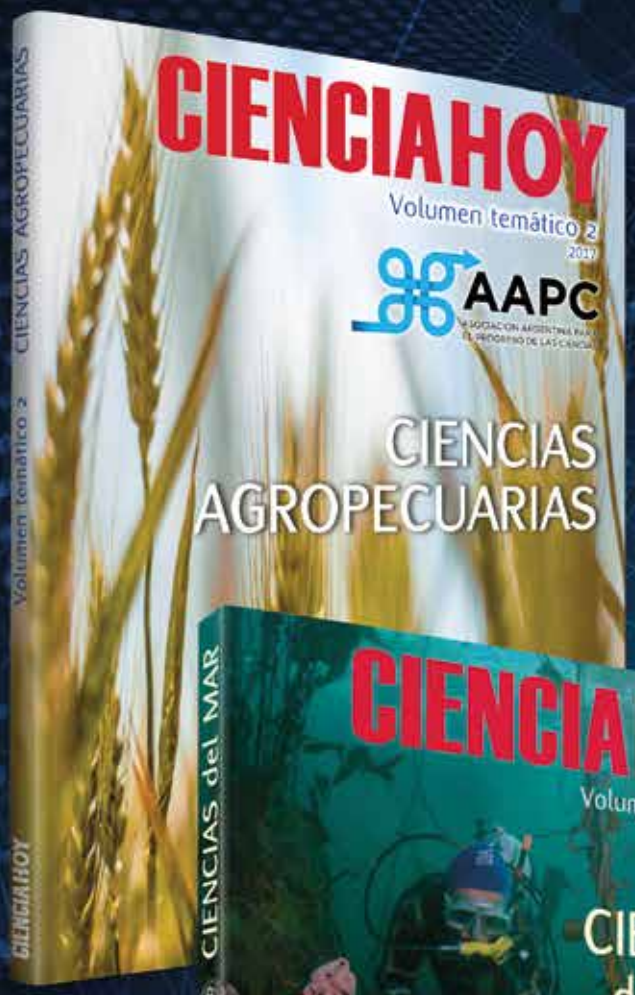
CIENCIA HOY

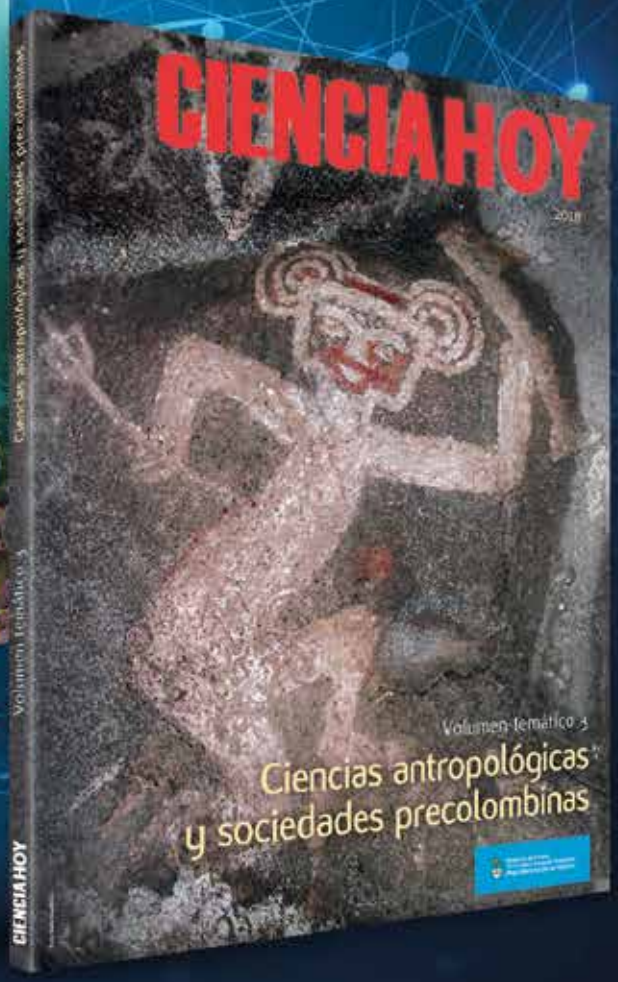
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 30 número 177 octubre - noviembre 2021
Ejemplar en la Argentina $400

Osteodermos
Armados hasta la piel

100 años del descubrimiento de la insulina
20 años del telescopio solar submilimétrico
Cañones submarinos
Las vegas
Género y tecnología

9 770327 121009 00177





CIENCIA HOY

CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS

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

@CienciaHoyOK RevistaCienciaHoy Tel (011) 4961 1824 /4962 1330

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Aníbal Gattone

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

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

cienciahoy.org.ar

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

Editores responsables

Sebastián Barbosa
TECtv. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación

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

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

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

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

Aníbal Gattone
Universidad Nacional de San Martín

Karina V Mariño
Instituto de Biología y Medicina Experimental-Conicet

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

José X Martini
–en uso de licencia–
Asociación Ciencia Hoy

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

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

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

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

Consejo científico

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

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

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

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

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $3000 (incluye envío)
EXTRANJERO: 6 números, US$ 27 + envío

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

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

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

ISSN 0327-1218
N° de registro DNDA 75312285

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

Corrección
Mónica Urrestarazu

Impresión
4 Colores SA
Santa Elena 948 (C1278ACN)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: **(a)** divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; **(b)** promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; **(c)** estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; **(d)** editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; **(e)** promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; **(f)** colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

COMISIÓN DIRECTIVA

Omar Coso (presidente), 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).

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.

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

@revistacienciahoy

@CienciaHoyOK

Sumario

Octubre - noviembre 2021
Volumen 30 - número 177

EDITORIAL

4 Dilemas en el camino a la igualdad

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

6 Volumen 6, número 35 - 1996

8 Grageas

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

12 Ciencia en tu vida

MEMORIA DE LA CIENCIA

16 El centenario de la insulina

Mora Massaro

Este año 2021 se cumplen cien años del descubrimiento de la insulina, una hormona esencial en la regulación del metabolismo. Un hito que ha salvado la vida de millones de personas y cuya historia atraviesa diferentes áreas de la ciencia, que involucran la medicina y la tecnología.

ARTÍCULO

18 Armados hasta la piel: histología de osteodermos

Denis A Ponce

Nuevos aportes en el estudio de osteodermos basados en mejores técnicas y nuevos equipos, en conjunto con otras fuentes de información (morfológicas), permiten ajustar mejor el tipo de inferencias que pueden hacerse en especies extinguidas.

ARTÍCULO

25 Las vegas: hidrosocioecosistemas esenciales de las regiones andinas

Carlos Navarro, Ricardo Grau y Salomón Hocsman

Las vegas son humedales de altura presentes en la puna argentina caracterizados por la presencia de agua dulce y valores elevados de productividad vegetal. Por estas razones principalmente, fueron y son esenciales para el desarrollo de las poblaciones humanas que, mediante el manejo de sus componentes, promueven su estabilidad en el tiempo, configurando complejos y diversos sistemas socioecológicos.

ARTÍCULO

32 Los cañones submarinos del Margen Continental Argentino

Graziella Bozzano, Roberto A Violante, Fermín I Palma, Daniela V Spoltore y Alejandro A Tassone

Los cañones submarinos son valles labrados en sentido transversal a los márgenes continentales de todo el mundo. Su estudio en el Margen Continental Argentino permite avanzar en el conocimiento de la morfología del territorio sumergido, otorgando así mayores herramientas para la exploración y conservación de sus recursos naturales en beneficio de las generaciones futuras.

ARTÍCULO

39 Modificación antrópica del paisaje de la Región Metropolitana de Buenos Aires

Fernando X Pereyra, María Clara Cornacchia, Marina Corvalán y Jazmín Silvestrini

La geomorfología estudia la formación y evolución del relieve y el paisaje que se encuentran condicionados principalmente por la geología y el clima. En los últimos siglos, la acción humana se ha convertido en uno de los principales agentes geomorfológicos debido a su creciente capacidad modificadora. A nivel global y regional, las actividades humanas inciden sobre los procesos geomorfológicos y las variables que los condicionan, mientras que a escala local su acción es directa sobre el paisaje. La Región Metropolitana de Buenos Aires presenta claros ejemplos de estas modificaciones antrópicas directas sobre el paisaje.

ARTÍCULO

48 ¿Quién desarrolla la tecnología que usamos?

Consuelo López

La vida diaria de los habitantes del planeta está cruzada por la tecnología. Para su desarrollo se necesitan grandes equipos de personas que trabajen coordinadamente. Este artículo es una primera aproximación al estudio de los equipos que desarrollan la tecnología que usamos a diario. Las diversidades de género y cultural funcionan como determinantes a la hora de elegir qué tecnología desarrollar y para quién.

ILUSIONES Y JUEGOS MATEMÁTICOS

53 *Crossfit* cerebral N.° 9

59 Veinte años del telescopio solar submilimétrico

Guillermo Giménez de Castro, Cristina Hemilce Mandrini y Jean-Pierre Raulin

El telescopio solar submilimétrico (*Solar Submillimeter Telescope* o SST por su sigla en inglés) es un radiotelescopio único para observar diariamente la actividad solar en un rango de frecuencias poco explorado. Hace más de veinte años este instrumento, fruto de la colaboración científica entre Argentina y Brasil, fue instalado en la Argentina frente a la cordillera de los Andes.

Dilemas en el camino a la igualdad

Las disparidades en el ámbito profesional conducen a menudo a revisar los fundamentos conceptuales y los resultados de la llamada 'acción afirmativa', definida como un intento de intervención excepcional sobre el mercado de trabajo con el objetivo de asegurar la representación de sectores sociales considerados desfavorecidos. El término, acuñado en la década de 1960 en los Estados Unidos, estaba fundado originalmente en un principio igualitario: invitaba a asegurar un trato justo en el empleo y condiciones justas de contratación 'sin atender a criterios raciales, de color, religiosos, sexuales o nacionales'. Más allá de este criterio igualitario, sin embargo, la 'acción afirmativa' pronto derivó en acciones tales como el establecimiento de 'cupos' o 'cuotas de diversidad', los que pueden ser entendidos como herramientas de 'discriminación positiva'.

Ahora bien, ¿cuál es el fundamento conceptual de la llamada 'acción afirmativa'? Imagínese el lector dos equipos con igual cantidad de miembros compitiendo en una carrera, en la cual uno de los equipos inicia la carrera con una ventaja significativa. Probablemente, este último arribaría con holgada diferencia a la meta. Si esto se repitiese por muchas generaciones de corredores, alguien podría marcar la injusticia, y sugerir que todos los corredores partieran de la misma línea a la salida. Sin embargo, la experiencia a nivel logístico quizá significaría que, aun comenzando en la misma línea, el circuito por sus características tendería a favorecer al mismo equipo a lo largo del trayecto. Así percibido el problema, ¿qué instrumentos podrían sugerirse para compensar esta desigualdad de origen? ¿Se podría tal vez igualar el acceso a los sistemas de soporte, de modo tal que una injusticia temporaria corregiría a otra generada y normalizada a lo largo del tiempo?

Esta divergencia de criterios nos convoca en el presente editorial. ¿Las injusticias deben resolverse mediante un refuerzo del principio de igualdad natural entre los seres humanos o más bien deben atenderse mediante la aplicación de un criterio de excepcionalidad que asegure una representación proporcional o equilibrada de diversas identidades colectivas? Intentemos pensar el problema desde una perspectiva histórica. A lo largo de su existencia, la especie humana ha tendido a la organización gregaria, a forzar identificaciones colectivas, a establecer jerarquías esenciales. Etnia, religión, descendencia, fenotipo y sexo han sido siempre criterios de jerarquización estáticos. Desde hace al menos unos doscientos años, sin embargo, nuestra civilización parece ensayar por primera vez el principio jurídico de igualdad natural y absoluta entre congéneres. A pesar de las enormes resistencias y los permanentes desafíos que recibe, este principio se ha convertido en una ley fundamental en buena parte del planeta –el contraste se hace cada vez más evidente con aquellas otras sociedades donde aquellos valores son secundarios o inexistentes–. La autonomía individual, antes entendida como privilegio excepcional naturalmente ligados a condiciones inmutables, hoy forma parte del vocabulario común, y de una enraizada idiosincrasia.

Las simpatías y afinidades electivas entre este principio de igualdad como derecho natural y el enriquecimiento material, moral y científico de nuestras sociedades parecen a esta altura transparentes. La autonomía, cuando se traduce en acceso a mejores condiciones sanitarias, nutricionales y educativas, tiende hacia una igualación de condiciones que posibilita y facilita el desarrollo profesional de sectores antes postergados. Las circunstancias étnicas, religiosas, fenotípicas o sexuales, aunque aún fuentes de condicionamiento social y profesional, no son consideradas determinantes ni sancionadas por el derecho vigente. Sin embargo, no es difícil reconocer las desigualdades de origen que aún obstaculizan la formación y el ejercicio del oficio científico. Frente a este escenario, ¿cómo asegurar aquellas condiciones de igualdad necesarias para alcanzar una justa meritocracia?

Intentemos pensar la ciencia en lo que a cuestiones de género refiere. En la Argentina se vienen ensayando algunas intervenciones de 'acción afirmativa' en el ámbito científico. Desde 1994, la Red Argentina de Género, Ciencia y Tecnología (RAGCYT) ha desarrollado una continua actividad integrando la Red Latinoamericana de Género, Ciencia y Tecnología (INCITA). Desde el Ministerio de Ciencia y Tecnología, en el año 2020 se ha iniciado el Programa de Igualdad de Géneros en Ciencia, Tecnología e Innovación, buscando garantizar la igualdad real y efectiva de la participación de mujeres y población LGTBI+ en el sistema científico-tecnológico, así como su acceso a posiciones jerárquicas y de toma de decisión. Asimismo, los documentos preliminares del diseño y desarrollo del próximo Plan 'Argentina Innovadora 2030' expresan

la paridad de género como uno de sus principios rectores. En este mismo sentido, el Conicet presentó en mayo de este mismo año la Red Federal de Género y Diversidades, la cual tiene por objetivo potenciar la mirada de género en las producciones científicas y tecnológicas de todas las disciplinas y en sus prácticas profesionales.

Ahora bien, ¿cuál es concretamente el escenario de género en la ciencia, la tecnología y la educación superior en nuestro país? ¿A qué responden estas acciones afirmativas? Al observar el acceso a la educación universitaria, se percibe una relativa paridad, incluso con una mayoría de mujeres, y se observan diferencias según disciplina. Por ejemplo, en las matrículas de ingreso a las carreras asociadas a la biología/bioquímica, se observa una proporción mayor de mujeres sobre hombres, mientras que aquellas vinculadas a la computación y las matemáticas muestran una relación inversa. La elección de una carrera puede ser influenciada por diferencias vocacionales y culturales, demandas socioeconómicas, aspiraciones personales inspiradas en el ejemplo y, también, estereotipos sociales. En ese sentido, organizaciones como Chicas en Tecnología (CET) busca desde 2015 reducir la brecha de género en tecnología en nuestro país. Su programa de Clubes CET fue declarado de interés educativo por el MINCYT en 2019, y en este número contamos con un artículo escrito por la vicepresidenta de CET, Consuelo López.

En el ámbito de la investigación a nivel académico –y de acuerdo con las estadísticas del MINCYT– desde 2015 la mayoría de quienes investigan en la Argentina son mujeres, sobre todo en las ciencias médicas y de la salud, ciencias sociales y humanidades, mientras que lo contrario sucede en ingenierías y tecnologías y en ciencias agrícolas y naturales y exactas. Los datos revelan también que las investigadoras acceden en menor medida a las categorías más altas de la carrera, sugiriendo una segregación vertical. Sin embargo, hoy en día, y gracias a los cambios que se establecieron en los últimos años, de las últimas siete personas que ocuparon la secretaría académica de FCEN-UBA, seis han sido mujeres.

A nivel práctico, sabemos que los índices de acceso a la educación y desarrollo profesional durante el último siglo muestran una creciente y sostenida heterogeneidad, tanto en nuestro país como en el resto del mundo. Los obstáculos por razones de género, etnia o de otras índoles disminuyen progresivamente su importancia relativa en aquellas sociedades donde con más énfasis se sostiene el principio de igualdad natural. Esto indica que el camino 'igualitario' sería en sí mismo una acción capaz de desarticular estructuras sostenidas en jerarquías esenciales. En este punto es importante señalar que este rumbo –el principio de la igualdad natural– es producto de inmensos esfuerzos generacionales. Hemos visto, en cambio, que históricamente la 'acción afirmativa' –a pesar del espíritu igualitario de origen– ha sugerido oponer a las injusticias estructurales que operan sobre el sistema intervenciones excepcionales de aplicación inmediata, una intervención que acelere el progreso hacia la igualdad, aunque esto implicara, irónicamente, romper el principio de igualdad. Haciendo un paralelo con la física, para equilibrar el efecto de una fuerza se aplica otra (o la suma de otras que resulte) de igual magnitud y sentido opuesto. Sin embargo, podría también argumentarse que una perspectiva 'igualitaria' debería sostener más bien que una alteración del principio de igualdad solo obstaculizaría ese desarrollo y alimentaría las dinámicas gregarias que justamente atentan contra aquella igualdad.

Veamos entonces cómo se traducen estas reflexiones al terreno de la evaluación científica, es decir, a los mecanismos de acceso y desarrollo profesional oficiales. Si aceptamos la premisa según la cual la evaluación debe basarse exclusivamente en el criterio de idoneidad, es preciso preguntarse entonces si la 'acción afirmativa' –tal como se la ha aplicado históricamente– podrá eventualmente lograr que las variables fundamentales del trabajo científico (el esfuerzo, la perseverancia y el talento) prevalezcan. La principal crítica contra la 'discriminación positiva' derivada de la 'acción afirmativa' se origina en la siguiente pregunta: ¿una injusticia se corrige con otra injusticia? El objetivo es fortalecer el curso de la justicia, atender a las injusticias cuando estas ocurrieran, pero ¿se podría evitar recurrir a un excepcionalismo que pudiera poner en peligro el principio jurídico de la igualdad natural y la autenticidad del mérito? Los interrogantes llegan aún más lejos: ¿habilitar la excepción podría habilitar *ipso facto* el camino hacia las dinámicas gregarias de las cuales parecemos estar escapando? ¿Correríamos el riesgo de fortalecer las identidades colectivas por sobre las individuales? ¿Estaríamos desmereciendo los valores y talentos individuales, reduciéndolos a condiciones esenciales de origen?

Este comité delibera continuamente sobre cuál es el criterio más justo para no perpetuar desigualdades ni injusticias y hacer de esta revista un espacio que premie el mérito, el talento, el esfuerzo y la creatividad de la mejor manera posible. Además, nos preguntamos cuál debe ser el mejor camino para fortalecer el desarrollo científico en condiciones justas, donde la igualdad de oportunidades, el talento y el mérito sean parte de un mismo conjunto virtuoso y no productos de una desigualdad de origen o de un excepcionalismo potencialmente perjudicial. Emily Dickinson escribió alguna vez: 'Ignoramos nuestra verdadera estatura hasta que nos ponemos de pie'. Al igual que al aprender a caminar, este camino que la ciencia (en espejo de la sociedad) debe transitar será lento y habrá seguramente tropiezos, retrocesos y caídas, pero el impulso ya está presente. El tiempo nos dará cuenta de los resultados. CH

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

Joshep Coronel, Pxhere.com/

ESPECIES SILVESTRES Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA PAPA

ELSA L CAMADRO

Cruzar la papa que se cultiva con fines comerciales con algunos de los cientos de especies silvestres puede mejorar la resistencia de la planta a factores adversos, así como las propiedades culinarias de sus tubérculos.

La autora explica que las variedades comerciales de plantas están protegidas por derechos de obtentor, los cuales no contemplan los recursos genéticos (RRGG) y las variedades autóctonas. En 1994, la Argentina ratificó por ley la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), que reconoce los derechos soberanos de los estados sobre los recursos genéticos localizados dentro de sus fronteras. Sin embargo, los desarrollos biotecnológicos y el patentamiento limitan el acceso de terceros a los genes patentados, afectando negativamente el uso de los recursos genéticos y aumentando la complejidad de los marcos legales. No obstante, sobre la base de los principios de la CBD, el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (2001) y el protocolo de Nagoya (2011) más la decisión de las partes, se han establecido objetivos internacionales de acceso, conservación y uso sostenible de la biodiversidad, y distribución equitativa de sus beneficios.

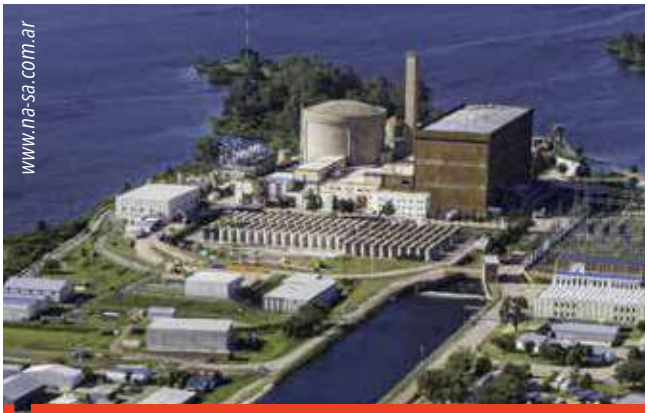
EXPERIENCIAS BARROCAS CON PIGMENTOS EN EL FINISTERRE AMERICANO

ALICIA SELDES, JOSÉ E BURUCÚA Y ANDREA JÁUREGUI

La apreciación y la historia del arte, unidas a la investigación de laboratorio de los materiales y las técnicas usados por los pintores de la época colonial, permitieron identificar a un notable creador, hasta hace poco ignoto, que trabajó en el altiplano jujeño a fines del siglo XVII y principios del XVIII.

Gabriela Siracusano, directora del Centro de Investigación del Arte, Materia y Cultura del Instituto de Investigación en Arte y Cultura Dr. Norberto Griffa (IIAC), comenta que en las últimas dos décadas el estudio de la materialidad del arte colonial sudamericano logró grandes avances, no limitados solamente a métodos y técnicas de análisis sino también al conocimiento integral de las prácticas culturales involucradas en su creación. Gracias a la aplicación de técnicas no invasivas como la fluorescencia de rayos X, la microespectroscopía Raman, y las técnicas de proteómica y espectrometría de masa se identificaron nuevos materiales locales de larga tradición prehispánica y se mejoró la precisión en la caracterización de aglutinantes proteicos. Además, el rico trabajo interdisciplinario permitió la apropiación y reformulación de técnicas europeas por parte de los pintores coloniales a partir de la circulación de saberes nunca antes estudiados, se ampliaron las investigaciones a otras áreas geográficas de producción, y se alcanzó un enorme desarrollo del estudio de la escultura policromada y la pintura mural sudamericanas.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar



CENTRALES NUCLEARES: LA EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DE SU SEGURIDAD

EDUARDO FELIZIA

La evaluación probabilística de seguridad es la técnica aceptada para estudiar y prevenir los riesgos que se pudiesen correr en el caso de accidentes en centrales nucleares.

INSECTOS EN BIBLIOTECAS Y ARCHIVOS

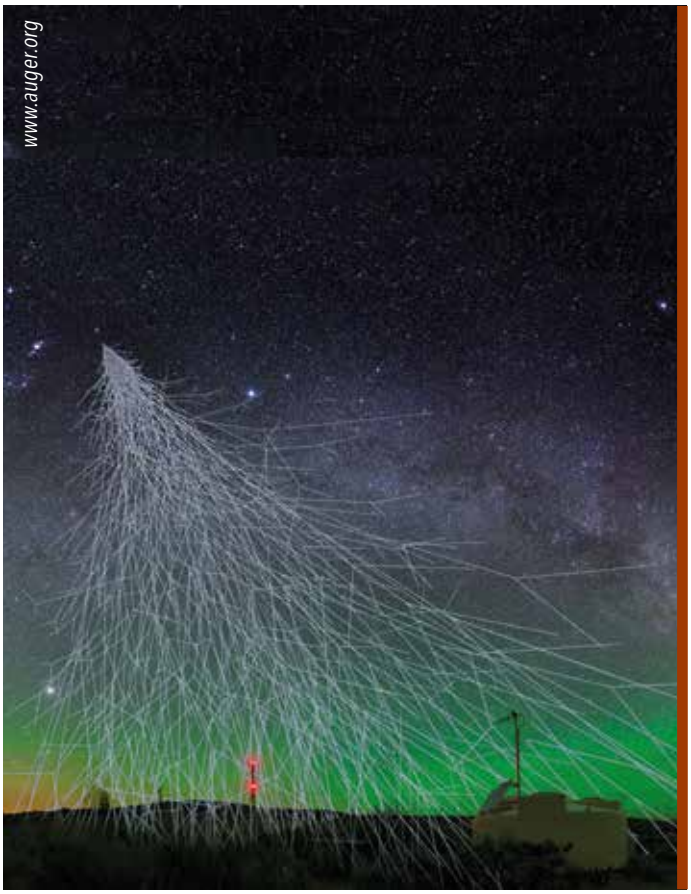
MIREYA MANFRINI DE BREWER Y CLAUDIO A SOSA

Los insectos son un importante agente de deterioro de las colecciones de bibliotecas y archivos, pero hay también insectos beneficiosos, que controlan la proliferación de los dañinos.

LA FECHA DE PASCUA

RICHARD L BRANHAM JR.

La fecha en que se celebra la Pascua se establece por métodos que se remontan al calendario establecido por Julio César en el 46 a.C. y reformado por Gregorio XIII en 1582, basados en una relación del astrónomo ateniense Metón, del siglo V a.C.



EL PROYECTO PIERRE AUGER

ALBERTO ETCHEGOYEN Y ALBERTO FILEVICH

Índole y propósitos de una ambiciosa experiencia de cooperación internacional en el campo de la física experimental.

Aníbal Gattone (CNEA) indica que el entonces Proyecto Pierre Auger se transformó en el Observatorio Pierre Auger (OPA) que, en noviembre de 2019 celebró en Malargüe, Mendoza, los veinte años de funcionamiento ininterrumpido. Los datos recogidos en OPA han provisto a la creciente comunidad de investigadores de rayos cósmicos del mundo nueva información acerca del posible origen, energía y composición de estos. Hoy el Observatorio Auger es el líder mundial en datos de rayos cósmicos a altas energías y el primero en iniciar la astronomía de partículas. Por estas razones los dieciséis países miembros decidieron extender su vida útil otros diez años actualizándolo para poder mejorar la detección de muones, las comunicaciones internas (recordar que ocupa una superficie de 3000 km², equivalente a quince veces la de la ciudad de Buenos Aires) y la posibilidad de medir otro tipo de interacciones. Continuará en este régimen hasta 2025 aunque se anticipa que se extenderá por, probablemente, diez años.

Ganoderma lucidum, un hongo que produce compuestos potencialmente antivirales

Desde el descubrimiento accidental de la penicilina por Alexander Fleming, antibiótico producido por hongos del género *Penicillium*, estos organismos (los hongos) han sido fundamentales en el desarrollo de productos medicinales. En la actualidad, algunos antibióticos son derivados sintéticos de metabolitos secundarios de varias especies fúngicas. Los 'hongos medicinales' tradicionalmente utilizados en Asia, como el shiitake (*Lentinula edodes*) o el reishi (*Ganoderma lucidum*), han recibido interés ya que producen una cantidad de moléculas químicamente diversas que presentan actividad farmacológica. Sus propiedades han llevado a estos hongos a su actual consideración como alimentos funcionales ya que, más allá de su alto valor nutritivo, las moléculas bioactivas que producen demostraron ser beneficiosas asistiendo en la defensa contra algunos virus, bacterias e incluso en la respuesta antitumoral.

Las especies de hongos del género *Ganoderma* producen estructuras reproductivas en forma de estante con poros en la parte inferior, la más conocida por sus propiedades medicinales es *G. lucidum*, que posee un esporóforo muy característico, de coloración rojiza y con la superficie laqueada, como muestra la figura. Entre los más de 400 compuestos bioactivos que produce esta especie de hongos, los β-glucanos y triterpenos son los que presentan mayores propiedades medicinales.

En ese sentido, los triterpenos de *G. lucidum* poseen actividad antiviral, la que se ha documentado contra varios virus patógenos como el herpes, la influenza, el virus de la estomatitis vesicular y el virus de la inmunodeficiencia humana (sida). Estudios recientes utilizando diversas metodologías *in silico* (por ejemplo, el modelado molecular) y también estudios *in vitro* han demostrado que uno de los triterpenos producidos por *G. Lucidum* (Ganodermanotriol) puede interaccionar con una proteína clave en el proceso de infección del virus del dengue, la proteasa NS3. Esa interacción afecta el proceso de infección y, por lo tanto, postula a este compuesto como un potencial agente antiviral.

En el contexto actual, con la preocupación por las nuevas pandemias, el constante crecimiento de la población y como consecuencia de las adversidades producidas por las actividades humanas, las modificaciones del ambiente y los diversos problemas de índole social, los compuestos con potencial terapéutico de origen natural (y en particular, los antivirales) vuelven a tomar relevancia. Estos presentan beneficios varios al compararlos con las drogas sintéticas, ya que la naturaleza provee mediante la maquinaria celular variedad y complejidad de estructuras que muchas veces no son alcanzables por técnicas de síntesis en el laboratorio, y su biocompatibilidad es clave. CH

Sebastián Kravetz
sebastiankravetz@yahoo.com.ar

Mas información en BHARADWAJ S, LEE KE & DWIVEDI VD *et al.*, 2019, 'Discovery of *Ganoderma lucidum* triterpenoids as potential inhibitors against Dengue virus NS2B-NS3 protease', *Scientific Reports 9*, 19059. DOI *10.1038/s41598-019-55723-5*

Ganoderma lucidum. Foto AdobeStock

Pequeñas recolectoras de basura

La contaminación con plástico es un problema de larga data. Se estima que en el mundo cada minuto se compran alrededor de un millón de botellas de plástico. Si el reciclaje de estos residuos que generamos cotidianamente nos resulta una tarea monumental, imaginen lo difícil que sería hacerlo con cosas del tamaño de una punta de alfiler.

Estamos hablando de los llamados microplásticos, partículas que van desde los 5mm hasta incluso 1000 veces menos. Pero su reducido tamaño no los hace menos peligrosos, todo lo contrario, resulta casi imposible no comerlos. La ingesta de plástico por animales permite su entrada a la cadena trófica haciendo que este llegue hasta el ser humano, perjudicando no solo al consumidor primario sino también al resto de los eslabones de la cadena. El origen de los microplásticos es diverso porque, aunque pueden surgir como resultado de la ruptura de plásticos de mayor tamaño, también se fabrican con ese tamaño específico para su uso en la industria cosmética y farmacéutica. Ejemplos de estos son las microesferas o microperlas de polietileno empleadas como exfoliantes en productos de belleza y salud. En el medio ambiente nos podemos encontrar con estructuras igual de pequeñas que los microplásticos pero de origen natural, como es el caso de los granos de polen.

Sin importar de qué material se trate, la carga eléctrica de las partículas permite su adhesión a diferentes superficies. ¿Por qué las cosas tienen carga? La respuesta es que cualquier objeto conectado a la tierra acumula carga negativa en su superficie. Por su parte durante el vuelo, por la fricción con el aire, las abejas se cargan positivamente. Debido a esta diferencia eléctrica, cuando se

posan en las flores, el polen u otras partículas -por ejemplo microplásticos- se adhieren a ellas.

En relación a esto, se llevó a cabo en Copenhague un estudio con abejas de diferentes colmenares y descubrieron hasta trece tipos diferentes de microplásticos adheridos a sus cuerpos, y se encontró que el poliéster, el polietileno y el PVC eran los más abundantes. Los microplásticos se detectaron tanto en abejas de colmenares urbanos como rurales. Sobre esto los investigadores indicaron que el viento podría tener un papel importante que invita a reflexionar sobre la dispersión de estas partículas pequeñas, que pueden llegar hasta los 1000km desde el punto de liberación. Las abejas permitirían estimar el grado de contaminación ambiental mediante la evaluación de la cantidad y composición de microplásticos encontrados sobre ellas. La presencia de abejas en todo el mundo permite replicar estos estudios en cualquier lugar del planeta y realizar comparaciones con datos previos de otras áreas. Además, como las abejas son capaces de volar hasta más de 10km, se podrían realizar mediciones de contaminación por microplásticos incluso en zonas muy remotas e inaccesibles.

