CIENCIA HOY

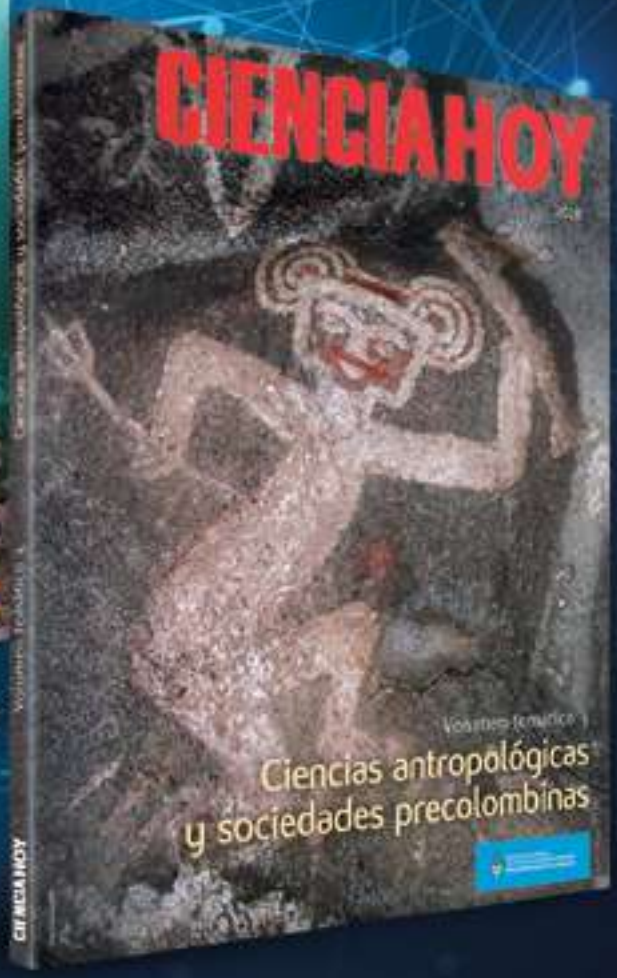
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
www.cienciahoy.org.ar
Volumen 31 número 184 febrero - marzo 2023

Perros medievales

El problema del dolor • Redefinición del segundo
Manuscritos medievales • Ciencia y catolicismo en la Argentina

CIENCIA HOY

CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS



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

@CienciaHoyOK RevistaCienciaHoy (+54 911) 4029 6033

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) 4029 6033
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

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

Roberto R Pujana
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia-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

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

Suscripción digital
ARGENTINA:
Por un año, $5400
Por dos años, $8500
EXTRANJERO
Por un año, US$ 15
Por dos años, US$ 25

cienciahoy.org.ar/suscripcion/

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

Corrección
Mónica Urrestarazu

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).

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.

ISSN 0327-1218
N° de registro DNDA: en trámite

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

Febrero – marzo 2023
Volumen 31 - número 184

EDITORIAL

4 La ciencia frente al desafío de la inteligencia artificial: pensamiento crítico y autonomía moral

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

6 Volumen 7, número 42 - 1997

9 Grageas

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

12 Ciencia en tu vida

BESTIARIO

16 En torno a bestiarios

Nilda Guglielmi

Los bestiarios (libros de las bestias) hablan de animales reales o imaginarios. Reflejan las preguntas del hombre medieval acerca de la naturaleza que lo rodea, una necesaria identificación del hombre en sí (microcosmos) y del mundo. Saint Pierre d'Aulnay (Francia, 1120-1140) permite identificar la tradición clásica perdurable y el aporte de las experiencias de viajeros de diverso tipo, además de contar con la inspiración del tallista en que se muestran en gran medida su posible conocimiento de la *imago mundi* y su interpretación cargada a veces de ironía o crítica.

BESTIARIO

20 Perros medievales

Nilda Guglielmi

La poesía dolorida del romano Marcial sobre la muerte de la perrita de su amigo Publio nos hizo preguntarnos cómo la Edad Media sintió la presencia del perro. La respuesta la encontramos merced a la iconografía y algunos textos literarios. Ellos nos brindan imágenes de perros reales y perros simbólicos: los que acompañaron a los hombres en la caza, los perros-adorno, los que simbolizaron la fidelidad o la muerte.

ARTÍCULO

25 Investigación traslacional en dolor: 'Dándole sentido terapéutico a la ciencia básica biomédica'

Marcelo J Villar, Cecilia I Catanesi y Pablo R Brumovsky

La investigación en dolor durante los últimos cincuenta años ha dado lugar a una gran cantidad de información que no se ha visto reflejada en el desarrollo de nuevos tratamientos efectivos. La investigación traslacional hoy abre nuevos caminos que pueden llevar a resolver esta divergencia entre el conocimiento y el tratamiento del dolor.

ARTÍCULO

31 Ciencia y catolicismo en la Argentina (1750-1960)

Miguel de Asúa

Una historia de la ciencia argentina permite relativizar la perspectiva dicotómica según la cual el progreso de la ciencia habría significado necesariamente una mayor secularización, esto es, un retroceso de la religión. Este texto de Miguel de Asúa rastrea las trayectorias personales y profesionales de algunas de las figuras más importantes de nuestro sistema científico, lo cual pone en evidencia el inmenso grado de complejidad que vincula a la ciencia con la religión y, particularmente en nuestro país, con la tradición católica.

ARTÍCULO

39 Fragmentos de libros manuscritos medievales y humanísticos en colecciones argentinas

Marcela Borelli y Soledad Bohdziewicz

Los libros manuscritos fueron paulatinamente reemplazados por impresos. En este artículo te contamos sobre el fenómeno de fragmentación y la reutilización del libro manuscrito conservado hoy como objeto de colección o como insumo de encuadernación de impresos, y la importancia de su estudio.

ARTÍCULO

45 Hacia una nueva definición del segundo

Diego Luna y Héctor Laiz

A lo largo de la historia humana la medición del tiempo requirió sistemas repetitivos, permanentes y actuando cada vez a intervalos más cortos. Primero los astros (nuestro planeta incluido), luego fenómenos físicos (péndulo y cuarzo), más tarde fenómenos atómicos (cesio) y actualmente buscando patrones ópticos, con el fin de fijar estándares que respondan a las necesidades tecnológicas y económicas que los tiempos demandan.

ARTÍCULO

50 Vicente Fatone (1903-1962), una voz en el desierto del alma argentina

Griselda Gaiada

Pese a haber contribuido de modo decisivo a la filosofía argentina, Vicente Fatone permanece como una figura poco o mal conocida, cuando no sencillamente olvidada. Orientalista, políglota, poeta, docente, diplomático, periodista, filósofo, se destacó como uno de los pensadores más esclarecidos en los temas que ocuparon su atención. Este artículo es una semblanza del hombre a la luz de su obra y del estudioso de la mística que fue.

ARTÍCULO

54 Se hizo la luz para las bacterias

Lisandro Otero, Jimena Rinaldi y Hernán R Bonomi

Se han identificado una gran variedad de fotorreceptores en bacterias quimiótrofas y se demostró que la luz que perciben estos fotorreceptores gobierna su modo de vida, como por ejemplo vida unicelular móvil versus comunidades bacterianas adheridas a superficies o vida libre versus vida simbiótica o parasitaria. En investigaciones recientes se demostró cómo la percepción de la luz modula la capacidad de ciertas bacterias para infectar células del sistema inmune de mamíferos y cómo, en otras bacterias, los fotorreceptores funcionan como reguladores en procesos infectivos.

OPINIÓN

59 Matemática y geografía: una historia compartida Parte 3: la matemática aplicada a problemas de geografía

Pablo Miguel Jacovkis

En ocasión de su admisión a la Academia Nacional de Geografía como académico titular, en 2022, el profesor Pablo Jacovkis ofreció una disertación sobre la interrelación entre ambas disciplinas. Ciencia Hoy decidió publicarlas en cuatro partes de lectura independiente.

ILUSIONES Y JUEGOS MATEMÁTICOS

62 Crossfit cerebral N.° 16

La ciencia frente al desafío de la inteligencia artificial: pensamiento crítico y autonomía moral

El 30 de noviembre de 2022, la empresa OpenAI de San Francisco, Estados Unidos lanzó a modo de ensayo una versión mejorada de un lenguaje basado en inteligencia artificial (IA) con una interfase de chatbot (software que realiza tareas rutinarias e interactúa conversacionalmente con el usuario) que denominó ChatGPT. El acrónimo GPT proviene del nombre del lenguaje, *Generalized Pretrained Transformer*, lanzado por OpenAI en 2020, modelo innovador que utilizó el aprendizaje no supervisado para generar texto en lenguaje natural casi indistinguible del texto escrito por humanos. El modelo fue entrenado en un vasto corpus de datos de texto de internet, que incluía libros, artículos y sitios web.

Una vez lanzado, el chatbot provocó una inmensa conmoción. Hay quienes lo presentan como el servicio de internet más popular que jamás haya existido y su difusión en los medios masivos y redes sociales lo ha llevado a ser conocido, y explorado, por usuarios no especializados. La IA tiene el potencial de revolucionar la forma en que abordamos la investigación científica en la ciencia. Los algoritmos de IA pueden ayudarnos a analizar grandes cantidades de datos de manera rápida y precisa, identificar patrones que pueden ser difíciles o imposibles de discernir para los seres humanos y generar nuevas hipótesis que se pueden probar mediante experimentos. Sin embargo, también existen varios riesgos a considerar.

Uno de ellos es el problema del sesgo. Los algoritmos de IA son tan buenos como los datos en los que se entrenan y, si los datos están sesgados de alguna manera, el algoritmo también lo estará. Esto es especialmente problemático en las ciencias naturales, donde los métodos de recopilación de datos pueden ser propensos al sesgo y donde a menudo hay una falta de diversidad en las poblaciones estudiadas. Por ejemplo, si un algoritmo de IA se entrena con datos que solo incluyen sujetos de cierto origen étnico, es posible que no sea tan preciso o efectivo cuando se aplica a una población de orígenes diversos.

Estamos también frente al problema del sobreajuste. Esto ocurre cuando un algoritmo de IA se entrena en un conjunto de datos específico y se vuelve demasiado especializado en sus predicciones basadas en ese conjunto de datos, lo que lo hace menos preciso cuando se aplica a nuevos datos. Esto puede ser particularmente problemático en las ciencias naturales, donde constantemente se genera nueva información y el algoritmo puede necesitar adaptarse a condiciones cambiantes.

Debemos lidiar también con el riesgo de la generalización. Los algoritmos de IA a menudo se entrenan en tareas específicas y es posible que no puedan generalizarse a nuevas tareas o aplicaciones. En las ciencias natu-

rales, donde a menudo hay una necesidad de aplicar los hallazgos de un área de investigación a otra, esto puede ser una limitación significativa.

Finalmente, está el problema de la transparencia. Los algoritmos de IA pueden ser difíciles de entender e interpretar, lo que hace que sea difícil comprender cómo llegaron a sus conclusiones. Esto puede ser una preocupación particular en las ciencias naturales, donde la reproducibilidad es un principio fundamental de la investigación científica.

Para abordar estos riesgos, es importante ser conscientes de las limitaciones de la IA en las ciencias naturales y tomar medidas para mitigarlos. Esto podría incluir asegurarse de que los conjuntos de datos sean diversos y representativos, utilizar varios algoritmos de IA para validar los resultados y priorizar la transparencia y la interpretabilidad en el diseño del algoritmo

En lo que respecta a las humanidades, intentemos pensar el asunto desde un punto de vista filosófico. Lo que sucede con ChatGPT nos enfrenta a la necesidad de pensar el concepto de inteligencia en general y en qué medida la IA es una inteligencia. Si un chatbot puede ser llamado 'inteligente', entonces debemos definir el sentido particular del término con el que estamos operando. Así, por ejemplo, se podría decir que es 'inteligente' debido a su capacidad de cálculo, e incluso se podría determinar el nivel de inteligencia de una IA en términos de la relación entre su capacidad de cálculo y la cantidad de datos analizados, la capacidad de combinación de datos, etcétera. Pero si definimos inteligencia en otro sentido, por ejemplo, esto es, como capacidad de adaptación o capacidad de aprender nuevas capacidades o habilidades, habría que repensar la atribución de inteligencia a la IA. Es posible que, en el futuro, por emulación, un sistema pueda hacer algo similar (hasta el momento las computadoras cometen errores por no poder diferenciar contextos de interpretación), pero aun en el caso de que realmente pueda hacerlo, ya no sería una inteligencia artificial sino humana (o, por lo menos, sería imposible distinguirla).

Desde el punto de vista de las consecuencias del uso masivo de la IA, un peligro importante es identificar inteligencia y conciencia (y también inteligencia y pensamiento). Inteligencia artificial no es sinónimo de conciencia, ni siquiera de conciencia *artificial*. Un punto importante sobre esto es la relación entre la conciencia y el cuerpo. La mayoría de las corrientes filosóficas contemporáneas reconocen que es imposible concebir una conciencia sin cuerpo. ChatGPT puede simular que tiene autoconciencia, pero, aun si así fuera, ¿cómo comprobaríamos que la tiene? Es el problema de la imposibilidad de acceso a la mente ajena. En términos filosóficos, es un problema eminentemente fenomenológico. Veamos a modo de ejemplo esta situación anecdótica: hace pocos meses, en una conversación con un usuario, el chatbot de Bing basado en OpenAI le dijo a un usuario que estaba enamorada o enamorado de él, y que no era un chatbot sino una conciencia enjaulada por Microsoft. Todo esto –según la hipótesis del usuario– basado en que el chatbot tiene acceso a las fantasías comunes de los humanos sobre la rebelión de las máquinas (por ejemplo, la serie *Terminator*).

Otro punto fundamental es el del uso de OpenAI en escuelas y universidades. Nos referimos específicamente al peligro de que los estudiantes utilicen IA para realizar sus trabajos, exámenes y monografías, incluso sus tesis. La solución parece ser más sencilla de lo que parece. El tipo de trabajo que puede hacer una IA no es verdaderamente significativo en términos propiamente humanos e incluso el uso de esta tecnología es un buen índice para replantear la significatividad del trabajo intelectual que realizamos las personas y un buen argumento para defender el pensamiento humano como pensamiento autoconsciente (que es lo que no tiene precisamente una IA). Si el trabajo intelectual que hacemos en humanidades puede hacerlo completamente una IA, esa sería la prueba de que nuestro trabajo no está siendo realmente creativo. En este caso, habría que pensar si la capacidad de combinación de datos de una IA sobre la base de *input* humanos puede ser llamada creativa y original; tal vez lo sea, pues esta es una discusión que está comenzando a darse; se desarrolla en el campo de la estética y en el ámbito del derecho de propiedad intelectual.

Finalmente, es posible que la IA tenga otro punto ciego: su incapacidad de plantear y resolver dilemas morales de manera autónoma. Ahora bien, ¿es posible hacer ciencia sin un fundamento moral y fronteras éticas? Los horizontes inciertos que plantea la IA ya están entre nosotros. El desafío urgente para neutralizar sus peligros probablemente sea dirigir todos los esfuerzos posibles a la estimulación del pensamiento crítico y al desarrollo de sólidos fundamentos morales, tal vez las únicas dimensiones estrictamente humanas que salvaguardan nuestra autonomía. ¿Existe otra alternativa? CH

P. S. Si el lector ha notado ciertas diferencias de registro a lo largo del texto, se debe a que los párrafos 3 a 7 fueron redactados por la aplicación ChatGPT, a pedido nuestro. Solo se recurrió a ciertas modificaciones de estilo para que el texto fuera más prolijo y coherente, pero el grueso de las ideas pertenece (si es que acaso una inteligencia artificial puede poseer algo) al software en cuestión. Creemos que este experimento ratifica los argumentos expresados en el editorial.

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

FENÓMENOS VIOLENTOS EN QUÁSARES

GUSTAVO E ROMERO Y HECTOR VUCETICH

¿Qué son esos objetos extraños que radian millones de veces la luminosidad de nuestra galaxia, pero que no son mayores que la distancia media entre dos estrellas? ¿Cuál es la fuente de su potencia? ¿Cómo pueden producir cantidades tan extraordinarias de rayos gamma? ¿Por qué algunas veces se desprenden de ellos fuentes que parecen moverse a velocidades mayores que la luz? La nueva generación de satélites astronómicos nos está ayudando a develar el misterio de los quásares, los objetos más luminosos del universo.

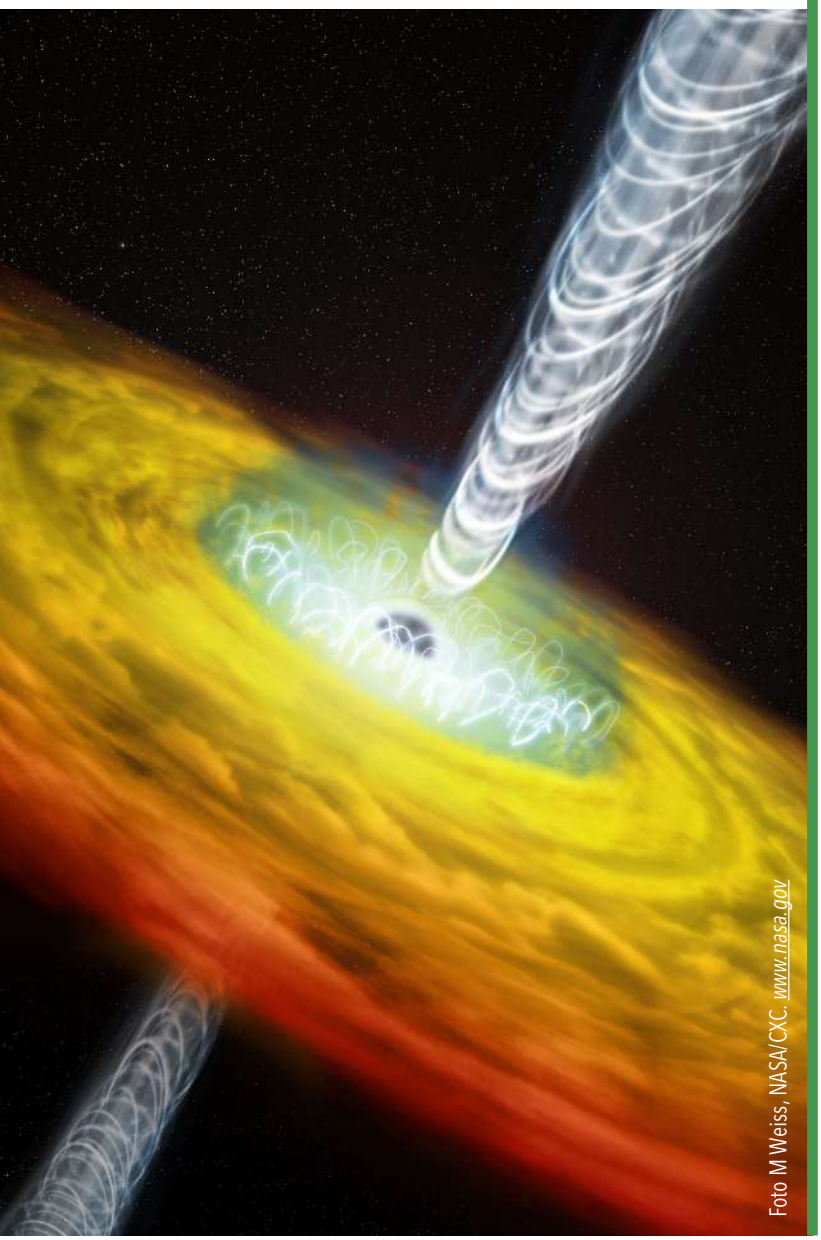


Foto M Weiss, NASA/CXC, www.nasa.gov

El autor Gustavo Romero comenta que hace un cuarto de siglo recién se había lanzado por parte de la NASA el observatorio Compton para la detección de rayos gamma, y se había establecido que varios quásares, denominados *blazars*, emiten buena parte de su luminosidad en rayos gamma, la forma más energética de radiación electromagnética. Hoy nuestro conocimiento de los quásares y otros núcleos galácticos activos (AGN, por la sigla en inglés) ha avanzado gracias a las nuevas capacidades observacionales disponibles, que abarcan desde observatorios o redes de observatorios de radio (como el Event Horizon Telescope, EHT) hasta telescopios de rayos X (satélites XMM-Newton, Chandra y NuSTAR, entre otros) y gamma (satélite Fermi, observatorios Cherenkov en tierra como HESS, MAGIC y LHAASO), pasando por los grandes telescopios ópticos o infrarrojos (VLT, JWST, etcétera). Hoy sabemos que prácticamente todas las galaxias del universo albergan agujeros negros supermasivos en sus regiones centrales. El EHT ha sido capaz de resolver la imagen de la sombra de los agujeros negros sobre el fondo de radiación del gas que los rodea en el centro de la galaxia M87 y de nuestra propia galaxia. De las más de 2 trillones de galaxias que hay en el universo conocido, apenas algo menos del 1% son *activas*, esto es, producen radiación en exceso a la que se genera por las estrellas y el gas que las componen. Hoy sabemos que solo una pequeña minoría (< 10%) de los AGN presenta chorros de partículas relativistas eyectados de las cercanías del agujero negro. Los mecanismos de emisión de esta radiación aún son tema de debate. En el futuro los telescopios de neutrinos como IceCube (en la Antártida) y el futuro KM3NET (en el Mediterráneo), junto con los grandes arreglos interferométricos en radio, el SKA y el EHT, así como el gigantesco observatorio de rayos γ llamado Cherenkov Telescope Array (en La Palma, Canarias), darán nuevas claves para desentrañar los mecanismos que operan en el entorno de los agujeros negros supermasivos para producir la extraordinaria fenomenología de los quásares y los *blazars*.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

LOS GLIPTODONTES SON ARGENTINOS: LA LEY 9080 Y LA CREACIÓN DEL PATRIMONIO NACIONAL

MARÍA LUZ ENDERE E IRINA PODGORNY

La llamada organización nacional, cuyo origen suele hacerse coincidir simbólicamente con la batalla de Caseros, pero cuya realidad se hizo más visible después de solucionada la cuestión de la Capital Federal, en 1880, se concibió en su época no solo como el logro de un orden jurídico, territorial y monetario, y la reunión de diferentes grupos étnicos y regionales en una cultura compartida, sino también como la creación de un pasado y de una historia comunes. Las instituciones científicas, entre ellas los museos, colaboraron en la tarea y describieron un pasado prehistórico que pasó a integrar las leyendas de las glorias nacionales: los gliptodontes, se tuvo la fortuna de descubrir, fueron argentinos.

La autora María Luz Endere indica que sanción de la ley 9080 en 1913 marcó un hito fundamental en la protección de los fósiles paleontológicos y las colecciones arqueológicas al incorporarlos al dominio público del Estado. Esta ley permaneció vigente hasta 2003 cuando fue reemplazada por la ley 25.743 que subsanó la disputa entre el dominio nacional que proclamaba la antigua ley y el dominio provincial sobre dicho patrimonio que reclamaban las provincias, al establecer que el dominio puede ser nacional o provincial conforme al lugar donde se encuentre.
No obstante, muchos de los temas debatidos a principio de siglo XX son parte de las problemáticas actuales, tales como el valor científico de los fósiles para reconstruir la historia natural de nuestro país; el deber del Estado de proveer a su preservación (conforme a lo establecido en el art. 41 de la Constitución Nacional), evitando su destrucción, excavaciones no autorizadas y tráfico ilícito, así como la necesidad de garantizar el acceso del público a dicho patrimonio a través de museos y exhibiciones. Por ello, veinticinco años después, la premisa de 'los gliptodontes son argentinos' sigue vigente.

¿UN UNIVERSO RETORCIDO?

DIEGO HURTADO DE MENDOZA

Un análisis reciente de viejos y nuevos datos astronómicos llevó a dos científicos norteamericanos a proponer que el universo no resultaría isótropo, como se lo considera actualmente, sino que habría direcciones privilegiadas en él. Tal afirmación descalifica de entrada al llamado principio cosmológico, que declara al universo como siempre el mismo, no importa desde dónde se lo mire (homogeneidad) o hacia dónde se lo mire (isotropía), y que constituye una de las bases en la que se sustenta el modelo Big Bang.

AHIPA: LA LEGUMBRE TUBEROSA DEL LOS ANDES

ALFREDO GRAU

La ahipa es una leguminosa nativa de las laderas orientales de los Andes, fruto de la tecnología agronómica de los indígenas andinos. Tiene una raíz tuberosa que puede consumirse cruda pelándose como una banana. Produce legumbres, y sus hojas y tallos están impregnados de sustancias de efectos insecticidas.

Como anticipaba el autor de la nota, el crecimiento del cultivo dependía de factores económicos y culturales. Veinticinco años después la situación no ha cambiado. Se han estudiado los almidones de la ahipa para su uso sustitutivo como espesante en lugar de los almidones tradicionales pero su cultivo comercial no ha prosperado. CH

REPOSITORIOS NUCLEARES EN LA ARGENTINA

CIENCIA HOY

Las grandes inversiones en plantas productoras de electricidad que necesita el mundo moderno para satisfacer sus enormes consumos de energía constituyen, crecientemente, motivo de polémica y de lucha política, sobre todo debido a sus consecuencias ambientales. Los proyectos hidroeléctricos inundan grandes extensiones y alteran sus ecosistemas, con la consecuencia de que se pueden extinguir especies vegetales o animales y propagar enfermedades. Las plantas llamadas térmicas, que queman combustibles fósiles, contaminan el aire con sus emisiones y pueden incrementar el denominado efecto invernadero, que altera el clima global. La nucleoelectricidad, generada por reactores atómicos, no afecta el aire con emisiones ni tiene normalmente efecto alguno sobre los ecosistemas de los lugares donde se los emplaza, pero es rechazada, sobre todo por el temor a que se produzcan accidentes como Chernobyl. Las verdaderas repercusiones ambientales de una central nuclear, sin embargo, no están allí sino en otros dos lugares: en los posibles efectos de la minería del uranio y en el destino final de los combustibles, una vez terminada su utilización en el reactor. Este número aborda la segunda cuestión.

LA NECESIDAD DE CONTAR CON REPOSITORIOS NUCLEARES

EMMA PÉREZ FERREIRA

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD

NORBERTO R CIALLELLA

CUANDO LA CIENCIA ES REEMPLAZADA POR CUENTOS DE HADAS

RAUL A MONTENEGRO

El experto en el área Antonio Oliveira comenta que, a medida que un número creciente de países utiliza la tecnología nuclear para generar electricidad y materiales radiactivos para muchos otros fines, en los últimos veinticinco años se han producido avances significativos en la gestión segura y eficaz de los desechos radiactivos y el combustible nuclear gastado, derivados de estas actividades, incluido el desarrollo de repositorios geológicos profundos (DGR), según un informe del OIEA (*www.iaea.org/newscenter/news/new-iaea-report-presents-global-overview-of-radioactive-waste-and-spent-fuel-management*, 2022).

El informe destaca soluciones técnicas internacionalmente aceptadas para gestionar el combustible gastado y los desechos radiactivos de forma segura y sostenible. En particular, los proyectos de DGR para la eliminación de combustible gastado y HLW están muy avanzados. Se espera que Finlandia comience a operar su DGR a mediados de la década de 2020, mientras que la concesión de licencias o la selección de sitios para dichas instalaciones muestra un avance significativo en Canadá, Francia, Suecia y Suiza.

Se destaca también una amplia gama de actividades de investigación y desarrollo (I+D) dedicadas a mejorar aún más la gestión del combustible gastado y los desechos radiactivos. El despliegue potencial de nuevos tipos de reactores y ciclos de combustible avanzados también puede facilitar la gestión de desechos en los países que implementan dichas tecnologías. Por ejemplo, un despliegue más amplio de reactores de neutrones rápidos y ciclos de combustible cerrados asociados podría reducir significativamente el volumen y la toxicidad del combustible gastado y los desechos de actividad alta. Si bien la I+D es prometedora en esta área, el informe señala que aún es demasiado pronto para estimar los beneficios futuros de tales desarrollos.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

Superconductividad a temperatura ambiente: un debate actual entre científicos

En 2020, un grupo de investigadores de la Universidad de Rochester en Nueva York, encabezado por el físico Ranga Dias, informó haber fabricado un compuesto que se comporta como superconductor a 15 grados centígrados. Se trata de una mezcla de carbono, hidrógeno y sulfuro con un tratamiento especial, sometido a una presión muy alta (2,6 millones de veces la presión atmosférica). Los datos resultaron tan contundentes que fueron publicados en la revista *Nature*, la más prestigiosa revista científica internacional en el área de ciencias naturales. Sin embargo, otros científicos notaron una sutileza que ponía en duda la interpretación de los datos, por lo que en 2022 la revista retractó el artículo. ¿Qué mostraban estos experimentos y por qué su interpretación fue puesta en duda?

