóticos. Desde el comienzo, en efecto, las impresiones que recoge en su diario bosquejan su predisposición estética:

¿DE QUÉ SE TRATA?

El diario perdido de Guido Boggiani detalla su interacción con poblaciones nativas del Chaco paraguayo.

> Afuera hay una luna magnífica, un cielo límpido y sereno, y una temperatura deliciosamente fresca. Con el millar de árboles y cuerdas de los barcos anclados que se entrecruzan en una trama densa y complicada, La Boca ofrece un aspecto fantástico a la claridad de la luna. Una dulzura de tonos que van desde el negro profundo de las sombras hasta el blanco frío y brillante de las casas iluminadas por la luna, todo sumergido en un indefinible, transparente tono turquesa, que solo por momentos interrumpe la nota brillante y anaranjada de los faros de guardia que cuelgan en los barcos adormecidos. (p. 100)

Boggiani pinta en Adrogué y en el delta de Tigre, muestra sus cuadros en exhibiciones y comienza a ganar renombre en el mercado artístico porteño. Sin embargo, la bohemia urbana no satisface su sed de aventuras y resuelve viajar por el interior del país. El diario pasa entonces a describir una desolada estepa patagónica ritmada por pueblos criollos, estancias y rancheríos aislados, con inmigrantes europeos que trabajan duramente mientras las élites porteñas se distribuyen el espacio rural. Describe también la presencia militar que garantiza la sumisión de las poblaciones indígenas recién derrotadas, destinadas a proveer mano de obra a los nuevos dueños de la tierra mientras las mujeres y los niños trabajan para los colonos como sirvientes domésticos.

El viajero pinta, fotografía y describe las escenas pintorescas que cabe esperar en los relatos de viaje de la época: la inmensidad del paisaje, al asado, el truco. La imaginería visual de las entradas intenta capturar un 'tesoro artístico' de planos, texturas, tonalidades y contrastes cromáticos:

> Por la noche, cuando el sol se ha puesto y todo se confunde en un tono oscuro y profundo, en la orilla de la laguna que refleja las tintas violáceas del cielo, uno de esos grandes troncos desnudos, con las ramas retorcidas y desordenadas que se abren al cielo y se hunden en el agua tranquila y luminosa, toma un aire de antigüedad venerable, un aire de brujería y de alma maldita, extraña, misteriosa. Y casi siempre hay

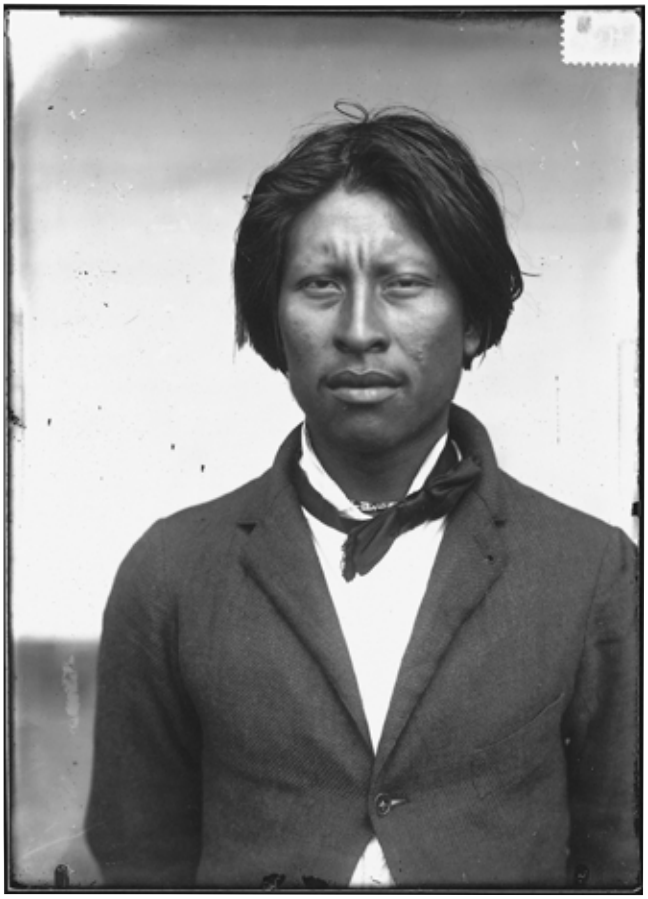
Vista desde lo alto del monte. Puerto Casado-Puerto Celina.

> grandes cuervos negros posados sobre sus ramas, inmóviles. Y la tierra llana y desierta separa –con una franja negra y recta que solo interrumpe algún lejano grupo de sauces– el cielo del agua, que de otro modo se confundirían en su tono anacarado con reflejos de sangre, de zafiro y de oro. Por la mañana la laguna tiene un aspecto totalmente opuesto. La imagen de muerte de la noche se vuelve imagen de vida, alegre, clara, brillante. Miles de patos de toda clase, cisnes blancos con el cuello negro, cigüeñas de un blanco inmaculado, grises, oscuras, bandadas de flamencos escarlatas con el cuerpo de todos los tonos, desde el blanco al rojo y al escarlata flamígero, pueblan las aguas brillantes de la laguna, levemente encrespadas por un ligero soplo de aire fresco. Los sauces exuberantes se vuelcan sobre el agua, iluminados por la luz dorada del sol que vuelve transparentes sus hojas. Y se reflejan perfectamente en la laguna, que duplica un paisaje invertido. (p. 128)

Ese paisaje imponente se pinta o fotografía a la distancia, así como los cintos, brazaletes o collares se compran por centavos a figuras opacas, lejanas y anónimas. Todo sucede, en efecto, como si el equipaje se transportara solo o las comidas se preparasen como por arte de magia: '[A]llí nos esperan mulas frescas. Me enganchan otra, excelente, y partimos a toda carrera. Nos aguardan para la cena en la estancia' (p. 126). En casi toda la narración, de hecho, peones, sirvientes, intérpretes y baqueanos son actores secundarios, genéricos, poco menos que invisibles: apenas un elemento más del paisaje estetizado. El primer óleo de Boggiani retrata a 'una lavandera' que encuentra por casualidad en Río Negro y, aun cuando evoca a los nativos con cierta dignidad poética, su prosa describe seres anónimos:

> Ha embarcado un joven 'chino'. Por un largo trecho nos sigue un viejo indio a caballo, que observa el vaporcito con insistencia. Por momentos lo perdemos en un giro del río, y volvemos a encontrarlo luego de un largo rato, erguido sobre su caballo, observándonos y saludando. Es el padre del muchacho que viaja en el barco, y recorre más de cuatro leguas a caballo para saludar una vez más a su hijo que se aleja velozmente. (p. 146)

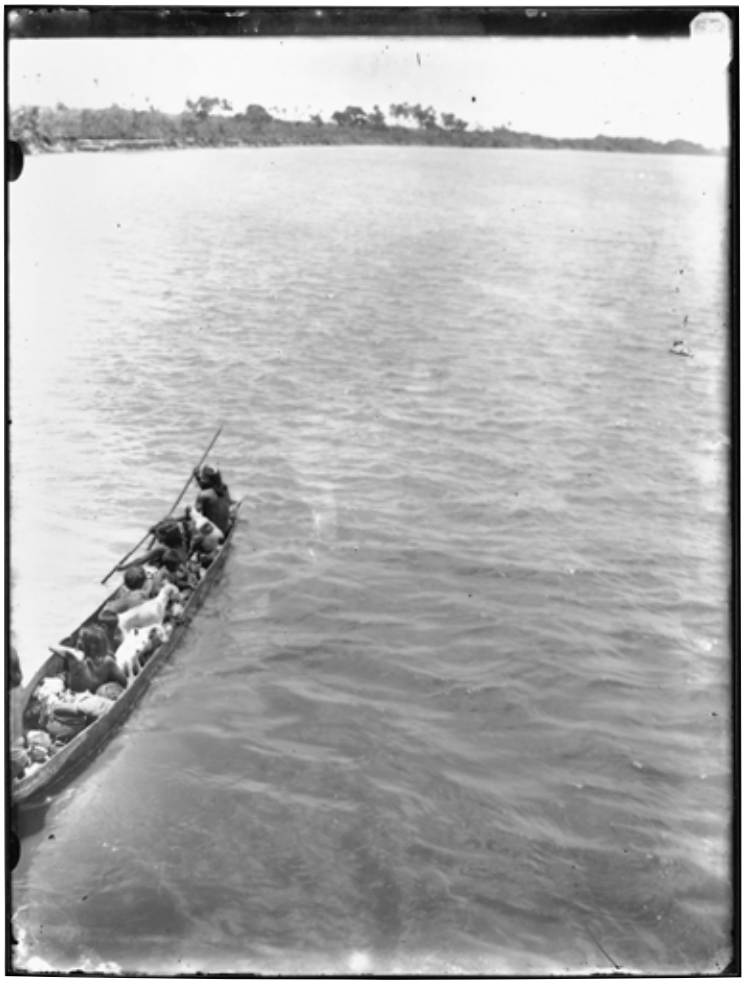
Las menciones personalizadas a la población local son contadas. Boggiani se asombra con un ñandú domesticado que caza moscas y almuerza con la familia Martínez Ruiz: 'El doctor también cría a una pequeña india llamada Carmen. Tiene buena voluntad para trabajar. Trata de esconder su origen y se niega a usar los ornamentos de plata que acostumbran los de su tribu' (p. 108). La atmósfera sombría del sometimiento persiste en la escena culminante del viaje, cuando Boggiani despide en el puerto a Valentín Sayhueque, líder de la resistencia indígena y último cacique patagónico en rendirse al ejército nacional. Mientras uno de sus hijos es mantenido como rehén en Carmen de Patagones, lo trasladan a Buenos Aires en vapor para conocer al presidente Julio Roca:



Ulilli, vista frontal, media figura. Nabilécche.

> Pensando en lo que era antes y en lo que lo han convertido, viéndolo viajar en segunda clase con sus hijos y con el hijo de otro cacique, he sentido piedad y me brotaron las lágrimas. Si hubieran sido tratados de otro modo, y por gente con un poco más de honestidad y corazón que ciertos conquistadores de esta región, creo –estoy seguro– que no hubieran pedido más que formar parte de un pueblo civil, como cualquier otro [...] Y he aquí un pueblo reducido a la miseria, reducido a ceder todo lo poco que poseía, y obligado a ir vagabundeando, miserable, buscando un trabajo que pueda mantenerlo, sometiéndose a labores superiores a sus fuerzas, abatido, desanimado, maltratado. ¡Pobre gente! ¡Qué pena! El

Estudio de Boggiani. Nabilécche.



Canoa de la tribu lengua. Concepción.

> gobierno ni siquiera les otorgó un territorio cualquiera. Completamente despojados… Es algo indigno, indecoroso. (p. 115)

La percepción de los claroscuros argentinos lo impulsa a buscar nuevos horizontes y probar suerte en el Paraguay. El 12 de septiembre de 1888 llega a una capital conmocionada por la muerte de Domingo Faustino Sarmiento: 'Me instalo en Asunción. Que la Fortuna me sea benigna, y no la necesite más cuando el destino de mi viaje sea Italia, y la meta de mis siguientes viajes pueda ser puramente el arte o el placer, sin preocupaciones por hacerme una posición o por comerciar con arte y otras cosas para ganar dinero' (pp. 189-190). Así como en la Patagonia había presenciado la ocupación definitiva del territorio indígena tras la campaña del desierto, en el Chaco paraguayo observa un proceso de colonización distinto, protagonizado por industrias extractivas y ganaderas.

Su amigo Miguel de Acevedo le propone instalarse allí, pintar paisajes rurales y vender los cuadros a Carlos Casado del Alisal, propietario de un gigantesco imperio maderero. En este nuevo escenario, las anotaciones conservan la inflexión visual del esteta: '¿Por qué no podré llevarme a Italia algún kilómetro cuadrado de estos lugares tan bellos? ¿Cómo podría reproducir algún paisaje en la tela o con la fotografía? Jamás había sentido tanto como ahora la necesidad de ser un pintor excelente, un artista ideal' (p. 247). Sin embargo, algo cambia en el Boggiani chaqueño: a diferencia de las entradas patagónicas, el nuevo paisaje se presenta salpicado de gente:

> Nosotros, mientras tanto, habíamos pasado revista a toda la indiada, y entre las mujeres había algunas realmente hermosas. Una, entre todas, me impactó por la belleza de sus rasgos y por la dignidad de su porte. Tenía unos grandes ojos rasgados, muy llenos de expresión, y las manos pequeñas y bien formadas sostenían sobre la cabeza un pañuelo rojo extendido, para protegerse del sol. Semejaba una Cleopatra que navegaba por el Nilo rodeada por sus esclavas. Señoreaba entre todos, y era quien más llamaba nuestra atención. Supe que se llamaba Lidia, y que era hija del cacique de la tribu. (pp. 241-242)

Poco a poco, en efecto, comienza a interesarse por las lenguas y culturas locales:

> Me enseñaban el nombre de cada cosa en su lengua, para que lo anotara; y haciéndolos repetir dos o tres veces cada palabra conseguí traducir cada sonido en nuestra ortografía con bastante precisión. Tienen muchos sonidos de los que carecemos, y tuve que

usar signos convencionales y fabricar nuevas letras compuestas. (p. 231)

En las entradas, al mismo tiempo, la categoría genérica de 'indios' va cediendo lugar a etiquetas más precisas (guanás, angaités, chamacocos, sanapanás) e incluso a personalidades individualizadas: Michí, Pukú, Keirá, Enmiji, Wora. Lo curioso, como en tantos otros observadores de la época, es que esa sensibilidad coexiste con la conciencia cabal de la compraventa regional de indígenas. Boggiani describe así a Mitä-Pirú, un adolescente angaité que lleva consigo a Asunción: 'Espero que se encariñe conmigo y se acostumbre a una vida más decente, y que no desee regresar. En cualquier caso, haré todo por educarlo bien [...] Creo que conseguiré que me tome verdadero cariño, y ya no me dejará' (pp. 265-266). Pero al cabo de un mes Mitä-Pirú se cansa de la rutina urbana y regresa a su tierra. Boggiani se encariña entonces con Felipe, otro joven nativo: 'Le pregunté si quería venir conmigo a Asunción. Tomó mi mano y, haciendo el gesto de ponerse en camino, dijo con entusiasmo: «¡Vamos!». El 14 me embarqué escoltado por dos indios, Felipe y Pío: un indio de seis u ocho años perteneciente a Acevedo, de la tribu chamacoco, que Acevedo compró en Pacheco hace tres o cuatro años' (p. 277). El nuevo acompañante parece cumplir las expectativas que no había colmado el díscolo Mitä-Pirú:

> Asunción dejó a Felipe todavía más maravillado. Es una pena que yo no comprenda su idioma; ¡quién sabe qué curiosas preguntas le habría escuchado musitar! ¿Qué dirá entonces cuando vea Buenos Aires, y Europa? Para ese entonces hablará castellano, y para mí será interesantísimo escuchar sus impresiones. ¡Un hombre de la Edad de Piedra transportado de golpe al pleno siglo XIX! (p. 279)

La última parte del diario describe la expedición a la aldea caduveo de Nalique, en el sur del Mato Gros-

Mujeres y niños (reparto de galletas). Puerto 14 de Mayo.

Hombre de la tribu tumaná con diadema de plumas. Los Médanos, 21 de agosto de 1901.

so brasileño, donde pasa casi tres meses en el verano de 1892. La descripción bucólica, alegre y despreocupada de la rutina caduveo es la cumbre etnográfica del diario: Boggiani intercambia alcohol por cueros mientras pinta, asombra a sus anfitriones con la precisión de la carabina, se convierte en el médico de la comunidad, observa combates rituales y curaciones chamánicas y padece regalos insólitos, insinuaciones sexuales e invitaciones por las noches a bailes interminables. Adopta la vestimenta indígena, toma una amante chamacoco y los cantos que en un principio le parecían monótonos comienzan a sonar dulces y evocadores:

> Ayer por la noche, mientras bailaban, yo estaba tirado en el suelo sobre un cuero de ciervo, al lado del fuego, leyendo la correspondencia a la luz de las llamas, vestido como siempre con el traje indígena. Si alguien hubiera llegado de repente, se habría sorprendido de encontrar a un salvaje concentrado en leer noticias políticas del *Corriere della Sera* de Milán. (p. 361)

Boggiani reporta una sociedad estratificada, jerárquica, en la que los guerreros caduveos conviven en armonía con sus siervos chamacoco, tereno y guaná. Persiste en sus anotaciones el consabido sesgo visual: 'A través del tenue tejido del mosquitero veo la espléndida luna. En el contorno de las hojas de los árboles la veo reflejarse, dorada primero, luego plateada, en las aguas especulares del río. ¡Cuánta poesía en un rincón tan pequeño!' (p. 301). Sin embargo, es cada vez más evidente que el objeto principal de admiración no es ya el paisaje en sí sino la belleza de la gente: la elegancia aristocrática de Leocadia, los ojos soberbios de Lidia y, sobre todo, los 'arabescos' o 'jeroglíficos' que decoran los rostros caduveo con un exquisito refinamiento simétrico. Para el ojo entrenado del artista, de hecho, la inclinación generalizada de las mujeres hacia el dibujo es una especie de epifanía. Lo desconcierta que su destreza no aspire a la permanencia sino que sea un deleite efímero, destinado a durar pocos días, la habilidad técnica para dibujar sin titubear ni corregir, o que desde la primera noble a la última esclava domine a la perfección ese intrincado código geométrico que él procura traducir torpemente a un lenguaje de 'líneas', 'puntos', 'diagonales', 'rayitas', 'volutas' y 'cuadros':

> Una hermosa esclava chamacoca se está pintando la cara. Con una mano sostiene el espejito y un fruto de urucú; y con el índice de la otra, mojado con un poco de saliva para diluir el rojo intenso de las semillas, traza una línea roja que desde el vértice de la frente, allí donde se dividen sus cabellos muy negros, desciende por la nariz, atraviesa la boca y divide en dos el mentón. Otra línea cruza la primera a la altura de la frente, desde una sien a la otra y del ángulo de los labios a la oreja, dos líneas más, una a cada lado; y a los costados de la nariz dos círculos. (p. 333)

> Me sorprenden cada vez más la facilidad y el brío de las mujeres para el dibujo. Todas saben dibujar, absolutamente todas; y lo que más me sorprende es que esto incluye a las chamacocas, las cuales normalmente son la negación de todo lo que sea dibujo y simetría, y aquí saben dibujar y exhiben casi la misma habilidad que las caduveo. La variedad de los dibujos sobre un mismo motivo es realmente extraordinaria, y me llevaría todo un día copiar todos los que veo sobre los rostros, los brazos, los pechos y los cinturones. Ya he copiado muchos, que colecciono en un cuadernito aparte. He visto rostros con dibujos tan extraños, y formas siempre tan novedosas, que son dignas de admiración. (p. 352)

Deslumbrado por esa geometría viviente, el artista no puede evitar asimilarla: 'Hoy he realizado algunos dibujos al estilo caduveo, y he recibido la admiración del público. Ya hubo quien me solicitó que copiara el dibujo en una cara o un brazo. Uno de estos días comenzaré a pintar diseños, ¡y tal vez así ganaré más que pintando paisajes!' (p. 342). Lo que comprende Boggiani, finalmente, es que la búsqueda de la belleza es recíproca. El diario evoca una suerte de coloquio de artistas en pie de igualdad, en el que el observador y los observados admiran sus respectivos trabajos y exploran de forma intuitiva su humanidad compartida. Los indígenas dejan de ser un elemento más del paisaje pasivo y silencioso, como en la Patagonia, para volverse auténticos interlocutores en la lengua franca del arte:

> Cuando volvió a casa Joãozinho les habló de mis bosquejos a la mujer y la cuñada, quienes manifestaron deseos de verlos. ¡Es curioso el interés que estos salvajes sienten por todo lo que sea arte! Un momento más tarde, mientras yo estaba royendo una mazorca de maíz tostada, se presentaron los tres; y, por una feliz inspiración, hice que las dos mujeres se sentaran en un banco frente a mí. Mientras les enseñaba los bosquejos, tomé el lápiz y tímidamente comencé a copiar los diseños al pasar, en una hoja de un cuaderno comercial, copiando a la ligera el rostro de la joven. Al observar que no les molestaba, sino que seguían con interés los trazos que hacía sobre el papel, tomé coraje y comencé a copiar el rostro con toda la precisión que el apuro me permitía. De ese modo conseguí copiar el rostro de la jovencita con sus garabatos; es en verdad tan hermosa y fina que recuerda aquella famosa figura de cera del Louvre atribuida a Raffaello, o a algunas cabezas Madonna de Luini o Leonardo. (p. 394)

Fascinado por los mundos indígenas, Boggiani regresaría varias veces a Sudamérica. En enero de 1902, mientras atraviesa el territorio tomaraho, es asesinado de un mazazo en la cabeza. Tras dos meses de exploración, un baqueano reconstruye su destino trágico. Una recelosa diplomacia detectivesca de pequeños regalos, sobornos, interrogatorios y amenazas más o menos veladas logra que, poco a poco, enterrados en el monte, ocultos en las chozas de indígenas temblorosos, abandonados a la intemperie, vayan apareciendo algunos trozos de periódico, una taza, unas jeringas, la maltrecha cámara fotográfica, los restos óseos del difunto e incluso el cráneo marcado en la sien izquierda, mientras a través de un Chaco conmocionado se dispara el reguero de las versiones: que Boggiani había despreciado la comida de sus anfitriones indígenas, que estos le vendían artesanías para robárselas por las noches y revendérselas al día siguiente, que en su hamaca había una mujer, que lo mataron unos barbudos, que en su hamaca había otra mujer, que le cortaron la cabeza, que el asesino era un chamacoco llamado Luciano, o que desde entonces el sitio donde murió el buscador de la belleza se llama *Bogiandebió*: los huesos de Boggiani. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BOGGIANI G, 2019, *Un artista en la América meridional: diario de los viajes por Argentina, Paraguay y Brasil (1887-1892)* (F Bossert, Z Franceschi y J Braunstein, eds.), Rumbo Sur, Buenos Aires.

BOGGIANI G, 1930, 'Viajes de un artista por la América meridional: los caduveos', *Revista del Instituto de Etnología*, 1: 495-556.

BOGGIANI G, 1900, *Compendio de etnografía paraguaya moderna*, Asunción, 1900.

LEIGHEB M y CERUTTI L (eds.), 1992, *Guido Boggiani: la vita, i viaggi, le opere. Atti del Convegno Internazionale (Novara 8-9 marzo 1985)*, Banca Popolare di Novara, Ornavasso.

FRIČ P & FRIČOVÁ Y, 1997, *Guido Boggiani: fotograf*, Titanic, Praga.

Diego Villar

Doctor en ciencias antropológicas, UBA.
Investigador independiente, Conicet.
IICS/Conicet-UCA.
diego_villar@uca.edu.ar

Vanesa Miseres
Universidad de Notre Dame, EEUU

El lenguaje de las flores

Mujeres y botánica en el siglo XIX

El lenguaje de las flores: mujeres y botánica en el siglo XIX

Los vínculos entre las mujeres y la botánica forman parte de una serie de tradiciones a reconstruir. A partir de finales del siglo XVIII –y durante todo el XIX– esta asociación cobró un sentido particular en la cultura occidental, donde la historia natural pareció convertirse en un pasatiempo aristocrático, acompañado por el coleccionismo de plantas, flores, pájaros, insectos o caracoles. Este desarrollo encontró un fuerte respaldo con la divulgación del trabajo del naturalista sueco Carl Linnaeus (1707-1778), quien desarrolló un sistema de clasificación y organización de los reinos animal, vegetal y mineral. En su *Filosofía botánica* (1751), Linnaeus demostraba la reproducción sexual de las plantas y daba su nombre actual a las partes de las flores, clasificadas según su género y su especie (figura 1). El siglo XIX sería también la época en la que proliferarían los jardines botánicos y los museos de historia natural, donde se exhibían los resultados de las expediciones botánicas y se presentaba un mundo natural clasificado y ordenado según categorías científicas.