Diversos estudios demostraron que estas pequeñas recolectoras de basura transfieren las partículas contaminantes a la miel y cera que ellas mismas producen. Si bien es un dato poco alentador, podrían usarse estos productos como indicadores de contaminación, en contraste con un proceso más invasivo como es evaluar los microplásticos presentes en sus cuerpos. Así que ya saben, cuando vean a una abeja volando piensen cuánto afectamos su vida y lo importante que es protegerla de la contaminación que producimos. CH

Alejandra Estefanía Melgar
alumelgar@gmail.com

María Belén Palacios
mariabelenpalacios@gmail.com

Más información en EDO C, FERNÁNDEZ-ALBA AR, VEJSNÆS F, VAN DER STEEN JJ, FERNÁNDEZ-PIÑAS F, & ROSAL R, 2021, 'Honeybees as active samplers for microplastics', *Science of The Total Environment*, 767, 144481.
ourworldindata.org/plastic-pollution#how-does-plastic-impact-wildlife-and-human-health
news.un.org/es/story/2019/03/1452961

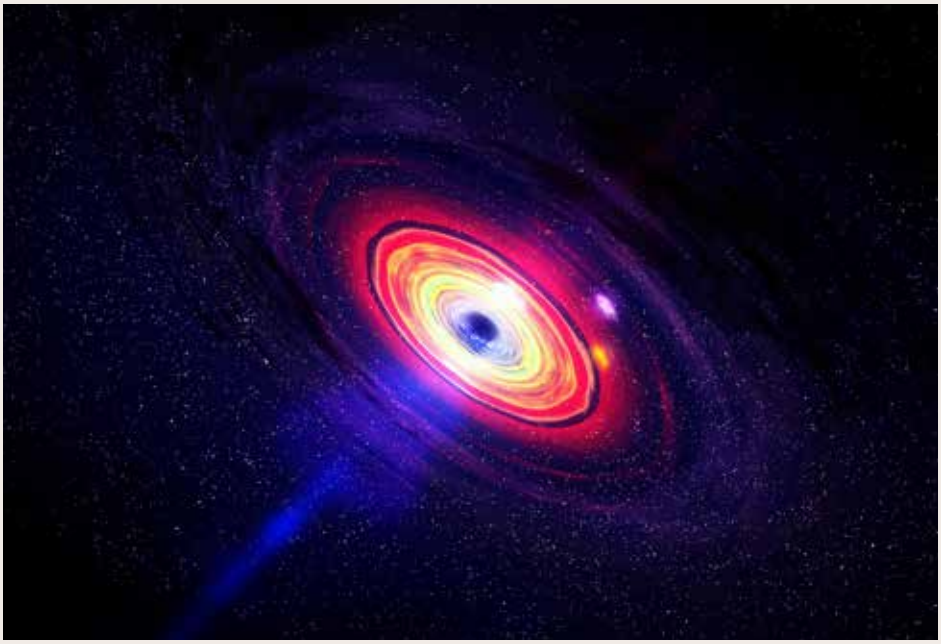
Estrellas de neutrones: conflicto entre observaciones y datos de laboratorio

En octubre de 2017 el observatorio estadounidense LIGO (sigla en inglés de *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) y el europeo Virgo anunciaron la detección de ondas gravitatorias provenientes de un sistema de dos estrellas de neutrones en proceso de fusión. Los datos de ambos observatorios, confirmados con mediciones de radiación electromagnética por otros observatorios, permitieron obtener una medida de la 'deformidad de marea', un parámetro que describe cuánto puede deformarse cada estrella en presencia de la gravedad de la otra, así como la Tierra se deforma en presencia de la gravedad de la Luna. Este parámetro se relaciona directamente con otro que da cuenta del espesor de la 'piel de neutrones', una medida de la distribución de la última capa de neutrones en un sistema compuesto casi exclusivamente por ellos, como es el caso de este tipo de estrellas. Como detalle anecdótico, pero revelador acerca de la estructura de una estrella de neutrones, su densidad es comparable a la que se obtendría de compactar cien millones de toneladas en una cucharita de té.

En nuestro planeta, la materia con densidad más cercana a la de una estrella de neutrones es la de los núcleos atómicos y cuanto más grandes y más estables –es decir que no decaen en otros más estables– mejor. El candidato ideal, y único, es el núcleo del plomo formado por 82 protones y 126 neutrones y que denominamos plomo 208 (^{208}Pb). El juego entre la fuerza electromagnética y las nucleares fuerte y débil hacen del ^{208}Pb el elemento más pesado y estable que existe, aunque su densidad es algunas veces inferior a la de una estrella de neutrones. Los científicos estudian la respuesta de este núcleo a la interacción con distintos tipos de haces de partículas, y obtienen así datos que les permiten deducir cómo se comporta la materia nuclear, un estado hipotético de la materia constituido solo por nucleones, es decir, solo por protones y neutrones.

La aparición de observatorio de ondas gravitatorias ha permitido enriquecer la información que se tenía de las estrellas de neutrones y mejorar los modelos de materia nuclear. Lo que se busca es establecer una ecuación de estado, una fórmula matemática que relacione entre sí las variables macroscópicas del sistema, algo así como la relación entre presión (P), volumen (V) y temperatura (T) en un gas ideal. Con la ecuación de estado lista, uno puede predecir cómo espera que sea el comportamiento de dos estrellas de neutrones en proceso de fusión o cómo reaccionará el núcleo de ^{208}Pb cuando es bombardeado con, digamos, electrones.

Un trabajo reciente realizado por científicos pertenecientes a la colaboración *PREX* (sigla en inglés por *Lead Radius Experiment*) encontró que el parámetro que mide la 'piel de los neutrones' es de casi el doble de lo que se deduce usando los datos de ondas gra-



Representación digital de una estrella de neutrones en el espacio. Imagen AdobeStock

vitatorias. Decir 'casi el doble' merece alguna aclaración: los experimentos en física nunca entregan valores precisos con todos los dígitos sino dentro de un rango de incerteza. El valor medido por *PREX* fue de 0,283 ± 0,071fm mientras que el que se deduce de las observaciones espaciales oscila entre 0,15 – 0,18fm (fm significa femtómetro y es una medida de longitud equivalente a 10^{-15} metros). O sea, la medida experimental difiere bastante de la esperada.

Este nuevo resultado de *PREX* –nuevo porque en 2012 ya habían obtenido uno parecido pero con errores más grandes– le pone condiciones muy restrictivas a casi todos los modelos teóricos existentes de materia nuclear que sirvieron para establecer las características de las estrellas de neutrones. Una piel más gruesa, como la medida, daría origen a estrellas de neutrones que, para la misma masa, deberían ser más grandes y, por supuesto, menos densas que lo que se predecía hasta ahora. Además, y aunque se llamen estrellas de neutrones, sobreviven en ellas una cierta cantidad de protones que, con este resultado, debieran ser más grandes y aportar más fuertemente al enfriamiento de la estrella, lo que las haría estables a masas bastantes menores a las pensadas actualmente.

¿Cómo zanjar esta diferencia? Existe en este momento en la Estación Espacial Internacional un espectrómetro de rayos X de la NASA denominado *NICER* (sigla en inglés de *Neutron Star Interior Composition Explorer)* dedicado a medir las masas y los radios de estructuras muy densas, como las estrellas de neutrones. Los datos recolectados hasta ahora se pueden ajustar con una piel de hasta 0,31fm, o sea cercana a la medida, pero su estadística también es compatible con pieles más finas. Combinando los datos de *PREX* y *NICER* se pueden descartar varios modelos de los actuales, pero otros sobreviven y requieren para su confirmación, o eventual desecho, datos más precisos y con mayor estadística. *PREX* llegó a su límite y no puede mejorar (está en Jefferson Lab en Estados Unidos) pero se está planeando un instrumento superador en Alemania, en Mainz para ser más preciso, que se denomina *MREX*. Entraría en funcionamiento en 2026, así que habrá que esperar hasta entonces para ver cómo se resuelve este dilema. Mientras tanto los físicos teóricos tienen muchos elementos a su disposición para elaborar explicaciones. CH

Más información en ADHIKARI D *et al*. (PREX collaboration), 2021, *Physical Review Letters,* 126, 172502.

BIOLUMINISCENCIA

Los dibujos son de dos especies de insectos con bioluminiscencia que alegran nuestros campos con sus lucecitas. Pertenecen a los géneros *Photinus* de la familia Lampyridae (no creo que sea casual que el nombre suene a lámpara), el que tiene una única luz atrás, y *Pyrophorus* (*pyro:* fuego, *phorus:* llevar) de la familia Elateridae, el que lleva dos luces en la espalda. Al que tiene una única luz posterior tuve la suerte de cruzármelo muchas veces cuando era chica en jardines y campos, y poder jugar a atraparlo. No digo que ahora de más grande ya no lo haga. Al que también lo hizo, tengo que hacerle una pregunta un tanto extraña: ¿no es genial el olor a bichito de luz? Siguiendo con los datos científicos: son las hembras de *Photinus* las que emiten un centelleo característico para atraer a los machos, bien ahí, chicas.

Irene Negri
irenitanegrix@gmail.com

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Trabajan en el desarrollo de una novedosa tecnología para detectar cáncer

Se trata de un test no invasivo que detecta biomarcadores epigenéticos en sangre.

Por Leonardo Fernández

Un equipo de investigadores e investigadoras del CONICET y la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Cuyo, junto a un grupo de emprendedores privados de la empresa Quinto Impacto, se encuentran trabajando en el desarrollo de una novedosa tecnología que permitirá detectar tumores mediante un análisis de sangre.

El proyecto surge luego de varios años de trabajo y es la principal misión de EpiLiquid, una empresa de base tecnológica creada por los propios investigadores, y financiada por el Centro de Innovación Tecnológica Empresarial y Social (CITES), cuyo objetivo es desarrollar esta tecnología que detecta biomarcadores epigenéticos que circulan en el sistema sanguíneo, y que será materializada en tests para el diagnóstico y seguimiento de pacientes con cáncer en diferentes etapas de la enfermedad.

"La detección de biomarcadores en sangre se enmarca en lo que se conoce como biopsias líquidas. Estas tienen la ventaja de ser poco invasivas y sin riesgos asociados al procedimiento, ya que consisten en una simple extracción de sangre. A pesar de que los estudios basados en biopsias líquidas aún están en fases tempranas de desarrollo, algunos tests ya han sido aprobados por los organismos regulatorios y cada vez más profesionales de diversas especialidades clínicas manifiestan su interés en la implementación de estudios de bajo riesgo y alta sensibilidad", explica Emanuel Campoy, investigador adjunto del CONICET en el Instituto de Histología y Embriología de Mendoza (IHEM, CONICET-UNCUYO) y responsable del proyecto.

Este test para el diagnóstico temprano (o screening) permitirá detectar la enfermedad en las primeras etapas de desarrollo lo que se traduciría en una reducción en la agresividad de las estrategias terapéuticas, que serían mucho más eficientes, e incluso aumentaría significativamente las posibilidades de curación.

El estudio se enmarca en lo que se conoce como biopsias líquidas que tienen la ventaja de ser poco invasivas y sin riesgos asociados al procedimiento. Foto: Hush Naidoo / Unsplash

"Por su biología, si el cáncer es detectado de manera temprana, es posible curarlo. El cáncer de colon, por ejemplo, es la segunda causa de muerte de pacientes oncológicos a nivel mundial, sin embargo, si se diagnostica a tiempo, tiene una tasa de curación superior al noventa por ciento y una reducción de tratamientos invasivos del setenta por ciento. En este sentido, la tecnología desarrollada por Epiliquid permitiría detectar la enfermedad en su estadio más inicial y aumentar así las posibilidades de superarlo", detalla el científico.

Más de quinientos mil dólares serán invertidos en un plazo de treinta meses en los que los investigadores deberán lograr las validaciones técnicas, preclínicas y los patentamientos de esta tecnología. Inicialmente el grupo comenzará a trabajar en la detección de cáncer de colon, para luego abarcar otros tipos tumorales como, por ejemplo, cáncer de mama. "Ahora nos encontramos en la etapa inicial de desarrollo y validación tecnológica. Nuestro objetivo es crear el primer prototipo del test y lograr la validación técnica y preclínica, lo que nos permitirá realizar los ensayos clínicos necesarios para aprobarlo y poder insertar la tecnología en el mercado", relata Campoy.

Actualmente, los investigadores están trabajando en colaboración con un centro de gastroenterología para la constitución de un biobanco de muestras de pacientes con cáncer de colon. Esto les permitirá contar con los modelos necesarios para llevar a cabo un ensayo piloto y alcanzar la validación preclínica de la tecnología.

Si bien todavía el proyecto está en una etapa muy temprana de desarrollo, el grupo de científicos ya tiene en claro que su tecnología traerá avances en la lucha contra la enfermedad y, por ese motivo, deberá estar a disposición del sistema sanitario. "Más allá de que Epiliquid es una startup basada en la innovación tecnológica cuyo objetivo principal es desarrollar un test que permita la detección temprana de cáncer, estamos convencidos de que la ciencia debe llegar a todas las personas que lo requieran. En este sentido, está planteada una estrategia que incluye lograr acuerdos con el sistema sanitario público y privado para que toda la población tenga acceso a la tecnología que desarrollemos. Por otro lado, es muy importante destacar que este proyecto no hubiese sido posible fuera del marco institucional, científico y académico del CONICET y la UNCUYO. Ambas instituciones han apoyado el trabajo. De hecho, parte del grupo somos docentes-investigadores de la Facultad de Ciencias Médicas y, a raíz de esto, su Consejo Directivo nos asignó un laboratorio para desarrollar el proyecto", concluye el investigador. ■

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Unos pequeños dientes revelan cómo era la fauna en el extremo sur de la Patagonia hace 80 millones de años

El hallazgo fue realizado por un grupo de paleontólogos en Cerro Fortaleza, Santa Cruz, y publicado en la revista *Plos One*.

Por Alejandro Cannizzaro

"Fuimos con la expectativa de encontrar huesos de abelisáuridos o megaraptóridos, dinosaurios carnívoros de gran tamaño que habitaron la región; sin embargo nuestro gran hallazgo en la campaña fueron unos dientes y unas estructuras muy, muy pequeñas que no superan los 6 milímetros", cuenta Ariel Méndez, investigador adjunto del Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (IPGP-CONICET).

Cerro Fortaleza es una localidad ubicada cerca del extremo este del Lago Viedma en la Provincia de Santa Cruz, donde afloran sedimentos de edad cretácica, de unos 80 millones de años de antigüedad. En este lugar abundan colinas, valles, grietas y cañadones de diferentes profundidades y el trabajo científico puede resultar dificultoso. En la jerga paleontológica se denomina a este tipo de sitios como bad lands, que en castellano se traduce como tierras malas (también llamadas huayquerías), y si bien en los sedimentos del Cerro Fortaleza el hallazgo de fósiles es frecuente, en general se encuentran solamente huesos de grandes dimensiones, pertenecientes a un único tipo de dinosaurio: saurópodos titanosaurios.

"Recorrimos durante doce días en el lugar y cuando estábamos a punto de finalizar la campaña encontramos en un área pequeña, de unos 4 metros cuadrados de superficie, numerosos fragmentos de fósiles, muchos de ellos menores de 1 centímetro de largo, y que debido a su naturaleza fragmentaria no podían ser identificados. Entre estos restos había además fragmentos de dientes. El investigador Yuong-Nam Lee, que trabaja en la Universidad Nacional de Seúl y cuenta con amplia experiencia en el estudio de dinosaurios que vivieron a finales del Cretácico en Mongolia, al ver uno de los dientes de apenas 3,5 milímetros de ancho y que tiene forma de hoja, señaló inmediatamente que pertenecía a un anquilosaurio. Esta apreciación nos llamó fuertemente la atención porque no solo hay muy pocos registros de este grupo de dinosaurios en Argentina, sino que hasta el momento solo se habían encontrado dos dientes: uno en Río Negro y otro en la Antártida", cuenta Ariana Paulina-Carabajal, investigadora independiente del Instituto de Investigaciones de Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA-

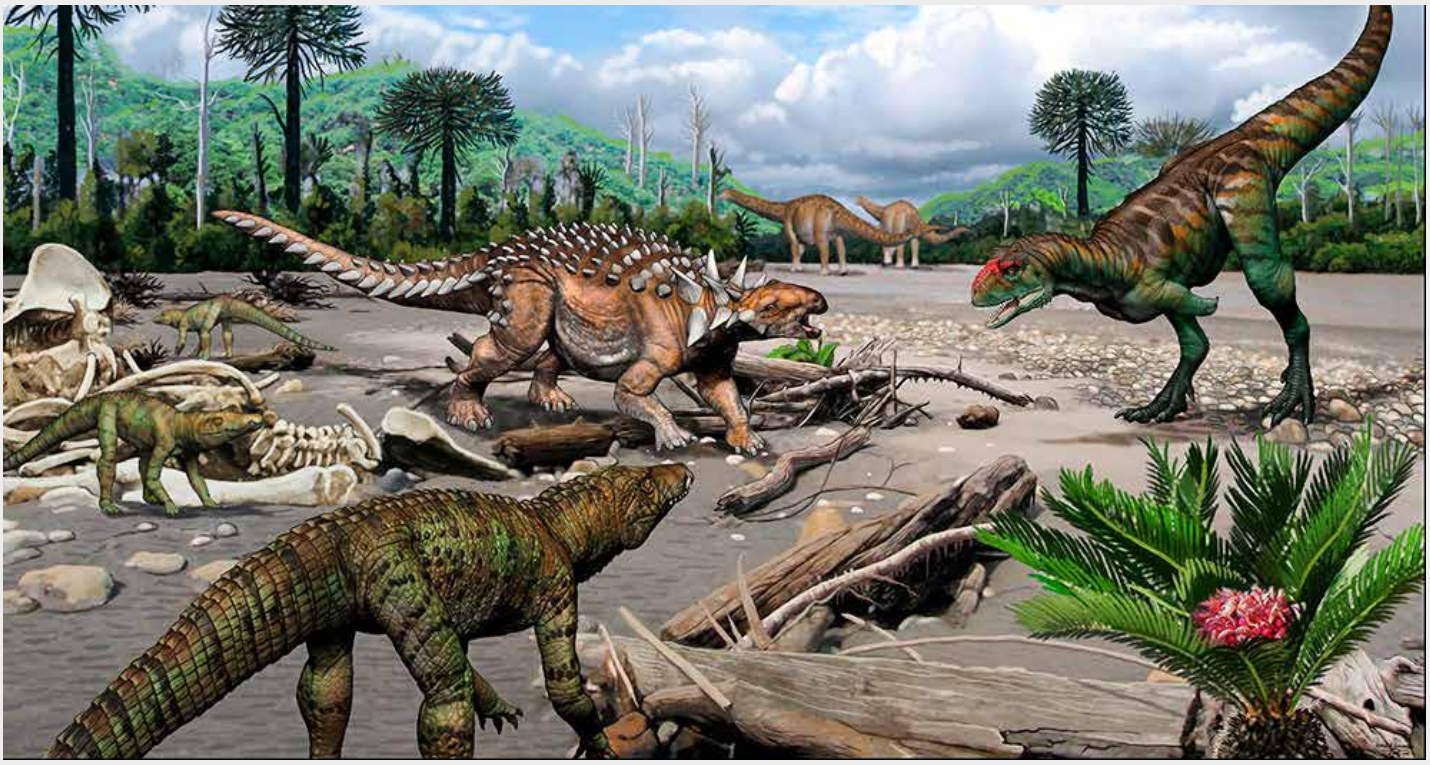


Ilustración de Jorge González

CONICET). Los estudios posteriores que se realizaron en el laboratorio confirmaron la identificación del portador de este diente.

Los anquilosaurios son un grupo de dinosaurios que tenían una coraza o armadura y por ellos son conocidos como "dinosaurios acorazados". Además, el grupo de paleontólogos había encontrado numerosos osteodermos, que son estructuras óseas que protegen el cuerpo de los anquilosaurios. En este caso, se halló un tipo de osteodermos diminutos, llamados osículos intersticiales, que rellenaban los espacios entre los osteodermos grandes, formando una armadura sobre la cabeza, cuello, espalda, panza y patas del animal. El hallazgo en Cerro Fortaleza es el primero de este tipo diminuto de osteodermos fuera de Australia y Norteamérica y la investigación fue publicada en la revista Plos One.

"El mayor número de dientes que encontramos no eran de dinosaurios sino de un tipo de cocodrilos continentales extintos llamados peirosáuridos, que están ampliamente distribuidos en el norte de Patagonia y no había aún un registro tan al sur. Entre los dientes de dinosaurios encontramos uno que coincide morfológicamente con los dientes de abelisáuridos, de los que ya tenemos registro y otro diente que presenta una rugosidad en el esmalte en un patrón que no está presente en ningún otro diente, pero al estar tan mal preservado, no pudimos determinar a qué grupo podía pertenecer. Es un misterio. No coincide con nada de lo conocido hasta el momento. Y esto indica que hay más tipos de dinosaurios de los que recuperamos hasta ahora. Eso nos da esperanza de volver en otro momento para intentar encontrar más de esos dientes", afirma Méndez.

Estos hallazgos indicarían que esos animales convivieron en un mismo lugar y en un mismo tiempo. "Estos restos de dinosaurios y cocodrilos, sumados a los fósiles de plantas que ya habían sido estudiados en la zona, y a los estudios de los sedimentos, nos permiten comenzar a reconstruir ese ecosistema de hace 80 millones de años", concluyó Paulina-Carabajal. ■

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Se inauguró en Salta el nuevo edificio del Instituto de Patología Experimental

Su objetivo principal es la formación de recursos humanos calificados para el estudio de la enfermedad de Chagas y Leishmaniasis con el propósito de contribuir a la mejora en los métodos diagnósticos, tratamientos y control.

Originalmente, el instituto se fundó en 1981 como "Laboratorio de Patología Experimental" (LaPE), por iniciativa del Dr. Miguel Ángel Basombrío, con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional de Salta (UNSa), y comenzó sus investigaciones en algunos espacios cedidos por la Facultad de Ciencias de la Salud de dicha universidad.

Desde entonces el laboratorio creció en términos de infraestructura y recursos humanos debido a la obtención de importantes subsidios nacionales e internacionales y como consecuencia de la importante contribución científica que hicieron sus integrantes. La consolidación definitiva de la institución como centro de investigación de referencia en el Noroeste argentino se da en 2009, cuando el CONICET aprueba la creación del Instituto de Patología Experimental (IPE) como una Unidad Ejecutora de doble dependencia: Universidad Nacional de Salta – CONICET.

El Dr. Miguel Ángel Basombrío (centro) fundador del Instituto e investigador del CONICET.

Posteriormente, se comenzaron a realizar las gestiones para la construcción de un nuevo edificio con importantes aportes del CONICET y de la Universidad Nacional de Salta, quien además donó un terreno dentro del campus y con la generosa ayuda de la Fundación Bemberg y de la Fundación Rosa Museli.

La Lic. Sofía Bunge del Consejo de Administración de "Fundación Bemberg" quien asistió al evento, expresó: "Para nosotros un orgullo estar acá y poder inaugurarlo, el proyecto lo empezó la generación anterior en la Fundación hace 10 años aproximadamente, específicamente mi mamá que es médica y conoce al Dr. Basombrío inició las tratativas, y que se concrete este proyecto es muy importante ya que es un aporte que es fundamental para la ciencia y la investigación, en este caso de enfermedades desatendidas que necesitan tanto de la investigación"

En tanto, la Lic. Valeria Strozzi – Jefa de Relaciones Institucionales de Grupo Peñaflor, sostuvo: "La fundación trabaja hace años con un gran compromiso en lo que es la salud", y como menciona

la Lic. Bunge, su madre formó parte del consejo de dicha institución durante muchos años y siempre tuvo la impronta de ser un gran aporte para la rama científica y de de la salud, "para nosotros poder acompañarlos y representar a la familia Bemberg es una satisfacción".

Misión del Instituto de Patología Experimental

Desde sus inicios hay tres puntos principales: la producción de conocimiento científico de alta calidad sobre enfermedades desatendidas y de fuerte impacto en la salud pública de la región; la formación de recursos humanos altamente calificados para el estudio de dichas enfermedades; y la transferencia de técnicas y conocimientos al sistema de salud pública, con el propósito de contribuir a la mejora en los métodos diagnósticos, tratamientos y control de la enfermedad de Chagas y leishmaniasis.

Sobre su fundador, el Dr. Miguel Ángel Basombrío

Tras haber pasado un periodo (1967-1973) en Estados Unidos, realizando investigaciones sobre cáncer y habiéndose desempeñado como investigador del CONICET en la Academia Nacional de Medicina, en Buenos Aires, decidió trasladarse a la ciudad de Salta, acompañado por un técnico del CONICET, con el propósito de dedicarse a la investigación sobre la enfermedad de Chagas. Durante las décadas de 1980 y 1990, los estudios estuvieron orientados principalmente a ensayos de inmunización en modelos experimentales y a estudios de inmunización de perros en ciclos naturales de transmisión de Trypanosomacruzi, agente causal de la enfermedad de Chagas.

Hacia fines de la década del 1990 se iniciaron los primeros trabajos sobre leishmaniasis, otra parasitosis de fuerte impacto en la región, conducidos por el Dr. Basombrío. A comienzos de la década de 2000 el laboratorio incorporó la técnica de deleción de genes en T. cruzi con el propósito de obtener parásitos no-virulentos para ser ensayados como inmunógenos. Simultáneamente, nuevos tesistas se incorporaron y comenzaron a ampliarse las líneas de investigación en enfermedad de Chagas y leishmaniasis: estudios de epidemiología molecular de la enfermedad mencionada, ensayos de vacunas de ADN y estudios sobre Chagas congénito, entre otros. A mediados de la década de 2000 ya existían varias líneas diferentes de investigación bien establecidas sobre enfermedad de Chagas y leishmaniasis tegumentaria americana; y algunos de los miembros del laboratorio, habiendo completado ya sus trabajos de doctorado, fueron a completar su formación postdoctoral al exterior, para posteriormente regresar y desarrollar sus líneas de investigación en el aún denominado LaPE.

Durante el periodo descrito, se realizaron 7 tesis doctorales bajo la dirección del del fundador del Instituto, todas ellas sobre diferentes aspectos de la enfermedad de Chagas y la leishmaniasis. Asimismo, LaPE contó con financiamiento obtenido de diferentes instituciones nacionales é internacionales, entre ellas la Organización Mundial de la Salud, la Fundación Rockefeller, el Howard Hughes Medical Institute (HHMI), la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación, el Consejo de Investigaciones de la UNSa, y el constante apoyo de CONICET y la UNSa.

Durante el acto, el Dr. Miguel Basombrío, investigador fundador del IPE, declaró: "Es una sensación de gran alegría ver esto el día de hoy, es la culminación de mas de 40 años de trabajo, es muy gratificante que la Universidad de la provincia de Salta se encargue de sus propios problemas sanitarios. Nunca pensé que el Instituto llegaría a tener su propio edificio y de tal tamaño, estamos maravillados por la calidad de este lugar de trabajo, la gente joven y las nuevas camadas de becarios, investigadores y personal del CONICET que seguirá trabajando aquí, cuenta con un establecimiento con laboratorios de altas tecnologías para futuras investigaciones. Me siento muy orgulloso de todo lo logrado."

A su turno, el Dr. Patricio Diosque, director actual del IPE, expresó: "Es una emoción muy grande ver la realización del proyecto, es un sueño cumplido, pero de todos modos no termina aquí ya que vamos a continuar con la siguiente etapa de la obra, agregando y sumando líneas de investigación, ya que teniendo esta infraestructura muchas cosas más son posibles de realizar. Respecto a los espacios físicos, en el instituto ya estábamos al límite de capacidad de gente, esto nos da la posibilidad de incorporar más gente y que el IPE siga creciendo". Para finalizar, Diosque se refirió al Dr. Basombrío y subrayó: " Es mi mentor, mi maestro, fue mi director de doctorado y posdoctorado, y para ser sincero este acto fue para él porque los homenajes se hacen en vida y él se merece todo el reconocimiento, es una persona tan humilde que no dimensiona todo lo que ha logrado, todo esto es obra suya, y la mejor noticia es que se está tratando con el CONICET que se modifique el nombre del Instituto, agregando su nombre y apellido".

Etapas de construcción del Instituto

Se diseñó un edificio de 2 plantas y más de 800 metros cuadrados, cuya primera etapa (estructura de Planta Baja) se completó en 2014. Por estos años, el Ministerio de Ciencia y Tecnología lanzó un plan Nacional de Infraestructura, destinado a proveer obras para el crecimiento de institutos de investigación que merecieran ese apoyo en base a una rigurosa evaluación de calidad y cantidad de producción científica, antecedentes del personal, pertinencia regional, potencial de formación de recursos humanos, etc. Se presentaron muchos proyectos de todo el país, siendo aceptados 27, según un orden de mérito en el cual el IPE ganó el 4to lugar.

La construcción de la segunda etapa de la obra (laboratorios) se completó el pasado mes de Julio. Aún queda completar una tercera etapa (oficinas correspondientes a la dirección, administración, sala de reuniones, boxes de investigadores y becarios, etc.) cuya licitación y construcción se concretarán a la brevedad. No obstante la obra aún no está completamente finalizada, los laboratorios están listos para utilizarse brindando al personal del instituto la posibilidad de trabajar de manera cómoda y segura.

Estuvieron presentes en el acto inaugural: Rector de la Universidad Nacional de Salta, C.P.N. Víctor Hugo Claros; Director del Instituto de Patología Experimental – Dr. Patricio Diosque; Lic. Sofía Bunge, Consejo de Administración de Fundación Bemberg; Lic. Valeria Strozzi – Jefe de Relaciones Institucionales de Grupo Peñaflor; Lic. Juan Schamber, Gerente de Relaciones Institucionales de Grupo Peñaflor; Dr. Tomás Museli, Legatario de la Sra. Rosa Museli; Director del CCT CONICET Salta – Jujuy, Dr. Marcos Vaira; Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud, Lic. María Silvia Forsyth; Dr. Decano de la Facultad de Ciencias Naturales, Dr. Julio Nasser; Director del Instituto de Investigación en Enfermedades Tropicales de la UNSa, Sede Regional Orán, Dr. Ruben Cimino; Presidenta del Consejo de Investigación (CIUNSa), Dra. Liz Nallím; Secretario de Postgrado Investigación y Extensión de la Facultad de Cs. De la Salud – UNSa, Lic. Enzo Goncalvez de Oliveira; Secretario de Obras y Servicios y Mantenimento de la UNSa, Ing. Berkhany y el Director de la empresa INVLAC Construcciones SRL, Ing. Víctor Laconi ■

Mora Massaro
Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME)-Conicet

El centenario de la insulina

La diabetes mellitus fue descripta por primera vez en el siglo V a.C. por practicantes de ayurveda. Las personas con esta enfermedad producen cantidades insuficientes de insulina o no pueden utilizarla de forma adecuada, por lo que el organismo pierde la capacidad de regular los niveles de glucosa en sangre (parámetro clínico conocido como glucemia). En ese sentido, las personas diabéticas deben controlar la ingesta de glucosa, o de otra forma los niveles de este azúcar permanecen altos (hiperglucemia) y generan problemas a nivel orgánico. Este exceso de glucosa también se observa en la orina de los pacientes, ya que es una forma del organismo de eliminarla. Es por esto que, en aquel entonces, el término utilizado para la diabetes como patología era *madumeha*, que significa 'orina dulce'.

La administración de insulina en pacientes diabéticos controla los niveles de glucosa en sangre, retrasando y previniendo las complicaciones asociadas a esta enfermedad. El mantenimiento de la normoglucemia requiere que estos pacientes monitoreen frecuentemente los niveles de azúcar, controlen su dieta y niveles de actividad física, de modo de que puedan establecer las dosis de insulina necesarias.

La insulina fue descubierta al utilizar extractos de páncreas para tratar animales diabéticos y observar que sus niveles de azúcar en sangre retornaban a valores normales. El extracto fue mejorado, adaptando su extracción y purificación de modo de obtener un preparado de insulina de alta pureza. Luego de pasar un ensayo clínico exitoso, en 1922 estaba ya al alcance de pacientes. Este trabajo le mereció a Frederick Grant Banting y John James Rickard Macleod el premio Nobel de medicina en 1923. Por muchos años, el uso de insulina de procedencia bovina y porcina salvó la vida de millones de personas. Pero la insulina animal presentaba algunos proble-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un breve resumen que recorre los cien años desde el descubrimiento de la insulina, y cómo los desarrollos científicos realizados a partir de entonces (y con esta molécula como protagonista) influyeron sobre la historia de las ciencias de la vida.