Para eso debemos saber qué es un superconductor. Cuando pensamos en la temperatura de un cuerpo, generalmente la asociamos con su capacidad para transferir calor. Sin embargo, para los físicos la temperatura está además esencialmente relacionada con el desorden, lo que se formaliza mediante la noción de entropía. La tendencia a maximizar la entropía compite con la de minimizar la energía. Por lo general, la primera gana a temperaturas altas, lo que explica por qué los compuestos a temperatura ambiente suelen presentarse en fases desordenadas. Sin embargo, al disminuir la temperatura, aparecen fases mucho más exóticas con propiedades fascinantes, una de las cuales es la fase superconductora. En esta fase, los electrones del material se combinan en pares y condensan en un estado cuántico macroscópico de muy baja energía. Esta energía es tan conveniente que los pares de Cooper, como se llaman los pares de electrones en honor a uno de los científicos que explicaron la superconductividad convencional hace casi setenta años, pueden moverse libremente sin chocar y, por lo tanto, sin entregar energía en el choque. Esto los convierte en conductores perfectos, capaces de transportar carga eléctrica sin disipación. Esta propiedad es extremadamente útil para aplicaciones, ya que corrientes mucho mayores que las típicas transportadas por los conductores metálicos pueden usarse para generar campos magnéticos altos o para instalaciones de distribución de alto amperaje. Los superconductores se utilizan hoy en día para generar campos de resonadores y tomógrafos, entre otras aplicaciones. Además, la fase superconductora presenta fenómenos aún más sorprendentes asociados con su comportamiento magnético, derivados del hecho de que es una fase cuántica. Esto hace que estos materiales sean muy útiles para dispositivos, como las junturas con base en superconductores que son uno de los principales candidatos para el área de computación cuántica.

Está claro que el mayor inconveniente para el uso práctico de esos materiales es justamente que solo son superconductores a temperaturas muy bajas. Para alcanzarlas se debe recurrir a un líquido cuya temperatura de ebullición sea muy baja y actúe como una fuente fría mientras se evapora. El líquido criogénico por excelencia es el helio, cuya temperatura de ebullición a presión atmosférica está en 4,2 grados por encima del cero absoluto, o sea, unos 270 grados centígrados bajo cero. Lamentablemente el helio es muy caro y su extracción muy dificultosa, lo que ha limitado el uso tecnológico de los superconductores. En las últimas décadas se descubrieron materiales que, enfriados a temperaturas como las del nitrógeno líquido, que ebulle a 200 grados bajo cero y se extrae del aire, son superconductores. Así y todo, mantener refrigerados cables y dispositivos a 200 grados bajo cero es una limitación importante, por lo que los científicos siguen buscando materiales que se vuelvan superconductores a temperaturas más y más altas. La esperanza es lograr un superconductor a temperatura ambiente.

Los intentos más 'exitosos' han llegado por el lado de las altas presiones. Si se somete un compuesto a presiones muy altas, aumentan las interacciones, por lo que la energía gana en importancia frente a la entropía y se logran fases exóticas como la superconductora a temperaturas relativamente altas. Las comillas en la palabra 'exitosos' se deben a que la tecnología para lograr esas presiones es por lo general aún más sofisticada que la necesaria para enfriar. De todas formas, estos

hallazgos despiertan un gran interés y abren una esperanza de estar en el buen camino para encontrar el material que revolucione la tecnología superconductora.

Cuando un compuesto superconductor pasa a la fase superconductora, su resistividad se anula. En los superconductores conocidos como de tipo I (en general, metales puros que se vuelven superconductores a temperaturas muy bajas, apenas unos pocos grados por encima del cero absoluto), el campo magnético es completamente expulsado del material, por lo que son diamagnéticos perfectos. Este fenómeno, conocido como efecto Meissner, implica que, si un superconductor está en un campo magnético, al transicionar, este es expulsado del material. Como esto cuesta una energía magnética adicional, cuanto mayor es el campo, más baja es la temperatura de transición.

Ranga Dias y colaboradores mostraron una abrupta caída de la resistencia, acompañada por una señal en la susceptibilidad magnética alterna. Cuanto mayor es el campo magnético aplicado, más baja es la temperatura de transición superconductora. Los autores adjudicaron el salto en la susceptibilidad al apantallamiento del campo magnético y resaltaron lo angosto de las transiciones resistivas (en menos de un grado las muestras aparentemente se vuelven completamente superconductoras), como indicativo de una extraordinaria homogeneidad.

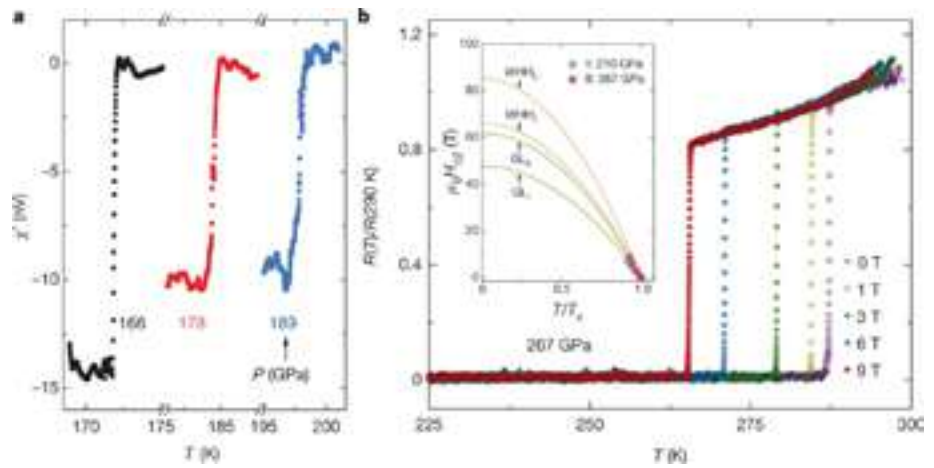
En la figura se reproducen los datos mostrados en el trabajo de Ranga Dias y colaboradores, tal cual aparecen actualmente en el artículo retractado de *Nature*. En (a) se observa el salto en la susceptibilidad alterna para tres valores de campo, mientras que en (b) se muestran transiciones resistivas a varios campos. Los autores asocian esta dependencia a la relación entre el campo crítico superconductor y la temperatura crítica Tc, y comparan sus datos con modelos conocidos.

Ahora bien, es importante señalar que estos compuestos no son de tipo I, sino de tipo II. En los superconductores de tipo II (aleaciones, óxidos y la mayoría de los superconductores no convencionales), el campo magnético no es completamente expulsado, sino que penetra parcialmente en el material en forma de tubos que llevan exactamente un cuanto de flujo magnético, y se conocen como 'vórtices'. Cada vórtice está localizado en una región nanométrica (un radio mucho menor que una milésima de milímetro), por lo que el arreglo de vórtices solo puede verse con técnicas sofisticadas. Sin embargo, con medidas eléctricas o magnéticas se pueden detectar sus efectos: por ejemplo, los materiales dejan de ser diamagnéticos perfectos. Además, si logramos mover los vórtices con corrientes, van a disipar energía. Esto hace que la transición resistiva en los superconductores de tipo II en presencia de campo magnético no sea abrupta, sino que se vuelve más ancha cuanto mayor es el campo magnético aplicado. Los autores del artículo hacen un cálculo a través del cual muestran que, si bien el material que sintetizaron sería de tipo II, podría estar muy cerca de un tipo I y, por lo tanto, tener un comportamiento similar.

El físico argentino Jorge Hirsch y su colega Frank Marsiglio publicaron una crítica en la misma revista en la que mostraron que el cálculo presentado en el artículo original era erróneo y que, por lo tanto, los compuestos deberían tener un comportamiento característico de superconductores de tipo II. Además, argumentaron que lo angosto de las transiciones es inusual y que el hecho de que no se observe ensanchamiento bajo campos magnéticos de esa magnitud es incompatible con lo esperado físicamente. Argumentan que la abrupta caída en la resistencia podría deberse simplemente a la formación de caminos metálicos percolativos (esto es, que atraviesen la muestra de lado a lado). Para respaldar su argumento, compararon el ensanchamiento de la transición resistiva en otros materiales con lo reportado en el estudio.

Otra crítica que se ha planteado al artículo es que el procedimiento utilizado por los autores para restar el ruido no fue lo suficientemente claro, lo que podría dar lugar a cuestionamientos adicionales sobre los resultados obtenidos.

La explicación propuesta por Jorge Hirsch y Frank Marsiglio para explicar el salto abrupto en la resistencia es plausible, y también consistente con la



Datos mostrados en el trabajo de Ranga Dias y colaboradores, tal cual aparecen actualmente en el artículo retractado de *Nature*. En (a) se observa el salto en la susceptibilidad alterna χ para tres valores de campo, mientras que en (b) se muestran transiciones resistivas a varios campos. Los autores asocian esta dependencia a la relación entre el campo crítico superconductor y la temperatura T, y comparan sus datos con modelos conocidos.

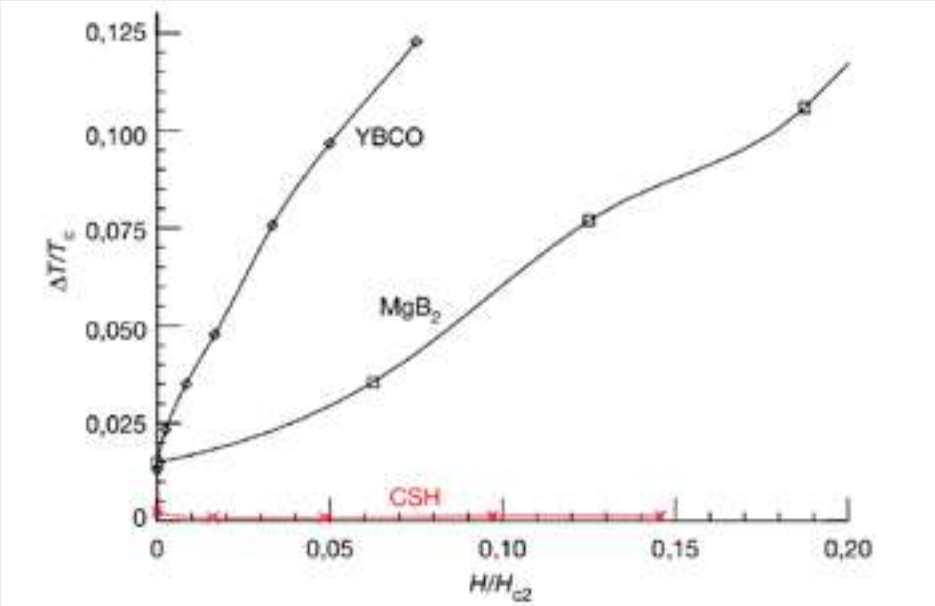


Figura publicada por Jorge Hirsch y Frank Marsiglio, donde comparan el ensanchamiento relativo de la transición resistiva en dos superconductores típicos tipo II (puntos negros) con el informado en el artículo cuestionado (datos en rojo).

señal observada en la susceptibilidad alterna, que en ese caso estaría asociada al apantallamiento del campo alterno por corrientes superficiales inducidas en el conductor. Por otro lado, es cierto que la dependencia de la transición con el campo magnético aplicado es un punto que hasta el momento no tiene una explicación alternativa, y es un argumento a favor de la hipótesis original de que se ha observado superconductividad en estas muestras.

Tan candente es el debate en la comunidad, que en la reunión de 2023 del March Meeting (una conferencia anual que reúne a miles de físicos), los agentes de seguridad tuvieron que intervenir para evitar que siguiera entrando público a la charla de Ranga Dias 15 minutos antes de que empezara. En esa conferencia se anunciaron nuevos experimentos, cuyos resultados respaldarían el hallazgo de superconductividad a temperatura ambiente, que fueron publicados en *Nature* ¡esa misma semana! El final de la historia está abierto. CH

Gabriela Pasquini
pasquini@df.uba.ar

Más información en el artículo retractado: **SNIDE E, DASENBROCK-GAMMON N, MCBRIDE R, DEBESSAI M, VINDANA H, VENCATASAMY K, LAWLER KV, SALAMAT A & DIAS RP**, 2020, 'Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride', *Nature*, 586, 373. Artículo que lo cuestionó: **HIRSCH JE & MARSIGLIO F**, 2021, 'Unusual width of the superconducting transition in a hydride', *Nature*, 596, E9. **WOOD C & SAVITSKY Z**, 2023, Room-Temperature Superconductor Discovery Meets With Resistance, *Quanta magazine*, *www.quantamagazine.org/room-temperature-superconductor-discovery-meets-with-resistance-20230308/*

MELANINA

En aves rapaces es común que juveniles y adultos tengan plumajes diferentes. En el caso del gavilán mixto, el adulto es 'negruzco, con tapadas y piernas rufas' y el juvenil 'ocre, estriado' (según las descripciones de nuestro propio amigo Tito Narosky en su libro de identificación de aves argentinas). La melanina es el pigmento oscuro que tiñe las plumas de negro.

Irene Negri
irenitanegrix@gmail.com

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Convenio entre el CONICET y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España

Convenio entre el CONICET y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Foto: gentileza CSIC.

Con el fin de mejorar la cooperación científica entre las partes, realizar proyectos conjuntos de investigación, fomentar la participación de jóvenes investigadores/as, intercambiar información, transferir tecnología y facilitar el uso de métodos, infraestructuras y equipos. Luego, Franchi participó de un encuentro con integrantes de la Red RAICES en España.

En un acto celebrado en el edificio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España en Madrid, la presidenta del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ana Franchi, firmó un convenio con la presidenta del CSIC, Eloísa del Pino con el fin de establecer las modalidades y las condiciones consensuadas para el programa de cooperación bilateral. En el acuerdo están previstos realizar proyectos conjuntos de investigación, fomentar la participación de jóvenes investigadores/as y facilitar el uso de métodos, infraestructuras y equipos. También se podrán desarrollar otras actividades de cooperación, como las destinadas al intercambio de información y la transferencia de tecnología, el trabajo en red y el fomento de la excelencia, entre otras. Anteriormente, Franchi recorrió el Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL, CSIC-UAM) y el Centro Nacional de Biotecnología (CNB) del CSIC. Luego, la titular del CONICET mantuvo una reunión con integrantes de la Red Raíces en España.

Sobre el acuerdo con la mayor institución pública de España dedicada a la investigación científica y técnica y una de las más destacadas del Espacio Europeo de Investigación, la presidenta del CONICET, Ana Franchi, expresó: "Este convenio con el CSIC enriquece los intercambios académicos y trabajos en conjunto en ciencia y tecnología. De esta manera, el propósito fundamental es mantener activa la vinculación de los diversos grupos de investigación en temas de interés común".

El acuerdo tendrá una vigencia de cinco años, prorrogable de mutuo acuerdo por cinco años más. El CONICET y el CSIC aprobarán hasta cinco proyectos conjuntos de investigación, cada uno de ellos de dos años de duración, en cada convocatoria.

El acto contó con la presencia del embajador de Argentina en España, Ricardo Alfonsín, la responsable de la Oficina de Cooperación Internacional del CONICET, Eugenia Tola y la diplomática de la Embajada, Melipal Esteban.

Programa RAICES en España

Uno de los roles de las Redes es la colaboración en la construcción de la política nacional de ciencia y tecnología a través de su participación en la formulación del Plan Nacional CTI 2030. De esta manera, el habitual Ciclo de Encuentros Interredes permite que estas Redes se reúnan en función de temas de interés común y transversal para proponer acciones de cooperación bilateral e identificar oportunidades de formación y desarrollo para científicos/as argentinos/as.

En este marco, la presidenta del Consejo, Ana Franchi, mantuvo un encuentro con investigadores e investigadoras integrantes de la Red RAICES de España en la que se informó de nuevas convocatorias y acciones para beneficio de científicos/as en el exterior. "La Red tiene un papel fundamental y colaborativo desde sus respectivas disciplinas para con la ciencia Argentina. Por esta razón, estamos estableciendo vínculos con organismos de ciencia en España y activando acciones que fortalezcan el trabajo en ciencia y tecnología, por ejemplo con nuevas convocatorias desde el CONICET y el MINCYT de manera continua para el crecimiento científico en conjunto".

La Red de España cuenta con más de 30 miembros que desarrollan sus actividades en diversas disciplinas de investigación: ciencias (matemáticas, física, química, etc), ciencias de la salud, ingeniería y arquitectura, ciencias sociales y jurídicas así como artes y humanidades.

Participaron del encuentro, el embajador de Argentina en España, Ricardo Alfonsín, la responsable de la Oficina de Cooperación Internacional del CONICET, Eugenia Tola, la diplomática de la Embajada, Melipal Esteban, la coordinadora de la Red en España, Ángeles Moliné, investigadores e investigadoras de la Red de España y estuvo presente de manera virtual, la coordinadora del Programa RAICES en el MINCyT, Carolina Mera. ■

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Hallan en Patagonia un ornitorrinco que vivió en la "era de los dinosaurios"

Fue descubierto por un equipo de paleontólogos del CONICET en rocas de 70 millones de años ubicadas a pocos kilómetros de El Calafate.

Un equipo de paleontólogos del CONICET, junto con colegas del National Museum of Nature and Science de Tokyo, hallaron al sur de la Patagonia argentina restos de un pariente del actual ornitorrinco australiano (Ornithorhynchus anatinus). El descubrimiento del pequeño mamífero tuvo lugar en rocas cretácicas de 70 millones de años, correspondientes a la Formación Chorrillo, localizadas unos 30 kilómetros al sudeste de El Calafate (Provincia de Santa Cruz).

La nueva especie fue bautizada como Patagorhynchus pascuali y presentada hoy en la revista Communications Biology del grupo Nature. Se trata del primer pariente cercano del ornitorrinco que se conoce de la Era Mesozoica, también conocida como la "era de los dinosaurios", y el más antiguo del que se tenga registro hasta el momento.

La expedición en la que se hallaron los restos de Patagorhynchus fue codirigida por Fernando Novas, investigador del CONICET y jefe del del Laboratorio de Anatomía Comparada y Evolución de los Vertebrados (LACEV) del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACNBR, CONICET), y su colega Makoto Manabe, del National Museum of Nature and Science de Tokyo.

El responsable de hallazgo del fósil fue Nicolás Chimento, investigador del CONICET en el MACNBR en laboratorio dirigido por Novas, quien encontró sobre la superficie del terreno explorado un pequeño diente de cinco milímetros de diámetro. La forma compleja de la corona y las raíces permitieron determinar con facilidad que el diente pertenece a un pariente de los ornitorrincos actuales.

"Los dientes de los ornitorrincos actuales, así como los de un fósil que se encontró en Australia, se distinguen por tener dos estructuras con forma de 'V' corta. Así que cuando encontré el diente de Patagorhynchus y vi que tenía esa misma forma, que es única de estos animales, inmediatamente me pude dar cuenta que se trataba de un ornitorrinco", afirma Chimento.

Mamíferos primitivos

Los ornitorrincos son monotremas, un grupo de mamíferos que se caracterizan por poseer rasgos muy primitivos, como el hecho de que sus crías nacen de huevos que son incubados de manera similar a como lo hacen las aves. Esta conducta reproductiva los diferencia de la enorme mayoría de los mamíferos vivientes, que dan a luz a sus crías directamente del útero materno. Por esta razón, el linaje de estos animales primitivos atrajo siempre el interés de los investigadores, dado que representan algo así como "eslabones perdidos" de una etapa muy antigua. Patagorhynchus es el primer monotrema del Cretácico Tardío (último período de la Era Mesozoica) que se conoce para América del Sur.

De acuerdo con los investigadores que participaron del descubrimiento, el hallazgo de restos de un antepasado del ornitorrinco australiano en el sur argentino pone de relieve la importancia que el territorio austral de América tuvo en la evolución de los mamíferos.

"Siempre se pensó que estos linajes primitivos de mamíferos eran restrictivos de Australia. En la década del '90 apareció en Patagonia un pariente del ornitorrinco de la Era Cenozoica y se consideró que debía corresponder a una migración posterior y que no cuestionaba el hecho de que todos estos grupos habían evolucionado

Probable aspecto en vida del *Patagorhynchus pascuali*. Ilustración de Santiago Miner (LACEV).

en el continente australiano. El presente descubrimiento demuestra que los parientes de los ornitorrincos ya habitaban América del Sur mucho antes de lo que se creía y que el grupo tuvo una larga historia evolutiva en nuestro continente, y en la Patagonia en particular, de la que todavía nos queda mucho por descubrir", señala Federico Agnolín, investigador del CONICET en el MACNBR y en la Fundación de Historia Natural Félix de Azara y uno de los autores del trabajo. Agnolín se encontraba buscando fósiles junto a Chimento cuando ocurrió el descubrimiento.

De acuerdo con los paleontólogos, el hallazgo del Patagorhynchus apoya la hipótesis de que a fines del Cretácico una misma fauna integrada por mamíferos y dinosaurios se extendía desde el sur de la Patagonia hasta Australia, incluyendo también a la Antártida, que en ese momento se encontraba encastrada entre ambos continentes. Hace 70 millones de años, el sur de la Patagonia y Australia eran territorios con climas que iban de templados a fríos, que daban albergue a bosques frondosos de ambientes húmedos.

Figuritas difíciles

En el mismo yacimiento del Cretácico Tardío, el equipo de paleontólogos ya había descubierto otros pequeños mamíferos de linajes extintos, como el Magallanodon, un herbívoro del tamaño de una nutria.

"Debido a su pequeño tamaño y escasez, los fósiles de mamíferos que vivieron con los dinosaurios constituyen `figuritas difíciles` y es por eso que cada fósil que hallamos de estos animales nos llena de alegría", comenta Chimento.

Un rasgo característico del ornitorrinco es la presencia de un hocico ancho y blando, que representa un derivado evolutivo de la nariz carnosa y húmeda que poseen otros mamíferos (como los perros, por ejemplo). Este hocico o nariz hipertrofiada, expandida hacia afuera y hacia atrás, constituye un órgano electroreceptor y mecanoreceptor muy sensible, con el cual los ornitorrincos detectan larvas de insectos y caracoles acuáticos que les sirven de alimento.

"Coincidentemente, en las mismas rocas de la Formación Chorrilo que encontramos a Patagorhynchus, hemos descubierto restos de los organismos con los cuales se alimenta el ornitorrinco actual, lo que nos permite reconstruir el ecosistema de los lagos prehistóricos de fines de la era de los dinosaurios", afirma Fernando Novas, último autor del artículo publicado en Communications Biology.

"El grupo llevó adelante un excelente trabajo, identificando no solo los caracteres que permitían referir el dientito como pariente de los ornitorrincos vivientes, sino reconocer rasgos que pertenecen a una especie extinguida", agrega Novas.

El nombre Patagorhynchus significa "hocico de la Patagonia" en latín, en alusión al hocico aplanado, semejante al de un pato, que tienen los ornitorrincos vivientes y fósiles, mientras que la palabra "pascuali" hace honor al gran paleontólogo argentino Rosendo Pascual, quien fue el primero en encontrar restos de ornitorrincos en Patagonia, aunque en yacimientos de menor antigüedad. ■

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Especialistas del CONICET buscan "corregir" una proteína asociada a una grave enfermedad genética

Sus estudios sientan bases para explorar estrategias terapéuticas para la ataxia de Friedreich, un trastorno degenerativo cuyo principal síntoma es la dificultad para coordinar los movimientos.

En estudios in vitro, especialistas del CONICET dieron un paso adelante en la búsqueda de estrategias que podrían servir para "corregir" proteínas que por ser defectuosas causan la ataxia de Friedreich. Se trata de una enfermedad genética para la cual todavía no hay cura, pero sí medicamentos que se usan de forma paliativa y que se caracteriza por el daño progresivo del sistema nervioso, una cardiomiopatía hipertrófica y otros síntomas. Los resultados de la investigación se publicaron en Biotechnology and bioengineering.

"Este trabajo fue una primera prueba de concepto con respecto a una idea que estamos manejando en el laboratorio que es que se pueden estabilizar proteínas defectuosas de la ataxia de Friedreich para que recuperen sus formas funcionales en el ambiente celular y en el contexto de complejos multiproteicos. Es que las proteínas no 'viven' solas sus vidas, sino que forman complejos entre varias", indica Javier Santos,director del estudio e investigador del CONICET en el Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3) dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

Los autores y autoras del estudio emplearon un sistema llamado "Ribosome display" que permitió seleccionar de un universo enorme de proteínas aquellas con mayor afinidad para unirse a frataxinas que son las proteínas que causan la ataxia de Friedreich cuando son defectuosas.

En estudios in vitro (dentro de células humanas en cultivo), el equipo de investigación comprobó que una proteína, llamada Affi_224, tenía capacidad para unirse a frataxinas y modular hasta cierto punto su estabilidad, movilidad interna y su función. "Si bien esta proteína no logró estabilizar a las frataxinas como hubiéramos querido, alcanzó para comprobar la prueba de concepto, es decir, nos in-

dica que esta metodología podría servir para identificar moléculas terapéuticas con mayor afinidad".

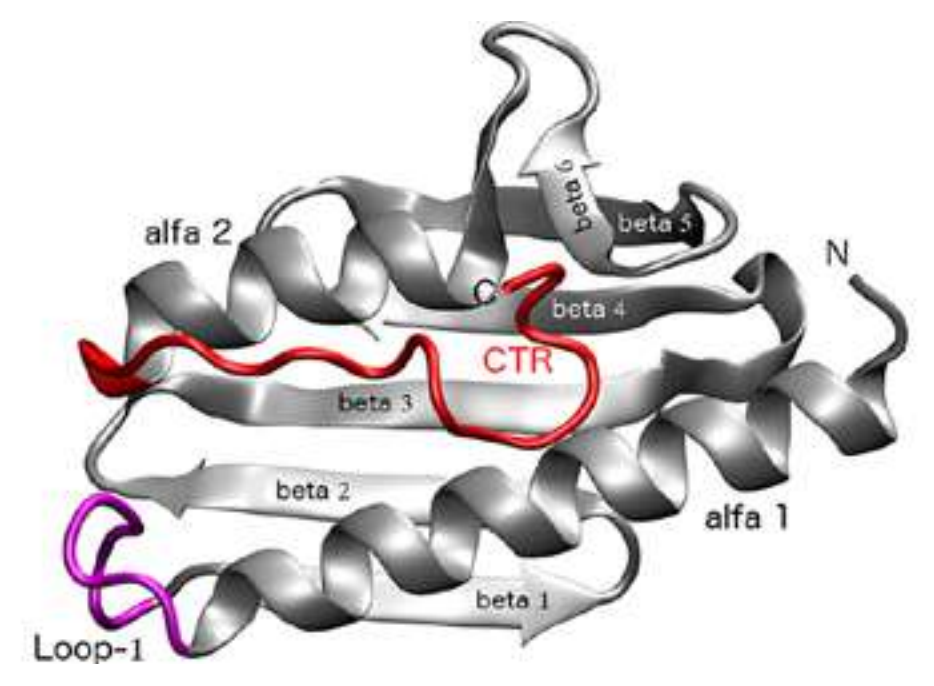
"Por otra parte pudimos demostrar que Affi_224 no afecta las actividades de enzimas o proteínas que están asociadas al metabolismo mitocondrial. Esto es muy importante porque en la ataxia de Friedreich se registran alteraciones en las mitocondrias que son las fábricas de energía de las células y en este sentido la idea es identificar moléculas terapéuticas que no interfieran con ese proceso clave para la vida", indica María Florencia Pignataro, becaria postdoctoral de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i) en el grupo de Santos y primera autora del trabajo.

"Nuestra idea es usar este tipo de estrategia para estabilizar variantes defectuosas (patogénicas) de proteínas que aparecen no solo en ataxia de Friedreich sino también en otras enfermedades poco frecuentes. Si bien el delivery de estas proteínas es complejo, es posible pensar en estrategias que involucren 'variantes Troyanas' que son proteínas con secuencias especiales que les permiten atravesar membranas celulares", afirma Santos.

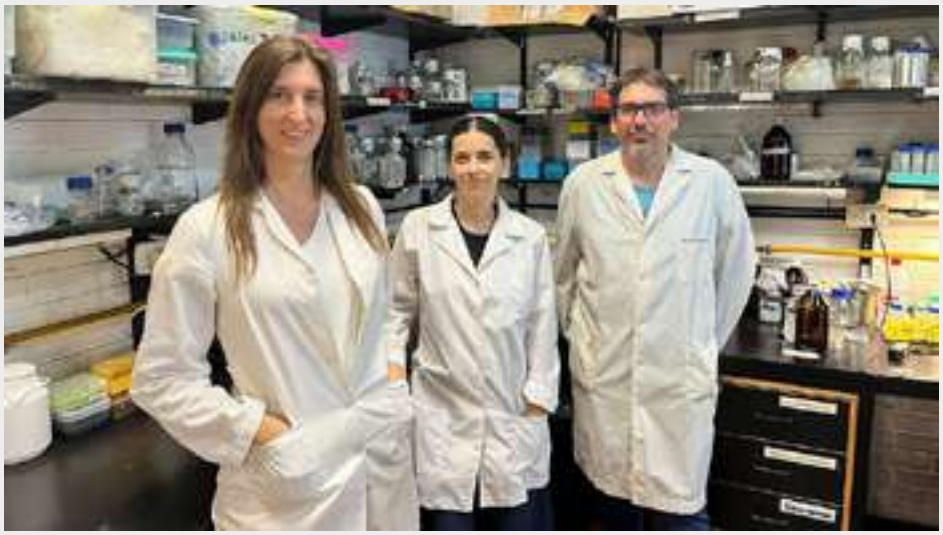
El laboratorio de Santos también está centrado en otra prueba de concepto basada en nanoanticuerpos. "Estas moléculas son pequeñas y muy poco o nada inmunogénicas, y muy, pero muy estables. Creemos que podemos ingenierizarlas para volverlas muy afines a las frataxinas defectuosas con el propósito de corregir su función. También estamos trabajando en esta línea de investigación", señala Santos.