Muchas mujeres replicaron la tarea botánica en sus hogares y entrenaron a sus hijos en la práctica de recolectar, disecar y clasificar plantas y flores. Para la mitad del siglo XIX, era común que mujeres pertenecientes a las aristocracias europeas y americanas tomaran clases para aprender a dibujar flores o se educaran en la ilustración botánica con libros diseñados para dicho propósito. Por citar dos casos particulares, cuando tenía catorce años la escritora estadounidense Emily Dickinson (1830-1886) creó un herbario en el que recolectó, prensó y clasificó 424 especies de flores de su estado natal, Massachusetts (el manuscrito se encuentra en la biblioteca de la Universidad de Harvard) (figura 2). La también escritora e ilustradora inglesa Beatrix Potter (1866-1943), recono-

¿DE QUÉ SE TRATA?

La botánica puede ser estudiada como parte de una construcción de una historia social e intelectual de las mujeres.

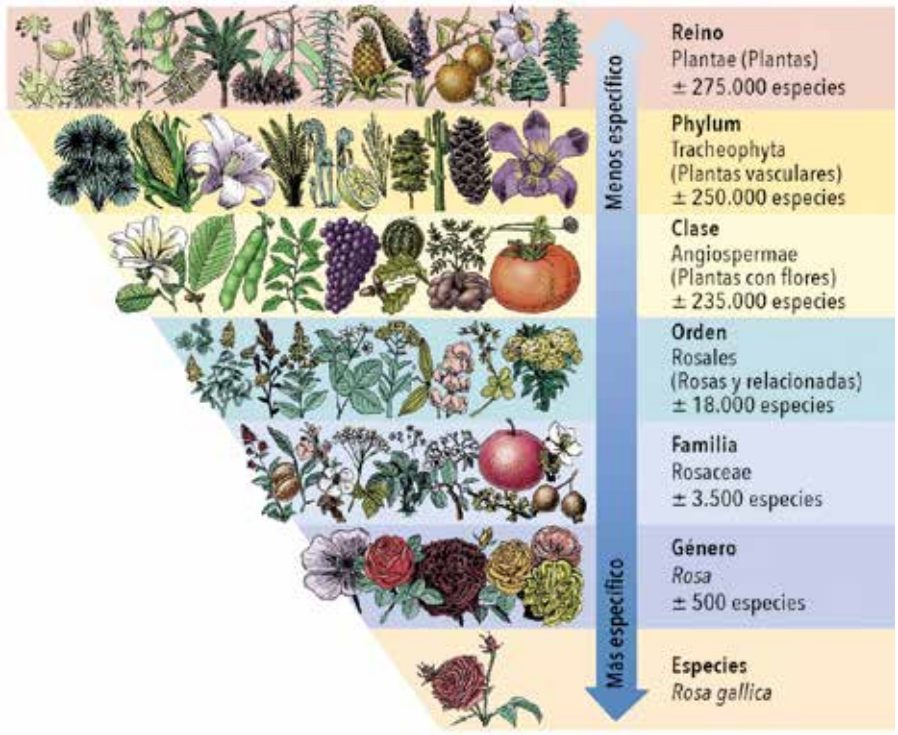


Figura 1. Ejemplo de clasificación de la *Rosa gallica* de acuerdo con el sistema de Carl Linnaeus.

cida por su libro infantil *La historia de Peter Rabbit* (1893), estudió y realizó experimentos sobre la reproducción y el desarrollo de los hongos, de los que produjo cientos de ilustraciones detalladas con la ayuda de un microscopio.

Aunque el interés de las mujeres por la botánica podría ser considerado en muchos casos decorativo –aprender a dibujar para poder trasladar esas imágenes a los bordados, por ejemplo–, en algunos otros, muchas mujeres llevaron este aprendizaje al terreno científico. Sobre la flora latinoamericana pueden citarse como ejemplos el caso temprano de la naturalista alemana Maria Sibylla Merian (1647-1717) y su análisis de la flora y los insectos de Surinam, o de Anne Kingsbury Wollstonecraft (1791-1828) –tía de la famosa autora de *Frankenstein* (1818), Mary Shelley– y su manuscrito sobre las plantas y flores de Cuba (figura 3). A través de la botánica, muchas mujeres del siglo XIX descubrieron un lenguaje, una ciencia y una salida artística para expresar su creatividad, los intereses y las capacidades intelectuales dentro de las restricciones sociales que las confinaban a la esfera doméstica.

Figura 2. Lámina del herbario de Emily Dickinson (Houghton Library, Harvard University) que demuestra la popularidad de la botánica como pasatiempo y acercamiento científico de las mujeres en el siglo XIX

La botánica en Latinoamérica: ciencia, modernización y sociabilidad

En Latinoamérica, la botánica ocupó un espacio importante en las esferas culturales, políticas y económicas durante el siglo XIX. No solo los botánicos y naturalistas europeos más destacados visitaron y estudiaron la región (Alexander von Humboldt, Aimé Bonpland o Alcide d'Orbigny, por nombrar algunos), sino que la botánica fue el centro de muchos debates sobre la modernización y la industrialización de las naciones. El conocimiento botánico fue orientado a la agricultura y otros modos de aprovechamiento de los recursos naturales. Autores como Domingo F Sarmiento o Andrés Bello vieron en la explotación de la flora local un camino hacia el deseado progreso. En Colombia, la Comisión Corográfica fue la empresa científica de más vasto al-

Figura 3. Descripción e ilustración de la piña/ananá. Anne Kingsbury Wollstonecraft, *Specimens of the Plants and Fruits of the Island of Cuba*, 1826. Cornell University Library.

cance antes del siglo XIX y muchos de sus logros fueron superiores a los de la Expedición Botánica de la época colonial, dirigida por José Celestino Mutis. Esta comisión, conducida por el militar italiano Agustín Codazzi entre 1850 y 1859, contó con colaboradores como José Jerónimo Triana, quien estuvo a cargo de los estudios de flora y fauna. Triana recogió un herbario de 2200 plantas, en el que se incluye el nombre técnico y el vulgar de cada una de ellas, así como el lugar donde crece y sus propiedades (figura 4).

Las mujeres formaron parte de este interés colectivo nacional y global, tal como lo demuestra el periódico mexicano femenino *Las Violetas del Anáhuac* (1887-1889). En las cuatro entregas de 'Algo de botánica y farmacología' de Elvira Lozano Vargas, por ejemplo, se aborda una gran variedad de temas botánicos considerados útiles para el público femenino, desde recomendaciones de plantas y flores según el tipo de suelo y clima, hasta clasificaciones naturalistas del reino vegetal, pasando por el origen y las propiedades de algunos ingredientes básicos de la dieta mexicana como el maíz, el arroz y la cebada. También en México, José Joaquín Arriaga –fundador de la Sociedad Mexicana de Historia Natural– publicó *La vida de las flores* como parte de su proyecto de varios volúmenes *La ciencia recreativa* (1871-1873). Aunque esta publicación estaba dirigida a los niños y a las clases trabajadoras, Arriaga dedica este volumen en particular a su esposa, Guadalupe Ponce de León de Arriaga, lo que confirma que la botánica estaba comúnmente asociada al público femenino.

Así también lo entendió la escritora colombiana Soledad Acosta de Samper (1833-1913), quien dedicó varias de sus publicaciones a la divulgación botánica. Su padre, el historiador, científico y figura de la independencia colombiana Joaquín Acosta (1800-1852) influyó en sus intereses por la historia y la ciencia. El interés y conocimiento botánico de Soledad Acosta se expresan en textos como *Conversaciones y lecturas familiares sobre historia, biografía, crítica, literatura, ciencias y conocimientos útiles* (1896). Esta obra ofrece detalles y explicaciones de los usos médicos y alimentarios de las plantas tanto nativas de Colombia como importadas. El libro está pensado como una adaptación del género inglés de *self help* (libros de formación y educación juvenil), pero en este caso exclusivamente para mujeres. Acosta recrea en forma de ficción una serie de lecciones que ocurren en una finca en las afueras de Bogotá. Sus dueños entretienen a las visitas –entre las que se encuentran dos mujeres jóvenes– con las clases de un

botánico y un cura que disertan sobre la ciencia y la religión. Las clases ocurren durante paseos dominicales en los que se leen pasajes de libros de ciencias y dedican la mayoría del tiempo a discutir el sistema, la biografía y las teorías de Linnaeus. Así pasan por las rutas del té de Asia a Europa, el origen de especias como la pimienta, la vainilla o la canela, la importancia del clima de los Andes en los cultivos de papa y maíz, entre otros. Se destacan también en estas conversaciones el aporte a la botánica de varias mujeres inglesas y norteamericanas como Marianne North y Febe Lankester, que sirven de inspiración para las jóvenes colombianas dentro y fuera del texto. Muchos de estos pasajes habían sido publicados previamente en el periódico fundado por la misma Soledad Acosta, *El Domingo de la Familia Cristiana*, bajo una sección titulada 'Nociones de botánica' (figura 5).

El proyecto, sin embargo, tiene sus límites. Naturalmente, muchas mujeres no participaban de estos círculos. En *Conversaciones y lecturas*, por ejemplo, se presenta a las sirvientas que preparan platos locales como el ajiaco mientras las hijas de los dueños de la finca son las únicas que pueden incursionar en la botánica. También llama la atención que las referencias de Acosta a la historia natural fueran puramente de influencia europea. El texto no daba lugar al conocimiento ni a tradiciones indígenas sobre las plantas, por ejemplo. En un momento en el que Sudamérica intentaba alejarse de su condición 'indiana' siguiendo patrones europeos, su acercamiento a las plantas a través de la ciencia representaba una aspiración al 'progreso'. Por este motivo, el discurso botánico de Acosta podría ser leído como una estrategia de género para escribir y publicar desde un espacio seguro y aceptado que se atreviera a mostrar, no obstante, la importancia de la educación científica de la mujer en la construcción de una identidad nacional moderna, un aspecto que no era completamente avalado por las clases dominantes.

Los álbumes de amistad y de recuerdos de las mujeres del siglo XIX son otro espacio que permite visualizar la popularidad de la botánica entre el público femenino. En estos cuadernos con hojas en blanco en los que las mujeres coleccionaban autógrafos, dedicatorias y otros objetos como fotografías, dibujos o recortes de la prensa, las ilustraciones de flores y plantas eran de las más predilectas. En el álbum de la cantante y compositora española radicada en Chile Isidora Zegers (1803-1869), por ejemplo, se conservan varias ilustraciones botánicas obsequiadas a ella por otras mujeres y por científicos reconocidos en la escena nacional como el naturalista fran-

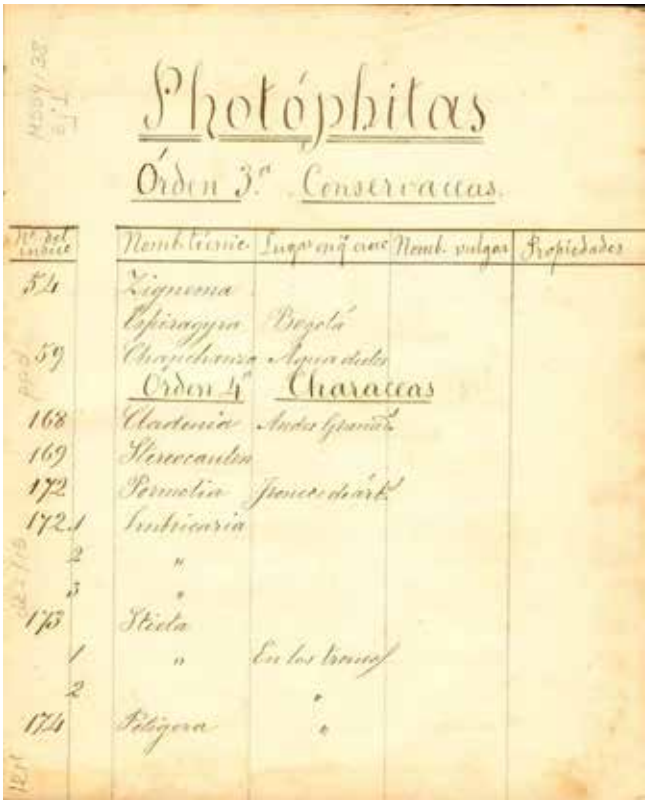
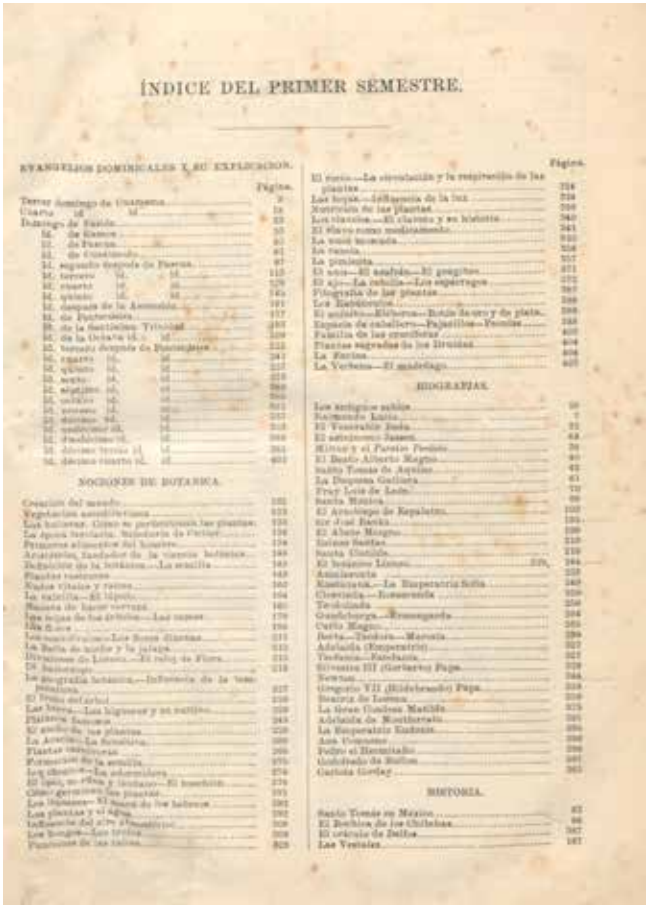

Photóphitas
Órden 3.º Conservaceas
Nº del índice | Nomb. técnico | Lugar en que crece | Nomb. vulgar | Propiedades
54 Lignyona
Cipiragyra Bogotá
59 Chaynchanza Agua dulce
Órden 4.º Characeas
168 Clavatenia Andes Granadinos
169 Stereocaulon
172 Permelia Jamaica dark
172.1 Indicaria
2 "
3 "
175 Stiela
1 " En los troncos
2 "
174 Peligera "

Figura 4. Cuaderno manuscrito de botánica colombiana de José Jerónimo Triana. Biblioteca Luis Ángel Arango. Colección Banco de la República.


ÍNDICE DEL PRIMER SEMESTRE.

EVANGELIOS DOMINICALES Y SU EXPLICACION.

NOCIONES DE BOTANICA.

BIOGRAFIAS.

HISTORIA.

Figura 5. Índice de *El Domingo de la Familia Cristiana* (1889) que incluye el listado de todos los artículos de botánica. Biblioteca Digital Soledad Acosta de Samper

cés Claudio Gay, autor de la *Historia física y política de Chile* (1844-1871), y cuya colección de animales y plantas dio origen al Museo de Historia Natural chileno. Se destaca también una ilustración sin firma identificable del copihue, considerada la flor nacional de Chile. Este nombre nativo, que significa 'estar boca abajo', está acompañado en el dibujo por el nombre científico, *Lapageria rosea*. Curiosamente, la historia de su nombre europeo está relacionada con el interés de las mujeres por la botánica, ya que *Lapageria* deriva del nombre de soltera (Lapagerie) de la emperatriz Josefina de Napoleón, que era una entusiasta coleccionista de plantas para su jardín de rosas en el Chateau de Malmaison (figura 6).

Las ilustraciones botánicas en álbumes como el de Zegers funcionan como una muestra del capital cultural y económico de quien dibujaba y de quien recibía dichos dibujos: exhibían el manejo de saberes compartidos como los de la pintura y la botánica, que formaba parte de la educación de las mujeres junto con la música, el bordado o la etiqueta –el saber comportarse en diversos

Figura 6. Ilustración del copihue o *Lapageria rosea* en el álbum de Isidora Zegers. Ediciones de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, Santiago de Chile, 2013.

ELLOS, ELLAS Y LA BOTÁNICA EN EL TRÁNSITO DEL SIGLO XVIII AL XIX: LINNAEUS, ROUSSEAU Y EL ESTUDIO DE LAS PLANTAS

El auge del estudio de las plantas en el tránsito del siglo XVIII al XIX estuvo marcado por las figuras de Carl Linnaeus (1707-1778) y Jean-Jacques Rousseau (1712-1778). Hacia 1771 puede fecharse el contacto epistolar entre ambos, donde Rousseau le agradecía a Linnaeus su aporte al estudio vegetal orientado al mejor conocimiento de la naturaleza. La contribución de ambos al ascenso científico y social de la botánica fue remarcable. Mientras que Linnaeus trazó los contornos de la botánica como disciplina científica a través de la definición del sistema taxonómico binomial sobre la base de la observación del aparato reproductor de las plantas, Rousseau articuló el estudio de los vegetales con una pedagogía moral y sentimental orientada al entendimiento de la naturaleza al mismo tiempo que erigió de modo perdurable al texto epistolar como el formato idóneo para difundir tal enfoque.

Linnaeus y Rousseau definieron dos formas de aproximación a la botánica: científica una, diletante la otra. Con relación a tales enfoques de la botánica puede observarse el vínculo entre el sexo de sus practicantes y la espacialidad de su despliegue. Mientras los hombres fueron los destinatarios de la aproximación científica, las mujeres lo fueron de la diletante. La recolección, la descripción, el ordenamiento y la aclimatación de las plantas exóticas fueron prácticas fundamentales para Linnaeus dadas sus implicancias económica, política, etcétera. Por ello, sostuvo que la botánica era una actividad masculina, que su despliegue espacial estaba ligado al viaje y la inspección de territorios ultramarinos con climas extremos y habitados por pueblos originarios muchas veces no sujetos al dominio europeo. Estas ideas se hallan en especial en su *Philosophia botanica* (1751), donde abordaba los aspectos prácticos del trabajo botánico tales como la organización de un viaje, la confección de un herbario o el establecimiento de un jardín botánico.

Para Rousseau, la botánica era más bien una actividad idónea para el desarrollo de la inteligencia y de la sensibilidad de las mujeres, cualquiera fuera su edad. La observación, la confección de herbarios y la elaboración de sencillas taxonomías, surgidas de los paseos cortos en el entorno del hogar, contribuían así al desarrollo de los sentidos, del intelecto y de una moral anclada en el conocimiento de la naturaleza. Tales argumentos fueron desarrollados en su *Fragments pour un dictionnaire des termes d'usage en botanique* así como en sus *Lettres élémentaires sur la botanique*, dos obras manuscritas de la década de 1770 publicadas de modo póstumo en 1782 y 1781 respectivamente, cuya destinataria fue la hija de Mme. Madeleine-Catherine Delesssert.

Las obras y los enfoques de Linnaeus y Rousseau en torno a la botánica ponen de relieve dos modos de apropiación social, moral e intelectual de la ciencia en el tránsito del siglo XVIII al XIX. Estos abordajes estuvieron fundados en una geografía del saber así como en una división sexual de las prácticas de saber ligadas a los espacios público-académico y privado-doméstico donde la botánica podía ser desarrollada por hombres y mujeres.

Marcelo Fabián Figueroa
ISES-Conicet/UNT

Figura 7. Imagen de una de las libretas de *Botánica antillana* de Ana Roqué de Duprey. Museo de Historia, Antropología y Arte, Universidad de Puerto Rico.

contextos sociales–. Al mismo tiempo, la dimensión botánica se combinaba con la social y las flores se convertían en un lenguaje a través del cual particularmente las mujeres de la aristocracia comunicaban sus emociones.

Sobre las primeras décadas del siglo XX, la feminista y sufragista puertorriqueña Ana Roqué de Duprey (1853-1933) plasmó su interés por la botánica en su manuscrito inédito *Botánica antillana* (1933), en el que describía –en inglés y en español– más de seis mil especies de plantas y árboles de su isla natal. Junto a los conocimientos científicos que Roqué adquirió con la tutoría del famoso científico Agustín Stahl, el manuscrito contenía una mezcla de poemas y dibujos, así como aforismos de los principales autores de la época (figura 7). Esta combinación proporcionaba una gran fuente para un análisis más profundo del impacto de la botánica en la imaginación literaria y la socialización de las mujeres. Hasta bien entrado el siglo XX, Bertha Lutz (1894-1976) en Brasil y Helia Bravo Hollis (1901-2001) en México personificaron el avance de las mujeres como botánicas profesionales en América Latina.

Los libros sobre el *lenguaje de las flores*: botánica, pasatiempos y exploración femeninos

Si dijimos que las flores fueron un lenguaje, no es descabellado pensar que ese lenguaje tuviera una gramática. Otra tendencia vinculada a la sociabilidad femenina y la influencia de la botánica fueron los libros sobre el 'lenguaje de las flores'. En general, estos libros consistían en una recopilación de poemas y ensayos de diferentes autores sobre el mundo botánico y su conexión con las mujeres. También incluían una sección de 'catálogo' o 'diccionario' en la que se describía cada flor y se la asociaba a una emoción concreta (amor, esperanza, tristeza), con explicaciones que remitían a la mitología, la literatura y la religión. Todos los volúmenes tenían también una sección de 'gramática' en la que se explicaba el lenguaje de las flores desde un enfoque lingüístico. Es decir, las flores, sus formas y sus posiciones se clasificaban en sustantivos, adjetivos y verbos. Los libros ofrecían instrucciones sobre cómo combinar 'sintácticamente' estos elementos para transmitir mensajes como 'yo te amo' o 'tu amistad hace mi dicha'. Según estos manuales, las mujeres necesitaban aprender dichas reglas para comunicar sutilmente sus emociones a través de ramos de flores naturales (*bouquets*) o con dibujos florales, que, al mismo tiempo, debían expresar el buen gusto femenino. En Latinoamérica se publicaron numerosas ediciones de estos libros desde la primera mitad del siglo XIX; por ejemplo, *El lenguaje de las flores i de las frutas*, publicado por Francisco de Torres Amaya en Venezuela, en múltiples ediciones desde 1846; otras versiones con el mismo título en Bogotá (1857), Nueva York (1864 y 1882), Barcelona (1870, con varias reediciones hasta 1913), y en México y París (1889). Todas estas ediciones mantuvieron igual estructura de contenido con algunos cambios y suplementos que adaptaron la esencia del libro a su público y región (figura 8).

