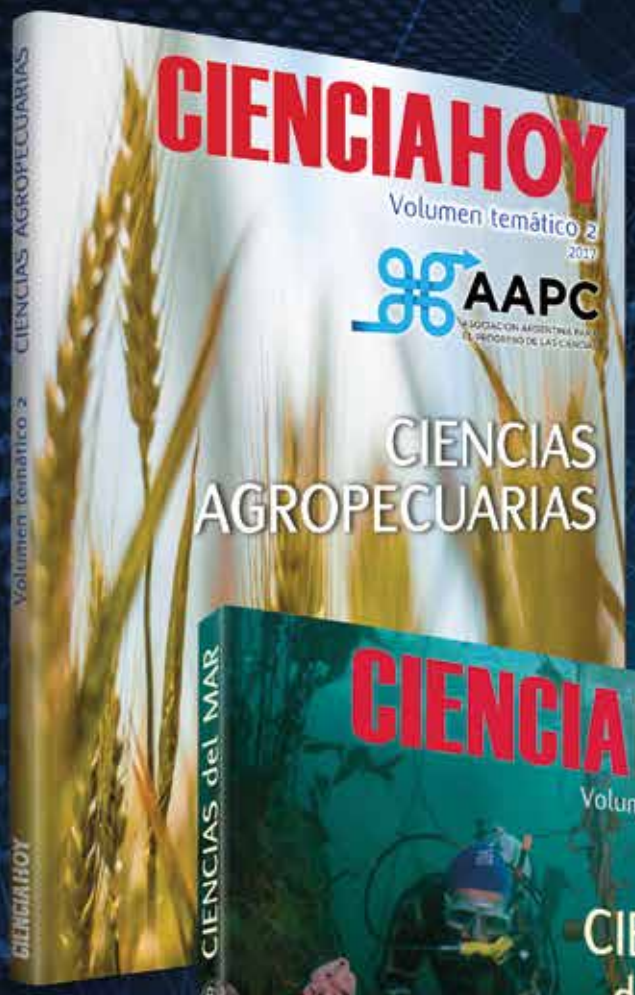
CIENCIA HOY

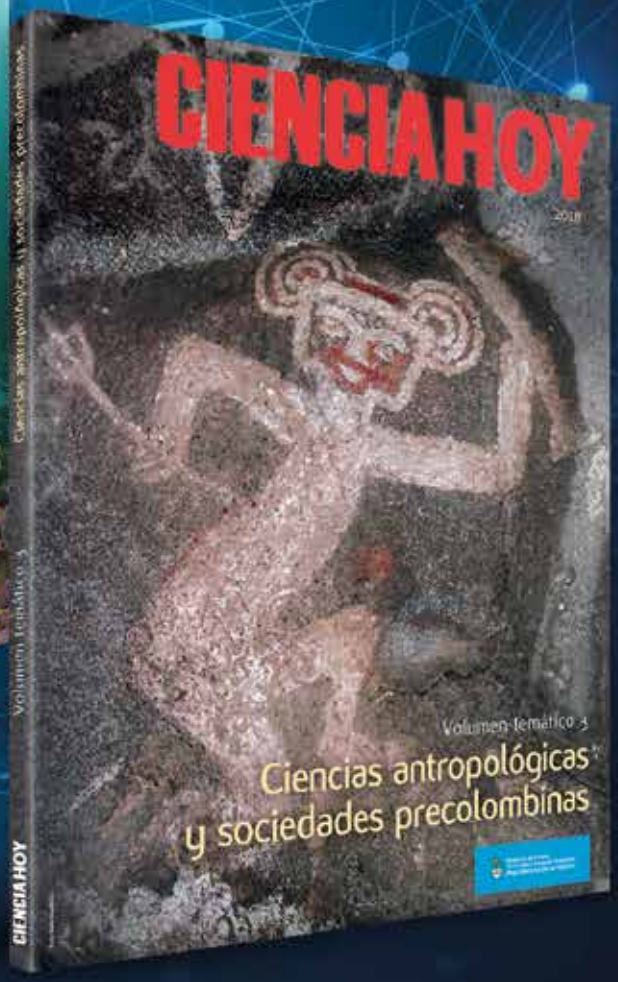
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 30 número 176 junio - julio 2021
Ejemplar en la Argentina $400

El monte pampeano y sus mamíferos

Circones, relojes de la Tierra
Halófilos: la vida en la sal
Playas del pasado
Agua de lastre
Optogenética

9 770327 121009 00176





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

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

Consejo científico

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

Secretaría del comité editorial
Paula Blanco

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

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

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

Junio - julio 2021
Volumen 30 - número 176

EDITORIAL

4 Planes para después de la pandemia

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

6 Volumen 6, número 34 - 1996

ARTÍCULO

8 El monte pampeano y sus mamíferos

Esteban Soibelzon, Javier Negrete, Habib Delfino Ahumada, Raúl Montero, Dante Ciai y Gabriel Martin

El 'monte' es una ecorregión de gran extensión latitudinal, con flora y fauna típicas de zonas áridas. Esta ecorregión en La Pampa representa cerca del 40% de su superficie y tiene una rica y variada fauna de mamíferos, aunque las modificaciones llevadas a cabo por la actividad humana han producido profundos cambios ambientales que están poniendo en jaque a su diversidad.

ARTÍCULO

17 ¿Cómo estudiamos y qué sabemos de las playas del pasado?

Manuel Isla y Mariano Remírez

Los estratos de rocas sedimentarias presentan rasgos que permiten interpretar los distintos flujos que las generaron. Estos rasgos se denominan estructuras sedimentarias mecánicas. La observación y descripción de este tipo de estructuras permite hacer reconstrucciones de los ambientes sedimentarios. Las playas fósiles dejan en el registro sedimentario rasgos que evidencian su origen y permiten diferenciar los principales procesos que actuaron en su formación (olas, mareas, ríos). El reconocimiento de estos paleoambientes sedimentarios resulta de interés para la industria de hidrocarburos debido a su rol como reservorios de fluidos.

ARTÍCULO

23 Colecciones documentadas de esqueletos: ¿para qué sirven?

Marcos Plischuk, Bárbara Desántolo y Rocío García Mancuso

La generación de métodos de caracterización biológica en la antropología forense se vale de la comparación de conjuntos de esqueletos provenientes de cementerios o morgues. Estas colecciones osteológicas poseen información documental asociada, lo que permite generar métodos para estimar el sexo o la edad de muerte de un individuo de esa población en particular, contribuyendo a resolver estos y otros problemas en la antropología forense y la arqueología.

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

28 Ciencia en tu vida

ARTÍCULO

32 Agua de lastre: legislación y nuevos tratamientos para prevenir la introducción de especies exóticas

Leila Ron, Nancy Correa y Esteban Paolucci

Si bien la entrada en vigor de la nueva Norma D-2 de la Organización Marítima Internacional (OMI) para reducir la cantidad de especies introducidas e invasoras en ecosistemas acuáticos parece definitoria, la combinación de tratamientos nuevos y prexistentes resultaría una opción más eficiente para reducir la densidad y el número de especies transportadas y luego liberadas en el puerto de destino. La aplicación de nuevas tecnologías y una planificación adecuada de la normativa son fundamentales para lograr con éxito el control de especies introducidas potencialmente dañinas para el ecosistema.

ARTÍCULO

38 Halófilos: la vida en la sal

Mariana Costa y Micaela Cerletti

Los halófilos son organismos muy diversos que viven en ambientes con una gran cantidad de sal, como salinas, lagos hipersalinos y el mar Muerto. Comprenden desde microorganismos unicelulares hasta seres más complejos como plantas y animales. Sus características distintivas los posicionan como importantes recursos para la ciencia, tanto por sus procesos adaptativos que les permiten sobrevivir en estos ambientes como por sus inusuales biomoléculas, utilizadas en diversos procesos industriales.
El cambio climático provocado por el hombre genera cada vez más ambientes hipersalinos como consecuencia de los aumentos de la temperatura y la evaporación de cuerpos de agua. En este contexto, las lecciones de estos inusuales organismos son aun de mayor importancia para afrontar las problemáticas modernas.

ARTÍCULO

44 Hágase la luz: usando optogenética para iluminar el estudio del cerebro

Verónica de la Fuente

La optogenética se trata de una poderosa herramienta que permite estudiar la función de distintos circuitos neuronales de manera controlada en el tiempo y espacio. Se basa en la utilización de luz de diferentes longitudes de onda para activar o inhibir neuronas de manera rápida y reversible.

ARTÍCULO

51 Circones, los relojes de la tierra

Maximiliano Naipauer

Las distintas edades geológicas de la Tierra se miden utilizando elementos naturales radiactivos. El uso del uranio existente en circones de rocas obtenidas de meteoritos y de la Luna ha permitido establecer la edad de la Tierra en 4560 millones de años. Además, posibilitó determinar que las rocas más antiguas de la Tierra no exceden los 4030 millones de años. En la Argentina las rocas más antiguas pertenecen al cratón del Río de La Plata que afloran en las sierras de Tandil y tienen una edad de 2200 millones de años.

MATEMÁTICA, ILUSIONES Y HUMOR

59 *Crossfit* cerebral N.° 8

64 Humor

Planes para después de la pandemia

La humanidad se ve sacudida por una crisis sanitaria global cuya naturaleza estamos aún reconociendo. Tal vez nos sirva como parámetro prestar atención a las epidemias paradigmáticas de nuestro pasado, como la plaga de Atenas que cambió el curso del mundo antiguo, la peste negra que trastocó el sistema socioeconómico medieval o la más reciente 'gripe española' que anunció y determinó el pesimismo característico del período de entreguerras. En todos los casos, el efecto inmediato fue una mutación social –tal vez a primera vista imperceptible– que pronto devino estructural, donde pocos ámbitos se vieron ajenos a la dinámica.

Esta vez, lo que parece haber puesto en primer plano esta pandemia, acompañada y alentada por la revolución tecnológica aún en curso, es la instauración de un distanciamiento semipermanente. La cuarentena y las restricciones de movilidad nos han forzado a adaptarnos a las prácticas remotas, absorbiendo en nuestros hogares, en nuestros espacios familiares, la presencia física y simbólica de nuestro trabajo. Hoy, a más de un año y medio del inicio de este evento histórico, podemos empezar a vislumbrar la tan ansiada 'vuelta a la normalidad', hacer un balance de lo que hemos aprendido y pronosticar el equilibrio que regirá nuestro futuro cercano. Pero ¿será realmente un regreso a la 'normalidad'? ¿Cuáles son los desafíos que tenemos por delante al salir de la pandemia?

La redacción de Ciencia Hoy está compuesta por científicos de disciplinas que van desde las ciencias de la vida, pasando por las naturales e incluyendo las ciencias sociales y las humanidades. Entre todos decidimos hacer un ejercicio de reflexión, con una chispa de imaginación, acerca de cómo creemos que será el regreso pos-COVID-19 a la investigación, y a la docencia para aquellos que la ejercen. Nuestra visión sigue.

Para quienes trabajan en las ciencias de la vida, la pandemia ha reducido considerablemente las horas dedicadas a experimentación y, en muchos casos, ha diversificado los proyectos. Es común ver laboratorios de investigación que han comenzado proyectos relacionados con COVID-19 reutilizando el conocimiento que habían generado anteriormente. Otros, aun manteniendo las líneas de investigación, se han volcado a la bioinformática, disciplina que estudia la aplicación de tecnologías computacionales y la estadística a la gestión y análisis de datos biológicos. Por ejemplo, utilizando datos depositados públicamente y obtenidos en diferentes laboratorios del mundo, se pueden analizar en búsqueda de firmas génicas que caractericen un determinado tumor.

La vuelta a la experimentación de manera sostenida en el laboratorio es clave para salir de este año y medio trabajando a distancia, pero la recuperación no será inmediata: los laboratorios se encuentran al volver con la necesidad de reoptimizar protocolos después de casi un año y medio sin actividad, bioterios con menor número de animales, protocolos con acceso limitado a los espacios y que obligan a los investigadores a asistir con turnos a sus lugares de trabajo.

Para las ciencias naturales, una de las tareas principales son los trabajos de campo que han sido suspendidos por completo en la primera etapa y se han ido restableciendo lentamente dependiendo de las distancias y las posibilidades de cada investigador. Estos trabajos de campo son esenciales para muchas disciplinas, como la geología y la biología, para la obtención de datos y muestras a analizar en el desarrollo de las distintas investigaciones, por lo cual su restablecimiento resulta crucial para la continuación y el avance de ellas. Respecto de las tareas experimentales y de laboratorio, percibimos una situación similar a la de otras ciencias, anuladas y luego reducidas a escasas horas semanales, atadas a la asignación de turnos que regulan la asistencia a los lugares de trabajo.

Para los investigadores en humanidades y ciencias sociales, se presentan escenarios con ciertos matices, dependiendo de la distancia con el objeto de estudio. Ciertas disciplinas se han visto en grandes dificultades –o verdaderas imposibilidades– para proseguir con sus investigaciones. Las excavaciones arqueológicas, por ejemplo, se han visto irremediablemente interrumpidas –naturalmente aquellas que implicaban grandes desplazamientos, pero las restricciones han tendido a desalentar también aquellas realizadas en territorios vecinos–. Algo similar ha sucedido con el trabajo de archivo y bibliográfico de los historiadores, necesitados de revisar sus fuentes primarias y secundarias.

Por fortuna, el acceso a las fuentes materiales y textuales es compatible con el trabajo remoto una vez que estas han sido fichadas y reproducidas en un formato digital de acceso relativamente libre. En la última década se ha llevado a cabo una extraordinaria e inédita tarea de digitalización por parte de bibliotecas, archivos y museos del mundo (no tanto en la Argentina, que aún se encuentra rezagada en esa área), lo cual ha permitido que los investigadores de estas disciplinas pudieran servirse de aquel material para continuar su trabajo. Sin embargo, no es menos cierto que los protocolos sanitarios han tendido a ralentizar aquel trabajo de digitalización por las condiciones de presencialidad y cooperación que este requiere. Estas

mismas razones han afectado las tareas de análisis y restauración artísticas. Así, la dimensión remota podría estar afectando sus propias condiciones de posibilidad.