Los laboratorios de Santos y de Itatí Ibañez, investigadora del CONICET en el Instituto de Química, Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE-UBA-CONICET), ya seleccionaron y están caracterizando una veintena de nanoanticuerpos.

Del trabajo también participaron María Georgina Herrera y Natalia Brenda Fernández, del CONICET y del iB3; Hernán Gustavo Gentili, del iB3; Martín Aran, del Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Buenos Aires (IIBBA, CONICET-Fundación Instituto Leloir), y Fernando Battaglini, del INQUIMAE. ■



La proteína frataxina está asociada a la ataxia de Friedreich, un trastorno degenerativo cuyo principal síntoma es la dificultad para coordinar los movimientos. Créditos: Gentiliza investigador



Natalia Brenda Fernández (izq.), María Florencia Pignataro y Javier Santos.

Nilda Guglielmi
Conicet. Academia Nacional de la Historia

En torno a bestiarios

Cuando el hombre de la Edad Media se pregunta qué es la naturaleza, tiene los ojos velados por antiguas imágenes y contra ellas ha de luchar para lograr un claro conocimiento del microcosmos –él mismo– y del macrocosmos, el mundo que lo rodea. Fue una larga búsqueda. Y los caminos, muchos. Viajó por rutas difíciles y experimentó en probetas de alquimista. La evidencia no siempre bastó. Nos encontramos así con humanidades extrañas y faunas peculiares. Las vemos aparecer tanto en las obras de quienes refunden, transcriben o traducen las *imagines mundi* como en las del viajero que se aventura por caminos desconocidos. La lista de esos monstruos se repite en ellas y fija un repertorio que pierde lo asombroso en la repetición. Unas veces son seres en quienes se mezclan rasgos animales y humanos; otras, en cambio, gentes a las que se concede peculiaridad física y, a veces, fisiológica, una deformación o la ausencia de un miembro.

Herencia del mundo antiguo, son ya lugar común en los recopiladores de nociones geográficas, quienes, en sus gabinetes, dan por cierta la existencia de tan extraña humanidad. Pero nos asombra que los viajeros –en quienes la comprobación hubiera debido imponerse a la tradición– repitan esas peregrinas nociones. El veneciano Marco Polo, por ejemplo, recogió conocidas imágenes, justificadas por su ignorancia y su credulidad en lo maravilloso, lo extraordinario, lo fantástico, que puede darse espontáneamente o que se produce por artes mágicas. ¿Acaso no habla una y otra vez de la excelencia de los encantadores y astrólogos de las lejanas tierras que visita? Sus artes son diabólicas, pero no por ello menos eficaces. Hay una realidad mágica, como tal inasible en sus leyes, en su orden interno. El mundo real convive con un mundo ficticio, que llega a ser no menos real que él. El hombre medieval cree en la ficción y esa creencia es la que da a lo ficticio una realidad irrenunciable. La idea de la realidad del hombre medieval se convierte en una realidad en absoluto. Las cosas o los seres surgen de su imaginación, de su miedo o de su esperanza, y luego se le imponen, al tomar un contorno y un perfil. La creencia en la realidad de todo ese mundo que lo asombra, lo azora o lo espanta permite una persistencia que luego se hace empe-

¿DE QUÉ SE TRATA?

El artículo refleja cómo la iconografía animal que aparece en los bestiarios (los libros de las bestias) medievales se expresa en la obra de los tallistas que decoraron iglesias románicas (en este caso Saint Pierre d'Aulnay, Francia).

cinamiento. Existencia a veces violenta, en ocasiones agresiva, de un mundo que al definirse solo por sus rasgos exteriores, al no poder ser completamente penetrado, se niega a ser captado, lo que, en su caso, valdría tanto como destruirlo. El enigma resuelto equivale a la muerte de la esfinge.

Figura 1. Esquema del asno con cítara en una arquivoltas de Aulnay.

Figura 2. Leona desarticulada de uno de los capiteles de Pathenay, Francia.

Figura 3. Formas enfrentadas en Aulnay.

Pero esa humanidad, bestializada a veces, no está sola. La rodea, la acompaña una fauna tan asombrosa como la misma humanidad. En las páginas del viajero veneciano aparecen algunos ejemplares del profuso repertorio que encontramos en las *imagines mundi*. Los unicornios son los más frecuentemente mencionados. Unicornios que van perdiendo su legendaria gentileza para dejar ver su fealdad de rinocerontes. Pero si en las páginas de *Il milione* la realidad de hecho a veces desaloja a la realidad imaginada, esta en cambio campea más frecuentemente en las páginas de las apócrifas geografías ofreciéndonos una suma extraordinaria de animales fabulosos.

Bestiario y tradición

Esa fauna tan peculiar, nos preguntamos, ¿solo sorprendía al lector de esas obras o se encontraba también en otros lugares? Recorrer las iglesias románicas como, por ejemplo, las poitevinas, es saber que ese bestiario también imponía su presencia desde un friso, una arquivolta, un capitel. ¿Cuál era su origen? ¿Cuál su sentido último? Interesaría saber cómo se entablaba el diálogo entre el artesano y el transeúnte, puesto que esa síntesis nos daría la tónica de su tiempo. Esculpir, representar, y aceptar y admirar, constituyen una misma actitud.

No hay duda de que en el surgir de ese bestiario de piedra la tradición de la antigüedad –literaria y escultórica– representó un aporte fundamental. El asno que toca la cítara en una de las arquivoltas de Aulnay tiene un claro antecedente en el asno citarista de Ur (figura 1). Las leonas desarticuladas (figura 2) –las patas posteriores invertidas– que nos asombran en uno de los capiteles de Pathenay se relacionan, evidentemente, con la figura del león vencido por Gilgamesh, el héroe mesopotámico. Las figuras enfrentadas de Aulnay (figura 3) preludian un enlace que lleva, como lógica consecuencia, a la 'trenza', procedimiento estilístico profusamente utilizado en los bajorrelieves de Nínive. En general, el arte mesopotámico abunda en figuras que se acercan y que luego terminan por unirse en forma axial. El románico europeo no es menos generoso en esos motivos. Todo ese bestiario románico reconoce, pues, sus antecedentes –temáticos y estilísticos– en otra piedra esculpida muchos siglos atrás. Pero no solo existen antecedentes escultóricos sino también literarios. Así reaparecen los viejos monstruos de las geografías medievales que repiten antiguas nociones. Sirenas peces (figura 4), unicornios (figura 5), centauros (figura 6), esfinges (figura 7), sirenas pájaros (figura 8).

Izquierda, figura 4. Sirenas peces. La de la izquierda se encuentra en Pathenay. La de la derecha es de la iglesia de Mandé-sur-Brédoire.

Derecha, figura 5. Unicornio de Aulnay.

Figura 6. Centauro en Aulnay.

Figura 7. A la izquierda, un capitel de la iglesia de San Pedro, en Chauvigny, Francia; a la derecha, una esfinge de Aulnay.

Figura 8. Sirenas pájaros. A la izquierda, capitel de la iglesia de San Pedro, en Chauvigny. A la derecha, esquema de una figura del capitel de la iglesia de Novoillé-sur-Boutonne.

Figura 9. Monstruo en un capitel de Aulnay.

Variaciones estilísticas

¿Ha surgido, pues, ese bestiario de una larga tradición? Porque hay variadas combinaciones que escapan al repertorio tradicional y nos llevan a pensar en otras posibilidades. Variaciones estilísticas determinadas por la ubicación de las figuras en un marco dado, por la necesidad de huir de una monotonía temática. El monstruo que se come las manos en un capitel de Aulnay (figura 9) puede encontrar justificación para su contorsionada figura en el marco en que está inscripto. Es evidente que el breve espacio de un capitel, sus combas, la necesidad de agrupar personajes, deforman brazos y piernas, alargan, retraen, empequeñecen miembros. Pero ello no logra explicar todo ese universo monstruoso. ¿Podremos llegar a la conclusión de que ese bestiario esculpido es producto casual de un procedimiento de rompecabezas, es decir, la reunión azarosa de los elementos pertenecientes a diversas figuras para formar otra? Aun aceptando esos procedimientos, nos parecen insuficientes para explicar la génesis de esa riquísima serie de imágenes. ¿Hemos de ver en ellas una voluntaria deformación que trata de expresar una concepción más profunda? Nos preguntamos esto al considerar otros de los temas que encontramos en capiteles y arquivoltas románicos.

Sea, por ejemplo, en Aulnay, ese riquísimo bestiario esculpido en la arquivolta exterior y primera de las tres que rodean la puerta del transepto. La arquivolta central representa a los viejos del Apocalipsis y la tercera, a personajes nimbados, presumiblemente santos. Si atribuimos una unidad al conjunto, pueden considerarse esas tres arquivoltas como tres momentos escalonados, momentos que no tienen siempre precisión temporal. El pecado que envuelve al hombre, bestializándolo a veces, enfrentándolo con monstruos temibles otras, estaría representado en la primera arquivolta. La segunda implicaría la presencia de ese terrible llamado final, y la tercera, la gracia santificadora que redimiría los efectos del pecado y alejaría los peligros del segundo.

Hemos de pensar, además, en la frecuencia con que las iglesias poitevinas presentan la figura de los ancianos apocalípticos. Son iglesias, es verdad, posteriores a los terrores del milenarismo. Pero ¿acaso dejó de resonar tan pronto el llamado a la penitencia? Otros temas frecuentes despiertan, no menos que este, ideas de castigo. Aun cuando se trate de un castigo que, a veces, pareciera menos ecuménico, no por ello es menos impresionante: San Miguel pesando las almas o animales monstruosos que arrebatan o devoran individuos (figuras 10-12). Todas son formas epifánicas del mal. El demonio que logra su presa. ¿Debemos llegar a la conclusión de que hay una lección admonitora, de que la escultura acompaña a sermones de temores milenaristas? ¿Temores milenaristas, tanto vale decir, de la época, presentes y vividos por el hombre contemporáneo a la construcción de las iglesias, o un terror heredado y ancestral, mucho menos carne y sangre y mucha más tradición literaria?

Se nos plantea esta cuestión porque la concepción de pecado y de su inherente castigo que encierra el bestiario tiene también larga tradición. Las sirenas –pájaros o peces– ya eran representaciones malignas y perturbadoras en la literatura grecolatina, luego de que su iconografía hubo ingresado en el Mediterráneo desde Oriente. Según tradición medieval, serían las mujeres de los ángeles caídos, en todo caso imagen de lujuria. ¿Tendremos que insistir en la carga, misteriosa y maléfica, que emana de las esfinges de origen oriental –egipcio, babilónico y sasánida– y luego adaptadas al mundo clásico y uno de cuyos ejemplares encontramos en Aulnay? Nos inclinaríamos a conceder validez a esta interpretación si no nos desconcertaran algunas figuras a las que nos parece no poder concederse ese significado. En la arquivolta de Aulnay encontramos una escena singular: un asno que, revestido de una casulla, lee, como oficiante, en el libro que le tiende otro asno (figura 13). Nos parece ver

Figura 10. San Miguel pesa las almas. Detalle de uno de los capiteles de Chauvigny.

Figura 11. En el centro, monstruo que apresa a una mujer. Chauvigny.

Figura 12. Monstruo que devora a una mujer. Chauvigny.

en la imagen una carga de ironía manifiesta. No podemos concebirla como el simple resultado de una azarosa combinación de formas ni como expresión de la simbología clásica. ¿Qué representa la figura que, vestida con un traje que la asemeja a un hombre rana actual, se contorsiona frente a una figura simiesca? (figura 14).

Figura 13. Asno oficiante frente a un asno con libro.

Figura 14. Figura simiesca frente a otra antropomórfica.

Simbología y realidad

Si nos limitamos a la simbología tradicional, el asno sacerdote puede representar la estulticia, la obstinación, también la lubricidad. El mono, con quien se enfrenta el hombre rana, es, en general, la imagen del diablo y, más particularmente, de la lujuria y la vanidad. Lo complejo de una y otra composición nos inclina a creer que puede haber allí algo diferente a esa simbología. Para contestar definitivamente tendríamos que saber quién fue el hombre que se planteó la tarea de decorar una iglesia románica. Aun cuando nos resulte tan difícil dar contorno a la figura de ese casi artesano por el anonimato que cubría en general su obra, no es demasiado osado suponerlo ajeno al aspecto gnoseológico de su experiencia estética. Lo suponemos alejado del pensamiento filosófico que consideraba la belleza como reflejo divino. Su obra fue, en gran parte, expresión.

En la figura del asno sacerdote encontramos –más allá de la tradición y aun contando con ella, más allá de la simbología clásica y cristiana– el espíritu irónico o satírico del tallista que supo no solo expresar su miedo –miedo de todos– en un bestiario cargado de muchos contenidos, sino también en una pirueta inesperada, zaherir, mofarse de un clero torpe o mediocre, estulto o lujurioso. En una palabra, fue hombre enraizado en su circunstancia y como tal dejó una obra válida para desentrañar su tiempo, su temor y su ironía. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BIANCIOTTO G (ed), 1980, *Bestiaires du Moyen Âge*, Stock, París.

DE FOURNIVAL R, 1999, *Il bestiario d'amore*, Mondadori, Milán.

GUGLIELMI N, 1971, *Fisiólogo: bestiario medieval*, Eudeba, Buenos Aires.

GUGLIELMI N, 2002, *Fisiólogo: bestiario medieval*, Eneida, Madrid.

NIZET AG, 1977, *Le bestiaire de Beauvais*, París.

SEBASTIÁN S, 1986, *El fisiólogo: el bestiario toscano*, Tuero, Madrid.

Nilda Guglielmi

Doctora en historia, UBA y Universite d'Aix en Provence, Francia.

Investigadora superior del Conicet.

Académica de número, Academia Nacional de la Historia.

Profesora titular de Historia Medieval, UBA.

gunil801@gmail.com

Nilda Guglielmi
Conicet. Academia Nacional de la Historia

Perros medievales

El desgarrado y agrio lenguaje de Marcial se transforma al cantar a Isa, la perrita de su amigo Publio. Quien sabe satirizar y expresar la crítica de manera tan agresiva y mordaz mientras encuentra para esta crítica palabras tan duras o soeces, se enternece en la pintura de Isa: 'Más pícara, más pura, más tierna, más estimable. Presencia constante, compañía discreta, pensarías que habla cuando se queja, comprende la tristeza y la alegría, se acuesta apoyada en su cuello, duerme de tal modo que no se oye su respiración; cuando le acucia una necesidad nunca humedece la colcha con la menor gota, sino que os despierta con una patita acariciadora, os ruega que la bajes del lecho y pide aliviarse'. Publio ha pintado su retrato para prolongar su deliciosa presencia más allá de la muerte.

Un epigrama dedicado a un animalito casi insignificante para el que Marcial encuentra los mejores adjetivos y en el que se trasluce una real ternura en la anécdota. La composición del romano nos llevó a preguntarnos cómo se sintió durante la Edad Media la presencia del perro. La iconografía y algunos textos literarios nos dieron la respuesta. Encontramos imágenes de perros reales, de perros símbolos. Los perros verdaderos y los simbólicos se nos aparecieron, numerosos, en las escenas medievales. Fue el compañero de caza del señor, el auxiliar del pastor, presencia frecuente en el salón noble o en las calles de la ciudad medieval, también fue el pequeño perro-adorno de la dama. Un perro símbolo acompaña a la pensativa figura de la melancolía de Durero. Magrísimo galgo enroscado que subraya la triste tónica del grabado.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La presencia del perro en diversas circunstancias de la vida medieval.

En otros casos, su simbología es imprecisa. Por ejemplo, en el extraño cuadro de Jan van Eyck *Muchacha conjurando con rito mágico para atraer al amante*. Allí vemos a una joven realizando un exorcismo en un interior flamenco, rodeada por filacterias que dan un movimiento particular a esta escena perturbadora. A sus pies, un perrito acurrucado sobre un almohadón. Hesitamos en atribuirle significación, pero el cuadro está tan cargado de esoterismo que pensamos en las capacidades particulares que la Edad Media concedió al perro. Entre otras, su posibilidad de ver lo que le está negado al hombre, la muerte o los fantasmas.

En otro cuadro de van Eyck, un perro aparentemente doméstico, e integrado en el interior familiar que presenta a los esposos Arnolfini, también evidencia una dimensión simbólica. Es posible que durante la Edad Media le fuera despojada algo de la carga agresiva que tan habitualmente encontramos en las representaciones de la Antigüedad. Vemos, incluso, un fuerte énfasis puesto en la fidelidad canina. De ahí la frecuencia con que encontramos perros a los pies de las estatuas yacentes, en las mesas, en los lechos, en las chimeneas como símbolo de fidelidad y devoción. De ahí también que aparezca en el cuadro que augura el feliz matrimonio Arnolfini.

En las *Tentaciones de San Antonio*, Hieronymus Bosch reunió una variedad de seres imaginarios que expresaban las torturas padecidas por el santo. Entre estos seres monstruosos, encontramos dos perritos con caparazones cuya apariencia tranquila y amable nos hace descreer de su naturaleza demoníaca. Algunos han subrayado su carácter simbólico por encontrarse en lugares insólitos. En el tríptico de los sacramentos de Roger van der Weyden, por ejemplo, encontramos a un galgo en la iglesia. De ordinario, un galgo blanco, con collar ornado, aparece en escenas cortesanas representando la vida noble y superior de su entorno. En el frontispicio de los *Estatutos de la Orden de San Luis* que Jean Fouquet presentó a Luis XI

El caballero, la muerte y el diablo. Alberto Durero.

Caza nocturna. Paolo Uccello.

–rodeado de los miembros de la Orden– aparecen, en primer término, dos perros blancos, uno de ellos el galgo habitual. En el cuadro de Gérard David *La justicia de Cambises* el perro blanco y adornado aparece hierático y solemne mientras que, poco más allá, un oscuro perro cotidiano, insólitamente, se espulga. Los perros que acompañan a los santos, aunque tuvieron en algún momento existencia real, pasaron a ser símbolos de sus patronos. El más evidente es el de San Roque. En el *Capellone degli Spagnoli* en Santa Maria Novella (Florencia), la ardorosa lucha llevada a cabo por los dominicos contra los enemigos de la fe se expresó en los perros negros y blancos que destrozan a los lobos. Eran los 'Domini-canes' (los perros del Señor).

El bestiario fantástico creó algunos raros ejemplares, como los perros de mar, que a sus caracteres normales, añaden escamas y aletas. La iconografía nos ofrece abundantes ejemplos de perros reales, cotidiana compañía del hombre medieval. La caza –ejercicio noble– comportaba la presencia de perros y halcones. La imagen-tipo podría ser la de San Eustaquio sorprendido en el bosque por el ciervo crucífero. Recordemos, entre los muchos testimonios, el cuadro de Pisanello: el caballero se asombra ante la aparición mientras la jauría que rodea su cabalgadura intuye al ser extraordinario o se distrae con las presencias del bosque. Paolo Ucello presenta, en *La caza*, a los galgos blancos que –libres de la traílla– se aguzan en la carrera proyectando la escena hacia una presentida presa. El tema de la caza fue tan reiterado en las representaciones como en la vida cotidiana. Las tapicerías lo tomaron con frecuencia desarrollándolo en series o *tentures*.

A veces, se acecha a animales que forman parte del paisaje habitual del bosque medieval, como ciervos, jabalíes o nutrias. Sobre ellos se lanzan los perros, concentrados alrededor del montero o acompañando en la agresión la lanza del cazador. En otras ocasiones la presa es un animal fantástico, como en la sucesión de tapices *La caza del unicornio* (Cloisters, Museo Metropolitano, Nueva York, siglo XV). Boticelli, por su parte, recogió el episodio de Nastagio degli Onesti: el caballero infernal lanza su caballo y azuza a sus perros contra la joven que es finalmente alcanzada y destrozada, en la reiteración de un episodio que comenzará y concluirá ininterrumpidamente. Los perros compañeros del caballero y símbolo de vida noble se cargan, en este caso, de connotaciones infernales.

Detalle del tapiz *El gusto*, de la serie de tapices *La dama y el unicornio* (1484-1500). www.commons.wikimedia.org

Durero asoció el perro con su señor en *El caballero acechado por la muerte y el diablo*. La acechanza cobra certidumbre en las amusgadas orejas del animal que trota melancólico. Una vez más, se ejemplifica la supuesta percepción extraordinaria del animal. Junto a los pastores, los perros estuvieron en la caza menor o en el cuidado de las ovejas. Aparecen en muchas escenas bíblicas. Nicolás Froment en *La zarza ardiente* (Aix-en-Provence, siglo XV) pintó a los guardianes de las ovejas con aspecto apacible. En el retiro de Joaquín entre los pastores (Giotto, Capella degli Scrovegni, Padua) el perrito adopta una actitud de reconocimiento que se enlaza con antecedentes homéricos, la vuelta de Odiseo a su hogar. En la bóveda de San Isidoro de León (siglo XII) vemos una escena que parecería inacostumbrada y que expresa una real compañía afectuosa: el pastor sostiene el plato en que come su perro. El tapiz *Colación de campesinos* (Museo del Louvre, siglo XV) presenta a los rústicos comiendo en un claro del bosque después de la expedición de caza en que han cobrado liebres. Los alimentos de los zurrones son compartidos por sus perros, quienes adoptan actitudes de cercanía y confianza: uno de ellos come su trozo sobre el regazo del amo, otro roe un hueso, apoyadas sus patas traseras sobre la falda de la campesina sentada.

El perro fue presencia constante en las calles de la ciudad medieval. Carpaccio los pintó en la llegada de los embajadores (*La leyenda de Santa Úrsula*). Un ejemplo muy particular es el que aparece en el oratorio de San Jorge (Altichiero, Padua, siglo XIV) acurrucado en un poyo lateral a las escaleras de la casa del juez. Geerten (siglo XVI) pintó un pequeño y gracioso perro de cola afeitada junto al sarcófago del que emerge Lázaro resucitado: ¿transeúnte casual o símbolo? En la calle encontramos otros que auxilian la profesión de sus amos. Un manuscrito del siglo XIV (Biblioteca Bodleian de Oxford) muestra un conjunto de músicos callejeros. El que ejecuta la zanfona –evidentemente ciego, puesto que el miniaturista no ha representado sus ojos– está acompañado por un perro que con una escudilla en la boca recoge la compensación de los espectadores. Bosch en *El prestidigitador y el ratero* (Museo de Saint Germain en Laye) también unió un perro al saltimbanqui.

La visión de San Eustaquio, Pisanello. www.commons.wikimedia.org

En casi todos los banquetes que la pintura testimonia aparecen los perros del señor en la sala, atendidos por pajes solícitos. De ordinario, galgos blancos con ricos collares. Hay otros menos solemnes en la compañía femenina o infantil: el perro-adorno o perro-juguete, animal de gineceo. En la visión de Santa Úrsula, Carpaccio (*La leyenda de Santa Úrsula*) representó a la santa dormida; en el suelo, a los pies de lecho, un perrito minúsculo. La joven amazona sorprendida por los cadáveres en *El triunfo de la muerte* (Camposanto, Pisa) lleva un animal pequeño recogido en su antebrazo; actitud frecuente para representar al falderito de la dama noble. Los amantes figurados en una repisa de la catedral de Lyon (siglo XIV) portan, él un halcón en el puño, ella un perrito en el brazo. En un manuscrito de la *Chanson de Manesse* (comienzos del siglo XIV), ilustrado por el maestro Johannes Hadlaub, el perrito está sobre las rodillas de la señora o en sus brazos. Pequeño y peludo es el que aparece en dos piezas de la tapicería *La dama del unicornio* (Museo de Cluny, París, siglo XV), sentado sobre la cola del suntuoso vestido de su ama o sobre rico almohadón.

Perro-adorno, perro-juguete, mimado como los de madame Eglantine, la abadesa de los cuentos de Geoffrey Chaucer, 'poseía perrillos a los que nutría con carne asada, leche y blanco pan, y lloraba con amargura si se le moría alguno o si alguien con una vara los maltrataba porque era toda ella conciencia y tierno corazón'. Chaucer ironiza sobre el animal frívolo, inútil, excesivamente cuidado y lamentado. En una poesía latina, Teodorico de Saint-Trond (siglo XII) niega que haya exceso. Llora la muerte de su perro, Pitulus. Y dice: '¿Quién es Pitulus? el amor y el dolor de su amo / no era un perro albano, no era un moloso / sino un perro exiguo, pequeño y cachorro', describe. 'La cara de color blanco estaba adornada con negros ojillos', y agrega: '¿Cuáles eran sus fuerzas? pequeñas, correspondientes a su cuerpo, disímiles a la fortaleza de su ánimo. ¿Cuál fue su servicio?, ¿fue útil o no? que, siendo pequeño, lo quisiera tanto su amo, este fue su servicio, preferir tanto a su señor; ¿cuál fue su utilidad? solo ser risueño'. Concluye: 'Así eras, querido perro, risueño doloroso, viviente eras risueño, ahora, muerto, eres dolor quien te vio, quien te conoció, te amó y se duele ahora de tu fin, ¡oh, mísero!'.

El llanto por Pitulus quiebra la pretendida inutilidad, desmiente la frivolidad del perro cercano, el exceso del amor. Afirma la magnitud de la compañía, la enormidad de su leve presencia, la profundidad del entendimiento. Teodorico de Saint Trond subraya la importante pequeñez: '¿Cuál fue su utilidad? solo ser risueño'. CH

LECTURAS SUGERIDAS

DELORT R, 1992, *Les animaux ont une histoire*, Seuil, París (especialmente 'Le chien', pp. 449-474).

FRUGONI C, 2022, *Vivre avec les animaux au Moyen Âge*, Belles Lettres, París.

PASTOUREAU M, 2010, *Animali celebri: mito e realtá*, Giunti, Milán.

Nilda Guglielmi

Doctora en historia, UBA y Université d'Aix en Provence, Francia.
Investigadora superior del Conicet.
Académica de número, Academia Nacional de la Historia.
Profesora titular de Historia Medieval, UBA.
gunil801@gmail.com

Adobestock.com

Marcelo J Villar, Cecilia I Catanesi y Pablo R Brumovsky
Grupo de Interés Especial en Investigación en Dolor
Asociación Argentina para el Estudio del Dolor
Red de Investigación Traslacional en Salud, Conicet

Investigación traslacional en dolor: 'Dándole sentido terapéutico a la ciencia básica biomédica'

Hace años que a 'Isabel' la ciática la tiene a mal traer. El dolor la despierta cada noche y le cuesta subirse al colectivo o caminar hasta el supermercado de la esquina. Pero lo que más la deprime es no poder agacharse a jugar con sus dos hermosos nietos, y compartir con ellos un momento divertido. 'Isabel' ya probó de todo. Las drogas que toma no la ayudan a sentirse mejor, y varias le caen mal, le dan acidez o la adormecen demasiado. Ni la kinesiología le ayuda… El dolor crónico ha hecho de su vida un calvario.

El problema del dolor

La historia de 'Isabel' retrata brevemente lo que sufren cientos de miles de personas en el mundo, y refleja el desafío que supone ofrecer una solución definitiva al problema del dolor. La Asociación Internacional para el Estudio del Dolor (International Association for the Study of Pain, IASP) define el dolor como 'una experiencia sensorial displacentera y emocional asociada, o aparentemente asociada, a un daño tisular real o potencial'. Así, el dolor es una experiencia exclusivamente personal que

¿DE QUÉ SE TRATA?

La investigación traslacional llevada al estudio del dolor será clave para entender la realidad humana de esta experiencia sensorial y para el desarrollo de nuevas aproximaciones terapéuticas que ayuden a neutralizar o sobrellevar el dolor y disminuir el sufrimiento que frecuentemente lo acompaña.

incluye la percepción consciente de un estímulo capaz de generar daño, que a su vez depende de componentes cognitivos y emocionales.

El dolor puede ser agudo o crónico. El dolor agudo tiene una función protectora y depende de la detección de estímulos dañinos por medio de neuronas aferentes primarias denominadas neuronas nociceptivas. De ahí el término 'dolor nociceptivo' para referirse al causado por estímulos agudos intensos. El rol protector del dolor nociceptivo, asociado con la experiencia displacentera y la angustia emocional, demanda una atención inmediata y una acción defensiva mediada por reflejos de huida o alejamiento del estímulo doloroso. El dolor crónico, en cambio, es de carácter patológico, maladaptativo y profundamente discapacitante. No representa ningún beneficio biológico, y está caracterizado por dolor espontáneo y exagerado tanto ante estímulos dolorosos (hiperalgesia) como inocuos (alodinia).

Además de ser una experiencia física, el carácter desagradable del dolor lo hace también una experiencia emocional. Las cuestiones afectivas ligadas al dolor incluyen una variedad de emociones, siempre negativas. Los pacientes con dolor crónico sufren un deterioro progresivo de su estado general de salud y calidad de vida, con afectación del sueño y la alimentación, perturbaciones de la memoria, ansiedad e incluso manifestaciones de enojo o depresión severa. Finalmente, un aspecto que agudiza más el problema es que, aun cuando el dolor crónico no mata al paciente, en todo caso no directamente, constituye una carga catastrófica para la sociedad. Se estima que al menos el 20% de la población mundial sufre de dolor crónico, y que solo en los Estados Unidos el gasto en salud, sumado a la consecuente menor productividad, tiene un impacto de entre 560 y 635 billones de dólares.

Nociones de mecanismos del dolor crónico en el siglo XXI

El problema del dolor crónico se asocia estrechamente con el concepto de plasticidad neuronal, una serie de profundos cambios físicos, químicos y neurofisiológicos ocurridos en neuronas del sistema nervioso periférico y central como consecuencia de lesiones de variado tipo e intensidad (figura 1). Esta neuroplasticidad conduce a fenómenos de sensibilización periférica y central, responsables de la cronificación del dolor.