Dentro de este fenómeno, que combina el mercado editorial, la botánica y la sociabilidad del siglo XIX, se destacaba también la publicación del *Oráculo de las flores y de las frutas* de la escritora colombiana María Josefa Acevedo de Gómez (1803-1861). Esta autora adaptaba el lenguaje de las flores y los saberes botánicos sobre ellas a un pasatiempo para los salones bogotanos y dedicado especialmente a las mujeres. El oráculo contenía dos juegos de veinticuatro preguntas y respuestas, uno sobre flores y otro sobre frutas. En cada uno de ellos, las flores y las frutas recibían un número específico, y cada número –que resultaba de tirar unos dados o de seleccionar una de las doce piezas numeradas incluidas en el libro– respondería a una de las veinticuatro preguntas seleccionadas por la jugadora en forma de verso con temática floral.

Este juego, perteneciente a una tradición de juegos de azar y adivinación existente desde épocas anteriores entre las cortes y clases altas, combinaba la recreación con la enseñanza. Las preguntas propuestas no solo se referían al lenguaje de los afectos que representaban las flores y las frutas (amor, amistad, lealtad), sino que también incluían referencias a los hábitos y las preocupaciones de las mujeres, como el matrimonio, la inserción en la escena social o los viajes a Europa. Es una obra que entretenía a la vez que buscaba guiar el comportamiento de sus lectores. Los significados de las flores y de las frutas regulaban el carácter de las relaciones interpersonales. En este sentido, el *Oráculo* desempeñaba un papel similar al de los manuales de urbanidad y buenas maneras, ya que ambos aspiran a contribuir a la formación de ciudadanos dividiendo claramente los roles de género de forma binaria, al igual que las flores clasificadas por Linnaeus.

Un gran número de los significados de las flores y las frutas del *Oráculo* –como la fidelidad, la abnegación, la modestia y la castidad– están vinculados a la sexualidad de la mujer. Los lirios representan la inocencia, las camelias blancas los pensamientos puros, la flor americana de la maravilla (*Mirabilis jalapa* o maravilla del Perú) significaba discreción y los dátiles, fidelidad. Al mismo tiempo, los versos que respondían a las preguntas de sus jugadores solían incluir consejos sobre cómo evitar los excesos y conservar la moral, o tener un 'espíritu gentil' que trajera éxito al matrimonio.

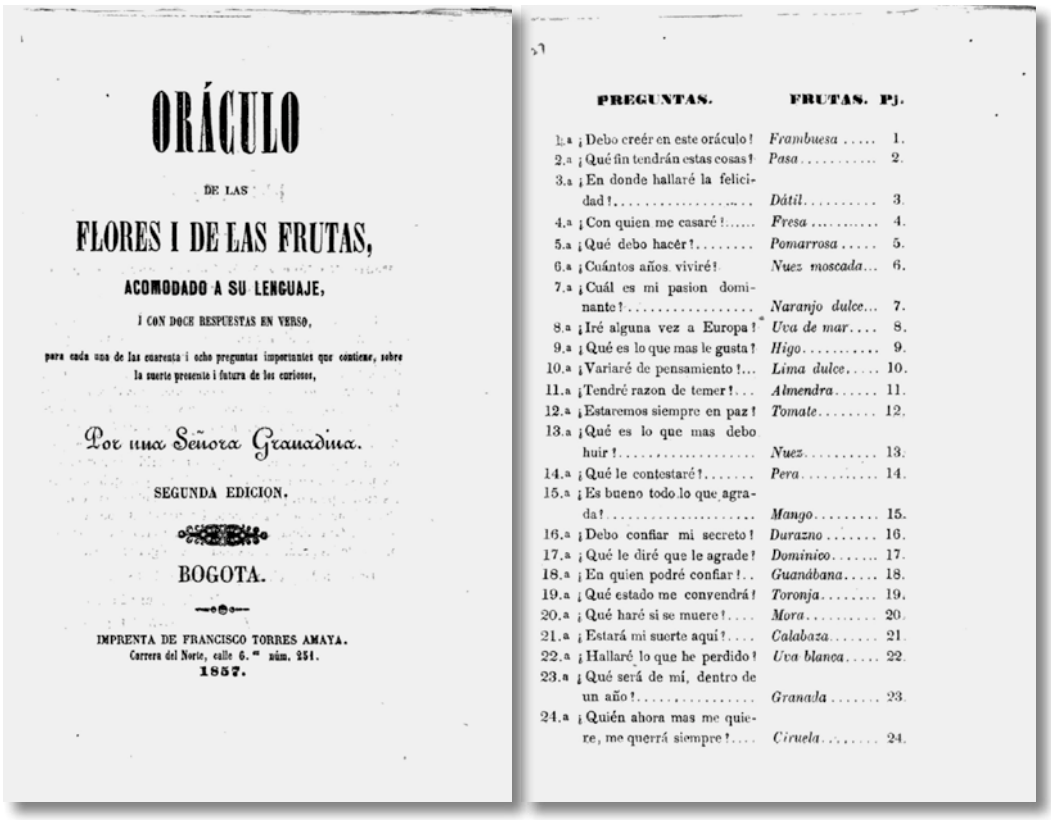
Como se mencionó, la clasificación de las plantas de Linnaeus se basó en las nociones tradicionales sobre las jerarquías sexuales. A finales del siglo XVIII y a lo largo del siglo XIX, las relaciones sociales entre los géneros se valieron de la ciencia para fijar una división de roles entre masculino y femenino, a la vez que la ciencia basó sus premisas en metáforas culturales de binarismo de género. Por ejemplo, aunque la mayoría de las flores son hermafroditas con órganos tanto femeninos como masculinos, Linnaeus y sus sucesores entendían la reproducción de las plantas como relaciones maritales entre dos miembros, uno masculino y otro femenino. El *Oráculo* de Acevedo utilizaba el lenguaje de las flores para enseñar a las mujeres una conducta sexual apropiada en consonancia con estos debates en torno a la botánica y también atendiendo a cuestiones históricas de su contexto como, por ejemplo, la creación de una ley de matrimonio civil de corta vida en Colombia en 1853, que fue abolida un año antes de la publicación de ese volumen, en 1856.

Sin embargo, a través del azar de las preguntas y respuestas, el *Oráculo* también ofrecía a las mujeres la posibilidad de explorar innumerables opciones dentro del imaginario social, sentimental e incluso sexual. Varias preguntas del oráculo expresaban el interés del público, mayoritariamente femenino, por experimentar el placer en formas que desafiaban las normas de la Colombia de 1850. Se ofrecía a las jugadoras la posibilidad de pre-

Figura 8. Portada de *El lenguaje de las flores y de las frutas*, Librería de Ch. Bouret, París-México, 1889. Biodiversity Heritage Library.

guntar, por ejemplo, '¿es bueno todo lo que agrada?', '¿tendré pronto un gran placer?', o '¿cuál de los tres es mejor?'. Al buscar las respuestas en el lenguaje de las flores, las mujeres que jugaban al oráculo podían verbalizar conceptos más abiertos del amor y la sexualidad dentro de los límites de la sensibilidad y el decoro de la clase alta. Jugando con la fortuna y utilizando la botánica y sus significados simbólicos derivados de las flores, tales preguntas y respuestas podían ser toleradas, ya que no suponían una grave amenaza para el orden social (figuras 9 y 10).

En tiempos en los que se mide el impacto ecológico del hombre sobre la tierra, resulta interesante incorporar los registros aquí analizados como inflexiones de género a dicho análisis. Los usos y las prácticas femeninas alrededor de la botánica nos sugieren una búsqueda del conocimiento y nos invitan a observar las formas que esa búsqueda puede adoptar valiéndose de elementos visuales, lecturas recreativas o juegos de adivinación. La relación entre mujeres y botánica, por otra parte, habla también de las barreras impuestas a la educación de la mujer y sus intentos por evadirlas o sortearlas para ganar autonomía y revelan las ideas que circulaban en el siglo XIX sobre qué era apropiado o no de acuerdo con una distribución binaria del comportamiento de los géneros. La botánica y sus diversas representaciones, en resumen, pueden ser leídas como instrumento para la construcción de una historia social e intelectual de las mujeres, una historia de la ciencia que incluya el relevante aporte de las mujeres desde diferentes registros. CH



ORÁCULO

DE LAS

FLORES I DE LAS FRUTAS,

ACOMODADO A SU LENGUAJE,

I CON DOCE RESPUESTAS EN VERSO,

para cada una de las cuarenta i ocho preguntas importantes que contiene, sobre la suerte presente i futura de los curiosos,

Por una Señora Granadina.

SEGUNDA EDICION.

BOGOTA.

IMPRENTA DE FRANCISCO TORRES AMAYA.
Carrera del Norte, calle 6.ª núm. 251.
1857.

PREGUNTAS.	FRUTAS.	Pj.
1.a ¿Debo creér en este oráculo?	*Frambuesa*	1.
2.a ¿Qué fin tendrán estas cosas?	*Pasa*	2.
3.a ¿En donde hallaré la felicidad?	*Dátil*	3.
4.a ¿Con quien me casaré?	*Fresa*	4.
5.a ¿Qué debo hacér?	*Pomarrosa*	5.
6.a ¿Cuántos años viviré?	*Nuez moscada*	6.
7.a ¿Cuál es mi pasion dominante?	*Naranjo dulce*	7.
8.a ¿Iré alguna vez a Europa?	*Uva de mar*	8.
9.a ¿Qué es lo que mas le gusta?	*Higo*	9.
10.a ¿Variaré de pensamiento?	*Lima dulce*	10.
11.a ¿Tendré razon de temer?	*Almendra*	11.
12.a ¿Estaremos siempre en paz?	*Tomate*	12.
13.a ¿Qué es lo que mas debo huir?	*Nuez*	13.
14.a ¿Qué le contestaré?	*Pera*	14.
15.a ¿Es bueno todo lo que agrada?	*Mango*	15.
16.a ¿Debo confiar mi secreto?	*Durazno*	16.
17.a ¿Qué le diré que le agrade?	*Dominico*	17.
18.a ¿En quien podré confiar?	*Guanábana*	18.
19.a ¿Qué estado me convendrá?	*Toronja*	19.
20.a ¿Qué haré si se muere?	*Mora*	20.
21.a ¿Estará mi suerte aquí?	*Calabaza*	21.
22.a ¿Hallaré lo que he perdido?	*Uva blanca*	22.
23.a ¿Qué será de mí, dentro de un año?	*Granada*	23.
24.a ¿Quién ahora mas me quiere, me querrá siempre?	*Ciruela*	24.

Figuras 9 y 10. Portada del *Oráculo* de María Acevedo Acevedo de Gómez (quien firma con el seudónimo 'una señora granadina') y listado de preguntas y frutas incluidas en uno de los juegos. *Oráculo de las frutas*, Imprenta de Francisco Torres Amaya, Bogotá, 1857.

LECTURAS SUGERIDAS

PÉREZ LÓPEZ F, 2014, 'Las mujeres y el lenguaje de las flores en la Barcelona de los siglos XIX y XX', *Temas de Mujeres*, 10, 10. *http://ojs.filo.unt.edu.ar/index.php/temasdemujeres/article/view/85*

SAUNDERS G, 1995, *Picturing Plants: An analytical history of botanical illustration*, University of California Press, Berkeley.

SCHIEBINGER L, 2013, *Nature's Body: Gender in the making of modern science*, Rutgers University Press, New Brunswick.

SHTEIR A, 1996, *Cultivating Women, Cultivating Science: Flora's daughters and botany in England, 1760-1860*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

TORRES GALÁN J, 2017, 'En busca de la ciencia médica: de herbolarias a farmacéuticas en la ciudad de México, siglos XIX y XX', *Letras Históricas*, 15: 73-97.

VEGA Y ORTEGA BÁEZ R, 2018, 'Botánica y agricultura en la prensa argentina, cubana, colombiana y mexicana, 1822-1880', *Iberoamericana*, 18 (69): 151-174.

Vanesa Miseres

Ph.D., Universidad de Vanderbilt, Estados Unidos.
Profesora asociada, Universidad de Notre Dame, Estados Unidos.
vmiseres@nd.edu

Patricio G Donato y Marcos A Funes
Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica (ICYTE). Conicet-UNMDP

Redes de servicios públicos inteligentes

Demanda de energía y redes eléctricas inteligentes

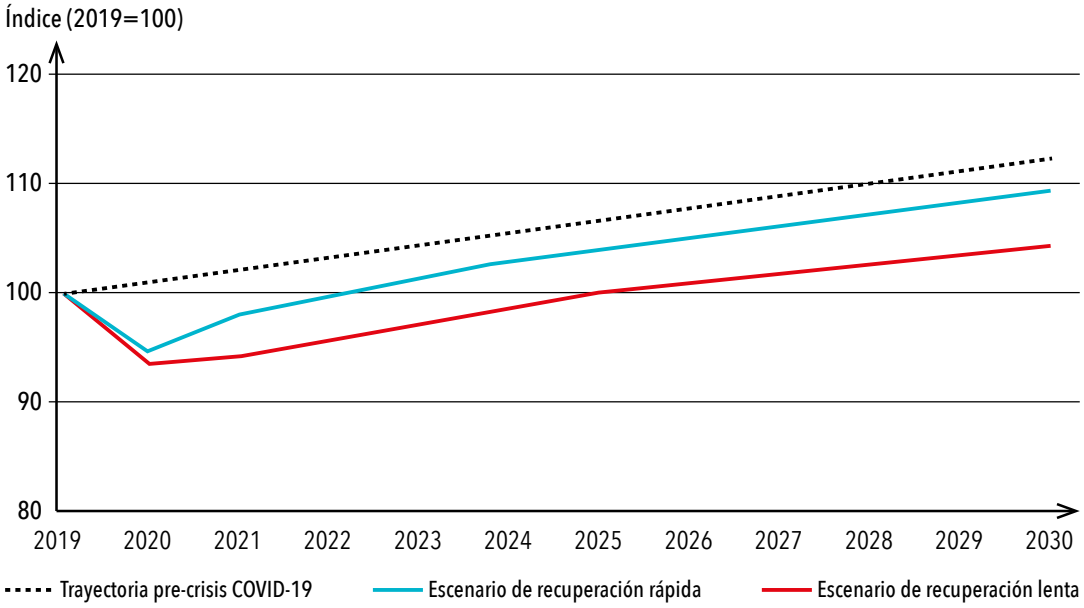
La demanda mundial de energía aumenta en forma sostenida impulsada no solo por el crecimiento de la población sino también por la mayor dependencia de la sociedad de la electricidad. Con excepción de 2020, y quizá 2021, en ambos casos por causa de la pandemia de COVID-19 que llevó a confinamientos, restricciones de movilidad y caída de la actividad económica, la tendencia de la demanda es alcista. Según las perspectivas de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en su publicación de prospectiva energética, el *World Energy Outlook* de 2020, el consumo mundial de energía recuperará los niveles pre-COVID-19 entre 2022 y 2025 –dependiendo si la recuperación económica es lenta o rápida– y a partir de entonces aumentará a un ritmo de poco más del 1% anual. Eso significa que para 2050 el consumo mundial de energía crecerá más de 30%, lo que equivale a añadir la demanda energética de otra China y otra India al consumo mundial registrado en 2019. Si esta nueva demanda se satisface con combustibles fósiles tradicionales, se agravará la contaminación ambiental que su consumo provoca y aumentarán los efectos sobre el clima. Por otro lado, si el incremento de la demanda se satisface exclusivamente con fuentes de energía renovables, la intermitencia en el suministro asociado con ellas (solo hay energía solar cuando el astro brilla y solo hay eólica cuando el viento sopla) debe preverse con mucha antelación para evitar problemas.

La respuesta a la demanda creciente de electricidad no pasa solo por generar más energía eléctrica sino también por propender a un consumo racional y a una gestión eficiente de la red eléctrica en su totalidad.

La respuesta a estas necesidades vino desarrollándose, en los últimos quince años, a través de un nuevo concepto que se denomina redes eléctricas inteligentes (REI) y

¿DE QUÉ SE TRATA?

Nuevas formas de acceder a servicios públicos en el hogar y la industria.

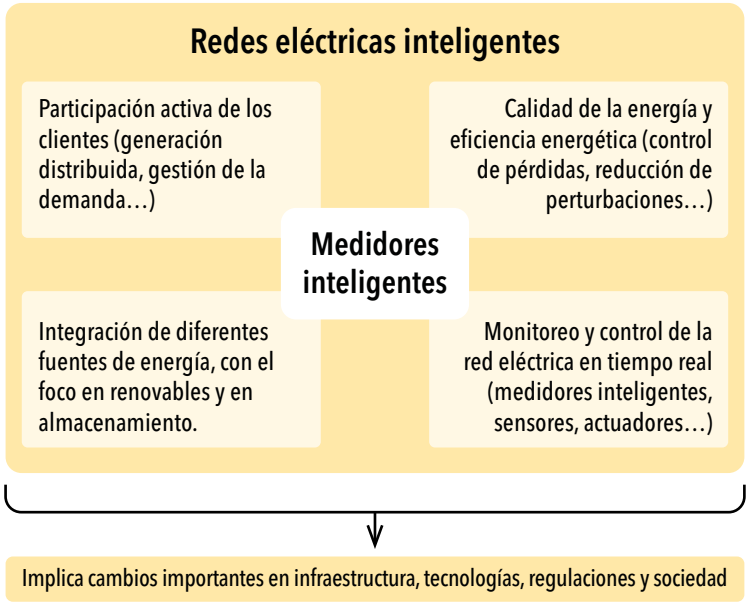


Proyecciones de crecimiento de la demanda de energía eléctrica para la próxima década, según la Agencia Internacional de Energía.

que representa un cambio de paradigma en la gestión y el control de las redes eléctricas. Las REI se pueden entender de manera simple como redes eléctricas tradicionales con modernas tecnologías de información y comunicaciones (TIC), que incluyen además sistemas de generación distribuida basados en fuentes renovables y microrredes. A partir de esta integración de tecnologías se modifica el funcionamiento mismo de la red eléctrica en aspectos tan variados como los siguientes:

- empleo de fuentes de energías renovables;
- generación distribuida en baja tensión;
- dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica;
- reducción de las pérdidas de transmisión y distribución;
- control del flujo de energía bidireccional;
- implementación de esquemas de gestión de la demanda;
- mejora de la calidad de la energía;
- control del consumo en tiempo real, y
- tarifas dinámicas.

Para hacer realidad estas nuevas funcionalidades es necesario incorporar nuevos dispositivos de sensado y control. Entre ellos, hay uno en particular que se destaca y se asocia directamente con las REI: el medidor inteligente o *smart meter*. Este dispositivo permite no solo la lectura en forma remota del consumo de energía de los clientes por parte de la empresa distribuidora, sino que también proporciona a los mismos clientes información en tiempo real sobre su propio consumo. Es el elemento básico que comunica en tiempo real al proveedor y los clientes del servicio eléctrico y que sirve para construir lo que se denomina arquitectura de medición avanzada (AMI, del inglés *Advanced Metering Infrastructure*). Los datos obtenidos de las mediciones en tiempo real pueden ser utilizados para generar políticas de tarifas y consumo, gestionar el flujo de energía y mejorar la calidad del servicio eléctrico en general. Además, proporcionan información útil a los clientes para hacer un consumo racional de la energía eléctrica. Los medidores inteligentes están presentes en la interacción entre los clientes y la empresa distribuidora, en la supervisión y el control de la red, o en la integración eficiente de los generadores de energía distribuidos (por ejemplo, los de aquellos clientes que instalan paneles fotovoltaicos e inyectan el excedente de energía eléctrica a la red).



La instalación masiva de medidores inteligentes permitirá el desarrollo de nuevas funcionalidades y servicios en el mercado eléctrico.

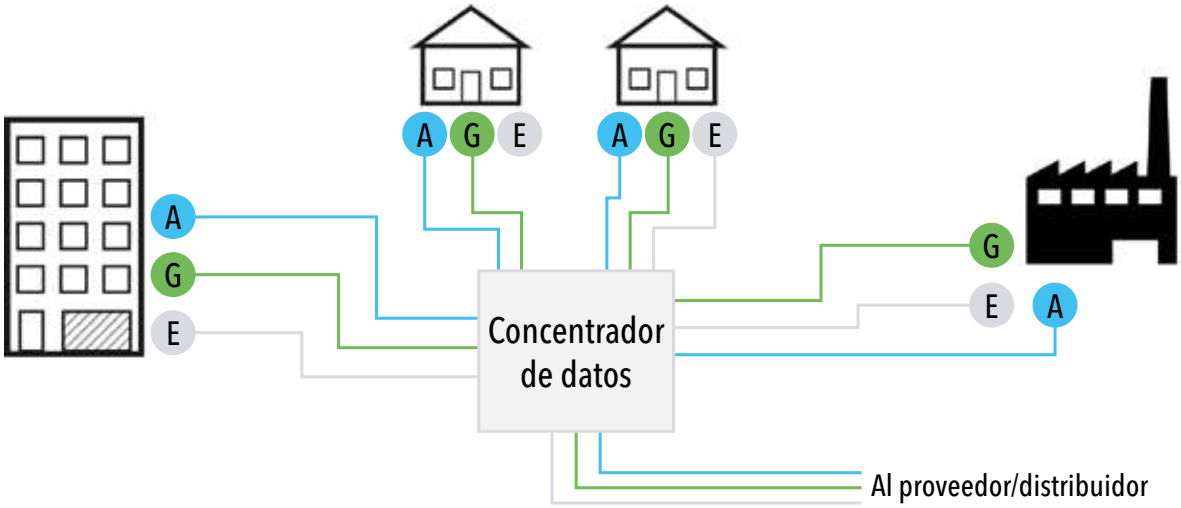
En la mayoría de los países de la Unión Europea, Norteamérica y Asia se han realizado despliegues masivos de medidores inteligentes como primer paso para implementar verdaderas REI. Algunos de ellos ya se han completado exitosamente, como en los casos de Italia, España y Suecia, y otros están considerablemente avanzados, como el Reino Unido y algunos estados de los Estados Unidos de América. Algunas estimaciones proyectan un ritmo de instalación de medidores inteligentes a nivel mundial que llegará a 85 millones de unidades en 2025, gracias al impulso de China y los países de la región Asia-Pacífico. La penetración de los medidores inteligentes en el mercado eléctrico mundial, según otros estudios, crecerá casi 50% hasta 2023, donde América Latina se sitúa, en promedio, en torno al 25% y los países más desarrollados en torno al 70%.

Extensión del concepto de REI a otros servicios públicos

El cambio de paradigma de las redes eléctricas tradicionales a las REI es un camino que se va a consolidar globalmente en el curso de la presente década. Sin embargo, es importante recordar que nuestra sociedad no solo emplea recursos energéticos en forma de electricidad. En la mayoría de los países desarrollados o en vías de desarrollo los clientes, sean de tipo doméstico, comercial o empresas, se abastecen no solo de electricidad sino también de gas natural, a través de una red de distribución análoga a la eléctrica. El sistema de medición del consumo de gas que se utiliza en casi todos los casos es similar al de los medidores eléctricos tradicionales, en los que la lectura es manual, con frecuencia mensual o bimensual. La instalación de medidores inteligentes de gas natural podría integrarse con la infraestructura de medición de consumo de energía eléctrica, permitiendo una gestión dinámica del consumo, tanto para los proveedores del servicio como para los consumidores, casi en tiempo real. Se han realizado algunas experiencias satisfactorias en grandes centros urbanos de Europa con esquemas de medición remota, en tiempo real, de consumos de gas natural y electricidad. Además, esta idea se puede extender a los medidores de agua, en aquellos lugares donde el suministro de esta es medido, formando una red de medición más amplia que permita a los organismos oficiales y a las empresas mejorar el servicio y gestionar el recurso de forma eficiente.