Al igual que en otras áreas, la pandemia demostró la posibilidad de flexibilizar hasta cierto punto el sistema de trabajo preexistente. Si bien el trabajo remoto o *home office* puede ofrecer la ventaja de dar más espacio a la lectura y escritura de artículos científicos, también disminuye las interacciones que enriquecen o disparan las ideas base para proyectos. La adaptación virtual a estos encuentros por diferentes plataformas significa una solución parcial a este problema, amén de ofrecer evidentes ventajas: la posibilidad de asistir a cursos, congresos y conferencias de manera remota, evitando la pesada logística del viaje, que a menudo reducía las posibilidades de asistir a este tipo de encuentros.

En la educación, la adaptación a la distancia sea en encuentros remotos o virtuales tiene tanto adeptos como enemigos. La educación a distancia implica un cambio radical de las formas de enseñar y de aprender. Los profesores se ven desafiados por la necesidad de producir nuevas herramientas para acercar al alumno al conocimiento, con la consiguiente restructuración del sistema de evaluación. Los alumnos, en tanto, mientras que han perdido la posibilidad de realizar actividades de laboratorio prácticas, tal vez han ganado con la posibilidad de asistir a clases teóricas que, en tiempos de presencialidad, exigían esfuerzos que los desalentaban. La virtualidad también ofrece oportunidades de comunicación profesor-alumno poco utilizadas en modalidad presencial (chat, mail, consultas virtuales y otras), especialmente valiosas para aquellos jóvenes con personalidades más introvertidas –aunque también es cierto que se ha visto limitada la interacción directa, la cooperación y la sociabilidad, tanto con los profesores como con sus pares–. Al calibrar estas ventajas y desventajas, es probable que la salida de la pandemia tienda a un equilibrio donde se establezca –al menos en un principio– un sistema mixto, donde ciertas prácticas se realicen necesariamente de manera presencial y ciertas dimensiones teóricas del estudio se limiten a la educación a distancia.

Es preciso, sin embargo, destacar el carácter esencial de la vida académica presencial desde un punto de vista histórico y ético. En la Argentina en particular, los estudiantes han sido impulsores de los grandes cambios y reformas en la universidad, expresando ideas mediante el discurso, pero también con el cuerpo, en los edificios, haciendo escuchar su voz y poniendo límites a los excesos por parte de las autoridades establecidas. Estos tiempos donde parece imperar el sanitarismo como única respuesta posible a la crisis no prometen más cambios que los que la propia pandemia imponga. Una dinámica permanente de estudiantes alejados de sus casas de estudio e investigación, aislados en sus hogares frente a una pantalla, profundiza la brecha socioeconómica de quienes aspiran a un título, ya que su participación depende del acceso a bienes y servicios de forma personal. Por otro lado, los estudiantes son quienes dan vida y continuidad a los laboratorios de investigación. Sin ellos golpeando las puertas, buscando iniciarse en la investigación, la actividad se extingue; eso es exactamente lo que ocurre si a un grupo de investigación se le corta el ingreso de becarios. Esa continuidad se ha roto en este tiempo y, de no recuperarse, muchos grupos, sobre todo de investigadores jóvenes queriendo crecer, podrían desaparecer.

Ahora bien, ¿los efectos inmediatos de este distanciamiento prometen una desconcentración permanente? ¿Cómo se ajustarán presupuestos y planes de infraestructura frente a una cursada en el mejor de los casos semipresencial? La práctica indica que la autarquía financiera de los centros de investigación será discutida y se buscarán nuevos consensos. Podemos prever profundas disputas laborales condicionadas por el trabajo remoto que tal vez aceleren un debate que la revolución tecnológica de nuestros tiempos ya ha puesto sobre la mesa. La tecnología ha producido más cargos de trabajo de los que ha vuelto obsoletos, pero sabemos por experiencia que la transición puede ser traumática para el individuo, y ese tránsito requiere diálogo y transparencia.

En lo que a los investigadores respecta, este devenir inmediato los encuentra naturalmente mejor preparados para hacerle frente. La razón es sencilla: el desarrollo científico y tecnológico es producto del trabajo intelectual humano, no una dinámica destinada a reemplazar a la inteligencia. La perspectiva es entonces menos cuantitativa que cualitativa. El trauma pandémico nos obliga a pensar con más urgencia cómo adaptaremos nuestros saberes y pericia a una realidad distinta y –para no desaprovechar el juego de palabras– distante.

La hipótesis de la Reina Roja (cuyo nombre deriva de un personaje de la novela *Alicia a través del espejo* de Lewis Carroll) es una hipótesis evolutiva que propone que los organismos, en pos de su supervivencia, deben adaptarse y evolucionar constantemente. En un entorno externo que sufre alteraciones de manera permanente (consideremos, por ejemplo, los cambios climáticos o la propia evolución de especies en competencia), los organismos o poblaciones deben 'moverse' constantemente para mantenerse 'en el mismo lugar'. En este contexto, la pandemia ha acelerado un proceso de cuestionamientos y cambios que venía gestándose, apurando cambios con una velocidad sin precedentes a nivel histórico, no solo en el desarrollo científico sino en nuestra vida cotidiana y nuestras dinámicas sociales. Las transformaciones intergeneracionales en curso auguran una era determinada por el distanciamiento, tanto espacial como temporal. ¿Estamos corriendo cada vez más rápido, como Alicia en la carrera con la Reina Roja? En nuestro caso, seguramente, no permanezcamos en el mismo lugar. CH

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

LAS ECUACIONES DIOFÁNTICAS

EDUARDO FELIZIA

La solución de un problema de la vida diaria es la misma que la de una clase de entidades matemáticas conocidas con el nombre de ecuaciones diofánticas. Estudiando a Diofanto, Fermat generalizó las ecuaciones al formular su célebre conjetura (o último teorema).

AdobeStock.com

LA DATACIÓN ABSOLUTA DEL ARTE RUPESTRE

MARÍA TERESA BOSCHÍN Y ANA MARÍA LLAMAZARES

Estudio pluridisciplinario orientado a aplicar en la Argentina la técnica AMS para datar pinturas rupestres. Viene usándose con éxito en Europa, los Estados Unidos y Australia, pero no registraba antecedentes locales entonces.

PRIONES Y VACAS LOCAS

PABLO E A RODRÍGUEZ Y FEDERICO A CUMAR

El 20 de marzo último [1996], el ministerio de Salud del Reino Unido informó al Parlamento británico sobre la aparición de diez casos de una variante hasta entonces desconocida de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, cuya causa podría haber sido la transmisión al hombre de la encefalitis espongiforme bovina, comúnmente llamada enfermedad de la vaca loca. Con este motivo, Ciencia Hoy actualiza la información que publicó en el número 32.

Hace 25 años en Ciencia Hoy se publicaba un artículo sobre la 'enfermedad de la vaca loca' ('El prión, un agente infeccioso no convencional'). Esta patología es causada por priones (glicoproteínas mal plegadas por causa desconocida) que, al ingresar al organismo en alimentos infectados, alteran la estructura de proteínas del sistema nervioso. Afectan su funcionamiento y provocan cuadros neurodegenerativos letales, sin tratamiento ni cura. Otros cuadros asociados a priones son el *kuru* por canibalismo en Nueva Guinea, ya desaparecido; la enfermedad de Creutzfeldt-Jacob (ECJ) y el insomnio fatal familiar. Se identificaron alteraciones en mitocondrias, lisosomas, núcleos y sinapsis. A casi 40 años de su descubrimiento, los priones ocultan gran parte de sus secretos, muestran su estructura simple y sus letales consecuencias para animales y humanos. Existen varias instituciones dedicadas al estudio de los priones, entre las que se destaca el National Prion Disease Pathology Surveillance Center de la universidad Case Western Reserve en Estados Unidos.

Wikimedia commons

¿CÓMO SE DESCUBRE O INVENTA UN MEDICAMENTO?

ALEJANDRO C PALADINI

Sustancias químicas presentes en la pasionaria y la manzanilla, plantas cuyas infusiones se consideran tranquilizantes, han llevado a descubrir productos con propiedades terapéuticas quizá iguales o superiores que las de los compuestos habitualmente utilizados para el tratamiento de la ansiedad.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

Wikimedia Commons

TAMBOPATA, UN REFUGIO DE VIDA SILVESTRE EN LAS SELVAS DEL PERÚ

CRISTIAN DESMARCHELIER, GRACIELA CICCIA Y AM GIULIETTI

En las selvas del Perú se encuentra una de las regiones menos pobladas del continente, la reserva de Tambopata, que alberga una de las mayores diversidades biológicas de la tierra.

Cristian Desmarchelier comenta: 'Hace 25 años exploraba por primera vez el potencial de la biodiversidad como fuente de productos de interés farmacéutico. Lo hice nada menos que en la Reserva Nacional de Tambopata, en la Amazonia peruana, uno de los lugares más prístinos y hermosos del planeta. A partir de ese día, junto con Graciela Ciccia, comenzamos a transitar el estudio de las plantas como posibles fuentes de nuevos medicamentos, una actividad que ya empezaba a tener nombre propio: bioprospección. Mientras tanto, luego de más de tres décadas de su creación, el modelo de negocio de Tambopata para la puesta en valor de la biodiversidad —basado en el ecoturismo y el turismo científico— ha demostrado ser un modelo a replicar en otras regiones del mundo'.

DESNUTRICIÓN Y DIMORFISMO SEXUAL

HÉCTOR M PUCCIARELLI, FRANCISCO R CARNESE Y LUIS M GUIMAREY

En niños de familias carenciadas se observan caracteres sexuales secundarios que se alejan de lo habitual. Este artículo explica las causas de tal fenómeno.

EGRESADOS DEL PAÍS: ¡ES NECESARIO REACCIONAR!

IRINA PODGORNY

Un episodio de 1928, relacionado con la contratación de un joven científico alemán, pone de relieve las ideas que alumbraban el esfuerzo por implantar una cultura académica moderna en la universidad argentina más progresista de ese momento.

Irina Podgorny comenta: 'Esta nota fue una apostilla a mi estadía posdoctoral en el Instituto Iberoamericano de Berlín en 1994 y 1995, cuando aún era tierra poco frecuentada por los académicos de nuestro país. Un expediente del Legado de Robert Lehmann-Nitsche recopilaba un conflicto de 1928 por el contrato de Erich Dautert, un desconocido biólogo alemán, como profesor y jefe del Departamento de Zoología del Museo de La Plata y reemplazante del prestigioso Miguel Fernández, zoólogo formado en Zúrich —que había renunciado enfrentado al director de la institución. A cargo del área entre 1906 y 1927, fue una de las figuras más importantes en la escena científica argentina e internacional en lo referido a la embriología de algunas estructuras propias de los mamíferos. De ello se ocupó la investigadora del Conicet Susana V García, especialista en la historia de la zoología de los inicios del siglo XX, autora de *Enseñanza científica y cultura académica. La Universidad de La Plata y las ciencias naturales (1900-1930)* (Rosario, Prohistoria Ediciones, 2010).

Wikimedia commons

AGUAS DE SURGENCIA

JEAN LOUIS VALENTIN

Descripción de un fenómeno marino de origen climático, que explica la riqueza pesquera del Perú y hace que, en el cabo Frío brasileño, las aguas sean calientes en invierno, cuando sopla gélido viento sur, y frías en verano, cuando sopla tórrido viento norte.

Esteban Soibelzon, Javier Negrete, Habib Delfino Ahumada, Raúl Montero y Dante Ciai
Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP

Gabriel Martin
Centro de Investigación Esquel de Montaña y Estepa Patagónica (CIEMEP), Conicet–UNPSJB

El monte pampeano y sus mamíferos

El monte de llanuras y mesetas (de aquí en más *monte*) es una de las dieciocho regiones naturales o *ecorregiones* de nuestro país y conforma una diagonal árida que se extiende desde el sur de San Juan hasta la costa atlántica de Chubut, Río Negro y el sur de Buenos Aires. Esta diagonal es a su vez parte de una región mayor, denominada 'zona de transición sudamericana', que tiene una larga historia evolutiva y, sin dudas, ha jugado un rol biogeográfico clave para la biota terrestre del sur de Sudamérica. Durante los ciclos glaciales e interglaciales (ocurridos repetidamente durante los últimos dos millones de años), esta zona ha favorecido la dispersión de especies entre el centro de la Argentina y el sector sureste de la provincia de Buenos Aires, mientras que en la actualidad representa una barrera infranqueable para el desplazamiento de algunas especies entre el sector noreste y el suroeste del país. En la provincia de La Pampa, el monte se extiende por el sector occidental y ocupa cerca del 38% de su superficie (unos 54.000km^2). Es una planicie típica de zonas secas con predominio de suelos sin desarrollo de horizontes, llamados aridisoles, y con zonas de arbustales abiertos dominados por jarilla (*Larrea* spp.) y otros arbustos como el alpataco (*Prosopis alpataco*), la chilladora (*Chuquiraga erinacea*), el chañar brea (*Cercidium praecox*) y un estrato herbáceo dominado por pastizales (*Poa* spp. y *Stipa* spp.).

El monte pampeano presenta un déficit hídrico natural y característico de esa zona árida de nuestro país (donde las precipitaciones rara vez superan los 200mm

¿DE QUÉ SE TRATA?