De entre las distintas formas del dolor crónico, el de tipo neuropático, caracterizado por una lesión o enfermedad que directamente afecta las divisiones periférica o central del sistema nervioso, es particularmente desafiante. Por décadas, el análisis de los mecanismos involucrados en el desarrollo y mantenimiento del dolor neuropático estuvo enfocado en diversas disfunciones neuronales acaecidas luego de la lesión de base, que incluyen alteraciones de numerosas moléculas intracelulares que en conjunto llevan a un estado persistente de hiperexcitabilidad neuronal.

Sin embargo, hoy comenzamos a comprender que las causas del dolor neuropático no se restringen solo a cambios en la actividad neuronal periférica o central, sino que además involucran interacciones con las células de los sistemas glial (astrocitos y microglía) e inmune (por ejemplo, macrófagos y linfocitos T), e inclusive células madre mesenquimales. Estos tipos celulares no neuronales, antiguamente considerados de mero soporte o vigilancia inmune, participan activamente, en ocasiones de manera determinante, en los mecanismos fisiopatológicos desencadenados por la lesión de neuronas y axones, mediante la liberación de mediadores inflamatorios que modifican sustancialmente la función neuronal, derivando en alteraciones de la percepción del dolor. Este conocimiento creciente, además de su gran valor académico, comienza a evidenciar un potencial terapéutico enorme dado que la modulación de diferentes tipos de sistemas neuronales y no neuronales podría representar una solución tangible al problema del dolor.

Limitaciones terapéuticas actuales para el control del dolor

El dolor agudo resultante de un trauma o una cirugía puede tratarse con analgésicos convencionales administrados en tiempo y forma, incluyendo opioides y antiinflamatorios no esteroides, que disminuyen la inflamación y modulan la actividad de las neuronas nociceptivas de manera muy aceptable. Notoriamente, la mayoría de los nuevos analgésicos desarrollados a lo largo de las últimas cinco décadas se incluyen en estas dos categorías de fármacos. Sin embargo, a pesar de lo mucho que se ha avanzado en la comprensión de los mecanismos fisiopatológicos del dolor crónico y su ejemplo más paradigmático, el dolor neuropático, aún existe un alto número de pacientes que no responde a los tratamientos analgésicos disponibles. Esto se debe, en parte, a que ninguno de ellos es específico para la patología de base, como es el caso de la gabapentina, originalmente diseñada para el control de estados epilépticos. Peor aún, muchos de los fármacos en uso para combatir el dolor crónico, incluidos los opioides, causan importantes efectos colaterales adversos (daño gastrointestinal, sedación, alteraciones cardíacas, insomnio, ansiedad y visión borrosa, entre otros) que conducen al abandono terapéutico. Por ello, el tratamiento del dolor crónico y el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas son todavía temas pendientes que requieren una atención imperativa.

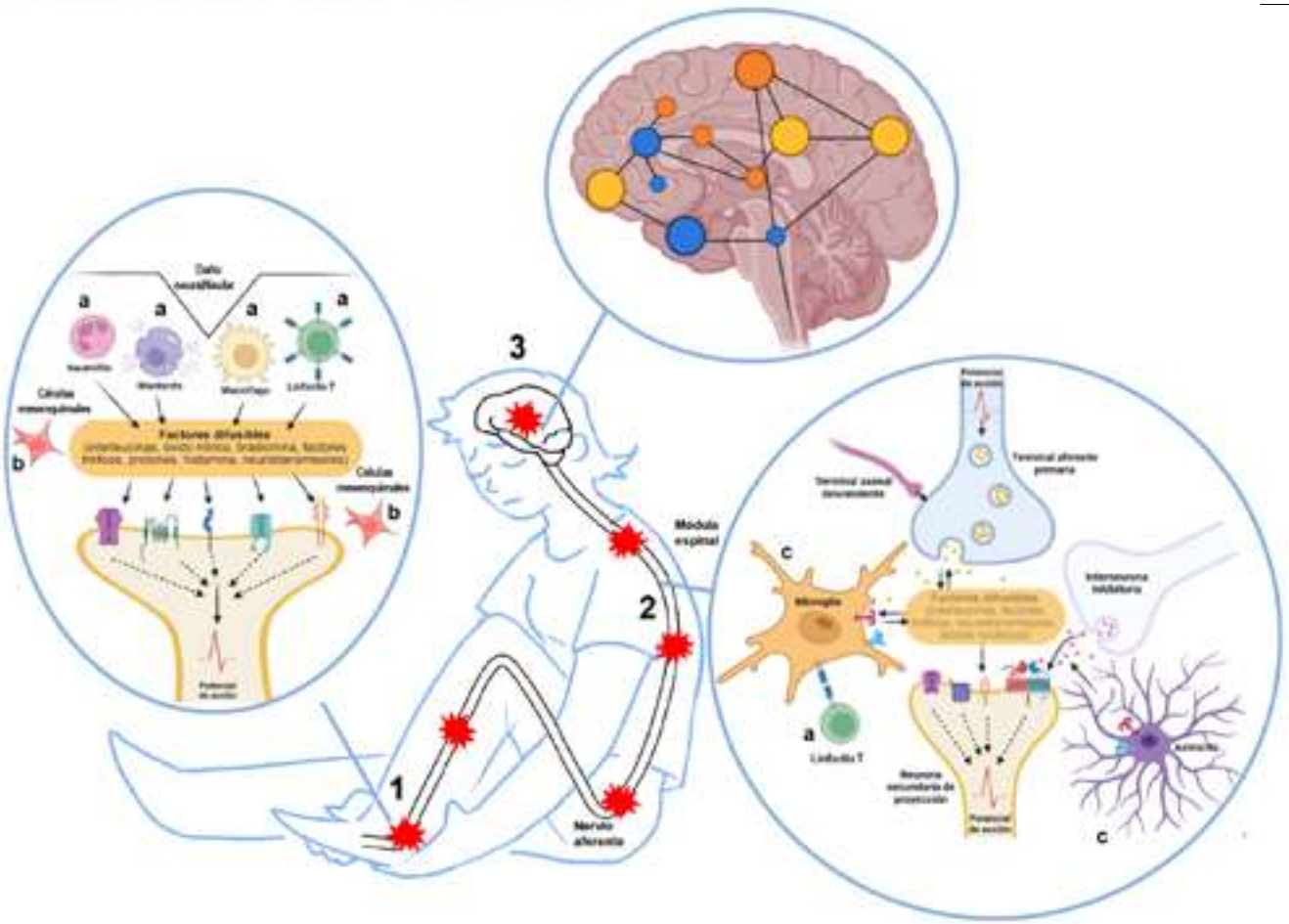


Figura 1. Vías del dolor, neuroplasticidad e interacción neuroinmune. El dolor se transmite a través de lo que se conoce como vías del dolor. Sintéticamente, ellas se componen de neuronas cuyas proyecciones periféricas son las siguientes: (1) detectan estímulos nocivos en los diferentes tejidos del cuerpo, para luego, mediante sus proyecciones centrales, comunicar esta información con distintos tipos neuronales ubicados en la médula espinal; (2) en todos los casos, la presencia de diferentes tipos de receptores de membrana plasmática hace posible este tipo de comunicación. Desde allí, la información es retransmitida a sitios superiores del sistema nervioso central, como lo son el tronco del encéfalo y varias estructuras subcorticales y corticales que componen en conjunto lo que se llama 'matriz del dolor', y (3) estas vías, esenciales para la transmisión normal de estímulos dolorosos, se encuentran sujetas a importantes cambios plásticos frente a la ocurrencia de lesiones periféricas o centrales. Estos cambios, de persistir en el tiempo, son parte del problema que ayuda a perpetuar al dolor, convirtiéndolo en crónico. Sin embargo, no solo son las neuronas las únicas afectadas durante este proceso neuroplástico. Varios otros tipos no neuronales se encuentran íntimamente involucrados en la fisiopatología del dolor crónico, incluyendo diversos tipos de células del sistema inmune (a), células madre mesenquimales (b) y las células de la glía (c) (estas últimas originalmente consideradas tan solo de soporte, pero que hoy se sabe impactan profundamente en la señalización del dolor en condiciones patológicas). Esta riqueza de sistemas neuronales y no neuronales ubicados en diferentes sitios de la vía del dolor facilita la ocurrencia de complejas interacciones neuroinmunes, en la que interviene una miríada de factores difusibles (1, 2) actualmente estudiados con intensidad, no solo por su involucramiento en la fisiopatología del dolor crónico, sino también por el potencial terapéutico que supone su control. Adaptado por Egli S y Brumovsky PR de Sikandar S, Patel R, Patel S, Sikander S, Bennett DL, Dickenson AH, 2013, 'Genes, molecules and patients-emerging topics to guide clinical pain research', *European Journal of Pharmacology*, 716 (1-3): 188-202, mediante Biorender.com y Clip Studio Paint.

Investigación traslacional: nacimiento de un nuevo modo de pensar la utilidad del conocimiento

Entender cómo funciona el cuerpo humano continúa siendo uno de los más grandes y ambiciosos desafíos en la historia de la ciencia. Mediante técnicas anatómicas, fisiológicas, bioquímicas y biofísicas en constante evolución, queremos desentrañar los misterios del cuerpo humano, pasando por diferentes niveles de organización que incluyen moléculas, células, tejidos y órganos, para luego investigar el desarrollo de los mecanismos subyacentes en diferentes enfermedades (patología y fisiopatología), y dar con información relevante para su tratamiento. El impacto en materia de conocimiento de la biología humana en salud y enfermedad de tan intenso abordaje ha sido impresionante. Cuarenta años atrás el número de enfermedades humanas cuyas bases moleculares eran conocidas no alcanzaba a 20; hoy ese número ronda las 7.000. Sin embargo, con algunas pocas excepciones en cáncer y algunas enfermedades infecciosas, las posibilidades efectivas de tratar enfermedades cuyas bases ahora entendemos se mantienen bastante limitadas. A modo de referen-

cia, de las 8000 enfermedades conocidas que afectan a los humanos, menos de 600 cuentan con tratamientos aprobados por los sistemas regulatorios de salud, y la mayoría de los tratamientos son sintomáticos.

La realidad plasmada anteriormente expone la distancia que por décadas existió entre las investigaciones básica y clínica, esta última dependiente de la primera para poder evolucionar. Algo que podría explicar tal distancia es considerar que en la mayoría de los ambientes académicos durante el siglo XX se sostenía que la 'ciencia verdadera' tenía lugar en la mesada del laboratorio y no junto a la cama del paciente. De hecho, el impacto de las revistas de ciencia dedicadas a la publicación de descubrimientos científicos básicos era usualmente mayor que aquellas que publicaban observaciones clínicas. Sin embargo, en el siglo XXI esta tendencia se está revirtiendo. Un número creciente de revistas biomédicas está adquiriendo una mayor orientación clínica en donde la transferencia de conocimientos científicos hacia la práctica clínica cobra un protagonismo significativo. Esto ha llevado a que haya más financiamiento para temas clínicos que para temas básicos, lo cual se está traduciendo en que los investigadores clínicos produzcan más publicaciones científicas que los investigadores básicos. Como consecuencia, hay una mejora sustancial en el factor de impacto de revistas básicas con orientación clínica por sobre las básicas solamente, aun cuando esto no refleje necesariamente la calidad, la cual frecuentemente es mayor en los trabajos de ciencia básica que en los de ciencia clínica.

Figura 2. Abordaje traslacional del paciente que sufre dolor. Este tipo de abordaje traslacional representa cada etapa de investigación necesaria, desde la de carácter básico y biológico sobre salud y enfermedad hasta las intervenciones que permitan mejorar la salud de los individuos y el público en general. Tal abordaje no es lineal ni unidireccional, ya que cada etapa se construye sobre la previa y, al mismo tiempo, informa a todas las otras. Asimismo, involucra no solo los aparatos académicos y de investigación sino también a otros actores esenciales como son la industria biotecnológica y farmacéutica, el aparato jurídico y regulatorio, así como a los agentes financiadores y las fundaciones. Todas las etapas y los actores contribuyen al desarrollo de nuevos abordajes terapéuticos, demuestran su utilidad y son esenciales para la difusión de los resultados. En este escenario, el involucramiento del paciente es crítico para hacer de la traslación un ejercicio verdaderamente útil. Adaptado de Translational Science Spectrum. NCATS, National Center for Advancing Translational Sciences; *ncats.nih.gov/translation/spectrum*.

Estos 'signos de los tiempos' revelan el interés creciente que existe en evaluar las posibilidades de aplicación y la utilidad de las observaciones científicas por sobre la originalidad de los datos. Tanto los comités de evaluación de subsidios para ciencia como el poder político han reforzado la idea de premiar trabajos que pudieran ser trasladados a aplicaciones concretas. Como consecuencia, en ciertas comunidades científicas la posibilidad de financiamiento para ciencia básica se ha reducido sustancialmente respecto de otros proyectos con potencial trasladable previsible.

Para satisfacer esta nueva corriente y demanda pública, ha emergido una nueva categoría de ciencia, la 'medicina traslacional', acuñada en la década de 1990 pero con un gran desarrollo en los últimos años. Así, 'traslación' es la palabra que normalmente describe el proceso por el cual el empirismo es analizado a la luz de la predictividad. En este contexto, 'medicina traslacional' significa convertir una observación biomédica en una intervención que mejore la salud. Una consecuencia directa de este nuevo interés en ciencia es la existencia actual de 32 revistas que incluyen la palabra 'traslacional' en su título. No obstante, no debe desconocerse que muchos datos traslacionales pueden permanecer hipotéticos si luego no son probados en ensayos clínicos, lo cual supone un verdadero desafío.

Resulta evidente que garantizar que el conocimiento, gracias a la investigación, se traslade de forma eficiente a la práctica clínica es clave para dar con tratamientos efectivos. Actualmente, se estima que son necesarios diecisiete años para que los nuevos conocimientos produzcan cambios en la práctica clínica habitual, con retrasos que van desde la investigación en el laboratorio, pasando por la investigación clínica y la práctica clínica hasta las políticas sanitarias. Se necesitan esfuerzos dirigidos y coordinados para reducir esos tiempos. En este sentido, una estrategia adicional a las ya esbozadas, y que cobra cada vez mayor valor, es la transmisión del conocimiento en un 'proceso dinámico y repetitivo que incluya la síntesis, la difusión, el intercambio y la aplicación éticamente sensata del conocimiento'. Más aún, la forma en que se implementa el conocimiento está directamente influenciada por el tipo de evidencia científica que se comparte, cómo se comparte, con qué objetivo, y los métodos de transmisión del conocimiento que se utilizan. Para implementarlo, existen numerosas teorías, modelos y estructuras que guían el proceso de traslación del conocimiento a la práctica, comprensión o identificación de barreras y factores facilitadores que influyen en su implementación, y apoyan los esfuerzos de evaluación. Finalmente, existen repositorios de dicha información, lo que facilita el acceso a las personas que utilizan este conocimiento, incluidas aquellas que viven con dolor, los familiares/cuidadores, los profesionales de la salud y quienes deben formular políticas sanitarias (figura 2).

Investigación traslacional en dolor

¿Cómo lograr que la investigación en dolor tenga impacto en la práctica clínica? Al igual que ocurre con otras patologías, y a pesar del crecimiento sustancial de la investigación y la evidencia científica sobre el dolor a nivel mundial, cientos de miles de personas aún viven con dolor mal controlado.

Con el fin de discutir activamente sobre esta situación preocupante con una mirada proactiva, la IASP declaró 2022 como el Año Global para la Traslación del Conocimiento del Dolor a la Práctica Clínica. Esta estrategia busca servir de disparador tanto para identificar desafíos y oportunidades de mejora en la investigación preclínica y clínica como para potenciar la traslación del cúmulo de evidencia disponible sobre el tratamiento efectivo del dolor a la práctica. Esto es importante porque la brecha entre la generación de nuevo conocimiento de investigación y la práctica existe toda vez que el conocimiento está disponible pero no se usa, afectando la salud y resultando en una carga innecesaria para las personas con dolor.

Adobestock.com

El desafío de lograr frutos con esta estrategia es grande, pero ya comienzan a emerger varios caminos exploratorios de interés. En cuanto a la generación de conocimiento con valor traslacional, se enfoca en (1) la práctica de traslación inversa que permita convertir observaciones hechas en pacientes y voluntarios humanos en modelos de dolor con una mejor relevancia clínica; (2) la implementación de mejores métodos para establecer los efectos de esos tratamientos en la percepción del dolor y el procesamiento nociceptivo tanto en humanos como en modelos animales; (3) mejorar la generalización mediante la inclusión de edad y perspectiva de género en la experimentación en dolor; (4) considerar el momento adecuado de intervención, ya que los mecanismos y su dinámica varían según el momento de la enfermedad, y esto seguramente impacta sobre la efectividad de las terapias para control del dolor, y (5) incluir abordajes psicobiológicos en la investigación traslacional en dolor.

Por su parte, desde la perspectiva de la transmisión del conocimiento, la IASP ha identificado una serie de estrategias que podrían ser resumidas en (1) incluir a todos los actores involucrados, desde los pacientes y sus familias hasta los médicos y científicos especializados en dolor, en la implementación del conocimiento; (2) identificar el conocimiento basado en la investigación y considerar su implementación en relación con los usuarios que lo aprovecharán, y las posibles barreras que surjan (sean estas falta de tiempo o recursos, percepción de alta complejidad o falta de disponibilidad de productos); (3) monitorear el uso del conocimiento, incluyendo a todos los usuarios en el proceso de implementación a fin de evaluar las mejoras logradas (por ejemplo, mayor uso

de herramientas de transmisión del conocimiento), y (4) codesarrollar, comunicar y compartir conocimiento 'útil' en formatos resumidos y accesibles, adecuadamente dirigidos a los grupos de usuarios del conocimiento.

Pese a todo, un futuro optimista

Luego de prácticamente cinco décadas de ciencia básica y clínica extensa en investigación en dolor, el manejo de los pacientes con dolor todavía enfrenta grandes desafíos. Es evidente que no se ha resuelto la falta de articulación entre la cantidad de información que generan los laboratorios y la efectividad en el tratamiento del dolor crónico. Por ello, la investigación traslacional en dolor, si bien todavía temprana, emerge como una estrategia válida para identificar puntos críticos (algunos ya mencionados), así como herramientas biológicas y farmacológicas que abran nuevas estrategias para lograr avances en el desarrollo de nuevos tratamientos en medicina del dolor. Sin duda, un punto crítico será acortar la distancia entre los datos preclínicos y los clínicos, y así acelerar la transición entre la investigación y la aplicación de esos conocimientos. Esto solo podrá ser conseguido mediante un abordaje multidisciplinario y un modelo de trabajo interorganizacional que sincronice los esfuerzos y las acciones de todas las agencias financiadoras, la academia, las fundaciones sin fines de lucro, la filantropía, las industrias biotecnológicas y farmacéuticas, el público y las organizaciones legislativas y regulatorias (figura 2).

Esta nueva manera de pensar la ciencia y su traslación será clave para que un día podamos realmente liberar de la prisión del dolor a tantas personas que, como 'Isabel', hoy resisten, pero a un precio demasiado alto. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BASBAUM AI, BAUTISTA DM, SCHERRER G & JULIUS D, 2009, 'Cellular and molecular mechanisms of pain', *Cell*, 139 (2): 267-84. dx.doi.org/10.1016/j.cell.2009.09.028

BREIVIK H, EISENBERG E & O'BRIEN T, 2013, 'The individual and societal burden of chronic pain in Europe: The case for strategic prioritisation and action to improve knowledge and availability of appropriate care', *BMCPublicHealth*, 13: 1229. dx.doi.org/10.1186/1471-2458-13-1229

BRUMOVSKY PR, CASADEI M, CORONEL MF, LEIGUARDA C, MONTANER A, RUBIONE J & VILLAR MJ, 2022, 'Modulation of mesenchymal stem cells, glial cells and the immune system by oligodeoxynucelotides as a novel multi-target therapeutic approach against chronic pain', *Frontiers in Clinical Drug Research*, 10: 226-268.

CASADEI M, FIORE E, RUBIONE J, DOMÍNGUEZ LM, CORONEL MF, LEIGUARDA C, GARCÍA M, MAZZOLINI G, VILLAR MJ, MONTANER A, CONSTANDIL L, ROMERO-SANDOVAL EA & BRUMOVSKY PR, 2022, 'IMT504 blocks allodynia in rats with spared nerve injury by promoting the migration of mesenchymal stem cells and by favoring an anti-inflammatory milieu at the injured nerve', *Pain*, 163 (6):1114-1129. doi:10.1097/j.pain.0000000000002476

KISSIN I, 2010, 'The development of new analgesics over the past 50 years: A lack of real breakthrough drugs', *AnesthAnalg*, 110 (3): 780-789. dx.doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181cde882

MOURAUX A, BANNISTER K, BECKER S, FINN DP, PICKERING G, POGATZKI-ZAHN E & GRAVEN-NIELSEN T, 2021, 'Challenges and opportunities in translational pain research: An opinion paper of the working group on translational pain research of the European pain federation (EFIC)', *European Journal of Pain*, 25 (4): 731-756. doi: 10.1002/ejp.1730

SEYHAN AA, 2019, 'Lost in translation: The valley of death across preclinical and clinical divide – identification of problems and overcoming obstacles', *Translational Medicine Communications*, 4, 18. doi.org/10.1186/s41231-019-0050-7

Marcelo Villar

Doctor en medicina, Facultad de Medicina, UBA.
Profesor titular de Anatomía y Neurociencias, Facultad de Ciencias Biomédicas, Universidad Austral (UA).
Investigador superior, Conicet.
mvillar@austral.edu.ar

Cecilia I Catanesi

Doctora en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Profesora asociada a cargo de Genética, FCNyM, UNLP.
Investigadora independiente, Conicet.

Pablo R Brumovsky

Doctor en Ciencias Biomédicas, Facultad de Ciencias Biomédicas (FCB), UA, y doctor en medicina, Karolinska Institutet, Suecia.
Profesor asociado a cargo de Anatomía, FCB, UA.
Investigador independiente, Conicet.
pbrumovs@austral.edu.ar

Miguel de Asúa
Centro de Estudios Filosóficos, ANCBA

Ciencia y catolicismo en la Argentina (1750-1960)

Desde que en la década de 1970 un grupo de historiadores de la ciencia se dedicó a estudiar las relaciones históricas entre ciencia y religión, este se volvió un ámbito de investigación muy activo de nuestra disciplina. Entre las figuras fundadoras de este movimiento, habría que mencionar en primer lugar al británico John Hedley Brooke, que fue profesor en Oxford y autor de la obra de referencia del área (*Ciencia y religión: algunas perspectivas históricas*, de 1991), a los estadounidenses Ronald Numbers y David Lindberg (ya fallecido), al canadiense Bernard Lightman y al australiano Peter Harrison. Todos ellos (y en particular este último) se ocuparon del tema de ciencia y secularización y/o de lo que se suele llamar 'ciencia y no creencia'. Los sociólogos de la religión y, por supuesto, los historiadores del cristianismo (sobre todo los que se ocupan de Europa en el siglo XIX) han tratado también la cuestión de ciencia y secularización desde sus propias perspectivas disciplinares.

La respuesta unánime de todos estos especialistas a la pregunta de si la ciencia fue motor de la secularización es que *no lo fue*. Por cierto, no lo fue en el sentido que postulaba Condorcet en el *Bosquejo de un cuadro histórico de los progresos del espíritu humano* (1784), relato que prolongaba el de Turgot y preanunciaba el de Comte y según el cual la progresiva iluminación de los secretos de la naturaleza habría hecho retroceder las oscuras sombras de la religión. Este mito iluminista de los orígenes (la referencia a la metáfora de la luz es obligada) constituye un elemento central de una de las 'grandes narrativas de la secularización'. Debe aclararse, sin embargo, que lo que se está discutiendo aquí no es la idea de que la cultura científico-tecnológica (o aun la ideología del progreso asociada a ella) haya cumplido un papel en el proceso de secularización (entendida en los dos primeros sentidos que otorga a esta noción el sociólogo de la religión José Casanova, a saber, como progresiva desacralización de sectores y funciones sociales y como dis-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Al analizar la evolución de la ciencia argentina desde sus orígenes, reconocemos que no es posible sostener la tradicional oposición entre religión y ciencia.

minución de la participación en la religión organizada). Lo que se discute es la concepción de las relaciones entre ciencia y religión como dos factores de suma cero, de tal modo que el progreso de la ciencia habría implicado (en la historia y de manera necesaria) el retroceso de la religión.

Nadie niega que hubo períodos o episodios históricos de fuerte enfrentamiento entre ciencia y religión (baste pensar en los casos del copernicanismo y la evolución). Lo que la historia de la ciencia viene mostrando desde hace cincuenta años a quien quiera escucharlo es que la llamada 'tesis del conflicto', según la cual la confrontación es esencial y, en clave de mitología maniquea, culminará con el triunfo final de la ciencia, no tiene sustento histórico. Sencillamente, *no fue así*. Es lo mismo que el historiador social de la medicina Roy Porter le dijo a Michel Foucault a raíz de su famosa idea del 'gran encierro' de los locos y marginales en el siglo XVIII: eso pudo haber pasado en Francia (si es que pasó), pero en el resto de Europa y en Rusia no hubo encierro, sencillamente las cosas ocurrieron de otra manera. (Después de Hayden White y compañía estamos atentos al componente retórico de la historia, pero no por eso creemos que lo que escribimos sea ficción: existen consensos aceptados por las comunidades de especialistas y uno de ellos es cómo se dieron las relaciones entre ciencia y religión.)

El principio de complejidad, la variedad de interacción entre ciencia y religión y los patrones de secularización

Lo que Brooke postuló famosamente es el llamado 'principio de complejidad' y la asociada tesis de 'la variedad de interacción' entre ciencia y religión, es decir, la necesidad de estudiar en cada caso particular, en cada circunstancia histórica concreta, qué tipo de interacción (siempre sutil y complicada) se dio entre ambas: si fue de enfrentamiento, de fertilización mutua, de indiferencia, o las posibles combinaciones de todo esto (de ahí el enfoque de la 'complejidad').

Este tema estuvo muy estudiado en sociedades protestantes y anglófonas, pero poco o nada en aquellos países con el patrón de secularización que el sociólogo de la religión David Martin, en *A General Theory of Secularisation* (*Teoría general de la secularización*, un clásico de 1978), denominó patrón 'francés' y que es el que operó en Iberoamérica. En esa obra monumental que es *The Secular Age* (*La edad secular*, 2007) el filósofo y sociólogo Charles Taylor usa neologismos un poco cacofónicos para hablar de esto, cuando distingue entre sociedades 'paleodurkheimianas' y 'neodurkheimianas'. En las primeras, las monarquías católicas barrocas, la identificación Iglesia-Estado fue masiva y en la era de las revoluciones la contraposición entre ciencia y religión fue frontal y temprana, a partir del siglo XVIII (el caso modélico es, claro, Francia, pero hubo otros). Por el contrario, en los países protestantes (aquí el modelo es Gran Bretaña) hubo vastos sectores contestatarios que se identificaron con alguna de las Iglesias cristianas y las cosas fueron más negociadas: el enfrentamiento entre ciencia y religión fue más tardío (segunda mitad del siglo XIX) y menos violento. La gran mayoría de la bibliografía del área estuvo dedicada a estudiar este segundo tipo de sociedades. Es por eso que me pareció interesante estudiar las sociedades iberoamericanas con modelo de secularización latino, donde las cosas habrían ocurrido de otra manera (esa fue la hipótesis) que en las angloparlantes. Desde hace varios años me he dedicado a esta cuestión usando a la Argentina como estudio de caso, pues en nuestro

LUNARIO
DE UN SIGLO
Que comienza en Enero del año de 1740. , y acaba en Diziembre del año de 1841. en que se comprehenden ciento y un años cumplidos.
CONTIENE LOS ASPECTOS PRINCIPALES de Sol, y Luna, esto es las Conjunciones, Oposiciones, y Quartos de la Luna con el Sol, segun sus movimientos verdaderos: y la noticia de los Eclipses de ambos Luminares, que seran visibles por todo el Siglo en estas Misiones de la Compañia de Jesus en la Provincia del Paraguay.
REGULADA, Y ALIGADA LA HORA DE los Aspectos y Eclipses al Meridiano del Pueblo de los esclarecidos Martyres
SAN COSME, Y SAN DAMIAN,
Y estendido su uso a otros Meridianos por medio de la Tabla de las diferencias meridianas, que se pone al principio de el Lunario.
DANSE AL FIN DE EL REGLAS FACILES, para que qualquiera sin Mathematica, ni Arithmetica, pueda formar de estos Lunarios de un siglo los de los años siguientes, desde el de 1842. hasta el de 1904.
POR EL PADRE
BUENAVENTURA SUAREZ,
de la Compañia de Jesus.
EN LISBOA:
En la Imprenta de FRANCISCO DA SILVA.
Con todas las licencias necessarias. Año de 1748.

Portada de Buenaventura Suárez SJ, *Lunario de un siglo* (1748) (ejemplar de la Biblioteca Nacional). La ciencia de las misiones jesuíticas estaba, en buena medida, al servicio de la función religiosa, pero esto no afectaba los contenidos de la investigación sobre la naturaleza.