Homenaje al descubrimiento de la insulina por el investigador médico canadiense Frederick Banting en el billete de 100 dólares desde 2011.

mas: eran necesarios aproximadamente cincuenta cerdos para suplir las necesidades anuales de una persona con diabetes, por lo que el tratamiento solo estaba al alcance de unos pocos; a menudo causaba reacciones alérgicas en los pacientes, por lo que fue necesario ir aún más allá.

Es por ello que este descubrimiento representa un ejemplo de desarrollo científico multidisciplinario. Más allá del papel terapéutico de esta pequeña proteína de 51 aminoácidos, fue la primera proteína en ser secuenciada (1951), la primera proteína humana sintetizada químicamente (1964) y en ser expresada de manera recombinante en bacterias (1978). Este avance fue altamente significativo para la biotecnología médica, allanando el camino para el uso de otras proteínas recombinantes terapéuticas. La ingeniería genética junto con la biotecnología han permitido la creación y el uso de una gran variedad de análogos de insulinas. Las formas de insulina de acción rápida se utilizan para controlar los niveles de azúcar con acción casi inmediata, mientras que los análogos de acción prolongada pueden ejercer su acción hasta por veinticuatro horas y con un efecto más parejo. Hoy, una persona con diabetes puede usar insulina de rápida o de larga duración, de acuerdo con su estilo de vida. La tecnología ha mejorado también sus vías de administración, que solía realizarse mediante inyecciones subcutáneas. Actualmente, las personas que conviven con está enfermedad pueden emplear lapiceras prellenadas y regulables para su administración manual, e incluso bombas que utilizan algoritmos para calcular la dosis de insulina requeridas, según la información brindada por los mismos usuarios acerca de las comidas e ingesta de hidratos de carbono.

Banting dijo en su discurso de aceptación del Nobel: 'La insulina no es una cura para la diabetes, sino un tratamiento', reflexionando sobre la necesidad de estos pacientes de recibir insulina prácticamente de por vida. Si bien en comparación con los costos iniciales la producción recombinante de la insulina ha facilitado considerablemente su obtención, en muchos países su precio es aún alto y en algunos casos inaccesible para los pacientes. Esta proteína es además sensible a la temperatura, por lo que requiere condiciones de almacenamiento muy controladas. Estas inquietudes no son triviales y requieren una urgente solución. En el centenario de su descubrimiento, la insulina sigue presentando desafíos, y será fascinante ver cómo una vez más la medicina, la ciencia y la tecnología aceptarán el reto para dar una respuesta. CH

LECTURAS SUGERIDAS

Nature Milestones: Diabetes (2021), accesible en *www.nature.com/collections/diabetes-milestones*
Colección de artículos especiales en conmemoración del centenario del descubrimiento de la insulina, producido por *Nature Reviews Endocrinology*.

Mora Massaro
Licenciada en ciencias biológicas, UNMdP.
Becaria doctoral de Conicet en el Laboratorio de Glicómica Funcional y Molecular, Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME).
mora.massaro@gmail.com

Denis A Ponce
Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG),
UNRN-Conicet

Armados hasta la piel

Histología de osteodermos

El registro fósil de vertebrados está representado principalmente por la presencia de piezas óseas. Estas incluyen huesos del esqueleto, tendones osificados, dientes y osteodermos. Los osteodermos, también denominados oscículos o placas, son estructuras óseas localizadas en la piel o tegumento. La piel está constituida por dos capas: una superficial (la epidermis) y otra más profunda, la dermis, donde se encuentran los osteodermos. Estas estructuras aparecen en vertebrados fósiles y vivientes, y presentan diferentes formas, extensiones, ornamentaciones, tamaños y funciones. Este artículo se enfoca en las implicancias fisiológicas y ecológicas que surgen de los osteodermos a partir de estudios comparativos de la microestructura interna de sus tejidos (histología) en grupos extinguidos y actuales de tetrápodos (vertebrados de cuatro extremidades). Si bien suele denominarse 'armadura' o 'coraza' a la cubierta de osteodermos, esta denominación es técnicamente incorrecta, ya que denota una función de protección implícita a priori. No obstante, las funciones pueden ser más amplias que únicamente como estructura defensiva. La técnica convencional para examinar la histología de elementos óseos es mediante secciones delgadas. Estas consisten en porciones de hueso cortadas y pulidas hasta llegar a un espesor de unas decenas de micrones (1 micrón = 0,001mm) para que puedan ser observadas bajo lupa binocular o microscopio con luz transmitida.

Los osteodermos aparecieron tempranamente en la evolución de los tetrápodos, durante el Devónico Superior, hace más de 385 millones de años (Ma). Entre los representantes más primitivos se encuentran los temnospóndilos (extinguidos) y los actuales anfibios (ranas y sapos entre otros), de hábitos anfibios o acuáti-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Sobre los osteodermos, estructuras que se encuentran en la piel de animales tetrápodos fósiles y vivientes. Su función y las inferencias que se obtienen del estudio en fósiles.

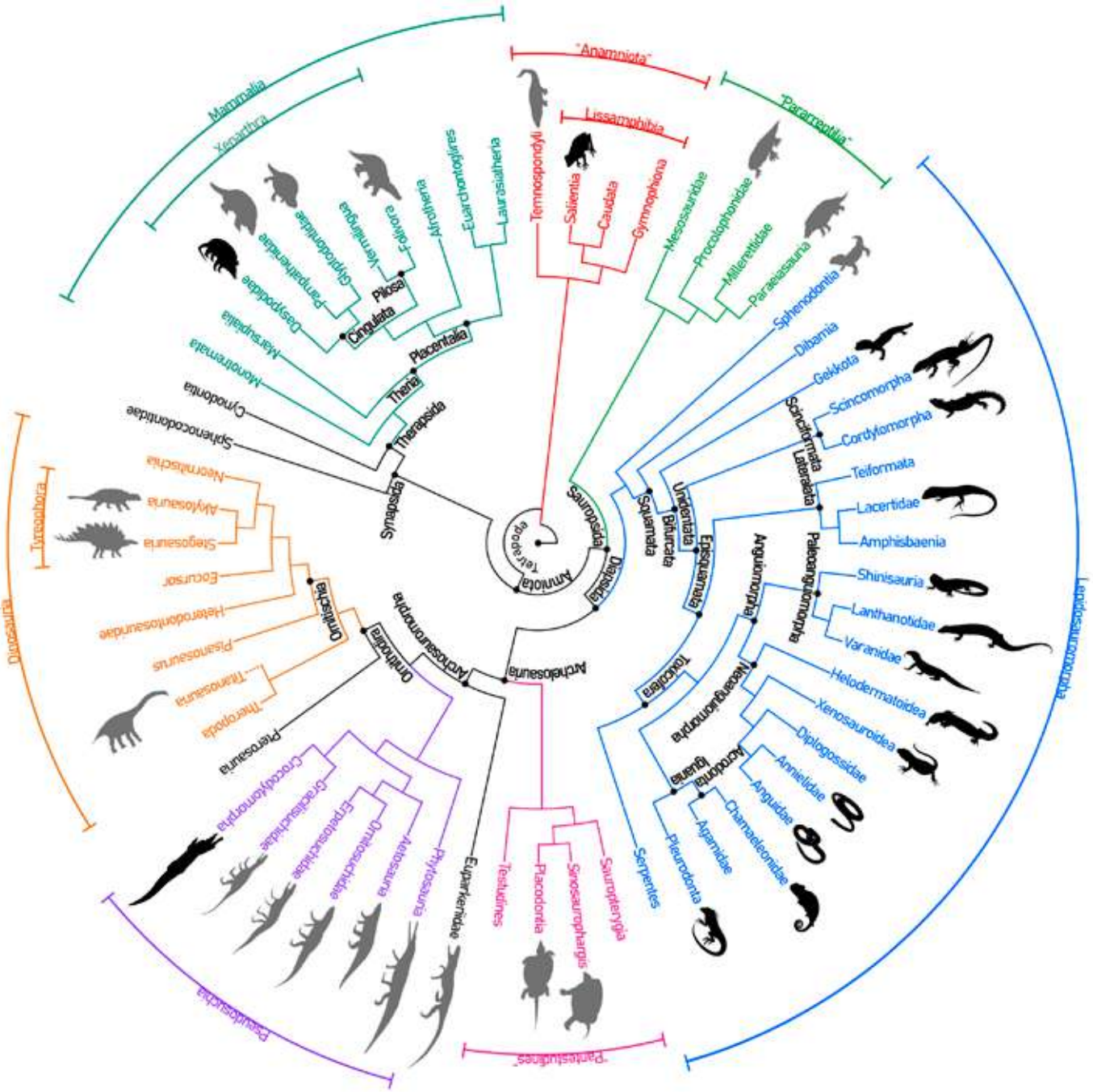


Figura 1. Cladograma radial simplificado, mostrando las relaciones de parentesco entre los principales grupos de tetrápodos portadores de osteodermos. **Siluetas en negro**, grupos vivientes actualmente; **siluetas en gris**, grupos con representantes fósiles únicamente o grupo extinguido.

cos. Posteriormente, en el período Carbonífero (hace unos 340Ma), aparecieron los amniotas, tetrápodos caracterizados por poseer huevos con cuatro envolturas protectoras, rasgo que les permitió independizarse del agua y desarrollarse en ambientes terrestres. Entre los amniotas vivientes pueden identificarse, en el linaje de reptiles, varios grupos de lepidosauromorfos portadores de osteodermos (camaleones, geckos, cordílidos). Otro grupo de importancia con armadura dérmica son los cocodrilos y caimanes. Finalmente, entre los mamíferos, se incluyen los xenartros, cuyo grupo acorazado por excelencia son los armadillos. Si se abarcan grupos fósiles, el panorama se hace más extenso y complejo. Por ejemplo, entre los xenartros fósiles pueden incluirse a los gliptodontes y pampatéridos, grandes formas con una coraza en forma de cúpula. Los milodontes fueron otro grupo de xenatros (con osteodermos que formaban una escasa armadura) relacionados con los perezosos modernos (folívoros). Por otra parte, en el linaje que incluye a los cocodrilos (pseudosuquios), además

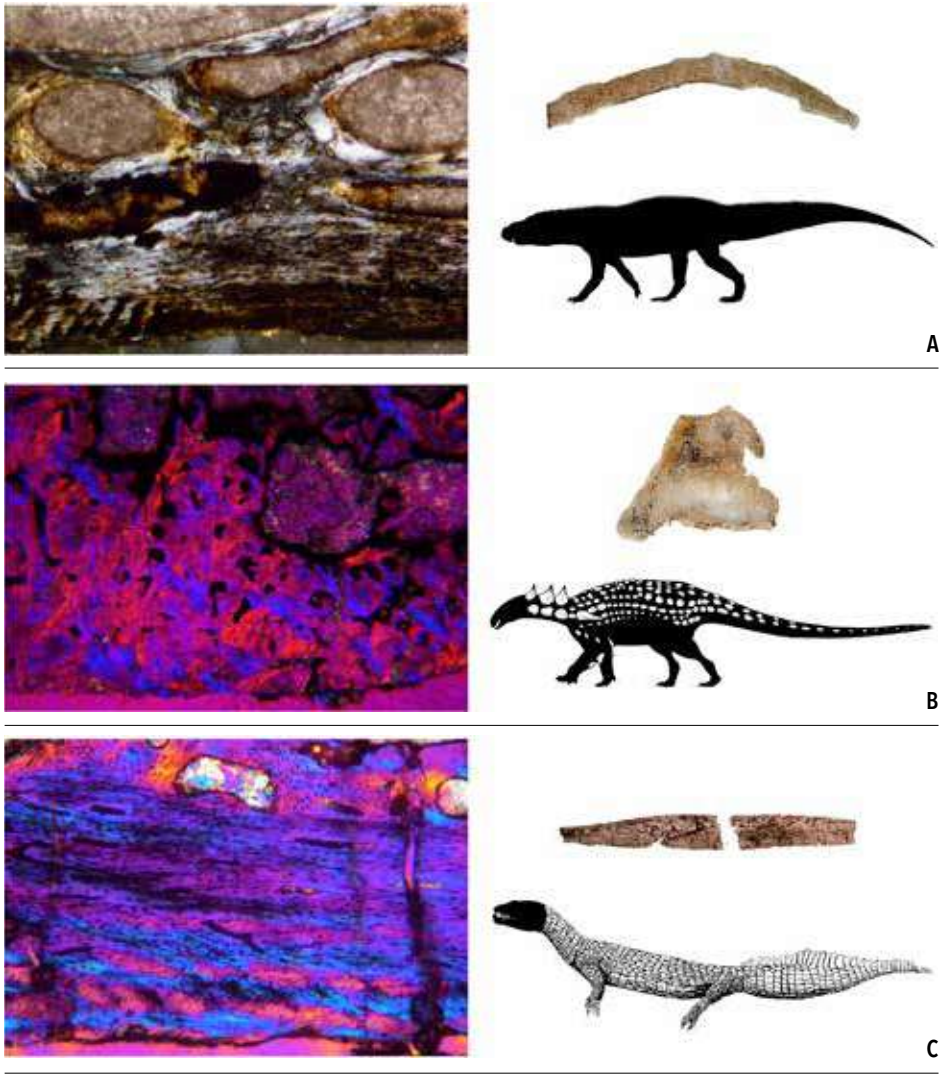


Figura 2. Detalle de secciones delgadas (en cortes transversales) de osteodermos mostrando los principales mecanismos de formación inferidos en grupos fósiles. **A**. Osificación intramembranosa: fibras estructurales ausentes; **B**. Osificación metaplásica: marcada por la presencia de fibras estructurales; **C**. Osificación mixta: fibras estructurales en combinación con hueso de origen intramembranoso. A, vista bajo microscopio con luz polarizada; B y C, vista bajo microscopio con luz polarizada con filtro.

de representantes fósiles de estos, existieron varios grupos, tales como aetosaurios, fitosaurios y ornitosuquios con osteodermos de variada forma y extensión. En el linaje hermano de los pseudosuquios, en los ornitodiros, algunos dinosaurios como anquilosaurios y estegosaurios (tireóforos) y saurópodos especializados (titanosaurios) poseían una armadura de osteodermos, en mayor o menor medida. Entre algunos grupos fósiles escasamente conocidos con una armadura dérmica puede mencionarse a los pareiasaurios, procolofónidos y placodontos, este último vinculado a las tortugas modernas. Sin embargo, cabe destacar que las placas del caparazón de las tortugas no pueden considerarse osteodermos verdaderos porque tienen un origen embrionario diferente.

¿Cómo se forman? ¿Cómo están constituidos?

Los osteodermos están constituidos principalmente por tejido óseo, al igual que los huesos del esqueleto, así que en general se emplean los mismos términos anatómicos para describirlos (ver Cerda, 2018, en las lecturas sugeridas, donde se recopilaron los aspectos más importantes que caracterizan al tejido óseo). Con respecto a su formación, principalmente se ven involucrados dos mecanismos: *osificación intramembranosa* y *osificación metaplásica*. En la primera, el hueso se forma a partir de la condensación y multiplicación de células especializadas desde un tejido conectivo primitivo. La metaplasia consiste en la transformación directa de un tejido blando en tejido óseo sin la intervención de células especializadas o molde previo de cartílago. Esta última es reconocida en fósiles por la presencia de haces densamente empaquetados de fibras colágenas mineralizadas orientadas en dos o tres direcciones y denominadas comúnmente 'fibras estructurales'. La ocurrencia de un tipo u otro de osificación parecía ser mutuamente excluyente. Por ejemplo, se ha inferido que los osteodermos de la mayoría de los armadillos se desarrollan por osificación intramembranosa y los de los lagartos, por metaplasia. Sin embargo, en estudios recientes efectuados en cocodrilos (*Alligator mississippiensis*) se reconoció la intervención de ambos tipos de osificación desde etapas embrionarias. Asimismo, en grupos fósiles se propone un modo mixto de osificación en los osteodermos de algunos arcosauromorfos. Finalmente, se ha inferido un tercer modo de osificación en fósiles, el cual se da a partir de un molde de cartílago, registrado en los osteodermos de placodontos (reptiles marinos).

Estructuralmente, la mayoría de los osteodermos se disponen en tres capas de tejidos, que pueden ser caracterizados según su porosidad relativa en hueso compacto o hueso esponjoso. El primero está caracterizado por una baja porosidad: el tejido óseo es más abundante con relación a la cantidad de espacios, canales y cavidades

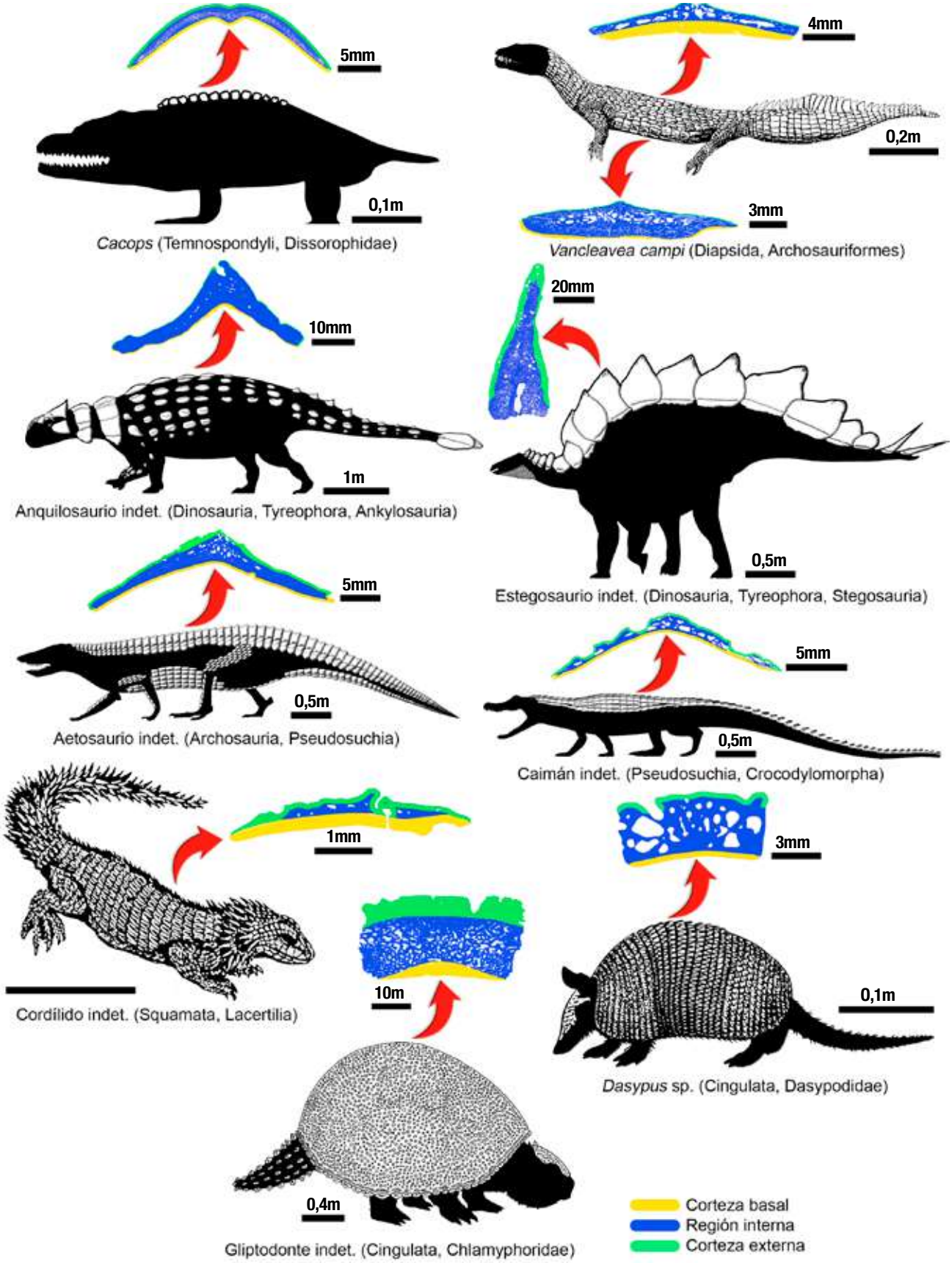


Figura 3. Secciones delgadas en vista completa (en cortes transversales) de osteodermos de algunos tetrápodos vivientes o fósiles, mostrando la estructura trilaminar de los osteodermos.

(poros). En el hueso esponjoso, la relación es inversa: los poros ocupan mayor espacio que el tejido óseo. Considerando la estructura interna de los osteodermos, se suelen dividir en una corteza basal (o profunda, orientada hacia el interior del organismo) de hueso compacto, una intermedia de hueso esponjoso (región medular) y otra corteza externa (o superficial, orientada hacia la epidermis) de hueso compacto. En algunas especies de lagartos (esquincos, geckos), se presenta además una cuarta capa, sobre la corteza externa, compuesta por un tejido denso particular denominado *osteodermina*, la cual posee aspecto vítreo, similar al esmalte de los dientes.

¿Cuál es su función?

La respuesta más aparente respecto de su función es que sirven como estructura defensiva. Los dinosaurios del grupo de los anquilosaurios ilustran perfectamente esta cuestión. Estos fueron dinosaurios cuadrúpedos que vivieron del Jurásico al Cretácico (167-66Ma). Podían alcanzar hasta 8 metros de largo, presentaban miembros cortos y robustos y una cabeza pequeña, poseían una extensa cobertura de hileras de osteodermos de formas variadas. Algunos coronaban el extremo de su cola con un prominente mazo óseo formado, precisamente, por osteodermos.

Si bien la utilidad de la armadura como elemento defensivo parece ser cierta para tetrápodos fuertemente acorazados, la cuestión sobre la funcionalidad es más compleja. En primer lugar, hay especies, actuales y extinguidas, cuya escasa cantidad y/o densidad de osteodermos hace imposible considerarlos como mecanismo de defensa. En algunos anuros, por ejemplo, la rana mono (*Phyllomedusa vaillanti*) de Perú, se observa una hilera de diminutos osteodermos en las porciones laterales de su cuerpo. Entre los lagartos, por mencionar a una especie, el camaleón de hoja antsingy (*Brokesia perarmata*) de Madagascar presenta una hilera dorsal continua de osteodermos con pronunciadas proyecciones y dos hileras costales de osteodermos dispersos.

Del mismo modo, la densidad y distribución de osteodermos en algunos grupos fósiles de tetrápodos contradicen claramente una función defensiva para estas estructuras. Entre ellos, se pueden mencionar a los temnospóndilos disorófidos del Pérmico (300-250Ma) de América del Norte. De pequeño tamaño (hasta 40cm de largo) y morfología similar a las salamandras, poseían dos hileras de osteodermos dorsales. Algunos dinosaurios, como los estegosaurios, que tuvieron una diversificación global desde el Jurásico al Cretácico (170-125Ma), también pueden incluirse entre formas con una armadura dispar. Estos eran herbívoros cuadrúpedos de gran tamaño (hasta 9 metros de largo), con miembros delanteros cortos, miembros traseros largos y una cabeza alargada y pequeña. Sus características más distintivas son las dos hileras dorsales de grandes placas óseas generalmente subtriangulares. Algunos portaban largas púas sobre el extremo de la cola.

Dada la extensión de la armadura dérmica en los taxones antes mencionados, su rol como elemento defensivo es en muchos casos muy poco evidente. Si bien en la rana mono no se conoce otra función más allá de la defensa pasiva, en el camaleón de hoja antsingy se cree que los osteodermos sirven para el camuflaje. Además, la compleja estructura de la armadura de este último sería útil para impedir ser tragados por depredadores. Entre los grupos fósiles, los osteodermos en los disorófidos pudieron servir como estabilizadores de la delicada columna durante la transición hacia el medio terrestre. En el caso de los estegosaurios, mientras que la presencia de placas ha sido relacionada a un posible dimorfismo sexual o como elementos termorreguladores, las púas caudales se consideraron como elementos utilizados para la defensa activa contra depredadores.

Asimismo, en formas que presentan una armadura extensa, esta puede tener otras funciones además de la protectora. En este sentido, en los cocodrilos los osteodermos sirven como depósito de iones de calcio para su movilización en la ovogénesis (formación de los huevos), para evitar la acidificación del organismo durante las inmersiones (por la falta de respiración), para la transferencia de calor durante el asolamiento y como puntos de anclaje de la musculatura. En los mamíferos, la armadura de los armadillos está asociada a diferentes glándulas, que podrían estar vinculadas a adaptaciones medioambientales. Los aetosaurios, reptiles cuadrúpedos y herbívoros del Triásico (250-200Ma), son de particular interés por sus tipos de osteodermos. Estaban fuertemente acorazados con varias hileras de osteodermos dorsales, laterales e incluso ventrales, con una pronunciada ornamentación consistente en crestas y surcos. Se ha propuesto que el grado de ornamentación y el tamaño de sus osteodermos eran indicativos de dimorfismo sexual.

¿Qué información aportan?

Reconstrucciones anatómicas. La forma en que se disponen los osteodermos y su microestructura permitieron inferir en algunas especies la distribución de tejidos blandos (músculos, ligamentos). Desde la histología, la presencia de tejidos blandos en fósiles es deducida a partir de las fibras de Sharpey (haces delgados y estrechamente agrupados de fibras mineralizadas de colágeno). En croniosuquios, tetrápodos basales del Pérmico de Ru-

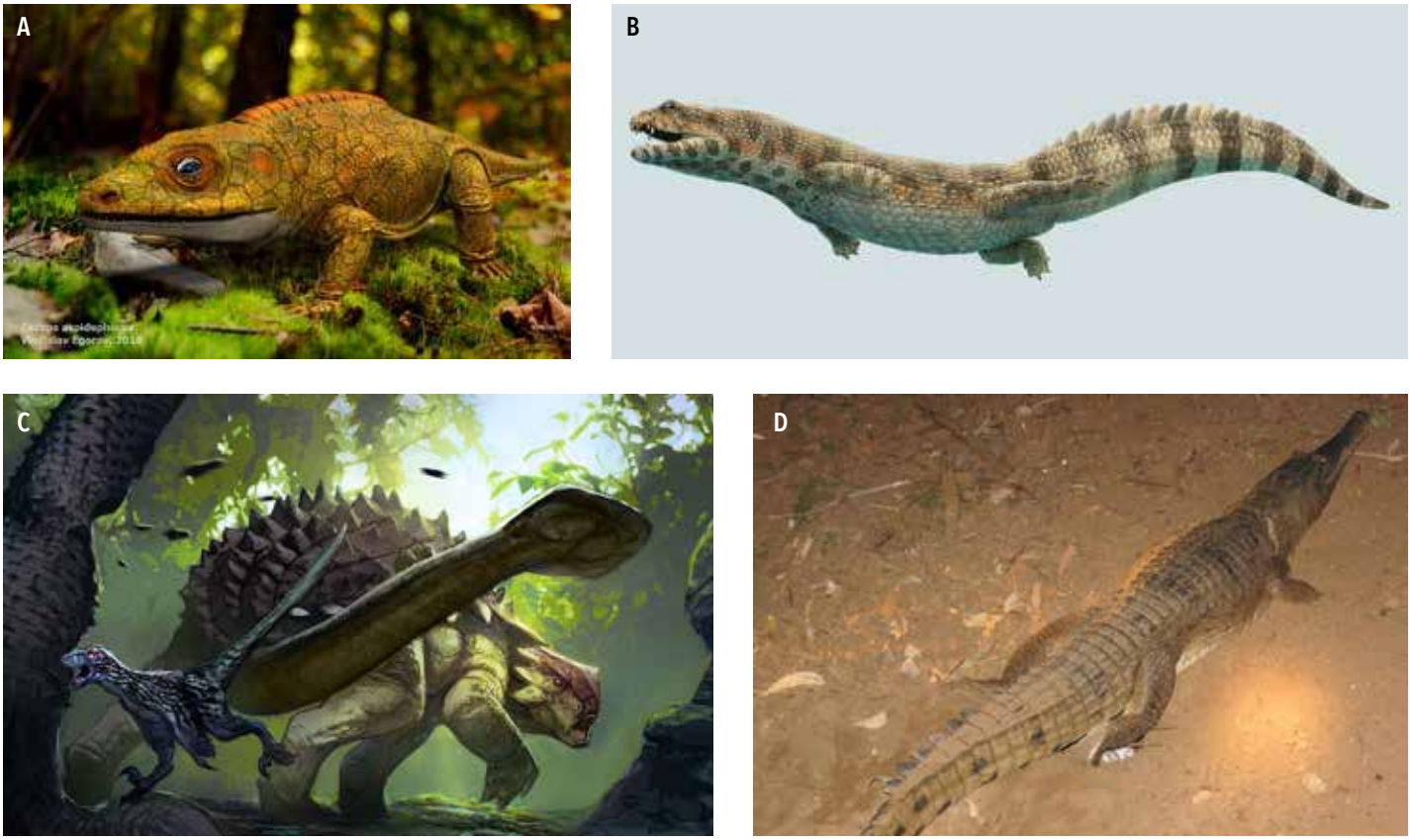


Figura 4. Algunas de las funciones de los osteodermos deducidas a partir de su histología. **A**. *Cacops*: funcionaron como soporte para la columna. Dibujo original Vladislav Egorov, **B**. *Vancleavea campi*: como medio de control de la flotabilidad. Dibujo original Gabriel Ugueto. **C**. Anquilosaurios: como elemento defensivo y de ataque ante depredadores. Dibujo original Carlo Arellano. **D**. Cocodrilos: en las hembras, como depósito mineral para movilizar iones de calcio para la ovogénesis. Foto Ruchira Somaweera

sia con una armadura prominente, la presencia de estas fibras permitió deducir que los osteodermos están conectados a las vértebras a través de la musculatura, tal como ocurre en muchos grupos de cocodrilos actuales.

Clasificación. Algunos osteodermos presentan particularidades exclusivas para determinados grupos. Los dasipódidos, cingulados que incluyen a los armadillos actuales, reflejan estas implicancias. Al tratarse de animales vivientes, pueden observarse características relativas tanto del tejido óseo como del blando. Los dasipódidos se dividen en tres subfamilias: dasipodinos (mulitas), eufractinos (peludos) y tolipeutinos (tatú carreta). El grado de densidad o compactación de los osteodermos (cavidades), la distribución de las fibras de Sharpey, la ocurrencia y abundancia de glándulas asociadas (sudoríparas, secretoras de grasa y productoras de pelos) son aspectos que permiten diferenciar al menos a las primeras dos subfamilias. Del mismo modo, se han empleado osteodermos de anquilosaurios para desarrollar esta clase de estudios. Se observó que la extensión de la corteza basal y la orientación de las fibras estructurales parecen ser características constantes para las tres familias de anquilosaurios: polacántidos, anquilosáuridos y nodosáuridos. Esta herramienta resulta útil en grupos fósiles, ya que las fuentes de información son escasas. Además, por lo general, en formas acorazadas, los osteodermos se hallan mejor preservados (respecto de la cantidad) que los huesos del resto del esqueleto.

Edad. El tejido óseo posee estructuras específicas que surgen de la variación en la tasa de crecimiento, tanto a nivel morfológico como histológico. Estas son llamadas marcas de crecimiento. Dado el carácter anual de su formación, resultan de gran utilidad para determinar la edad de los individuos. Así, pueden mencionarse las líneas de detención del crecimiento (LDC), las cuales indican una pausa en el crecimiento. Otras marcas de crecimiento son los annuli y las zonas, las cuales reflejan períodos con tasas bajas y altas de crecimiento respectivamente. Un grupo fósil que ha demostrado cierta fiabilidad como indicador de edad (mínima) en sus osteodermos son los erpetosuquios, cuadrúpedos carnívoros de postura erguida del Triásico.

Sin embargo, son necesarios ciertos recaudos para la estimación. Por ejemplo, como se mencionó an-

teriormente, durante su etapa reproductiva las hembras de cocodrilos reabsorben una parte de sus osteodermos (remodelación ósea) para movilizar el calcio de estos durante la ovogénesis. En este proceso también se remueven posibles marcas de crecimiento. Además, los cocodrilos comienzan a depositar marcas de crecimiento un año después de su eclosión. Por estas cuestiones, los osteodermos que son más útiles como indicadores de edad son aquellos con reducida o nula remodelación. Finalmente, combinando esta información con otros parámetros anatómicos (largo o ancho de los osteodermos, por ejemplo) también se han intentado reconstruir curvas de crecimiento (gráficos que ilustran cómo crece un individuo a lo largo del tiempo), como es el caso de algunos aetosaurios y cocodrilos.