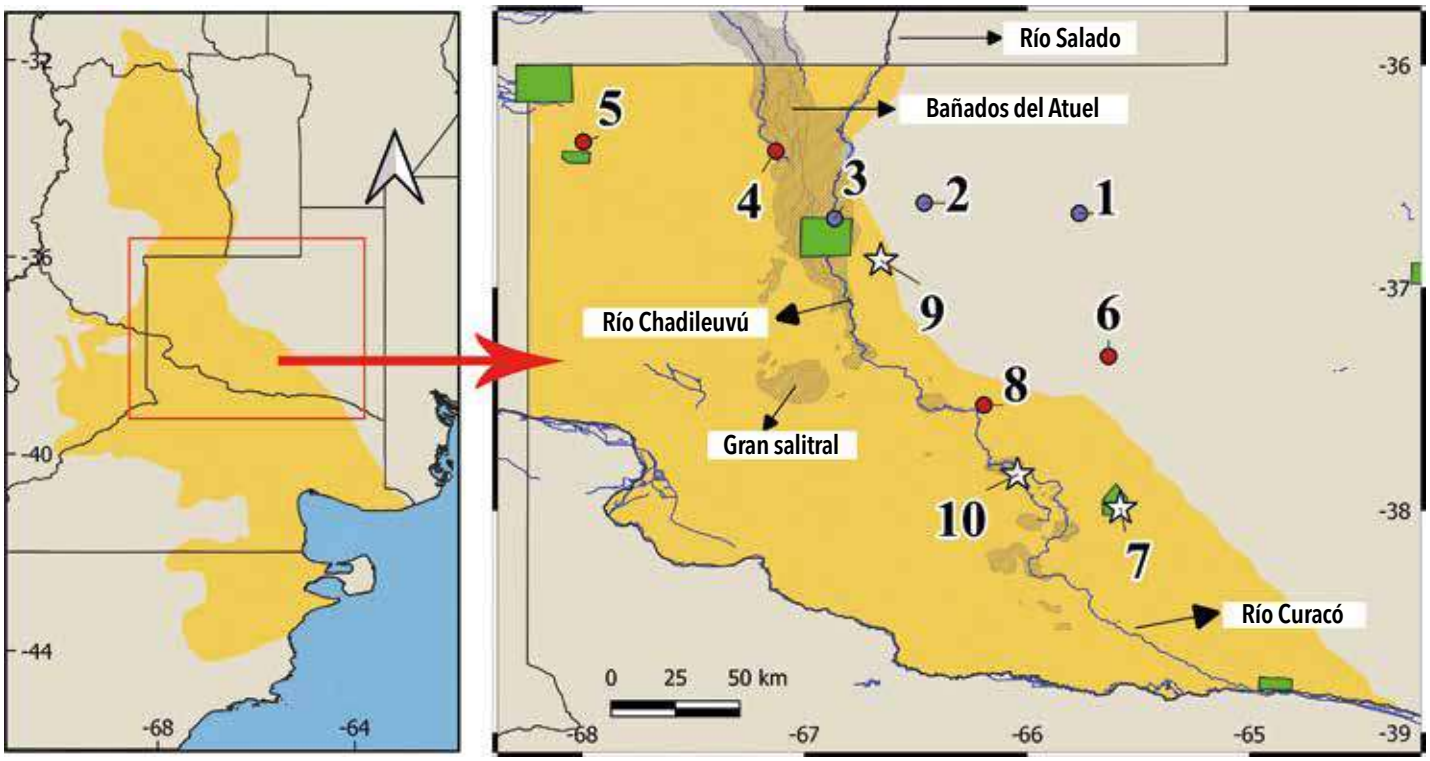
El oeste pampeano y sus mamíferos, una larga historia marcada por transformaciones ambientales.

anuales, según la información provista por el INTA) y otro generado por el ser humano. Desde fines del siglo XIX y durante gran parte del siglo XX, en la contigua provincia de Mendoza, se comenzó a hacer un uso intensivo de los cursos de agua de la gran cuenca Desaguadero/Chadileuvú/Salado/Curacó, que abastecía al sistema de humedales y bañados del Atuel y proveía de agua a las cursos de los ríos Chadileuvú/Salado (esta gran cuenca nace en La Rioja y recorre más de 1000km hasta su confluencia con el río Colorado, en el sur de La Pampa). A esta situación se suman los grandes incendios, algunos de origen natural y otros provocados por el ser humano, que dificultan el uso agroganadero de los campos, en donde un puñado de familias lucha por subsistir con una muy baja productividad ganadera y cuerpos de agua salinizados. En la actualidad tan solo el 3% del monte pampeano se encuentra protegido a través de reservas provinciales o parques nacionales (por ejemplo, reserva provincial Ñochilei Co, parque nacional Lihué Calel). Si bien estos espacios son muy importantes para preservar la flora y la fauna, las dificultades de acceso de algunos de ellos perjudican su puesta en valor y estudio.

A fin de realizar un inventario de los mamíferos no voladores del monte en La Pampa en 2011 comenzamos las tareas de campo en un área que representa cerca del 45% de la superficie que ocupa esta ecorregión a nivel provincial. Las tareas incluyeron el relevamiento de toda evidencia de la presencia de mamíferos a través de recorridos en vehículo a velocidad constante, búsqueda y recolección de egagrópilas y fecas de carnívoros (ver recuadro), entrevistas a pobladoras y pobladores, estaciones fijas de trampeo de micromamíferos (se incluyen en esta categoría aquellas especies de menos de 100g de peso corporal, como ratones y pequeños marsupiales) y disposición de cámaras fijas por largos períodos. Estas cámaras toman fotografías automáticamente cuando detectan movimiento o cambios de temperatura frente a sus sensores y son conocidas como *cámaras trampa*.

Durante los trabajos de campo pudimos identificar veintidós especies de mamíferos. Dado que aún queda un gran volumen de egagrópilas y fecas por analizar, es probable que luego del análisis total de las muestras se incremente el número de especies, ya que algunas de ellas han sido registradas previamente por otros equipos de investigación en el área de estudio.

La composición de mamíferos que hemos registrado en el monte pampeano es similar a la del otro ambiente xerófilo muy bien representado en la provincia, de-



Extensión de la ecorregión del monte en la Argentina (izquierda, sombreado en amarillo) y detalle de la ecorregión en la provincia de La Pampa (derecha). Se señalan algunas localidades presentes en el área de trabajo (círculos rojos: pueblos y/o ciudades, círculos violetas: parajes), sitios donde recolectamos egagrópilas y heces (estrellas blancas), áreas de reservas provinciales y/o nacionales (polígonos verdes) y detalle de la cuenca hidrográfica mencionada en el texto. 1: Jagüel del Monte, 2: Árbol Solo, 3: Paso de los Algarrobos y ubicación de la reserva provincial Ñochilei Co, 4: Algarrobo del Águila, 5: La Humada, 6: Chacharramendi, 7: parque nacional Lihué Calel, 8: La Reforma, 9: zona medanosa y 10: Puesto Viejo, donde se hallaron restos y se registró la comadrejita patagónica (*Lestodelphys halli*).

Sectores de monte pampeano. Arriba. Las plantas del monte durante la primavera (alrededores de Paso del Algarrobo, punto 3 del mapa). Foto E Soibelzon. **Derecha.** El monte durante el verano, con la jarilla (*Larrea* spp.), en esta estación aparecen sus frutos de color blanco, que son fuente de alimento para númerosos animales y además tiene propiedades medicinales (que sus pobladoras y pobladores conocen y aprovechan); también es y fue muy utilizada como leña dadas las características de su madera. Foto E Soibelzon. **Izquierda, arriba.** Sector de monte bajo y achaparrado en las cercanías de Puesto Viejo (punto 10 del mapa). Foto G Martin. **Izquierda, abajo.** Puente Vinchuqueros sobre el cauce seco del río Atuel en noviembre de 2020. Foto Gerardo Alainez.

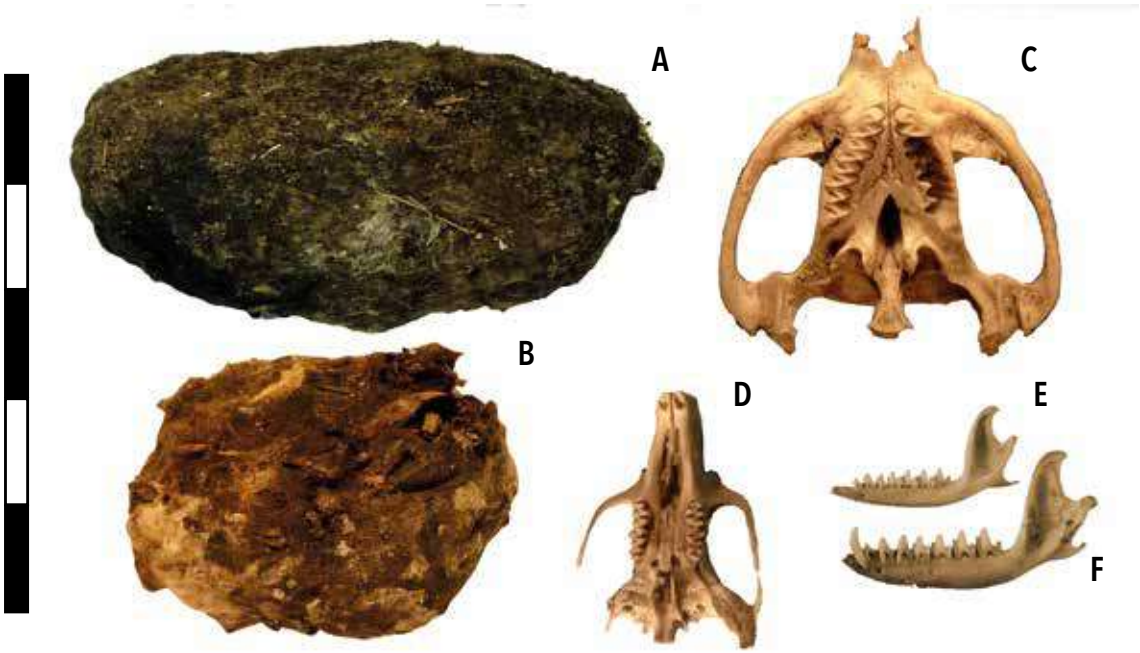
Algunos mamíferos del monte pampeano: mara, comadrejita patagónica (fotos E Soibelzon), peludo (foto Rodrigo Calvo) y pichiciego. Foto Ticiano Urquiza

nominado *espinal* y que ocupa un área similar en tamaño a la del *monte* (cerca del 40% de la superficie de La Pampa). Sin embargo, existen excepciones como la comadrejita patagónica (*Lestodelphys halli*), la rata vizcacha colorada (*Tympanoctomys barrerae*) y el gato yaguarundí (*Herpailurus yagouaroundi*, solo registrado a través de entrevistas a pobladores) que solo fueron consignados en la ecorregión del monte. Por otro lado, el piche llorón (*Chaetophractus vellerosus*), el gato del pajonal (*Leopardus pajeros*) y los ratones colilargos (*Oligoryzomys* sp.) solo los encontramos en el espinal. Asimismo, ciertas especies que fueron muy abundantes en un pasado no muy remoto en la región se encontraron en baja proporción, como el guanaco (*Lama guanicoe*), la mara (*Dolichotis patagonum*) y la vizcacha (*Lagostomus maximus*), cuyas poblaciones actuales son escasas o inexistentes. En el caso del guanaco se conocen poblaciones estables en la zona del Gran Salitral, el parque nacional Lihué Calel y la reserva provincial Parque Luro. Esta disminución en la riqueza de especies podría deberse tanto a efectos naturales como antrópicos, como lo son la transformación ambiental por tala, actividad ganadera, sequía, incendios y actividad cinegética, entre otros. Además, la provincia posee varias especies exóticas como el jabalí y el ciervo colorado, que integran el listado de las cien especies más invasoras a nivel mundial, debido a su gran capacidad de adaptación a diferentes ambientes y condiciones. La interacción de estos organismos con la fauna nativa ha sido poco estudiada y también podría afectar su abundancia. El monte pampeano es sin dudas una zona rica y diversa de la Argentina, que tiene (y tuvo) un rol ecológico fundamental

Gato montés llevando un cuis en su boca (registrado a través de nuestras cámaras trampa), puma alimentándose de un guanaco. Foto Pablo Cersosimo

¿QUÉ NOS DICEN LAS EGAGRÓPILAS Y HECES DE CARNÍVOROS?

Los búhos, las lechuzas y otras aves rapaces generan y depositan (expulsan por la boca en posaderos) lo que se conoce como egagrópilas o bolos de regurgitado que, si bien parecen excrementos, no lo son. Al igual que las heces de muchos mamíferos carnívoros, estas egagrópilas contienen, entre otras cosas, restos de pelos y huesos de los animales consumidos que los jugos gástricos no pueden digerir. Analizando los restos óseos allí contenidos podemos identificar las especies consumidas por estos depredadores. Debido a que el radio de acción y los territorios de caza de estos son generalmente acotados, los restos óseos allí encontrados nos dan información sobre qué especies habitan esa zona. Es por esto que el estudio de las heces y egagrópilas es muy importante tanto en los trabajos que buscan conocer la dieta de los depredadores como para quienes les interesa conocer las comunidades de microvertebrados (se incluyen aquí tanto mamíferos como reptiles y otras aves) que habitan una determinada área. Es así como muchas veces se registran especies difíciles de capturar por métodos tradicionales y son un complemento ideal de la información obtenida mediante otras metodologías.



Bolos de regurgitado o 'egagrópilas' (A y B) de lechuza de campanario (*Tyto alba*) y algunos restos de micromamíferos que hemos hallado: cuis (C), pericote (D), monito pampeano (*Thylamys pallidior*) (E) y comadrejita patagónica (*Lestodelphys halli*) (F). Escala 5cm.

Izquierda. Instalación y programación de cámara trampa. **Derecha.** Elementos de protección personal necesarios para el muestreo de micromamíferos, a fin de evitar enfermedades como hantavirus.

La actividad ganadera en el oeste pampeano se restringe mayormente a la cría de chivas y ovejas y en menor medida a la de vacas. En este caso se puede observar a Estela, una pobladora del monte pampeano, arreando sus chivas por los alrededores de Paso del Algarrobo. Foto E Soibelzon.

como corredor biológico entre el norte y el sur del país, y donde se pueden desarrollar asentamientos humanos permanentes en armonía con la fauna nativa. En este sentido, una grata sorpresa fue el hallazgo de la mencionada comadrejita patagónica, un micromamífero marsupial endémico del país asociado a ambientes subandinos y de estepa patagónica, a la que solo se la había capturado en La Pampa en 1986 y en 2007. A través de nuestros estudios la hemos registrado tanto durante los trampeos para micromamíferos como en egagrópilas producidas por la lechuza de campanario (*Tyto alba*). Estos nuevos registros están ubicados a lo largo de la cuenca del río Chadileuvú, con lo cual consideramos que este micromamífero podría estar utilizando este ambiente como un corredor que le permite desplazarse por ese cauce –de carácter intermitente debido a las causas antes mencionadas–, ya que allí encuentra mayor cobertura vegetal y refugio de sus principales depredadores y una mejor disponibilidad y abundancia de presas. También hemos podido registrar valiosa información sobre el pichiciego (*Chlamyphorus truncatus*), un armadillo nativo que habita zonas áridas del centro de nuestro país y que, debido a sus hábitos estrictamente fosoriales, resulta muy difícil de hallar. A través de entrevistas a pobladoras y pobladores y un particular método, que incluye la obtención de información a través de redes sociales (IG @pichiciego_pampa), hemos podido registrarlo en numerosas localidades del monte pampeano y obtener valiosa información respecto de sus hábitos y comportamientos.