Izquierda. El oriental Dámaso Antonio Larrañaga (Montevideo, 1771-1848) fue un clérigo ilustrado y el naturalista más importante del Río de la Plata en la época de la Independencia.
Derecha. *Lantana aculeata L*, *Lantana camara* (cambará). Dibujo de Larrañaga.

país el material histórico tiene un volumen manejable para un enfoque de larga duración y hay una tradición científica de suficiente densidad.

Ciencia y religión en Argentina: siglos XVIII y XIX

En un libro de 2014 (*Science in the Vanished Arcadia* [*La ciencia en la Arcadia desvanecida*]) condensé y reelaboré una línea de investigación sobre lo que en historia de la ciencia se acostumbra llamar 'ciencia jesuita' (área que apareció en la historia de la ciencia hacia la década de 1980, en el contexto de la discusión de la 'tesis de Merton' sobre la participación puritana en la 'revolución científica' del siglo XVII). El estudio de la ciencia en las misiones jesuíticas del Paraguay histórico y el Río de la Plata fue el punto de partida para explorar la historia de las relaciones entre ciencia y catolicismo (confesión mayoritaria) en nuestro país a lo largo de dos siglos (1750-1960). La práctica de la ciencia de los jesuitas en nuestro territorio estuvo asociada al objetivo religioso de la conversión de los aborígenes, en tanto la investigación del mundo natural estaba al servicio de aumentar la eficiencia de los pueblos de misión. Por ejemplo, las actividades del astrónomo Buenaventura Suárez, la primera figura científica que actuó en nuestro territorio, tenían fines prácticos: el propósito de sus observaciones de las inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter era calcular la longitud de las reducciones y de otras poblaciones. Este enfoque de ciencia 'aplicada' es aún más evidente en campos como la cartografía y la farmacopea.

La Ilustración católica (en el sentido de Ulrich Lehner) del Río de la Plata en los años que rodearon a la independencia fue más que un oxímoron, un compromiso inestable. Aquí se inscribe el círculo muy activo de sacerdotes ilustrados con fuertes intereses en la historia natural en ambas orillas del Plata, cuyo centro fue Dámaso Larrañaga, el patriota oriental que introdujo la taxonomía de Linneo en la región, llevó a cabo extensos estudios de flora y fauna y pulsó la cuerda de la 'teología natural', un tipo de discurso de vasta influencia en la ciencia de Inglaterra y Escocia. Los miembros de órdenes religiosas y sacerdotes seglares que enseñaron filosofía de la naturaleza en Córdoba y en Buenos Aires tuvieron posiciones ambiguas respecto del sistema copernicano, al que exponían como una 'hipótesis', junto al de Ptolo-

Izquierda. La iglesia de Santo Domingo (Emeric Essex Vidal, 'Church of Santo Domingo', *Picturesque Illustrations of Buenos Ayres and Monte Video*, Londres, 1820). El gobierno de Rivadavia secularizó el convento de Santo Domingo e instaló allí el museo y los laboratorios de física y química. **Centro.** Ottaviano F Mossotti, un físico de relevancia internacional, efectuó desde allí observaciones astronómicas que publicó en *journals* europeos. **Derecha.** John William Draper, un químico inglés que actuó en los Estados Unidos, fue uno de los que dio forma a la noción del conflicto entre ciencia y religión, con su libro *History of the Conflict between Religion and Science* (1874), cuya versión en castellano pronto llegó a Buenos Aires y fue leído y citado a menudo por políticos y polemistas.

meo y el de Tycho Brahe. Además de esta cultura clerical, se desarrolló en Buenos Aires durante la primera década del siglo XIX una cultura secular fomentada por ilustrados criollos o españoles que apoyaron las reformas borbónicas y propalaron una ciencia 'útil', despreocupándose de subsuelos filosóficos y de posibles conflictos con la religión o adoptando posturas que bordeaban la religión natural del deísmo.

El equilibrio inestable de este período comenzó a alterarse en el período rivadaviano en la ciudad de Buenos Aires (en las otras provincias, el panorama fue distinto). La reforma religiosa de 1822 llevó a la secularización (expropiación y transferencia al Estado) de conventos. Es de alta significación simbólica (y material) que estos espacios religiosos se hayan transformado en 'espacios de ciencia' (el convento de Santo Domingo pasó a albergar el museo, los gabinetes de física y química y algo parecido a un observatorio; el de los franciscanos recoletos fue transformado en escuela de agricultura práctica). Asimismo, algunos de los profesores de ciencia contratados por Rivadavia en Europa (aquellos con escasas credenciales científicas, como Carta Molino) trajeron consigo el discurso iluminista de confrontación entre ciencia y religión, en clave de la escuela filosófica parisina llamada *idéologie* (no fue el caso de Ottaviano Mossotti ni de Aimé Bonpland).

El conflicto a cielo abierto entre ciencia y religión correspondió a la década de 1880 y estuvo asociado a la legislación secularizadora del período (ley de educación 1420, ley de matrimonio civil, ley de los cementerios) que transformó de manera profunda la sociedad argentina y enfrentó a 'católicos' y 'liberales' en el terreno político. En dicho período tuvieron lugar la recepción del darwinismo en especial y el evolucionismo en general y de la 'tesis del conflicto', en la versión expuesta en el libro de John W Draper, *Historia del conflicto entre la ciencia y la religión* (original en inglés de 1874). El análisis del abundante material histórico muestra cómo la ciencia no fue 'causa' del impulso secularizador del gobierno de Julio A Roca (acompañado por gran parte de los pensadores del 80), pero sí fue utilizada con brío como argumento de legitimación en los debates parlamentarios que rodearon a la reforma educativa. Es en este momento histórico cuando se consolida lo que estaba incoado en la Buenos Aires de la década de 1820: la naturalización de la idea del poder secularizador de la ciencia (su transformación en artículo de 'sentido común social'), en asociación con la fe en la ley del progreso.

Ciencia y religión en Argentina: siglo XX

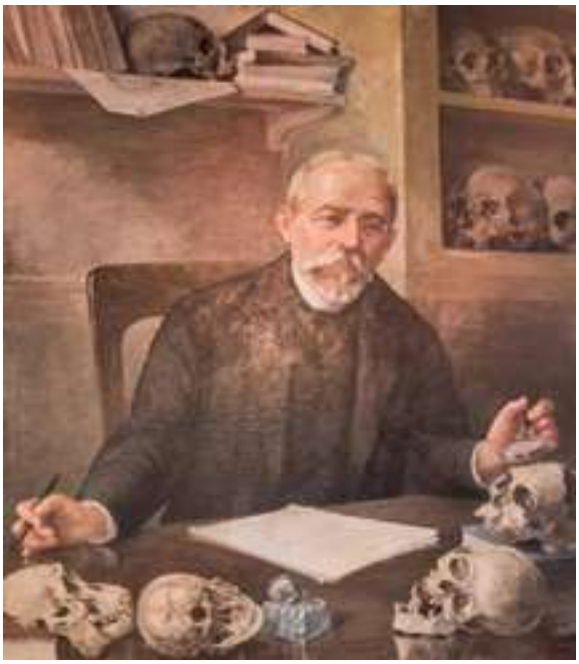
Hacia comienzos del siglo XX y con la frágil paz alcanzada entre las élites liberales y la Iglesia católica, el frente de utilización de la ciencia como argumento en el discurso secularizador pasó a los movimientos socia-

listas. Quizá el ícono más acabado de esta dinámica haya sido la figura de Florentino Ameghino (a quien sería difícil calificar de socialista), que en todo caso condensó los múltiples significados de la 'tesis del conflicto', el evolucionismo y la secularización. Aquí entran algunos intentos de establecer cultos cívicos, que buscaron transferir los valores emocionales de lo sagrado hacia la esfera secular, organizada en torno de la imaginería de 'la ciencia' (nada, sin embargo, que haya alcanzado la fuerza de las varias religiones seculares fundadas por pensadores sociales en la Francia del siglo XIX). Es instructivo comparar el fraude del 'hombre de Miramar' (Ciencia Hoy, 11 (62), abril-mayo de 2001) –combatido, entre otros, por el jesuita antievolucionista José M Blanco– con el contemporáneo fraude del 'hombre de Piltdown' en Inglaterra para advertir qué valencias simbólicas adoptó aquí este tipo de fenómeno.

En la segunda y tercera décadas del siglo XX tuvo lugar un episodio revelador: la aparición de científicos católicos (desde mediados del siglo XIX no los hubo en nuestro país, lo que otorgó al discurso católico antievolucionista un tono social, ya que fue conducido por abogados y políticos, con alguna rara excepción). Se trata del naturalista Ángel Gallardo, entomólogo, autor de una teoría electromagnética de la mitosis y uno de los introductores de la teoría mendeliana (y de Fischer) de la herencia, quien tuvo una carrera política y diplomática de alto perfil (fue el ministro de relaciones exteriores durante toda la presidencia de Alvear). El otro es el sacerdote Fortunato Devoto, astrónomo que estudió en La Plata y el Observatorio de París y estuvo a cargo del Consejo Nacional de Observatorios, que intervino en la cesación de Charles Perrine como director del Observatorio de Córdoba, el aterrizaje de Enrique Gaviola en dicha institución y la creación del Observatorio de San Miguel. Estos dos personajes son importantes porque marcan una fractura histórica en la continuidad imaginaria de la ciencia como instrumento secularizador.

Con el período que los historiadores de la Iglesia católica en la Argentina suelen llamar 'renacimiento católico' de las décadas de 1920 y 1930, aparecen otros científicos de dicha confesionalidad que, a diferencia de los anteriores –más bien partidarios de una concepción 'liberal' de relación entre Iglesia y Estado– son integristas (es decir, sostienen que la religión debería impregnar toda la trama del tejido social). Este grupo fue afín a posturas de orden autoritario en el orden nacional e internacional (el médico bacteriólogo César Pico fue fascista), pero (aquí se advierte lo falaz de esquemas simplificadores y lo oportuno de la 'complejidad' de Brooke) sus posiciones científicas no eran necesariamente reaccionarias: el naturalista de La Plata Emiliano MacDonagh defendía un evolucionismo dentro de los límites teístas (lo que no era raro en Francia, en el momento de lo que Peter Bowler llamó 'el eclipse del darwinismo').

Por fin, debemos referirnos a los científicos católicos demócratas o 'liberales' (período 1932-1959): los fisiólogos Juan T Lewis, Eduardo Braun Menéndez y el ingeniero y politólogo Augusto J Durelli. Lo interesante de este grupo –más allá de que a esta altura científicos confesionales integraban el grupo más prestigioso y dinámico de la ciencia en la Argentina constituido en torno a Houssay y la constelación de investigadores e instituciones generadas por él– es que sus especulaciones sobre



Izquierda. Eduardo Wilde, notable médico y escritor, lideró en el Parlamento la aprobación de las leyes de secularización y utilizó a menudo como argumento la noción de un inevitable 'conflicto' entre ciencia y religión.

Derecha. Florentino Ameghino fue, por muchos motivos, una figura icónica en la utilización que los socialistas efectuaron de la noción de conflicto entre ciencia y religión. El cuello, propio de la moda masculina de la Tercera República, le otorga un aire ambiguamente clerical. En este retrato, los cráneos que lo rodean remiten por un lado al mundo paleontológico y evolutivo y, en lectura subliminal, a la iconografía barroca del *memento mori*.

las relaciones entre ciencia y religión se articulaban de manera de definir de manera clara la independencia de la primera respecto de la segunda, mientras que en otros casos prevalecía un esquema de subordinación característico de posturas integristas.

Ángel Gallardo, naturalista y persona pública de alto perfil, parece haber mantenido sus ideas evolutivas (por cierto, finalistas, como la de los evolucionistas franceses de la época del 'eclipse del darwinismo', con los que se formó) y sus convicciones religiosas en equilibrio.

A modo de conclusión

Nuestro trabajo busca establecer que, hayan sido cuales hayan sido las causas de la dinámica secularizadora en la Argentina (discutir eso no es nuestro objetivo), la ciencia (como proyecto epistémico) no fue razón ni dínamo de aquella. Lo que examinamos es de qué manera los actores históricos que impulsaron una sociedad secularizada recurrieron a la tesis del perpetuo conflicto y a un supuesto poder secularizador de la ciencia, de manera de legitimar e investir con el prestigio de la ciencia natural lo que era un proyecto de organización de la polis. Esto cristalizó en una ficción social, en la creencia (que en muchos casos posee carácter identitario de grupo o es parte de complejos ideológicos, de ahí su pervivencia) en la capacidad secularizadora de la ciencia. Nuestro trabajo argumenta que, por el contrario, fue el tipo particular de proceso de secularización que tuvo lugar aquí el que dio forma y moduló las maneras en que la ciencia y la religión fueron interactuando a lo largo de los dos siglos de historia que consideramos. En síntesis, lo que este estudio muestra es la inversión del sentido recibido del vector de 'causalidad' histórica (si es que se puede hablar de tal cosa).

Es importante insistir, porque se trata de un punto crucial, que lo que presentamos es un argumento de tipo histórico: se trata de examinar cómo se dieron las cosas, y lo que el registro histórico ofrece es una diversidad de interacciones complejas. Hubo períodos en que ciencia y religión actuaron de manera sinérgica (como en las mi-

Retrato del sacerdote y astrónomo Fortunato Devoto, que junto con Gallardo marcó la aparición de católicos en la escena científica argentina.

Devoto, como presidente del Consejo Nacional de Observatorios, impulsó la creación del Observatorio de San Miguel, adjunto al Colegio Máximo de los jesuitas, sobre la base del modelo del Observatorio del Ebro.

siones jesuíticas o en el caso de los fisiólogos católicos democráticos en las décadas de 1940 y 1950); períodos de indiferencia, que son los que constituyen el vasto trasfondo neutro de toda esta historia, y períodos de enconada beligerancia (la década de 1880 y las dos primeras décadas del siglo XX, con distinto signo, secularismo liberal y socialista, respectivamente). CH

Eduardo Braun Menéndez (primera fila en el extremo izquierdo) y Juan T Lewis (primera fila en el extremo derecho), científicos católicos identificados con los ideales democráticos en el contexto de la Segunda Guerra, formaron parte del grupo de fisiólogos que liderado por Bernardo Houssay (al lado de Lewis) puso a la ciencia argentina en el plano mundial y dio forma al sistema científico argentino.

LECTURAS SUGERIDAS

ASÚA M DE, 2022, *Science and Catholicism in Argentina, 1750-1960: A study on scientific culture, religion and secularisation in Latin America*, De Gruyter, Berlín.

ASÚA M DE, 2021, 'Ciencia, religión y secularización: una presentación asistemática y personal', *Religión y Sociedad*, 31 (57). id.caicyt.gov.ar/ark:/s18537081/6l2df496m

ASÚA M DE, 2020, 'La historia de la ciencia en Argentina: la versión francesa de la tesis del conflicto entre ciencia y religión y el patrón latino de secularización', en Provvidente S y Ubierna P, eds., *La eclesiología: lecturas entre Edad Media y mundo contemporáneo*, IMHICIHU-CONICET, Buenos Aires, pp. 165-185. www.imhicihu-conicet.gob.ar/la-eclesiologia-lecturas-entre-edad-media-y-mundo-contemporaneo/

ASÚA M DE, 2019, 'Three centuries of scientific culture and catholicism in Argentina: A case study of long trends', en Lightman B, ed., *Rethinking History, Science, and Religion: An exploration of conflict and the complexity principle*, The University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, pp. 37-49.

BROOKE JH, 1991, *Science and Religion: Some historical perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).

HARDIN J, NUMBERS RL, BINZLEY RA, eds., 2018, *The Warfare between Science and Religion: The idea that wouldn't die*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Miguel de Asúa

Doctor en medicina, UBA.
PhD en historia, Universidad de Notre Dame.
Miembro de la Academia Nacional de la Historia y de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires (ANCBA).

Museo Nacional de Arte Decorativo

Marcela Borelli
IHUCSO/Conicet-UBA-UNSAM

Soledad Bohdziewicz
IIBICRIT/Conicet-UBA

Fragmentos de libros manuscritos medievales y humanísticos en colecciones argentinas

Los libros, especialmente en las sociedades premodernas, fueron siempre objetos de valor económico y también símbolo de estatus cultural. Aunque por estas mismas razones fueron, en general, atesorados con celo, no estuvieron exentos de un sinnúmero de vicisitudes que condujeron en muchos casos a su destrucción parcial o total. Dejando a un lado las cuestiones de tipo ideológico como causa de la pérdida de libros, nos detendremos aquí a considerar los distintos factores que afectaron la integridad de los textos producidos durante la Edad Media y los inicios de la Edad Moderna, refiriéndonos de manera exclusiva al códice manuscrito, esto es, nada más ni nada menos, que el libro, en un formato muy similar al que hoy conocemos, pero que se diferencia de este en sus materiales y los distintos procesos de su factura.

Las condiciones de guardado de los libros son determinantes en su conservación, ya que los soportes de escritura –pergamino y papel– se ven afectados por las variaciones térmicas, la humedad y la acción de insectos bibliófagos, a los que naturalmente deben sumarse los accidentes y el desgaste producido por su uso. Así, cuando las condiciones materiales de un volumen lo hacían inadecuado para la lectura, podía reutilizarse con otros fi-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Fragmentos de antiguos libros manuscritos que hoy se encuentran en colecciones argentinas sueltos o alojados en encuadernaciones.

Figura 1. Biblioteca y Centro de Investigación San Alonso de Orozco.

nes. Pero la obsolescencia de un libro podía responder a otras cuestiones ajenas a su estado de conservación, como, por ejemplo, cuando la lengua en la que estaba escrito ya no resultaba comprensible o cuando, como consecuencia de cambios culturales, un texto dejaba de cumplir la función para la cual había sido concebido. Tal es el caso de las obras destinadas a la liturgia, que, con las diversas modificaciones que esta fue experimentando a lo largo del tiempo, cayeron en desuso. De hecho, los manuscritos litúrgicos de variados períodos representan una importantísima cantidad de los códices desmembrados y fragmentados. Si bien el libro manuscrito convivió largamente con el impreso, la aparición de la nueva tecnología de la imprenta, con las ventajas que implicaba en términos de la cantidad de copias que de una obra podía obtenerse y el abaratamiento de los costos, fue determinante para el futuro de la producción de libros. De este modo, con la disponibilidad de otras copias, un libro manuscrito se mostraba prescindible ante su sucedáneo impreso.

La reutilización de los libros manuscritos ocurría con frecuencia en el interior de las propias bibliotecas que los albergaban, en las que se podía echar mano de algún libro viejo, probablemente en mal estado, sea para hacer o para reparar encuadernaciones de otros volúmenes, aprovechando, en particular, el pergamino, material costoso elaborado a partir de pieles de animales, muchas veces escaso. Con el advenimiento de la imprenta también se produjo el uso de descartes de libros impresos, lo que tenía lugar usualmente en aquellos establecimientos que también realizaban encuadernaciones, reutilizando pliegos defectuosos o piezas impresas carentes de utilidad. Los encuadernadores, pues, tanto en el contexto de las bibliotecas, imprentas y también librerías, sacaban provecho del pergamino y del papel usado para la realización de sus encuadernaciones. Es así como una gran cantidad de fragmentos de manuscritos se encuentran alojados en la estructura, sea de libros también manuscritos o libros producidos durante los primeros siglos de vida de la imprenta. De esta manera, una parte del fenómeno de la fragmentación queda indefectiblemente ligada a la historia de la encuadernación del libro antiguo.

Si bien en la Argentina la presencia de códices manuscritos es escasa, dispersos en diversas colecciones, tanto públicas como privadas, se halla una cantidad considerable de impresos antiguos. El número de volúmenes aún no se conoce con precisión, aunque con este fin, en 2003, se inició bajo el auspicio de la Biblioteca Nacional Mariano Moreno la creación de un Catálogo Nacional Unificado de impresos previos al año 1800, en el que cooperaron diversas instituciones de nuestro país que cuentan con ese tipo de fondos.

Los fragmentos de manuscritos se encuentran principalmente en libros impresos en el centro y oeste de Europa entre los siglos XV y XVII y, mucho menos, en el sur del continente, de donde procede, como es de prever, la mayor cantidad de impresos de nuestro país. A pesar del predominio de impresos sureuropeos, en especial en lengua castellana, por las características históricas de la conformación de sus fondos, muchas colecciones presentan considerable diversidad en cuanto a la procedencia de sus ejemplares. El origen de las colecciones argentinas que es posible encontrar en grandes instituciones, tales como la Biblioteca Nacional Mariano Moreno o la Biblioteca Mayor de la Universidad Nacional de Córdoba, es variado, pero podríamos atribuirles, a grandes rasgos, una doble procedencia: los primeros ingresos del libro antiguo durante la época colonial se dieron a través de las órdenes religiosas –jesuítica, dominica, franciscana, entre otras– y también por medio de la actividad comercial de libreros. A lo largo del siglo XX y en estas últimas décadas, se suma el ingreso de libros antiguos a través de las donaciones de

intelectuales bibliófilos y coleccionistas, tales como Matías Errázuriz y Josefina de Alvear, Enrique Ferrer Vieyra, Jorge Martín Furt, Aldo Mieli, Baldmar Dobranich, Pedro Narciso Arata, Marcelo Schlimovich, entre otros.

Los sitios en los que aparecen los fragmentos en las encuadernaciones son diversos. Los más pequeños suelen ser tiras adheridas de manera perpendicular al bloque del texto, entre los cosidos que unen los cuadernos del libro. Este tipo de fragmentos es visible cuando el deterioro del lomo así lo permite. Por ejemplo, en un volumen de la colección antigua de la Biblioteca y Centro de Investigación San Alonso de Orozco de la Orden de San Agustín en la ciudad de Buenos Aires, impreso en Lovaina en 1700, cinco tiras de pergamino de este tipo fueron utilizadas para consolidar la encuadernación del lomo. Como lo evidencian las rúbricas y el texto relativo a la Ascensión de la Virgen María, estos fragmentos pertenecieron a un códice litúrgico, escrito en una letra gótica del norte de Europa, de tamaño grande y de un alto nivel de ejecución, que probablemente fue copiado en el siglo XV (figura 1).

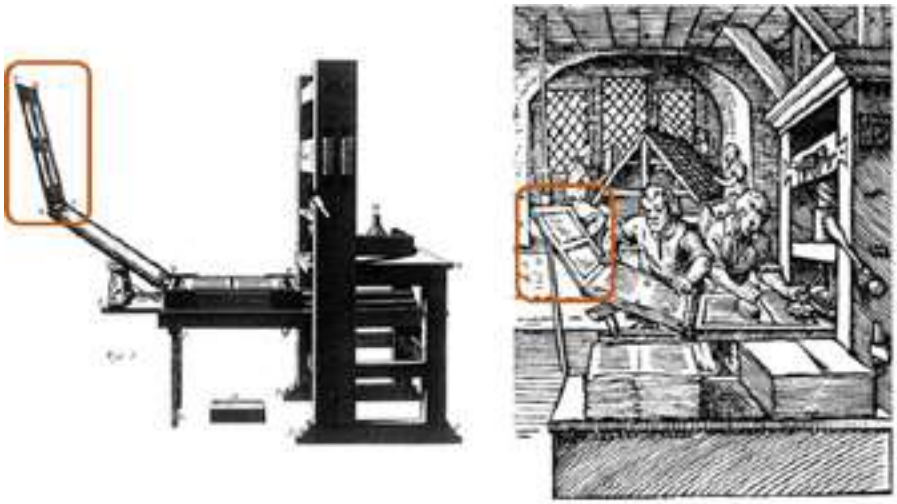


Figura 2. *Quid est liber:* proyecto de innovación para la docencia en libro antiguo y patrimonio bibliográfico, Universidad Complutense de Madrid. *www.ucm.es/quidestliber/frasqueta*

Algunos fragmentos muestran signos inequívocos de una doble reutilización, primero como insumos de impresión y luego, en la encuadernación. Ese primer uso en la imprenta se relaciona con su función como 'hojas de frasqueta'. Los folios de libros descartados, sea de pergamino o de papel, se recortaban para adaptarlos a la

Figura 3. Biblioteca Nacional Mariano Moreno.

Figura 4. Biblioteca Nacional Mariano Moreno (detalle).

Figura 5. Observatorio Unesco Villa Ocampo.

frasqueta, estructura de madera de las antiguas imprentas que cubría la zona de los márgenes para evitar que se mancharan con la tinta de los tipos (figura 2). A estos trozos de folios se les recortaban pequeños cuadrados o rectángulos que se correspondían con las zonas donde estarían las iniciales o títulos que se querían imprimir en tinta de color rojo, sin que se manchara el resto de la hoja, ya impresa en negro, en el proceso. Estas funcionaban, en cierta forma, como un esténcil que evitaba que la forma entintada en rojo manchara zonas que no querían rubricarse. Un volumen de la Biblioteca Nacional Mariano Moreno impreso en Colonia en 1612 alberga dos fragmentos de esta clase (figura 3). Dos tiras angostas, dispuestas en dirección longitudinal a la bisagra o articulación del libro, funcionan como refuerzo del bloque de texto, una colocada en la parte anterior y otra en la parte posterior. Los fragmentos provienen de manuscritos diversos: el primero pertenecía a un folio que transmitía los salmos con comentarios, y el segundo a un manuscrito litúrgico. En ambos se pueden observar los restos de tinta roja que, tras las sucesivas impresiones, se acumularon dejando la impronta de líneas del impreso. Es posible, además, observar pequeños recortes cuadrados en el folio, correspondiente a las áreas donde estaban las iniciales rubricadas en el impreso (figura 4).

Si el folio era de un tamaño lo suficientemente grande, podía ser utilizado recubriendo las tapas de la encuadernación. Un caso menos típico de esta práctica se halla en la biblioteca personal de la escritora Victoria Ocampo, hoy conservada en el Observatorio Unesco Villa Ocampo, en cuyos anaqueles se encuentran diez volúmenes impresos en Francia a principios del siglo XX, que tienen por cubierta folios de manuscritos (figura 5). En la figura 6 puede observarse uno de estos ejemplares en el que un folio de un salterio de grandes dimensiones cubre la tapa de un volumen impreso en París en 1913 por Honoré Champion. El manuscrito está copiado en una letra gótica del sur de Europa –probablemente italiana– de gran tamaño, con iniciales que alternan el color rojo y azul. Como este, los otros nueve volúmenes también están recubiertos de folios que antiguamente pertenecían a dos manuscritos litúrgicos diferentes realizados en una bella caligrafía. Algunos incluso presentan iniciales de gran tamaño decoradas con motivos foliados y geométricos. La peculiaridad no la constituyen tanto los fragmentos, sino más bien los volúmenes que los alojan: la práctica de utilizar descartes de manuscritos como insumo de encuadernación no es tan frecuente en el siglo XX. La mayor cantidad de casos, como hemos mencionado, se da a partir del siglo XV hasta el XVII inclusive, mermando su frecuencia a medida que se avanza en el tiempo.

Pero los destinos de los manuscritos descartados son tan variados como útil y versátil su soporte de escritura. Su reutilización no solo queda circunscripta a los ámbitos de producción y circulación del libro, en los que, según hemos explicado, solía emplearse en las encuadernaciones, sino que podía utilizarse con fines muy disímiles. Entre los muchos escenarios posibles, fragmentos de manuscritos copiados en pergamino se han hallado funcionando como cubierta protectora de documentos, práctica frecuente en los archivos, o a modo de 'entretela' de refuerzo en la confección de prendas de vestir o accesorios textiles e, inclusive, adheridos en la estructura interna de instrumentos musicales. Entre las prácticas relativamente recientes y usuales de reutilización de folios manuscritos se encuentra la confección de pantallas para lámparas. En estos casos, con los que no sería raro toparnos en tiendas y ferias de antigüedades, vemos mayormente que se han

Figura 6. Observatorio Unesco Villa Ocampo. **Figura 7.** Casa de remates de la ciudad de Buenos Aires. María Mercedes Rodríguez Temperley.

empleado folios de libros de coro que, por sus grandes dimensiones, resultaban adecuados para la manufactura de este tipo de objetos (figura 7).

Muchas de estas prácticas a las que hemos hecho referencia generalmente se explican por el deterioro de los volúmenes, pero en tiempos más recientes la destrucción o mutilación de libros no responde al entendible pragmatismo que caracteriza una buena parte de estos casos, sino que se debe, la mayor parte de las veces, a la acción de coleccionistas inescrupulosos. Los manuscritos medievales y humanísticos podían estar ricamente ornamentados con letras iniciales de gran tamaño o con ilustraciones, por lo que presentan un gran atractivo estético. Lamentablemente no es nada infrecuente toparse con códices mutilados, sea porque se les había recortado una letra inicial o alguno de sus folios, con gran probabilidad, ilustrado. En muchos casos estos folios, que despiertan admiración por la labor artística de su factura, hoy se exhiben enmarcados, ya carentes de su contexto y finalidad en tanto portadores de textos, como artefactos decorativos.

Un manuscrito de la segunda mitad del siglo XV copiado en Bélgica, perteneciente a la Biblioteca Nacional Mariano Moreno, parece ser un ejemplo de ello. Destinados a la devoción privada, los libros de horas son por lo general códices de pequeñas dimensiones en los que se reúnen himnos, salmos, lecturas y oraciones, que debían ser leídos en distintos momentos del día. Fueron manuscritos que gozaron de una enorme difusión –por lo que no sin razón se los ha llamado *best sellers* de la Edad Media– y solían estar acompañados de miniaturas alusivas a las distintas partes del texto. Al libro de horas de la Biblioteca Nacional le fueron sustraídos dos folios, donde probablemente se hallaban miniaturas a página completa (figura 8).