De esta manera, se puede extender el concepto de REI a uno mucho más amplio de 'redes de servicios inteligentes'. Estas redes no necesariamente van a estar controladas por un único proveedor, sino que en la mayoría de los casos van a corresponder a diferentes compañías, pero cada una de estas redes paralelas contribuirá a que usuarios y proveedores se vean beneficiados, unos por el control del consumo y otros por la eficiencia en la gestión y el control de la red.

¿De qué manera un sistema inteligente de monitoreo y control puede mejorar la calidad de los servicios de gas, agua y electricidad? El despliegue de medidores inteligentes, en cualquier tipo de servicio, permite el acceso a una gran cantidad de datos de consumo que pueden ser leídos a distancia con una frecuencia programable (en fracciones de horas) o bajo demanda. Desde el punto de vista de la empresa o cooperativa proveedora del servicio, esto permite no solo reducir los costes asociados a la lectura de medidores, sino también almacenar estadísticas, datos históricos, etcétera. Por otro lado, el acceso a la información relevada por los medidores inteligentes permite a los clientes hacer un consumo más racional de todos los servicios, ya que se podrán consultar datos históricos discriminados por días u horas, en tiempo real, en lugar de las mediciones manuales mensuales o bimensuales del presente.



Los medidores inteligentes de agua, gas y electricidad ayudarán a mejorar la forma en que se consumen los recursos, haciendo un uso más racional eficiente, tanto desde el punto de vista económico como desde el ecológico.

Otra de las cuestiones que contribuye a la eficiencia en la provisión de los diferentes servicios es la posibilidad de reducir o controlar las diferentes formas de pérdida. En el caso de la electricidad, el uso de medidores inteligentes ayuda a reducir las pérdidas de distribución de energía, tanto las denominadas técnicas (PT) como las no técnicas (PNT). Las PT se relacionan con el funcionamiento de cada componente del sistema: transformadores, cables, generadores, etcétera. Es, en cierto modo, una muestra del estado de las instalaciones eléctricas y depende básicamente del grado de optimización de la estructura del sistema eléctrico y de las políticas de operación y mantenimiento. Por otro lado, las PNT se originan por diferentes anomalías (medidor defectuoso, robo de energía, etcétera) y representan un problema importante para las distribuidoras eléctricas. Provocan importantes pérdidas de ingresos, afectando la operación del sistema eléctrico en general e introduciendo incertidumbre en los consumos medidos respecto de los reales. Según datos del Banco Mundial, en los últimos años las pérdidas medias en la distribución alcanzaron valores del 12-15% del total de la energía consumida en América Latina, África y Oriente Medio (como referencia, los países desarrollados están en torno al 5-6% de pérdidas en la distribución). Los medidores inteligentes serían útiles para controlar y minimizar el nivel de pérdidas en general, haciendo más eficiente la operación de todo el sistema de distribución. Además, la reducción de pérdidas aceleraría, en cierto modo, la amortización de la instalación de estos medidores.

En lo que respecta a las redes de distribución de agua potable y gas natural, los beneficios son similares. Una red de medición digital remota, en tiempo real, ayudaría a reducir las pérdidas de agua, sean estas por conexiones clandestinas o por roturas de cañerías. Según reportes del Banco Mundial, en los países en desarrollo se pierden casi 45 millones de metros cúbicos de agua por día, cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de agua potable de millones de personas. Adicionalmente, esas pérdidas representan un valor económico de cientos de millones de dólares por año, debido a la energía utilizada para bombear agua que no se consume o no se cobra. Estas pérdidas podrían verse notoriamente reducidas empleando medidores inteligentes de presión y caudal, combinado con gestión remota y/o automática de las válvulas.

En el caso del gas natural, hay una utilidad adicional a las ya mencionadas que es muy significativa. Las pérdidas de gas natural tienen consecuencias que no solo son económicas sino también vitales. Los accidentes producto de pérdidas de gas no detectadas a tiempo pueden ser mortales, tanto por los riesgos de inhalación como por explosiones debidas a la acumulación en ambientes cerrados. En este sentido, el uso de medidores inteligentes sería una herramienta muy útil para el cliente, que podría recibir alertas por consumos anormales, y también para la distribuidora, que podría verificar en tiempo cuasi real la existencia de pérdidas en la red o detectar aumentos anormales en el consumo de los clientes.

Impacto de las redes de servicios inteligentes en el país

La implementación de redes de servicios inteligentes es algo que podría materializarse gradualmente, en el mediano o largo plazo. Esto dependerá de diferentes factores, entre los cuales se encuentran el contexto socioeconómico y la falta de normativa. Sin embargo, a pesar de las dificultades, los beneficios a obtener, en lo que respecta a eficiencia y calidad del servicio, serán muy importantes. Adicionalmente, el despliegue de estas redes plantea algunos otros desafíos y oportunidades, a saber:

- **Monitoreo y control de sistemas de generación de energía distribuida:** uno de los retos más importantes de la matriz energética es la introducción de sistemas de generación eléctrica basados en fuentes de energía renovables en clientes de baja tensión (denominados 'prosumidores'). La integración de estos sistemas se hará usando medidores inteligentes que registren la energía consumida y/o inyectada por cada prosumidor.

- **Calidad de la energía eléctrica:** en el pasado este era un concepto restringido a ciertos lugares y cuestiones técnicas específicas. Desde hace un par de décadas, este tema ha cobrado notoria relevancia porque afecta a los usuarios en general, tanto en lo referido a la eficiencia del consumo como en lo que respecta a las interrupciones del servicio eléctrico. El despliegue de medidores inteligentes permitirá actuar en tiempo real para mitigar las diferentes perturbaciones que afectan el servicio eléctrico y por tanto para mejorar su prestación.

- **Desarrollo de la industria nacional:** en los países en desarrollo existe, al menos, un mercado potencial de cientos de millones de medidores inteligentes de electricidad, gas y agua, lo que representa una importante oportunidad para el desarrollo de equipos y servicios. La implementación y el desarrollo de las redes de servicios inteligentes también impulsará la industria del software, a través del desarrollo de soluciones y aplicaciones para el control

de la red, el almacenamiento y el procesamiento de datos, entre otros.

- **Procesamiento de la información:** la falta de información detallada sobre el consumo de energía atenta contra la aplicación de políticas de eficiencia energética, consumo sostenible, etcétera. La instalación de medidores inteligentes permitirá recolectar más y mejores datos que los obtenidos actualmente con la lectura manual de medidores. El procesamiento de este enorme volumen de información podrá utilizarse para mucho más que el cálculo de las facturas de luz, gas o agua, sino que también servirá para obtener información sobre problemas en la red, predicción de fallos, perfiles de consumo, etcétera. Aquí entran en juego numerosas herramientas de procesamiento de datos, que van desde los métodos estadísticos tradicionales hasta las nuevas ramas de la ciencia, como la minería de datos y el *big data*. Esto impulsará la creación de nuevos modelos de negocio que repercutirán en la creación de puestos de trabajo y empresas de base tecnológica.

- **Riesgos potenciales:** aunque las perspectivas son prometedoras, existen riesgos potenciales que hay que tener en cuenta y que requerirán un gran esfuerzo para empresas, desarrolladores y usuarios. La mayoría de ellos están relacionados con la ciberseguridad y la explotación de información privada con fines comerciales o, peor aún, para la alteración de datos de consumo, control de medidores inteligentes, etcétera. Esto supone un reto importante en términos de protocolos, algoritmos de encriptación, validación de dispositivos de medición, entre otros. Otra cuestión importante para algunos sectores es la posible violación de la privacidad asociada a la medición remota de los servicios, que proporciona información no solo del consumo, sino también sobre la rutina diaria del hogar. Para comprender mejor las consecuencias de la ciberseguridad se puede hacer una analogía con los criterios de seguridad empleados en los sistemas de salud o bancarios.

Conclusiones

La implementación de redes de servicios públicos inteligentes es algo que está dejando de ser una utopía para convertirse en algo tangible, al menos en los países más desarrollados. En un contexto global de crecimiento de la población, las necesidades de servicios van en claro aumento y es necesario hacer un uso racional de los recursos, minimizando pérdidas y aumentando la eficiencia de la gestión. La implementación de diferentes redes de servicios inteligentes será de gran utilidad en este sentido, con el beneficio adicional de que pueden ser la llave para nuevas oportunidades económicas y de innovación. Entre los desafíos a enfrentar se encuentra la factibilidad de implementar estas redes en diferentes regiones, en la elección de tecnologías y marcos normativos adecuados, y en el control de los riesgos potenciales mencionados anteriormente. CH

LECTURAS SUGERIDAS

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA, *World Energy Outlook 2020. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020*

PROYECTO MUSE GRIDS, HORIZONTE 2020, UNIÓN EUROPEA. *https://www.muse-grids.eu/*

BANCO DE DATOS ABIERTO DEL BANCO MUNDIAL, 2021, The World Bank Group. *https://data.worldbank.org/*

SMARTGRIDSINFO, GRUPO TECMARED. *https://www.smartgridsinfo.es/*

Patricio G Donato

Doctor en electrónica por la Universidad de Alcalá, España.
Ingeniero en electrónica por la Universidad de la Patagonia San Juan Bosco.
Investigador Independiente de Conicet.
pgdonato@conicet.gov.ar

Marcos A. Funes

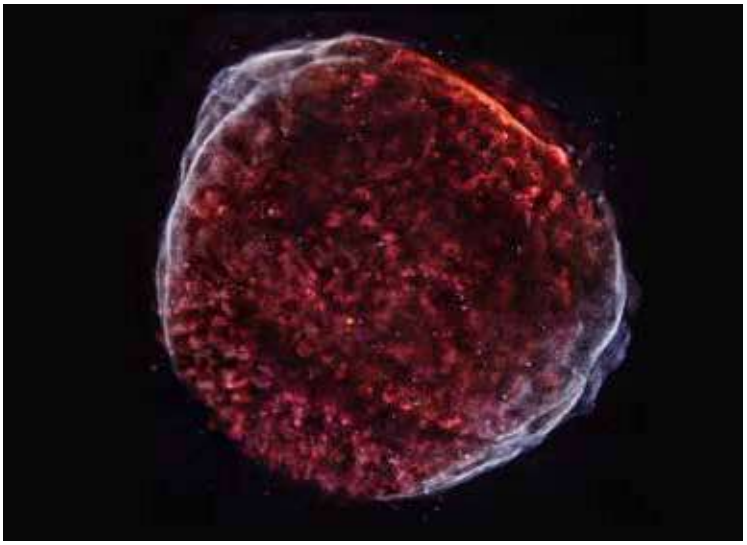
Doctor en Ingeniería orientación Electrónica de la UNMdP.
Profesor asociado en la UNMdP.
Investigador Independiente en Conicet.
mfunes@fi.mdp.edu.ar

Gloria Dubner
IAFE, Conicet-UBA

Supernovas extremas

Los cataclismos estelares más espectaculares

Imagine la lectora o el lector su asombro si, en una noche cualquiera, descubre de pronto una estrella nueva dieciséis veces más brillante que Venus. Esa fue la sorpresa de los astrónomos chinos en el año 1006 cuando registraron la aparición de lo que ellos llamaban 'una estrella invitada', una estrella que aparecía donde no había una antes. El mismo asombro con el que los monjes de la abadía de San Galo, en los Alpes suizos, la describieron como 'una estrella fulgurante y reverberante a los ojos, que causa alarma'. Lo que veían como una estrella nueva en realidad era la muerte espectacular de una estrella explotando, como lo que los científicos llamamos una supernova. La luz que recibían había viajado durante 7200 años hasta alcanzar sus ojos y un milenio después, podemos ver cómo semejante explosión modificó el cielo creando una bella nebulosa del tamaño de la luna llena conocido como *SN 1006*. Unos cincuenta años más tarde apareció otra estrella invitada, cuyos restos hoy forman la famosa *Nebulosa del Cangrejo*. En una galaxia como la nuestra se espera que exploten unas dos supernovas por siglo, pero en los últimos cua-



SN 1006, una nebulosa del tamaño de una luna llena formada tras la explosión de una estrella distante 7200 años luz de la Tierra y que fue vista entre el 30 de abril y el 1 de mayo del año 1006 como una estrella nueva dieciséis veces más brillante que Venus. Fue registrada por observadores de China, Japón, Egipto, Irak y Suiza, y sus descripciones permitieron descubrir sus restos en el espacio con gran precisión. Imagen en rayos X tomada con el telescopio espacial Chandra. Imagen NASA/CXC/Rutgers/J.Hughes *et al*.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Recientes descubrimientos sobre explosiones ultraviolentas de estrellas al final de su vida.

trocientos años la humanidad no tuvo otra oportunidad de maravillarse con la aparición de una estrella nueva y ha debido conformarse con descubrirlas e investigarlas en otras galaxias, en tanto que en la Vía Láctea solo puede estudiar los restos de explosiones pasadas.

Llevemos la imaginación aún más lejos y pensemos en el estallido de una supernova tan poderosa que, de haber ocurrido, la hubiésemos visto como un segundo Sol iluminando la Tierra. Un evento así, catalogado con el nombre *ASASSN-15lh*, se detectó el 14 de junio de 2015 en una galaxia ubicada a 3800 millones de años luz, utilizando un pequeño telescopio robótico instalado en el norte de Chile. Esa explosión catastrófica brilló como 570 mil millones de soles juntos en un punto, y de haber ocurrido a la distancia de la estrella Sirio (a 8,2 años luz de la Tierra) la humanidad no hubiera sobrevivido para contarlo. Son estas explosiones estelares excepcionales y superluminosas las que vamos a explorar aquí.

La Nebulosa del Cangrejo, resultado de una brillante explosión de supernova que se encuentra a unos 6500 años luz de la Tierra y fue descubierta el 4 de julio de 1054. En su centro hay una estrella de neutrones superdensa, un pulsar que gira una vez cada 33 milisegundos. La imagen es una combinación de datos tomados con el radiotelescopio Very Large Array y los telescopios espaciales Spitzer, Hubble y Chandra. Imagen Dubner y col.

Conjunto de cuatro telescopios robóticos de 14cm de diámetro ubicados en el observatorio Cerro Tololo (Chile) como parte del proyecto ASASSN para descubrir supernovas y otros eventos transitorios. Imagen Tom Holoien, *users.obs.carnegiescience.edu/tholoien/*

Primero hablaremos de estos eventos 'normalmente extremos', antes de adentrarnos en los 'extremadamente extremos'. Al momento de la explosión de una estrella se libera al espacio una energía del orden de 10^{53} ergios (equivalente a unas 10^{32} bombas atómicas como la de Hiroshima explotando juntas en un sitio). Esa explosión produce el brillo de unos 200.000 millones de soles juntos. De esa enorme energía liberada casi instantáneamente, 99% se pierde en el espacio sin interactuar con nada. Pero el 1% de energía restante es aún una cantidad enorme de energía térmica y mecánica que modifica el espacio de diversas maneras hasta grandes distancias. Una importante región del cielo se verá alcanzada por sus efectos y jamás volverá a recuperar el estado físico y químico que tenía originalmente. La trascendencia que tiene una explosión de supernova para la dinámica y evolución de las galaxias y para el enriquecimiento de átomos en el universo es tal que se podría decir que la evolución misma del universo para llegar a ser lo que observamos hoy en día está regulada en gran medida por las explosiones estelares. Basta decir que la riqueza y variedad de especies atómicas con que cuenta el planeta Tierra, y que ha permitido el desarrollo de la vida, no existiría de no ser por el efecto que producen las supernovas.

¿A todas las estrellas les espera ese destino? ¿Cómo son las supernovas 'normales'?

La respuesta a la primera pregunta es *no*. De hecho, ese final espectacular le está reservado a menos del 5% de las estrellas que pueblan el universo.

La duración de la vida de una estrella y su forma de muerte están esencialmente reguladas por su masa. Las estrellas con masas comparables a la del Sol tienen una larga vida, de unos 10.000 millones de años, y una buena parte de ellos transcurre convirtiendo, en su interior, hidrógeno en helio. Cuando el hidrógeno desaparece en el centro de la estrella, se puede decir que esta comienza su vejez. A partir de ese momento, la evolución será muy distinta en función de la masa.

La fusión nuclear en el centro de las estrellas es lo que las mantiene brillando y crea la presión dirigida hacia afuera necesaria para balancear la fuerza de atracción de la gravedad que, en sentido contrario, trata de compactarlas hacia el centro. Las estrellas mueren cuando se les acaban los átomos disponibles para fusionarse. Esa muerte puede ser apagándose lentamente –tal como le ocurre a la mayoría de las estrellas– y terminando como pequeños cuerpos fríos que, aunque no brillen significativamente, tardan miles de millones de años en extinguirse. O el fin de esos años de brillo y esplendor puede ser violento y catastrófico, explotando como supernovas.

Las explosiones de supernova obedecen a dos mecanismos distintos: las estrellas de gran masa (las que al final de su evolución tienen una masa de, por lo menos, ocho veces la del Sol) en un momento se quedan sin más átomos para fusionar; pero con mucha masa la gravedad gana, el núcleo colapsa y ocurren procesos físicos que transforman esa implosión en explosión. Por el lado de las estrellas pequeñas, si están de a pares, al final de sus días por influencia de la estrella compañera pueden sufrir un reencendido termonuclear catastrófico que en segundos las destruye completamente. En ambos casos al final se inyectan al espacio cantidades similares de energía, pero brillan distinto por las causas mismas de la explosión.

En las supernovas que se produjeron por colapso termonuclear, se produce al explotar una intensísima fisión nuclear que desencadena la fabricación de muchos elementos radiactivos. Esa radiactividad intensa las hace muy brillantes, con la peculiaridad de que prácticamente todas las de este tipo alcanzan en el máximo de luz un brillo muy similar. Se las denomina *SN Ia* y las dos propiedades características de estas supernovas, su brillo notable y la homogeneidad con que este decae con el tiempo, las convirtieron en 'velas patrón', sabiendo que producen siempre el mismo brillo su reducción aparente sirve entonces para medir distancias, una herramienta de enorme utilidad para explorar el tamaño, la geometría y el destino del universo.

Las que resultan del colapso gravitacional del núcleo de estrellas masivas (denominadas *SN Ib*, *Ic*, *IIL*, *IIP* y *IIn*) no son tan brillantes y son menos homogéneas. Si bien este tipo de supernova no es tan espectacular, es especialmente trascendente porque deja como legado un objeto supercompacto en el centro: las estrellas de neutrones, y si la masa del núcleo es mayor que tres masas solares puede originar los inquietantes agujeros negros cuya atracción gravitacional es tan feroz que ni la luz puede escapar de ellos.

Las supernovas extremas: hipernovas y otras sorpresas

Con las supernovas convertidas en ganadoras de un premio Nobel por su utilidad para medir la expansión cósmica, se iniciaron búsquedas intensas para descubrir más supernovas y más lejos, y se encontraron ejemplares mucho más raros que lo esperado. Se las denomina en general *supernovas superluminosas* (*SNSL*) y pueden ser centenares de veces más brillantes que las normales. Algunos de estos ejemplares exóticos son *SN 2011kl*, *SN2013cu*,

¿QUÉ PROCESOS LLEVAN A EXPLOTAR A UNA SUPERNOVA 'NORMAL'?

Las estrellas sobreviven fusionando átomos en su núcleo, y cada vez que se quedan sin combustible colapsan por acción de la gravedad; ese mismo colapso aumenta la temperatura, se reenciende el horno nuclear y se fusionan átomos más pesados. Si la estrella nació varias veces más grande que el Sol, tiene suficientes átomos como para repetir el proceso colapso-reencendido durante mucho tiempo, y en sucesivas etapas se irán fusionando átomos cada vez más complejos (de hidrógeno a helio, luego carbono, oxígeno, silicio, hierro). Ese horno requiere temperaturas cada vez más altas para encenderse y las reservas se gastan cada vez más rápido, y si al principio le servían para brillar millones de años, al final le alcanzan para prolongar la vida apenas unas pocas horas. Cuando llega al hierro el mecanismo no le sirve más, ya que contrariamente a los elementos anteriores al fusionarse el hierro no solo no libera energía, sino que la consume. Se acabaron allí las defensas de la estrella contra la gravedad, se produce el temido colapso gravitatorio, el núcleo estelar se compacta hasta lo indecible, una masa enorme (como un Sol y medio) queda apretada en una esfera de 10 a 15 kilómetros de radio, la fuerza de la gravedad es tal que en el centro de la estrella se rompe la estructura atómica, la materia pasa a estados degenerados, y queda formado un núcleo compacto formado solo por *neutrones*, cuyo interior profundo se piensa que está compuesto por materia exótica de quarks u otro estado singular de la materia aún desconocido. Las capas externas de la estrella 'se enteran' súbitamente de que nada las respalda desde el centro, caen sobre este núcleo durísimo y, en un proceso en el que los neutrinos juegan un rol muy importante, esa tremenda implosión se convierte en explosión, y las capas gaseosas de la estrella, enriquecidas con átomos que se fabricaron en su núcleo, salen despedidas al espacio a velocidades de unos 10.000km/s. Así la implosión se transforma en *explosión de supernova*. En el centro quedan latiendo las estrellas de neutrones, girando a altas velocidades y con intensos campos magnéticos que producen chorros de radiación que, en el caso de que el eje magnético no este alineado con el eje rotacional, podemos detectar en la Tierra como 'faros en el espacio', y se denominan *pulsares*.
A las estrellas pequeñas que se están apagando como enanas blancas también puede acecharlas un final explosivo. Cuando no están solas en el espacio, sino que tienen compañeras que orbitan a su alrededor y estas se inflan en la etapa de *gigante roja*, invaden su espacio con masa y las apartan del delicado balance físico en que estaban, induciéndolas a un reencendido fulminante de reacciones nucleares descontroladas que provoca un *colapso termonuclear*. En fracción de segundos destruye totalmente la estrella, que termina también explotando como supernova.

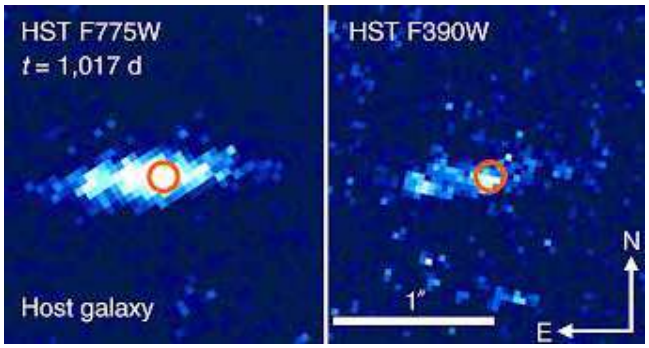
SN2016aps, *SN2018cow*, y *ASASSN-15lh*. Aunque el nombre incluye el año en que fueron detectadas, en muchos casos recién ahora se están publicando los resultados por la necesidad de investigar teorías que expliquen fuentes de energía diferentes de las 'normales'.

Se dice que la *ASASSN-15lh* fue la explosión estelar más luminosa jamás registrada. Fue quinientas veces más brillante que una supernova normal. Durante más de un mes, su luminosidad fue veinte veces mayor que la de toda la Vía Láctea. Todavía está en debate la naturaleza de este monstruo. Se ha sugerido que podría tratarse de una estrella que pasó dentro del radio de marea de un agujero negro supermasivo que la despedazó, o tal vez fue un *magnetar* (estrella de neutrones altamente magnetizada que gira muy rápido perdiendo energía por los polos magnéticos).