La información generada por nuestros proyectos de investigación, junto a aquella elaborada por otras investigadoras e investigadores, parece indicar que el oeste pampeano sería diferente si se hubieran mantenido los cursos de agua originales, cuyo uso en la vecina provincia de Mendoza provocó desertificación y aridización en los cursos medio e inferior, ubicados en La Pampa. Debido a que la diversidad de mamíferos del monte pampeano que se indica en publicaciones previas es mayor que la registrada durante nuestras tareas de campo (ver tabla), las problemáticas ambientales actuales demandan renovar los estudios (dado que en algunos casos se trata de trabajos realizados hace más de treinta años) y sumar nuevos. No solo sobre las causas, sino también sobre los efectos en la riqueza y abundancia de especies y en las alteraciones socioproductivas generadas por la perturbación hidrográfica natural del río Atuel a lo largo de la cuenca.

Familia	Especies citadas para la provincia según SAyDS-SAREM 2019	Nombre común	Categoría de conservación	Este trabajo
Didelphidae	*Thylamys pallidior*	Monito pampeano	LC	x
	Lestodelphys halli	Comadrejita patagónica	LC*	X
	Didelphis albiventris	Comadreja overa	LC	
Chlamyphoridae	*Chaetophractus villosus*	Peludo	LC	X
	Chaetophractus vellerosus	Piche llorón	LC*	
	Zaedyus pichiy	Pichi/Piche planicero	NT*	X
	Chlamyphorus truncatus	Pichiciego	DD*	X
Canidae	*Lycalopex gymnocercus*	Zorro gris pampeano	LC	X
Felidae	*Puma concolor*	Puma/León	LC*	X
	Leopardus geoffroyi	Gato montés	LC*	X
	Herpailurus yagouaroundi	Yaguarundí	LC**	X
Mustelidae	*Galictis cuja*	Hurón menor/Kike	LC	
Mephitidae	*Conepatus chinga*	Zorrino	LC	
Camelidae	*Lama guanicoe*	Guanaco	LC***	X
Cricetidae	*Akodon azarae*	Ratón de pastizal pampeano	LC	X
	Akodon dolores	Ratón cordobés	LC	X
	Akodon iniscatus	Ratón patagónico	LC	
	Graomys griseoflavus	Pericote	LC	X
	Eligmodontia typus	Laucha colilarga común	LC	X
	Calomys laucha	Laucha de campo	LC	X
	Calomys musculinus	Ratón maicero	LC	X
	Reithrodon auritus	Rata orejuda	LC	
Chinchillidae	*Lagostomus maximus*	Vizcacha	LC*	X
Cavidae	*Galea leucoblephara*	Cuis común	LC	X
	Microcavia australis	Cuis chico	LC	X
	Dolichotis patagonum	Mara	VU*	X
Ctenomyidae	*Ctenomys* sp.	Tuco tuco	LC	X
	Ctenomys azarae	Tuco tuco de Azara	LC	
Echimyidae	*Myocastor coypus*	Coipo/nutria	LC*	
Octodontidae	*Tympanoctomys barrerae*	Rata vizcacha colorada	NT***	X

Mamíferos presentes en el monte pampeano y su categoría de conservación nacional (según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y la Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, en *encma.sarem.org.ar/es/numero-de-especies-y-listados*) y provincial (indicado con asteriscos: * Vulnerable, ** Rara y *** En peligro). DD (datos insuficientes): no existe información adecuada y se requiere más información para hacer una evaluación directa o indirecta de su riesgo de extinción; LC (preocupación menor): especies abundantes y de amplia distribución; NT (casi amenazado): cuando está próxima a satisfacer los criterios para ser incluida en una categoría mayor de conservación; VU (vulnerable): se considera que esa especie se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre. Con letras rojas se destacan aquellas que presentan un mayor riesgo para su conservación.

Los resultados de nuestro estudio indican que estamos a tiempo de revalorizar esta zona del país, habitada por numerosas especies de mamíferos que enfrentan serios problemas de conservación a nivel nacional y provincial, y otros de los que la ciencia aún desconoce muchísimo, como el emblemático pichiciego. Sin dudas, el trabajo conjunto con pobladoras y pobladores podría aportar novedosas estrategias de manejo y así sacar del olvido este vasto sector del país.

Para concluir, queremos destacar que nuestras investigaciones no podrían desarrollarse sin el apoyo de la Dirección de Recursos Naturales de La Pampa por los permisos de trabajo en la zona, la Dirección General de Catastro de La Pampa por los mapas georreferenciados y numerosas familias pampeanas, quienes no solo nos reciben y permiten acceso a sus propiedades, sino que también comparten con nosotros sus conocimientos de toda una vida en el monte pampeano. CH

Agradecimientos

Nuestras investigaciones fueron financiadas por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, el Conicet y la UNLP. Agradecemos a la Dirección de Fauna de La Pampa por otorgar los permisos para realizar las tareas de campo. Y finalmente, un reconocimiento a todos los que anónimamente colaboraron con nuestras investigaciones.

LECTURAS SUGERIDAS

BARBOSA LA, 2017, 'Las intermitencias del río Atuel: una mirada desde la escalaridad del conflicto ambiental', tesis para optar al grado de magíster en estudios sociales agrarios, Buenos Aires, Flacso, accesible en *repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/12893*

POL R, CAMÍN SR y ASTIÉ AA, 2006, 'Ecorregión del monte', en Brown A, Martínez Ortiz U, Acerbi M y Corcuera J (eds.), *La situación ambiental argentina 2005*, Buenos Aires, accesible en *www.vidasilvestre.org.ar/sala_redaccion/?2340/la-situacin-ambiental-argentina-2005*

SOIBELZON E, NEGRETE J, CIAI D y DEPINO E, 2015, 'Redescubriendo el espinal de La Pampa', *Aves Argentinas, Naturaleza y Conservación*, 43: 12-15, accesible en *issuu.com/avesargentinas/docs/revista_aves_argentinas_43_web/14*

Esteban Soibelzon
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Jefe de trabajos prácticos, FCNyM-UNLP.
Investigador adjunto de Conicet.
esoibelzon@fcnym.unlp.edu.ar

Javier Negrete
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Auxiliar docente, FCNyM-UNLP.
Investigador especializado en ciencias naturales del Instituto Antártico Argentino.
negretejavi@gmail.com

Gabriel M Martin
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Profesor adjunto, FCN, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco-sede Esquel.
Investigador independiente de Conicet.
gmartin_ar@yahoo.com

Habib Delfino Ahumada
Estudiante de biología, FCNyM, UNLP.
habibdelfinoa@gmail.com

Raúl Montero
Estudiante de biología, FCNyM, UNLP.
raulmontero123@gmail.com

Dante N Ciai
Estudiante de biología, FCNyM, UNLP.
dante.nahuel@gmail.com

Manuel Isla y Mariano Remírez
Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), UNLP-Conicet

¿Cómo estudiamos y qué sabemos de las playas del pasado?

El aumento en la densidad poblacional dentro de los ambientes costeros de la Argentina y los peligros potenciales asociados con modificaciones en el nivel del mar, producto del cambio climático de escala global, generaron la necesidad de incrementar la comprensión sobre la dinámica de las playas para su manejo sustentable. En ese sentido, estudiar la evolución de playas del pasado resulta de crucial importancia, ya que permite comprender algunos de los fenómenos que ocurren actualmente y además proyectar cambios hacia el futuro. En este artículo buscaremos desentrañar cómo estudiamos los depósitos de playas del pasado (playas fósiles) y qué información nos proveen.

Hacia atrás en el tiempo

El estudio de playas fósiles es inherente a la sedimentología como rama de la geología que estudia las rocas sedimentarias y sus ambientes de acumulación. Para entender estos ambientes del pasado, resulta crucial la comprensión de los procesos físicos y biológicos que actúan sobre las playas actuales, con una periodicidad diaria, mensual o incluso anual. Este tipo de estudios facilita la comprensión de la dinámica de los ambientes costeros actuales y del pasado reciente. A su vez, permiten la generación de modelos predictivos para el manejo sustentable, poniendo de manifiesto uno de los paradigmas vigentes de la geología moderna, 'el presente es la llave

¿DE QUÉ SE TRATA?

El estudio del registro sedimentario para la reconstrucción de ambientes de playas del pasado.

del pasado', lo que, en otros términos, significa que entender las playas actuales nos permite entender las playas pretéritas.

El estudio del registro sedimentario antiguo de este tipo de ambientes implica interpretar fenómenos cuya duración pudo haber involucrado centenas a decenas de miles de años. Abarca un intervalo temporal mucho más amplio que el que puede tener registrado la humanidad, por lo cual implica dar vuelta el paradigma: en este caso necesitamos estudiar y entender los depósitos sedimentarios que dejaron las playas del pasado y que comprenden largos períodos para poder generar modelos evolutivos que registren esas variaciones temporales de gran escala.

El principal desafío que tiene la geología y, en este caso particular, el estudio de los depósitos sedimentarios es intentar reconstruir cosas que ya no existen. Llamamos 'reconstrucciones paleoambientales' a la interpretación que geólogas y geólogos hacemos de la información que nos brindan los depósitos sedimentarios. Para ello, debemos valernos de tres elementos fundamentales: i) una metodología de trabajo rigurosa; ii) datos confiables y suficientes, y iii) una base teórica de conceptos que nos provea herramientas para interpretar nuestros datos. En definitiva, observar, registrar e interpretar.

La metodología de trabajo más utilizada para el estudio del registro sedimentario la constituyen los perfiles sedimentarios. Un perfil sedimentario no es otra cosa que el registro gráfico vertical de los distintos estratos geológicos que se suceden en el tiempo. Esto incluye sus principales atributos, tales como el tamaño de los granos de los sedimentos que luego conforman las rocas, la composición y las estructuras sedimentarias presentes que pueden ser orgánicas o mecánicas. Las estructuras sedimentarias mecánicas son fundamentales para la reconstrucción paleoambiental, ya que evidencian los procesos físicos actuantes durante la acumulación de los sedimentos que con el tiempo se transformarán en roca. Por otro lado, las estructuras sedimentarias orgánicas, producidas por organismos que interactúan con el sedimento depositado, permiten conocer los comportamientos de los distintos tipos de organismos que habitaron en el ambiente.

Los marcos conceptuales: del dato a la interpretación

Las estructuras sedimentarias mecánicas son unos de los rasgos fundamentales de las rocas sedimentarias utilizadas para la interpretación de los ambientes de acumulación. A partir de aspectos geométricos como la escala, simetría y disposición espacial de sus elementos, en conjunto con el tamaño del grano, se puede asociar cada estructura sedimentaria con el tipo de fluido que la originó, su velocidad y profundidad del cuerpo de agua (cuando se trata de ambientes acuáticos), además de otras variables. La reproducción en laboratorios de las condiciones naturales de los flujos y sus depósitos resultantes son de gran valor para interpretar dichas estructuras. Desde esta idea es que es posible construir modelos conceptuales que pueden ser extrapolados a las interpretaciones sobre ambientes costeros del pasado.

Afloramiento de rocas sedimentarias y su perfil sedimentario reconstruido. La escala horizontal del perfil indica, de izquierda a derecha, el tamaño de grano del sedimento de más fino a más grueso. Pelitas: arcilla (Ar) y limo (Lm). Areniscas: muy fina (MF), fina (F), mediana (M) y gruesa (G).

Izquierda. Vista en perfil de *óndulas* preservadas al tope de un estrato de arenisca. **Derecha.** Vista en planta de esta misma estructura sedimentaria en otro afloramiento. La tapa de la lente de aproximadamente 70mm fija la escala.

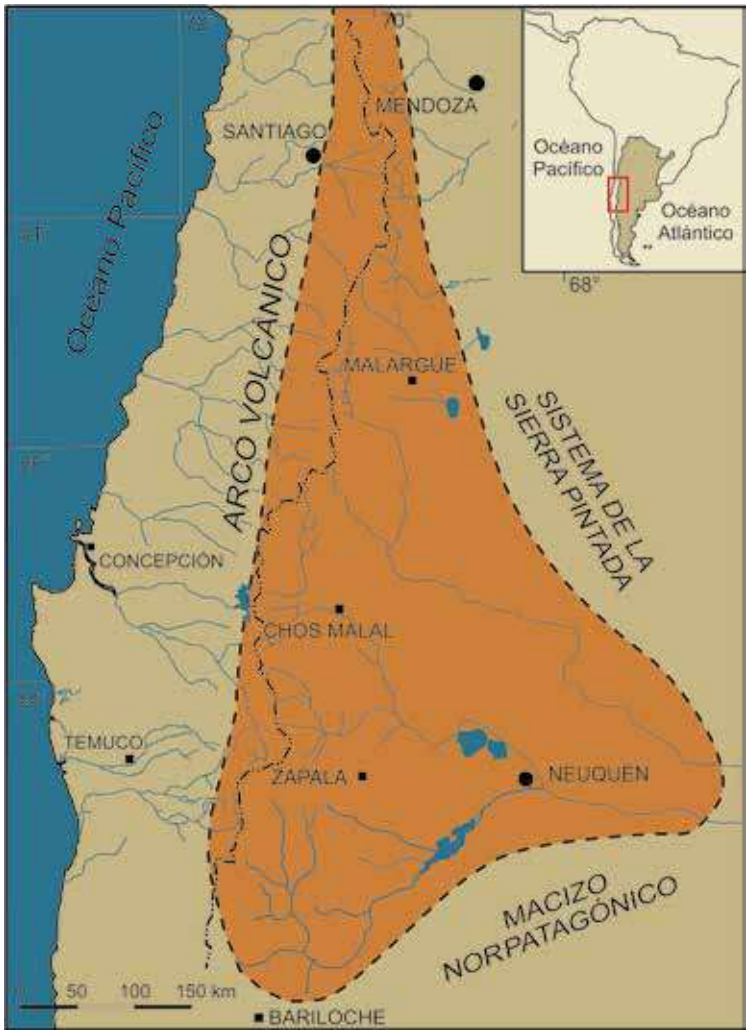
Cuando el presente es la llave del pasado (y viceversa)

El registro sedimentario acumulado en ambientes costeros fue muy estudiado desde el punto de vista de su preservación y la interpretación de los procesos que configuraron su naturaleza, tales como olas, mareas, corrientes y vientos. En general, los mecanismos de cómo operaron estos procesos durante la sedimentación de lo que hoy son ambientes fósiles parten de observaciones realizadas en ambientes de playas actuales. Estos cuatro procesos que dominan la dinámica de transporte de sedimento, y consecuentemente el tipo de ambiente costero generado, son muy utilizados para clasificar los ambientes costeros fósiles a partir del análisis de los actuales. Así, existen ambientes costeros dominados por olas, otros por mareas, algunos por tormentas y otros por ríos. Además, hay un amplio espectro de sistemas en los que existe un dominio mixto de procesos.