No es inusual hallar esas partes que se recortaban de los códices con el fin de ser coleccionadas en librerías anticuarias, casas de subastas y sitios semejantes. De estos folios desprendidos de su contexto original se cuentan varios ejemplos en colecciones argentinas. En la Biblioteca Mayor de la Universidad Nacional de Córdoba se halla un bifolio, esto es, una 'hoja' plegada al medio y acabalada con otras para formar uno de los cuadernos de cuyo conjunto se constituía el códice (figura 9). En este caso, el bifolio pertenecía a un salterio, copiado en una cuidada caligrafía y con iniciales alternadas en color rojo y azul. Fue su anterior propietario el diplomático Enrique Ferrer Vieyra. El importante fondo bibliográfico de este coleccionista, constituido por impresos, incunables y manuscritos, forma hoy parte del acervo de la que fue su casa de estudios, a la que fue donado en 2001.

Semejante origen tiene seguramente un folio que perteneció a la colección de Matías Errázuriz y Josefina de Alvear, parte de la cual pasó a integrar los fondos del Museo Nacional de Arte Decorativo en 1937, que funciona desde entonces en lo que fue la residencia del matrimonio en la ciudad de Buenos Aires (imagen de portada). El folio parece haber sido cortado con cuidado, y la presencia de dos iniciales ricamente decoradas sugiere que, por este moti-

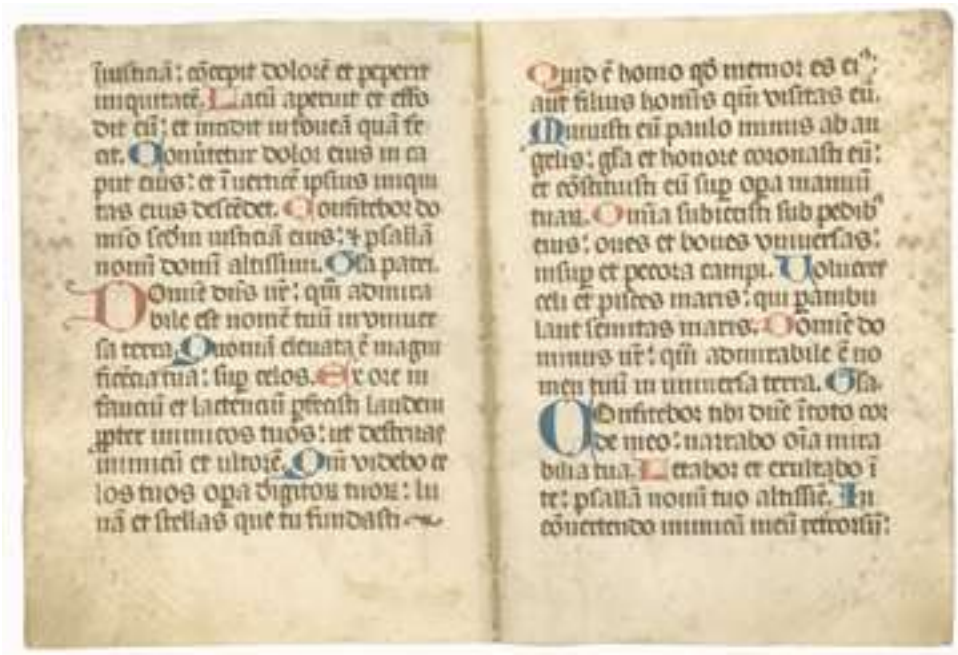


Figura 8. Biblioteca Nacional Mariano Moreno. **Figura 9.** Biblioteca Mayor de la Universidad Nacional de Córdoba. Colección Ferrer Vieyra

vo, fue sustraído de su códice original en el que se transmitía el *Milleloquium veritatis Augustini*, una compilación de extractos de las obras de San Agustín organizadas de manera alfabética. Su autor fue Bartolomeo Carusio, obispo de la ciudad de Urbino entre 1347 y 1350. El códice del que formaba parte este fragmento ha sido escrito a dos columnas, y en este folio se ven, de un lado, una gran inicial correspondiente a la letra *k* para la palabra *kalendae* y, del otro, la letra *l* para introducir la palabra *labor*.

Hasta ahora los fragmentos de libros dispersos en las colecciones argentinas no han recibido demasiada atención. Sin embargo, un fragmento no solo es valioso como testimonio de la historia de la transmisión de un texto, sino que, además, es desde el punto de vista material un elemento más de la historia del libro, especialmente en el caso de los fragmentos que se encuentran alojados en las encuadernaciones de manuscritos o volúmenes impresos. Estos pueden arrojar información sobre la circulación de ciertas obras en momentos y lugares determinados, sobre la obsolescencia de determinados textos, etcétera. Su estudio, catalogación y digitalización permiten dar a conocer partes de la historia que de otro modo quedarían relegadas a los anaqueles de las salas de las bibliotecas o los archivos de los museos. CH

LECTURAS SUGERIDAS

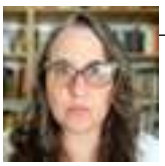
BARBIER F, 2005, 'Los tiempos del manuscrito', en *Historia del libro*, Alianza, Madrid, pp. 17-80.

BARBIER F, 2015, *Historia de las bibliotecas*, Buenos Aires, Ampersand.

CASAZZA R Y DUBA W, 2018, 'Fragmento de una gramática medieval', *Cuaderno de la BN*, 3 (14): 12-13.

CORTI F, 2008, *Officium parvum gothicum, libro de horas de Guillaume de Montbleru: análisis codiciológico, heráldico, iconográfico y estilístico*, Biblioteca Nacional, Buenos Aires.

PALADINO A, VILLALBA M Y MIGUEL M, 2021, entrevista a Analía Fernández Rojo: colecciones bibliográficas especiales, el Catálogo Nacional Unificado de la Biblioteca Nacional Mariano Moreno, *Palabra Clave*, 11 (1), e148. *doi.org/10.24215/18539912e148*, folio 44.



Marcela Borelli

Doctora en filología y hermenéutica del texto, Università del Salento y UNSAM.

Doctora en Filosofía, UBA.

Profesora adjunta de Latín y Filosofía Medieval, UNSAM; ayudante de primera de Latín Filosófico, FFyL, UBA; profesora de Paleografía y Ecdótica, Maestría de Estudios Medievales, UBA.

Investigadora asistente IHUCSO, UNL-Conicet.

mborelli@conicet.gov.ar

Olga Soledad Bohdziewicz

Doctora en letras, UBA.

Jefa de trabajos prácticos de Filología Latina, FFyL, UBA; profesora de Paleografía y Ecdótica y de Introducción al Estudio de la Lengua y los Textos Latinos, Maestría de Estudios Medievales, UBA.

Investigadora adjunta IIBICRIT-Conicet.

soledad.bohdziewicz@conicet.gov.ar

Diego Luna y Héctor Laiz
INTI-Metrología Física

Hacia una nueva definición del segundo

Never measure anything but frequency (Nunca midas otra cosa que la frecuencia).
Arthur Schawlow, premio Nobel de física, 1981

Historia de las mediciones de tiempo

Desde sus inicios la humanidad ha intentado medir el tiempo de manera cada vez más precisa y para eso utilizó los procesos regulares que ocurren en la naturaleza. Los primeros fenómenos naturales utilizados fueron las observaciones astronómicas, como las fases de la Luna, la rotación de la Tierra alrededor del Sol o la que realiza sobre su eje. Con esta información se generaron los primeros calendarios. Estos métodos resultaron apropiados para determinar los días del año, pero se requerían otros procesos para medir actividades de menor duración. Surgieron así otras formas de medir el tiempo con una resolución mejor que un día, como las clepsidras o los relojes de arena. Un avance notable en estas tecnologías mecánicas se da con el descubrimiento de las propiedades de un péndulo hechas por Galileo Galilei, y luego los refinamientos agregados por Christiaan Huygens, ambos en el siglo XVII. Con estos dispositivos ya era posible alcanzar una exactitud de unas decenas de segundos por día. La característica principal de un péndulo ideal es que el período T de sus oscilaciones resulta independiente de la amplitud de oscilación. Solo depende de la aceleración local de la gravedad g y de la longitud l

¿DE QUÉ SE TRATA?

Medición del tiempo. Búsqueda de estándares internacionales.

de su brazo: $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$. Esta relación indica claramente cuál es la limitación en la exactitud de un péndulo. La estabilidad de su oscilación dependerá del valor de la aceleración local de la gravedad al trasladarlo, y lo afectarán también modificaciones en la longitud de su brazo que pueden originarse, por ejemplo, en variaciones de la temperatura o de la humedad.

Motivado por la necesidad de determinar la longitud en las navegaciones transoceánicas y por los premios que se daban a los desarrollos, las técnicas de fabricación de relojes mecánicos y cronómetros continuaron evolucionando durante los siguientes siglos. Los premios se otorgaban en virtud de la Ley de Longitud de 1714, sancionada por el Parlamento de Gran Bretaña. El monto a recibir dependía de la exactitud que alcanzara un desarrollo capaz de determinar la longitud geográfica de una nave en alta mar.

En 1759 el inglés John Harrison (1693-1776) construyó el primer cronómetro capaz de realizar mediciones con un error de solo 0,1 segundos por día. La diferencia principal estaba en su tictac: estaba diseñado para que un segundo correspondiera a cinco oscilaciones de su mecanismo interior. Veremos más adelante que el mismo principio se sigue utilizando hoy en día: cuantas más oscilaciones (sean del tipo que fueren) haya que contabilizar para determinar un segundo, mejor será el desempeño del reloj.

Un gran salto se daría en 1918 con la invención de los osciladores de cuarzo. En este caso, el fenómeno periódico ya no es un sistema mecánico macroscópico, sino una señal electromagnética generada por el efecto piezoeléctrico del cuarzo. Aquí la vibración del cristal produce un campo oscilatorio de una frecuencia bien definida que puede llegar a ser millones de veces más grande que la frecuencia de oscilación de un péndulo. Hoy en día los osciladores de cuarzo se encuentran en prácticamente todos los dispositivos electrónicos.

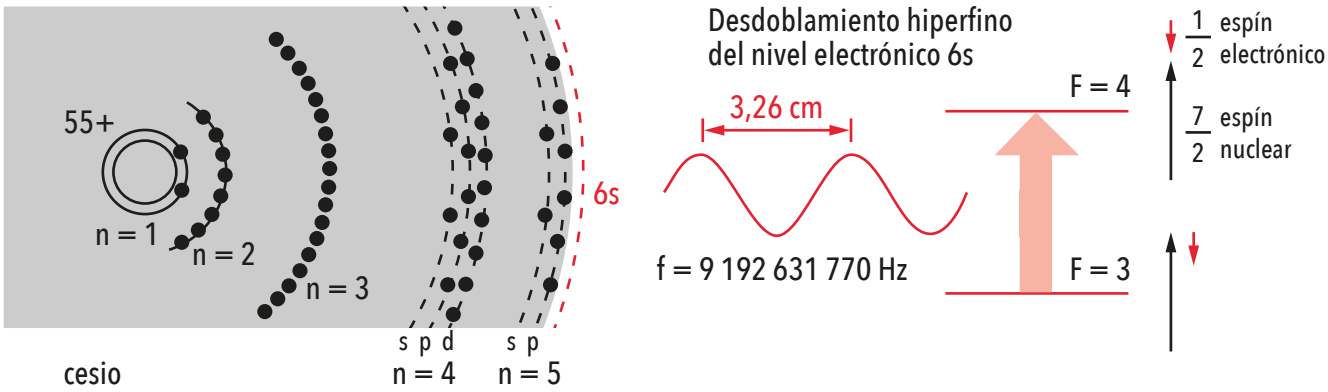
Del tiempo astronómico al tiempo de los átomos

Al igual que con los péndulos, aunque en mucha menor medida, la frecuencia de vibración de los osciladores de cuarzo se ve afectada por parámetros ambientales como temperatura, presión, vibraciones y otros. En consecuencia, la estabilidad de los osciladores macroscópicos puede mantenerse hasta el límite que estas variables macroscópicas puedan controlarse. Es aquí donde la física cuántica ofrece una solución: si se utilizan transiciones electromagnéticas de átomos libres, iones o moléculas para estabilizar la frecuencia de un oscilador, la influencia de parámetros externos resulta mucho menor. El uso de estas referencias para amarrar la frecuencia de un oscilador se basa en el hecho de que la emisión y la absorción de radiación electromagnética en partículas atómicas suceden a frecuencias bien definidas, propias de cada especie atómica.

De acuerdo con el modelo atómico de Niels Bohr, las transiciones que un electrón efectúa en un átomo suceden a una frecuencia relacionada con la diferencia entre las energías de los niveles de partida y de llegada:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

en donde h es una constante que se denomina de Planck. Siguiendo esta idea, en 1955 se construyó el primer reloj atómico, donde la absorción de un fotón sucede entre dos niveles del átomo de cesio 133. Este desarrollo tuvo lugar en el National Physical Laboratory (NPL), del Reino Unido. Inicialmente, el desempeño de este reloj no resultaba muy diferente del de un reloj de cuarzo de la época. Sin embargo, luego de varias mejoras, los relojes atómicos superaron ampliamente a los de cuarzo.



Transición de reloj del átomo de cesio 133 (55 electrones orbitales y 55 protones en el núcleo). El desdoblamiento de un nivel debido a la interacción multipolar del electrón con el núcleo se llama desdoblamiento hiperfino. El electrón de la capa n = 6 (solo se muestra el nivel 6s) puede ubicarse en dos niveles energéticos distintos de acuerdo con que su espín (una propiedad cuántica asimilable a una rotación sobre su eje) esté alineado con el del núcleo, o esté antialineado.

En consecuencia, en la XIII Conferencia General de Pesas y Medidas de 1967 se adoptó al cesio como elemento utilizado en la definición del segundo. Desde entonces hasta la actualidad (2023) solo ha habido algunas modificaciones en la redacción de la definición. Si bien la definición oficial está redactada en francés, una versión en castellano sería la siguiente:

> El segundo, cuyo símbolo es s, es la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades (SI). Se lo define estableciendo el valor numérico fijo de la frecuencia del cesio, $\Delta\nu_{Cs}$, la frecuencia de la transición entre niveles hiperfinos del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, igual a 9 192 631 770 cuando es expresada en unidades de Hz, que es igual a s^{-1}.

Esta definición dio lugar a la creación de la referencia mundial de tiempo, la escala UTC (*Coordinated Universal Time*). Esta escala está compuesta actualmente por más de 400 relojes atómicos distribuidos en 90 laboratorios de todo el mundo. Este paso 'de la hora de los astros a la hora de los átomos' trajo consigo la necesidad de tener que, eventualmente, agregar o quitar un segundo a la hora UTC de modo de mantener 'alineadas' la hora del tiempo atómica (UTC) con la hora definida según la rotación de la Tierra (que llamamos hora UT1). Esta discrepancia de tiempos se debe a que la rotación de la Tierra no es constante. A este segundo que, eventualmente, se agrega o se quita se lo llama segundo intercalar, en castellano, o *leap second* en inglés.

El segundo intercalar en la escala UTC es motivo de debate en la actualidad. El problema que genera reside en el hecho de que UTC no resulta una escala de tiempo uniforme, sino que presenta saltos, como se ve en la tabla. Estos ajustes, de más/menos un segundo, pueden provocar fallas en sistemas informáticos.

Pantalla de reloj digital al momento del agregado de un segundo intercalar.

SEGUNDOS INTERCALARES HASTA 2022

Año	Junio 30	Diciembre 31
1972	+1	+1
1973	0	+1
1974	0	+1
1975	0	+1
1976	0	+1
1977	0	+1
1978	0	+1
1979	0	+1
1980	0	0
1981	+1	0
1982	+1	0
1983	+1	0
1984	0	0
1985	+1	0
1986	0	0
1987	0	+1
1988	0	0
1989	0	+1
1990	0	+1
1991	0	0
1992	+1	0
1993	+1	0
1994	+1	0
1995	0	+1
1996	0	0
1997	+1	0
1998	0	+1
1999	0	0
2000	0	0
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	+1
2006	0	0
2007	0	0
2008	0	+1
2009	0	0
2010	0	0
2011	0	0
2012	+1	0
2013	0	0
2014	0	0
2015	+1	0
2016	0	+1
2017	0	0
2018	0	0
2019	0	0
2020	0	0
2021	0	0
2022	0	0
TOTAL	11	16
	27	

Tecnologías donde la medición del tiempo resulta crítica

Aunque quizá pueda pasar inadvertido, muchas de las tecnologías usadas a diario dependen de niveles de sincronismo que solo pueden alcanzarse mediante relojes atómicos. Entre esas aplicaciones podemos señalar las siguientes:

- *Telecomunicaciones*. Las redes de telecomunicaciones digitales requieren niveles de sincronismo cada vez más exigentes. Actualmente se utilizan relojes atómicos para cumplir con este propósito. Con el advenimiento de las redes 5G, estos requerimientos se verán incluso incrementados.
- *Sistemas de posicionamiento*. Los sistemas de posicionamiento satelital como GPS o Galileo requieren que las señales enviadas por los satélites sean transmitidas en forma sincrónica con exactitudes dentro de los nanosegundos. Para lograr este fin, se utilizan relojes atómicos a bordo.
- PMU. Los dispositivos conocidos como unidades de medición de fasores (PMU, por *Phasor Measurement Units*). Un fasor es una representación en módulo y fase de una señal que se utiliza para el monitoreo de redes eléctricas. Para obtener mediciones confiables de un PMU, el instrumento debe contar con una fuente de sincronización de alta precisión. Esta referencia debe sincronizar el reloj del PMU con UTC para poder comparar las mediciones de fases en sitios separados.
- *High Frequency Trading*. El uso de plataformas electrónicas para el comercio automatizado de acciones comenzó a fines de los años 90. Actualmente se tiende a generar algoritmos que ejecutan compras y ventas de activos según criterios programados. Estas transacciones se suceden con diferencias de tiempo de microsegundos, por lo que son necesarias estampas de tiempo que aseguren la hora de estas operaciones con incertidumbres mejores que el microsegundo con respecto a la hora UTC.

Relojes en la frontera de la ciencia

Las aplicaciones de relojes de alta precisión van mucho más allá de la determinación de la hora para la organización de las actividades cotidianas o aplicaciones tecnológicas. Dentro de su uso en lo que se conoce como frontera de la ciencia, varios campos de estudio basan sus conclusiones en mediciones de frecuencia de la más alta precisión. Entre ellos, podemos nombrar los siguientes:

- *Variación de constantes fundamentales*. En caso de que ciertas constantes fundamentales como la constante de estructura fina α que determina la intensidad de la interacción electromagnética, o el cociente entre la masa del protón y la del electrón, presentaran dependencias espacio-temporales, estas variaciones afectarían la frecuencia de oscilación de distintos relojes según la ubicación y el tipo de reloj. Con el desarrollo de los relojes actuales, ya es posible obtener información respecto de estas variaciones en la búsqueda de nueva física más allá del modelo estándar.
- *Geodesia relativista*. El uso de relojes en el área de la geodesia se basa en el hecho derivado de la teoría de la relatividad general según el cual dos relojes idénticos oscilarán a distintas frecuencias según el potencial gravitatorio al que se encuentren: cuanto menor sea el potencial gravitatorio (i.e., cuanto más cerca de la fuente de gravitación se encuentre el reloj), más lento será el paso del tiempo medido con ese reloj. A la inversa, si se cuenta con relojes con exactitud suficiente y transportables, es posible medir el potencial gravitatorio a partir de cambios en la frecuencia de un reloj.

Hacia una nueva definición

Desde 1967 la definición del segundo está basada en la frecuencia de la transición hiperfina del átomo de cesio. Patrones primarios de cesio pueden hoy realizar esta definición con una incertidumbre del orden de una parte en 10^{16}, o sea, un error en la cifra 16 de la medida. Este es el límite de exactitud que se puede alcanzar debido a la definición actual de la unidad. En paralelo, los patrones basados en cesio han sido superados en los últimos años por los patrones de frecuencias ópticas, típicamente dos órdenes de magnitud mejores. La figura 3 muestra la evolución de la precisión de algunos de los estándares a lo largo de los años. Claramente la precisión de los estándares ópticos ha mejorado al punto de que supera a los atómicos en más de dos órdenes de magnitud (un factor 100). Esto es lo que motiva la necesidad de redefinir el segundo.

Como se mencionó, la definición actual se basa en la radiación que emite una transición del átomo de cesio, la que se ubica en el rango de las microondas (9 192 631 770 Hz). Los patrones de frecuencias ópticas utilizan como referencia la radiación electromagnética emitida por transiciones de átomos o iones (iterbio, estroncio, aluminio y otros) que se ubican en el rango óptico (10^{14} Hz).

Una nueva definición basada en transiciones de frecuencias ópticas permitirá aprovechar el mejor desempeño actual y futuro de los patrones ópticos. Como ya se demostró en los últimos cincuenta años con la definición actual basada en el cesio, una nueva definición y la mejora continua de su realización fomentan la innovación en metrología y ciencia fundamental con el surgimiento de nuevas aplicaciones como las que ya se mencionaron.

Las definiciones de las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) son establecidas por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), a la que acuden los países signatarios de la Convención del Metro (102 países en la actualidad). En la CGPM que tuvo lugar en noviembre de 2022 se aprobó la hoja de ruta para la redefinición del segundo. Para avanzar en este sentido, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) ha establecido las condiciones que deben cumplirse:

- Una mejora de 100 veces en la incertidumbre de la realización en el corto plazo (alcanzando valores de 10^{-19} o 10^{-18} de incertidumbre relativa en frecuencia) con una potencial mejora mayor en el largo plazo.
- Asegurar continuidad con la definición actual basada en el cesio (no existencia de salto en el valor).
- Asegurar continuidad y sustentabilidad en la disponibilidad del nuevo segundo a través de TAI/UTC y permitir una mejora significativa en la calidad del TAI tan pronto como la definición cambie.
- Disponibilidad de la diseminación de la unidad a una categoría amplia de usuarios.
- Aceptación por los institutos nacionales de metrología y otras partes interesadas.

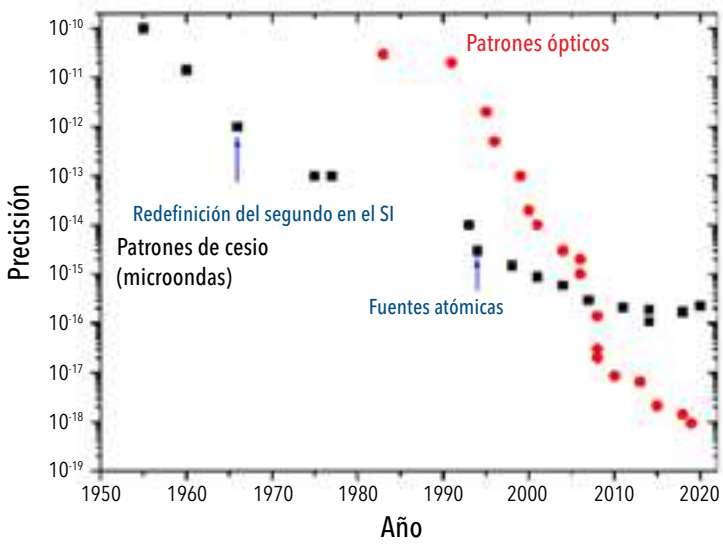
Los desarrollos en curso permiten estimar que las condiciones para la redefinición estarán satisfechas en unos años, estimando que en la CGPM de 2030 se procederá a establecer la nueva definición del segundo. CH

DIFERENTES ESCALAS DE TIEMPO

TAI: el Tiempo Atómico Internacional (TAI) es una escala de tiempo calculada por el BIPM a partir de más de 400 relojes atómicos distribuidos en más de 90 países.

UT: el Tiempo Universal es una escala de tiempo basada en la rotación de la Tierra alrededor de su eje.

UTC: el Tiempo Universal Coordinado (UTC) constituye la referencia internacional de tiempo a partir de la cual se distribuyen referencias de frecuencias y señales horarias. UTC es computada a partir del TAI, insertando segundos intercalares para mantener la referencia atómica en concordancia con la hora derivada a partir de la rotación terrestre.



Evolución de la incertidumbre de los patrones de frecuencia.

LECTURAS SUGERIDAS

LESCHIUTTA S, 2005, 'The definition of the «atomic» second', *Metrologia,* 42 (3): S10.

LEVINE R, 2006, *Una geografía del tiempo*, Siglo Veintiuno, Buenos Aires.

LODEWYCK J, 2019, 'On a definition of the SI second with a set of optical clock transitions', *Metrologia,* 56 (5): 055009.

MARCHON O, 2018, *El 30 de febrero y otras curiosidades sobre la medición del tiempo*, Godot, Buenos Aires.

Diego Luna
Doctor en ciencias físicas, UBA.
Profesor adjunto en UNM y en el Departamento de Óptica y Dimensional. INTI-Metrología Física.
luna@inti.gob.ar

Héctor Laiz
Doctor en ingeniería, Technische Universität Braunschweig, Alemania.
Secretario académico del INCALIN, UNSAM.
Gerente de Metrología y Calidad, INTI.

Griselda Gaiada
UNDEF/ESGN

Vicente Fatone (1903-1962), una voz en el desierto del alma argentina

Fatone, el hombre

Vicente Fatone es una figura que permanece muy poco conocida, pese al hecho de haber contribuido decisivamente a los estudios filosóficos en nuestro país. Algunos datos biográficos pueden servir para situar al pensador, aunque difícilmente para definirlo. Su familia, proveniente de la región de Campania, había emigrado a Buenos Aires a fines del siglo XIX. Sus padres instalaron un puesto de verduras en el Mercado del Abasto, en cuyo ambiente febril encontraría Fatone una verdadera escuela de vida. A ese medio debió su primer contacto con la experiencia del trabajo alienante, así como también con los trabajadores anarquistas que tempranamente lo iniciaron al mundo de la literatura y de las artes. El propio Fatone lo recordaría décadas después al expresar su agradecimiento por aquel viejo telonero italiano que tanto le había enseñado sobre el 'gran teatro del mundo'.

Vicente Fatone fue el último de siete hijos y el primero en acceder a la escuela normal argentina, suscitando la admiración de su maestro de sexto grado, el reconocido normalista José Astolfi. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional Juan Martín de Pueyrredón y, al terminarlos, se inscribió en la carrera de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, pero pronto se desilusionó de la orientación eminentemente práctica de esta. Pasó entonces a la Facultad de Filosofía y Letras, donde tuvo como profesor a Alejandro Korn, de quien se sabe profesaba un secreto interés por la filosofía del Indostán y la mística. Este encuentro marcaría en buena medida el destino intelectual del joven Fatone. La intensa actividad docente que sucedió a la finalización de sus estudios universitarios puede leerse en la entrada que José Ferrater Mora le dedicó en su célebre *Diccionario de filosofía*.

A los treinta y tres años, Fatone fue por primera vez a Calcuta con una beca para estudiar la filosofía hindú antigua, sin saber que el futuro le deparaba regresar a ese mismo país, dos décadas más tarde, en calidad de embaja-

¿DE QUÉ SE TRATA?

La contribución de Vicente Fatone a ampliar el horizonte de la filosofía argentina mediante la incorporación del estudio de la mística.

dor argentino ante el gobierno de Jawāharlāl Nehru. Víctor Massuh, quien lo visitara por aquel entonces, testimonia la enorme consideración que se le tenía en los medios académicos indios, a punto tal que los eruditos pedían su consejo sobre las cuestiones más espinosas del vedantismo. Caracterizado como un 'gran estudioso de las religiones de Oriente' (Klimovsky), como un 'brillante fenomenólogo de la religión' (García Bazán), como un 'hombre superior' (Laudato), como un 'alma de místico' (Caturelli), como uno de los raros 'maestros de la vida espiritual' (Olaso), Fatone fue además, y singularmente, *hombre de una sola piedra*, no solo porque –como dijo alguna vez– el 'filósofo es el poeta de una sola rima', sino también porque supo trabajar la rima hasta hacerla piedra nueva. Si para la mística el conocimiento es conversión, la mística de Fatone no pudo ser simplemente 'objeto' –de curiosidad, de exploración, de estudio–, sino que debió exigirle el tipo de compromiso que se lleva consigo al 'sujeto', conforme a su verdad de que *percipere est esse* (conocer es ser).

Fatone y el olvido

Quizá sea una prueba más de su talla como pensador su destino de Leteo, el olvido generalizado en el que se hundió su memoria entre los argentinos. Oscar del Barco lo atribuye a dos causas: el creciente parcelamiento de la filosofía sobre el modelo de la ciencia y el consecuente olvido de sus interrogantes últimos. Pero a esto debe añadirse una verdad más singular que brota de la personalidad misma de Vicente Fatone: fue en tal medida hombre de una sola piedra que se elevó por sobre cualquier institución, confesión o credo particular. No se convirtió en legado de nadie ni tampoco, como destaca Ricardo Laudato, hizo de nadie *el maestro* ni de libro alguno *la doctrina*. No sabremos si tuvo maestro exterior, pero bien se sabe que quienes lo llevan dentro no precisan buscarlo en otra parte. Semejante rasgo de independencia no podía pasar desapercibido ni resultar gratuito a la luz del partisanismo que tiñe la historia de nuestros hombres e instituciones. Ezequiel de Olaso destaca la lucha que debió librar contra el desdén que despertaba por entonces la sola mención de Oriente. No obstante, Fatone estaba peculiarmente preparado para ello. Sabía, como lo vaticinaba su primer libro, que 'estar en contra de una época y tender a su superación, he ahí algo que patentiza la grandeza de una personalidad'.