La *SN2016aps* fue tan brillante que su luz prácticamente eclipsó a la galaxia que la contenía. Se afirma que es la más masiva y energética de todos los tiempos. Cuando explotó emitió una energía diez veces superior a la alcanzada en los eventos normales. Recién en 2020 se llegó a cierto consenso sobre su naturaleza, proponiendo que la estrella que explotó debe haber sido entre 50 y 100 veces más grande que el Sol y se encontraba en un ambiente muy primitivo, casi sin átomos pesados. Se cree que el increíble tamaño de la estrella provenía de dos estrellas más pequeñas (pero aún enormes) que se fusionaron antes de la explosión, o una estrella muy grande embebida en una nube de gas también de decenas de masas solares. Se ha propuesto que en el núcleo muy masivo y muy caliente de la estrella pudo haber una extraña producción de materia y antimateria (electrones y positrones), y eso desembocó prematuramente en una explosión termonuclear descontrolada que, en lugar de colapsar en cuestión de minutos por la tremenda gravedad, destruyó completamente la estrella. Este tipo de explosión es denominada *supernovas de inestabilidad de pares pulsantes*, y solo puede ocurrir en estrellas muy antiguas y con masas exageradamente altas. La estrella que explotó probablemente existió en tiempos muy remotos del universo.

Las hipernovas magnetorrotacionales: son un modelo nuevo publicado en la revista *Nature* en julio de 2021, donde el sorprendente descubrimiento de átomos pesados como uranio, oro y zinc en una estrella químicamente muy primitiva (de unos 13.000 millones de años de edad) ubicada en el halo de nuestra galaxia llevó a los autores a proponer que la inesperada existencia de estos elementos indicaría que la estrella se formó con el material sobrante de una hipernova que debió explotar poco después del Big Bang como resultado de estrellas masivas muy magnetizadas girando muy rápidamente. Lo interesante de esta interpretación es que muestra una nueva fuente capaz de producir átomos pesados en el universo, aparte de la fusión de estrellas de neutrones.

Representación artística de una explosión como la que dio lugar a SN2016aps. Imagen M Weiss, BBC News.



La lejana galaxia a 4000 millones de años luz donde explotó SN2016aps, observada con el telescopio Hubble. El círculo rojo señala la supernova. Imagen Nicholl y col., *Nature Astronomy*, 4, 893, 2020.

La estrella que se comió un agujero negro y explotó: terminando casi la preparación de esta nota me sorprendió un artículo publicado en *Science* el 6 de septiembre de 2021, donde se informa lo que podría ser la primera demostración observacional de un hecho sobre el que, hasta el presente, se especulaba solo teóricamente. Los científicos analizaron una radiofuente transitoria muy luminosa (VT J121001+495647) que aparece curiosamente coincidente con una inusual fuente transitoria de rayos X (GRB 140814A, descubierta con un detector a bordo de la Estación Espacial Internacional) y las combinaron con nuevas observaciones en radio y luz visible. Estos investigadores concluyeron que esas emisiones se podían explicar en forma consistente como el resultado de varios pasos en la historia de dos estrellas.

Se sabe que la mayoría de las estrellas con masas mayores que las ocho masas solares nacen de a pares. En algunos casos la estrella que evoluciona más rápido explota como supernova, dejando una estrella de neutrones o un agujero negro orbitando cerquita de la compañera que sobrevivió. Cuando esta llega a la etapa de expansión puede atrapar al objeto compacto, el cual empieza a girar en espiral hacia el centro de la estrella, y se conjetura que a medida que viaja hacia adentro puede expulsar una espiral de material de la atmósfera de la estrella. Al llegar al núcleo

Esta ilustración muestra una estrella masiva que está a punto de explotar. Un objeto compacto (estrella de neutrones o agujero negro), dejado por su compañera binaria que explotó antes, va cayendo en espiral sobre ella. Al llegar al núcleo producirá la eyección de dos poderosos chorros y esto va a desencadenar la explosión prematura de la estrella. Ilustración artística de Chuck Carter, tomada de *www.caltech.edu/about/news/a-black-hole-triggers-a-premature-supernova*.

de la estrella, cae violentamente sobre este originando un par de chorros de energía simétricos que emergen a, casi, la velocidad de la luz, produciendo la emisión en rayos X detectada. En una interpretación novedosa se propuso que esos chorros desencadenaron una explosión de supernova. Después de unos cientos de años, la onda explosiva atravesó la mayor parte de la espiral expulsada y eso dio origen a la emisión que se detectó en ondas de radio.

Un dato importante es que, si bien la interacción entre un par de estrellas binarias es bastante común, se espera que esto ocurra entre 10.000 y 10 millones de años antes del colapso (cuando la estrella 'donante' todavía está transmutando hidrógeno en helio). En cambio, interacciones sincronizadas dentro de solo cientos de años antes del colapso del núcleo, como la que se desprende de este estudio, son extremadamente raras. Esa sincronización se explica mucho más naturalmente si el objeto intruso atacando el núcleo de la estrella es lo que produce la explosión. Al final de este tipo de interacciones queda formado un sistema con dos objetos compactos (dos estrellas de neutrones o dos agujeros negros) orbitando entre sí y acercándose cada vez más hasta que, eventualmente, se fundirán en un solo objeto.

Los monstruos subluminosos

En el otro extremo de las sorpresas están las explosiones muy débiles, *supernovas subluminosas* con un brillo de apenas un décimo o un centésimo del brillo de una supernova común. En este grupo están las *kilonovas*, que resultan de la colisión de estrellas de neutrones. Estas brillan pocos días en el cielo, pero los efectos de esta fusión de objetos compactos impactan el tejido cósmico y originan ondas gravitacionales que viajan a través del universo y han sido detectadas por el observatorio LIGO. El caso de las kilonovas es interesante para los terráqueos, ya que el 99% de la energía de la colisión va a parar al agujero negro resultante, pero el 1% restante alcanza para arrancar las capas externas. En ese proceso se produce una lluvia de elementos atómicos como mercurio, uranio, torio, y nacen allí dos metales muy valorados en nuestro planeta: oro y platino.

Están también las supernovas llamadas de *falsa alarma o impostoras*, provenientes de estrellas que nacieron con unas 70 a 150 masas solares y que explotan 'en cuotas'. Empiezan el proceso de explosión, eyectan un poco de su envoltura y recuperan así la estabilidad frenando por un tiempo el cataclismo, y ese proceso puede repetirse tres o cuatro veces, como la *SN2009ip* que arrojó materia cuatro veces hasta destruirse completamente.

Y están las que provienen de estrellas gigantes (que al nacer tendrían entre unas 300 a 1000 masas solares) y que al final de sus días experimentan una gravedad tan enorme que pueden llegar a aniquilarse a sí mismas, colapsando directamente a agujero negro sin pasar por ninguna fase explosiva. Cuando las ondas de choque de la explosión impactan, el gas circundante producen un brillo débil.

En todos los casos el quid de la cuestión es identificar la fuente de energía que impulsa estos sucesos y constituye un laboratorio extraterrestre de física de enorme valor para investigar física en condiciones extremas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ALSABTI AW & P MURDIN, 2017, *Handbook of Supernovae*, Springer, Nueva York.

DUBNER G, 2020, *Supernovas: el espectacular fin de las estrellas*, Paidós, Barcelona.

GIACANI E y DUBNER G, 2009, 'Supernovas: el fin catastrófico de una vida estelar', Ciencia Hoy, 19, 110: 8-15.

MAZURE A, 2009, *Exploding Superstars: Understanding supernovae and gamma-ray bursts*, Springer, Nueva York.

Gloria Dubner

Doctora en física, UNLP.
Investigadora superior del Conicet (jubilada), vicepresidenta de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN).
IAFE-Conicet-UBA.
gdubner@gmail.com

Francisco Alonso Solís-Marín
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México
Leonardo López Luján, Belem Zúñiga-Arellano
Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México
Andrea Alejandra Caballero-Ochoa
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
Carlos Andrés Conejeros-Vargas, Tayra Parada Zárate
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Pepinos de mar en las ofrendas mexicas del Templo Mayor, México

Tenochtitlan fue la capital del Imperio mexica, fundada en México en el año de 1325 d. C. sobre un islote de la cuenca de México. Se trataba de una ciudad lacustre de calles rodeadas por agua, donde se levantaban pirámides, templos y barrios alrededor del centro de la ciudad, en el cual estaba el recinto sagrado formado por templos y palacios. Entre estos se destaca el Templo Mayor dedicado a Tláloc, dios de la lluvia, y a Huitzilopochtli, dios del Sol. En el Templo Mayor se observan aspectos importantes de la vida social, política, religiosa y económica de los mexicas; en él se realizaban ofrendas sagradas y también se utilizaba como depósito funerario para personajes de un estatus alto dentro de la jerarquía social mexica.

Como muchas culturas mesoamericanas, los mexicas en México solían enterrar ricas ofrendas en sus principales lugares de culto religioso. En general, lo hacían con motivo de hechos significativos para el Estado, como la construcción y remodelación de edificios religiosos, la apertura de monumentos escultóricos, el fin de los ciclos de los tiempos, los ritos de paso de los soberanos, victorias bélicas, catástrofes naturales, por mencionar algunos. Los restos de animales son un elemento común de los descubrimientos arqueológicos de todo el mundo y están presentes en diferentes culturas y períodos de tiempo. La arqueozoología se define como el estudio de los restos de fauna que quedan cuando un animal es utilizado en algún sitio arqueológico e incluye huesos, caparazones, pelo, escamas, proteínas y, a veces, ADN.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Nuevos descubrimientos de invertebrados marinos en las ofrendas mexicas del Templo Mayor de Tenochtitlan, México.

Interesantes descubrimientos zoológicos

Las ofrendas de Tenochtitlan (1325-1521 d. C.) fueron enterradas por los sacerdotes mexicas dentro de edificios religiosos y debajo de los pisos de las plazas. Cada una de estas ofrendas contenía todo tipo de elementos, incluidos minerales en bruto, plantas, animales, restos humanos y artefactos. Dentro del material localizado de animales, en un trabajo conjunto, arqueólogos y biólogos han identificado los restos de más de quinientas especies asociadas al Templo Mayor de Tenochtitlan, correspondientes a seis filos diferentes: Porifera (esponjas de mar), Cnidaria (varios tipos de corales), Echinodermata (estrellas, erizos, galletas de mar y pepinos de mar), Arthropoda (cangrejos y camarones), Mollusca (conchas de diversos caracoles y almejas) y Chordata (mamíferos, aves, peces y reptiles). Dentro de los reportes faunísticos identificados, existe un claro predominio de especies endémicas de regiones bastante alejadas de la cuenca de México, donde se ubican los vestigios de la antigua Tenochtitlan. Estos fueron importados por los mexicas desde prácticamente todos los rincones del Imperio y más allá, y de ecosistemas contrastantes como bosques tropicales, zonas templadas, ambientes marinos, esteros, lagunas costeras y manglares. La escasez de especies comestibles revela el claro interés de los sacerdotes por aquellos animales a los que se les atribuía un profundo significado religioso o cosmológico. En los últimos diez años, y gracias a la cuidadosa recuperación y el análisis de todo tipo de materiales encontrados en el fondo de las ofrendas, hemos identificado vestigios de veinte especies de equinodermos. Los restos antes mencionados fueron recuperados durante las excavaciones arqueológicas realizadas en la base de la pirámide principal de Tenochtitlan. Estos materiales proceden de los yacimientos rituales enterrados por los mexicas en los siglos XV y XVI en el interior de los edificios y bajo los pisos de la plaza de su recinto sagrado. Todavía es posible detectarlos ya que estaban protegidos dentro de cajas de sillares cubiertas con losas, o en cavidades realizadas en el relleno de la construcción y luego selladas con losas o pisos de estuco, lo que selló y aisló el material de la mayoría de los agentes atmosféricos.

Los equinodermos

Los equinodermos (Echinodermata) son un grupo de invertebrados marinos con espinas en la piel que existe desde hace más de quinientos millones de años, dentro de los grupos más conocidos en este *phylum* se encuentran las estrellas de mar, los erizos de mar, entre otros.

En una primera fase de las excavaciones nuestros esfuerzos se centraron en el análisis de los restos de estrellas de mar (clase Asteroidea) y estrellas frágiles (clase Ophiuroidea), que se observan en la excavación como concentraciones de placas calcáreas desarticuladas. Después de múltiples exámenes comparativos, pudimos identificar seis especies de estrellas de mar, de las cuales cinco procedían del Pacífico nororiental mexicano (*Luidia superba*, *Astropecten regalis*, *Phataria unifascialis*, *Nidorellia armata*, *Pentaceraster cumingi*) y una del Atlántico oeste (*Astropecten duplicatus*), junto con una estrella frágil del Pacífico central mexicano (*Ophiothrix rudis*). Para la segunda fase, nos centramos principalmente en los restos pertenecientes a la clase Echinoidea (erizos de mar), y se identificaron ocho especies (*Echinometra vanbrunti*, *Eucidaris thouarsii*, *Toxopneustes roseus*, *Clypeaster speciosus*, *Encope laevis*, *Mellita notabilis*, *M. quinquiesperforata* y *Meoma ventricosa grandis*). Todos menos uno (*M. quinquiesperforata*) tienen una distribución del Pacífico nororiental de México. La tercera y más reciente fase de investigación se centra en los pepinos de mar (clase Holothuroidea) de la cual, hasta el momento, hemos identificado cinco especies.

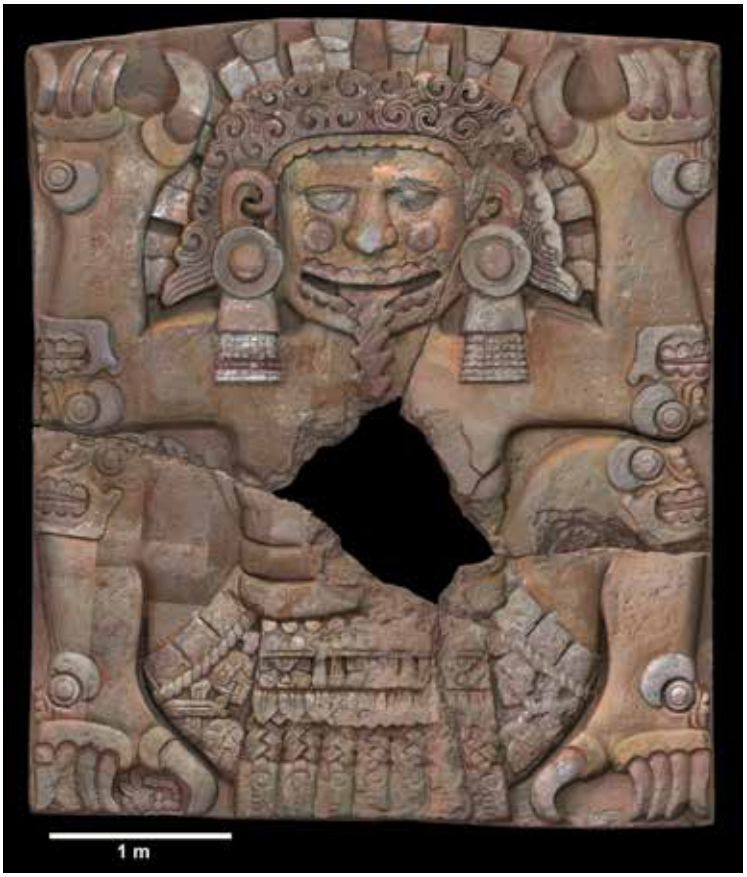


Figura 1. Monolito de la diosa de la Tierra en la ofrenda 126, encontrado en el antiguo Mayorazgo de Nava Chávez, suelo urbano de la Ciudad de México. Largo: 4,19m, ancho: 3,62m, peso: 12,35 toneladas.

Espículas de pepinos de mar y diversidad de pepinos de mar en las ofrendas mexicas

Los osículos o espículas son elementos independientes, microscópicos y no articulados, que forman el endoesqueleto calcáreo de los pepinos de mar, se encuentran embebidos en la piel y/o en las paredes de algunos órganos internos. Estas estructuras se usan para identificar y clasificar a los organismos; la forma y combinación de estas es tan particular que su combinación nos ayuda a determinar las especies. Algunas de las formas que las espículas pueden tomar son tablas, mesas, tablas de soporte, botones, barrotes, placas perforadas, anclas, rosetas y ruedas (sus nombres responden a las forma que asemejan estas estructuras), y sus tallas oscilan entre 0,01 y 1mm.

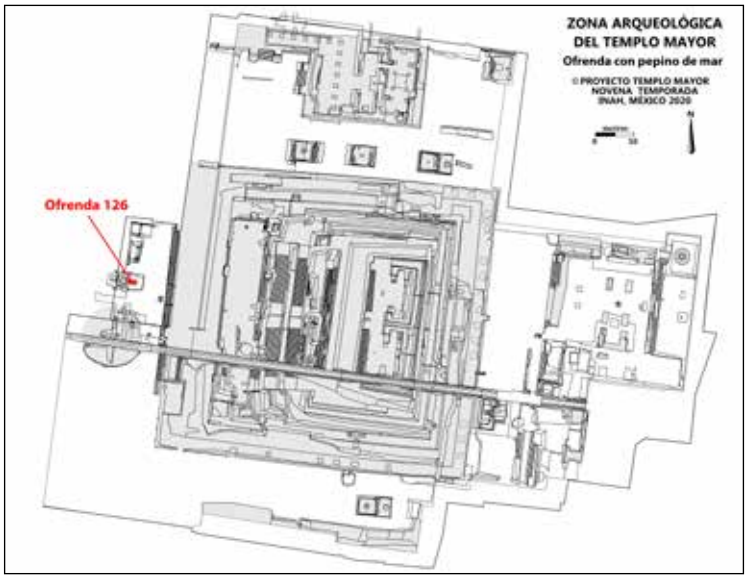


Figura 2. Mapa de la ofrenda 126 en la zona arqueológica del Templo Mayor. Escaneo 3D realizado por Saburo Sugiyama. Cortesía Proyecto Templo Mayor

Figura 3. La ofrenda 126 fue el depósito ritual para la consagración del monolito de Tlaltecuhtli. Largo: 195cm, ancho: 100cm, profundidad: 73 cm. Cortesía Proyecto Templo Mayor

Las espículas se encontraron en el nivel más bajo de la ofrenda 126, una caja de sillares que se encuentra 2m por debajo del monolito de la diosa de la Tierra Tlaltecuhtli (1486-1502 d. C.) (figuras 1-3). Después de ser descriptos en sus contextos originales, todos estos restos microscópicos de pepinos de mar fueron recolectados junto al sedimento circundante, usando tubos Eppendorf. Estos tubos se etiquetaron y registraron en una base de datos. Las espículas se observaron en el laboratorio de equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (ICML-UNAM), en un microscopio electrónico de barrido (SEM) y se tomaron imágenes. Todo el material examinado se encuentra depositado en el Museo del Templo Mayor de la Ciudad de México. Distinguimos varias formas de espículas, lo que permitió la identificación de géneros y especies, y la comparación de estos restos arqueológicos con especímenes recolectados en la actualidad. Se encontraron cinco especies de pepinos de mar en la ofrenda 126 en el Templo Mayor de Tenochtitlan, *Neothyone gibbosa* (figura 4A, 1-4), *Neothyone gibber* (figura 3B, 1-5), *Pachythyone lugubris* (figura 4C, 1-2), *Neopentamera anexigua* (figura 4D, 1-2), *Isostichopus fuscus* (figura 4E, 1-3).

La cosmogonía mexica

El análisis espacial de la ofrenda dejó claro que los sacerdotes mexicas distribuían los obsequios siguiendo un patrón para crear un cosmograma, es decir, un modelo en miniatura de una gran parte del universo de acuerdo con los conceptos religiosos predominantes. En el fondo de la caja, primero depositaron miles de huesos desarticulados y deshuesaron segmentos anatómicos pertenecientes a mamíferos, aves y reptiles, según el detallado estudio de la bioarqueóloga Ximena Chávez. Luego cubrieron por completo ese primer nivel, que podría describirse como 'esquelético', con un segundo nivel de simbolismo 'acuático', compuesto por animales marinos muy numerosos y variados. Inmediatamente formaron un tercer nivel con cuchillos de pedernal ensartados en bases de copal. Según la arqueóloga Alejandra Aguirre, estos representan –a través de máscaras, atavíos y adornos– un contingente de guerreros muertos; además, una pieza corresponde a un dios de la lluvia y otro a un dios del viento. Finalmente, en el cuarto y más alto de los niveles, los sacerdotes representaron la superficie de la Tierra con una tribuna de pez sierra (símbolo del monstruo telúrico primigenio) y con siete imágenes de basalto del dios del fuego, marcando con ellas las tres piedras del hogar en el ombligo del mundo y las cuatro direcciones cardinales. En el mismo nivel dispusieron obsequios de copal, así como un cuenco y una vasija de cerámica pintada de azul, esta última llena de semillas.

La ofrenda 126 posee una biodiversidad incomparable en relación con las otras ofrendas del Templo Mayor. En el fondo de la caja, según la identificación de Ximena Chávez y la mastozoóloga Montserrat Morales, había huesos pertenecientes a siete taxones de mamíferos (28 lobos, 19 linces, 15 pumas, 3 jaguares, 1 ocelote, 1 conejo de Florida, 1 ratón venado), aves (5 águilas reales, 4 búhos americanos, 2 halcones rojos, 1 halcón de cola roja, 1 halcón gallina, 2 codornices) y un reptil (1 serpiente cascabel). En los niveles intermedios, se concentraron todo tipo de organismos marinos. Según la ictióloga Ana Fabiola Guzmán, allí estaban presentes seis taxones de Osteichthyes (2 peces aguja, 2 peces globo, 2 peces zapatero, 1 cabrilla, 1 rémora, 1 jorobado). Los condrictiólogos Oscar Uriel Mendoza y Nataly Bolaño concluyeron que solo había un taxón de peces cartilaginosos (2 peces sierra). En cuanto a los moluscos, el malacólogo Belem Zúñiga reportó 65 taxones de almejas (624 individuos), 60 taxones de caracoles (833 individuos) y un poliplacóforo (96 individuos). Por su parte, el biólogo marino Pedro Medina reconoció cuatro taxones de cnidarios (4 gorgonias, 3 corales cerebro, 1 coral cuerno de venado, 1 coral cuerno de alce). Finalmente, con respecto a los equinodermos, contamos seis taxones de estrellas de mar (13 individuos), uno de erizo de mar regular (7 individuos), dos de erizos de mar no regulares (4 individuos), uno de estrella quebradiza (1 individuo) y cinco de pepinos de mar (5 individuos). También detectamos restos de al menos un taxón de Porifera (una esponja marina).

El total de la fauna recuperada en la ofrenda 126 es abrumador: un mínimo de 1688 individuos pertenecientes a no menos de 167 taxones, el 90,4% de los cuales son de origen marino. La ofrenda 126 posee una lista verdaderamente exhaustiva o un inventario completo de los organismos que habitan ese 'mundo acuático' de absoluta fertilidad que, en la cosmovisión mexica, se ubica justo debajo y alrededor de la corteza del primitivo monstruo telúrico.

Por increíble que parezca, el descubrimiento se realizó analizando una muestra de sedimento tan pequeña como 1g bajo el microscopio estereoscópico y el microscopio electrónico de barrido. Allí aparecieron decenas de espículas de las paredes corporales de los pepinos de mar. Estas frágiles estructuras de carbonato de calcio lograron sobrevivir hasta el día de hoy, aunque altamente degradadas, gracias a una combinación de varios factores ambientales. Durante la excavación de la ofrenda 126, se registró un contexto inundado, donde el agua subterránea no había sufrido fluctuaciones de nivel estacionales que hubieran desencadenado procesos de lixiviación. El pH del agua era prácticamente neutro (6,8-7,0) y temperatura estable (17-19°C), a lo que hay que sumar que había una mínima cantidad de oxígeno disuelto y oscuridad total.