Siendo cuidadosos de no entrar en pensamientos circulares, frecuentemente nos valemos de fenómenos que vemos hoy en día en las playas para intentar explicar el registro sedimentario. Sin la observación de cómo actúan las olas y las mareas en las playas actuales hubiera sido imposible elaborar la mayoría de los modelos conceptuales que son fundamentales para el estudio de las sucesiones sedimentarias fósiles. En definitiva, la observación de playas actuales permite entender el proceso físico (como puede ser una ola aproximándose a la costa y la generación de óndulas en el sustrato marino), pero la sedimentología es la encargada de asociar dicho proceso a la preservación de determinadas características de una roca sedimentaria. Por ejemplo, la preservación de estructuras sedimentarias denominadas estratificaciones entrecruzadas como producto de la migración de dichas óndulas durante un período prolongado donde la acción de las olas fue constante.

Playas fósiles en la provincia de Neuquén

Un caso interesante analizado por los autores es el estudio y la reconstrucción de playas fósiles a partir de los depósitos acumulados durante el período Cretácico, hace aproximadamente 140 millones de años, en la provincia de Neuquén. Allí se localizaba una cuenca sedimentaria, es decir un área geográfica capaz de acumular espesores significativos de sedimento y preservarlos por largos períodos de tiempo geológico. La historia evolutiva durante el Cretácico de la cuenca neuquina, emplazada en las actuales provincias de Neuquén y parte de las provincias de Mendoza, La Pampa y Río Negro, se caracterizó por las importantes ingresiones marinas desde el océano Protopacífico sobre el continente. Durante el lapso temporal que va desde el Triásico tardío (~200 millones de años) hasta el Cretácico temprano (~125 millones de años), el nivel global del mar sufrió repetidos procesos de ascensos y descensos. Durante estos ascensos (conocidos como ascensos eustáticos), numerosas regiones del planeta sufrieron inundaciones en zonas comúnmente ocupadas por continentes. Tal es el caso de la cuenca neuquina que limitaba hacia el oeste con una incipiente cordillera de los Andes que aún no tenía la altura que presenta actualmente. Una de estas ingresiones marinas se desarrolló durante el intervalo temporal conocido como Valanginiano tardío (hace alrededor de 140 millones de años) donde se acumularon sedimentos de origen marino agrupados en lo que hoy conocemos como Miembro Pilmatué de la Formación Agrio.



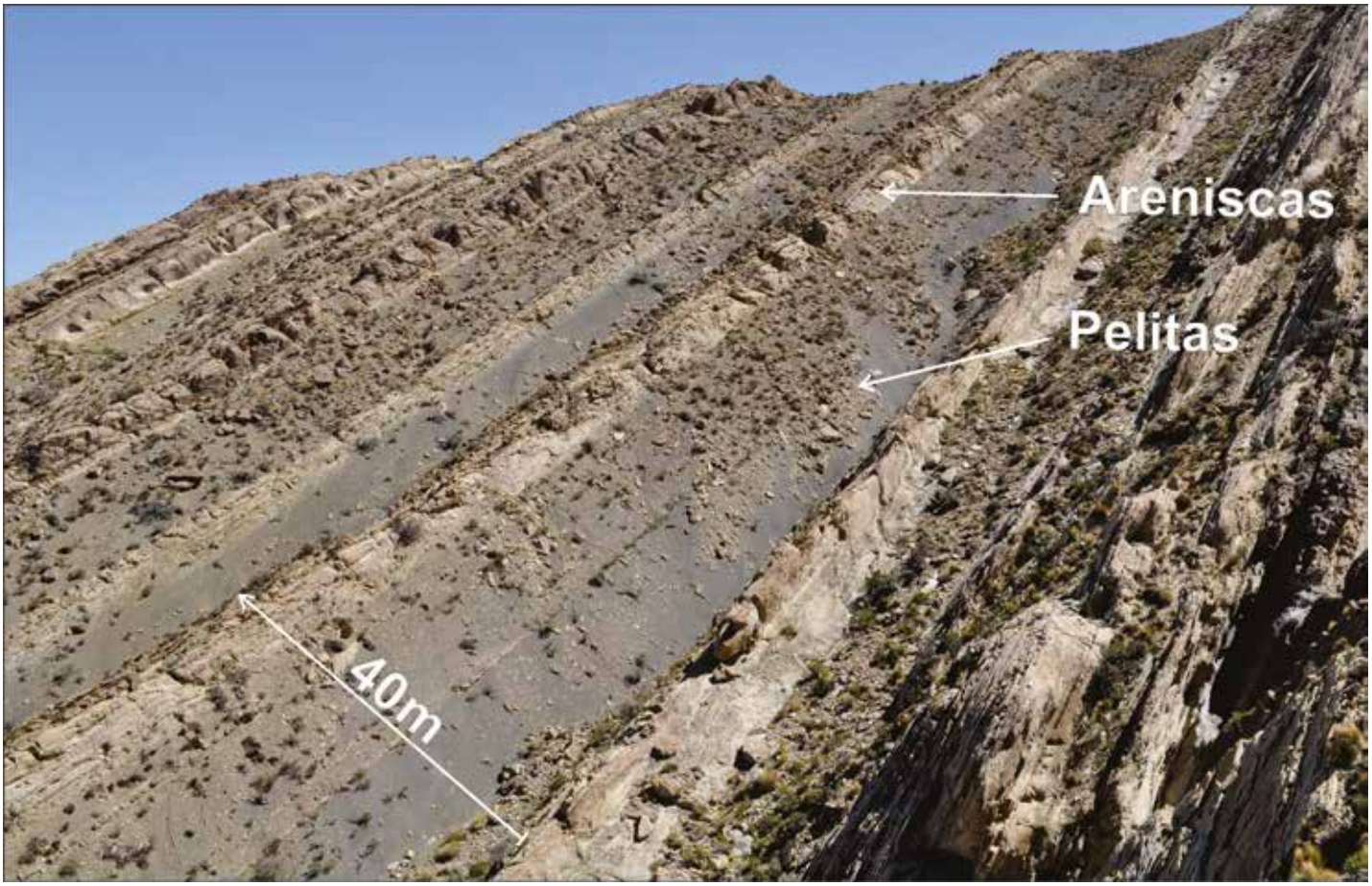
Ubicación de la cuenca neuquina durante el Cretácico emplazada en las actuales provincias de Neuquén, Mendoza, La Pampa y Río Negro.

La ingresión marina del Valanginiano tardío generó que el mar llegara desde el Pacífico hasta la región central de la cuenca neuquina, aproximadamente por donde circula la actual ruta nacional 40 entre las localidades de Zapala y Chos Malal. Allí, el Miembro Pilmatué contiene una serie de rocas sedimentarias que han sido interpretadas como originadas en ambientes costeros, y más específicamente de playa.

El análisis detallado de las distintas litologías, su contenido fósil, sus estructuras sedimentarias mecánicas y orgánicas y las relaciones de cambio vertical permitió interpretar que se trataba de un sistema costero donde las olas y las corrientes ejercían una importante influencia en la dinámica litoral. En sedimentología esto se conoce como una costa dominada por olas y tormentas, lo cual la distingue de aquellas donde las corrientes generadas por mareas o los ríos son las principales influencias en el transporte. Este tipo de sistemas se caracterizan por la preservación de estructuras asociadas con óndulas y dunas. La acción de las olas y las corrientes, al interactuar con el sustrato, construye este tipo de morfologías definidas como formas de lecho. A su vez, se reconocieron formas de lecho monticulares (del inglés *hummocks*), generadas por las olas y corrientes durante períodos de tormenta. Por otro lado, la orientación de las estructuras sedimentarias generadas por dichas formas de lecho permitió interpretar la orientación de la línea de costa (conocida como paleolínea de costa). Las óndulas generadas en los sectores más profundos, donde las olas comienzan levemente a interactuar con el fondo, se orientan con sus crestas paralelas a la línea de costa. Eso llevó a interpretar que la paleolínea de costa se ubicaba aproximadamente en dirección este-oeste al comienzo de la instalación del sistema marino del Valanginiano tardío, aunque habría sufrido fenómenos de rotación debido a la erosión y acumulación de sedimento por parte de las corrientes litorales.

Se realizaron reconstrucciones bi y tridimensionales incorporando elementos morfológicos como son las barras intermareales y submareales (acumulaciones de arena debido a la acción de las olas). La interpretación de este tipo de rasgos se realizó gracias al estudio de la estructura de mediana escala en términos de variabilidad vertical y lateral de los depósitos. El sistema costero reconstruido para el área de estudio demuestra que la fuerte influencia de las olas y corrientes resultaba en un ambiente de barras separadas por depresiones donde la circulación de agua seguía un patrón celular. Las olas eran las encargadas de traer el sedimento a las zonas costeras, el cual era redistribuido longitudinalmente por las corrientes y solo una pequeña porción era exportada hacia el mar por las corrientes de retorno.

Un aspecto interesante a tener en cuenta es el potencial de preservación de los sedimentos. Los depósitos estrictamente equivalentes a las playas actuales (donde pondríamos la sombrilla), así como aquellos resultantes de las dunas litorales (comúnmente conocidos como médanos) no suelen quedar preservados en el registro fósil. Frecuentemente el registro preservado de estos ambientes está limitado solo a la parte subácuea, ya que los depósitos del sector subaéreo son fácilmente retrabajados por diversos agentes de transporte. El sector subácueo corresponde al sustrato de las zonas de aproximación y rompiente de las olas que está permanentemente debajo del agua. A su vez, dentro de la parte subácuea, las barras inter y submareales tienen relativamente bajo potencial de preservación debido a que son relieves positivos sometidos a la constante acción del oleaje. Recientemente se ha demostrado que las tormentas ejercían un control significativo en la preservación de las barras de estas costas. Los incrementos en las velocidades de oscilación de las olas sumados al impacto de los flujos de



Afloramientos de depósitos de playas fósiles del Miembro Pilmatué (provincia de Neuquén). Los depósitos de pelitas se caracterizan por su coloración grisácea oscura mientras que las areniscas tienen coloraciones claras. La vertical del lugar va de abajo hacia arriba.

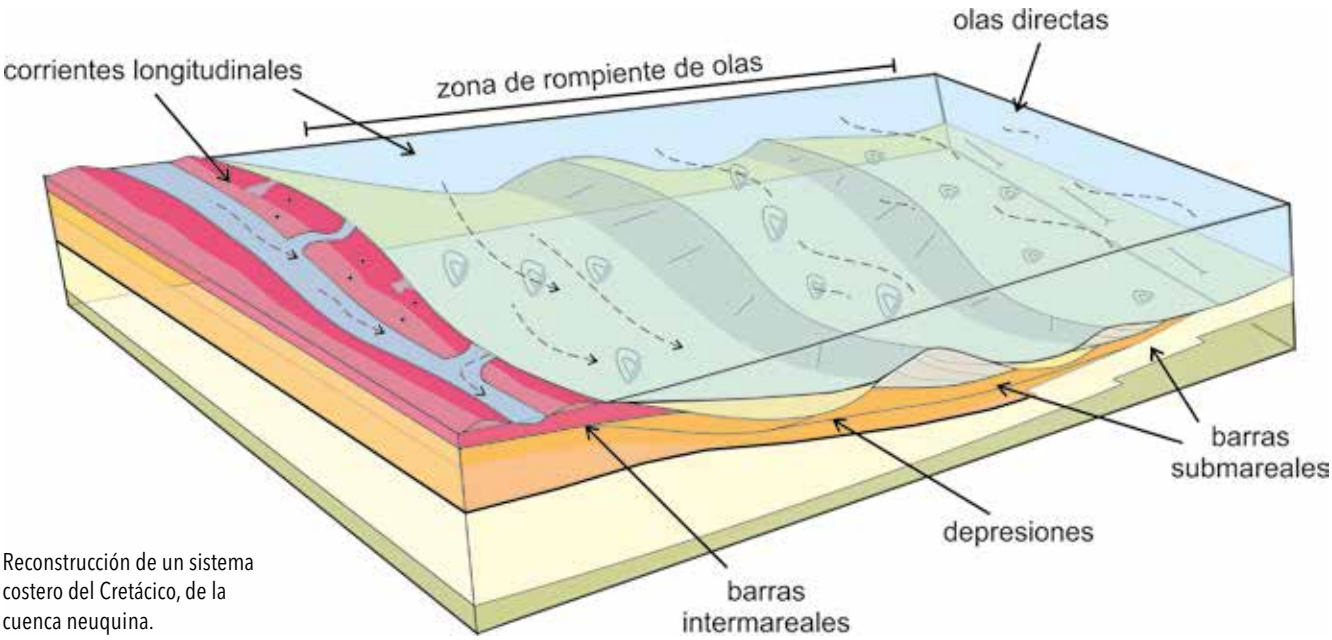
relajación durante las tormentas (corrientes que transportan sedimento hacia el mar en los estadios finales de dichos eventos) erosionaban y removilizaban los sedimentos que conformaban las barras. Paradójicamente, la interpretación de una costa con barras se realiza, en muchos casos, prescindiendo de aquellas e interpretando las particularidades del resto de los elementos que conformaban el sistema. Las dimensiones y la orientación de las dunas preservadas en los depósitos de depresiones son las que indican que se trataba de un ambiente con fuerte influencia de transporte longitudinal generado entre las barras. Dentro de estos sectores canalizados, las dunas migraban paralelas a la línea de costa.

Finalmente, la interpretación de un sistema de barras y depresiones llevó a inferir condiciones hidrodinámicas. Esto se realizó por la comparación con playas actuales con morfologías similares. Los sistemas de barras son típicos de costas arenosas de bajo gradiente. Las olas aproximándose a la playa pierden su energía principalmente por disipación y esto resulta en un perfil suave sin pendientes significativas. Resumiendo, las playas presentes durante el Valanginiano tardío en el centro de la cuenca neuquina se caracterizaron por sistemas marinos someros dominados por olas donde se generaban barras y depresiones producto de la acción de olas y corrientes longitudinales. Este sistema predominantemente arenoso era de bajo gradiente y con una dinámica disipativa de oleaje.