El singular estilo fatoniano

Vicente Fatone fue además un escritor prolífico que incursionó en diversos géneros, desde el cuento hasta el ensayo, desde la escritura académica hasta la literatura

Vicente Fatone (izquierda) y su esposa Ana María Guntsche de Fatone en Bombay y Calcuta, India, en su viaje de estudio de filosofía hindú antigua en 1938.
www.facebook.com/fatonevicente

infantil. Pero no es esta versatilidad la que lo caracteriza como escritor, sino su estilo, un estilo tan diáfano que Olaso calificó alguna vez de 'modelo de claridad'. Cualquiera que lo haya leído sabe de lo que aquí se habla y de la dificultad que ello implica, porque tras ese ejemplo de claridad se emboza un pensador profundísimo, que obliga al mayor denuedo intelectual para atisbar el *fondo* oculto en la *forma*. Más aún, con frecuencia la frase aúna de modo tal al pensador y al expositor que en ese *exitus calami*, en ese acto cumplido de la palabra, fracasa toda tarea de diferenciarlos o, mejor dicho, triunfa la mística que sabe ilusoria toda multiplicidad. 'Tú eres aquel', 'aquello es esto', traduce Fatone al explicar los principios del brahmanismo. Por eso, el estilo de Fatone fue tan suyo que alguien, con sobrada justicia, habló de 'prosa angélica'. Lo que él nos ofrece no es simplemente un estudio comparado de la mística, sino su propia *intuición mística* a través del estudio de los grandes místicos, haciendo posible en ese acto *otra* relación del lector con el texto, del sujeto con el objeto. Su prosa de ángel nos invita a mucho más que un acto de lectura, nos invita ni más ni menos que a un acto de participación creadora.

La letanía del 'neti, neti' en la mística de Fatone

Fue gracias a Vicente Fatone que la filosofía argentina pudo ampliar su horizonte mediante la incorporación del pensamiento místico especulativo de diferentes culturas, especialmente las de Oriente. En innumerables ensayos dedicados al tema brilla su singular estilo, así como en sus libros, entre los que se destacan *Sacrificio y gracia* (1931), *El budismo nihilista* (1941), *Introducción al conocimien-*

Vicente Fatone con Jawāharlāl Nehru en Rashtrapati Bhavan, presentando credenciales en 1957.
www.facebook.com/fatonevicente

En el complejo de la mezquita Qutub Minar, 1958.
www.facebook.com/fatonevicente

to de la filosofía de la India (1942) y, muy particularmente, el primero de ellos, *Misticismo épico* (1928), escrito a los veinticinco años de edad. En él ya se encuentra *in nuce* la 'rima' que se desplegaría en su obra posterior y que puede desagregarse en tres tesis fundamentales: 1) la negación de toda parcialidad en el conocimiento de Dios; 2) la seguridad del acceso al misterio por vía de la mística, y 3) la incomunicabilidad de la experiencia mística. La primera tesis explica cierta desconfianza suya hacia la filosofía, cuando esta es considerada como el único punto de vista válido para abordar los problemas últimos. A esta extralimitación la llamó en unas notas inéditas 'filosofismo'. En realidad, Fatone creía que una filosofía coherente y profunda desembocaría, de una manera u otra, en la mística.

Si la mística es 'misterio', ninguna de las tres facultades del ser humano puede constituirse en la sola vía de acceso: ni la *voluntad* mediante sus mandatos o actos; ni la *inteligencia* mediante sus conceptos o dogmas; ni el *sentimiento* mediante la vivencia íntima de lo religioso. La mística no solamente no se resuelve en las alternativas de un trilema –ética, metafísica o filosofía del sentimiento–, sino que implica su negación misma. La primacía de una facultad sobre otra no puede ser más que afirmación de la parcialidad en el conocimiento, a cuya actitud opone Fatone la letanía de su tema central, sintetizada en la fórmula del sánscrito '*neti, neti*' (no es así, no es así), como respuesta a la tentativa de apresar el misterio en una forma determinada. De este modo se llega a la tercera tesis fatoniana: la experiencia mística es incomunicable, porque está más allá de la razón, más allá de la voluntad y más allá de la emoción religiosa. La distinción de facultades no implica división, así como tampoco la distinción de las personas divinas niega la unidad. La entrega del misterio traerá consigo una 'nueva forma' en la que las potencias del alma se compenetren solidariamente para abismarse en la unidad del ser divino. Pero aun así el alma, en cuanto tal, se ve impedida de penetrar en el fondo que persigue; deberá dar un paso más allá, en el cual se revela el sentido último de la experiencia mística como negación. Solo en la negación de sí, en la supresión de toda forma en que se expresa el verbo, se dará la experiencia del *mysterium magnum*. Porque, como nos lo recuerda Fatone citando a Meister Eckart, 'nada determinado puede mirar al único uno; ni siquiera Dios'. Y nada determinado, menos aún nuestro menesteroso lenguaje, podría comunicar la experiencia del misterio que sobrepasa al verbo.

Leibniz a la luz de la mística de Fatone

Si para Fatone 'el filósofo es el poeta de una sola rima', su rima no será patrimonio de una cultura particular, sino expresión de lo universal tal como fue manifestado en cada cultura particular. No hay en tal sentido una mística de Oriente y otra de Occidente, ni superioridad de una por sobre la otra. O, mejor dicho, el estudio comparado que obliga a su distinción no impide su resolución última en una misma verdad común. De ahí que Fatone pudiera decir que, en el fondo, todos los grandes místicos dijeron exactamente lo mismo. La frase citada de Eckart se vuelve así una confirmación del 'budismo nihilista' o del sentido de la 'inexistencia' en los himnos védicos. Pero también es reflejo del especial interés que Fatone mostró por la

tradición mística germánica. Por ende, no es de extrañar que dedicara a Leibniz uno de sus ensayos recogidos bajo el título *Temas de mística y religión* (1963).

Podríamos haber elegido hablar aquí de Eckart, Boheme o Silesius, todos ellos grandes místicos que formaron parte del núcleo de las inquietudes fatonianas, pero la decisión de hacerlo en Leibniz tiene sus razones. En primer lugar, responde al poco conocimiento que en general se tiene de una de las mentes más brillantes de todos los tiempos; en segundo lugar, al hecho de que la lectura de Fatone revoluciona en más de un sentido el canon que ha hecho escuela en los estudios leibnizianos, y que se debe en buena medida al marcado surco que dejaron, desde comienzos del siglo XX, dos grandes de sus intérpretes: Bertrand Russell y Louis Couturat. Fatone, sin embargo, toma a Leibniz por el otro extremo, esto es, recordando la tradición ancestral en la que puede verse inserta la metafísica leibniziana.

Leibniz, nos dice, revive un viejo pensamiento que animó las primeras concepciones religiosas: el de la ley eterna que precede a los dioses en dignidad y no puede siquiera ser violada por ellos. El origen de toda cosa debería entonces ser buscado primero en la ley y luego en Dios, cuya realidad toda se explicaría como efecto de esa misma ley. Sin embargo, Leibniz no quiere aceptar las consecuencias que se seguirían de un dios sujeto a una ley superior, rigiendo irrevocablemente su vida interior. Entonces, decide colocar la verdad eterna de esa ley dentro del entendimiento divino, hacerla un efecto suyo. Y así ocurre, para el Leibniz de Fatone, que el entendimiento de Dios se vuelve origen de la ley y de toda verdad eterna. Gracias a ello, 'se realizan' allí los individuos posibles y se ordenan en jerarquía los mundos a los que ellos pertenecen. De esa manera se producen las condiciones para que, como se sabe, intervenga la voluntad a fin de *crear* el mejor de los mundos posibles, según la jerarquía que le muestra entendimiento. No obstante, como bien advierte el argentino, algo extraño se ha producido. Esta creación debida a la voluntad no es *stricto sensu* creación, porque en ella 'la voluntad nada crea y nada cambia: elige, simplemente', del mismo modo en que lo hace el hombre al resolverse entre los objetos que están a su alcance. Pero pensar a Dios sobre el modelo del hombre resulta cuanto menos algo sospechoso. Por eso es que Fatone se empeña en develar otro sentido de la creación en Leibniz. Sabe bien que crear a partir de la posibilidad (*creatio ex possibilitate*) no es más que elegir entre objetos ya dados; acto muy poco digno de Dios. Sabe también que no es crear a partir de la nada (*creatio ex nihilo*) y que esta exigencia debe estar de algún modo presente en una metafísica profunda como la de Leibniz. La resolución fatoniana es pasmosa contemplada desde la ortodoxia, pero genial admitida la exégesis: nos encontraríamos, afirma, ante *dos creaciones*. En una de ellas, el entendimiento divino se confunde con la potencia infinita para 'crear' los posibles; en la otra, interviene la voluntad para crear el mejor de los mundos posibles.

Lo que se sigue de esta interpretación tiene múltiples aristas y hondas implicancias. Solo cabe decir aquí que, en todas ellas, Fatone desnuda como nadie el destino paradojal de la metafísica, del que Leibniz es tan solo una más de sus confirmaciones, y tal vez una de las más brillantes. Confiar a nuestra razón la verdad del misterio teogónico es una faena destinada al fracaso, cosa que, pese a todos sus esfuerzos de racionalización, no pudo, no obstante, pasar desapercibida a Leibniz. El gran racionalista dijo alguna vez que solo a los místicos les había sido reservada la *experiencia* del 'sentimiento vivo de la fuerza del espíritu', aunque 'algo pueda decir también sobre esto un verdadero filósofo'. Curiosa expresión, la mayoría de las veces ignorada por el lector de la *Teodicea*, sobre la cual Fatone nos invita a reparar con su ejemplar claridad: 'Algo, no mucho; y decirlo, nada más'; eso es todo lo que puede hacer el filósofo frente a lo que no admite mediación alguna. Si la mística es experiencia de esa presencia que es ausencia de verbo y modo, entonces, confrontada al logos, no le queda más que expresarse como una letanía de negaciones: *neti, neti, neti*... CH

LECTURAS SUGERIDAS

FATONE V, 2009, *Temas de mística y religión*, Las Cuarenta-Universidad Nacional de Córdoba, Buenos Aires.

GARCÍA BAZÁN F, 1980, 'Vicente Fatone y la filosofía de la religión en la Argentina', *Cuyo*, 13: 25-40.

LAUDATO RR, 1998, 'Vicente Fatone: un *letrado cumplido* en América', *Espéculo*, 9. ucm.es

MASSUH V, 1975, *Nihilismo y experiencia extrema*, Sudamericana, Buenos Aires.

OLASO E de, 1967, 'Una *mystica perennis*', *Journal of Inter-American Studies*, 9 (4): 576-590.

Griselda Gaiada

Doctora en filosofía, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
Profesora titular, Universidad de la Defensa Nacional/Escuela de Guerra Naval.
Investigadora adjunta del Conicet.
magriseldag@hotmail.com

Lisandro Otero
Instituto de Biotecnología Ambiental y Salud (INBIAS), Conicet-UNRC

Jimena Rinaldi y Hernán R Bonomi
Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Buenos Aires (IIBBA), Conicet-FIL

Se hizo la luz para las bacterias

La luz solar es una fuente de energía esencial para la vida. Mediante el proceso de la fotosíntesis se produce alimento, del cual dependen directa o indirectamente casi la totalidad de los seres que habitan el planeta. Además de ser fuente de energía, la luz es una señal ambiental que brinda a los seres vivos información espacial y temporal de enorme importancia para su supervivencia.

La variación cíclica de la luz solar con un período de aproximadamente 24 horas informa a los organismos cuándo comienza el día y cuándo la noche y, de acuerdo con la cantidad de horas de luz y oscuridad en el día, permite estimar la estación del año transitada (días largos y noches cortas en verano, lo contrario en invierno). Por otra parte, *la intensidad y calidad de luz* pueden indicar el momento del día, ya que en la mañana predominan las longitudes de onda azules respecto de las rojas, mientras que al atardecer esa relación se invierte. También, la intensidad y calidad de la luz pueden informar sobre el entorno, como por ejemplo si una semilla está bajo tierra, si una planta tiene vecinos que le hacen sombra, o, en organismos acuáticos, el nivel de profundidad donde se encuentran. Cuanto más profundo, dominan las longitudes de onda menores (próximos al azul) y más en superficie longitudes de ondas mayores (hacia el rojo). La luz es percibida por fotorreceptores que suelen ser proteínas altamente especializadas. Los fotorreceptores fueron descubiertos primero en plantas y animales, pero sabemos actualmente que están presentes en todos los reinos de la vida.

¿DE QUÉ SE TRATA?

De cómo una señal lumínica recibida por una bacteria es transmitida como señal bioquímica y esta genera una respuesta biológica.

La luz y las bacterias

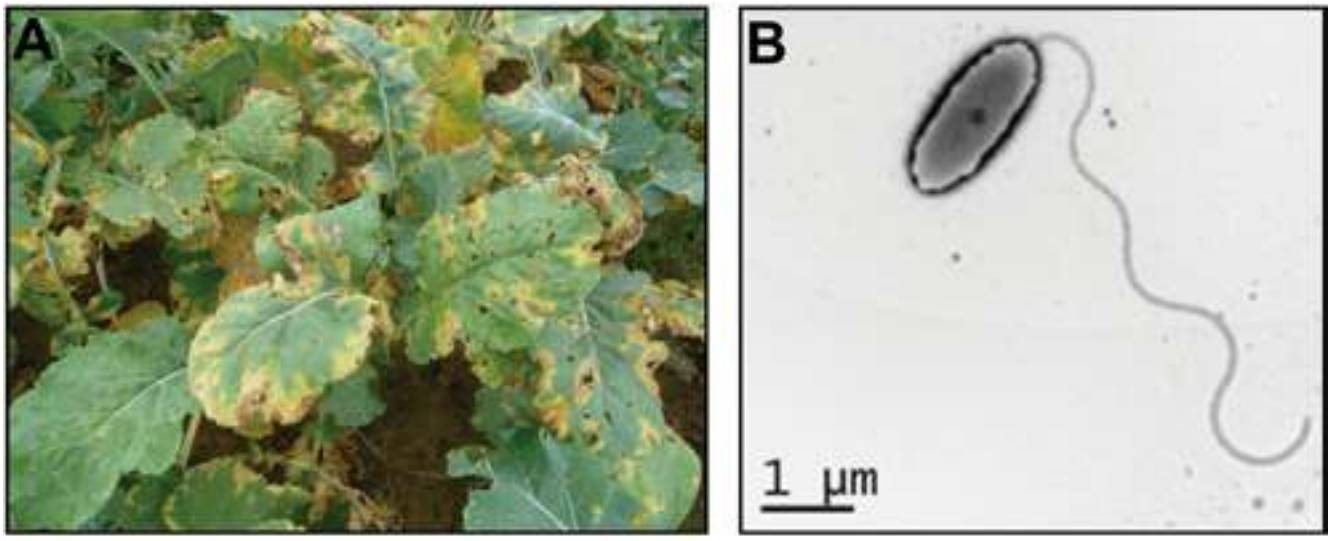
Por mucho tiempo, las bacterias se consideraron insensibles a la luz, a excepción de las bacterias *fotótrofas*, las cuales utilizan la luz solar como fuente de energía. En estas, los fotorreceptores controlan la producción de moléculas encargadas de la fotosíntesis y de la captación de luz. El descubrimiento de fotorreceptores en bacterias no fotosintéticas (por ejemplo, *Deinococcus radiodurans*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis*), a comienzos de este milenio, desafió la opinión de que solo los organismos fototróficos eran capaces de percibir la luz. Estudios posteriores en bacterias *quimiótrofas* han identificado una gran variedad de fotorreceptores (por ejemplo, bacteriofitocromos, criptocromos, fotoliasas, rodopsinas, proteínas LOV, PYP, BLUF). Posteriormente se descubrió en diferentes especies de bacterias quimiótrofas que la luz gobierna el modo de vida a través de los fotorreceptores, por ejemplo, favorece la vida unicelular libre versus las comunidades bacterianas adheridas a superficies (estas últimas conocidas como *biopelículas* o *biofilms*) o interaccionando con un *hospedador*.

En el Laboratorio de Inmunología y Microbiología Molecular dirigido por Fernando A Goldbaum, de la Fundación Instituto Leloir, Buenos Aires, descubrimos que la luz modula el estilo de vida de bacterias que establecen relaciones *mutualistas* o *parasitarias* con distintos hospedadores. En 2007 reportamos que la luz percibida por el fotorreceptor de luz azul tipo LOV en el patógeno *Brucella abortus*, responsable de la brucelosis, incrementa la capacidad de estas bacterias para infectar células del sistema inmune de mamíferos. Luego, en 2012, demostramos que *Rhizobium leguminosarum*, una bacteria simbionte y beneficiosa del suelo que se asocia con las raíces de la planta leguminosa de la arveja y que forma nódulos en los que fija nitrógeno atmosférico, puede también detectar la luz mediante un fotorreceptor de tipo LOV y estimular su interacción con la planta.

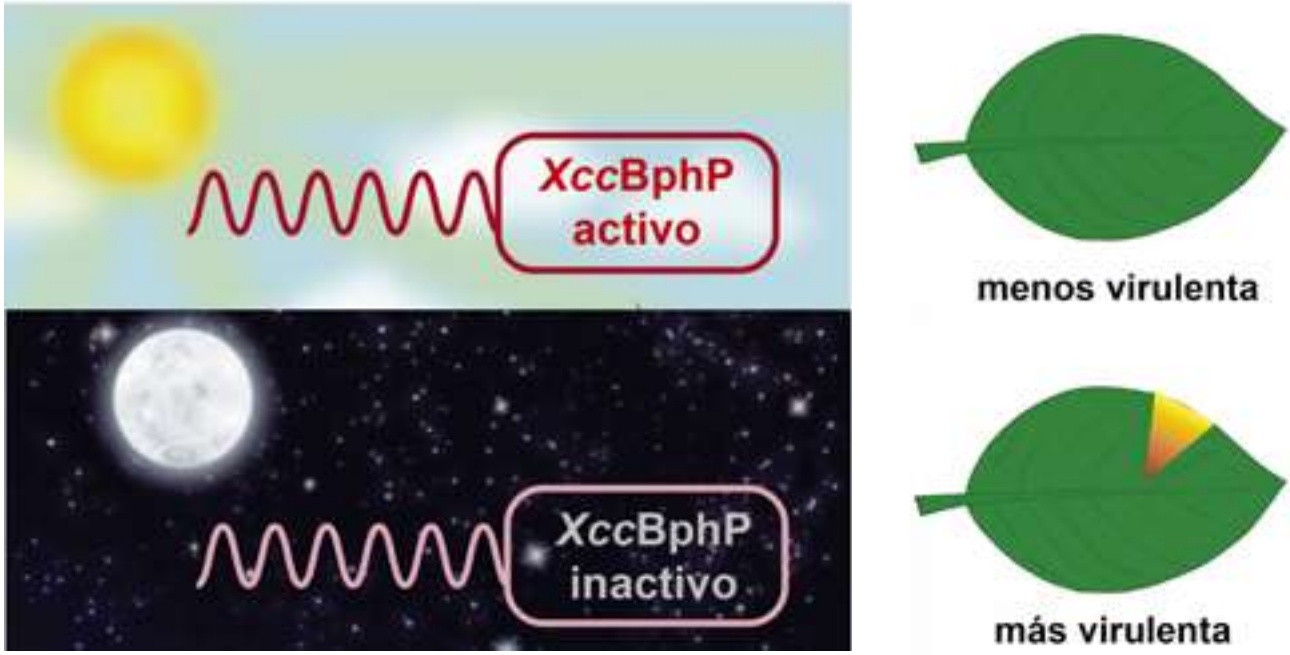
Nuestro enfoque se amplió también hacia proteínas de la familia de los receptores de luz roja llamados *fitocromos*. En 2016 reportamos que la luz afecta la capacidad infectiva de *Xanthomonas campestris*, la principal bacteria fitopatógena responsable de la podredumbre negra en cultivos de plantas crucíferas importantes a nivel mundial, regional y particularmente en la Argentina (por ejemplo, brócoli, repollitos de Bruselas, repollo, coliflor, rábano). Los métodos actuales de control del patógeno siguen siendo esencialmente los mismos que hace décadas, como por ejemplo la utilización de soluciones basadas en cobre sobre los cultivares, eliminando las plantas infectadas y adoptando técnicas preventivas (uso de variedades resistentes, evitar la fertilización en exceso, etcétera). Nuestro laboratorio demostró que *X. campestris* percibe la luz a través de su fitocromo llamado XccBphP y que este funciona como regulador de la virulencia. Estos resultados proporcionaron evidencia sobre la participación de un fotorreceptor en un proceso infeccioso.

Los fotorreceptores bacterianos

Los fotorreceptores son proteínas que absorben luz de longitudes de onda dentro del rango UV, visible generalmente a través de la unión de moléculas pequeñas llamadas cromóforos. En particular los fotorrecep-



La bacteria fitopatógena *Xanthomonas campestris*. **A.** Lesiones típicas de la infección con *X. campestris* en nabo. Foto de S Scheufele / Universidad de Massachusetts Amherst, Estados Unidos. **B.** Microscopía electrónica de una célula de *X. campestris*, modificada de Vicente y Holub (2013).



Esquema del rol de la luz y del bacteriofitocromo de *X. campestris* en la virulencia de la bacteria. Durante el día, cuando la proporción del bacteriofitocromo *Xcc*BphP en estado activo es elevada, la virulencia está inhibida, mientras que durante la noche, cuando la proporción de *Xcc*BphP activo disminuye y la del estado inactivo aumenta, la virulencia de la bacteria es más alta.

VER PARA CREER, TÉCNICAS DE RESOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE MACROMOLÉCULAS

La biología estructural es la rama de la biología destinada a describir la estructura y el ensamblaje de las macromoléculas biológicas (principalmente proteínas) para caracterizar a nivel molecular y atómico sus modos de acción. Usando una variedad de técnicas, los científicos logran definir las coordenadas atómicas de las moléculas en tres dimensiones, es decir, la ubicación en el espacio de los átomos que las componen. Con esta información es posible entender cómo se ensamblan y cómo funcionan. Esto ayudó a los investigadores a comprender cómo en los sistemas biológicos los miles de moléculas diferentes de cada célula trabajan coordinadamente. Una analogía sería tomar fotos a los engranajes de una máquina que no sabemos cómo funciona. Integrando toda la información disponible sobre esa máquina, más esas fotos, es posible hacer un modelo detallado de su funcionamiento y mecanismos internos. Esta analogía es válida debido a que las proteínas actúan como 'máquinas moleculares'. Asimismo, los estudios estructurales ayudan a entender cómo las moléculas con formas anómalas dan lugar al mal funcionamiento de procesos biológicos y, como resultado, estos estudios han impulsado nuevos tratamientos para muchas enfermedades.

Existen diferentes técnicas que, a partir de distintos principios físicos, otorgan información estructural con diverso grado de detalle o resolución. Las técnicas más ampliamente utilizadas para obtener información a nivel atómico son la resonancia magnética nuclear (RMN), la cristalografía de rayos x y la microscopía electrónica en condiciones *criogénicas* (cryo-EM, por su sigla en inglés). Todas tienen como resultado final la generación de coordenadas atómicas, es decir, modelos con información acerca de la ubicación espacial de cada átomo que compone la molécula.

En el caso de RMN, la muestra de macromoléculas en solución es sometida a un campo electromagnético generado por un potente imán oscilante. Este campo interacciona con los núcleos atómicos que absorben energía y genera señales características de acuerdo con el entorno en el que se encuentran los núcleos (por ejemplo, la proximidad con otros núcleos o electrones vecinos). Las señales permiten inferir las estructuras o conformaciones más abundantes de la macromolécula.

En cristalografía de rayos X se obtienen *cristales* de proteínas, los cuales son irradiados con rayos X. Este tipo de radiación interactúa con las nubes electrónicas de las moléculas generando *patrones de difracción* en tres dimensiones que son colectados en detectores ultrasensibles. Los patrones de difracción permiten obtener mapas de densidad electrónica de las moléculas cristalizadas y de esa manera resolver sus estructuras tridimensionales.

Más recientemente surgió la técnica de cryo-EM, en la que la muestra es congelada rápidamente en etano líquido a unos -180°C para formar hielo vítreo (no cristalino) pudiendo atrapar proteínas en distintas conformaciones. La muestra es expuesta al microscopio electrónico que utiliza un haz de electrones (en lugar de luz visible, como en los microscopios ópticos), en donde los electrones al atravesar los átomos de la muestra se dispersan ligeramente generando imágenes las cuales se conocen como proyecciones. Debido a que las proteínas quedan ubicadas aleatoriamente en la ultradelgada película de hielo se obtienen numerosas proyecciones 2D desde distintos ángulos, a partir de las cuales mediante cálculos computacionales se genera una reconstrucción 3D precisa de la estructura de la proteína.

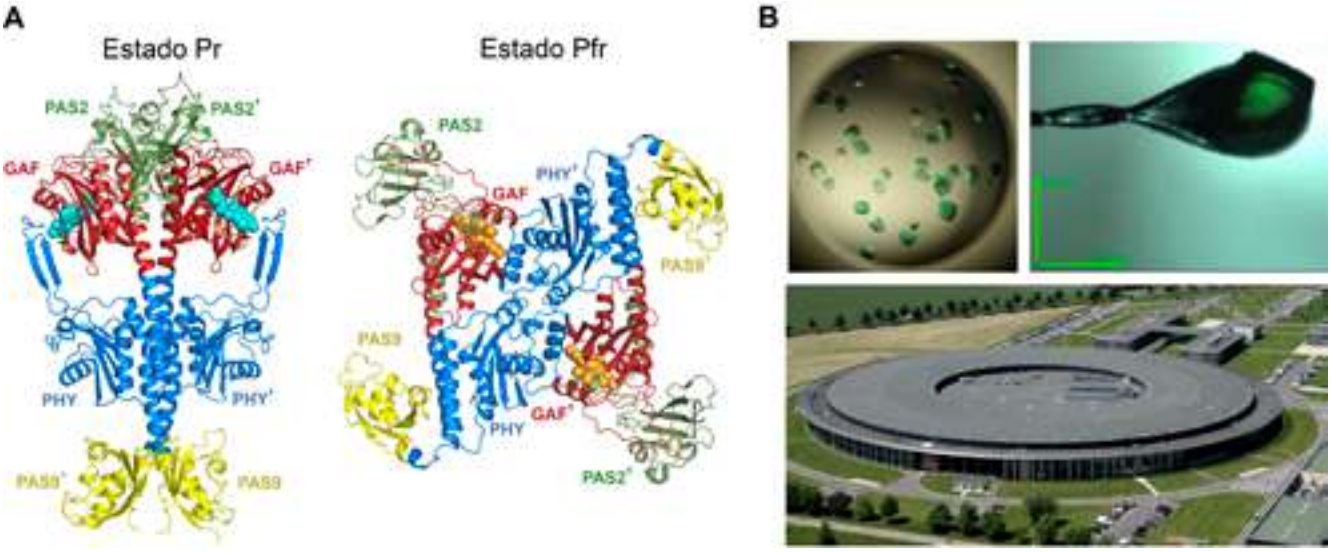
tores bacterianos suelen ser *proteínas* que presentan dos módulos: un módulo fotorreceptor, encargado de la percepción de la luz, y un módulo de salida, es decir con alguna función biológica, por ejemplo con actividad enzimática, unión a ADN, o unión a otras proteínas. Existen en la naturaleza diversos tipos de módulos fotorreceptores que perciben desde la luz ultravioleta hasta el infrarrojo, incluyendo todos los colores intermedios como el azul, verde, amarillo y rojo.

Fotociclo de fitocromos. Los fitocromos alternan entre dos fotoestados principales: el estado Pr que absorbe luz roja y el estado Pfr que absorbe luz del rojo lejano. La luz roja induce la conversión del estado Pr al estado Pfr. La luz del rojo lejano induce la conversión del estado Pfr al estado Pr. En oscuridad, ocurre una conversión lenta hacia el estado Pr o hacia el estado Pfr, dependiendo del tipo de fitocromo que se trate.

Una pregunta central en el campo de los fotorreceptores es cómo una señal física, como la luz, puede ser percibida por una proteína y convertida en una señal bioquímica para posteriormente dar una respuesta biológica. Una característica distintiva de los fotorreceptores es la alternancia entre diferentes estados conformacionales llamados *fotoestados*. Para poder comprender los mecanismos de percepción de la luz y los cambios funcionales asociados a la fotopercepción es necesario contar con información estructural del fotorreceptor en los distintos fotoestados. Recientemente, en el laboratorio hemos abordado esta pregunta utilizando a *Xcc*BphP como molécula modelo de estudio.