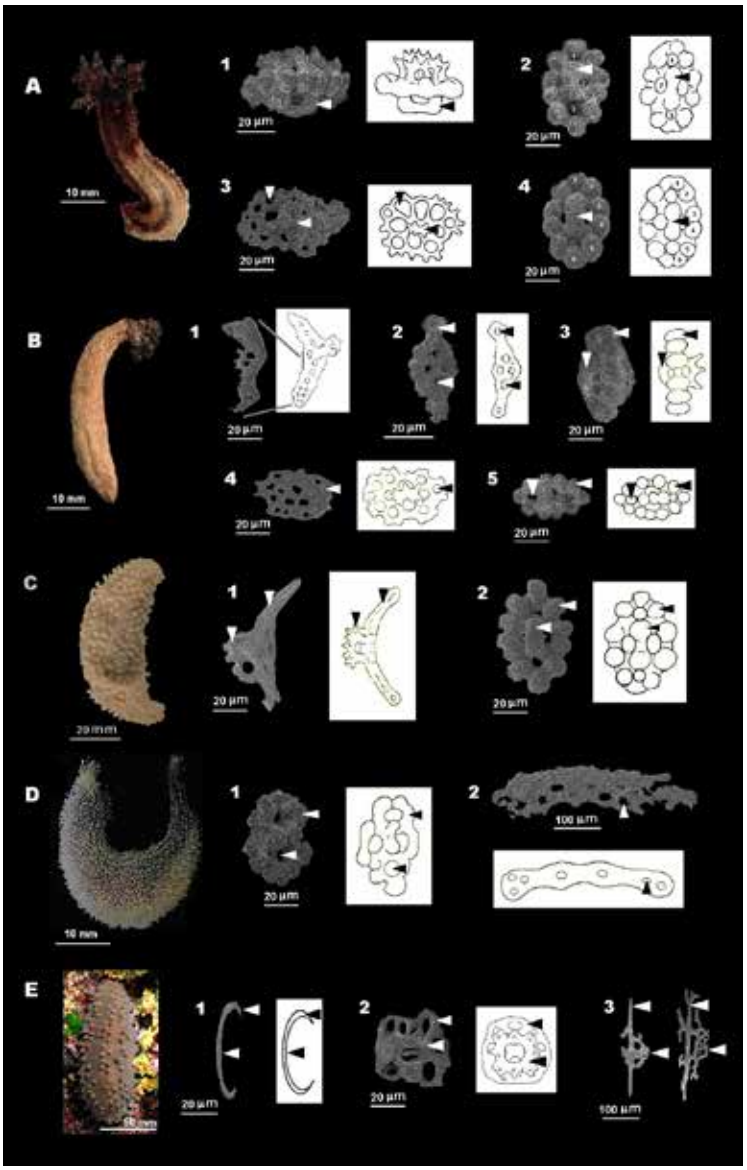


Figura 4. A. *Neothyone gibbosa* (Deichmann, 1941). 1. Vista lateral de un botón abollonado que muestra el asa interior. 2. Botón abollonado. 3. Mesa. 4. Botón abollonado. **B.** *Neothyone gibber* (Selenka, 1867). 1. Fragmento de una mesa de soporte de un pie ambulacral. 2. Mesa de soporte de un pie ambulacral. 3. Botón abollonado. 4. Tabla 5. Botón abollonado. **C.** *Pachythyone lugubris* (Deichmann, 1939). 1. Vista lateral de una mesa de soporte de un pie ambulacral. 2. Botón abollonado de la pared del cuerpo. **D.** *Neopentamera anexigua* (Deichmann, 1941). 1. Botón abollonado de la pared del cuerpo. 2. Placa de soporte lisa de un pie ambulacral. **E.** *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1874). 1. Cuerpo en forma de C. 2. Mesa. 3. Placa perforada de la pared del cuerpo. Los elementos arqueológicos están representados por fotografías de microscopía electrónica de barrido.

En la actualidad, los especímenes de estas cinco especies de pepinos de mar son fáciles de recolectar cerca de la playa, buceando a una profundidad no mayor de 20m en el Pacífico mexicano. A fines del siglo XV, es posible que los pepinos de mar fueran trasladados a la capital imperial, particularmente con interés ceremonial; tal es el caso del gran pepino de mar marrón *Isostichopus fuscus*, que pudo haber sido transportado vivo. Esto implica una distancia mínima de 290km de las costas del actual estado mexicano

Figura 5. Mapa de distribución de las especies de pepino de mar exhumadas de la ofrenda 126 del Templo Mayor.

de Guerrero, que podría haber sido recorrida en diez a doce días, según estimaciones del arqueólogo Kenneth Hirth. Los pepinos de mar podrían haberse mantenido por mucho tiempo en los estanques de agua salada que existían en el vivario de Moctezuma en Tenochtitlan, a la espera de la llegada de la festividad en la que serían enterrados como ofrenda en el recinto sagrado. Por otro lado, a diferencia del pepino de mar marrón que vive en las rocas de la costa poco profunda, el resto de las especies se encontraron enterradas vivas entre arena, corales o rocas. Existe la posibilidad de que estas especies fueran extraídas indirectamente como fauna acompañante ya que estaban asociadas con conchas de *Spondylus* o grandes cabezas de coral, organismos que también se encontraron en la ofrenda 126.

Esperamos más descubrimientos en un futuro próximo. Por ahora, nos queda una lección de esta fase de investigación que, durante el proceso de exploración arqueológica de las ofrendas, siempre debemos recuperar todos los sedimentos y almacenarlos como verdaderos tesoros para nuestro análisis pendiente. CH

Agradecimientos

A Alejandra Aguirre, María Barajas, Ximena Chávez, Tomás Cruz, Proyecto Templo Mayor (PTM), Instituto Nacional de Antropología e Historia, Alicia Durán y María Esther Diupotex Chong (ICML-UNAM) por su apoyo técnico.

LECTURAS SUGERIDAS

LÓPEZ LUJÁN L, SOLÍS-MARÍN FA, ZÚÑIGA-ARELLANO B, CABALLERO-OCHOA AA, CONEJEROS VARGAS CA, MARTÍN-CAO-ROMERO C y ELIZALDE MENDEZ I, 2018, 'Del océano al altiplano: las estrellas marinas del Templo Mayor de Tenochtitlan', *Arqueología Mexicana*, 25, 150: 68-76.

MARTÍN-CAO-ROMERO C, SOLÍS-MARÍN FA, CABALLERO-OCHOA A, HERNÁNDEZ-DÍAZ YQ, LÓPEZ LUJÁN L y ZÚÑIGA- ARELLANO B, 2017, 'New echinoderm remains in the buried offerings of the Templo Mayor of Tenochtitlan, Mexico City. Estudios latinoamericanos en equinodermos IV', *Biología Tropical*, 65 (supl. 1): 168-179.

ZÚÑIGA-ARELLANO B, LÓPEZ LUJÁN L, CABALLERO-OCHOA AA, SOLÍS-MARÍN FA, MARTÍN CAO-ROMERO C, HERNÁNDEZ DÍAZ YQ y ELIZALDE MENDEZ I, 2019, 'Estrellas de mar en las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan', en López Luján L. y Chávez Balderas X. (eds), *Al pie del Templo Mayor de Tenochtitlan: estudios en honor de Eduardo Matos Moctezuma*, El Colegio Nacional, Ciudad de México, t. I, pp. 411-460.

Leonardo López Luján

Doctor en arqueología, Universidad de París Nanterre, Francia.
Profesor, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH, México.
Director del proyecto Templo Mayor, INAH, México.

Belem Zúniga-Arellano

Licenciada en Biología, UNAM.
Investigadora del Museo del Templo Mayor, INAH, México.
belem_zu@yahoo.com

Tayra Parada Zárate

Magíster en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.
Docente en la facultad de Ciencias, UNAM.
parada.tayra@gmail.com

Andrea Alejandra Caballero-Ochoa

Magíster en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.
Docente en la facultad de Ciencias, UNAM.
Investigadora en el Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, UNAM.
a.caballero.ochoa@ciencias.unam.mx

Carlos Andrés Conejeros-Vargas

Magíster en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.
Docente en la facultad de Ciencias, UNAM.
Investigador en el Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, UNAM.
conejeros@ciencias.unam.mx

Francisco Alonso Solís-Marín

Doctor en oceanología, Universidad de Southampton, Inglaterra.
Docente en la Facultad de Ciencias, UNAM, México.
Investigador en el Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, UNAM.
fasolis@cmarl.unam.mx

Los premios Nobel 2021

¿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 R Brumovsky, M Florencia Coronel y Marcelo J Villar
Instituto de Investigaciones en Medicina Traslacional-Conicet. Universidad Austral

Premio a la ciencia básica, impulso al desarrollo traslacional

Este año, el premio Nobel en fisiología y medicina fue otorgado a los científicos estadounidenses David Julius, de la Universidad de California, en San Francisco, y Ardem Patapoutian, de origen libanés, investigador del Instituto de Investigaciones Scripps, en reconocimiento de sus descubrimientos sobre los mecanismos de percepción de la temperatura, el tacto, la presión y el dolor. Los hallazgos de los dos premiados 'han permitido entender cómo el calor, el frío y la fuerza mecánica pueden generar impulsos nerviosos que nos permiten percibir el mundo a nuestro alrededor y adaptarnos a él', señala el comunicado de la Academia de Ciencias de Suecia.

¿Cómo sentimos nuestro entorno? Los mecanismos que subyacen a los sentidos han estimulado nuestra curiosidad por miles de años: cómo detectan la luz nuestros ojos, cómo son percibidas las ondas sonoras por nuestros oídos, de qué manera los diferentes compuestos químicos interactúan con receptores en nuestra nariz o boca, generando los sentidos del olfato y el gusto. También tenemos otras formas de percibir el mundo que nos rodea. Imaginen estar caminando descalzos por un parque un día de verano, sintiendo el calor del sol y la brisa suave en el rostro, y las briznas de pasto bajo los pies. Estas percepciones de temperatura, tacto y movimiento son esenciales para nuestra adaptación a un entorno en constante cambio.

El filósofo René Descartes predijo en el siglo XVII la existencia de 'hilos' que conectan las diferentes partes de nuestra piel con el cerebro, informando a este último de la presencia de diversos estímulos. Varios siglos después, Joseph Erlanger y Herbert Gasser reciben el premio Nobel de fisiología y medicina en 1944 por el descubrimiento de neuronas sensitivas que reaccionan a diferentes tipos de estímulos dolorosos o no dolorosos. Así, fue posible identificar neuronas altamente especializadas para detectar y transmitir diversos tipos de estímulo, permitiéndonos, por ejemplo, sentir las diferencias de textura de las superficies usando la yema de los dedos, o discernir entre el calor agradable y el calor doloroso. Sin embargo, una gran pregunta persistía: ¿cómo se generan los impulsos nerviosos que permiten la percepción de la temperatura y la presión?

Hacia finales de los años 90, todavía no se comprendía cómo es que la capsaicina, el ingrediente activo del ají picante, interactuaba con las células del cuerpo para inducir la sensación de quemazón. Fue David Julius con su equipo quien asumió la titánica tarea de analizar una librería masiva de genes presentes en neuronas sensitivas, hasta que identificó en células en cultivo un gen que las hacía sensibles a la capsaicina. El receptor de membrana codificado por este gen y que actúa como canal iónico se denominó TRPV1, y los resultados fueron publicados en la revista *Nature* en 1997. De manera inesperada, Julius también notó que este receptor puede ser además activado por calor en rango doloroso. Este descubrimiento fue la puerta de entrada para el hallazgo de varios otros receptores sensibles a temperatura.

La familia de receptores TRP incluye hoy a veintiocho miembros, que se expresan en diferentes tipos celulares e intervienen en variedad de procesos, entre ellos visión, gusto, olfato, tacto, osmorregulación y detección de temperatura. Además, seis de estos receptores se expresan en neuronas sensitivas permitiendo la detección de estímulos térmicos, mecánicos y químicos, tanto inocuos como nocivos. Así cada TRP se activa frente a un cierto rango de temperatura y frente a ciertas sustancias químicas. Como ya se mencionó, el TRPV1 responde a temperaturas mayores a 43ºC (umbral de dolor por calor) y a capsaicina, vainilloide presente en pimientos picantes, siendo responsable de la sensación de ardor que este tipo de compuestos genera. Por su parte, el TRPM8 resulta sensible a temperaturas templadas/frías (entre 15 y 25ºC aproximadamente) y a sustancias refrescantes como el mentol y el eucaliptol. Finalmente, el TRPA1 responde a estímulos mecánicos, temperaturas menores a 18ºC y sustancias irritantes como ciertos componentes del humo de cigarrillo y del gas mostaza, siendo responsable de la sensación de ardor o irritación que estos compuestos generan en las vías aéreas.

Mientras esto ocurría, quedaba irresuelta otra incógnita: cómo son convertidos los estímulos mecánicos en sensaciones de tacto y presión. El tacto ha fascinado a filósofos y científicos por más de dos milenios. En tiempos de Aristóteles, el tacto y el gusto (en ese entonces considerado una modalidad de tacto) eran entendidos como sentidos inferiores, porque requerían el contacto directo y eran fácilmente corruptibles por nuestras necesidades carnales de reproducción y sustento. Por el contrario, la vista, la audición y el olfato permitían la acción a distancia, y por ello eran considerados sentidos de mayor jerarquía. Sin embargo, Aristóteles desarrolló una perspectiva diferente al relacionar nuestro poder de discriminación táctil con la inteligencia humana: 'En los otros sentidos, el hombre es inferior a los animales, pero en el sentido del tacto, su agudeza es ampliamente superior; es por eso que el hombre es el más inteligente de los animales'. Dos milenios y algunos años más tarde, mediante el uso de un tipo celular que reacciona a la estimulación mecánica, Patapoutian y su equipo fueron inactivando, de a uno, 72 posibles candidatos hasta dar con un único gen cuyo silenciamiento convirtió a las células en insensibles al estímulo mecánico. Habían dado con un nuevo y desconocido receptor mecanosensible al que se denominó Piezo1, al que le seguiría muy pronto el receptor Piezo2, identificado por homología. Los resultados fueron publicados en la revista *Science* en 2010.

Con el tiempo, pudo determinarse que las proteínas Piezo representan una familia de canales iónicos capaces de responder directamente a fuerzas mecánicas deformantes que incluyen el tacto directo, la succión y el cizallamiento. Ambos canales se encuentran expresados en

David Julius

Ardem Patapoutian

tejidos repletos de células mecanosensibles y son esenciales en el sentido del tacto, la propiocepción (percepción de la posición del cuerpo y el movimiento) y el dolor inducido por estímulos mecánicos. Sin embargo, el enriquecimiento del receptor Piezo2 en neuronas aferentes primarias (las proyecciones de estas neuronas constituyen los nervios sensitivos en nuestro cuerpo) lo posicionaron inmediatamente como un candidato en la transducción de señales táctiles. De hecho, en diversos estudios en el ratón se ha demostrado que la eliminación del receptor Piezo2 en estas neuronas causa la pérdida completa del sentido del tacto, que su activación induce dolor en ratones normales, y que su bloqueo en ratones con lesión de nervios periféricos (neuropatía) reduce el dolor crónico. Es relevante observar que pacientes con una mutación específica en el gen que codifica el receptor Piezo2 muestran carencia de sensibilización al dolor causado por estados inflamatorios.

Para comprender la trascendencia de los hallazgos de Julius y Patapoutian es necesario considerar que, en el hombre y los animales, el sistema somatosensorial involucra la capacidad de percibir el medio externo (exterocepción) y el interno (interocepción), y que con sus contribuciones estos investigadores han cambiado completamente el modo de entender la sensibilidad y el dolor, la percepción y la adaptación al mundo que nos rodea, conectando dos eventos aparentemente distantes como son el estímulo y el impulso nervioso generado. La información producida por el sistema exteroceptivo permite adaptaciones a modificaciones del medio ambiente y la prevención o respuesta defensiva ante estímulos eventualmente nocivos, en tanto que el sistema interoceptivo provee la información necesaria para el correcto control de la actividad contráctil muscular y la homeostasis de la tensión de la musculatura lisa visceral (información sensitiva crítica para la micción, la defecación y la regulación de la tensión arterial, entre otras acciones). Pero, además, la interocepción incluye la información proveniente de los huesos, las articulaciones y los músculos, denominada propiocepción, y que provee al organismo con la 'sensación de sí mismo' informando sobre la localización del cuerpo y los miembros en

tiempo y espacio. Como tal, la propiocepción, también conocida como el 'sexto sentido', es crítica para el control de la postura, el control motor y la compensación de reflejos motores. Aunque las bases de la actividad motriz están bien establecidas, la contribución de la propiocepción es fundamental para el control fino de la secuencia de contracciones musculares y movimientos articulares requeridos para la locomoción y regulación de los movimientos de precisión.

Lo cierto es que el hecho de que los sentidos del tacto, la propiocepción, la temperatura y el dolor sean mediados por la misma maquinaria neuronal, pero por receptores de tan alta precisión, como son los canales iónicos descriptos, abre la posibilidad de nuevos 'blancos moleculares terapéuticos' para el tratamiento específico de patologías que lleven asociadas alteraciones de estas sensibilidades. Si bien todavía se está lejos de esta posibilidad, el camino abierto por Julius y Patapoutian es por demás estimulante y prometedor, y seguramente en el futuro veremos nuevos avances en esta dirección. CH

Pablo R Brumovsky

Doctor en ciencias biomédicas. Universidad Austral.
Doctor en medicina. Instituto Karolinska.
Investigador independiente, IIMT-Conicet.
pbrumovs@austral.edu.ar

M Florencia Coronel

Doctora en ciencias biomédicas. Universidad Austral.
Investigadora adjunta, IIMT-Conicet.
fcoronel@austral.edu.ar

Marcelo J Villar

Doctor en medicina. UBA.
Investigador superior, IIMT-Conicet.
mvillar@austral.edu.ar

FÍSICA

Pablo Daniel Mininni
UBA-Conicet

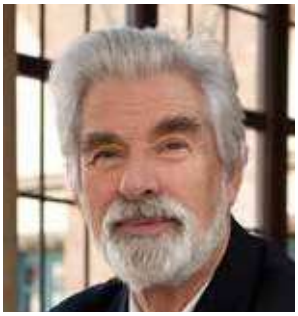
Un premio Nobel a la complejidad

Edward Lorenz se preguntó si no había cometido un error. No un error en alguna cuenta, sino una pésima elección profesional. Transcurría 1963. Lorenz (1917-2008), un matemático en el Massachusets Institute of Technology en Boston, había derivado un sistema simplificado para modelar la atmósfera. Ellen Fetter (n. en 1940) programó y realizó varias simulaciones en una computadora para estudiar la evolución de ese sistema. Y cada simulación arrojaba un resultado diferente. Varios colegas le habían advertido a Lorenz que no juegue con computadoras: no eran confiables, y los resultados que obtuviese no tendrían la fuerza general de un teorema. ¿Eran esas diferentes soluciones solo el resultado de la imperfección de las recientes computadoras? ¿Había perdido Lorenz y su equipo el tiempo con un problema irrelevante? El tiempo mostró que no, que efectivamente el sistema que derivó Lorenz tenía soluciones caóticas: pequeños cambios en las condiciones iniciales generaban grandes cambios en el estado final del sistema. Y de esta forma, unas pocas simulaciones en una computadora primitiva dieron inicio a dos grandes hitos de la física en los últimos sesenta años. Por un lado, la aparición del 'efecto mariposa' como excusa perfecta para escribir decenas de guiones de películas. Y, por otro, el nacimiento de la teoría de los sistemas complejos y una de sus más espectaculares aplicaciones: el estudio físico del clima.

El Nobel de física 2021 premió avances importantes en el estudio de la física de los sistemas complejos, un área que comenzó a gestarse de la mano de Lorenz y otros pioneros en el estudio del caos, la dinámica de fluidos y la física atmosférica, y que desde allí se expandió hasta incluir aplicaciones en astrofísica, cosmología, física de sistemas biológicos, materia condensada y, más recientemente, en el estudio de la inteligencia artificial y problemas sociales y económicos. En particular, la academia sueca otorgó la mitad del premio al italiano Giorgio Parisi (n. en 1948) 'por el descubrimiento de la interacción entre el desorden y las fluctuaciones en sistemas físicos desde la escala atómica hasta la planetaria', y la mitad restante al japonés Syukuro Manabe (n. en 1931) y al alemán Klaus Hasselmann (n. en 1931) 'por el modelado físico del clima de la Tierra, cuantificando la variabilidad y prediciendo de manera confiable el calentamiento global'.

Pero ¿qué son los sistemas complejos? Estamos acostumbrados a asociar la física a lo muy pequeño o a lo inmensamente grande. A las partículas subatómicas, o a las estrellas y las galaxias; a la mecánica cuántica, o a la astrofísica y la cosmología. Pero la mayoría de lo que nos rodea también forma parte del estudio de la física: el cambio de estado de la materia cuando el agua líquida se congela y se transforma en hielo, el cambio en ciertos materiales con-

Syukuro Manabe



Klaus Hasselmann

Giorgio Parisi

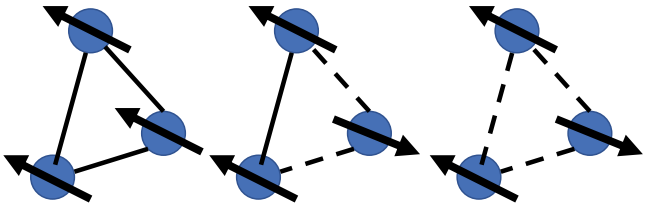
virtiéndolos en imanes permanentes que usamos para fijar recordatorios a nuestras heladeras, la dinámica de sistemas biológicos o de epidemias, o el estado futuro de la atmósfera que buscamos ávidamente cada mañana al mirar el pronóstico del tiempo en el noticiero o nuestros celulares. Todos estos son sistemas con muchísimos componentes, y cuyo comportamiento es… complejo. Llamativamente, a pesar de lo cerca que tenemos estos ejemplos, los sistemas complejos resultan difíciles de comunicar para el público general. Porque, a diferencia de la física de los extremos, estos sistemas no involucran nuevas fuerzas, ni nuevas leyes fundamentales. Pero requieren nuevas técnicas, nuevas ideas, y mucho ingenio para comprenderlos.

La física de la última mitad del siglo XX y del inicio del siglo XXI está marcada por la expansión de las fronteras hacia estos sistemas cada vez más complejos, pero también más realistas. Y esa expansión permitió una explosión de estudios interdisciplinarios en los límites entre la física y otras ciencias. Giorgio Parisi ha jugado un rol muy importante en el estudio de estos problemas. Uno de sus mayores aportes a la comprensión de los sistemas complejos tiene que ver con los *vidrios de spin* (ver figura), sistemas magnéticos desordenados y que requieren terapia: están frustrados. Podemos entenderlos con una analogía introducida por Marc Mezard, el mismo Parisi y el argentino Miguel Ángel Virasoro. Pensemos en tres personas, que pueden ser amigas o enemigas entre sí, y solo pueden tener dos opiniones. Si los tres son amigos, es fácil que estén alineados en sus ideas. Si dos son amigos y uno no, los dos amigos se alinearán, y el tercero se opondrá. Pero si los tres son enemigos, necesariamente dos deberán alinearse aun cuando no se quieran: el sistema está frustrado. Reemplacemos ahora los amigos por pequeños imancitos que pueden alinearse para un lado o el otro, y tenemos un modelo muy sencillo (¡pero complejo!) para lo que ocurre en muchos sistemas magnéticos amorfos. En dos trabajos publicados en 1979, Parisi identificó los vidrios de spin como un paradigma de los sistemas complejos en la naturaleza, y aisló algunas de sus propiedades más importantes: tienen muchos estados de equilibrio posibles, y es prácticamente imposible encontrar el estado de mayor equilibrio entre una miríada de estados ordenados en formas muy específicas. Estas ideas se pueden extender a otros sistemas complejos (como la turbulencia atmosférica, donde Parisi también hizo aportes). Y Parisi también jugó con la idea de que ciertos fenómenos muy lentos observados en el clima podrían estar asociados a una forma de amplificación del ruido que es característica de los sistemas complejos.