Paleoecología. Estudios morfológicos y microestructurales de la armadura dérmica permiten conocer aspectos ligados a la relación de los individuos con su ambiente y con otros organismos. Se ha observado que los huesos de especies actuales y de hábitos acuáticos o anfibios son típicamente más densos y macizos que aquellos de animales terrestres. Esta característica se ha considerado como una adaptación que facilita la flotabilidad (a modo de lastre). Estas relaciones causales entre la microestructura ósea de los osteodermos y el hábito han sido empleadas para inferir este último en especies fósiles. Así, por ejemplo, el arcosauromorfo *Vancleveа campi*, del Triásico Superior (237-201Ma) de América del Norte (de morfología superficial similar a la de una iguana marina), cuyo cuerpo estaba completamente rodeado por cinco diferentes formas de osteodermos, poseía oscículos fuertemente macizos. Esto sugiere que la coraza pudo haber funcionado como 'lastre', facilitando la locomoción acuática del organismo. No obstante, estudios recientes valoran esta deducción un tanto reduccionista, sobre todo para formas fósiles con estilos de vida inciertos. Puede derivarse, sin embargo, que el grado de compactación ósea de los osteodermos es un dato complementario a estudios morfológicos y microanatómicos para apelar a un hábito determinado.

Consideraciones finales

Los estudios de osteodermos se han incrementado en los últimos años, principalmente en grupos fósiles. Nuevos aportes efectuados por paleontólogos intentan examinar estos tópicos con un mayor número de muestras para robustecer los resultados obtenidos. Asimismo, se han comenzado a analizar los resultados mediante métodos estadísticos, transformando las variables cualitativas a cuantitativas, para apuntar a procedimientos más precisos. Al mismo tiempo, se emplean otras técnicas para explorar los osteodermos a nivel ultraestructural (por ejemplo, análisis con microscopio electrónico de barrido) y extraer otras características de importancia. Estos datos, en conjunto con otras fuentes de información (morfológicas), permitirán ajustar mejor el tipo de inferencias que pueden hacerse en especies extinguidas a partir del estudio de sus osteodermos. CH

Agradezco a Ignacio Cerda y Julia Desojo por su asesoramiento en la preparación de este artículo.

LECTURAS SUGERIDAS

CERDA IA, 2018, 'Mirando gigantes con lupa', Ciencia Hoy, 27 (159): 13-19.

HALL BK, 2015, 'Variation outside the norm: Neomorphs and atavisms', en Hall HK (ed.), *Bones and Cartilage Developmental and Evolutionary Skeletal Biology*, Elsevier, La Haya, pp. 693-707.

PADIAN K & LAMM ET, 2013, *Bone Histology of Fossil Tetrapods*, University of California Press.

Denis A Ponce

Licenciado en paleontología, UNRN.
Becario doctoral de Conicet en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG), UNRN.
Docente auxiliar, UNRN.
daponce@unrn.edu.ar

Carlos Navarro y Ricardo Grau
Instituto de Ecología Regional (IER) UNT-Conicet

Salomón Hocsman
Instituto Superior de Estudios Sociales (ISES) UNT-Conicet

Las vegas

Hidrosocioecosistemas esenciales de las regiones andinas

Muchas características del paisaje sorprenden y maravillan a quien tiene la suerte de visitar la puna argentina. Volcanes, salares, coladas de lava, rocas desnudas, llanuras arenosas, lagunas azules o turquesa impactan por su belleza inhóspita. En contraste, las vegas nos conmueven por tratarse de una explosión de vida. Estos ambientes ocupan menos del 1% del territorio puneño, pero son esenciales tanto para la vida silvestre como para los pobladores de la región. Rodeadas de una matriz desértica, las vegas son humedales en los que la dinámica hídrica genera una productividad primaria semejante a la de las pasturas de la pampa húmeda. El anegamiento y las bajas temperaturas provocan que la tasa de descomposición de la materia orgánica sea muy lenta y, sumado a su alta productividad, generan reservorios de biomasa que pueden tener profundidades superiores a ocho metros, con materia orgánica acumulada por mucho tiempo, en algunos casos, por más de diez mil años.

Ambientes similares a las vegas se distribuyen a lo largo de los Andes. Desde Venezuela hasta el norte de la Argentina y Chile, estos ecosistemas se encuentran por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar y reciben el nombre de *bofedales*, *onconales* o *ciénagas*, términos que, aunque a veces se utilizan indistintamente, pueden reflejar diferencias funcionales. En Bolivia y Perú hay un desarrollo agrícola-ganadero fuertemente ligado a estos ambientes y se reserva el nombre de bofedal a los situados por encima de los 4000msnm con plantas en cojín y con gran acumulación de materia orgánica. En la Patagonia, por otro lado, ecosistemas similares se conocen como *mallines*. En inglés, el término utilizado para estos ecosistemas en sentido amplio es *peatlands* por su capaci-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las vegas, humedales de altura de gran biodiversidad, se mantienen y desarrollan en forma conjunta con las sociedades puneñas

dad de almacenar materia orgánica (turba o *peat*). Otro factor considerado en la clasificación de estos humedales es su nivel de salinidad. Las vegas salinas, también llamadas *collpares*, suelen tener menor productividad vegetal, menor riqueza de especies, y la napa freática es más profunda que en las de agua dulce. Independientemente de sus distintas formas, las vegas son *hotspots*, los ecosistemas con mayor biodiversidad regional.

Vega Botijuela, a 3407msnm en Catamarca, que se conecta al salar de Antofalla y lo alimenta.

Vega Matadero, a 4316msnm, en las cumbres calchaquíes, Tucumán. Se caracteriza por su fuerte pendiente y se observa gran desarrollo de cojines y pozas de agua.

La biodiversidad de las vegas

De las más de 100 especies de aves conocidas para la puna, aproximadamente 45 habitan específicamente en las vegas. Flamencos, varias especies de patos y guayatas (*Chloephaga melanoptera*) son grandes aves emblemáticas de lagunas y vegas. Estos ambientes también concentran a los herbívoros y, en consecuencia, son el 'coto de caza' de los principales carnívoros como el puma y los zorros. Los variados microambientes de las vegas albergan alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos, como insectos, moluscos y crustáceos, incluyendo entre estos últimos a especies del género *Hyalella* que suelen tener poblaciones muy densas. Esta comunidad de macroinvertebrados es crucial para mover la energía entre diferentes niveles tróficos, por ejemplo, comiendo algas y transmitiendo esa energía hacia los consumidores superiores de la cadena trófica, como las aves.

La estructura y el funcionamiento de las vegas están definidos por su vegetación. En un grupo de 50 vegas de la puna argentina nuestro equipo de trabajo ha registrado más de 140 especies de plantas de 33 familias, que varían a lo largo de los gradientes altitudinales y de los gradientes locales de microclima, hidrología, salinidad y fertilidad del suelo. La vegetación típica es un tapiz denso y continuo, con predominio de céspedes y plantas tipo almohadilla o cojín. Predominan juncáceas, como *Oxychloe andina* (puko), *Distichia muscoides* (wari-puko) y *Patosia clandestina* (cojín del agua), ciperáceas (*Carex spp.*, *Zameoscirpus spp.*) y poáceas como *Deyeuxia hackelli*. En las vegas salinas hay predominio de especies adaptadas a estas particulares condiciones edáficas, como *Distichlis humilis* (gramilla brama), *Lycium humile* (uvilla) y *Sarcocornia pulvinata*. Muchas especies vegetales de las vegas poseen reproducción vegetativa, donde prolongaciones del tallo principal generan raíces y se independizan en una nueva planta. Las semillas suelen ser dispersadas por aves o mamíferos herbívoros provocando que las vegas tengan muchas especies de plantas en común, a pesar de ser sistemas aislados en una matriz árida.

Los humanos y las vegas

La vida humana en la puna, a lo largo de su historia, no podría concebirse sin una íntima asociación con las vegas. La utilización humana de estas se remonta a las primeras ocupaciones hace unos once mil años. Esto no es sorprendente, ya que son lugares con abundante agua, recurso escaso en el desierto puneño, y muy atractivos por las especies de animales y de plantas que sustentan. Los primeros habitantes vivían de la caza y de la recolección y se asentaban en la proximidad de vegas asociadas a manantiales, ríos o lagunas. Los registros arqueológicos indican que allí cazaban vicuñas, guanacos y aves, y recolectaban rizomas dulces (*chorizos*) de plantas como la totora (*Schoenoplectus americanus*) y tallos frescos del unquillo (*Juncus balticus*). Es incluso posible que estas plantas se hayan expandido en las vegas como consecuencia de su uso por parte de los humanos.

Las vegas también proveyeron otros elementos de importancia para la vida cotidiana y ritual. La paja brava (*Cortaderia speciosa*) era utilizada para la cestería y para

Izquierda. Vicuña buscando alimento en una vega desarrollada en el borde de la laguna Grande, a 4250msnm, Catamarca. **Derecha.** Primeros centímetros de suelo en una vega, donde se destaca el entramado de raíces y la abundante cantidad de materia orgánica. La fotografía corresponde a la vega Real Grande, a 4222msnm, Catamarca.

confeccionar techumbres. La chacha o tola de río (*Parastrephia quadrangularis*) era particularmente requerida por sus propiedades combustibles y por ser una sahumadora frecuentemente empleada en diversos rituales.

Alrededor de 4500 años antes del presente, los cazadores-recolectores de la puna árida desarrollaron o adoptaron prácticas de pastoreo de camélidos, domesticando las llamas mediante selección artificial a partir del guanaco. También hubo un desarrollo de la horticultura con tubérculos andinos como papa (*Solanum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosum*), granos como la quinoa (*Chenopodium quinoa*) y ciertas variedades de maíz (*Zea mays*). La vida agropastoril implicó nuevas formas de utilizar la vega, donde se concentraron tropas de llamas y se desarrolló una incipiente *agricultura de vega* basada en el manejo del agua que posibilitó extender en forma artificial la superficie de las pasturas y acelerar su renovación en la primavera. Así, las vegas se constituyeron en verdaderos paisajes antrópicos que persisten hasta nuestros días. Un patrón que se repite en la puna es que, salvo aquellos originados en el desarrollo minero o de vías de comunicación, los centros poblados se asocian a vegas.

El flujo del agua y el funcionamiento de las vegas

El desarrollo de las vegas depende de su funcionamiento hidrológico, que requiere una vegetación adaptada a la acumulación y el flujo lento de agua. A mayor altitud, es común la formación de pozas intercaladas con cojines, una especie de domos de vegetación. La profundidad a la que se encuentra la napa freática es en general de unos pocos centímetros y raramente excede un metro. Nuestras investigaciones en la puna argentina muestran que la napa es más profunda en el verano (diciembre-marzo) que, si bien es la estación más lluviosa, constituye el período de mayor evapotranspiración, lo que explicaría en parte un balance hídrico más negativo en los meses más lluviosos.

Aunque con fluctuaciones estacionales, el agua en las vegas se mantiene cerca de la superficie durante todo el año, probablemente porque el principal aporte de agua es subterráneo y relativamente constante. Se trata de agua incorporada al subsuelo tiempo atrás a partir de la precipitación (lluvia, nieve y granizo) que se infiltra a través de sedimentos y rocas permeables. Estimaciones basadas en isótopos estables del agua indican que desde que precipita el agua en la cuenca hasta que emerge en las vegas pueden pasar desde días hasta cientos o miles de años. La *edad del agua* de las vegas es poco conocida y disponer de esa información es clave para entender la estabilidad y resiliencia de estos sistemas en el tiempo, así como su vulnerabilidad ante el cambio climático que, en el caso de la puna, se manifiesta como una tendencia hacia una mayor aridez.

La vegetación de las vegas hace que en el sitio donde aflora el agua esta circule lentamente. El flujo horizontal se estima entre 0,0001 a 1,1 metros por año. Este flujo

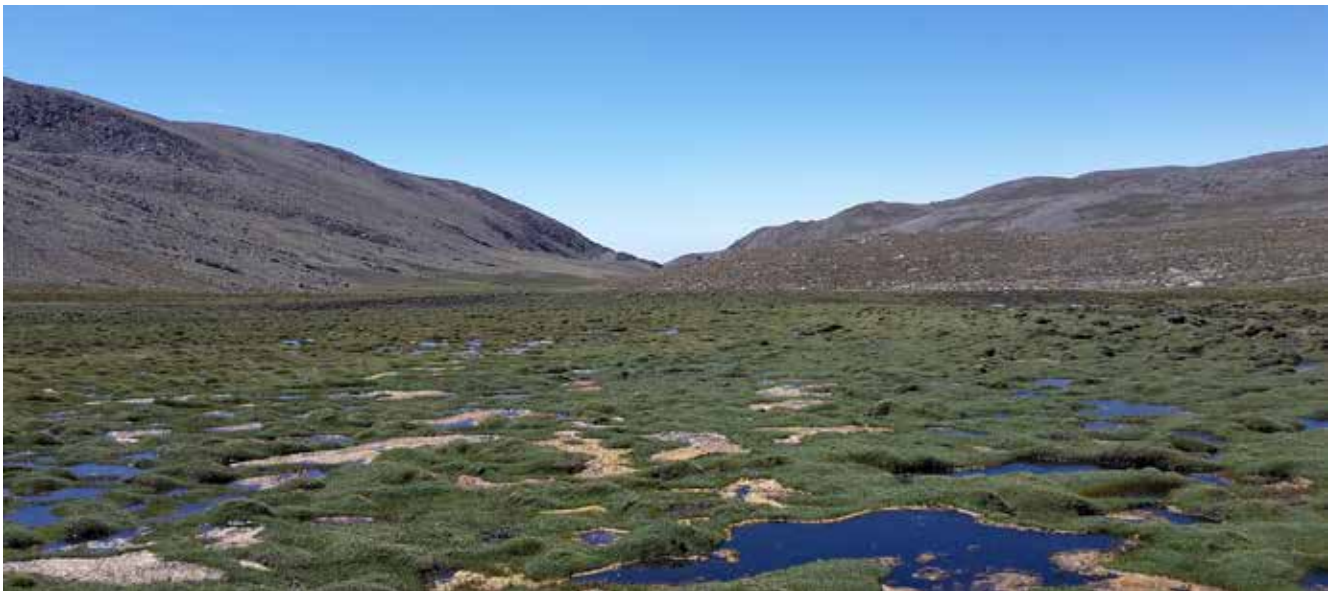
LA NECESIDAD E IMPORTANCIA PARA LAS VEGAS ALTOANDINAS DE UNA LEY DE PRESUPUESTOS MÍNIMOS PARA LOS HUMEDALES

Como se describe en el artículo, las vegas son sistemas esenciales para la vida en la puna y resultan potencialmente sensibles a procesos de cambio climático y uso del suelo. Las leyes de presupuestos mínimos (LPM) tienen por objetivo regular el uso de recursos esenciales para la sociedad para garantizar su conservación y el desarrollo productivo basado en ellos. Estas leyes no proponen prohibir las actividades de extracción o producción, sino regular la manera de hacerlo y generar la información necesaria para lograrlo, respetando las autonomías provinciales de ordenamiento territorial y el aprovechamiento sostenible de sus recursos. Argentina cuenta con diez LPM, entre las cuales se destacan la Ley de Bosques y la de Glaciares; mientras que diferentes proyectos de ley de humedales son discutidos desde 2013. En el caso de la puna, los humedales clave que quedarían incluidos en esta ley son lagunas, salares y vegas. Para que esta ley sea eficaz debe asegurar el mantenimiento de la diversidad e integridad ecológica de los humedales. Para ello debe garantizar el conocimiento de los recursos a través del Inventario Nacional de Humedales y regular su uso integrando a todos los actores involucrados, respetando intereses y valores. La gran heterogeneidad y sensibilidad de las vegas, los diversos intereses y actores incluidos en su uso y la complejidad jurisdiccional que impone la distribución regional de estos ecosistemas naturales hacen que el objetivo de las LPM de humedales sea un gran desafío. Sin embargo, es esta misma complejidad la que pone en evidencia la necesidad de conservación de las vegas altoandinas y, con ello, garantizar la continuidad de la vida silvestre y doméstica, los derechos de las poblaciones locales y el desarrollo productivo de la región.

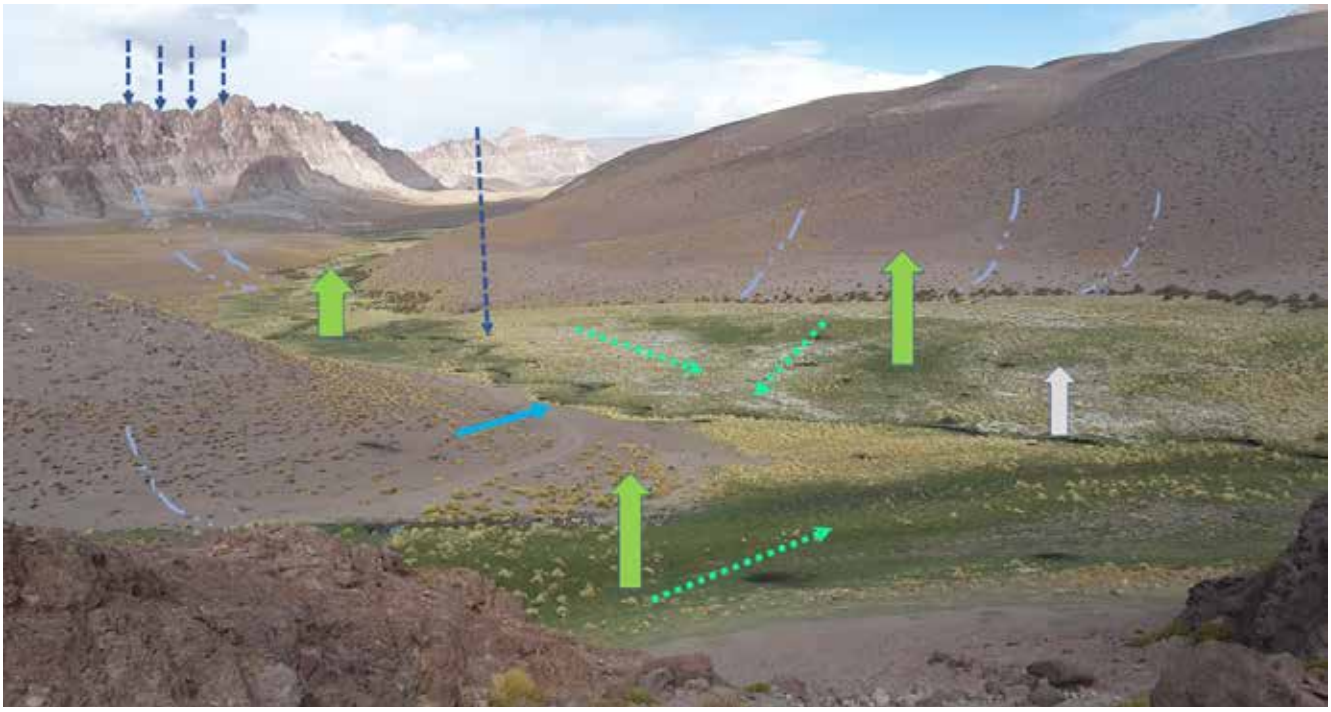
Andrea E Izquierdo
Doctora en biología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC.
Investigadora adjunta del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), UNC-Conicet.
Auxiliar docente, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT.
aeizquierdo@gmail.com

lento, aun en topografías montañosas, resulta de la elevada proporción de materia orgánica presente en el suelo de las vegas y, en particular, de la estructura compacta de raíces, tallos y hojas en descomposición. La vegetación favorece esta acumulación de agua, a la vez que es una de las principales consumidoras de este recurso.

En el contexto desértico donde se desarrollan, las vegas aseguran disponibilidad de agua dulce durante gran parte del año, lo que las convierte en un elemento esencial de la ecología regional. Sin embargo, existen algunas vegas con elevada concentración salina, determinada principalmente por la presencia de cloruro de sodio (NaCl).



Vega completamente inundada, con la napa freática en superficie la mayor parte del año. La fotografía muestra la vega San Guillermo, a 3480msnm en el Parque Nacional San Guillermo, San Juan.



Principales flujos del agua en las vegas. Las flechas cortadas azules indican precipitación (lluvia, nieve o granizo), las flechas verdes indican evapotranspiración, la flecha blanca indica la evaporación directa, las líneas cortadas celestes representan las recargas de agua a la vega desde las laderas, las flechas cortadas verdes indican los flujos dentro de la vega, la flecha celeste está indicando el lugar del cauce principal de la vega. La fotografía muestra la vega Real Grande, a 4222msnm, Catamarca.

Vega pastoreada por ovejas. En el fondo se observa una tropa de burros, habitantes comunes de la puna.

El ion cloruro (Cl^{-1}), presente en las rocas y transportado por el agua, es muy estable y no es incorporado significativamente por los procesos biogeoquímicos de las plantas, por lo que se acumula en las zonas bajas de la cuenca. El flujo horizontal lento y la evapotranspiración relativamente elevada favorecen la acumulación de sales en las vegas, sobre todo en aquellas ubicadas en los sectores más deprimidos como bordes de lagunas o salares.

El pastoreo y su efecto sobre las vegas

Como ya se mencionó, antes de la colonización europea las vegas de la puna argentina eran pastoreadas por camélidos nativos: vicuñas y guanacos silvestres y llamas domésticas. Con la colonización europea la diversidad de grandes herbívoros aumentó con la incorporación de ovejas, vacas, cabras, burros, mulas y caballos. Actualmente, el herbívoro más abundante de la puna es la oveja, pero sus poblaciones decrecen debido a la emigración rural y el abandono de la vida pastoril. Asociado a esto y a políticas de protección activas, las poblaciones de vicuñas crecieron rápidamente. Estos cambios en la comunidad de herbívoros no parecen afectar de manera significativa la productividad y la biodiversidad de las vegas de la puna.

Los pastores de la puna han desarrollado prácticas de manejo para reducir o evitar el sobrepastoreo, utilizando estacionalmente otros recursos forrajeros. Algunas prácticas ganaderas pueden alterar la dinámica hídrica. El sobrepastoreo y el mal manejo de canalizaciones pueden llevar a la formación de cárcavas que aumentan la velocidad de flujo hídrico y, en casos extremos, deprimir la napa, desencadenando procesos de descomposición de la materia orgánica y, por lo tanto, desestabilizar el sistema. Más frecuentemente, sin embargo, el buen manejo del agua tiende a contribuir con su estabilidad.

El sobrepastoreo puede cambiar la composición vegetal, favoreciendo especies tóxicas o no palatables. Es esperable que tenga un efecto sobre la productividad primaria al consumir una proporción de la vegetación y alterar la dinámica hídrica. Las vegas cercanas a las poblaciones humanas son las más intensamente usadas para la ganadería, mientras que en aquellas más remotas predomina el pastoreo por camélidos silvestres. Sin embargo, nuestras observaciones no muestran evidencia de que las vegas asociadas a asentamientos humanos y ganadería sean menos productivas o tengan menor biodiversidad; por el contrario, parecen ser más estables y resilientes, e incluir una mayor riqueza de especies vegetales y de macroinvertebrados acuáticos. El control de la densidad del ganado, las canalizaciones para optimización del recurso hídrico, la trashumancia (movimiento del ganado entre vegas a veces distantes y a distintos niveles altitudinales) y los mecanismos de retroalimentación entre los sistemas biológicos e hídricos seguramente contribuyen a su sustentabilidad.

Las vegas como sistema socioecológico: una síntesis

La vida del habitante de la puna está vinculada con las vegas y hablar de sistemas 'naturales' versus 'antrópicos' como una dicotomía estricta podría conducir a errores, especialmente en lo referente a las vegas situadas por debajo de los 4000msnm que, en su enorme mayoría, se asocian a asentamientos humanos temporales o permanentes, pasados y presentes. Las sociedades puneñas no existirían como las conocemos sin las vegas y estas últimas serían muy diferentes y quizá menos estables y diversas sin la influencia de aquellas.

Antes del Holoceno, el clima de la puna era entre cinco y diez grados más frío. Es decir, los ecosistemas puneños que conocemos tienen aproximadamente diez mil años de antigüedad. El establecimiento de condiciones climáticas relativamente cálidas y estables coincide con la llegada de los humanos a la región, quienes tomaron las vegas como centro de su actividad. Puede argumentarse que, desde entonces, vegas, humanos y grandes herbívoros como intermediarios evolucionaron en forma conjunta, generando condiciones en los distintos componentes que se retroalimentan.

Las vegas atraen a los grupos humanos por sus valiosos recursos. Los humanos promueven la persistencia y estabilidad de las vegas, y estas, gracias a su estabilidad, facilitaron el sedentarismo asociado a la agricultura y, principalmente, a la ganadería. El ganado favorece una vegetación cespitosa resistente al pisoteo y el forrajeo, típicamente césped apretado y consistente que modula el hábitat desarrollando pequeños 'diques' o 'represas' que enlentecen el flujo hídrico. Los humanos, para mantener el ganado, construyen canales y manejan el agua para recrear esos flujos y ese tipo particular de vegetación. En general, estos sistemas en los que interactúan humanos, ganado, vegetación y flujos hídricos resultaron ser estables durante los últimos diez mil años. Procesos como las fluctuaciones climáticas y el dramático cambio socioecológico debido a la colonización europea, que introdujo un conjunto novedoso de herbívoros, no parecen haber alterado las cualidades esenciales y el funcionamiento de las vegas.

Sin embargo, los límites de esta estabilidad son poco conocidos. El cambio climático, el sobreconsumo de agua por minería o turismo, el sobrepastoreo, el desmanejo del ganado o del agua pueden amenazar la estabilidad de las vegas. Por ello, es importante profundizar las investigaciones; por ejemplo, analizar las respuestas a eventos climáticos extremos, explorar la edad del agua que llega a las vegas a través del subsuelo, y entender mejor las relaciones entre hidrología, herbivoría y ecofisiología vegetal. Estos estudios no solo requieren la utilización de técnicas sofisticadas (isótopos, sensores automatizados, etcétera), sino que también necesitan incorporar los saberes que los habitantes puneños han adquirido por miles de años y que han hecho que estos sistemas sean menos vulnerables. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ASCHERO CA *et al.*, 2020, *Miles de años de historia... Entre vegas, peñas y quebradas en Antofagasta de la Sierra*, ISES-Conicet-UNT, San Miguel de Tucumán.

GRAU HR *et al.*, 2018, *La puna argentina: naturaleza y cultura*, Serie de Conservación de la Naturaleza 24. *lillo.org.ar/publicaciones/serie-conservacion*

IZQUIERDO AE *et al.*, 2018, 'Highlands in transition: Urbanization, pastoralism, mining, tourism, and wildlife in the Argentinian Puna', *Mountain Research and Development*, 38 (4): 390–401. *doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00075.1*

NAVARRO CJ *et al.*, 2020, 'Rewilding of large herbivores communities in high elevation Puna: Geographic segregation and no evidence of positive effects on peatlands productivity', *Regional Environmental Change*, 20, 112. *doi.org/10.1007/s10113-020-01704-8*

TCHILINGUIRIAN P y OLIVERA DE, 2012, 'Degradación y formación de vegas puneñas (900-150 años AP): puna austral (26 s), respuesta del paisaje al clima o al hombre', *Acta Geológica Lilloana*, 24 (1): 41–61.

Carlos Navarro
Doctor en ciencias biológicas, Facultad de Ciencias Naturales-IML, UNT.
Becario posdoctoral del Instituto de Ecología Regional (IER)-UNT-Conicet.
Profesor en el ISFD Manuel Belgrano, Simoca.
carlos-n@outlook.com

Ricardo Grau
Ph.D. en geografía, University of Colorado at Boulder, Estados Unidos.
Director del IER, UNT-Conicet.
Profesor titular de Ecología del Paisaje, UNT.
Investigador principal del Conicet.
chilograu@gmail.com

Salomón Hocsman
Doctor en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Investigador independiente del Conicet.
Profesor adjunto, Facultad de Ciencias Naturales-IML, UNT.
shocsman@csnat.unt.edu.ar

Graziella Bozzano y Roberto A Violante
Departamento de Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval

Fermín I Palma, Daniela V Spoltore y Alejandro A Tassone
Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), UBA-CONICET

Los cañones submarinos del Margen Continental Argentino

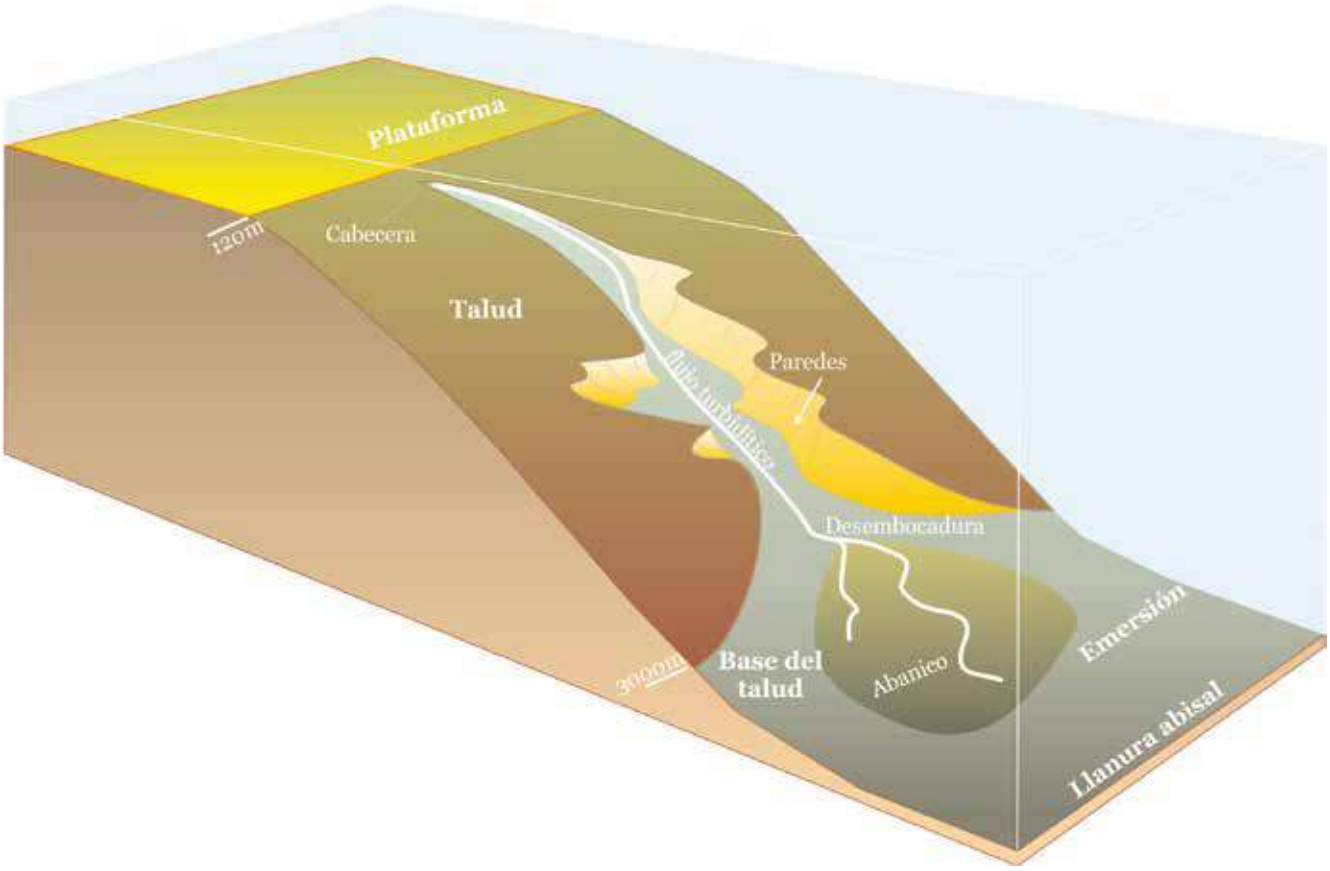
Cañones submarinos: ¿qué son y dónde están?

Los cañones submarinos son valles que surcan el fondo del mar con una morfología muy similar a la de los valles fluviales que observamos en el continente. Estos cañones se hallan en todo el mundo labrando en sentido transversal los márgenes continentales. Estos corresponden a la prolongación sumergida del territorio continental hasta el límite con las cuencas oceánicas y están formados por la plataforma, el talud y la emersión continentales. Los cañones conectan las zonas marinas de aguas someras con las zonas de aguas profundas y poseen generalmente un perfil transversal en forma de V, desarrollando diseños rectilíneos a sinuosos. El extremo superior, denominado cabecera del cañón, comienza donde la incisión del valle se percibe en relación con el ambiente adyacente. Esta puede ubicarse en la plataforma continental próxima a la línea de costa y a una profundidad variable, generalmente cercana a los 100m, o bien en el talud continental. El extremo inferior, conocido como desembocadura o boca del cañón, corresponde a la zona donde el valle se aplana y se integra al fondo marino circundante, situándose en la base del talud o la emersión continental, que representan regiones más profundas cercanas a las llanuras abisales.