Perspectivas futuras

Si bien se ha avanzado mucho en el conocimiento de los ambientes de playas fósiles, sobre todo gracias a nuevas tecnologías y modelos digitales, aún es mucho lo que falta por comprender en materia de dinámica de los procesos y su reflejo en el registro sedimentario. Además, se ha mejorado mucho la identificación de fenómenos inherentes a cambios en el nivel del mar durante el pasado y su impacto en la evolución de las playas. Todo este análisis de procesos ocurridos en el pasado puede ser utilizado para comprender cuestiones que están pasando hoy en día e incluso predecir aspectos futuros.

La interpretación del registro sedimentario de playas fósiles tiene a su vez importantes implicancias en la industria de los hidrocarburos, ya que los depósitos are-



Reconstrucción de un sistema costero del Cretácico, de la cuenca neuquina.

nosos de este tipo de ambiente, al tener alta porosidad, suelen ser buenos reservorios de fluidos. En ese sentido, su estudio no solo tiene finalidades académicas, sino que también es útil para generar información aplicable a las etapas de exploración y desarrollo en esta industria.

Durante las últimas décadas se han incorporado una gran cantidad de herramientas que facilitan la obtención de información. El advenimiento de técnicas de modelado virtual ofrece un sinfín de oportunidades en cuanto a evaluar la bi y tridimensionalidad de los depósitos que se asemejen cada vez más a lo real. Lo que es indudable es que vamos hacia una necesidad de sinergia permanente entre el estudio de playas fósiles y actuales. Estos dos enfoques que han permanecido desconectados por mucho tiempo se encuentran cada vez más cerca y con diversos elementos de comparación. Aún hoy en día están más vigentes que nunca las ideas de James Hutton (1726-1797) acerca de que el presente es la clave para entender el pasado. Y viceversa, el avance en el conocimiento de los sistemas sedimentarios fósiles está demostrando también que generar aprendizajes sobre el pasado permite entender los sistemas actuales. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ANTHONY EJ, 2008, *Shore Processes and Their Palaeoenvironmental Applications*, vol. 4, Ámsterdam, Elsevier.

CLIFTON HE, 2006, 'A re-examination of facies models for clastic shorelines', en Posamentier HW & Walker RG (eds.), *Facies Models Revisited*, vol. 84, SEPM Special Publication, pp. 293-337.

DAVIDSON-ARNOTT RGD, 2010, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Cambridge University Press.

Manuel Isla
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Becario posdoctoral en el CIG, Conicet-UNLP.
Jefe de trabajos prácticos, UNLP.
misla@cig.museo.unlp.edu.ar

Mariano Remírez
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Becario posdoctoral en el CIG, Conicet-UNLP.
Ayudante de primera, UNLP.
mremirez@cig.museo.unlp.edu.ar

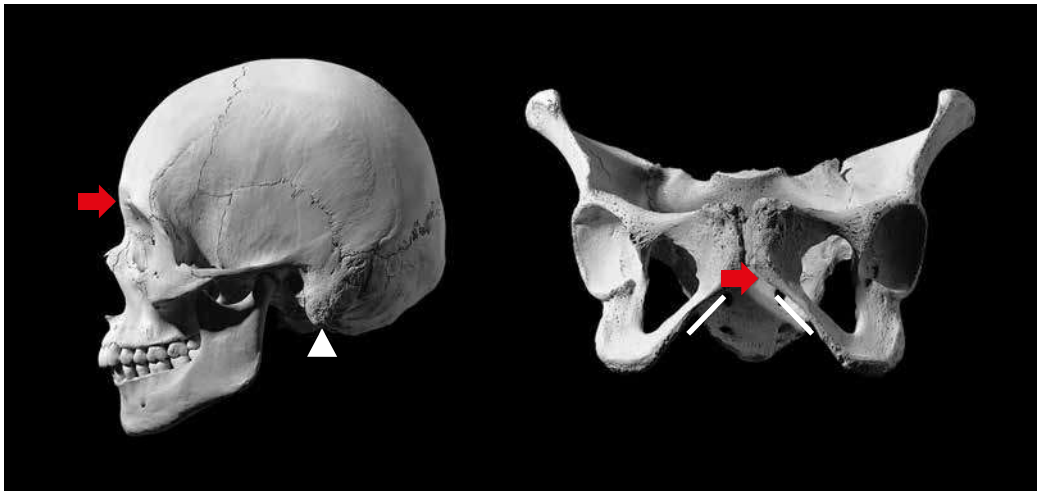
Marcos Plischuk, Bárbara Desántolo y Rocío García Mancuso
LICiF. Facultad de Ciencias Médicas, UNLP-Conicet

Colecciones documentadas de esqueletos: ¿para qué sirven?

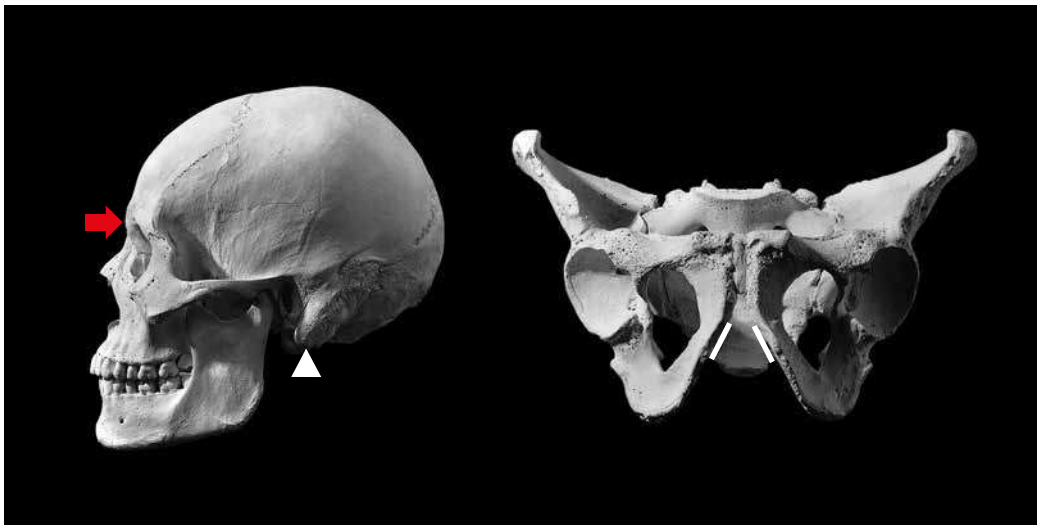
Al momento del hallazgo de un esqueleto, uno de los primeros interrogantes a resolver es su antigüedad. Indicadores como el contexto de inhumación y el material cultural asociado (ropa, objetos personales) permiten establecer si se trata de un sitio arqueológico o por el contrario corresponde a un individuo contemporáneo. En este último caso el hallazgo pasa a formar parte de un caso forense, a partir de lo cual se intentará la identificación de la persona mediante el análisis osteológico. Podría suponerse que el análisis de su ADN brindaría toda la información necesaria para su identificación; sin embargo, este último no se preserva en todos los contextos, e incluso aunque esté disponible para su análisis se necesita otra muestra independiente de ADN, sea de la persona que se busca o de un familiar de ella, para poder compararlo. Por lo tanto, cuando se encuentra un esqueleto humano de manera fortuita o que es buscado por parte de las instituciones de seguridad y justicia, una de las primeras tareas debe ser la caracterización biológica de ese individuo, es decir, estimar la edad a la que falleció, intentar establecer el sexo al que pertenece, su estatura previa al deceso y cualquier otro elemento que nos acerque a su identificación (análisis de documentos y objetos personales, comparación radiográfica, patologías presentes, fecha de muerte, entre otras). Esta tarea supone en principio un método comparativo: si, por ejemplo, el investigador conoce las diferencias entre los esqueletos de un individuo masculino y uno femenino, observará entonces si los rasgos del individuo hallado se condicen con uno o con otro. De la misma manera obrará con respecto a la estimación de la edad de muerte, comparando los rasgos observados con esqueletos de individuos que fallecieron a distintas edades. Ahora bien, ¿cómo se construye ese esqueleto ar-

¿DE QUÉ SE TRATA?

La caracterización biológica de los humanos, indispensable para estudios de antropología forense y arqueología, se sustenta en el estudio y la comparación de las colecciones documentadas de esqueletos humanos.



Cráneo femenino con el arco superciliar (glabela) poco pronunciado (flecha roja) y proceso mastoideo pequeño y grácil (triángulo blanco). Pelvis femenina con el arco ventral presente (flecha roja) y ángulo subpúbico obtuso, más de 90º (líneas blancas). Modificado de White *et al.*, 2012.



Cráneo masculino con el arco superciliar (glabela) pronunciado y prominente (flecha roja) y proceso mastoideo grande, voluminoso y con punta vertical (triángulo blanco). Pelvis masculina con el arco ventral ausente y ángulo subpúbico agudo, menos de 90º (líneas blancas). Modificado de White *et al.*, 2012.

quetípico de hombre o mujer?, ¿de qué manera conocemos las características del esqueleto de individuos de cinco, veinte o sesenta años de edad? Para responder estas preguntas se necesita un conjunto de esqueletos que cumpla con dos requisitos. En primer lugar, se debe conocer de manera fehaciente y documentada el sexo y la edad de muerte. Por otro lado, se requiere un número de esqueletos lo suficientemente grande para que sea representativo de la variabilidad existente y nos permita obtener, dentro de la enorme gradación de posibilidades, aquellas características comunes que definen un rango de edad estimado o el sexo biológico probable.

Es aquí donde las colecciones osteológicas documentadas entran en esta historia contribuyendo a resolver estos y otros problemas en la antropología forense y la arqueología. Dichas colecciones, también denominadas 'identificadas', 'de referencia' u 'osteotecas', son conjuntos de esqueletos que, dada su procedencia, poseen información documental asociada, lo que permite generar métodos para estimar el sexo o la edad de muerte de un individuo de esa población en particular, cuyo esqueleto es hallado en la actualidad.

Del siglo XIX al siglo XXI

En 1830, en Estados Unidos, el médico Samuel Morton (1799-1855), con el objetivo de explicar a sus alumnos la diversidad de cráneos en la especie humana, tomó la decisión de formar una colección que mostrara la diversidad de la humanidad, la que podemos considerar como la primera colección americana moderna de restos esqueletales humanos. Pero es hacia la primera mitad del siglo XX cuando diversos anatomistas de América del Norte (Robert Terry, Mildred Trotter, Carl Hamman, Wingate Todd, John Grant, Alex Hrdlicka y Raymond Dart, entre otros) observaron el potencial de la documentación que en ocasiones acompañaba a los esqueletos de estas colecciones, la cual provenía de las morgues locales, fuente primaria de obtención de dichos restos. Los objetivos que primaban durante este período eran establecer las diferencias entre los esqueletos de ambos sexos, determinar la variación durante la vida del individuo y, por último, estipular diferencias raciales o de ancestría. Cabe destacar que este último aspecto era muy estudiado hacia fines del siglo XIX y principios del XX, e incluso se llegó a proponer la existencia de cinco razas en la especie humana. La idea de conjuntos discretos se utilizaba para comprender el origen y la evolución de la especie humana, así como también para la justificación teórica de supuestas diferencias

intelectuales y morales entre distintas poblaciones, con el consecuente racismo y discriminación hacia algunas de ellas. En la actualidad se entiende que la variación genotípica (determinada por la secuencia de ADN en sus genes) y fenotípica (manifestación observable resultado del genotipo y el ambiente, como el color de ojos o de cabello, o la estatura) es un continuo entre individuos y poblaciones, y el concepto de raza es tomado desde la antropología como erróneo desde un punto de vista biológico y peligroso desde el aspecto social.

La información obtenida mediante el estudio de los esqueletos en el caso de la colección Terry (Washington) y de la Hamman-Todd (Ohio), junto con las posteriores colecciones portuguesas Luís Lopes (Lisboa) y Coimbra (Coimbra) y la británica Christ's Church (Spitalfields), fue tomada como de base para la generación de la mayoría de los métodos de caracterización biológica utilizados por los antropólogos forenses durante los últimos cincuenta años. Para la estimación de la edad de muerte podemos mencionar los métodos que consideran los cambios en la sínfisis púbica, en la carilla auricular de los huesos coxales, en el cierre de las suturas craneanas, y en la unión de las epífisis y diáfisis de los huesos largos, en tanto que los métodos más conocidos para la estimación del sexo están relacionados con la morfología craneana y pélvica.

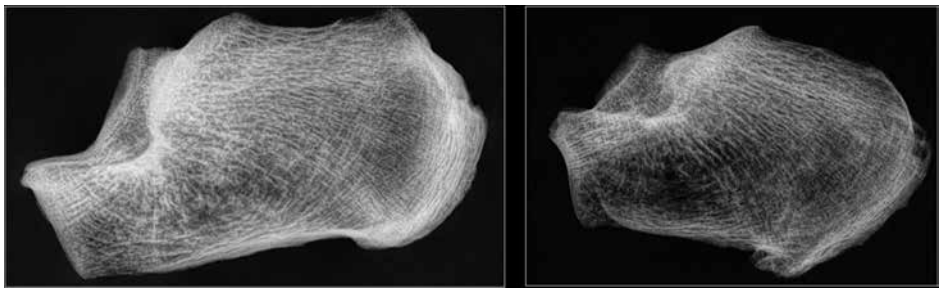
Como ya dijimos, estas colecciones sirvieron de base para la construcción de los métodos estandarizados que posibilitan la caracterización biológica de los individuos. Sin embargo, nos encontramos con otro problema relacionado con la diversidad de las poblaciones humanas. Cabe preguntarse aquí lo siguiente: ¿es igual el esqueleto de una mujer de veinte años de edad que murió en 1908 en Washington, Estados Unidos, que el de una mujer de la misma edad que vive actualmente en la ciudad de La Plata, Argentina? ¿Sí? ¿No? No hay una respuesta taxativa a esa pregunta. Incluso si comprobamos que no son iguales, ¿esas diferencias imposibilitan el uso de los métodos generados a partir de colecciones antiguas como la Terry o la Hamman-Todd? En función de interrogantes como estos es que varios investigadores han remarcado la necesidad de crear colecciones documentadas de carácter regional y generar métodos que, en teoría, deberían tener una mayor precisión al aplicarse en miembros de la misma ancestría. Es así que en los últimos veinte años se generaron colecciones regionales de referencia, con una menor cantidad de esqueletos, pero representativas de diversos países alrededor del mundo (Brasil, Chile, Colombia, Canadá, México, Alemania, Austria, Bélgica, España, Grecia, Hungría, Italia, Rumania, Suiza, China, Corea del Sur, Filipinas, Japón, Tailandia y Sudáfrica). Estas colecciones regionales permiten el testeo de los métodos estandarizados ya utilizados por la comunidad científica y generar nuevos que amplíen las posibilidades de análisis o mejoren los resultados existentes.