Esta discusión nos debería permitir identificar el vínculo (en principio no tan obvio) entre una y otra mitad del premio Nobel. La atmósfera es un sistema complejo muy sensible a pequeños cambios y con muchos estados posibles (de hecho, las simulaciones que se usan para estudiar el cambio climático se repiten varias veces, para encontrar, como en los vidrios de spin, los estados más probables). Y, como en el ejemplo de Lorenz, no alcanza con poder simular su evolución. La confianza se gana a partir de una comprensión profunda de lo que ocurre en la naturaleza, muchas veces usando lo que en física se llaman 'modelos de juguete': modelos simplificados que capturan propiedades esenciales del sistema complejo y que permiten verificar la validez de las simulaciones numéricas, o mejorar cómo se capturan procesos físicos fundamentales en dichas simulaciones.

La otra mitad del premio Nobel está entonces asociada a estas aplicaciones. Syukuro Manabe, climatólogo japonés radicado en Estados Unidos, se sorprendió al recibir el llamado del premio Nobel. La Academia Sueca destacó su rol en el desarrollo de un modelo muy sencillo para entender la convección (el movimiento de la atmósfera transportando aire caliente desde el suelo hacia las capas más altas, de la misma forma que el agua en una pava hierve para llevar el agua más caliente hacia arriba). El modelo de Manabe es tan sencillo que reduce la atmósfera a una sola línea: una atmósfera unidimensional. Pero ese modelo, publicado en 1967, permitió entender cómo el cambio en la concentración de dióxido de carbono resulta en un aumento drástico de la temperatura en las capas más bajas de la atmósfera. Y, a partir de ese resultado, la idea fue extendida por Manabe y sus colegas para realizar primero simulaciones climatológicas muy sencillas, y más tarde simulaciones masivas como las que hoy se usan regularmente para entender el cambio climático.

Klaus Hasselmann es un físico alemán que realizó su tesis en el estudio de la turbulencia. Desde ese tema se acercó al estudio de los procesos aleatorios y de la oceanografía. Ganó reputación estudiando la interacción no lineal de ondas en el océano, usando un método desarrollado originalmente por Richard Feynman (1918-1988) para estudiar la física de partículas fundamentales. Pero las contribuciones que le valieron el premio Nobel están nuevamente asociadas a los modelos sencillos para entender sistemas com-



Arriba. Una posible configuración de un vidrio de spin pequeño. Cada cuadrado, negro o blanco, representa a un imancito orientado hacia arriba o hacia abajo. Aun para este sistema pequeño existe una miríada de configuraciones similares. Llamativamente las redes neuronales usadas hoy para *chatbots* en celulares y para otras tareas tienen una conexión directa con la física de estos sistemas.
Abajo. Tres configuraciones posibles de tres personas (o imancitos) de acuerdo con si son amigos (unidos por línea continua) o enemigos (unidos por la línea de guiones). En el tercer estado, en el que todos se detestan, necesariamente dos deben alinearse y los enemigos están frustrados.

plejos. Uno de esos resultados, publicado en 1976, es un modelo que explica cómo la atmósfera o los océanos generan procesos en escalas de tiempo muy diferentes a partir de ruido, y el otro es un método publicado en 1993 para identificar qué parte de una serie de datos son ruido y qué parte de esos datos son relevantes para entender cómo evoluciona un sistema. Este último método es hoy central para separar las señales del cambio climático causadas por el hombre de las fluctuaciones al azar que tiene cualquier sistema físico extenso, lo que en la literatura del área y en los medios se describe como la 'huella antropogénica'.

En 1966, pocos años después de que Edward Lorenz encontrase la frustración y la gloria profesional en forma simultánea, Richard Feynman escribió en un famoso libro de texto de física que es muy probable que ya contemos con las ecuaciones que describen el origen de la vida: las ecuaciones de la mecánica cuántica deberían poder describir este problema. Sin embargo, no contamos con una teoría que nos permita saber qué tipo de soluciones cualitativas pueden ser explicadas por una ecuación. Parafraseando a Feynman, no podemos decir si las ecuaciones de la física que hoy conocemos permiten explicar la existencia en el universo de ranas, de compositores musicales, o de la moralidad. En su libro, Feynman sugiere que uno de los futuros desafíos de la física debería ser construir una teoría que nos permita identificar qué tipo de soluciones pueden ser generadas por una teoría. La física de los sistemas complejos es un intento por responder a ese desafío, y por obtener información cualitativa sobre las configuraciones que son físicamente posibles en sistemas extensos. Hoy, la teoría de los sistemas complejos no solo se usa para entender el magnetismo de sistemas amorfos, la dinámica de fluidos, o el cambio climático. Sus aplicaciones se han ampliado para también incluir la física de sistemas biológicos, problemas sociales y de modelado del mercado bursátil, problemas de inteligencia artificial y redes neuronales, y muchos problemas más. Por todo esto, la física de los sistemas complejos ha recibido finalmente un premio Nobel. Pero queda un largo camino por recorrer. Larga vida a los sistemas complejos. CH

El autor agradece a Gabriel Mindlin por las estimulantes discusiones sobre estos problemas desde que se anunció el premio Nobel de física 2021, y desde mucho antes.

LECTURAS SUGERIDAS

BENZI, R, PALADIN G, PARISI G y VULPIANI, A, 1984, 'On the multifractal nature of fully developed turbulence and chaotic systems', *Journal of Physics*, A 17: 3521.
HASSELMANN, K, 1976, 'Stochastic climate models part I. Theory', *Tellus*, 28: 473.
HASSELMANN, K, 1993, 'Optimal fingerprints for the detection of time-dependent climate change', *Journal of Climate*, 6: 1957.
LORENZ, EN, 1963, 'Deterministic nonperiodic flow', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20: 130.
MANABE, S & WETHERALD, RT, 1967, 'Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 24: 241.
MANABE, S & WETHERALD, RT, 1975, 'The effects of doubling the CO2 concentration on the climate of a general circulation model', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32: 3.
PARISI, G, 1979, 'Infinite number of order parameters for spin-glasses', *Physical Review Letters*, 43: 1754.
PARISI, G, 2006, 'Spin glasses and fragile glasses: Statics, dynamics, and complexity', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103: 7948.

Pablo Daniel Mininni
Doctor en ciencias físicas, UBA.
Profesor titular, UBA.
Investigador principal en el IFIBA, UBA-Conicet
mininni@df.uba.ar

Carola Gallo
Departamento de Química Orgánica, FCEyN-UBA.
CIHIDECAR-Conicet-UBA

Organocatálisis asimétrica: una herramienta verde que revoluciona la construcción de moléculas

Todo a nuestro alrededor está rodeado de moléculas: los polímeros en nuestras ropas u objetos plásticos, la diversidad de medicamentos que nos ayudan en nuestra salud (y permitieron que nuestra expectativa de vida aumentara considerablemente en los últimos años), los agroquímicos que hicieron posible la fabricación de más y mejores alimentos (permitiendo abastecer a una población mundial cada vez mayor). Para construir alguna determinada molécula de importancia son necesarios procesos fáciles, que consuman poca energía y pocos reactivos químicos, y que cada paso de construcción sea efectivo y genere el menor impacto posible para el medio ambiente. Es claro que los avances en nuestra calidad de vida a veces entran en conflicto con el medio ambiente, y encontrar procesos más amigables es sumamente importante. En ese sentido, las herramientas con las que cuentan los químicos para construir moléculas son limitadas y se encuentran en continuo desarrollo.

Este año, la Real Academia Sueca de Ciencias distinguió con el premio Nobel en química a dos científicos: Benjamin List (director del Instituto Max Planck de Investigación del Carbón, Alemania) y David WC MacMillan (profesor de la Universidad de Princeton, Estados Unidos), 'por el desarrollo de la organocatálisis asimétrica'. Es un premio que involucra netamente a la química orgánica, la que en sus comienzos intentaba entender la química de la vida y luego, con el devenir del tiempo, se convirtió en la química de las moléculas que contienen carbono.

Estos científicos descubrieron, independientemente, maneras fáciles y precisas de construir moléculas. Este reconocimiento es para dos personas que han contribuido a ampliar el abanico de posibilidades con las que se pueden hacer estas transformaciones, utilizando como herramientas moléculas sencillas que provienen de la naturaleza. La organocatálisis asimétrica ha revolucionado la manera de ver la química: es como descubrir otro tipo de ladrillos, ecológicamente más verdes y que permiten la construcción de moléculas asimétricas de manera más simple y conveniente.

Entonces, ¿qué es la organocatálisis asimétrica? Lo primero que necesitamos saber es qué es un catalizador.

¿Qué es un catalizador?

Para construir moléculas, se necesita unir átomos de manera precisa, construir enlaces con arreglos específicos, es decir, hacer reacciones químicas. Esto es una tarea difícil. Las reacciones químicas son generalmente lentas. Por este motivo necesitamos sustancias que aceleren y controlen las reacciones químicas (las etapas de construcción de una molécula) y que no se consuman en el proceso, denominadas catalizadores. Por ejemplo, el agua oxigenada (H_2O_2, peróxido de hidrógeno) se descompone muy lentamente en oxígeno y agua, por eso la podemos tener en nuestro botiquín por un largo tiempo. Un catalizador muy conocido desde el siglo XIX es la plata metálica, que en contacto con agua oxigenada acelera la producción de oxígeno y agua, pero a la plata no le pasa nada, porque es un catalizador. Los catalizadores no solo se usan en el laboratorio: los que encontramos en los autos se componen de metales tales como platino, paladio y rodio, y transforman las emisiones contaminantes (monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados) en moléculas menos tóxicas (agua, dióxido de carbono). La catálisis es fundamental en la industria para la conversión de materia prima en moléculas importantes, de alto valor agregado como agroquímicos y fármacos. Se estima que el 35% del producto bruto interno del planeta está relacionado o involucra catálisis química, lo que da idea de su importancia.

Biocatalizadores y catalizadores metálicos

Hasta el descubrimiento de los organocatalizadores en el año 2000, los catalizadores se dividían en dos grupos: los biocatalizadores (entre ellos las enzimas, proteínas compuestas por aminoácidos) y los catalizadores con un centro metálico. Estos últimos, si bien son poderosas herramientas para la construcción de moléculas, presentan varias desventajas. El metal en el catalizador puede ser tóxico, lo que conlleva purificaciones más complejas de las moléculas para las que se utiliza esa sustancia, conduciendo a procesos más costosos y menos amigables

Benjamin List

David WC MacMillan

para el ambiente. También algunos de estos catalizadores son sensibles a la humedad o al aire, lo que dificulta su uso, sobre todo a escala industrial.

Biocatalizadores y asimetría

Los otros catalizadores son las enzimas, moléculas muy grandes y complejas presentes en cualquier organismo vivo. Distintas enzimas ayudan a que se construyan moléculas necesarias para mantener el ciclo de vida. Estos biocatalizadores tienen la capacidad de construir moléculas de manera asimétrica, es decir, con una disposición espacial determinada. Pero ¿qué es una molécula asimétrica o quiral? Si una molécula se refleja en un espejo y su imagen especular no se puede superponer con esa molécula, se dice que es asimétrica o quiral. Esa molécula y su imagen especular son enantiómeros. Como ejemplo en la vida cotidiana, pensemos en la mano derecha, cuya imagen en el espejo es la mano izquierda; sin embargo, nuestras dos manos no las podemos superponer; de hecho, nuestros pulgares quedan de lados opuestos. En la naturaleza, la asimetría es muy importante, ya que las funciones biológicas de los enantiómeros pueden ser muy distintas. Un caso muy interesante de molécula asimétrica es el limoneno: un enantiómero tiene aroma a naranja, y su imagen especular tiene aroma a limón. Nuestro olfato puede diferenciar los dos enantiómeros, es decir, diferencia la disposición espacial que poseen esas dos moléculas a través de su unión a receptores específicos. Lo mismo ocurre con los fármacos, donde, en ciertos casos y para una actividad particular, se requiere construirlos de manera asimétrica, o sea, sintetizar un único enantiómero.

List, la prolina y un resultado revolucionario

La naturaleza construye las moléculas de manera asimétrica a través de las enzimas muy eficientemente. En ese sentido, el alemán Benjamin List (n. 1968), formado como químico orgánico que construye (sintetiza) moléculas, se había incorporado al grupo de Carlos F Barbas (1964-2014) de The Scripps Research Institute, San Diego, California, donde se investigaban anticuerpos catalíticos. Pensando en cómo funcionan las enzimas, entendiendo que algunas de ellas no necesitan metales y que las enzimas están compuestas por aminoácidos, List tuvo una idea sencilla y transformadora: ¿y si unos pocos aminoácidos pudieran catalizar una reacción? Su investigación demostró que una molécula pequeña como la prolina, un único aminoácido, podía hacer el mismo trabajo. En este caso podía actuar como catalizador asimétrico en una reacción que construye enlaces uniendo átomos de carbono, llamada reacción aldólica. La prolina se había utilizado como catalizador en los años 70, pero el estudio no se continuó. Fue la inspiración, racionalización e investigación de un proceso que condujo a este hallazgo. La prolina tiene una disposición de átomos particular, tridimensional, y un átomo de nitrógeno que permite acomodar otras dos moléculas y unirlas, oficiando de catalizador asimétrico. Esa idea fue transformadora, porque a partir de ese momento comenzó la investigación del enorme potencial que tiene esta pequeña y simple molécula, barata, accesible, que además es un producto natural no tóxico. List se dio cuenta en 2000 de las grandes posibilidades que tenía este concepto, ya que se podrían diseñar catalizadores para la construcción de enlaces de otro tipo en las moléculas.

MacMillan define el término 'organocatálisis'

Por otra parte, y paralelamente, el escocés David MacMillan (n. 1968) había realizado su posdoctorado en Harvard trabajando en catálisis asimétrica utilizando metales. En 1998 se muda a la Universidad de California-Berkeley, ya pensando que los catalizadores metálicos eran costosos, difíciles de manejar y por ende difíciles de ser utilizados a escala industrial. Comenzó a diseñar catalizadores que fueran moléculas orgánicas sencillas, que pudieran participar en la construcción de enlaces y, para ello, su estrategia consistió en utilizar una unión débil que fuera transitoria y breve. Ese catalizador debería estar unido momentáneamente (por una unión 'iminio') y debería contener nitrógeno. Evaluó su hipótesis con una reacción muy importante, la reacción de Diels-Alder (que es, además, una reacción muy lenta). Pudo construir una molécula de manera asimétrica, una sola imagen especular, utilizando como catalizador una molécula asimétrica pequeña y sencilla diseñada por él. En ese momento se dio cuenta de que este hecho era muy importante y acuñó el término 'organocatálisis'. Pudo prever que se podrían descubrir otras reacciones diferentes utilizando estrategias de diseño y, de alguna manera, transferir la estructura tridimensional del organocatalizador diseñado a la nueva molécula construida.

De manera independiente, tanto List como MacMillan descubrieron y desarrollaron el concepto de organocatálisis. A través de los años, se han diseñado organocatalizadores estables y baratos para una variedad de construcciones de enlaces y moléculas. Es una nueva herramienta poderosa que hace rever y repensar los procesos de la construcción de moléculas, permitiendo la construcción de moléculas en varios pasos a la vez (reacciones en cascada), abaratando los procesos y reduciendo los desperdicios. Como evidencia de la simplicidad y elegancia de la organocatálisis, basta ver el ejemplo de la construcción de la estricnina, que es un producto natural muy complejo y sirve de modelo para probar el avance de las herramientas de construcción de moléculas. En 1958 su síntesis conllevó 29 pasos de construc-

ción, mientras que en 2012 y por organocatálisis requirió tan solo 12, y además fue 7000 veces más eficiente.

La organocatálisis y su gran impacto en la producción de fármacos

La organocatálisis es importante en la producción de productos farmacéuticos, puesto que generalmente una imagen especular es la activa y la otra no (o, peor, puede provocar efectos adversos). Antes de la catálisis asimétrica, muchos productos farmacéuticos se construían conteniendo ambas imágenes especulares y estas moléculas eran muy difíciles de separar. Para ver la importancia de construir una sola imagen especular, basta analizar el desastre que produjo la talidomida en los años 60. Este medicamento se usaba para combatir las náuseas en los primeros meses de embarazo, y una de las imágenes especulares de la talidomida fue la causante de serias deformidades en embriones. La organocatálisis proporciona métodos para sintetizar una sola imagen especular, una molécula asimétrica, y puede ser trasladada a grandes cantidades de manera simple. Por ejemplo, el agente antiviral oseltamivir contra el virus de la gripe se sintetiza en 5 pasos de reacción mediante organocátalisis y anteriormente requería 12 pasos. El proceso es actualmente más 'verde', menos perjudicial para el medio ambiente.

Resumiendo, la organocatálisis es una herramienta poderosa, elegante y práctica, que permite construir moléculas de manera precisa y con procesos de menor impacto ambiental. Este es el gran desafío de nuestro tiempo, que nuestra calidad de vida impacte lo menos posible sobre nuestro planeta. Los químicos ahora poseen estas herramientas para ayudar en esta transformación y, así, generar una diferencia.

En 2019, la comunidad de químicos orgánicos de nuestro país tuvo el honor de recibir a List en calidad de conferencista en el XXII Simposio Nacional de Química Orgánica, y fue designado socio honorario de la Sociedad Argentina de Investigación en Química Orgánica. CH

LECTURAS SUGERIDAS

LIST, B (ed.), 2007, 'Organocatalysis', *Chemical Reviews*, 107, 12: 5413-5883.

MACMILLAN, DWC, 2008, 'The advent and development of organocatalysis', *Nature*, 455: 304–308.

REAL ACADEMIA SUECA DE CIENCIAS, 2021, 'Their tools revolutionised the construction of molecules'. *https://www.nobelprize.org/uploads/2021/10/popular-chemistryprize2021.pdf*

Carola Gallo

Doctora en ciencias químicas, UBA. Profesora asociada de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN-UBA). Investigadora independiente en el Centro de Investigación en Hidratos de Carbono (CIHIDECAR- Conicet-UBA).

ECONOMÍA

María Laura Alzua,
Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales (UNLP) y Partnership for Economic Policy (PEP)

Contribuciones metodológicas para la inferencia causal

Este año, el premio en ciencias económicas instituido por el Banco de Suecia en memoria de Alfred Nobel lo recibió un trío conformado por Joshua Angrist del Massachusetts Institute of Tecnology (MIT), David Card de UC Berkeley y Guido Imbens de Stanford University. Dicho galardón fue otorgado por la contribución empírica de David Card a la economía laboral y, para el caso de Angrist y Imbens, por su contribución al análisis de las relaciones causales en economía. Las contribuciones de los investigadores revolucionaron la forma en la que se realizaba el trabajo empírico en economía, en donde resulta más difícil realizar experimentos controlados de la manera que se realizan en las ciencias médicas.[1]

Los investigadores estudiaron lo que se conoce como 'experimentos naturales', en donde como consecuencia de situaciones aleatorias o cambios de política específicos causa que distintos grupos de personas –pero pueden ser también empresas, regiones, comunidades– se ven afectadas de manera diferencial por algún fenómeno económico de interés, como, por ejemplo, cambio en la legislación del salario mínimo u obligatoriedad de los años de educación de acuerdo con la fecha de nacimiento, entre otros.

Los investigadores permitieron echar luz sobre fenómenos que son relevantes para la economía y se discuten constantemente tanto en países en desarrollo como en los países de altos ingresos. Permiten responder preguntas tales como ¿qué efectos tiene la migración sobre los salarios de los nativos?, ¿cuál es la relación entre el salario

mínimo y el nivel de empleo?, ¿cuánto paga el mercado por un año adicional de educación?, ¿existe o no un efecto sobre los salarios de haber estado en el ejército?

Estas cuestiones son de difícil respuesta ante la imposibilidad de realizar un 'experimento', debido a los que se conoce como 'sesgo de variables omitidas', esto es, el resultado de interés –ingresos, empleo, etc.– y la variable de política (salario mínimo, migración, educación) están ambas correlacionadas con variables no observables. Entre otros, las personas que tienen más educación también tienen salarios más altos por factores tales como mayor inteligencia, entre otras. Dicha variable afecta conjuntamente a la cantidad de educación que el individuo adquiere y a los ingresos que recibirán en el mercado laboral. Es por ello que los llamados experimentos naturales permiten estimar estos efectos causales. Para el caso de medir el efecto de haber participado en el ejército durante los salarios posteriores en el mercado laboral, Angrist (1990) estudia las loterías que se llevaron a cabo durante la guerra de Vietnam, en donde la decisión de participar dependía del resultado de la lotería y no exclusivamente de preferencias individuales[2]. Angrist encuentra que durante los años 80 –ya varios años luego de finalizada la guerra– los veteranos blancos ganan 15% menos que los no veteranos. El efecto desaparece para los afroamericanos.

Card (1990), estudia el efecto del llamado 'éxodo de Mariel', que permitió la salida de Cuba de gente que deseaba emigrar, sobre el mercado laboral de Miami. Los recién llegados a Miami generaron un aumento del 7% en la oferta laboral para sectores menos calificados. Dicho aumento tuvo un efecto casi nulo sobre los salarios de los trabajadores con baja calificación, incluidos los mismos migrantes. Dicho efecto se explica en parte por la alta capacidad del mercado laboral de Miami para absorber trabajadores inmigrantes, como lo había hecho con inmigrantes que llegaron durante las dos décadas anteriores al 'éxodo de Mariel'.

Por su parte, Imbens tiene un sinnúmero de contribuciones a las herramientas econométricas metodológicas para poder estimar efectos causales.

Joshua Angrist

David Card

Guido Imbens

El uso de experimentos naturales no está libre de críticas por algunas de sus limitaciones y supuestos. Muchos de ellos se parecen a las objeciones que se les hacen a los experimentos aleatorizados controlados. Entre ellos podemos destacar dos.

La primera tiene que ver con lo que se conoce como el criterio de 'validez externa', que sostiene que los resultados de un experimento natural solo son válidos para el caso específico en cuestión. Esto no solo es válido para los experimentos naturales, sino para todo estudio empírico en donde la representatividad de la población estudiada sea distinta respecto de la cual se quieren extrapolar las conclusiones.

La segunda tiene que ver con que la mayor parte de los experimentos arrojan resultados sobre lo que se denomina equilibrio parcial. Estos difieren de los que se obtendrían si el programa o fenómeno en cuestión se aplicara en una mayor escala.

Ambas críticas no invalidan las importantes contribuciones de los galardonados en términos de permitir un gran aporte al desarrollo de las herramientas empíricas para entender fenómenos complejos dentro de las ciencias sociales. CH

NOTAS

1. El premio el Banco de Suecia en memoria de Alfred Nobel de 2019 fue otorgado a investigadores que usan experimentos aleatorios controlados para aliviar la pobreza.