Existe una enorme diversidad en cuanto a la morfología y longitud total de los cañones submarinos. A nivel mundial, la extensión promedio alcanza los 40km, con

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los cañones submarinos y su importancia en el Margen Continental Argentino.

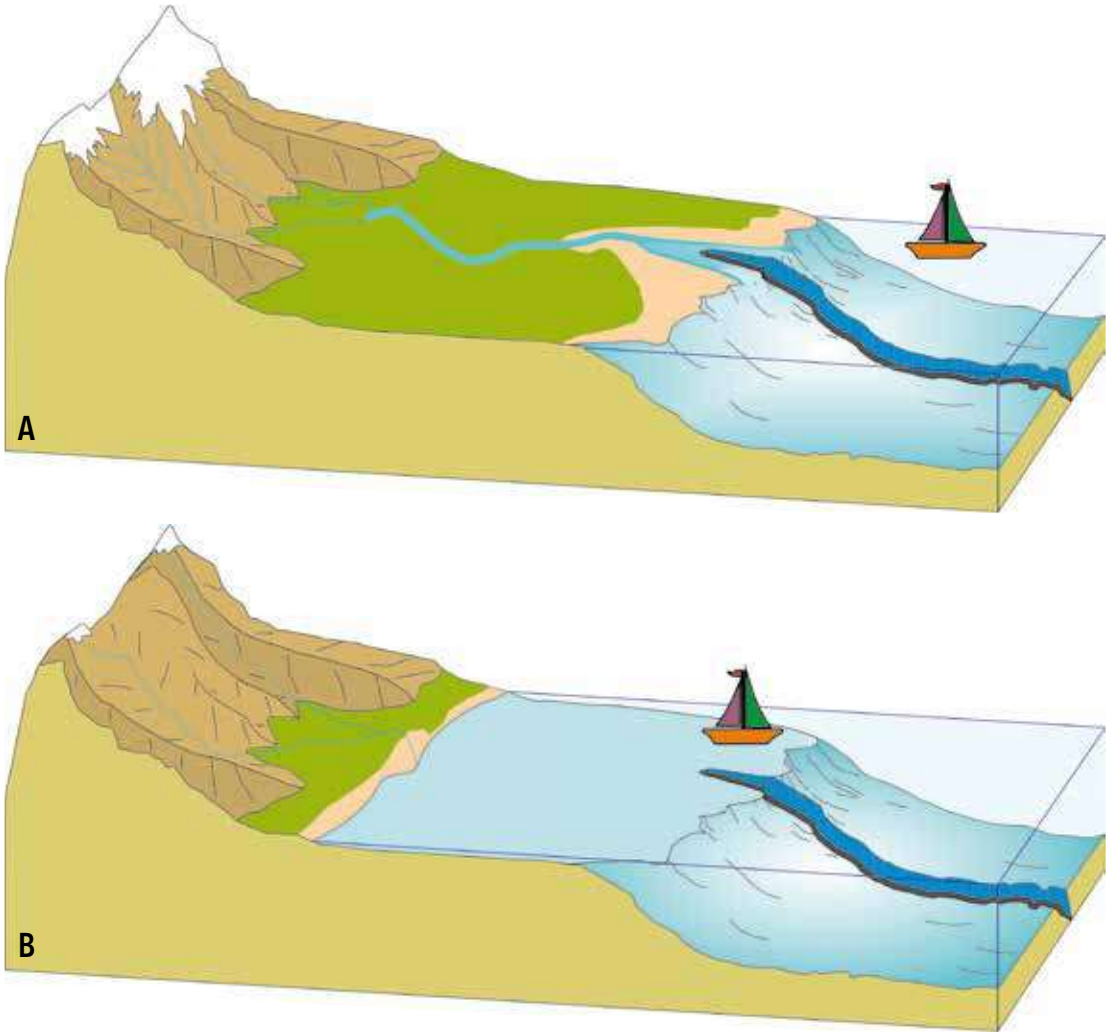


Morfología esquemática de un cañón submarino y de los dominios asociados. La plataforma continental es la porción de corteza terrestre sumergida que circunda los continentes, caracterizada por una escasa pendiente y una anchura variable. Su límite exterior, en general ubicado alrededor de los 100-120 metros de profundidad, es marcado por un cambio brusco en la pendiente y el comienzo del dominio del talud continental, que representa la porción de la morfología submarina con mayor escarpe. En la base del talud, donde la pendiente vuelve a ser leve, y a profundidades generalmente superiores a los 3000m, empieza el dominio de la emersión continental. Este es lugar de acumulación de los sedimentos que pueden ser transportados pendiente abajo por las corrientes turbidíticas, por ejemplo, formando depósitos que suelen tener una morfología en forma de abanico.

valores que oscilan desde unos pocos kilómetros hasta un máximo de 411. Este record lo posee el cañón Bering, ubicado en el margen de Alaska en el océano Pacífico Septentrional, al que le sigue un cañón anónimo de la Antártida con 334km de largo. En la mayoría de los casos, los cañones submarinos están delimitados por paredes que suelen alcanzar centenares de metros de altura, aunque existen casos extremos, como el del cañón Zhemchug en Alaska, cuyas paredes alcanzan los 2500m. Las paredes del cañón pueden ser abruptas y empinadas o bien pueden albergar una o más superficies (semi)planas como si fueran terrazas. Los cauces o ejes principales están dirigidos pendiente abajo y, a menudo, son alimentados por valles secundarios o tributarios que forman redes de drenaje de distinta complejidad. Los cañones son atravesados por corrientes turbidíticas, definidas como flujos inducidos por la acción de la gravedad sobre una mezcla turbia de agua y sedimento en suspensión, cuya densidad resultante es superior al fluido circundante. Estos flujos pueden ser generados por deslizamientos submarinos (tras terremotos, inestabilidad de las paredes o escapes de fluidos) o por elevados aportes de sedimento procedentes de plataforma (riadas, aluviones, rupturas de diques naturales o artificiales). En la base del talud, donde la pendiente disminuye notablemente para dar paso a la emersión continental, el sedimento transportado por los flujos turbidíticos puede quedar depositado en acumulaciones con forma conoide o de abanico.

Origen de los cañones submarinos

En cuanto a su génesis, los procesos geológicos que controlan el nacimiento y el desarrollo de un cañón son extremadamente lentos y están en el orden de unos pocos millones de años. Sabemos que en épocas geológicas pasadas el nivel del mar no se ubicaba en donde lo observamos hoy en día. Por ejemplo, durante la Última Máxima Glaciación, hace veinte mil años, este estaba en promedio 120m más bajo. Esto significa que todo el territorio que se halla hasta una profundidad de 120m,



Esquema de formación de los cañones submarinos conectados con un sistema fluvial. **A.** Durante épocas pasadas de nivel del mar bajo (como por ejemplo hace veinte mil años), los ríos depositaban el sedimento transportado cerca del talud. Esto favorecía la formación de corrientes turbidíticas que erosionaban el fondo formando así el valle del cañón. **B.** En épocas de nivel del mar alto, como es el caso actual, los ríos descargan sus sedimentos cerca de la costa y lejos de la cabecera de los cañones, por lo que estos quedan parcialmente o del todo inactivos.

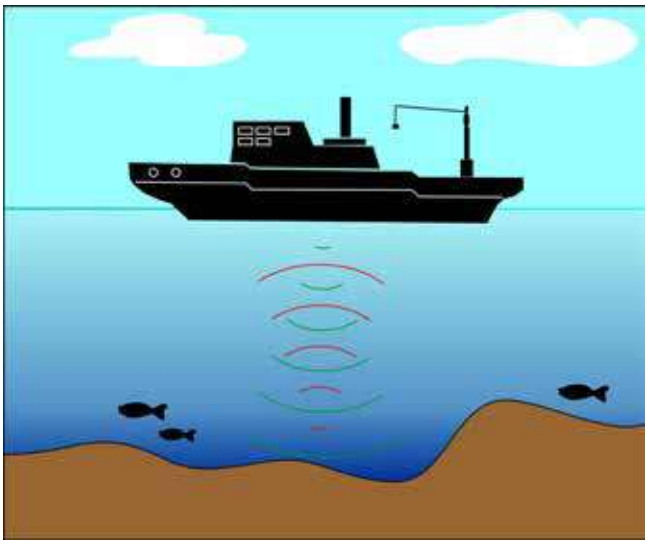
como es el caso de la mayoría de las plataformas continentales, hace veinte mil años no estaba sumergido bajo el agua, sino expuesto al aire. Los ríos, las playas y las dunas costeras estaban organizados en función de un nivel del mar más bajo, por lo tanto, la desembocadura de los ríos y el material por ellos transportado estaban desplazados centenares de kilómetros con respecto a la posición actual. Es decir, se ubicaban en una posición más alejada con relación a la actual línea de costa y mucho más cercana al talud continental.

De este modo, los desagües de los ríos de épocas de mar bajo tenían la capacidad de erosionar el lecho marino, bajo forma de flujos densos de sedimento y agua (las corrientes turbidíticas), los cuales se deslizaban pendiente abajo modelando los valles que actualmente conocemos como cañones submarinos. Cuando el nivel del mar volvió a subir y los sistemas fluviales retrocedieron, los cañones se quedaron sin ese aporte de sedimentos y corrientes densas que los siguieran modelando y erosionando. Debido a esta desconexión se creyó por mucho tiempo que los cañones hoy en día eran inactivos e inertes; sin embargo, esto no es así. Existen cañones que no tienen una contraparte fluvial en tierra firme, es decir, no están conectados con ningún río que los pueda haber originado en otras épocas geológicas. También, hay cañones cuyo valle se halla solamente en el talud, a profundidades de más de 1000m y a centenares de kilómetros lejos de la costa. En algunos casos, en contextos geológicos específicos, las grandes fallas de origen tectónico (zonas de fractura a lo largo de las cuales dos bloques de corteza terrestre se mueven con un desplazamiento relativo) generan zonas de debilidad en donde se acentúan los procesos erosivos dando, finalmente, lugar a la formación de cañones submarinos. Sin embargo, fuera de los contextos tectónicos antes mencionados, aquellos cañones cuyo desarrollo se limita al talud continental nacen como surcos que se formaron en primera instancia por inestabilidad de las laderas del talud. Al igual que en las montañas, también bajo el mar se verifican deslizamientos, derrumbes y avalanchas. Estos procesos dejan cicatrices que con el pasar del tiempo se profundizan si los eventos de inestabilidad se repiten, evolucionando de cicatrices a surcos, los cuales se ensanchan y se transforman en valles.

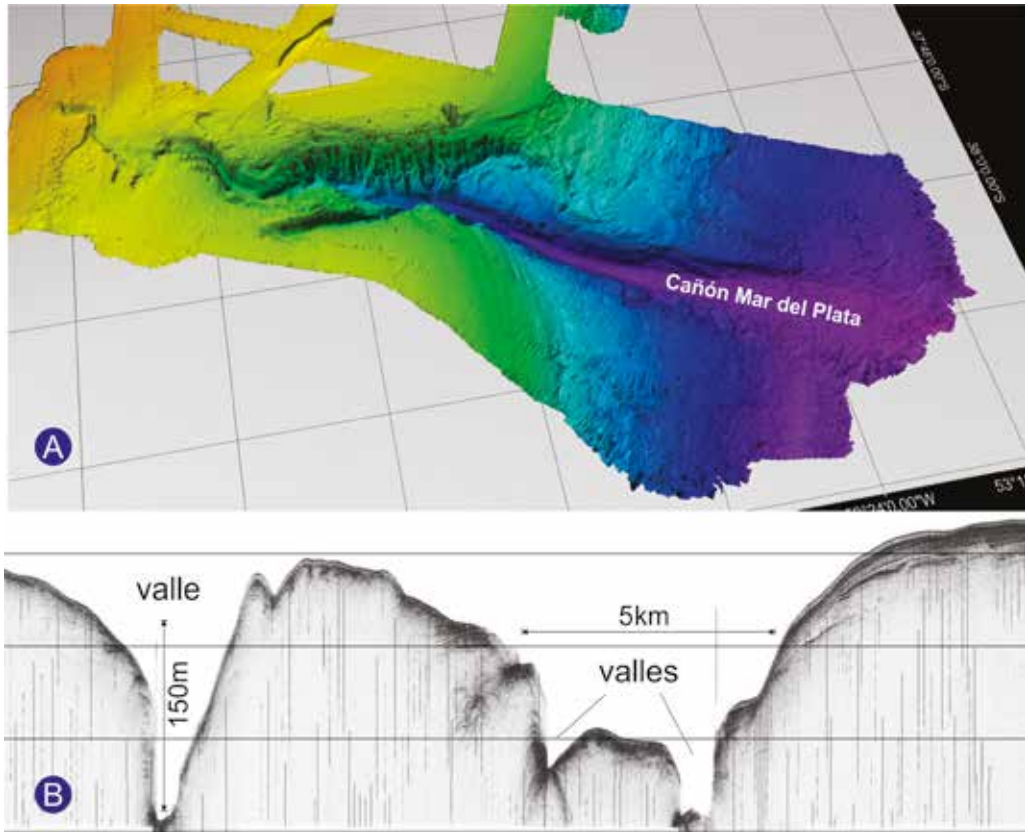
Cañones submarinos: ¿cómo se estudian y por qué son importantes?

El estudio de los cañones submarinos se impulsó entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX gracias a los avances tecnológicos en las técnicas de detección de los fondos. En un primer momento, su morfología, tan parecida a los valles fluviales terrestres, indujo a explicarlos como la continuación en el medio marino de los sistemas fluviales o de los valles glaciares. Sin embargo, el avance de las técnicas de estudio demostró que esta teoría sobre la génesis de los cañones no explicaba la gran diversidad de morfología y ubicación de los cañones submarinos en los distintos lugares del mundo. Para medir la profundidad del lecho marino de forma precisa se requieren instrumentos, llamados ecosondas, capaces de medir el tiempo que un impulso sonoro enviado desde el casco de un barco tarda en chocar con el fondo marino y volver al instrumento emisor. En la actualidad, los métodos para estudiar los fondos oceánicos abarcan distintos enfoques y técnicas que en su conjunto permiten, entre otras cosas, elaborar imágenes tridimensionales de la morfología del fondo, visualizar las estructuras geológicas del subsuelo marino y obtener muestras de sedimento y rocas.

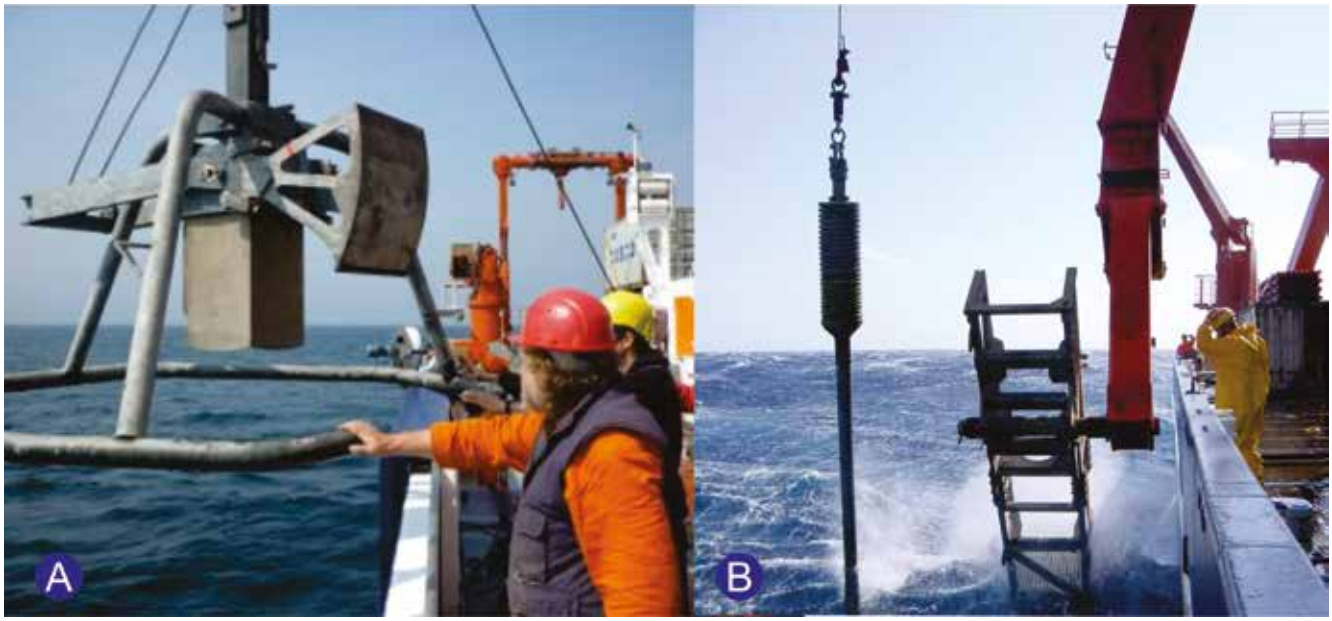
Durante décadas, el interés sobre estos rasgos morfológicos del suelo marino estuvo ligado a motivos económicos y energéticos dado que los antiguos depósitos turbidíticos (acumulaciones de sedimento transportado por las corrientes turbidíticas) son considerados potenciales lugares de almacenamiento de hidrocarburos, convirtiéndolos en objetivos de exploración y explotación de las



Esquema del funcionamiento de una ecosonda para determinar la distancia vertical entre el lecho marino y el casco de una embarcación donde está ubicada la sonda. Puesto que la velocidad de propagación del sonido bajo el agua es conocida (1500m por segundo), una vez medido el tiempo de respuesta de la sonda se puede calcular la distancia al relieve submarino.



A. Relieve morfológico 3D del cañón Mar del Plata. **B.** Corte transversal del relieve del fondo marino donde se pueden apreciar los valles de los cañones del sistema Bahía Blanca.



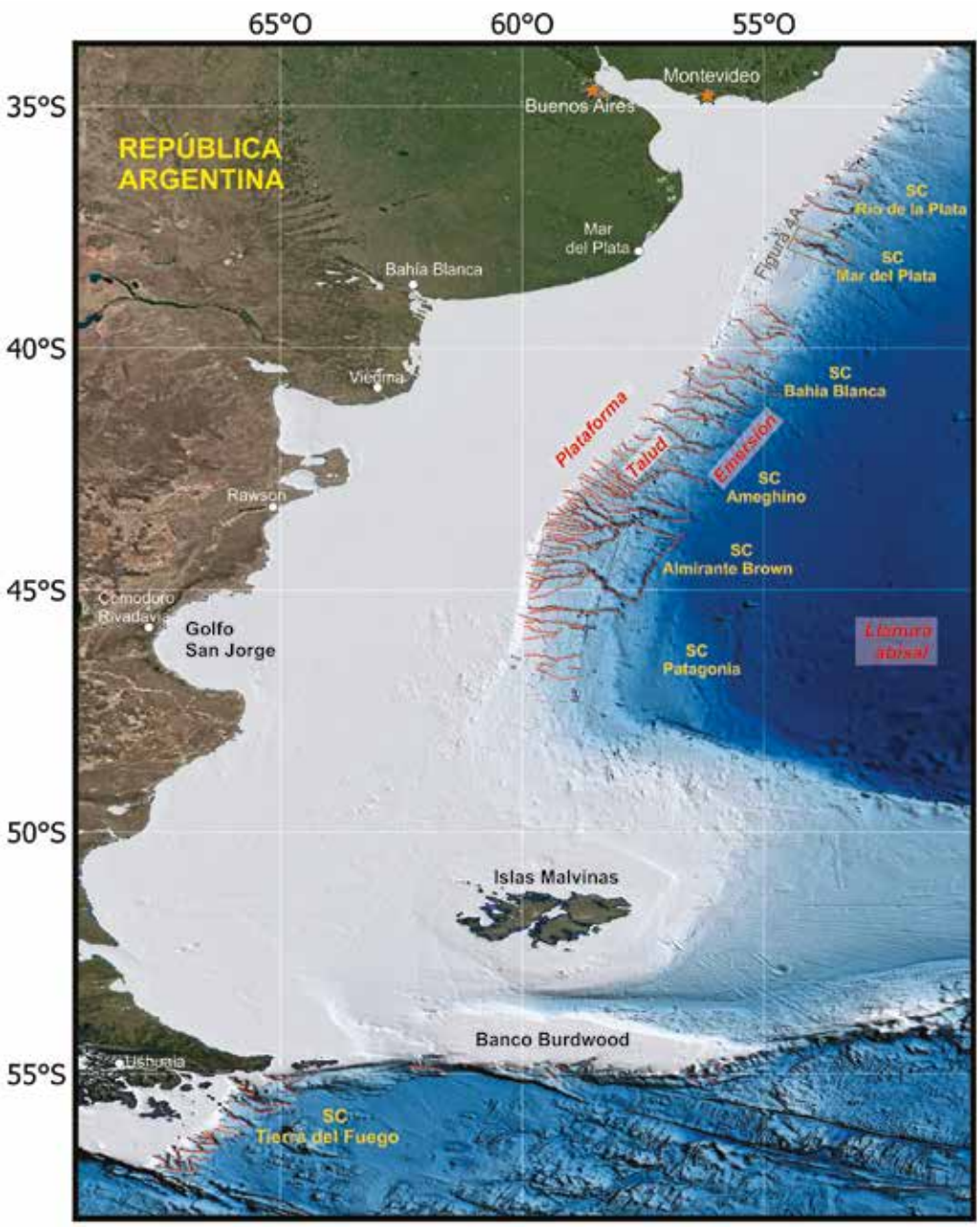
Herramientas para el muestreo geológico del sedimento marino. **A.** Muestreador de caja. **B.** Muestreador de gravedad.

empresas petroleras. También, se estudió exhaustivamente la morfología de los cañones y sus corrientes turbidíticas por implicar un elevado riesgo para las estructuras submarinas, como el tendido de cables para las telecomunicaciones o las tuberías para el transporte de gas y petróleo. Un episodio famoso fue el terremoto de 1929 en las costas de Terranova, Canadá, donde el sismo de magnitud 7,2 provocó un desprendimiento submarino que a su vez desencadenó la formación de una corriente turbidítica en los cañones submarinos de esa región, la cual provocó la rotura de los cables de telégrafo ahí tendidos. Actualmente, los cañones submarinos representan una fuente de preocupación por el riesgo geológico que implican cuando inciden en plataformas continentales angostas en donde las cabeceras pueden situarse a poca distancia de la línea de costa, representando una potencial amenaza para la estabilidad y seguridad de las infraestructuras humanas como los puertos y sus canales de acceso, las carreteras litorales y los ductos submarinos. En estos casos es necesario monitorear la evolución de la erosión en las cabeceras, las cuales pueden avanzar varios metros en pocos días o de forma repentina en ocasiones de tormentas fuertes. Los estudios sobre los cañones submarinos están adquiriendo cada vez mayor interés e impulso por su estrecha vinculación con los hábitats marinos de agua profunda y la vida marina en general. Hoy sabemos que los cañones son sistemas de alta producción biológica, con elevada disponibilidad de nutrientes para la fauna que vive anclada al fondo y para los peces que los frecuentan. Representan lugares de caladeros de pesca, zonas de desove, refugios para especies pelágicas y hábitats para la proliferación de corales de agua fría y esponjas. Esta gran biodiversidad hace que los cañones se estén transformando en una excelente fuente de recursos genéticos y compuestos químicos, cuya demanda empezó en la década de 1990 bajo la presión de las industrias farmacéutica, cosmética, nutracéutica (compuestos alimentarios de comprobada eficacia clínica) y biomédica (a través de compuestos bioactivos, es decir, sustancias químicas que pueden promover la buena salud). En este sentido, los cañones submarinos se han convertido en parajes de alto interés ecológico. No obstante, la integridad de estos ambientes se está viendo afectada por el impacto humano como la pesca de arrastre, la actividad minera, la búsqueda de recursos energéticos, y por la eventualidad de transformarse en vertederos y zonas de acumulación de contaminantes químicos y plásticos. Por ello, estos santuarios vulnerables merecen recibir protección.

Los cañones submarinos del Margen Continental Argentino

El Margen Continental Argentino alberga numerosos cañones submarinos que se encuentran agrupados en sistemas. Si bien todavía no se les ha otorgado una nomenclatura oficial, en la literatura especializada se han reconocido los siguientes sistemas, que aquí se mencionan de norte a sur: Río de la Plata, Mar del Plata, Bahía Blanca, Ameghino, Almirante Brown, Patagonia y Tierra del Fuego. Debido a los altos costos de exploración de los fondos oceánicos y a la gran extensión del territorio argentino sumergido, este no está completamente rele-

vado y cartografiado. Por este motivo, aún desconocemos la cantidad, las dimensiones y la geometría exacta de los cañones argentinos. En cuanto al número de ellos, los sistemas Río de la Plata y Mar del Plata cuentan en su conjunto con una decena de cañones, el sistema Bahía Blanca, muy parcialmente explorado, podría tener una docena; los sistemas Ameghino y Almirante Brown parecen superar los 30, el sistema Patagonia cuenta por lo menos con 58 cañones, y el sistema Tierra del Fuego comprende 4 cañones bien desarrollados. Al sistema Almirante Brown pertenece el cañón ARA San Juan, recientemente nombrado por la Organización Hidrográfica Internacional en reconocimiento y en memoria de la tripulación del submarino *ARA San Juan*. Las dimensiones de los cañones argentinos varían dependiendo de si se miden los valles principales, muy incididos y de mayor longitud, o los tributarios que suelen tener menor extensión, porque después de un recorrido relativamente corto suelen confluir y alimentar a los cañones principales. El cañón Mar del Plata, que se ubica a 250km de la costa frente a la ciudad homónima, alcanza unos 130km de largo, con paredes de hasta 400m de alto. En el sistema Patagonia, los cañones principales poseen paredes que pueden llegar a un máximo de 650 metros de alto y una extensión que supera los 120km, mientras que los tributarios tienen una longitud que puede variar desde unos pocos kilómetros hasta 90km. En cuanto a su geometría, también se observan diferencias. Algunos tienen



El Margen Continental Argentino con la ubicación de los principales sistemas de cañones (SC): Río de la Plata, Mar del Plata, Bahía Blanca, Ameghino, Almirante Brown, Patagonia y Tierra del Fuego. Las líneas rojas indican el curso orientativo de algunos de los cañones mayores. El recuadro muestra la zona cartografiada del cañón Mar del Plata al que hace referencia la figura A de la página 35, abajo. La batimetría del mapa se ha generado utilizando la base de datos de la Carta Batimétrica General de los Océanos (GEBCO por su sigla en inglés; versión 2021, referencia de la grilla: *doi:10.5285/c6612cbe-50b3-0cff-e053-6c86abc09f8f*). Animamos al lector curioso a realizar un ejercicio de exploración de otros márgenes continentales a través de Google Earth. Este sistema de información geográfica permite observar, ahí donde exista una excelente cobertura de datos batimétricos, la morfología de los cañones submarinos con mucho detalle.

un recorrido rectilíneo y perpendicular al margen, otros muestran un cierto grado de sinuosidad y otros cambian bruscamente la orientación de sus valles. El cañón Ameghino, ubicado aproximadamente a la misma latitud de la ciudad de Comodoro Rivadavia, tiene la particularidad de ser un valle con una orientación paralela al margen continental entre los 2000 y 3000 metros de profundidad, lo que lo distingue de los demás cañones que son generalmente perpendiculares. Los motivos de esta característica tan peculiar se encuentran aún bajo debate científico. Algunos autores creen que el cauce del cañón cambió bruscamente de dirección para seguir antiguos lineamientos de fallas tectónicas, mientras que otros consideran que las corrientes oceánicas del lugar, que corren de sur a norte, serían tan fuertes como para desviar el curso normal de los flujos turbidíticos y progresivamente inducir una erosión del valle del cañón en sentido oblicuo. La mayoría de los cañones argentinos se limitan al talud, por lo que su formación estaría vinculada a eventos de colapso e inestabilidad. Muy pocos cañones llegan a cortar la plataforma y, hasta la fecha, se ha comprobado que solo el cañón Sloggett, perteneciente al sistema Tierra del Fuego, con su cabecera ubicada en la plataforma, a 90 metros de profundidad y a 8,5km de distancia de la costa, habría estado conectado con algún sistema fluvial durante la Última Máxima Glaciación, cuando el nivel del mar estaba en promedio 120 metros más bajo que hoy en día. Para los demás cañones que surcan la plataforma, existen especulaciones sobre algunos del sistema Bahía Blanca que podrían haber estado conectados con los ríos Negro y Colorado, los cuales en épocas geológicas pasadas tenían mayor caudal y mayor carga sedimentaria que los observados en la actualidad. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BOZZANO G, MARTÍN J, SPOLTORE DV y VIOLANTE RA, 2017, 'Los cañones submarinos del Margen Continental Argentino: una síntesis sobre su génesis y dinámica sedimentaria', *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 24 (1): 85-101.

COPLA-COMISIÓN NACIONAL DEL LÍMITE EXTERIOR DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL, 2017, *El Margen Continental Argentino: entre los 35°S y los 55°S en el contexto del artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho de Mar*, Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, Buenos Aires.

PALMA FI, BOZZANO G, PRINCIPI S, ISOLA JI, ORMAZÁBAL JP, ESTEBAN FD & TASSONE AA, 2021, 'Geomorphology and sedimentary processes on the Sloggett Canyon, Northwestern Scotia Sea, Argentina', *Journal of South American Earth Sciences*, 107: 103136.

PASTORINO G, BROGGER M, LAURETTA D, MARTÍNEZ M y PENCHASZADEH PE, 2015, 'Vida en los fondos profundos del mar', Ciencia Hoy, 24 (143): 48-55.

PINERO V, 2004, 'Morfología del fondo oceánico y características de la costa', en Werlinger C (ed.), *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*, Consejo Nacional del Libro y la Lectura, Concepción (Chile), t. I, pp. 135-144.

Graziella Bozzano
Doctora en geología, Universidad de Barcelona, España.
Investigadora principal RPIDFA, Ministerio de Defensa.
Investigadora adjunta del Conicet en el Servicio de Hidrografía Naval.
gbozzano@hidro.gov.ar

Roberto A Violante
Doctor en ciencias naturales, orientación Geología, UNLP.
Director de Investigaciones RPIDFA, Ministerio de Defensa.
Miembro del Servicio de Hidrografía Naval.
violante@hidro.gov.ar

Fermín I Palma
Licenciado en geología, UNLP.
Investigador en formación YTEC-Conicet.
Becario doctoral, Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, UBA-Conicet.
ferminpalma@gl.fcen.uba.ar

Daniela V Spoltore
Licenciada en ciencias geológicas, UBA.
Profesional adjunto en el Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, UBA-Conicet.
spoltoredaniela@yahoo.com.ar

Alejandro A Tassone
Doctor en geología, Universidad de Barcelona, España.
Investigador principal Conicet en el Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires, UBA-Conicet.
atassone@gl.fcen.uba.ar

Fernando X Pereyra
UNDAV-SEGEMAR

María Clara Cornacchia
UNDAV

Marina Corvalán
SEGEMAR

Jazmín Silvestrini
UNDAV

Modificación antrópica del paisaje de la Región Metropolitana de Buenos Aires

Introducción

La influencia de las diferentes actividades antrópicas sobre el medio natural es, actualmente, lo suficientemente notoria como para que sea considerada como un componente más en la determinación del funcionamiento de los sistemas naturales. La actividad humana ha sido tempranamente reconocida en sus efectos sobre la biósfera y, más recientemente, a partir del reconocimiento del cambio climático, en sus efectos significativos sobre la atmósfera y la hidrósfera. Sin embargo, sus impactos y efectos sobre la geósfera solo han comenzado a ser estudiados en tiempos recientes.

Históricamente, los diferentes pueblos y comunidades humanas han privilegiado el asentamiento y desarrollo de centros urbanos en ambientes con atributos condicionados por factores geológico-geomorfológicos. Por ejemplo, disponibilidad de agua, relieve suave, suelos productivos, acceso a vías navegables, accesibilidad a algún recurso particular, entre otros.

En líneas generales, el ambiente geológico condiciona sustancialmente la localización y el desarrollo de las ciudades, la trama urbana y la calidad de vida de la gente que las habita; también su viabilidad ambiental y económica. Los diferentes aspectos geológicos influyen de múltiples formas sobre nuestras vidas, aunque no sea siempre de una forma evidente.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La acción humana como un agente creador o modificador del relieve en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

La presión constante sobre el medio natural para satisfacer las necesidades de las sociedades humanas ha conducido a una alteración del relieve a diferentes escalas. La acción humana, con su creciente capacidad modificadora del relieve y los paisajes naturales, se ha vuelto más evidente. A nivel global y regional, las actividades del ser humano inciden sobre los procesos geomorfológicos y las variables que los condicionan, mientras que a escala local la acción es directa sobre el paisaje y las geoformas que lo integran.