En la Argentina, la primera colección con estas características es la denominada Prof. Dr. Rómulo Lambre, alojada en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata. Comenzó a integrarse en 2005 con esqueletos provenientes del cementerio municipal de la misma ciudad, y cuenta en la actualidad con 435 individuos con edades de muerte desde nonatos a 101 años, fallecidos entre 1900 y 2003. Con posterioridad se sumó el Proyecto Chacarita en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con restos provenientes de esa necrópolis y, en los últimos años, han sido creadas otras, como la colección Necochea-Quequén, la colección Lobos y la Osteoteca General San Martín con diferentes grados de desarrollo e investigaciones realizadas con los restos.

¿De dónde provienen los esqueletos?

La procedencia de los esqueletos es diversa, si bien pueden diferenciarse tres tipos principales de colecciones sobre la base del origen de los restos que las componen. En general las más antiguas están formadas por restos de individuos provenientes de morgues y corresponden a cuerpos que no fueron reclamados o que fueron donados por sus familiares o por el propio individuo en vida (colecciones Terry, Hamman-Todd, Bass, Dart, entre otras). En cambio, otras están integradas por esqueletos donados por cementerios al realizar exhumaciones de oficio antes de enviar el material a un osario común o cremación, previo aviso a los familiares de la persona inhumada. Esta es la fuente más común en colecciones modernas de todo el

Anomalías congénitas halladas en la colección Rómulo Lambre. Malformación severa del hueso esfenoides y fusión temprana de sus partes. **Izquierda.** Vista superior. **Derecha.** Vista inferior.



Radiografías de calcáneo derecho de dos esqueletos de la colección Rómulo Lambre. **Izquierda.** Calcáneo de un individuo con densidad ósea normal. **Derecha.** Calcáneo con principio de osteoporosis.

mundo y en particular de las existentes en nuestro país. Un tercer tipo son aquellas integradas por esqueletos exhumados en excavaciones arqueológicas de cementerios históricos, como son las colecciones inglesas St. Bride's y Spitafields. En los tres tipos mencionados se encuentran documentados tanto la edad como el sexo del individuo y, dependiendo de la historia y los objetivos de la colección, podrá estar registrado otro tipo de información complementaria. Si los restos provienen de una institución hospitalaria o morgue, otros datos que pueden obtenerse generalmente son la causa de muerte, la estatura, el estado civil, el lugar de residencia, la ocupación, la nacionalidad o la etnicidad, la situación socioeconómica y el número de partos (en el caso de las mujeres). Si por el contrario los restos fueron enterrados, los datos respectivos en las actas de los cementerios referirán, además, a la fecha de inhumación, posibles traslados, reducción y exhumación. En el caso particular de las colecciones provenientes de excavaciones de cementerios históricos, la información puede ser menos detallada, puesto que esta se obtiene de las placas o lápidas existentes en el lugar de inhumación.

Dado que en la mayoría de las colecciones la información asociada es abundante y de diversa índole, las líneas de investigación generadas son cada vez más profusas y variadas, abarcando no solo problemáticas referidas a la antropología forense sino también a disciplinas como la biología humana, la arqueología, la medicina, la odontología y la entomología, entre otras. Además del testeo de antiguos métodos de estimación de edad y sexo biológico, actualmente se analiza la formulación de nuevas metodologías de aproximación a esos parámetros utilizando, además del cráneo y de la pelvis, otros huesos y los dientes. Asimismo, observando la histología del hueso mediante microscopía óptica se pueden generar nuevos métodos de estimación de edad, así como también atlas específicos para poder distinguir entre huesos humanos y de diversos animales, muy útiles en hallazgos de huesos fragmentados, mezclados o quemados.

Otra línea de investigación que se desarrolló en estas colecciones es la vinculada a la salud de las poblaciones, tanto actuales como pasadas. Epidemias, traumas debidos a violencia interpersonal y patologías relacionadas con el envejecimiento son objeto de estudio a partir de su registro en los restos óseos y su correlato en la información documental. Incluso en muestras con un elevado número de esqueletos de fetos, neonatos e infantiles (colecciones Lambre en la Argentina, Granada en España o Szeged en Hungría) se llevan a cabo análisis de crecimiento y anomalías genéticas de la población de origen. Por último, las investigaciones relacionadas con la evaluación de marcas óseas generadas por una ocupación o actividad laboral determinada, en particular en las zonas de inserción muscular y articulaciones, han permitido obtener resultados muy interesantes, principalmente en el estudio de colecciones históricas en las cuales se encuentra registrada la profesión o actividad asociada a los restos humanos.

Por otra parte, en aquellas colecciones formadas a partir de la donación de cuerpos de hospitales o morgues, la antropometría del individuo no esqueletizado (es decir, aun con tejidos blandos) permite la creación de algoritmos para calcular la estatura a partir de la medición de huesos largos o incluso mejorar la estimación a partir de la sumatoria de todos los elementos del esqueleto que contribuyen a la estatura total. En cambio, en los conjuntos de esqueletos exhumados se realizan análisis de tafonomía evaluando cómo el ambiente interviene en la preservación de los restos de la persona inhumada, así como de entomología mediante el análisis de la fauna cadavérica que permite inferir el intervalo *post mortem* o la época del año del deceso, aspectos útiles en casos forenses para determinar la fecha de muerte o el área geográfica en donde esta se produjo.

Limitaciones

Una de las principales dificultades en la conformación de las colecciones es lograr que sean representativas de la población de origen. Este problema tiene dos aristas principales: la primera es la probabilidad diferencial de muerte en los distintos rangos de edad, denominada 'heterogeneidad oculta'. Este fenómeno está vinculado con una mortalidad poblacional de tipo atricional selectiva, que es la dinámica más común en las poblaciones, en la que fallece una proporción mayor de individuos infantiles y adultos mayores. En cambio, en un perfil de mortalidad catastrófico o no selectivo, todas las edades tienen el mismo riesgo de mortalidad, siendo un ejemplo claro de esto la erupción del volcán Vesubio en Pompeya. El problema de tener una colección de esqueletos con una distribución del primer tipo es que dificulta la generación de estándares métricos y morfológicos para individuos correspondientes a aquellos rangos etarios con una menor tasa de mortalidad (niños, adolescentes y adultos jóvenes). Las colecciones de Terry, Grant, Coimbra y Lambre, entre otras, han dirigido sus esfuerzos para equilibrar las proporciones sexo-etarias dentro de las muestras, lo cual torna más precisa la caracterización de restos óseos no documentados de todas las edades. La segunda variable que afecta la composición de las muestras documentadas es la procedencia y el nivel socioeconómico de los individuos que las integran. Las colecciones más antiguas como la Terry o la Hamman-Todd, por ejemplo, incluyen individuos en situación de calle o pobreza con una alta proporción de afroamericanos, lo que ha generado incluso estudios acerca de la violencia que refleja desigualdades estructurales de la sociedad de origen.

Bioética

Debido a la importancia de los restos esqueletales para la comprensión de la historia de la humanidad, su preservación para la investigación científica se ha convertido en un principio ético. Cada institución que alberga una colección documentada con fines de docencia e investigación debe garantizar que los restos son manejados, cuidados y resguardados de acuerdo con las legislaciones locales y los códigos de ética particulares de las disciplinas intervinientes. En el caso de las colecciones más importantes de nuestro país, su manejo está avalado por comités de bioética de instituciones biomédicas y guiado por las directivas del Código Deontológico para el Estudio, Conservación y Gestión de Restos Humanos de Poblaciones del Pasado, elaborado por investigadores de la Asociación de Antropología Biológica Argentina. CH

LECTURAS SUGERIDAS

GARCÍA MANCUSO R, PLISCHUK M, DESÁNTOLO B, GARIZOAÍN G Y SARDI ML, 2019, 'Ethical considerations in the research with human remains in Argentina', en Squires K, Marquez-Grant N & Erricson D (eds.), *Ethical Challenges in the Analysis Of Human Remains*, Nueva York, Springer, pp. 447-463.

HENDERSON C & ALVES CARDOSO F (eds.), 2018, *Identified Skeletal Collections: The testing ground of anthropology*, Oxford, Archaeopress.

LEVIN L, 2015, 'Cuando la periferia se vuelve centro: la antropología forense en la Argentina, un caso de producción de conocimiento científico socialmente relevante', *Cuadernos de Antropología Social*, 42: 35-54.

PLISCHUK M, GARIZOAIN G, PETRONE S, DESÁNTOLO B, GARCÍA MANCUSO R, SALCEDA S E INDA AM, 2020, 'El aporte de las colecciones osteológicas documentadas: líneas de investigación en la colección Prof. Dr. Rómulo Lambre (La Plata, Argentina)', *Jangwa Pana*, 19 (1): 1-26.

WHITE T, BLACK M & FOLKENS P, 2012, *Human Osteology*, Oxford, Academic Press.

Marcos Plischuk
Doctor en ciencias naturales, FCNyM, UNLP.
Investigador adjunto de Conicet en el Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Forenses (LICIF).
Ayudante diplomado en la cátedra de Citología, Histología y Embriología, FCM, UNLP.
marcosplischuk@yahoo.com.ar

Bárbara Desántolo
Doctora en ciencias médicas, FCM, UNLP.
Directora del Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Forenses (LICIF).
Profesora adjunta en la cátedra Socioantropología, Licenciatura en Nutrición, FCM, UNLP.
bdesantolo@med.unlp.edu.ar

Rocío García Mancuso
Doctora en ciencias naturales, FCNyM, UNLP.
Investigadora asistente de Conicet en el Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Forenses (LICIF).
Ayudante diplomada en la cátedra de Citología, Histología y Embriología, FCM, UNLP.
rgarciamancuso@gmail.com

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Llegó a la provincia de Jujuy un "Espectrómetro de masas con acelerador", único en el país

Es el primero en su tipo en Argentina y funcionará en el Instituto de Datación y Arqueometría, dentro del Centro Tecnológico "General Savio" ubicado en Palpalá.

El Instituto de Datación y Arqueometría (InDyA, CONICET-Jujuy-UNT-UNJu) ya cuenta con un "Espectrómetro de masas con acelerador", proveniente de los Países Bajos, y para lo cual ha obtenido una importante financiación por parte del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT). Está configurado para realizar análisis de 14C, 10Be y 26Al con bajo fondo, lo que permitirá labores muy minuciosas y podrá ser usado en múltiples y diferentes ramas, entre las que se destaca la Arqueología y las Geociencias, pero que incluye también la Oceanografía, Biomedicina, Ciencias de los materiales, etc. Una de sus funciones más conocidas e importantes es la datación por radiocarbono, es por ello que significa tanto para la unidad que lo ha solicitado y la comunidad arqueológica argentina.

El director del InDyA, doctor Julio Kulemeyer, explica que la propuesta es realizar investigaciones y brindar servicios de datación para investigadores/as de Argentina y la región. "En primera instancia se abordarán proyectos con la comunidad Arqueológica Argentina. Tenemos mucha expectativa, ya que el proyecto tiene mucho interés por parte de los equipos de trabajo en Argentina; es una gran inversión en ciencia que simplifica mucho la investigación y la posibilidad de contar con este equipamiento facilita las investigaciones de alto nivel desde Jujuy, lo cual también significa un crecimiento en paralelo de los institutos y unidades de la zona y no menos importante el incremento del personal que se incorpora al InDyA", detalla.

Kulemeyer también destacó la importancia de este equipo y los resultados que comience a producir en materia de soberanía científica, permitiendo aumentar el caudal de fechados radiocarbónicos (cruciales para la sustentación de otros tipos de análisis) y minimizando el costo de los mismos en relación a la disponibilidad actual. En este mismo sentido, el Noroeste Argentino es también uno de los puntos neurálgicos de la arqueología argentina, no solo a nivel de presencia de sitios arqueológicos, sino de institutos e investigadores dedicados a esta disciplina.

De esta manera, el InDyA se consolida como centro de referencia regional en relación a investigaciones transdisciplinarias en arqueología, incluyendo la experimentación, la modelización y las técnicas analíticas de disciplinas relacionadas, así como también, en la formación y capacitación de becarios e investigadores en la arqueología en general y la arqueometría en particular.

La empresa fabricante -"High Voltage Engineering", de Países Bajos- realizó, previo al envío, un primer testeo del equipo, que demostró su buen funcionamiento y está prevista la realización de un segundo testeo de verificación, cuando concluya su instalación en el Laboratorio de Datación del InDyA. Para la puesta en marcha se debe aguardar a que se culminen obras de construcción y, posteriormente, finalizar con el montaje y puesta a punto del equipo, incluyendo la transferencia de conocimientos específicos, a cargo de personal especializado de la empresa fabricante. La fecha de instalación y puesta en funcionamiento se estima para diciembre del 2021.

El InDyA forma parte del CCT CONICET SALTA JUJUY y es un Instituto de cuádruple dependencia entre el CONICET, la Universidad Nacional de Jujuy, el Gobierno de Jujuy y la Universidad Nacional de Tucumán. ■

Foto ilustrativa del espectrómetro que estará instalado y en funcionamiento en InDyA a fines de 2021.

CIENCIAS AGRARIAS, INGENIERÍA Y MATERIALES

Speed breeding: una tecnología que promete aumentar la eficiencia en el cultivo de legumbres

Federico Cazzola, becario doctoral del CONICET, explica un sistema que aumenta la eficiencia y reduce el tiempo y los costos de los programas de mejoramiento.