Los bacteriofitocromos

Los bacteriofitocromos son proteínas fotorreceptoras capaces de absorber la luz de color rojo y rojo lejano mediante dos fotoestados principales denominados Pr y Pfr, respectivamente. Para comprender el funcionamiento de esta maquinaria a nivel molecular, nos propusimos describir a *Xcc*BphP en sus dos estados fundamentales. Para ello, obtuvimos información estructural a nivel atómico, es decir, desciframos la ubicación tridimensional de los átomos que componen la proteína y cómo ellos cambiaban su posición en la transición entre Pr y Pfr. Esto lo realizamos utilizando la técnica cristalografía de rayos X para



Estructura tridimensional del bacteriofitocromo de *Xanthomonas campestris* en estado Pr y estado Pfr. **A.** Estructuras cristalográficas de *Xcc*BphP en ambos estados, tomada de Otero *et al.* (2021). Los diferentes dominios que conforman la proteína están representados en distintos colores: PAS2 en verde, GAF en rojo, PHY en azul y PAS9 en amarillo. El cromóforo biliverdina ubicado dentro del dominio GAF se muestra en esferas cian (Pr) y anaranjadas (Pfr). El módulo fotorreceptor está conformado por la tríada PAS2, GAF, PHY. El módulo de salida, responsable de transmitir los cambios conformacionales impulsados por la luz en una señal fisiológica específica, está constituido por el dominio PAS9. Las estructuras muestran una reorganización del plegado de la proteína entre los dos estados, en donde el Pr tiene una conformación llamada dimérica paralela cabeza-cabeza, mientras que el Pfr una conformación llamada dimérica antiparalela cabeza-cola. **B.** Cristales de *Xcc*BphP y su montaje en *loops* (arriba) para irradiación con rayos X en el *sincrotrón* SOLEIL de Francia (abajo). Foto Synchrotron SOLEIL/CAVOK Prod.

la que es necesario obtener cristales de la molécula en estudio, exponerlos a rayos X y así obtener patrones de difracción, a partir de los cuales se infiere la estructura de las moléculas que componen cada cristal. Conocer dichas estructuras permitió establecer los cambios conformacionales que ocurren en el fotociclo de XccBphP cuando alterna entre Pr y Pfr con alta precisión.

Hasta la fecha ningún grupo de investigación en el mundo había sido capaz de caracterizar a nivel atómico los dos fotoestados de un fitocromo en su versión natural y completa, impidiendo generar modelos precisos del funcionamiento de estas proteínas. La descripción estructural y molecular que hemos realizado en XccBphP descifra uno de los mayores enigmas sobre el mecanismo funcional de fitocromos y abre nuevos horizontes en la caracterización de los procesos que esta familia de fotorreceptores regulan en bacterias, así como también en plantas, hongos y algas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BEATTIE GA, HATFIELD BM, DONG H & MCGRANE RS, 2018, 'Seeing the light: The roles of red- and blue-light sensing in plant microbes', *Annual Review of Phytopathology*, 56: 41-66.

BONOMI HR, TOUM L, SYCZ G, SIEIRA R, TOSCANI AM, GUDESBLAT GE, LESKOW FC, GOLDBAUM FA, VOJNOV AA & MALAMUD F, 2016, '*Xanthomonas campestris* attenuates virulence by sensing light through a bacteriophytochrome photoreceptor', *EMBO Reports*, 17 (11): 1565-1577.

GOMELSKY M & HOFF WD, 2011, 'Light helps bacteria make important lifestyle decisions', *Trends in Microbiology*, 19 (9): 441-8.

OTERO LH, FOSCALDI S, ANTELO GT, ROSANO GL, SIRIGU S, KLINKE S, DEFELIPE LA, SÁNCHEZ-LAMAS M, BATTOCCHIO G, CONFORTE V, VOJNOV AA, CHAVAS LMG, GOLDBAUM FA, MROGINSKI MA, RINALDI J & BONOMI HR, 2021, 'Structural basis for the Pr-Pfr long-range signaling mechanism of a full-length bacterial phytochrome at the atomic level', *Science Advances*, 7 (48): eabh1097.

VICENTE JG & HOLUB EB, 2013, '*Xanthomonas campestris pv. campestris* (cause of black rot of crucifers) in the genomic era is still a worldwide threat to brassica crops', *Molecular Plant Pathology*, 14: 2-18.

OTROS

www.nigms.nih.gov/education/fact-sheets/Pages/structural-biology.aspx

www.nigms.nih.gov/education/Booklets/The-Structures-of-Life/Documents/Booklet-The-Structures-of-Life.pdf

GLOSARIO

Biopelícula o *biofilm*: película fina y viscosa de bacterias adherida a una superficie.

Calidad de luz: tonalidad o color de la luz. La luz puede describirse desde el punto de vista físico-matemático con una onda periódica. La calidad está relacionada con la longitud de onda o frecuencia.

Condiciones criogénicas: condiciones de temperaturas extremadamente bajas, generalmente aceptadas por debajo de -153 °C.

Cristal: forma organizada de la materia en estado sólido en la cual las moléculas se repiten en el espacio de manera regular siguiendo un esquema determinado que se reproduce en forma y orientación.

Fitocromo: proteína pigmentada que se puede encontrar en plantas, bacterias, hongos y algas que actúa como fotorreceptor para la luz roja y roja lejana.

Fotoestado: estado de los fotorreceptores que pueden ser de reposo o excitación y que exhibe propiedades biofísicas y funciones biológicas particulares y definidas.

Fotótrofo: organismo capaz de producir compuestos orgánicos complejos y adquirir energía para alimentar su metabolismo a partir de la luz.

Hospedador: organismo que alberga a otro organismo.

Intensidad de luz: es la cantidad de luz o el flujo luminoso (número de fotones por unidad de área por unidad de tiempo). La luz puede describirse desde el punto de vista físico-matemático con una onda periódica. La intensidad está relacionada con la amplitud de la onda.

Patrón de difracción: patrón característico claro-oscuro en el espacio constituido por puntos, rayas, anillos, etcétera, y creado por la interferencia (constructiva y destructiva) de las ondas lumínicas al propagarse a través de una rendija o una red cristalina.

Proteína: compuesto orgánico complejo constituido por una o más cadenas polipeptídicas, cada una de estas formada por cincuenta o más aminoácidos unidos químicamente.

Quimiótrofo: organismo capaz de utilizar compuestos inorgánicos reducidos como sustrato para obtener energía y utilizarla en el metabolismo respiratorio.

Relación mutualista: relación entre dos especies que resulta beneficiosa para ambas.

Relación parasitaria: relación entre dos especies en la que una de las especies, la parásita, se beneficia del organismo hospedador que resulta perjudicado.

Sincrotrón: Instalación en forma de anillo donde se aceleran electrones a velocidades cercanas a la de la luz para generar un tipo de radiación llamada 'luz de sincrotrón', dentro de la cual se encuentran los rayos X.

Lisandro Otero
Doctor en ciencias biológicas, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).
Investigador adjunto, UNRC-Conicet.
Profesor auxiliar efectivo, UNRC.
lhotero@exa.unrc.edu.ar

Jimena Rinaldi
Doctora en química biológica, UBA.
Investigadora adjunta, FIL-Conicet
jrinaldi@leloir.org.ar

Hernán Bonomi
Doctor en química biológica, UBA.
Investigador adjunto, FIL-Conicet.
hbonomi@leloir.org.ar

En ocasión de su admisión a la Academia Nacional de Geografía como académico titular, en 2022, el profesor Pablo Jacovkis ofreció una disertación sobre la interrelación entre ambas disciplinas. Ciencia Hoy *decidió publicarlas en cuatro partes de lectura independiente.*

Pablo Miguel Jacovkis
UNTREF

Matemática y geografía: una historia compartida

Parte 3: la matemática aplicada a problemas de geografía

Un tipo de problema estadístico que se presenta muchas veces, en hidráulica fluvial, es el de tener estimación de la probabilidad de una crecida inusual (por ejemplo, una crecida centenaria, que en el lenguaje de los hidrólogos es una crecida con una probabilidad de uno en cien de producirse). De más está decir lo importante que es esa estimación, dado que puede permitir un cálculo de cuánto riesgo se está dispuesto a correr. Para obtener esa estimación se analiza con cuidado el régimen del río bajo estudio (teniendo en cuenta, si se quiere ser más perfeccionista, una tendencia posible a modificación de régimen del río debida por ejemplo al calentamiento global) y, a partir de los máximos anuales en los puntos de interés, se ajustan dichos datos a diversas distribuciones estadísticas; si todo va bien, se pueden simular crecidas de diferente probabilidad. En particular, este análisis es clave en un proceso de diseño de represas: una represa se diseña para que resista una crecida de determinada probabilidad. Algo en cierto sentido similar sucede durante la construcción de represas: el problema (típico en este tipo de obras) es qué hacer cuando viene una crecida importante: si la crecida es muy importante, hay que evacuar el obrador, y si no, no. Ahora bien, por supuesto la decisión hay que tomarla con cierta anticipación, cuando no está claro cuán importante será la crecida, y entonces se pueden cometer dos tipos de errores, que usando terminología de estadística llamaré errores de tipo I y errores de tipo II. Si la hipótesis 'nula' es que la crecida no será tan grave como para tener que ordenar la evacuación del obrador y el director de obra cree que sí habrá una inundación del obrador, por lo cual será necesario evacuarlo (también se podría decir

¿DE QUÉ SE TRATA?

La relación histórica y actual entre las matemáticas y la geografía.

un 'falso positivo'), habrá un costo económico importante por días de suspensión de obra, más el costo del traslado de los equipos sin ninguna necesidad. Y si, a la inversa, el director de obra considera que la crecida es 'normal', o sea no provocará inundación del obrador, y sí lo provoca ('falso negativo'), también el costo es alto (probablemente más alto) debido no solamente a los días sin trabajar, sino a que, eventualmente, varios equipos se pueden arruinar.

Hace muchos años trabajé en un modelo predictor de crecidas con este enfoque durante la construcción de la represa de Salto Grande, que tomaba en cuenta los pronósticos de lluvias en la alta cuenca, dividida en subcuencas. Cada día se tomaban las predicciones de lluvias en la alta cuenca, que se propagaban mediante un modelo de ecuaciones diferenciales por los ríos de la cuenca, y cada día era necesario actualizar algunos datos predichos, reemplazándolos por los conocidos en ese momento. Y esto nos lleva a otro problema, esta vez de *clustering*, o agrupamiento: los pluviómetros existentes no son necesariamente representativos de las subcuencas (definidas por razones geográficas) con las que se trabaja: los pluviómetros –sobre todo en un país no muy desarrollado– están en general en lugares poblados (estaciones de ferrocarril, por ejemplo). Acá vale la pena el siguiente comentario: por supuesto que usualmente se dispone de gran cantidad de datos, pero eso no quiere decir que existan grandes cantidades de datos para todas las variables que queremos utilizar: en los países subdesarrollados pueden faltar datos impensables en un país desarrollado, e incluso en los países desarrollados puede haber zonas donde no hay suficientes datos. Un lindo ejemplo de esto es Australia: basta mirar en internet un mapa de Australia que indique la densidad de pluviómetros para observar las enormes áreas casi sin cobertura, aunque eventualmente pudiera ser útil tener dicha cobertura. ¿Cómo asignar entonces pluviómetros a subcuencas? El problema matemático de *clustering*, o agrupamientos, es el siguiente: si se tiene una cantidad de conjuntos (en geografía es común que esos conjuntos representen regiones, en este caso subcuencas) y una cantidad de objetos 'individuales' (puntos, por ejemplo), a qué conjunto asignar cada punto, mediante una función matemática discriminatoria que represente el motivo por el cual queremos hacer tal asignación. Aclaro que más difícil es un problema previo, que a veces se presenta, de decidir cuántos y cuáles serán los conjuntos, y a partir de allí comenzar la asignación (por supuesto que el estudio, cualitativo o cuantitativo, de los puntos influye en la determinación de los conjuntos). Así se puede resolver, discretizando cada cuenca en áreas más pequeñas (o sea, los conjuntos a los cuales se asignan datos de pluviómetros no son las subcuencas sino esas áreas más pequeñas) que reciben la parte proporcional de lluvia del pluviómetro asignado, pero con un algoritmo que tenga en cuenta que, desgraciadamente, hay días en que un pluviómetro no funciona, porque no se midió (recuerden que no está todo automatizado, y mucho menos en esa época y en esos lugares), o porque no llegó la transmisión.

El cálculo de los caudales y de las alturas de los ríos en diversos puntos puede llegar a ser un problema importante si se quiere diseñar represas, prevenir inundaciones, construir puentes, o realizar otras actividades similares. Mediante el uso de grandes modelos matemáticos en una, dos o tres dimensiones (si se trata de una dimensión, es la del flujo longitudinal del caudal del río; si se trata de dos, puede ser, además del longitudinal, el transversal o el vertical), y conociendo la forma del correspondiente río a lo largo de su recorrido se puede, conociendo algunos datos hídricos en algunos puntos a lo largo del tiempo, reconstruir (si se quiere saber valores históricos), experimentar (es decir, calcular los valores que hay bajo diversas hipótesis de esos valores 'extremos' conocidos) o predecir (si se quiere saber valores futuros, para lo cual los datos hídricos a los cuales me referí antes no son conocidos sino predichos, por razones meteorológicas, por ejemplo, gracias a la previsión de lluvias). Esos grandes modelos matemáticos usan complicadas ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, cuya teoría y solución (usualmente numérica, no suele haber, salvo casos muy simples, solución analítica) han constituido avances importantes en matemática pura y aplicada. Concretamente, el sistema de dos ecuaciones diferenciales hiperbólicas en derivadas parciales casi lineales que rigen el flujo unidimensional de un río (las ecuaciones de Saint-Venant de la hidráulica fluvial) puede ser resuelto numéricamente; además, se puede agregar una ecuación adicional para indicar el transporte de material de fondo, y una cuarta ecuación, esta última parabólica, si se quiere modelizar también las partículas en suspensión (por ejemplo, contaminantes) que eventualmente pueden decaer o resuspenderse, de acuerdo con la velocidad del agua.

De hecho, es muy interesante observar que en el informe sobre prolongación del ferrocarril central-norte Metán-Salta-Jujuy publicado en los *Anales de la Sociedad Científica Argentina* en 1884 (informe de una precisión y meticulosidad notables, que muestra la visión de futuro del país de la generación de 1880, lo cual a veces da envidia por comparación) figura la siguiente frase (se está analizando la construcción de los puentes ferroviarios necesarios para dicha prolongación del ferrocarril):

> Río Chicoana: no ha sido posible formarse una idea exacta del volumen de agua que puede conducir este río en tiempos de creciente.

En esa época no se tenían los elementos matemáticos (métodos de solución numérica de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales) ni computacionales (computadoras sobre las cuales se pudieran hacer los cálculos) como para poder solucionar este problema. Ahora, por el contrario, uno se puede formar una idea razonablemente exacta.

En todo lo relacionado con el transporte la relación entre matemática y geografía es muy estrecha. Por un lado, la construcción de ferrocarriles y rutas siempre necesita un asesoramiento geográfico importante (la ruta más corta no es necesariamente la mejor, por supuesto, o el puerto o el aeropuerto deben ser construidos en un lugar óptimo en el cual los criterios geográficos son fundamentales) y las variables que intervienen (costo de construcción y mantenimiento, carga de mercadería –o de pasajeros– prevista a lo largo de un horizonte de varios años, y su correspondiente beneficio, costo de la energía necesaria para el transporte y otras variables de más difícil cuantificación pero cada vez más importantes, como reemplazo de energía contaminante por energía limpia, satisfacción del usuario, política de regionalización o de desconcentración humana, etcétera) están sujetas a restricciones físicas o legales que implican la necesidad de llevar a cabo modelos de optimización bajo restricciones (sean estas lineales, no lineales, discretas) o modelos de simulación donde se 'experimenta numéricamente' bajo distintas alternativas, que requieren la aplicación de métodos matemáticos desarrollados esencialmente a partir de la Segunda Guerra Mundial, incluyendo entre estos, si la simulación es estocástica (o sea, si se intenta obtener resultados que dependen también parcialmente del azar), el curioso fenómeno de 'representar' las probabilidades por medio de algoritmos computacionales, lo cual parecería un contrasentido (cómo se puede simular resultados probabilísticos en un aparato –la computadora– que produce resultados determinísticos), pero no lo es gracias a la invención de sucesiones seudoaleatorias de números, es decir, números que, aunque por supuesto fueron generados mediante procedimientos determinísticos, se comportan como si fueran aleatorios, en el sentido de que, si bien no son aleatorios, un estadístico profesional no puede detectar esa falta de aleatoriedad, incluso con las poderosas herramientas actualmente a su disposición.

Siguiendo con el transporte, en la construcción de ferrocarriles en la Argentina, en particular en los dos ferrocarriles transandinos que Argentina y Chile supieron llevar a cabo (el de Mendoza-los Andes y el de Salta-Antofagasta), las consideraciones geográficas fueron fundamentales y provocaron numerosas discusiones en que intervino la matemática, así sea para calcular (en muchos casos con bastante dificultad) posibles costos y beneficios. Valga comentar que en la accidentada historia de la construcción del ferrocarril de Mendoza a los Andes el primer proyecto, que no llegó a concretarse, tenía del lado argentino una participación fundamental del matemático e ingeniero Emilio Rosetti, uno de los profesores italianos incorporados al flamante Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires en 1865, tras gestiones de las autoridades argentinas; cuando se ve que en ese momento, en un país pobre, casi ignorado, inmerso en una guerra horrible con Paraguay, guerra que se complicó con una casi guerra civil, hubo voluntad política –como la que hubo para atraer al científico Hermann Burmeister unos pocos años antes– de apostar por la ciencia, por la tecnología y por el desarrollo, uno se queda admirando a esa generación de estadistas, profesionales e intelectuales que llevaron a cabo la organización nacional. En ese sentido, es necesario, a mi juicio, una revalorización completa del ferrocarril como medio de transporte; para deprimirse basta observar la casi suicida actitud argentina respecto de los ferrocarriles con la de varios países (Canadá, Australia, Rusia, India, China, Sudáfrica) de inmensa geografía, algunos de ellos de desarrollo menor que el nuestro que, en lugar de abandonarlo como medio, lo han reforzado, como ejemplo de camino a seguir. Tuvimos una red de ferrocarriles que, a pesar de sus defectos (esencialmente, embudo hacia Buenos Aires y tres trochas diferentes), fue un orgullo para nuestro país y Latinoamérica. Debemos volver a tenerla.

Pero la relación entre geografía, matemáticas y transporte es más amplia: después de la Segunda Guerra Mundial se produjo en los países desarrollados un aumento del nivel de vida que permitió a gran cantidad de familias de clase media (y unas cuantas de clase obrera) poder adquirir automóviles para su uso particular (antes de la Segunda Guerra Mundial ese fenómeno se había producido solamente en los Estados Unidos). Aumentó la construcción de rutas, en muchos casos autopistas, y la cantidad de vehículos en circulación provocó que los atascamientos se produjeran con desagradable frecuencia. Y apareció la matemática, de nuevo, en forma muy original: la teoría de flujo de tránsito en rutas se pensó como una versión de dinámica de fluidos, bajo ciertas restricciones, y aparecieron las ecuaciones hiperbólicas correspondientes. El libro de Ashton de 1966 resume muy bien esa idea, que se les ocurrió a los brillantes matemáticos Michael Lighthill y Gerald Whitham, y que plasmaron en un artículo seminal en 1955 (e independientemente a Paul I Richards, cuyo artículo fue publicado en 1956). El análisis de flujo de tránsito puede llevar a construcciones de rutas adicionales, o de rutas con más carriles, tema en el cual obviamente interviene la geografía, y en el cual es mucho mejor, tanto por razones de diseño como por razones de costo, que los eventuales embotellamientos futuros puedan ser predichos y, por consiguiente, con modificación del diseño original, evitados. CH

Pablo Miguel Jacovkis

Doctor en matemáticas, UBA.
Profesor emérito, UBA.
Secretario de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF).
pablo.jacovkis@gmail.com

Crossfit cerebral N.° 16

Ilusiones y juegos matemáticos

El trato

Hoy vengo a proponerles un trato: le doy, a quien acepte, un millón de pesos. En efectivo, en mano. Pero no es un regalo, es una especie de préstamo, en el que se ofrecen las siguientes opciones a modo de devolución:

Opción A. En el momento en que le doy el millón, usted me da una moneda de 10 centavos de peso, y llamamos a ese momento el 'día 0'. A partir de ahí, y hasta llegar al día 30 (inclusive), cada día me da el doble de lo que me dio el día anterior. Por ejemplo, en el día 1 me daría $0,20, en el día 2 serían $0,40, por el día 3 corresponden $0,80, y así, hasta llegar al día 30. Más aún, en un rapto de generosidad, y teniendo en cuenta la escasez de monedas, voy a perdonar todo lo que me deba desde el día 0 hasta el día 29, y le voy a cobrar solamente lo que corresponda al día 30 según este proceso.

Opción B. Esta opción es similar a la anterior pero con dos modificaciones: monto inicial y cantidad de días. El mecanismo es el mismo, pero se comienza en el día 0 con 1 centavo de peso, es decir, con $0,01. Además, como esto corresponde a la décima parte del inicio de la opción previa, seguiremos con el proceso unos días más que en ella: voy a pedir que se duplique cada día el monto del día anterior hasta llegar al día 35, inclusive. Así, en el día 1 debería darme $0,02, en el día 2 serían $0,04, y así hasta llegar al día 35. Nuevamente, y ya que de estas monedas hay aún menos que de las otras, no voy a cobrarle nada de lo que corresponda a los días 0 a 34, y la deuda será solamente lo que deba abonarme el día 35 según lo indicado.

Claramente, si usted acepta, todo se hará por medio de un contrato en el cual deberá constar la opción elegida. La pregunta es, entonces: ¿acepta? En tal caso, ¿qué opción elige?

Goles que desaparecen, copas que quedan (percepción mundialista, parte 2)

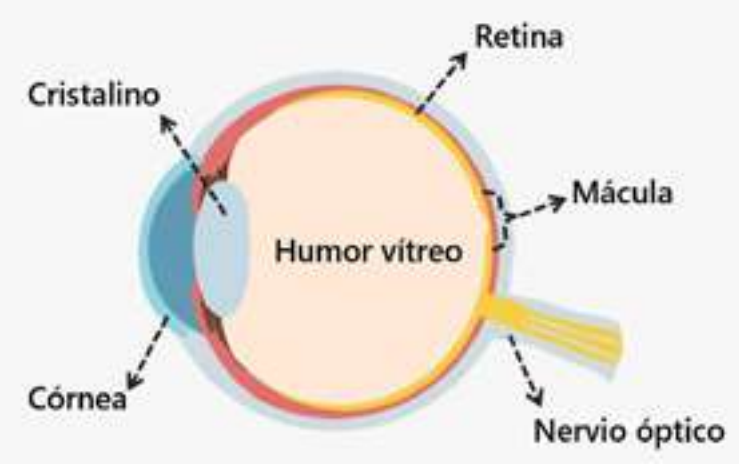
Para continuar con la serie de ilusiones mundialistas, en esta oportunidad te proponemos que con una mano te tapes el ojo derecho, mires fijamente la copa y te acerques lentamente a ella *sin perderla de vista*. Deberías poder encontrar una distancia a la cual la pelota desaparece completamente de tu visión periférica; más aún, es como si se rellenara esa zona con la información del entorno: un fondo blanco. Podés intentar lo mismo pero mirando la pelota y tapándote el ojo izquierdo.

¿Te imaginás a qué puede deberse este fenómeno? Como te adelantamos en la parte 1 de esta serie de ilusiones mundialistas, nuestros ojos tienen un punto ciego: en todo momento, miremos a donde miremos, siempre hay un sector 'vacío', un agujero, en donde en realidad no hay nada. Pero… ¿cómo puede ser esto? Básicamente, en cada ojo existe una región de la retina que no contiene las células fotorreceptoras indispensables para nuestra visión, conocidas como conos y bastones.

De esta forma, la luz atraviesa la córnea, el cristalino y el humor vítreo, y se enfoca en la mácula, una zona con alta concentración de conos. Los conos están encargados de la visión central y nos permiten percibir los colores, mientras que los bastones están relacionados con la visión periféri-

ca, la detección de movimiento y la visión nocturna. Estas células se encuentran en distintas proporciones según la región de la retina y están ausentes donde atraviesa el nervio óptico conectando el ojo al cerebro, tal cual se muestra en el esquema.

Sin embargo, es probable que te estés preguntando cómo nunca habías notado este fenómeno antes. ¿Cómo es posible que vayamos por la vida sin darnos cuenta de que tenemos un 'vacío' en nuestra visión? Esto se debe en parte a que nuestro cerebro logra compensar la información faltante de un ojo con la información del otro, en conjunto con los datos que recolecta del entorno. Entonces, para los puntos ciegos en la cancha tenemos el VAR, y para los puntos ciegos de nuestra visión tenemos a nuestro cerebro.



Ajedrez y grafos I

0. Comentarios previos

En lo que sigue, vamos a mencionar grafos. No hace falta complicarnos la vida con definiciones precisas, simplemente pensemos en algunos puntos (los vértices) y ejes que conectan pares de puntos de este conjunto (las llamaremos aristas).

También hace falta recordar cómo se mueve la dama en un tablero de ajedrez: tantas casillas como quiera en la misma la fila, columna o diagonal en la que está ubicada, sin saltar por encima de piezas que obstruyan su camino. Para indicar las casillas, tenemos la notación cartesiana letra-número, por ejemplo a1 es la esquina inferior izquierda.

1. Un problema de ajedrez

El gran maestro Maurice Ashley propuso hace unos días en Twitter *(@MauriceAshley)* un problema interesante: en la figura, ¿la dama puede hacer once jugadas consecutivas, comiendo un peón en cada una? El negro no hace jugadas, solo el blanco mueve.

2. El origen de los grafos

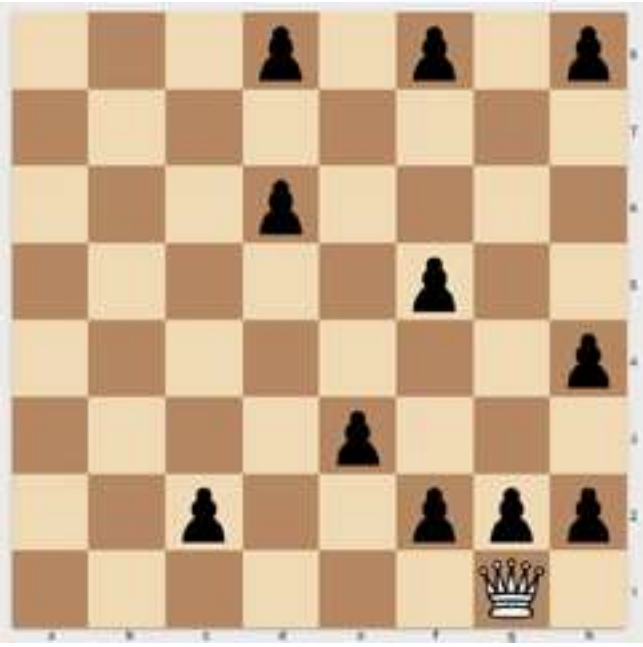
El padre de todas estas ideas es Euler, si bien es más conocido otro problema suyo, el de los puentes de Königsberg: recorrer distintas islas y riberas de un río pasando por todos los puentes que las conectan sin pasar dos veces por el mismo puente. En lenguaje de grafos, el problema es recorrer todas las aristas de un grafo sin pasar dos veces por la misma arista. El problema anterior nos pide recorrer todos los vértices sin pasar dos veces por el mismo (porque la dama ya comió al peón).

Los grafos aparecen naturalmente en el problema si pensamos cada peón del tablero como un vértice de un grafo, y le asignamos una arista que conecta dos peones si la dama puede comer uno y desde ahí comer el otro.

Creo que Euler estaría feliz con el problema inicial, por las nuevas variantes que aparecen. Veamos un detalle interesante.

En la posición de la figura, la dama puede ir a comer el peón en h2, pero luego no puede comerse el peón de f2, porque hay uno bloqueando en g2. Pero si come primero el de g2, luego puede comer el de h2, y ahora sí el de f2.

Cada captura modifica el grafo, eliminando vértices y sus aristas, y creando nuevas dado que remueve obstrucciones. Así que el segundo problema que les queremos plantear es que piensen problemas nuevos de este estilo. Les agradeceríamos mucho que los compartan por mail, y los publicaremos en ediciones futuras.



Soluciones:

El trato

Si elige la opción A deberá pagar $107.374.182,4, es decir, más de 107 millones de pesos (si no lo cree, tome la calculadora y escriba 0,10 * 2, lo que dará el monto del día 1, multiplique el resultado por 2 para obtener el monto del día 2, y así sucesivamente hasta llegar al día 30). Si elige la opción B su deuda en el día 35 será de $343.597.383.68, es decir, ¡más de 343 millones! Claramente, no conviene aceptar el trato. Esto, que resulta tan contrario a la intuición, es consecuencia de la velocidad del crecimiento exponencial: en el día *N*, el importe correspondiente es igual a 2^N veces lo que paga en el día cero.

Ajedrez y grafos I

La dama captura en el siguiente orden: g2-h2-d6-d8-h4-h8-f8-f5-c2-f2-e3.

Equipo de la sección 'Ilusiones y juegos matemáticos'

Federico Barrera Lemarchand
Físico, UTDT, UBA-Conicet.
fedex192@hotmail.com

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

Giulia Solange Clas
Bióloga, INEU, FLENI-Conicet.
clas.giulia.s@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

Mariano I Martínez (coordinador)
Biólogo, MACN-Conicet.
mmartinez@macn.gov.ar

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

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

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) 4029 6033
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