2. Investigadores argentinos (2011) también usaron la característica del sorteo para el servicio militar que regía en Argentina y los efectos sobre la actividad criminal.

LECTURAS SUGERIDAS

ANGRIST JD, 1990, 'Lifetime Earnings and the Vietnam Era Draft Lottery: Evidence from Social Security Administrative Records', *The American Economic Review*, 80, 3: 313-336.

CARD D, 1990, 'The Impact of the Mariel Boatlift on the Miami Labor Market', *Industrial and Labor Relations Review*, 43, 2: 245-257.

GALIANI S, ROSSI MA y SCHARGRODSKY E, 2011, 'Conscription and Crime: Evidence from the Argentine Draft Lottery', *American Economic Journal: Applied Economics*, 3, 2: 119-136.

María Laura Alzua

PhD in Economics, Universidad de Boston.

Subdirectora Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales, FCE-UNLP.

malzua@cedlas.org

Crossfit cerebral N.° 10

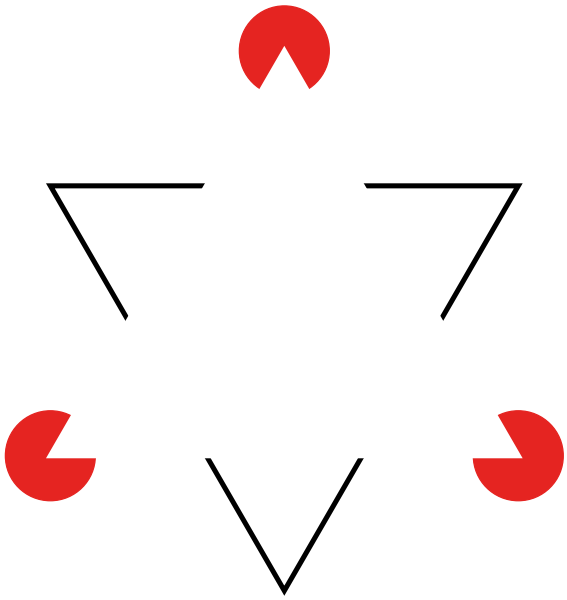
Ilusiones y juegos matemáticos

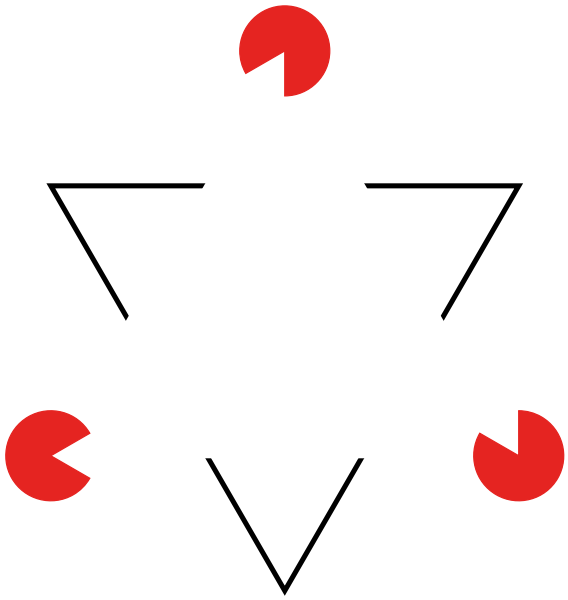
Cuando el cerebro inventa cosas

Mirá la imagen de abajo: ¿cuántos triángulos y círculos podés ver? ¿Y si ahora mirás la imagen de la derecha?

No todo lo que percibimos es real. En realidad, en ambas imágenes solo hay 3 Pac-Mans y 3 ángulos. La disposición de los Pac-Mans en la imagen de la izquierda confunde a nuestro sistema nervioso y le hace creer que hay un triángulo invertido con bordes negro (semioculto), 3 círculos rojos y, sobre ellos, un triángulo blanco superpuesto. La ilusión desaparece si disponemos de manera diferente los Pac-Mans, como en la imagen de la derecha. Esta famosa ilusión, conocida como triángulo de Kanizsa, pone en evidencia el fenómeno de *relleno visual*.

Si bien los mecanismos fisiológicos que subyacen al relleno visual (en este caso, la percepción de contornos que no existen) no se comprenden del todo, se acepta que el sistema nervioso rechaza la posibilidad de que las figuras se acomoden de tal manera como en la figura de la izquierda por mera 'coincidencia', ponderando como más probable que se deba a superposición de figuras. La ilusión es tan potente que se pueden percibir sutilmente contornos en el triángulo que apunta hacia arriba, cuando en realidad esos contornos no existen. Por otra parte, las imágenes en la retina son planas (en dos dimensiones); el procesamiento de dicha información a nivel de la corteza visual construye una imagen percibida que tenga sentido para el organismo: de esta manera, la imagen que percibimos parece ser una superposición espacial (en tres dimensiones) de varias figuras.





Comprando infinitos caramelos

En la edición anterior dedicamos unas líneas para debatir sobre la paridad del cero. Este número no tiene puntos medios: o hace todo muy fácil o lo complica hasta, incluso, hacerlo imposible. Por ejemplo, resulta muy fácil sumar cero, restar cero o multiplicar por cero. Pero si hay algo que quizá muchos recordamos de la escuela es que 'no se puede dividir por cero'. Pero ¿por qué no se puede? ¿Qué quiere decir esto?

Para entender cuál es el problema, imaginemos que vamos a un kiosco con 100 pesos para comprar caramelos. Si

cada caramelo costara 100 pesos, entonces solamente podríamos comprar 1. Pero si cada uno costara 50, podríamos comprar 2, y si el precio de cada caramelo fuera de 1 peso, nos alcanzaría para comprar 100.

Para saber cuántos caramelos podemos comprar, la cuenta es muy simple: hacemos 100 dividido el precio unitario, y el resultado es la cantidad de caramelos que podemos llevarnos. De esta forma seguimos: ¿cuántos caramelos podemos comprar si costaran 0,50? ¿Y si costaran 0,10? Pongamos los datos en una tabla para verlos mejor.

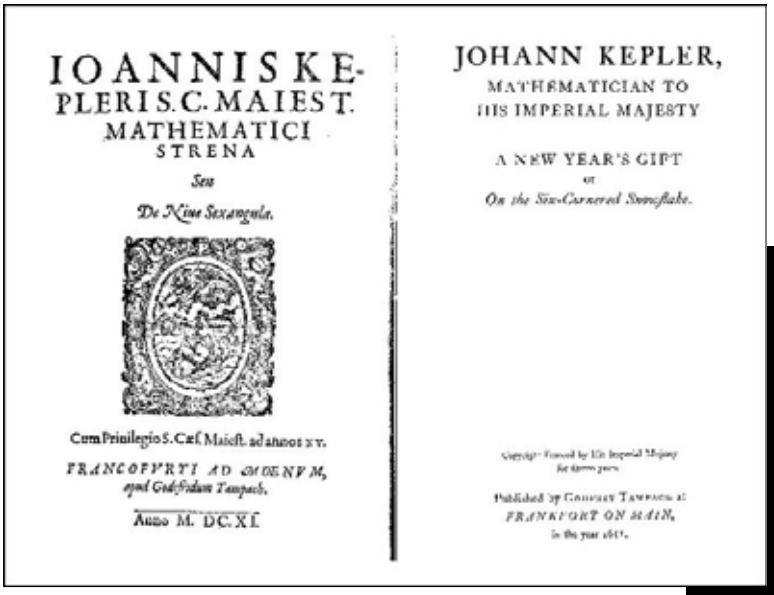
Y así podemos seguir, y resulta claro que mientras más barato sea cada caramelo, más cantidad podremos comprar con nuestros 100 pesos. Es decir, a medida que el precio disminuye, la cantidad de caramelos que podemos comprar aumenta. Imaginemos que el precio disminuye de a poco hasta llegar a cero. Entonces, ¿qué ocurre si el precio de cada caramelo es 0 pesos? Claramente podríamos llevarnos todos los caramelos del kiosco, sin importar cuántos haya. Si tuviera infinitos caramelos, podríamos comprarlos con nuestros 100 pesos, o con cualquier billete que tengamos en el bolsillo (pero ¡ojo!, no pretendamos estafar al comercio con un billete de cero pesos, la división de 0 entre 0 es otro debate).

Lo anterior nos dice que si dividimos un número cualquiera (que no sea cero) por cero el resultado es un valor tan grande como se quiera. Para indicar este valor se utiliza el símbolo infinito (que *no* es un número). Así, decimos que el resultado de dividir cualquier número no nulo por cero es infinito.

Precio por unidad	Cantidad que podemos comprar con 100 pesos
100	1
50	2
1	100
0,50	200
0,10	1000
0,01	10.000
0,001	100.000

¿Qué pasará si queremos hacer cero dividido cero? Daremos la respuesta en el próximo número, pero invitamos a que vayan conjeturando el resultado…

#TeRegaloUnTeorema


IOANNIS KEPLERI S.C. MAIEST. MATHEMATICI STRENA Seu De Nive Sexangula.

Cum Priuilegio S. Cæs. Maiest. ad annos XV.

FRANCOFVRTI AD OCDENVM, apud Godefridum Tampach.

Anno M. DC. XI.

JOHANN KEPLER, MATHEMATICIAN TO HIS IMPERIAL MAJESTY

A NEW YEAR'S GIFT or On the Six-Cornered Snowflake.

Published by Godfrey Tampach at FRANKFORT ON MAIN, in the year 1611.

Conjetura de Kepler (1611)

No hay mejor forma de acomodar las naranjas que como lo hace el verdulero.

Kepler publicó esta conjetura en 1611 en un librito llamado *De niue sexangula*, algo así como *El copo de nieve hexagonal*.

En matemática copetuda se dice así: ningún empaquetamiento de esferas tridimensionales congruentes tiene densidad mayor que las caras centradas (la de la foto).

El problema consiste en averiguar cuál es la mejor forma de acomodar las naranjas para que ocupen el menor espacio posible. O, dicho al revés, de meter la mayor cantidad de naranjas por unidad de volumen.

La forma de medirlo es con el porcentaje de volumen ocupado por las naranjas. Con la propuesta de Kepler da $\pi/\sqrt{18}$. Aproximadamente 74%.

El problema en sí ya es superinteresante si se tratara tan solo de naranjas, pero también es superimportante en mecánica estadística, un área de la física dedicada a entender las propiedades macroscópicas de la materia (gases, líquidos, sólidos) a partir de las interacciones microscópicas de las moléculas que la forman.

En ese marco es muy importante conocer cuáles son los estados de mínima energía. ¿Cómo deben acomodarse un montón de moléculas redondas (ponele) para minimizar la energía? Es muy importante saber si la forma en que deben hacerlo es en un arreglo ordenado, como el que conjeturaba Kepler, o en uno desordenado.

Este tipo de preguntas están en el centro de la investigación de Giorgio Parisi, uno de los recientemente laureados con un premio Nobel. Una prueba de la conjetura fue anunciada en 1998 (¡sí! recién en 1998) por Samuel Ferguson y Thomas Hales, pero no fue publicada hasta 2006 porque los referís encargados de revisar que la prueba fuera correcta no lograban dar un veredicto.

¡Y no lo lograron! Pero dijeron que estaban 99% seguros de que estaba bien.

La prueba consiste en reducir el problema a chequear muuuchas cuentas en una gran cantidad de casos. Esta última tarea es realizada con computadoras.

Por eso su prueba consistía de 300 páginas de notas y 3 gigabytes de programas de computadora, datos y resultados.

En 2003 Hales anunció Flyspeck, un proyecto para dar una prueba formal de la conjetura (una prueba que puede ser chequeada también usando computadoras). Estimó que el proyecto llevaría aproximadamente veinte años.

En enero de 2015, Hales y veintiún colaboradores subieron el artículo 'A formal proof of the Kepler conjecture' a *arXiv*, una plataforma donde (casi) todos los matemáticos subimos nuestros artículos apenas terminados: *https://arxiv.org/pdf/1501.02155.pdf*

Todavía no se conoce una prueba 'libre de computadoras' de la conjetura de Kepler. El gran John Conway creía que eso pasará algún día, aunque tal vez haya que esperar otros cuatrocientos años.

#TeRegaloUnTeorema

Matemática abstracta

En esta historia, como en el relato de Jorge Luis Borges 'Emma Zunz', hay un par de nombres propios mal, pero son de lugares y no de personas. Y los hechos son correctos, no hay que forzar la interpretación, se pueden rastrear y confirmar uno por uno.

Es la historia de un matemático de Australia, o Nueva Zelanda. O tal vez de otro lado, pero apostaría a que era de ahí. De Fiji no, ni de Sumatra, ni de Borneo: me acordaría por el TEG. Lo cierto es que hizo el doctorado en UCLA, California, y luego un posdoc en Harvard. ¿O era al revés? ¿Tal vez en Princeton?

No nos detengamos en esos detalles: cruzó el mundo de sur a norte, de este a oeste, y terminó trabajando en biología matemática. Consiguió un cargo en Canadá, como para cambiar también de temperatura, y se cambió el apellido: si no me creen, lo pueden guglear: se llamaba Smith (correctora, coincido que guglear no es un verbo castellano, pero qué le vamos a hacer, es lo que harán los que les pique el bichito de la curiosidad).

No recuerdo el nombre, los nombres son demasiado comunes, pero, con Smith y las pistas que les di, lo van a encontrar. Ah, perdón, ya me olvidaba: se cambió el apellido y ahora es Smith? No les estoy preguntando nada, le agregó el ? al apellido. Y si se preguntaban si le faltaba cambiar algo más, pues sí: cambió de género, así que también su nombre ahora es otro.

Y, como no podía ser de otra manera, cambió de tema de investigación.

¿Por qué?, se preguntarán. Bueno, lo cuenta en el prólogo de un libro, o en una entrevista: en algún momento del posdoc, o tratando de conseguir un cargo, se encontró en las cataratas del Niágara cazando mosquitos infectados con la fiebre del Nilo, y cazando mosquitos infectados con la fiebre del Nilo se dio cuenta de algo muy loco: los mosquitos estaban infectados con la fiebre del Nilo. Y eso es muy peligroso.

Entonces pensó en dedicarse a problemas abstractos, esos que todo matemático serio estudia con orgullo: álgebras de Lie, ecuaciones diferenciales no lineales –como el p laplaciano, acá yo levanto la mano–, topología algebraica, análisis harmónico… (correctora: el *Diccionario enciclopédico Espasa Calpe* de 1924 en 40 tomos o más que leía de chico le ponía *h*, y agréguele la deformación profesional de años de amistad con Fourier. Qué le vamos a hacer, me quedó esa mala costumbre, no se me ponga mal).

Vayan a guglear, y les puede costar encontrarlo, pero les doy una pista: agreguen zombies y ya está, van a saber de quién hablo, porque escribió un libro muy completo sobre cómo modelar epidemias… de zombies. Hay distintas herramientas matemáticas: ecuaciones diferenciales, estadística, simulaciones, de todo! Acá sí va el !, y no abrí el ¡, porque no sé bien a qué altura de todo el texto anterior comienza mi asombro, puede que antes del título.

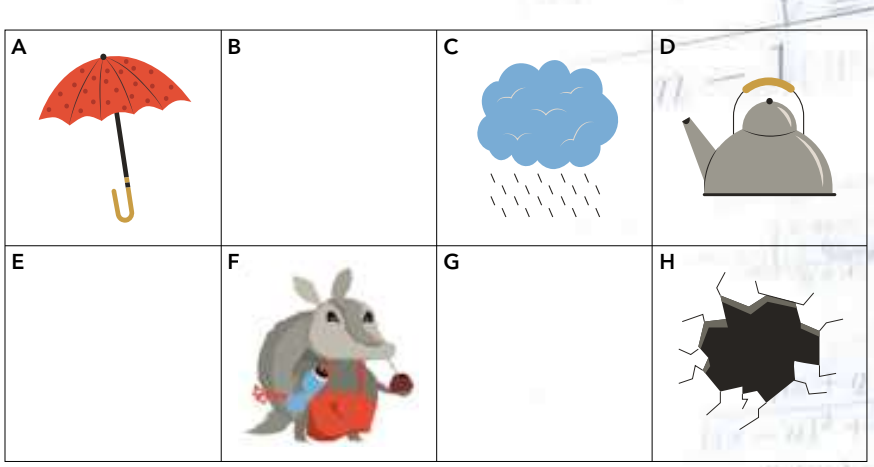
Y van a coincidir que, como problema abstracto, lo que se dice abstracto, le gana de lejos a todos los que normalmente estudiamos.

Agua pa'l mate

A Lita la mulita se le terminó el agua y tenía ganas de tomar unos mates, por lo que tiene que ir a buscarla a la pava.

El camino está lleno de obstáculos y objetos que Lita puede recoger y usar. Se sabe varias cosas sobre Lita:

- No le gusta mojarse.
- No le gusta caerse a un pozo.
- Sabe usar paraguas.
- Si hay, le gusta comer facturas con el mate.
- Se puede mover para arriba, abajo, izquierda y derecha (➡⬆⬇⬅) y juntar y usar cosas.



Ahora bien, es fácil ver que el recorrido que le conviene a Lita es ⬅⬆ ➡➡➡.

Con el primero se mueve a la celda E, después levanta el paraguas y avanza por la lluvia sin mojarse.

Ahora bien, todo esto lo pudimos decir porque tenemos un gran conocimiento de los objetos presentes y de la situación que queremos resolver. Pero ¿qué pasaría si Lita no supiera nada del mundo y tuviera que explorarlo por primera vez?

Este es el ejercicio que nos proponemos. Estudiar el mundo y generar un conocimiento sobre lo vivido para que Lita pueda, con este conocimiento, recorrer el plano y conseguir el objetivo: tomar mate.

Para ello vamos a plantear algunas reglas:

- Llegar a la pava significa lograrlo, a lo cual le asignaremos un puntaje alto: 100.
- Pasar por la lluvia sin paraguas nos moja y perdemos -50 puntos.
- Caernos al pozo también nos hace perder -50 puntos.
- Lita puede tener dos estados: con paraguas o sin paraguas.

Ahora vamos a ver cómo Lita empieza a conocer el ambiente. A cada paso que tiene que dar tiene dos opciones: explorar algo nuevo al azar o usar conocimiento previo para avanzar.

Como la primera vez no tenemos conocimiento, entonces vamos a hacerlo al azar hasta que gane o pierda muchas veces:

Corrida 1:

- ➡ ⬅➡ ⬅➡ ⬆ de esta manera recorre las posiciones F (inicial) GFGFGC y se moja y pierde, por lo que recordará que toda esta secuencia fue mala.

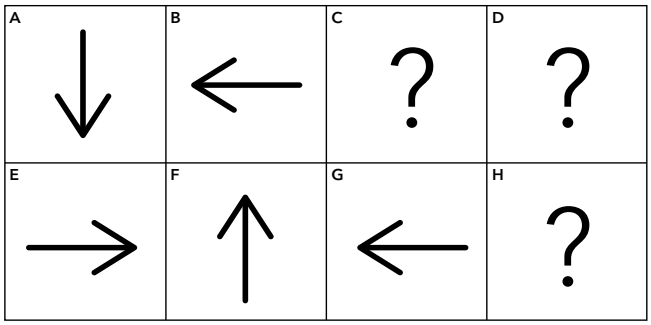
Vamos a hacer una segunda corrida. Ahora Lita ya sabe que, en su corta experiencia, ir a la derecha le hizo perder.

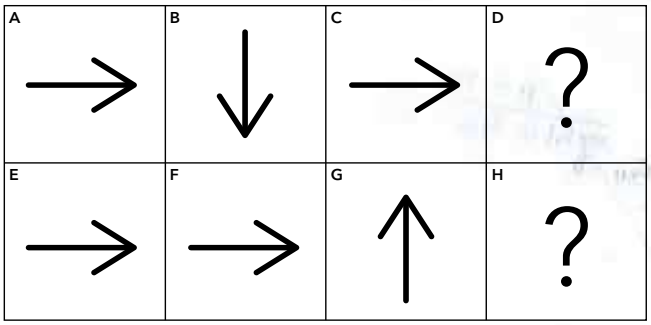
- ⬆ ⬅➡ ➡ ⬅➡ ➡ de esta manera recorre las posiciones F (inicial) BABCBCD y llega hasta la pava ganando 100 puntos, así que recordará esta secuencia como buena.

En una tercera corrida:

- ➡➡ de esta manera recorre las posiciones FGH y pierde porque se cae al pozo.

Luego de muchas corridas, Lita logró hacer una composición de qué hacer en cada situación de acuerdo con su experiencia.





Política (el plan de Lita): qué hacer en cada casilla

Esto es lo que vamos a llamar una política, es la definición de qué va a hacer Lita si se encuentra en cada una de las celdas separadas en dos situaciones: sin paraguas (izquierda), con paraguas (derecha). Las casillas indicadas con ? indican que Lita no sabe qué hacer si se llega a encontrar en esa posición (sea porque nunca pasó o porque gana o pierde y no tiene acción posible).

La pregunta ahora es la siguiente: con este conocimiento, ¿puede Lita asegurarse de llegar siempre a la pava en este escenario?

¿Qué pasaría si, además de estar el paraguas, el escenario contara con unas medialunas que a Lita le encantan en la celda E? En este caso, en lugar de tener dos políticas, Lita deberá tener cuatro posibles: sin objetos, con medialunas (1 objeto), con paraguas (1 objeto) o con paraguas y medialunas (2 objetos). ¿Te animás a planificar una política para este nuevo escenario?

Corolario

Esta nueva forma de aprender de Lita se denomina *aprendizaje por refuerzo*, y es una rama de *machine learning* (que es a su vez parte de la inteligencia artificial). En el aprendizaje por refuerzo se busca resolver problemas planteados como 'caminos' (que podrían no ser tan literalmente caminos) y gracias al algoritmo ejemplificado aquí por Lita se pueden mediante exploración (y obtención de recompensas por acciones) encontrar soluciones a problemas muy grandes y complejos que no pueden ser resueltos (o al menos no tan rápidamente) con algoritmos normales.

Para leer más: *es.wikipedia.org/wiki/Aprendizaje_por_refuerzo*

Soluciones

Agua pa'l mate

Como ya podrá arriesgar, Lita sí llega. Y veamos cómo. Lita parte sin paraguas de F, por lo que tiene que ir para arriba (ver política mapa izquierdo), desplazándose a B, ahí la estrategia es ir a la izquierda, llegando a A y tomando el paraguas. Ahora Lita tiene el paraguas, por lo que debe seguir el plan del lado derecho, lo cual la lleva de A por BFGC hasta D llegando a la pava.

Equipo de la sección 'Ilusiones y juegos matemáticos'

Marilina Carena
Matemática, UNL-Conicet.
marilcarena@gmail.com

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

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

Matías López-Rosenfeld
Computador, UBA-Conicet
mlopez@dc.uba.ar

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

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

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

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

Preguntas, comentarios y sugerencias: ***contacto@cienciahoy.org.ar***

SUSCRIBITE A CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

¡NO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!

Para saber qué tenés que hacer,
visitá www.chicosdecienciahoy.org.ar

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

CHicosdeCienciaHoy
@chicosdecienciahoy

¿Cómo acercarte a la ciencia en tres pasos?

1visitá

Nex Ciencia en: http://nexciencia.exactas.uba.ar

2sumate

a http://www.facebook.com/NEXciencia para recibir todas las novedades

3seguinos

por Twitter a través de @nex_ciencia

nexciencia.exactas.uba.ar