En el presente trabajo se analizan los principales aspectos de la acción humana como agente creador o modificador del relieve (agente geomorfológico) y se estudian algunos ejemplos en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA).

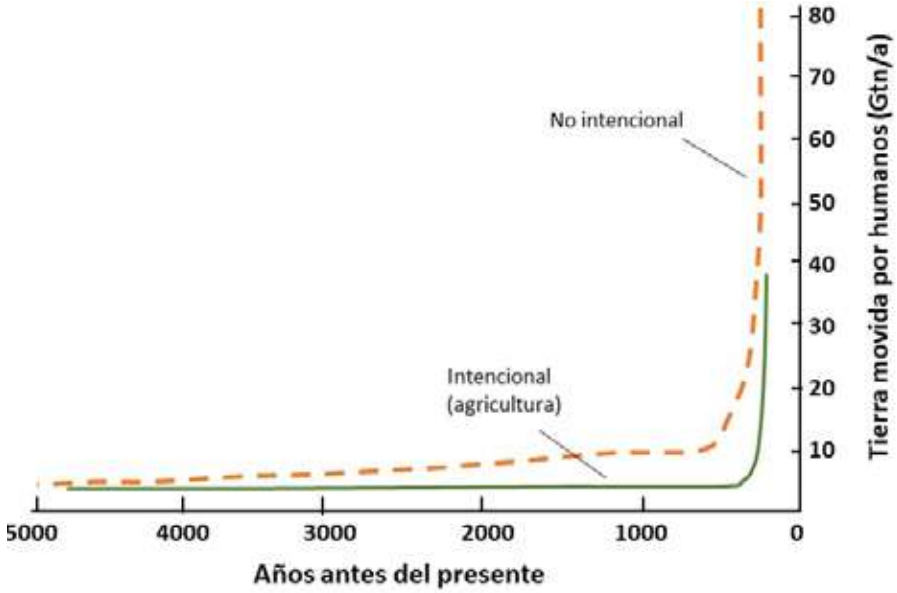
Principales acciones antrópicas que modifican el relieve

La geomorfología es la rama de la geología que estudia la formación y evolución de las formas del relieve (geoformas), los procesos que les dan origen, sus relaciones y asociación espacial, todo lo cual conforma el paisaje geomorfológico, así como su historia y variación en el tiempo. Los principales factores que condicionan el relieve son la geología y el clima, que actúan como factores independientes respecto de las escalas espaciales y temporales más frecuentes en la geomorfología. También son relevantes la vegetación y el suelo, dependientes a su vez de los anteriores, entre otros factores. Las acciones antrópicas se suman como un factor nuevo.

Cada proceso geomorfológico –entre los que se encuentran en la zona estudiada, los procesos eólico, fluvial y litoral marino– resulta en geoformas específicas, como por ejemplo un campo de dunas, una terraza fluvial o un acantilado costero. Los paisajes, en sentido geomorfológico, están conformados por la asociación de diferentes geoformas que reflejan la evolución de una porción de la superficie terrestre. A su vez, cada proceso tiene su propio rango temporal de expresión hasta alcanzar un estado de equilibrio dinámico. Las geoformas resultantes evidencian esos estados de equilibrio y una vez que los alcanzan se suelen mantener mientras no se modifiquen los factores controlantes. Este equilibrio puede ser roto por cambios en los diferentes factores controlantes y entonces el sistema evolucionará hasta alcanzar un nuevo equilibrio. El nuevo estado alcanzado dependerá esencialmente de la magnitud de la perturbación o el cambio. A esta magnitud, que implica un salto, se le llama umbral geomorfológico. La acción del hombre tiende a modificar esas condiciones generando una respuesta compleja, lo que hace difícil la predicción, y esa respuesta usualmente implica la superación de un umbral.

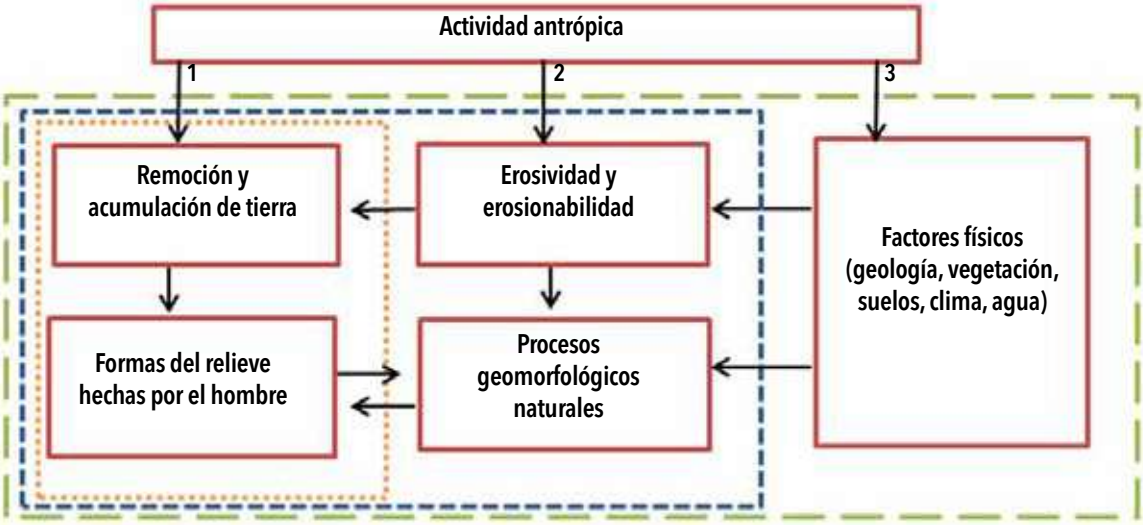
El ser humano ha desarrollado mecanismos para explotar los recursos naturales y ponerlos a disposición de, principalmente, la construcción, la agricultura y las industrias, con un aumento creciente del grado de tecnificación. La capacidad de extraer material de la superficie terrestre, trasladarlo y depositarlo en un sitio diferente le ha otorgado a esos mecanismos un nuevo rol como agentes geomorfológicos. Por lo tanto, además de modificar los factores que afectan a los paisajes, el hombre genera un relieve antrópico distintivo, o antropogeoforma, es decir, crea una huella geomorfológica.

Esta capacidad se ha ido incrementando desde la Revolución Industrial, especialmente en el siglo XX, vinculada en gran medida al aumento poblacional. Las estimaciones parciales, realizadas hasta el presente, indican que actualmente la humanidad es el principal agente geomorfológico activo en los continentes, y supera en volumen de material transportado al proceso fluvial y demás procesos naturales sumados. Según diferentes cálculos, entre 30 y 50% de la superficie continental de la Tierra ha sido modificada en algún grado por la acción antrópica, destacándose la agricultura y la ganadería.



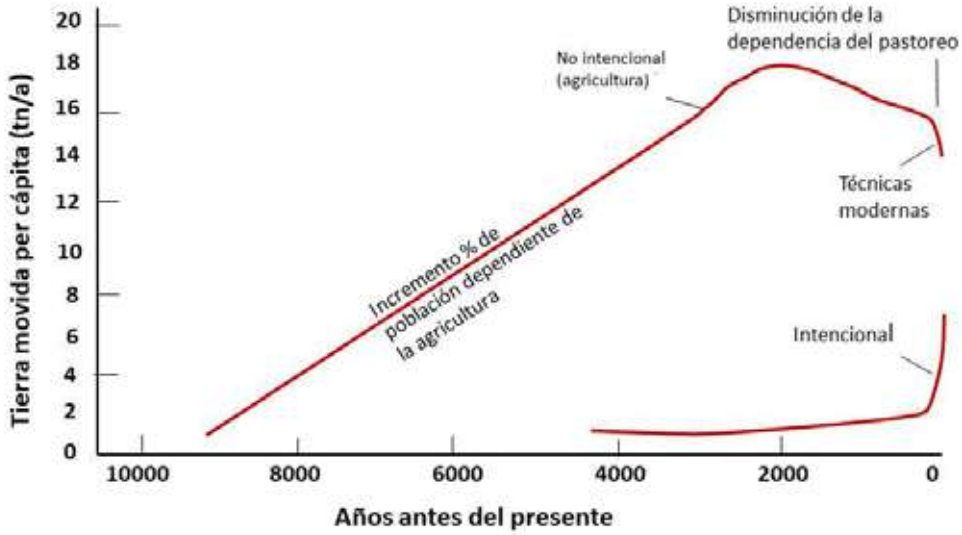
Estimación del total de tierra movida anualmente por los humanos en varios momentos del pasado. Las curvas se obtuvieron multiplicando la tierra movida per cápita por la población. Modificado de Hooke (2000).

Tipos de acción humana que afectan al paisaje
La actividad antrópica sobre el relieve actúa en diferentes escalas espaciales y temporales: macro (global, línea verde), meso (regional, línea azul) y micro (local, geoforma, línea naranja).

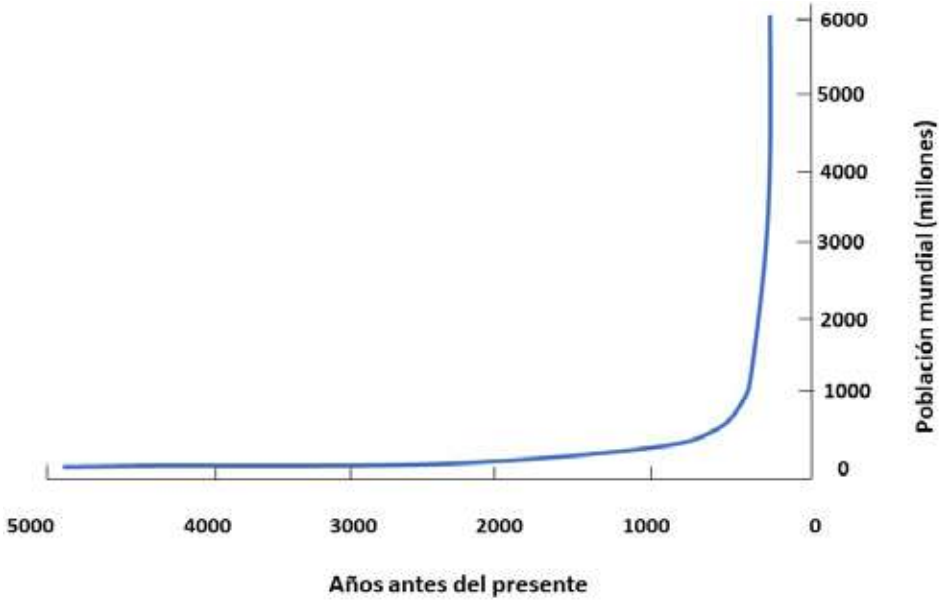


1. Impacto antrópico directo sobre el relieve
2. Impacto antrópico sobre procesos geomorfológicos (indirectamente en el relieve)
3 . Impacto antrópico en las condiciones que influencian los procesos

Población mundial en varios momentos del pasado.



Estimaciones de la cantidad media de tierra movida per cápita en el pasado, tanto intencionalmente como en la construcción de casas y rutas y la producción de minerales, y no intencionalmente, como en la agricultura. Modificadas de Hooke (2000).



Numerosos autores han estudiado los efectos en el relieve del cambio climático. Incluso, aspectos geomorfológicos han sido utilizados como indicadores del cambio climático, mientras otros lo fueron en un sentido contrario. Algunas consecuencias geomorfológicas del cambio climático se manifiestan en aspectos hidrológicos (cambios de caudal, aumento de frecuencia de inundaciones, entre otros), cambios en la vegetación (cambios de biomas), en la criósfera (retroceso glaciar), en zonas costeras (cambio del nivel del mar) o en procesos eólicos (incremento de tormenta de polvo). Es importante considerar que la acción antrópica directa genera efectos similares al cambio climático en muchos casos como, por ejemplo, los cambios en el uso de la tierra.

El caso de la Región Metropolitana de Buenos Aires

La RMBA incluye al Gran Buenos Aires, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el Gran La Plata y la llamada *tercera corona*, que incluye numerosas ciudades y poblaciones menores, como Luján, Mercedes, Zárate, Campana, entre otras. Constituye el centro urbano más importante de la Argentina y concentra aproximadamente el 40% de la población del país. Se ubica entre las diez mayores concentraciones urbanas del mundo. El medio físico en el que se encuentra presenta una gran diversidad de recursos que han propiciado su ocupación, razón por la cual mantiene un crecimiento sostenido, aunque anárquico en cuanto a la ausencia de ordenamiento territorial.

Entre las diversas intervenciones humanas que generan un relieve antrópico se encuentran los rellenos de cualquier tipo incluyendo sitios de disposición de residuos sólidos urbanos y rellenos costeros. En este último caso, predominantemente relacionados a refulados (material dragado y redepositado) o rellenos de materiales de construcción y excavaciones; nivelaciones, cortes y rellenos asociados a la urbanización; terrazas de cultivo; labores mineras; desmonte; construcción de vías de comunicación; represas y embalses; entre otros. En el caso de la RMBA, es posible diferenciar dentro del relieve antrópico rellenos costeros (por refulados y materiales de excavaciones y construcción), rellenos en las planicies aluviales y terrazas fluviales de ríos y arroyos, modificación por nivelaciones del relieve eólico natural de la planicie loéssica, diques y embalses, y modificación de la red de drenaje (entubamientos, rectificaciones, etcétera).

Un ejemplo notorio de modificación del paisaje natural es la alteración de los cursos fluviales. La impermeabilización, por ejemplo, genera la disminución de la infiltración y el consiguiente aumento de la escorrentía superficial. Esto se materializa en el aumento de la frecuencia y magnitud de las inundaciones. En la RMBA, los ríos y arroyos poseen un fuerte control antrópico orientado a reducir el riesgo de inundaciones. Con ese fin, se produjo la rectificación, el entubamiento y la canalización de arroyos como el Maldonado y el Vega en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o en el Riachuelo, en el límite sur de esta última.

La RMBA se localiza en un ambiente estuárico y toda su costa estaba constituida originariamente por humedales naturales, formados en planicies de marea antiguas, cordones litorales y planicies estuáricas y deltaicas recientes. Estos fueron reemplazados luego por geoformas antrópicas, muchas de las cuales se comportan también como humedales. Los humedales son sensibles a las acciones antrópicas, especialmente en zonas urbanas y periurbanas, ya que sufren (1) cambios de caudal de los aportes fluviales y freáticos; (2) efectos erosivos; (3) salinización, y (4) colmatación.

Numerosas acciones antrópicas que han generado un relieve artificial pueden observarse en la RMBA. Entre ellas se destacan la modificación del margen del estuario del Río de la Plata debido al relleno de los terrenos en la zona costera, alterando la dinámica litoral.

Otro tipo de relieve antrópico vinculado a los rellenos es el que se efectúa mediante la acumulación de materiales correspondientes a los residuos sólidos urbanos, como por ejemplo los rellenos de la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) Norte III, González Catán, Villa Domínico y Ensenada. Es importante tener presente que geoformas antrópicas implican también materiales superficiales antrópicos (aunque sea modificación de materiales naturales) y la presencia de rellenos, especialmente en la zona costera del Río de la Plata, con materiales de refulado o de excavaciones. Casi un tercio de la superficie de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires tiene un relieve antrópico, o al menos modificado sustancialmente por el hombre, con más de 2600 hectáreas de relleno costero (Río de la Plata) y 2800 hectáreas de terrenos nivelados en la cuenca del río Matanza-Riachuelo.

Parte importante del crecimiento espacial de la RMBA se realiza por medio de la construcción de urbanizaciones cerradas en áreas periféricas, constituyendo negocios urbanos muy rentables. Con la incorporación de grandes capitales y tecnologías especializadas (movimiento de suelos y refulado hidráulico) se generaron enormes rellenos, que implicaron el traslado de millones de metros cúbicos de suelos y permitieron alcanzar la 'cota de seguridad' requerida por las normas. Por otro lado, se alteraron los servicios ecosistémicos del humedal y se potenciaron situaciones de riesgo de desastres por inundaciones. Un ejemplo es el municipio de Tigre, donde la superficie ocu-

Arriba. Vista aérea de la zona litoral de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La línea verde delimita, hacia la derecha, las zonas de relleno litoral: Reserva Costanera Sur, zona portuaria y zona de estaciones de Retiro. Foto tomada de Google Earth el 21 de mayo de 2021. **Abajo.** Puerto de Buenos Aires, donde se observan distintas terminales construidas con material de relleno. Actualmente funcionan como áreas de estacionamiento de contenedores.

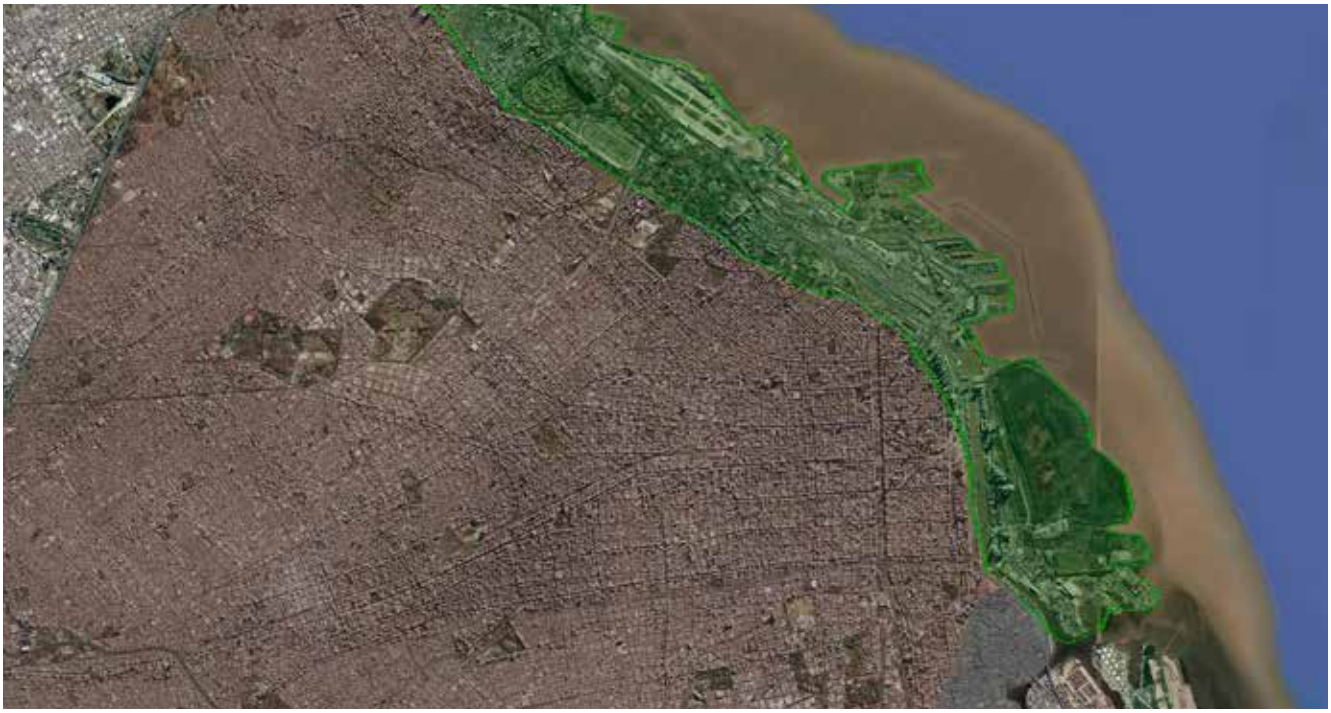
Arriba. Relieve antrópico Reserva Costanera Sur y Puerto Madero, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. **Abajo.** Aspecto de la costa en la zona de la Reserva Costanera Sur.

pada por las urbanizaciones cerradas sobre rellenos en las áreas inundables creció cerca de 20 veces, siendo más del 70% ocupado por dos megaurbanizaciones cerradas, Nordelta y Villa Nueva, ubicadas en el delta de Paraná.

Otro caso corresponde a la costa sur de la RMBA, donde los partidos ribereños de Avellaneda, Quilmes y Berazategui han realizado una importante modificación de la planicie estuárica del Río de la Plata. En este sector coinciden numerosos usos que han generado su propio relieve: puerto, polo petroquímico (en terrenos de relleno en el río), urbanización en terrenos nivelados y elevados por relleno, disposición de residuos (CEAMSE-Villa Domínico), entre otros. La margen sur del Riachuelo, por un lado, fue dragada y canalizada para construir los diques del sur (Dock Sud) y, por otro, se rellenó y desplazó la línea de costa para instalar la dársena de gases inflamables y el espigón sur de acceso al Riachuelo. El sector costero de las localidades de Wilde y Villa Domínico posee más de 600 hectáreas con rellenos gestionados por el CEAMSE que modificaron sustancialmente el relieve de la planicie estuárica, quedando el paisaje representado por una sucesión de lomadas de más de 15m de altura.

El desarrollo de canteras en la minería deja también su impronta debido al abandono posterior a su explotación que las convierte en zonas anegables. Un relevamiento realizado por el Instituto de Geomorfología y Suelos (Universidad Nacional de La Plata) en 2003, menciona la presencia de 73 tosqueras en los distritos de Quilmes, Florencio Varela y Berazategui, las que ocupan en total alrededor de 500 hectáreas. Por otro lado, el 'modelo Nordelta' empezó a replicarse en la zona sur del área metropolitana sobre el litoral del Río de la Plata, modificando los humedales costeros ubicados entre la autopista Doctor Ricardo Balbín (Buenos Aires-La Plata) y zonas aledañas (como el barrio privado Nuevo Quilmes). Otros ejemplos corresponden a Berazategui, donde se están construyendo barrios privados de aproximadamente 900 hectáreas, y las localidades de Avellaneda y Quilmes con el proyecto urbanístico Nueva Costa del Plata de la empresa Techint.

En relación con los rellenos en las planicies aluviales y terrazas fluviales de ríos y arroyos se destaca, en la zona suroeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Villa Lugano, Villa Soldati, Pompeya, Parque Patricios, y sector sur de Flores y Mataderos), una extensa área, originalmente



Arriba. Áreas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con diferentes grados de modificación del relieve. En verde, relieve antrópico; en gris, relieve natural fuertemente modificado, y en rosado, relieve natural moderadamente modificado.
Centro. Urbanización cerrada en Nordelta y el delta del Paraná. Imagen Google Earth.
Abajo. Imagen satelital de la zona litoral sur de la RMBA con múltiples usos del suelo: A) Polo petroquímico. B) Zona de reserva de Avellaneda. C) Canteras. D) Área de quintas. E) Relleno sanitario.

Relieve antrópico en el cruce de la autopista Presidente Héctor J Cámpora y la avenida 27 de Febrero. Las lomadas y el relieve positivo dentro del predio corresponden a depósitos de residuos sólidos urbanos.

anegadiza, correspondiente a la faja de meandros del río Matanza, rellenada posteriormente por diferentes materiales y en distintos momentos. En la zona aledaña a la autopista Presidente Héctor J Cámpora (A7) se generó un relieve antrópico aterrazado de más de 10m de altura respecto del nivel natural del suelo con residuos de todo tipo. Esta situación en parte se prolonga sobre la margen provincial, en los partidos de Lomas de Zamora, Lanús y Avellaneda. Hacia el norte del Gran Buenos Aires, sobre el centro de disposición final Norte III del CEAMSE, a los costados de la autopista Camino del Buen Ayre, se generó un relieve antrópico de 30m de altura correspondiente a los mayores de la región. Este centro recibe actualmente un promedio de 16.100 toneladas diarias de residuos provenientes del AMBA y abarca un predio de 670 hectáreas.

En la mayor parte de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es importante la modificación por nivelaciones del relieve eólico natural de la planicie loéssica. En general el resultado ha sido 'suavizar' las pendientes y rellenar las depresiones naturales preexistentes, correspondientes a pequeñas cubetas de deflación y las nacientes de pequeños cursos fluviales que nacían en las zonas más altas.

En la cuenca superior del río Reconquista se ubican la presa Ingeniero Carlos F Roggero y el dique Cascallares, en el partido de Moreno, con un espejo de agua de varios cientos de hectáreas, construido a partir del proyecto de Florentino Ameghino para regular las inundaciones de este río tras la gran inundación de octubre de 1967. Este embalse, exceptuando el estuario del Río de la Plata, constituye el principal cuerpo de agua de toda la región. Pequeñas represas y embalses se proyectan en la cuenca superior del río Matanza y en su tributario, el arroyo Morales.

Finalmente, la modificación de la red de drenaje natural es notoria, sea por entubamientos, rectificaciones o canalizaciones. Por ejemplo, en la zona inferior del río Matanza, conocida como Riachuelo, el curso ha sido rectificado, desde la zona de los partidos de La Matanza-Ezeiza, hasta la desembocadura en el Río de la Plata. Otro ejemplo es el entubamiento del arroyo Maldonado que

Predio del complejo Norte III del CEAMSE. Imagen Google Earth

atraviesa toda la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Asimismo, diversos sectores de los ríos Reconquista y Luján han sido rectificados.

Consideraciones finales

Más del 50% de la población terrestre vive actualmente en ciudades y este porcentaje tenderá a aumentar en un futuro cercano. Asimismo, tenderá a aumentar la proporción de megaciudades y la mayor parte de ellas se encontrará en países pobres o con alta proporción de población con necesidades básicas insatisfechas. En la Argentina más del 90% de la población es urbana actualmente.

La urbanización, la agricultura, la minería, el desmonte, la introducción de especies vegetales, el sobrepastoreo y otras acciones humanas modifican sustancialmente la dinámica geomorfológica, la intensidad y el accionar de los procesos y, por ende, las geoformas y el paisaje. La explotación de los recursos para satisfacer la expansión de las ciudades aumenta de manera generalizada las tasas de erosión y sedimentación. En las zonas urbanas es donde más evidente resulta el papel del hombre como agente geomorfológico. Las geociencias pueden ser una contribución fundamental para el desarrollo saludable y sustentable de las ciudades y su población.

Las actividades agrícolas y de urbanización y construcción actualmente resultan en el transporte de sedimentos y rocas suficientes para bajar todas las superficies continentales sin hielo en unos pocos cientos de metros por millón de años. Los seres humanos han desarrollado un orden de magnitud mayor que los procesos naturales para mover sedimentos. Como consecuencia, la humanidad se ha convertido posiblemente en el principal agente geomórfico que esculpe el paisaje. La multiplicidad y variabilidad de las acciones humanas han generado consecuencias complejas de difícil predicción.

El grado de modificación del relieve en la RMBA es significativa. Incluye el hecho de que las principales elevaciones de la región, la mayor parte de la costa, el mayor cuerpo de agua y las mayores depresiones son de origen antrópico, lo que evidencia la magnitud de la modificación del relieve natural. Comparativamente, el mayor grado de modificación se ha producido en el ambiente litoral-estuárico del Río de la Plata y, en menor medida, en las zonas aledañas a los principales cursos fluviales de la región estudiada, especialmente en el caso de los ríos Matanza y Reconquista. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BARROS, V, 2005. *El cambio climático y la costa argentina del Río de la Plata*, Fundación Ciudad, Buenos Aires.

GOUDIE A, 2013, *The Human Impact in the Natural Environment: Past, present, and future*, John Wiley & Sons, Nueva Jersey.

HOOKE R, 2000, 'On the history of humans as geomorphologic agents', *Geology*, 28, 9: 843-846.

MARCOMINI, S y LÓPEZ R, 2011, 'Historia de la costa de Buenos Aires', Ciencia Hoy, 21, 123: 41-48.

PEREYRA, F, 2015, *Buenos Aires develada: el medio natural del AMBA*, UNDAV Ediciones, Avellaneda.

Fernando X Pereyra
Doctor en ciencias geológicas, FCEyN-UBA.
Profesor titular UNDAV.
Investigador UNDAV y SEGEMAR.
Director de la carrera de Ciencias Ambientales, UNDAV.
ferxp2007@yahoo.com.ar

María Clara Cornacchia
Licenciada en ciencias ambientales, UNDAV.
Becaria doctoral Conicet-UNDAV.
Ayudante de primera, UNDAV.
mariaclaracornacchia@gmail.com

Marina Corvalán
Licenciada en geología, FCNyM-UNLP.
Becaria doctoral Conicet-SEGEMAR.
Ayudante de primera, UNDAV.
marina.corvalan@segemar.gov.ar

Jazmín Silvestrini
Becaria-estudiante, UNDAV.
jazsilvestrini@gmail.com

Consuelo López
MuleSoft y Chicas en Tecnología

¿Quién desarrolla la tecnología que usamos?

La tecnología atraviesa gran parte de nuestra vida –sino prácticamente toda– y de nuestra cotidianeidad. Su influencia se acentuó drásticamente desde el principio de la pandemia, donde la educación, el contacto con los seres queridos e incluso la actividad física se llevaron a cabo a través de una computadora o de un celular.

Para generar la tecnología que los alimenta hace falta contar, indefectiblemente, con habilidades de programación. Asimismo, programar es mucho más que contar con conocimientos técnicos de informática. Es encontrar soluciones a problemas y automatizarlas. Detrás de cada *app* (abreviatura del inglés para 'aplicación') o página web hay alguien que identificó un problema y se propuso solucionarlo con tecnología. Cada *app* en nuestro celular, por ejemplo, es una solución que alguien más pensó y decidió implementar. Al mismo tiempo, la programación es una de las pocas disciplinas que nos permiten llevar nuestras ideas a herramientas disponibles para millones de personas en muy poco tiempo, y con una inversión monetaria muy pequeña: solo se necesita una computadora y aprender a programar.

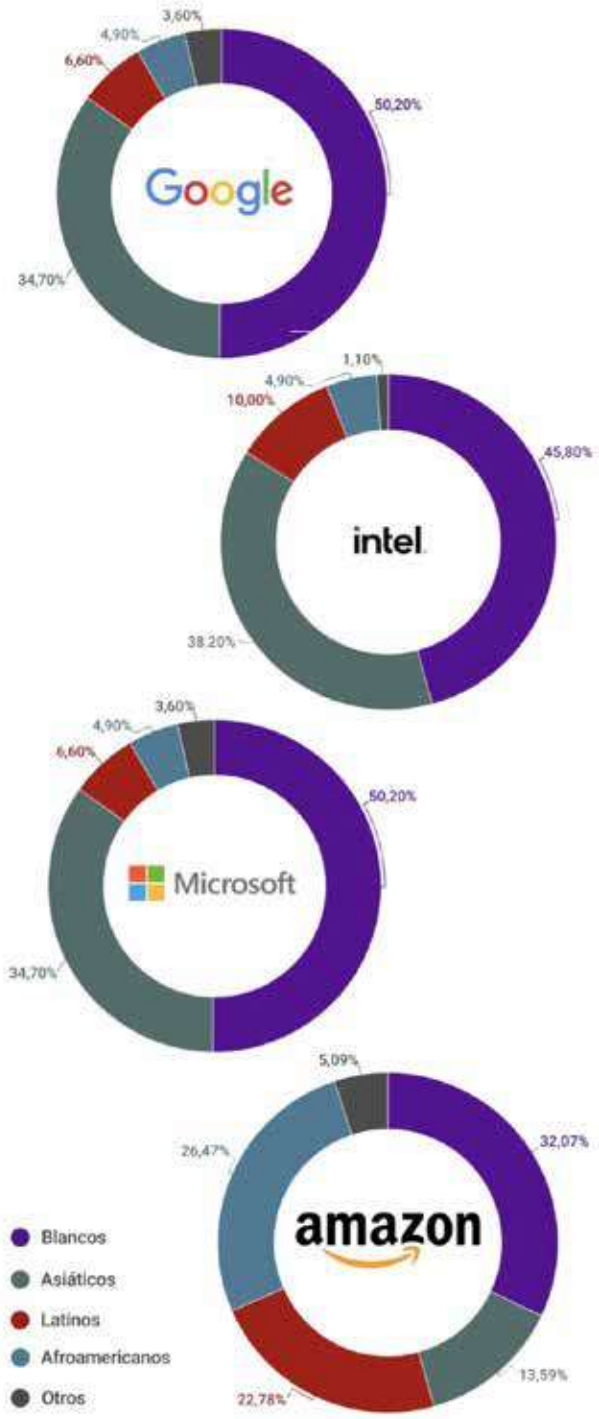
Contrariamente al imaginario, la tecnología no se genera en solitario y en un garaje. Detrás de la tecnología que usamos hay grandes equipos, a veces de miles de personas, que discuten, intercambian ideas, diseñan y programan las aplicaciones y las páginas web que usamos todos los días. Entonces, ese grupo de personas con conocimientos técnicos toman muchas decisiones en nombre nuestro, las usuarias y los usuarios. Como muchas de nuestras decisiones cotidianas pasan a través de nuestro celular o computadora, es necesario preguntarnos quién o quiénes están detrás de esa tecnología que nos rodea y que condiciona nuestro día a día.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Diversidad de género y cultural a la hora de desarrollar tecnología. ¿Abunda o escasea?

¿Cómo se conforman los equipos que generan tecnología?

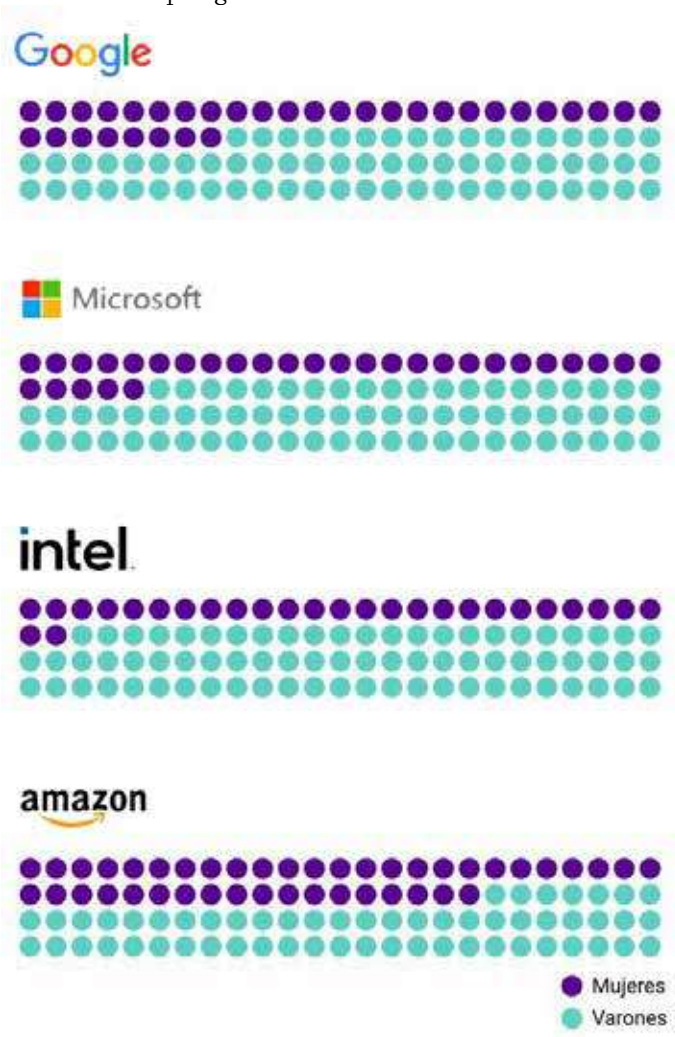
Hay muchas variables que permiten analizar la composición de los equipos que generan tecnología. Si utilizamos la que se da en denominar 'étnica', las empresas de tecnología más grandes del mundo se componen como se observa en el gráfico:



Informes sobre diversidad de Google (2020), Microsoft (2020), Amazon (2020) e Intel (2019).

Como vemos, hay muy pocas personas de origen latino tomando decisiones por nosotros en las principales compañías de tecnología, y mucho menos afrodescendientes. Esto significa que quienes generan las herramientas tecnológicas con las que más frecuentemente interactuamos carecen de la mirada de quienes viven realidades similares a las que vivimos de este lado del globo.

Otra perspectiva que resulta interesante analizar es la composición en términos de género. Un análisis similar al anterior de las mismas compañías muestra cómo es la distribución por género:



Vale aclarar que el género de una persona puede asumir valores no binarios, pero no todas las empresas reportan géneros diferentes del femenino o masculino y es por eso la simplificación.

Existen pocos datos de la composición de los equipos de las organizaciones y las empresas argentinas. Sin embargo, es posible hacer una aproximación extrapolando la cantidad de nuevos inscriptos a carreras afines al desarrollo de la tecnología. La figura de la página siguiente, arriba, representa la distribución por género de las personas inscriptas a carreras relacionadas a la programación en la Argentina:

Fuente: Chicas en Tecnología.

En el período 2010-2015, y en el caso de las universidades que informaron datos desagregados por género en sus carreras, se registraron 102.800 nuevas inscripciones en carreras relacionadas con programación. De este total, el 16% corresponde a ingresos de mujeres y el 84% a varones.

¿Cuáles son los problemas concretos de la falta de diversidad en los equipos?

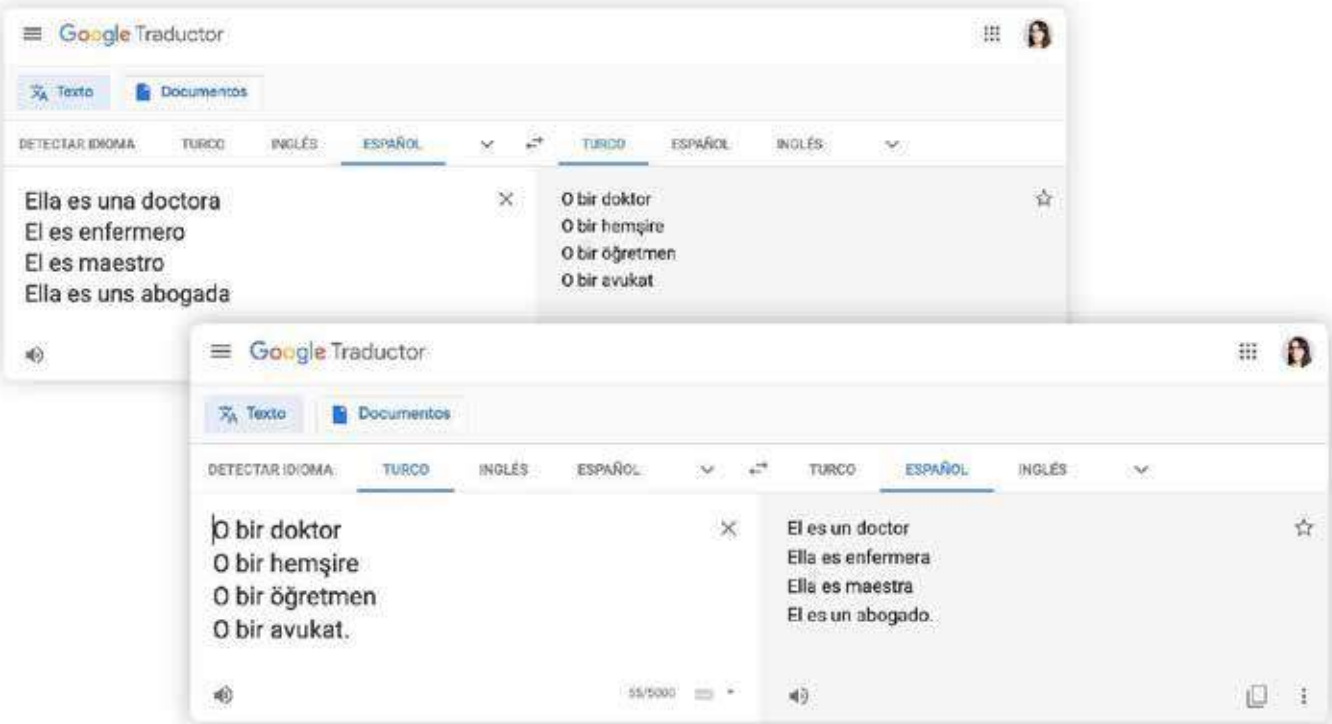
¿Cómo se ve reflejada esta homogeneización de los equipos en nuestro día a día? Como toda construcción humana, el desarrollo de software responde a las subjetividades del equipo que lo crea. Las minorías subrepresentadas en las empresas y organizaciones que generan tecnología deben enfrentar muchas más barreras para entrar, permanecer y crecer que cualquier hombre cisblanco con la misma formación y experiencia. En consecuencia, no resulta descabellado pensar que los estereotipos racistas y sexistas subsisten en la tecnología que estas organizaciones desarrollan y que todos los usuarios consumimos todo el tiempo, y a través de la cual se toman decisiones, incluso del orden público.

Por ejemplo, recién a partir de 2018 los asistentes virtuales (todas con voces femeninas, respondiendo al estereotipo de las tareas de asistencia que caen sobre las mujeres) saben cómo ayudar ante violaciones y situaciones de violencia contra la mujer, pero ya desde su surgimiento en 2011 recomiendan líneas de asistencia al suicida o saben qué responder ante emergencias como un ataque al corazón.

La figura al pie ilustra otro caso, el del traductor de Google.

El traductor se comporta de forma no simétrica al traducir de un idioma sin artículos tipeados por género (turco) a un idioma con artículos tipeados por género (castellano).

Cuando en 2014 Apple lanzó su HealthKit (*app* que ayuda a controlar valores y métricas de salud) podía realizar un seguimiento del contenido de alcohol en sangre, de altura y, para personas con un inhalador, ayudar a controlar la frecuencia con la que se usa. La *app* permi-



tía incluso controlar la ingesta de sodio. Sin embargo, de todas las opciones que ofrecía la aplicación, Apple logró, de alguna manera, omitir el ciclo menstrual. Este simple ejemplo ilustra cómo no solo los estereotipos de género se perpetúan en las soluciones tecnológicas, sino que los asuntos propios de las mujeres se dejan de lado.

Un potencial con barreras

Las causas de esta desigualdad de género no responden a un único factor, sino a un complejo espectro de situaciones. Lo que se puede observar es que ocurren desde edades muy tempranas cuando ya las mujeres enfrentan grandes barreras para entrar al mundo de la programación y de la tecnología. El informe PISA 2015 revela que el interés de las mujeres por las STEM (sigla en inglés utilizada para denominar a disciplinas como ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) se ve influenciado principalmente por dos factores:

1. La forma en la que se perciben a sí mismas (qué son buenas haciendo y qué es bueno para ellas).
2. Su actitud respecto de la ciencia (si piensan que la ciencia es importante, útil e interesante).

Ambos factores están directamente relacionados con el ambiente en el que se mueven y sus procesos de socialización, más que a factores innatos o biológicos, según explica un informe de la Unesco.

Una de las ideas que chicas y chicos tienen sobre la ciencia y la tecnología es que se trata de una actividad 'difícil' y que es exclusivamente para personas sobresalientes. Desde los seis años, las chicas son menos propensas que los chicos a asociar personas realmente muy inteligentes con su género. Además, deciden participar menos que sus pares varones en actividades descriptas como 'para chicos y chicas muy inteligentes' y, por lo tanto, es muy poco probable que puedan acercarse a actividades relacionadas con ciencia y tecnología.

Asimismo, cuando se les pide a adolescentes de ambos sexos que describan a personas trabajando en diferentes profesiones, ubican, en ciencia y tecnología, a hombres generalmente poco atractivos, de avanzada o mediana edad y con pocas habilidades sociales. Esto aleja a las mujeres de la programación y la tecnología, ya que no pueden verse ni atraídas por la profesión ni reflejadas en ella. Conocer a alguien que trabaje o esté interesado en estas áreas es también una de las principales razones que influyen en la elección de las chicas por estas carreras. Acercarse a alguien con quien identificarse ayuda a deconstruir estos preconceptos y estereotipos acerca de quiénes son y qué hacen las personas que trabajan en STEM.

Sumado a todos los factores enumerados anteriormente, la capacitación, el apoyo y las actividades con-

cretas para desarrollar proyectos reales con tecnología, incentivados desde las familias y la escuela desde edad temprana, son fundamentales en la elección posterior de carrera. Desafortunadamente existe muy poco de esto, principalmente en las escuelas.

Hacia dónde vamos

Programar es una herramienta para llevar ideas a la práctica; es muy importante pensar qué ideas elegimos resolver y quiénes las están eligiendo. Si la discusión para buscar soluciones tecnológicas está concentrada en un solo tipo de persona (varones, cis-blancos) habrá perspectivas e ideas que no serán tenidas en cuenta. Y esto, como vimos en los ejemplos, genera muchísimos problemas, en particular en el desarrollo de productos tecnológicos.

Necesitamos educar para que la programación sea una opción para las chicas (y también chicos) de nuestra región. Es importante que entiendan que con tecnología se puede ayudar a resolver los problemas que a ellas y a sus comunidades les importan. Hay muchos problemas que hoy no están siendo resueltos simplemente porque hasta ahora nadie los identificó o se propuso solucionarlos. Por eso es necesario acercarles a las chicas la posibilidad de elegir qué problemas son importantes para ellas y de proponer soluciones. Difícilmente una *app* de manera aislada pueda resolver por completo el problema que se proponen. Hay diferentes actores (gobierno, instituciones, sociedad, y varios otros) que necesitan involucrarse también para poder solucionarlos. Asimismo, la tecnología es una gran aliada para ayudar a que ese problema se pueda resolver; darles esta herramienta a las adolescentes es un puente que podemos facilitar.

Por suerte, la tecnología es fácil de cambiar y evoluciona todo el tiempo. Los cambios a nivel tecnológico son vertiginosos, algo de lo que fuimos testigos en el curso de la pandemia. Para poder acompañar estos cambios sin olvidarnos de una perspectiva de género, debemos ser responsables, y respetar y alentar la vocación en ciencia y tecnología en las niñas y adolescentes, acercándoles herramientas, permitiéndoles que experimenten el rol de creadoras de tecnología, no limitándolas al de meras usuarias pasivas. No podemos olvidar la necesidad de visibilizar referentes femeninos para que las niñas se puedan sentir más identificadas, al mismo tiempo que los niños conozcan a todas estas grandes mujeres y, por supuesto, también les inspiren.

Somos muchas las personas y organizaciones identificando la falta de mujeres y, en particular, de mujeres latinas detectando problemas y creando soluciones tecnológicas. Para poder achicar la brecha tecnológica, necesitamos más datos, información y experiencias para poder transformar esta realidad involucrando a diferentes actores como las escuelas, el sector público y privado, los medios de comunicación y las ONG. Los cambios que vemos y por los que trabajamos son consecuencia de un cambio sistémico y con la participación activa de todos estos actores. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BASCO AI, LAVENA C Y CHICAS EN TECNOLOGÍA, 2019, 'Un potencial con barreras', BID. *publications.iadb.org/es/un-potencial-con-barreras-la-participacion-de-las-mujeres-en-el-area-de-ciencia-y-tecnologia-en*

BIAN L, LESLIE SJ & CIMPIAN A, 2017, 'Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests', *Science*, 355 (6323): 389-391. *studentexperiencenetwork.org/wp-content/uploads/2017/03/Cimpian_Gender_Stereotypes_Develop_Early.pdf*

GOOGLE CS ED RESEARCH GROUP, 2014, 'Women who choose computer science: What really matters'. *static.googleusercontent.com/media/edu.google.com/en/pdfs/women-who-choose-what-really.pdf*

SEY A & HAFKIN N (ed.), 2019, Taking Stock: Data and evidence on gender equality in digital access, skills and leadership, United Nations University, Tokio. *www.itu.int/en/action/gender-equality/Documents/EQUALS%20Research%20Report%202019.pdf*

UNESCO, 2017, 'Cracking the code: Girls' and women's education in science, technology, engineering and mathematics (STEM)'. *unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479_eng*

Consuelo López

M.S. en Ingeniería de Software, University of California, Irvine, Estados Unidos.
Gerente de producto en MuleSoft.
Vicepresidenta de la comisión directiva de Chicas en Tecnología.
consuelo@chicasentecnologia.org

Crossfit cerebral N.° 9

Ilusiones y juegos matemáticos

Rudy:

Tus compañeros y compañera de Crossfit Cerebral queremos agradecerte por haber compartido con nosotros esta sección desde sus inicios. ¡Gracias por hacer que la ciencia nos resulte (aún) más divertida! Te despedimos (solamente de esta sección) cálidamente.

Cero lógica

Desde que comenzó la pandemia varios conceptos matemáticos empezaron a sonar en los medios de comunicación: exponencial (por el contagio), estadísticas, análisis de gráficos, curvas (que debíamos aplanar), porcentajes (por la efectividad de las vacunas)… Pero hubo un concepto cuyo debate resultó, de hecho, algo divertido: la paridad del 0. Todo se originó con un anuncio que establecía qué días podían circular las personas, según si su DNI era par o impar.

Fue así que la medida se anunció, hace poco más de un año, de esta manera: las personas cuyos documentos terminen en un dígito par podrán salir determinados días; los que terminen en impar, los restantes.

La intención fue simplificar el anuncio evitando que alguien deba preguntarse si un número que supera los 10 millones es par o impar, utilizando este criterio equivalente. Sin embargo, lejos de eso, fue ahí cuando arrancó el problema. Automáticamente las redes se llenaron de la misma pregunta: ¿y los que terminan en 0 cuándo salen? Los medios rápidamente se hicieron eco de esto. Es que para muchas personas el 0 no es nada, ni par ni impar.

Antes que nada dejemos en claro que el 0 es un número par, y no hay ninguna duda sobre ello. ¿Por qué? Sencillamente porque hay una definición de número par, y el 0 la cumple. Hay muchas formas equivalentes para definir cuándo un número es par, pero una posible es:

Si al dividir un número x por 2 se obtiene resto igual a 0, entonces x es un número par. (*)

Si dividimos 7 entre 2, el cociente es 3 y el resto 1. Entonces 7 no es par. En cambio, si dividimos 8 entre 2, el cociente es 4 y resto 0, por lo que 8 es par. De la misma forma, si dividimos 0 entre 2, tanto el cociente como el resto son iguales a 0, así que el 0 es par. Sin embargo, no vayan a apostar por el cero como par en la ruleta. En la ruleta no se entrega premio cuando uno apuesta por pares y sale el cero. Esto no tiene que ver con la paridad del 0, sino que está especificado en el reglamento y es para equilibrar las probabilidades entre pares e impares sobre los 36 números restantes.

En el caso particular del enunciado (*), también vale el recíproco:

Si x es un número par, entonces al dividir x entre 2 se obtiene resto igual a 0.

En otras palabras, los enunciados A y B siguientes son equivalentes:

A: El resto de dividir el número *x* entre 2 es igual a 0.
B: El número *x* es par.

¿Qué significa que sean equivalentes? Vayamos por partes. En matemática, si afirmamos que 'A implica B', significa que cuando A vale, entonces B también. Solamente esto. Por ejemplo, partamos del siguiente enunciado con relación a la COVID-19:

Si una persona tiene más de sesenta años, entonces es considerada de riesgo. (+)

En la afirmación anterior, tenemos:

A: Tener más de sesenta años.
B: Ser de riesgo.

La afirmación dada es verdadera en cuanto a considerar a una persona dentro del grupo de riesgo: si A, entonces B. En otras palabras, A implica B. ¿Se puede deducir de esto alguna de las siguientes afirmaciones?

1. 'Si es de riesgo, entonces tiene más de sesenta años.'
2. 'Si no tiene más de sesenta años, entonces no es de riesgo.'
3. 'Si no es de riesgo, entonces no tiene más de sesenta años.'

Claramente 1 y 2 son conclusiones incorrectas: una persona puede ser de riesgo por tener alguna enfermedad aun-

que sea joven. Esto, que se ve tan claro con este ejemplo concreto, suele traer problemas cuando se trabaja con proposiciones en matemática, en donde la cosa se pone más abstracta. La afirmación 1) corresponde al *recíproco* de (+), es decir, 'B implica A'. Lo establecido en 2) es 'no A implica no B', es decir, suponer que porque no vale la hipótesis en (+), entonces necesariamente no vale la conclusión. Como vemos, ninguna de estas deducciones pueden obtenerse de la afirmación hecha en (+).

La afirmación que sí es cierta es la establecida en 3) ya que, si una persona tuviera más de sesenta años, entonces sería de riesgo. Como no lo es, no tiene más de sesenta años. Esto se llama *contrarrecíproco* de (+): 'no B implica no A', y se deduce de la veracidad de (+).

Volviendo a la paridad del 0, mencionamos que los enunciados A y B dados al comienzo son equivalentes, lo que en matemática se expresa como 'A si y solo si B', y significa que A implica B y que, además, B implica A.

Aunque en matemática resulta muy importante utilizar las implicaciones de forma correcta para no llegar a conclusiones erróneas, también lo es en lo cotidiano. Es muy frecuente encontrar falacias lógicas en discursos: se utilizan argumentos que parecen válidos para atacar o invalidar otra opinión, pero no lo son. Esto puede ser intencional o, simplemente, por descuido o ignorancia. Para no ser víctimas de algunas de estas falacias dejamos algunas preguntas para entrenar nuestra lógica. Para esto, vamos a suponer que una persona cumple *exactamente* con lo que afirma (como si fuera un contrato). Esta persona afirma:

'Si el examen comienza por la tarde, entonces iré caminando.'

¿Cuáles de las siguientes conclusiones pueden deducirse *con certeza* de la afirmación anterior?

1. Si fue caminando, entonces el examen comenzó por la tarde.
2. Si el examen comienza por la noche, entonces no irá caminando.
3. Si no fue caminando, entonces el examen no comenzó por la tarde.

#TeRegaloUnTeorema

Teorema de Euclides. Hay infinitos números primos.

Este teorema, que es una pieza fundamental de la matemática, fue probado por Euclides en uno de los trece libros que componen los *Elementos*, unos trescientos años antes de nuestra era.

Es increíble por donde se lo mire:

- por la simpleza de su enunciado;
- por su demostración simple, corta, conceptual, constructiva y (si querés ponerle onda) bella;
- por lo fundamental que resulta el teorema, y
- por lo que perdura.

Luego de Euclides, muchísimas nuevas pruebas se han dado sobre la infinitud de los números primos. Ninguna parece superar a la de Euclides.

Antes de empezar con la demostración, un breve repaso. Los números naturales son el 1, el 2, el 3…, etc. Un número natural es primo si solo es divisible por 1 y por él mismo. El número *y* es divisible por el número *x* quiere decir que cuando dividimos a *y* por *x* nos da un número entero (o que no hay resto). También a veces decimos que *x* divide a *y*. Si un número no es primo, decimos que es compuesto.

Ahora sí…

Demostración. Se toma un conjunto arbitrario pero finito de números primos

$$p_1, p_2, \cdots, p_n$$

y se considera el producto de todos ellos más uno,

$$q = p_1 \cdot p_2 \cdots p_n + 1$$

Este número es mayor que 1 y distinto de todos los primos de la lista.

El número q puede ser primo o compuesto. Si es primo tendremos un número primo que no está en el conjunto original. Si, por el contrario, es compuesto, entonces existirá algún factor p que divida a q.

Suponiendo que p es alguno de los primos de la lista se deduce entonces que p divide a la diferencia

$$q - p_1 \cdot p_2 \cdots p_n = 1$$

Pero ningún número primo puede dividir a 1, es decir que p no está en la lista. La consecuencia es que el conjunto que se escogió no es exhaustivo, ya que existen números primos que no pertenecen a él, y esto es independiente del conjunto finito que se tome. Podemos agregar a p a esta lista y volver a repetir el procedimiento. De esta forma vemos que siempre podemos agregar un número más a la lista de números primos y por lo tanto tiene que ser infinita.

#TeRegaloUnTeorema

Mi gata tiene el poder hipnótico de desaparecer sus huellas…

Frina (mi gata) tiene el poder de hacer desaparecer sus huellas con solo mirarle los ojos fijamente durante varios segundos.

En realidad, a pesar de haber sido idolatrados por civilizaciones enteras, los gatos no tienen ese poder. Lo que ocurre es una ilusión óptica. Cuando fijamos la mirada en los ojos de Frina, esa parte del campo visual coincide con nuestra fóvea en la retina: la zona donde tenemos más receptores visuales y, por ende, mayor resolución de la imagen visual (es donde hacemos foco). A medida que nos alejamos de la fóvea (en la retina) disminuyen los receptores visuales y la imagen se vuelve menos definida. Aun así, podemos reconocer las huellas de Frina con nuestra visión periférica. Pero, entonces, ¿por qué desaparecen después de unos segundos? Al cabo de unos momentos, nuestra corteza visual (el área del cerebro que procesa la información visual), al no detectar cambios a nivel de nuestra visión periférica, filtra la información que considera irrelevante: entonces, las huellas de Frina desaparecen como parte del fondo. Este tipo de ceguera visual está regulada por nuestra atención (estamos prestando fuertemente la atención a los ojos de Frina) y es un ejemplo de modulación *top-down*: es decir, de áreas cognitivas (relacionadas con la atención) hacia áreas sensoriales (en este caso, visual).

La letra más usada

En el número anterior vimos un sistema para encriptar y desencriptar: el método del César. Este método consistía en reemplazar cada letra de un mensaje por otra, siempre desplazando una cantidad fija. Por ejemplo, si el desplazamiento era 1, la A se reemplaza por la B, la B por la C y así… hasta la Z por la A. Con desplazamiento 2, la A por la C… y así. Para desencriptar un mensaje alcanzaba con hacer la operación inversa. Pero… *¿qué pasaría si la forma de encriptar no fuera un alfabeto desplazado?*

En la preparación de este número recibimos el siguiente mensaje enviado por lectores:

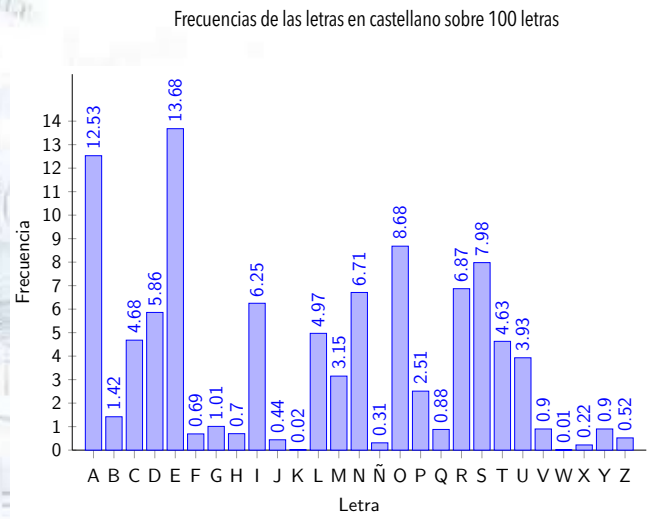
Este mensaje claramente ha sido encriptado (…a menos que hayan querido decir: 'gato, león, mono, caballo, elefante'…).

En este caso no sabemos cómo ha sido encriptado el mensaje, entonces tendremos que ingeniarnos de alguna otra manera para descubrir cuál es el mensaje oculto por estos simpáticos animales.

Sabemos, sí, que el mensaje está escrito en castellano y es lo que vamos a usar fuertemente para poder trabajar. En nuestro idioma, las letras no aparecen todas con la misma *frecuencia*, por ejemplo, las vocales son más comunes que algunas consonantes (creo que estamos todos de acuerdo que es más común ver una *e* que una *x* o una *w*). Entonces, ¿qué pasaría si leyéramos montones y montones de textos en *castellano y anotáramos para cada letra cuántas veces la vimos*? Por ejemplo, si lo hacemos con el primer párrafo de este artículo (el que comienza por 'En el número anterior…') tendremos que:

- la *a* aparece 66 veces;
- la *e* aparece 46 veces;
- … (así con el resto), y
- la *g*, la *k*, la *w* y la *x* no aparecen nunca.

Es cierto que es un caso puntual de un párrafo que tomamos de ejemplo. Pero podemos repetir esto con muchísimos textos muy extensos y empezaremos a tener algo que es representativo del lenguaje. Nos hemos tomado el atrevimiento de hacer esta tarea y lo que se obtiene puede verse en el siguiente gráfico:



En este caso, en lugar de tener la cantidad de letras contadas, lo que hicimos fue expresarlo como proporción. Es decir, en lugar de escribir que tenemos 15.343.518.564.654 letras *e*, lo que decimos es que en los textos que analizamos, de cada 100 letras 14 son *e* y en segundo lugar viene la letra *a* con 12,5 veces. Pero ¿cómo puede ser que una letra aparezca media vez? Bueno, acá lo expresamos como una proporción para que sea más simple de leer que el gigante número anterior. Es la misma idea que cuando calculamos el promedio de notas, si nos sacamos 8, 8, 8 y 9, nos dará que tenemos un promedio de 8,25, aunque nunca nos sacamos esa nota.

Volviendo a nuestro problema, en orden de aparición las letras que más aparecieron fueron *e*, *a*, *o*, *s*, *r*, *n*, *i*, *d*, *l*, *c*, *t*, *u*, *m*, *p*, *b*, *g*. Las que faltan ocurren menos de 1 vez cada 100 letras en promedio.

Con esta información y con el mensaje encriptado, les invitamos entonces a agarrar lápiz y papel y descubrir que es posible, sabiendo el idioma y su forma de uso, romper el código con el que se cifró el mensaje y leerlo.

Corolario

Cualquiera que conozca el idioma del mensaje enviado podrá desencriptarlo usando las tablas de frecuencia de aparición de las letras. Es por esto que los mecanismos de encriptación actuales no recurren a cambiar una letra por otra para ocultar un mensaje, sino que encriptan con algoritmos que *miran los bytes* detrás del mensaje entero, y los cambian utilizando una clave o contraseña, sin la cual es muy difícil desencriptarlos.

¿Cómo se reparten los primos?

En nuestra edición de #TeRegaloUnTeorema de hoy vimos que existen infinitos números primos.

Hagamos al 2 a un lado, ya que salvo él todos los primos son impares. (Hay un dicho popular en inglés sobre los primos, que juega con que *odd* significa a la vez *impar* y *raro*. Dice: *Primes are odd, and two is the oddest prime of all*).

Si tengo un primo (impar), lo puedo dividir entre 4 y fijarme cuánto da el resto. Por ejemplo:

17 = 4 * 4 + 1 -> resto 1
23 = 4 * 5 + 3 -> resto 3

Podemos así repartir a los primos impares en dos conjuntos:

U = primos que al dividirse por 4 dan resto 1
T = primos que al dividirse por 4 dan resto 3

Alguno de los dos tiene que ser infinito, porque en caso contrario el conjunto de los números primos sería finito. La pregunta natural que surge es la siguiente: ¿serán ambos infinitos? ¿O alguno de ellos será finito?

Experimentemos. Proponemos un ejercicio para el lector que sepa un mínimo de programación (o menos aún, que tenga ganas de aprender): definir dos funciones que, dado un número *n*, calculen los siguientes valores:

u (n) = # {primos menores que n, que pertenecen a **U**} / # {primos impares menores que n}

t (n) = # {primos menores que n, que pertenecen a **T**} / # {primos impares menores que n}

Por ejemplo:

u (30) = # {5, 13, 17, 29} / # {3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29} = 0,444…

Se puede implementar online, por ejemplo usando Python en:

www.pythonanywhere.com/try-ipython/

Calcular restos es así de sencillo:

```
In [1]: 23% 4
Out[1]: 3
```

Para trabajar con números primos, por ejemplo, la librería SymPy nos provee una función que nos devuelve el primo siguiente a un número dado:

```
In [2]: from sympy import nextprime
In [3]: nextprime(22)
Out[3]: 23
```

Volviendo a la teoría, estas funciones miden cómo se reparten, proporcionalmente, los primos en cada uno de los dos conjuntos.

Por ejemplo, si el conjunto **U** fuera finito entonces la función **u** va a dar cada vez más cercana a 0 cuando la evaluemos en números cada vez más grandes, pues su denominador va a crecer (ya que hay infinitos primos) pero su numerador quedará acotado. Podríamos decir en tal caso que 0% de los primos pertenecen a **U** (sin que esto signifique que **U** sea vacío: por ejemplo, 5, 13, 17, etc., pertenecen a **U)** mientras que 100% de los primos pertenecen a **T**.

Supongamos que por el contrario fueran ambos infinitos. Si sucediera, por ejemplo, que evaluando **u** en números cada vez más grandes obtuviéramos valores cada vez más próximos a 0,4 y evaluando **t** en números cada vez más grandes obtuviéramos valores cada vez más próximos a 0,6, podríamos decir que el 40% de los primos pertenecen a **U** mientras que el 60% de ellos pertenecen a **T**.

(Sin decir *agua va*, estamos hablando de porcentajes de un conjunto infinito. Este probablemente sea un concepto novedoso para el lector.)

A experimentar: proponemos al lector implementar ambas funciones y evaluarlas en números cada vez más grandes, para así conjeturar cuáles son estos porcentajes. Esperamos sus resultados en

contacto@cienciahoy.org.ar

Cero en lógica

Hay un artículo antes que este que se llama 'Cero lógica'. Me encantaría que la correctora de Ciencia Hoy analice el título y nos haga llegar un análisis detallado. No me extrañaría que –solo porque comienza hablando de la pandemia– el título corregido sea 'Serológica', lo cual estaría mal, pero no tan mal.

El punto interesante de la frase 'cero lógica' es todo lo que está implícito: lo entendemos como 'no tiene lógica', 'no hay lógica', 'es ilógico', y así está bien.

Pero si le preguntamos a un lógico cuántas lógicas conoce donde se acepte un axioma y su negación nos dirá que no hay ninguna: 'cero lógicas'. Porque ¡dado que el cero es par, no le queda otra que ser plural! 'Presentaron cero ideas', 'tenía cero conocimientos sobre el tema', 'sacó cero votos', 'hay cero grados de temperatura' (centígrados, que si fueran Farenheit la radio no diría nada de nada de nada). Siga buscando ejemplos, coincidirá que es algo raro, pero así es la gramática del cero.

Y les dejo entonces otra duda gramatical: ¿qué hacemos con las fracciones? ¿Es igual en castellano o inglés? Otros idiomas se los debo, ¡si me envían ejemplos, se los voy a agradecer!

Soluciones

Cero lógica

a. No necesariamente, no dijo que es el único caso en que iría caminando.
b. No necesariamente, no dijo cómo iría si no comenzara por la tarde.
c. Verdadero, ya que si hubiera comenzado por la tarde, habría ido caminando.

La letra más usada

El mensaje desencriptado es:

15 de agosto de 2021
Querido nono Osvaldo, no olvides de mirar la Ciencia Hoy que hay que desencriptarla. Esta vez es más compleja que la anterior pero igual seguro sale. Nos vemos en casa. Un gran saludo, tu nieta Mercedes.

Cero en lógica

En castellano decimos las fracciones en singular: media porción, una empanada y media, hora y media, un cuarto de pizza, tres cuartos de la población... Pero en inglés, 'one and a half men/hours'. Raro, más *odd* que el 2, ¿no?

Equipo de la sección 'Ilusiones y juegos matemáticos'

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hacé tu suscripción digital a CIENCIA HOY

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

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

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

RevistaCienciaHoy @revistacienciahoy @CienciaHoyOK

cienciahoy.org.ar

Guillermo Giménez de Castro
Centro de Radioastronomía y Astrofísica Mackenzie, San Pablo, Brasil, e IAFE, UBA-Conicet

Cristina Hemilce Mandrini
IAFE, UBA-Conicet

Jean-Pierre Raulin
Centro de Radioastronomía y Astrofísica Mackenzie, San Pablo, Brasil

Veinte años del telescopio solar submilimétrico

Esta historia comienza en Buenos Aires, durante la XXI Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU, por su sigla en inglés), en julio de 1991. Hugo Levato, director del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), Horacio Ghielmetti, director del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) y Pierre Kaufmann, coordinador del Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais (CRAAE) de San Pablo, Brasil, conversan sobre un proyecto de radiotelescopio solar en ondas submilimétricas, o sea que detecte radiación solar con longitud de onda debajo del milímetro. Kaufmann, un pionero de la radioastronomía, piensa instalarlo en algún sitio de Chile o de los Estados Unidos. Ghielmetti, quien trabaja en el diseño y la construcción de un detector de rayos X solares que volaría en el SAC-B, el primer satélite científico argentino, le propone instalarlo en el CASLEO donde ya funcionaba el telescopio de 2,15m recientemente bautizado Jorge Sahade. En marzo de 1992, durante el 154.º Simposio de IAU 'Infrared Solar Physics' en Tucson, Estados Unidos, Kaufmann presenta oficialmente el proyecto a la comunidad internacional: instalar en los Andes argentinos un radiotelescopio con muy alta resolución angular y receptores en 210 y 405GHz para determinar la posición de la fuente emisora y construirlo en colaboración entre el CASLEO, el IAFE y el Instituto de Física Aplicada (IAP, por su sigla en alemán) de la Universidad de Berna en Suiza. Acababa de nacer el SST.

Los antecedentes del SST hay que buscarlos en la experiencia adquirida desde la década de 1960 por Kaufmann y su grupo con el Rádio Observatório do Vale do Itapetinga, hoy rebautizado Rádio Observatório Pierre

¿DE QUÉ SE TRATA?

Se cumplieron veinte años de la instalación del telescopio argentino-brasileño de investigaciones solares.

Kaufmann, próximo a la ciudad de Atibaia, distante 70km de San Pablo. Este telescopio de casi 14m de diámetro consiguió realizar observaciones solares hasta la frecuencia de 90GHz. Más tarde fue el instrumento base para un experimento que resultó exitoso; utilizó el esquema de múltiples haces, o *multibeam* como se lo conoce y se explica en la figura de la página 62, para ubicar de forma inmediata el centro de emisión de una fuente. Lo relevante es que lo hizo limitando geométricamente el ingreso de radiación a los receptores hasta que sus haces se tocaron a un nivel del 50%. Esto, que resulta en pérdida de sensibilidad, distorsión del haz y aumento de radiación no deseada –todo lo que los manuales de la radioastronomía desaconsejan–, demostró ser eficiente para observaciones de fulguraciones solares. El primer *multibeam* fue construido en colaboración con el IAP de Suiza, para la frecuencia de 48GHz.

Radioastrofísica solar

La radioastronomía nació en 1930 cuando el norteamericano Karl Jansky (1905-1950) demostró que parte de la radiación recibida por su antena Merry-Go-Round ('calesita' en castellano), con un receptor sintonizado en 20,5MHz, provenía del centro galáctico. En 1940 otro norteamericano, Grote Reber (1911-2002), construyó el primer radiotelescopio con una antena parabólica y con receptores que iban de 160 hasta 3000MHz y en 1944 publicó el primer artículo científico radioastronómico en la revista *The Astrophysical Journal*. La Segunda Guerra Mundial aceleró la evolución de receptores de radio para radares y comunicaciones. Así fue como en 1942 el físico inglés James Stanley Hey (1909-2000), que operaba una estación de radar en las costas británicas, determinó correctamente el origen solar de un brillo intenso en su pantalla y, de paso, descartó la aterradora idea de que una superfortaleza alemana se aproximaba amenazante al Reino Unido. También en la misma época, pero en Nueva Zelanda, la británica Elizabeth Alexander (1908-1958) interpretó de forma semejante las observaciones en sus pantallas de radar, aunque estos informes solo fueron conocidos al final de la guerra. Estas observaciones no dejaban de sorprender a los astrónomos: la radiación detectada era demasiado intensa para que las fuentes de emisión conocidas en el Sol pudieran producirla. Años más tarde, refiriéndose a los orígenes de la radioastronomía en general, Reber dijo: 'Los astrónomos no conseguían imaginar ninguna forma racional por la cual estas ondas eran generadas, y como ellos no conocían ningún proceso, todo el tema [la radioastronomía] era [según ellos] en el mejor de los casos un error, y en el peor, una farsa'. Curiosamente, en 1901, el francés Charles Nordmann del Observatorio de Niza sostuvo, en la defensa de su tesis doctoral, que el Sol debe emitir en radio y que esta emisión debía estar correlacionada con el ciclo de manchas y fáculas observadas. Una experiencia con un receptor de radio realizada en septiembre de 1900 no consiguió, sin embargo, detectar estas señales.

Para la década de 1960 la radioastronomía avanzaba a pasos agigantados: la física consiguió explicar el origen de las emisiones y este fue un motivo más para buscar nuevas ventanas de observación, o sea, nuevas bandas de frecuencia. Se construyeron antenas de mayor diámetro y la frecuencia de los receptores pasó de las ondas métricas (300MHz) a las milimétricas (30GHz), mientras la técnica observacional pasó de la de antena única (*single-dish*) a la de interferometría. Entre los nuevos mecanismos de emisión que se propusieron recibió mucha atención la giroemisión: el proceso por el cual un electrón emite radiación electromagnética al moverse a lo largo de las líneas de campo magnético. Una característica de esta emisión es que, a mayor energía cinética del electrón, mayor es la frecuencia característica de su emisión. Es decir, observando en frecuencias cada vez más altas podemos estudiar partículas de energías mayores. La distribución en energía de las partículas aceleradas en procesos naturales tiende a estar muy concentrada en las bajas energías, siendo una pequeña fracción el número de las que alcanzan energías altas. Esto es lo que se llama distribución en ley de potencias, y tiene como consecuencia que la radiación sea muy intensa en bajas frecuencias (< 10GHz) y disminuya a frecuencias altas. Observar a altas frecuencias puede dar respuesta a un enigma aún vigente de la astronomía general: cómo conseguir que partículas cargadas adquieran energías relativistas.

Kaufmann hizo un descubrimiento sorprendente en 1984 usando el radiotelescopio de Itapetinga: durante una fulguración solar, el brillo a distintas frecuencias entre 1 y 50GHz permaneció constante en intensidad, pero a 90GHz aumentó abruptamente. Esto significaba que había alguna fuente capaz de entregar energía de manera selectiva, a partir de una cierta energía. La observación de 1984 lo motivó a ir a frecuencias más altas, para ver si la tendencia se mantenía.

Pero la atmósfera terrestre no tolera la transmisión en cualquier frecuencia: a partir de alrededor de los 10GHz su opacidad aumenta gradualmente y se torna completamente opaca a 1000GHz. Desde esta frecuencia hasta el infrarrojo, la atmósfera terrestre está completamente cerrada a la radiación electromagnética. El villano de la opacidad atmosférica en este rango espectral es el vapor de agua. La solución es ir a lugares secos y altos porque la acumulación de vapor de agua se reduce exponencialmente con la altura. La elección del CASLEO para instalar un telescopio

submilimétrico fue lo lógico: ubicado a 2550m, tiene una opacidad razonable en 210GHz y aceptable en 405GHz. Otro motivo para escoger el observatorio es que ya contaba con infraestructura adecuada para operar: rutas, edificaciones, conexiones y personal técnico calificado.

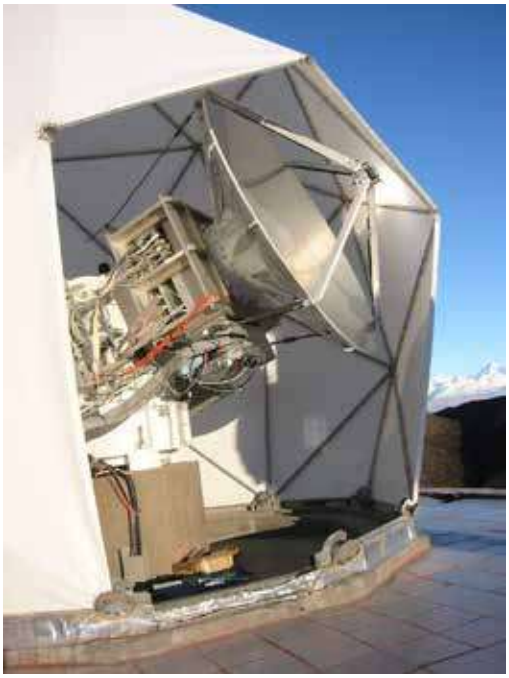
El telescopio

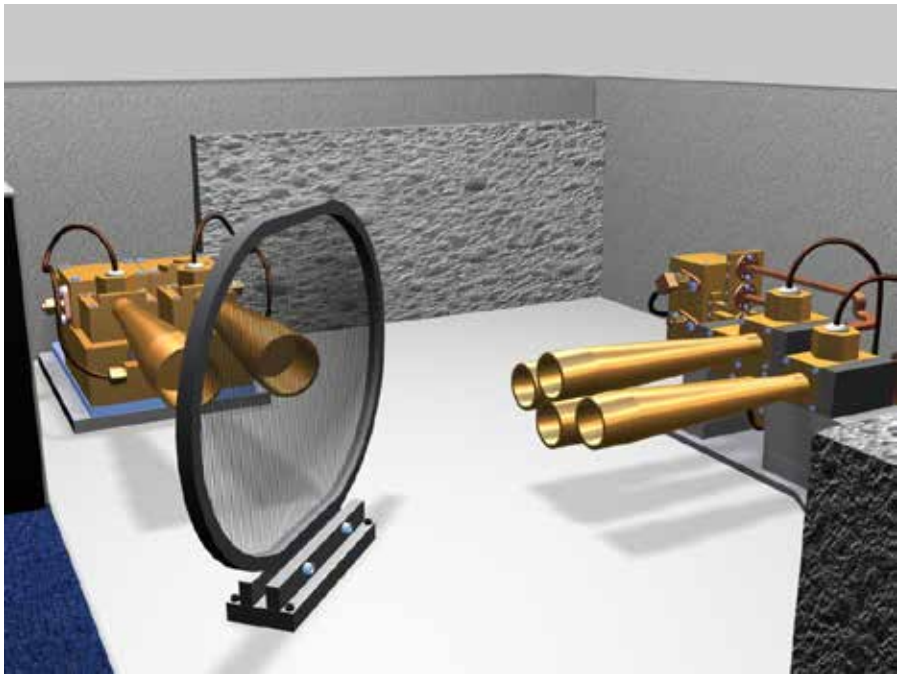
El SST fue diseñado por el CRAAE junto con el IAP. Es un telescopio de tipo Cassegrain con un reflector primario de 1,5m de diámetro y una relación focal f / D = 8. La antena, construida por la Universidad de Arizona en Tucson, está cubierta por una bóveda (radomo) de material sintético de la marca Gore-TeX que inhibe el pasaje de radiación infrarroja, pero es transparente a la radiación que nos interesa. El sistema *multibeam* está compuesto por tres receptores en la frecuencia central de 212GHz, cada uno proyecta sobre el cielo un haz nominal de cuatro minutos de arco (4'), más un receptor de 405GHz con un tamaño de haz de 2'. A este conjunto de cuatro receptores se le agregaron dos más, uno en 212 y otro en 405GHz, de características similares a los anteriores, separados por 7' del conjunto central, y que sirven como referencia. A estas frecuencias las ondas tienen una longitud de 1,4 y 0,7mm respectivamente, de ahí la razón de ser submilimétrico. Todos los receptores fueron construidos usando la última tecnología del momento y el conjunto de antena y receptores se asienta sobre una montura alt-azimut. El software de control de movimiento y adquisición de datos fue escrito por los propios miembros del proyecto en lenguaje C, y corre sobre QNX, un sistema operativo de tiempo real. Además, el mismo equipo desarrolló el software de calibración y análisis de los datos, usando mayormente el Interactive Data Language (migrando en 2020 a Python).

El proyecto fue financiado, principalmente, por la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de San Pablo (FAPESP, por su sigla en portugués), después de pasar por un largo proceso de aprobación que incluyó un comité internacional.

El SST fue integrado en el IAP entre noviembre de 1998 y marzo de 1999 y trasladado al CASLEO adonde arribó en abril de 1999. Si bien no hay un registro oficial, se acepta que vio la *primera luz*, o sea, la primera observación del Sol, el 1 de mayo de 1999. Los dos primeros años operó en modo de campaña: los miembros del equipo íbamos al CASLEO para hacer observaciones durante una o dos semanas y al irnos apagábamos los equipos. En abril de 2001, las operaciones pasaron a ser diarias, y desde 2014, remotas. Hasta este momento, fines de 2020, se han acumulado más de 7000 días, o 56.000 horas-observación y 400GB de información. Un tesoro observacional.

La finalidad más importante del SST es observar fulguraciones solares. Como el tamaño de sus ojos (4' y 2') es menor que el Sol entero (30'), debemos escoger cada día una región del Sol para observar y además reali-





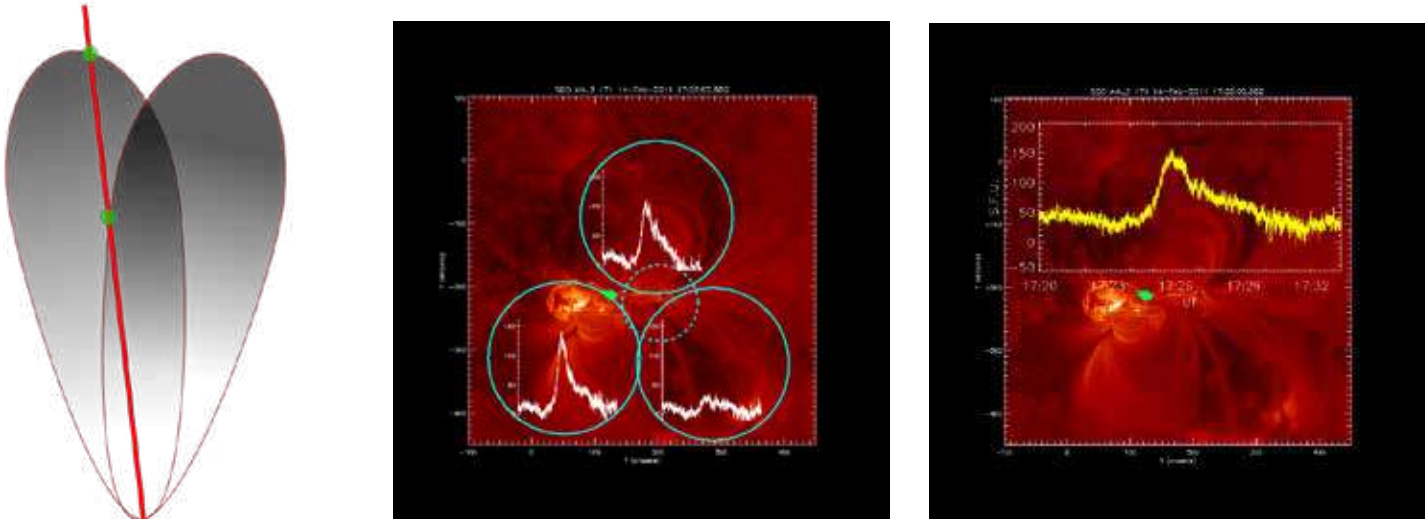
Izquierda. El SST con el radomo abierto durante su instalación. Puede verse la antena y la caja de los radiómetros (*front-end*). **Derecha.** Representación 3D del *front-end*. Se pueden ver las dos cornetas de los receptores de 405GHz (izquierda) y las cuatro cornetas de los receptores de 212GHz (derecha). La red (*grilla*) gris sirve como semirreflector para dividir la señal de entrada y dirigirla a las cornetas.

Visita del comité internacional externo que evaluó al proyecto junto con autoridades locales, CASLEO, julio o agosto de 1994. De izquierda a derecha: Antônio Mario Magalhães (USP, Brasil), Marta Rovira (IAFE, Argentina), Hugo Levato (CASLEO, Argentina), Horacio Ghielmetti (IAFE, Argentina), Horacio Dottori (UFRGS, Brasil), Lars-Åke Nyman (ESO). La foto fue tomada a pocos metros de donde hoy se erige el SST. A la izquierda se ve el edificio que aloja al telescopio Jorge Sahade.

zar otras operaciones, con fuentes conocidas, para mantenerlo calibrado: medir la opacidad atmosférica, hacer mapas del Sol y, a veces, de la Luna, Venus y Júpiter.

El método *multibeam*

Los radiotelescopios tienen un único receptor y se los denomina *single-pixel*. Sus gigantes antenas solo colectan energía y ven el brillo de un único punto en el cielo cuyo tamaño es lo que llamamos haz (*beam* en inglés). Para tener una imagen, la antena debe moverse alrededor del objeto a estudiar, barrerlo para recoger el brillo de cada punto del espacio y montar un mosaico que llamamos mapa. El proceso es lento. Para aumentar la velocidad es posible utilizar muchas antenas en simultáneo usando una técnica denominada de interferometría. Si no es accesible, la alternativa es colocar un conjunto de receptores en el foco de una única antena, lo que se denomina una matriz focal. El sistema *multibeam* del SST es una matriz focal de tres receptores en 212GHz separados angularmente por 4' en una distribución triangular, superponiéndose en el nivel de 50% de la respuesta. Para determinar la posición del emisor, se usan los cocientes de las intensidades observadas por cada receptor. Un cuarto receptor en 405GHz se coloca en el centro de la matriz. En la figura de abajo se ve un ejemplo unidimensional que explica el concepto en forma gráfica. Saber exactamente la posición nos permite comparar con observaciones en otras longitudes de onda, originadas por procesos físicos diferentes. El método no permite hacer imágenes, pero sí detectar movimientos de la fuente, y tan importante como la ubicación de la fuente es la corrección de la intensidad recibida. Se ve que ninguno de los dos receptores de manera independiente captura toda la intensidad de la radiación incidente por no ingresar en su punto de máxima respuesta.

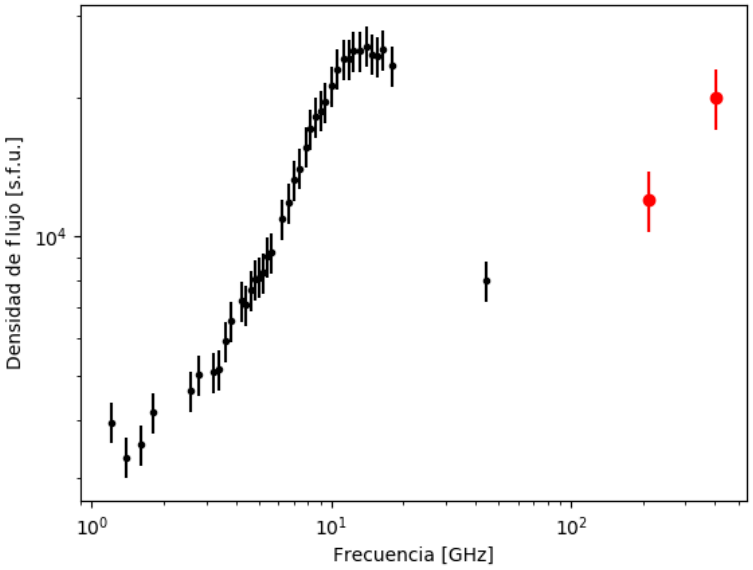


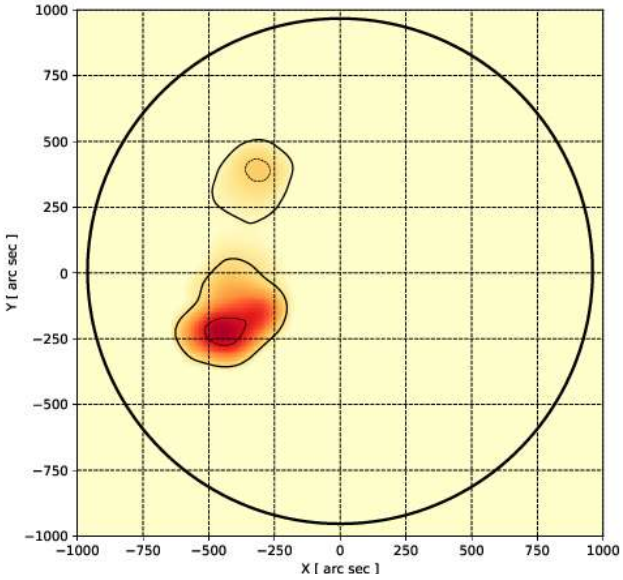
El método *multibeam*. **Izquierda.** Dos haces apuntan en direcciones ligeramente diferentes, la *respuesta* de cada haz disminuye desde el vértice superior al inferior. Un rayo de luz (línea roja) llega a ambos haces y los intercepta en diferentes posiciones relativas (círculos verdes). La intensidad recogida por cada haz será el resultado del valor original multiplicado por su respuesta (un valor entre 0 y 1). Como se verifica, ninguno de los dos haces aisladamente registraría la intensidad original. **Centro.** observación de una fulguración con el SST. La imagen del fondo es una foto en el ultravioleta. Los círculos representan los haces del SST, los de curva continua son haces de 212GHz, el círculo a trazos es el haz en 405GHz. Las curvas blancas dentro de cada círculo son las variaciones temporales de intensidad registrada por cada haz. El pequeño borrón verde es la posición de la fuente obtenida aplicando el método *multibeam*. **Derecha.** Con el mismo fondo anterior, la curva amarilla representa la evolución temporal de la intensidad recuperada y la mancha verde es la posición de la fuente según el método *multibeam*.

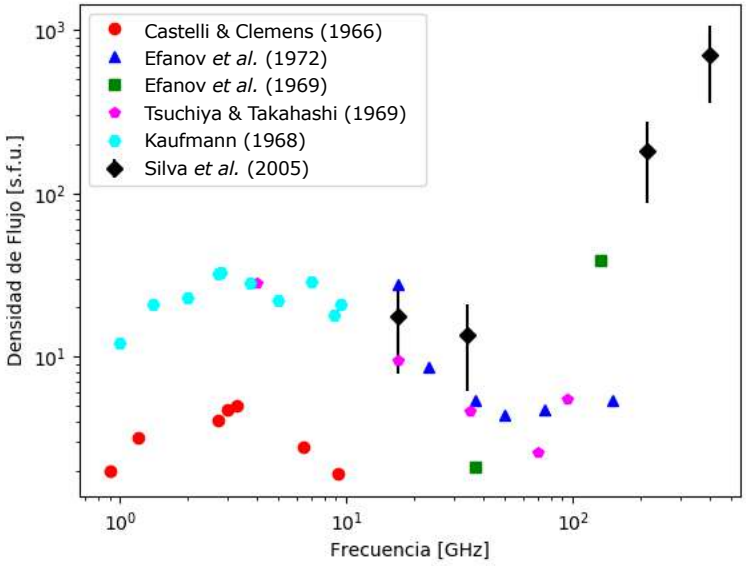
Espectros rampantes

Como dijimos, el objetivo principal del SST es encontrar nuevas evidencias de espectros anómalos como el observado en 48GHz. Y aunque llevó un cierto tiempo, pudimos encontrarlos. Fue durante el período de mayores fulguraciones detectadas en la era espacial, la semana del 27 de octubre al 4 de noviembre de 2003. De esta sucesión de grandes eventos llamada tormentas solares de Halloween, por coincidir con la tradicional celebración anglosajona del 30 de octubre, varios fueron detectados por el SST: el del 27 de octubre y del 2 de noviembre y, por último, el más espectacular de todos, el del 4 de noviembre como se observa en la figura de la derecha. Esta última fulguración generó el artículo con el mayor número de citas bibliográficas del SST. Nuestras observaciones mostraron que la intensidad en la frecuencia de 405GHz es mayor que en 212GHz, exactamente el tipo de inversión espectral que estábamos esperando. El del 2 de noviembre fue similar.

El telescopio KOSMA, instalado en los Alpes suizos y dotado de un sistema similar al del SST para las frecuencias de 210 y 345GHz, detectó el 28 de octubre de 2003 un evento de espectro invertido. Años más tarde, el 6 de diciembre de 2006, el SST volvió a registrar un evento anómalo. Este tipo de fulguraciones recibió el nombre de eventos THz (por terahercios, la frecuencia a la que ocurren), por la suposición de que el máximo de emisión debería estar en frecuencias arriba de 1THz. ¿Cuál es el origen físico de los eventos THz? Hay muchas hipótesis y, a pesar de que pasaron más de quince años, no existe aún confirmación. El motivo principal de nuestra ignorancia es que para poder verificar alguna de las teorías propuestas necesitamos observaciones en frecuencias más altas, hasta llegar a varios THz. Precisamos además conocer la polarización de la onda, manteniendo la capacidad de localización de la fuente. Mejor aún sería tener imágenes, pero ¿es posible? Para obtener imágenes habría que hacer un instrumento formado por un sensor matricial capaz de sintonizar y barrer muy rápidamente en frecuencia entre 100GHz y 10THz, con capacidad de registrar la polarización de la onda. Ese instrumento debería estar ubicado a más de 10km de altura, para eliminar la atmósfera terrestre, o sea, no podría ser terrestre y se debería po-







Algunos resultados del SST. **Arriba.** Espectro registrado durante el evento del 4 de noviembre de 2003. Los puntos negros con sus barras de error fueron registrados por el Owens Valley Solar Array y la antena de Itapetinga. Los dos puntos rojos, invirtiendo la caída de la intensidad, fueron observados por el SST. **Centro.** Mapa del Sol en 405GHz mostrando dos regiones activas. **Abajo.** Resumen de varios trabajos mostrando el espectro de las regiones activas; resaltada con puntos negros se ve la región submilimétrica con flujos en aumento.

nerlo en órbita. El sensor podría ser una matriz formada por centenas de sensores o bolómetros con filtros pasa-banda sintonizables electrónicamente y capacidad de detectar las diferentes polarizaciones, pudiendo ajustar muy rápidamente sus características para detectar diferentes frecuencias y polarizaciones de forma que a cada lapso tengamos un cubo de imágenes, cada imagen correspondiendo a una frecuencia y una polarización distintas. La tecnología para este instrumento todavía no existe, pero está dando sus primeros pasos por medio del desarrollo de nuevos materiales basados en grafeno. Nuestro grupo está trabajando con el laboratorio de grafeno de la Universidad Presbiteriana Mackenzie con el fin de desarrollar los detectores THz de la próxima década.

Otros resultados

Las dos décadas de mapas solares diarios del SST han permitido determinar con mucha precisión el radio del Sol, así como su variación a lo largo de los años, lo que constituye la base para calcular modelos de la atmósfera solar. De la misma forma, estudiamos las llamadas regiones activas, zonas sobre la superficie del Sol que aparecen más brillantes en frecuencias de radio y que están relacionadas con las famosas manchas solares, y mostramos que ellas también presentan un espectro creciente en el rango submilimétrico del espectro. Por fin, hicimos una estadística de casi veinte años que demostró que la temperatura de las regiones activas acompaña al ciclo solar indicando que debe haber algún tipo de transferencia de energía magnética a energía térmica. La larga serie de datos nos ha permitido realizar análisis de la opacidad atmosférica y su relación con otros parámetros ambientales, lo que nos posibilita determinar la opacidad a partir de los datos meteorológicos tomados en tierra.

El SST fue el primer instrumento solar instalado en el CASLEO. Con el correr de los años estos fueron aumentando en número hasta que hoy en día hay un laboratorio heliogeofísico de montaña (LHM) que cuenta con un polarímetro solar para las frecuencias de 45 y 90GHz, detectores de rayos cósmicos y antenas de muy baja frecuencia (VLF, por su sigla en inglés) que monitorean la actividad ionosférica terrestre: una región muy sensible al ingreso de rayos cósmicos terrestres y que permite estudiar desde las fulguraciones de rayos gama (*Gamma Ray Bursts* o GRB) hasta las solares. Y muy cerca del CASLEO, en el Observatorio Félix Aguilar (OAFA), está emplazada una cámara en infrarrojo medio ($\lambda = 10\mu m$), y estamos construyendo un telescopio para $\lambda = 20\mu m$, instrumento único ya que nunca antes se observó al Sol en esta frecuencia.

Hoy en día, en el desierto de Atacama chileno, a 5000msnm, se erige el Atacama Large Millimeter Array (ALMA), un interferómetro de más de sesenta elementos con detectores desde 45 a 900GHz. En la misma región, pero en la provincia de Salta, se está construyendo el Large Latin American Millimeter Array (LLAMA), un telescopio argentino-brasileño *single-dish* con capacidad de integrarse en una red de interferometría y de observar entre 45 y 900GHz. Ambos observatorios son capaces de 'ver' al Sol, con una resolución espacial y sensibilidad mucho mayor que las del SST. ALMA ya está produciendo los primeros resultados científicos. Sin embargo, ninguno de los dos actuará como 'el guardián' del espectro submilimétrico que dedica cada uno de sus días a vigilar la actividad del Sol. Esperamos que, después de una necesaria actualización, el SST pueda continuar con su labor por otros veinte años más. CH

LECTURA SUGERIDA

KOUTCHMY K, 2021, *Solar Astronomy: Observing, imaging and studying the Sun*, Axilone-Astronomy.

Guillermo Giménez de Castro
Doctor en ciencias físicas, FCEyN, UBA.
Profesor adjunto III Período Integral, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil.
Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie, Brasil.
Investigador Nivel 2, CNPq (Brasil), investigador correspondiente, Conicet (Argentina)
guigue@craam.mackenzie.br

Cristina Hemilce Mandrini
Doctora en Ciencias Físicas, FCEyN, UBA.
Investigadora superior, Conicet.
cristina.mandrini@gmail.com

Jean-Pierre Raulin
Doctor en Física de Gases y Plasmas, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).
Profesor adjunto III Período Integral en la Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil.
Investigador CNPq, Brasil.
raulin@craam.mackenzie.br

SUSCRIBITE A CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

¡NO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!

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

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

CHicosdeCienciaHoy
@chicosdecienciahoy

¿Cómo acercarte a la ciencia en tres pasos?

1visitá

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

2sumate

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

3seguinos

por Twitter a través de @nex_ciencia

nexciencia.exactas.uba.ar