Por Yasmín Noel Daus

Las legumbres son un componente importante de la dieta humana, proporcionan alimento a los animales y reponen la fertilidad del suelo a través de la fijación biológica de nitrógeno. Sin embargo, la obtención de variedades comerciales es un proceso que requiere mucho tiempo y la mayoría de los programas tradicionales de mejoramiento demoran entre 10 y 15 años en lanzar una variedad de legumbre mejorada. En este contexto, Federico Cazzola, becario doctoral del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario (IICAR, CONICET – UNR) desarrolló una tecnología, como parte de su tesis doctoral, que permite aumentar la eficiencia de los programas de mejoramiento en legumbres a nivel mundial.

"El tiempo en los programas de mejora es un factor clave, por eso acortar los ciclos de la planta permite aumentar la eficiencia de los programas", explica Cazzola. El primer paso del científico fue comparar diferentes tecnologías de generación rápida en variedades comerciales "y luego aplicar las más eficientes en dos poblaciones segregantes con el fin de desarrollar un sistema de crianza rápido, simple y de bajo costo en arveja", agrega.

"Speed breeding está conformado por un sistema hidropónico en cámara de cría, con un fotoperiodo de 22 horas de luz, que es provista a través de tubos fluorescentes, y una temperatura controlada", explica Cazzola. Y agrega: "Además, se utiliza una hormona del grupo de las antigiberelinadas, denominada flurprumidol, con el fin de generar plantas más compactas que permitan precisamente trabajar en una cámara de crecimiento con condiciones controladas".

Por otro lado, el grano que se cosecha en forma anticipada admite, según el investigador, un desarrollo mucho más avanzado de las generaciones de arvejas, o de otro tipo de legumbres, que logra acelerar el proceso de mejora y reducirlo a la mitad. "De esta forma, programas que antes demoraban entre 10 y 15 años pueden alcanzar una variedad mejorada en 6 o 7 años".

Otro de los aspectos valorables en el sistema desarrollado por Cazzola es que reduce indefectiblemente los costos al acortar los ciclos de la planta. Además, puede integrarse con otras tecnologías de mejoramiento y no incluye transgénesis o edición de genes. "Se presenta como una revolución para aumentar la eficiencia de los programas de mejoramiento a nivel mundial", enfatiza el científico.

Para Cazzola, tanto este sistema como las nuevas investigaciones que podrían surgir a partir del mismo, posicionarán al país en un lugar privilegiado y permitirán el desarrollo del mejoramiento y de la producción de legumbres. "Esto será muy beneficioso para la alimentación de la población, la soberanía alimentaria y para aumentar la sustentabilidad de los sistemas productivos argentinos", reflexiona. ■

Legumbres. Imagen: CONICET Fotografía.

CANNABIS MEDICINAL

Desarrollarán el perfil genético de variedades de cannabis medicinal cultivadas en Corrientes

Será a través de un convenio entre el CONICET y la empresa Brest & Brest S.R.L., que fue aprobado por el Ministerio de Salud de la Nación.

Por Cecilia Fernández Castañón

Un equipo científico del Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE, CONICET – UNNE) está trabajando en un proyecto para el estudio de Cannabis con fines medicinales. Las tareas se realizan en el marco de un convenio de Investigación y Desarrollo (I + D) suscripto entre el CONICET y una empresa privada, que fue aprobado por el Ministerio de Salud de la Nación a través de la Resolución 1779/2021, publicada el pasado 23 de junio en el Boletín Oficial.

Se trata del primer proyecto de este tipo para Corrientes, que se suma a otras diez iniciativas similares que se ejecutan en distintas provincias argentinas, encuadradas en la Ley Nº 27350 del año 2017, que establece las bases para la investigación médica y científica del uso medicinal de la planta de Cannabis y sus derivados. Como parte de este convenio, los investigadores del IBONE se ocuparán del desarrollo de protocolos de micropropagación y de perfiles genéticos de la especie Cannabis sativa que se cultivan en la zona.

Las tareas de investigación están a cargo de un equipo que tiene como responsable técnica a la investigadora de la UNNE, María Antonia Marassi y está integrado por el investigador principal del CONICET, Guillermo Seijo; el investigador adjunto del CONICET, Germán Robledo; la investigadora asistente del CONICET, Natalia Dolce y la profesional adjunta de la Carrera de Personal de Apoyo del CONICET, María Laura Pérez. La gestión del convenio estuvo a cargo de la Oficina de Vinculación Tecnológica (OVT) del Centro Científico Tecnológico (CCT) CONICET Nordeste.

El proyecto surgió luego de que directivos de la firma Brest & Brest SRL establecieran contactos con el IBONE, interesados en las capacidades técnicas sobre cultivos in vitro y genética con las que cuenta la institución. “Encarar este proyecto representa un enorme desafío para el equipo, ya que nuestros conocimientos están orientados a otras especies, como arroz o maní en los que tenemos una amplia trayectoria de investigación en la región. Lo que vamos a hacer es adaptar todo ese bagaje a las variedades de Cannabis con las que trabaja la empresa, para que puedan lograr una mayor estabilidad en campo, además de obtener la caracterización genética que va a permitir identificarlas y orien-

tarlas para distintos objetivos", señaló Marassi, responsable técnica del proyecto.

Las tareas en el IBONE estarán a cargo de las áreas de Fisiología Vegetal e Interacción Planta-Microorganismo y de Citogenética y Evolución Vegetal, que trabajarán en sus laboratorios para poner a punto protocolos de micropropagación que permitan una alta tasa de multiplicación y estabilidad, así como el monitoreo de la estabilidad genética de las plantas producidas in vitro. Cabe aclarar que el cultivo de los ejemplares se realizará únicamente en dependencias de la empresa Brest & Brest, en la localidad de Lavalle, siguiendo todos los protocolos establecidos en la legislación vigente y que en las dependencias del IBONE sólo se procesarán muestras de laboratorio.

"Tenemos grandes expectativas porque se trata de un proyecto que tendrá un gran impacto en el futuro, cuando la sociedad pueda acceder a cada una de las variedades específicas para determinados tratamientos", concluyó la investigadora del IBONE. ■

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Incorporan a investigadoras e investigadores del CONICET a la Academia de Ciencias de América Latina

Se trata de Hugo Lujan, Raquel Chan, Sandra Diaz, Oscar Campetella, Maria Isabel Colombo, Luis Mayorga y Damasia Becu.

Anualmente la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL) suma a investigadoras e investigadores de la región. De los dieciséis académicos latinoamericanos que se incorporaron este año, siete son del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET): Hugo Lujan, Raquel Chan, Sandra Diaz, Oscar Campetella, Maria Isabel Colombo, Luis Mayorga y Damasia Becu. Dicha incorporación es por sus logros y contribuciones al conocimiento.

La Academia fue creada para honrar la memoria de Simón Bolívar por un grupo de investigadores científicos de América Latina, entre los cuales estuvo Andrés Stoppani, reconocido investigador del CONICET. Fue en una reunión en la Pontificia Academia de Ciencias en 1982 donde se estableció su sede permanente en Caracas.

Uno de los objetivos fundamentales de la Academia es promover y contribuir al desarrollo de las ciencias matemáticas, físicas, químicas, de la vida y de la tierra y sus aplicaciones en beneficio del desarrollo y de la integración humana, cultural y social de América Latina y el Caribe. Con ese propósito, ACAL desarrolla programas de cooperación que comprenden la divulgación de los eventos científicos regionales, la evaluación permanente del potencial de investigación de América Latina y el Caribe, el intercambio de investigadores, la transferencia de conocimientos y la formación de redes regionales de investigación. Además, fomenta y realiza estudios de política científica y fomenta el interés por la ciencia en los diferentes niveles educativos y entre toda la población.

En la actualidad, cuenta con más de 250 miembros de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Puerto Rico, Uruguay y Venezuela. Dichos académicos son investigadores reconocidos nacional e internacionalmente por sus contribuciones al conocimiento científico. ■

Los dieciséis académicos latinoamericanos incorporados este año a la ACAL, siete son del CONICET. Foto: Gentileza ACAL.

Leila Ron
Servicio de Hidrografía Naval, MinDef

Nancy Correa
Servicio de Hidrografía Naval, MinDef y Facultad de la Armada, UNDEF

Esteban Paolucci
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

Agua de lastre

Legislación y nuevos tratamientos para prevenir la introducción de especies exóticas

Especies exóticas acuáticas y agua de lastre

Gran cantidad de investigaciones han abordado la problemática de las especies exóticas invasoras desde distintas ópticas, incluyendo el estudio de las características más relevantes de estos organismos, su impacto sobre la biodiversidad natural y sobre actividades humanas, el costo económico asociado y las formas de control o erradicación, entre otras. Más allá de algunas controversias generadas por estas investigaciones, existe un consenso general sobre la necesidad de prevenir la introducción de organismos nuevos a los ambientes. Este acuerdo implícito de la comunidad científica ha impulsado la implementación de medidas y regulaciones a distintas escalas, tanto en el tráfico de mercancías (comercio internacional), el comercio y consumo de organismos silvestres (por ejemplo, mascotas) como en el tránsito de personas. Son estos los principales vectores de introducción de nuevas especies en los ecosistemas.

En el ambiente acuático se considera que los buques comerciales son el principal factor de dispersión de organismos exóticos, sea adheridos al casco de la embarca-

¿DE QUÉ SE TRATA?

En virtud de la implementación de medidas estrictas por parte de los Estados y las exigencias de la Organización Marítima Internacional para prevenir la introducción de especies exóticas, la aplicación de nuevas tecnologías y el análisis de riesgo son instrumentos fundamentales para dar cumplimiento a los nuevos estándares.

Detalle de la escotilla de cubierta abierta y tanque de agua de lastre rebalsando (A), y descarga del agua en el medio del océano (B) durante la maniobra de intercambio de agua de lastre en aguas abiertas por método flujo continuo bombeando una cantidad de agua de mar equivalente a tres veces el volumen de los tanques y permitiendo el rebalse de estos con un recambio estimado de más del 90% del agua transportada. Tanque de agua de lastre por dentro (C) y maniobra del buque en el puerto (D).

ción (como bioincrustaciones) o dentro de los tanques de agua de lastre. El agua de lastre tiene por propósito compensar la carga y descarga de mercancías, brindando estabilidad a la embarcación durante la navegación. De esta forma, y de manera inadvertida, los barcos transportan enormes cantidades de organismos pequeños en el agua de sus tanques, que son liberados a miles de kilómetros de distancia de su lugar de origen. El impacto de la actividad naviera sobre los ecosistemas costeros provocó que los Estados, a través de sus entes de control en puerto, adoptaran gradualmente regulaciones y medidas de control –a nivel nacional, regional o internacional– para reducirlo.

En la actualidad, el instrumento jurídico más importante y de mayor alcance global para regular el manejo del agua de lastre y mitigar el transporte de organismos es el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques dictaminado por la Organización Marítima Internacional (OMI) en 2004. El Convenio describe dos etapas –también llamadas estándares o normas– para su implementación. La primera etapa, o Norma D-1, exige un intercambio de agua de lastre en el océano al menos a 200 millas náuticas de la costa y 200 metros de profundidad y, para su control en puerto, se establece un mínimo de 30 partes por millón (ppm) de salinidad. Esta medida evita que la mayoría de los organismos transportados en el agua de lastre sean descargados en el puerto de destino y también somete a los persistentes a un cambio brusco de salinidad (provocando un estrés osmótico), reduciendo drásticamente la cantidad de organismos a descargar en puerto.

Con la entrada en vigor del Convenio en septiembre de 2017 no solo se hizo efectiva la exigencia de la Norma D-1 para todos los países parte, sino que también se puso en marcha un calendario para la implementación

Sistema antiguo de bombeo de agua de lastre en la sala de máquinas (A) y sistema moderno de tratamiento de agua de lastre (B).

de la Norma D-2, que remplazaría a la D-1. La D-2 exige, entre otros procedimientos, un sistema de tratamiento de agua de lastre a bordo de las embarcaciones que debe ser certificado por la OMI, y garantizar un límite máximo en la cantidad de organismos viables al momento de la descarga. La implementación del estándar D-2 fue prevista de forma escalonada debido a que implica profundas modificaciones estructurales –por el agregado de sistemas de tratamiento– y procedimentales –por la instrumentación de medidas tendientes al control de su cumplimiento en puerto–. Por esto la Norma D-2 es de cumplimiento efectivo para todas las embarcaciones con fecha de construcción posterior a la entrada en vigor del convenio (2017) y de acatamiento gradual para todos los barcos construidos con anterioridad y que requieran modificaciones.

Nuevos estándares de calidad y tratamiento de agua de lastre

Así como la Norma D-1 exigía una cantidad no menor a 30ppm de salinidad para probar que se ha efectuado el intercambio de agua de lastre en aguas oceánicas, el estándar D-2 exige menos de diez organismos viables por m^3 de talla ≥ 50 micras (µm) (mayormente zooplancton) y menos de diez organismos viables por ml para organismos entre 50 y 10µm (mayormente fitoplancton) para considerar que el tratamiento aplicado fue eficaz. De esta forma se controla la cantidad de organismos que potencialmente podrían sobrevivir y resultar en especies exóticas introducidas. El estándar también determina límites para tres grupos diferenciados de bacterias: <1 unidad formadora de colonia (ufc)/100ml para *Vibrio cholerae* toxigénico; <250 ufc/100ml para *Escherichia coli* y <100 ufc/100ml para enterococos intestinales. Estos tres últimos parámetros son de importancia sanitaria, su control previene la propagación de organismos patógenos plausibles de generar epidemias, y sus densidades, se observó, son también afectadas por los tratamientos aplicados.

Para alcanzar los nuevos estándares de calidad, durante los últimos años se han desarrollado diferentes sistemas de tratamiento de agua de lastre, aprobados y certificados por la OMI, para ser instalados tanto en las embarcaciones nuevas como en los buques construidos con anterioridad al Convenio. En general estos sistemas combinan tratamientos físicos, como filtros o luz UV, con otros de naturaleza química como la aplicación de cloro, por agregado directo o por electrocloración (electrólisis del agua de mar), tratamientos por ozono o algún otro tipo de biocida.

Muchos autores son críticos con el criterio aplicado para la selección de estos grupos de control (y sus valores máximos permitidos), así como también manifiestan las dificultades técnicas y operativas que implican para los entes de control establecer el acatamiento de esta norma. Contemplando estas críticas, la OMI en su Convenio atribuye a los Estados la posibilidad de adquirir medidas más restrictivas o eficientes para la instrumentación en sus normas internas.

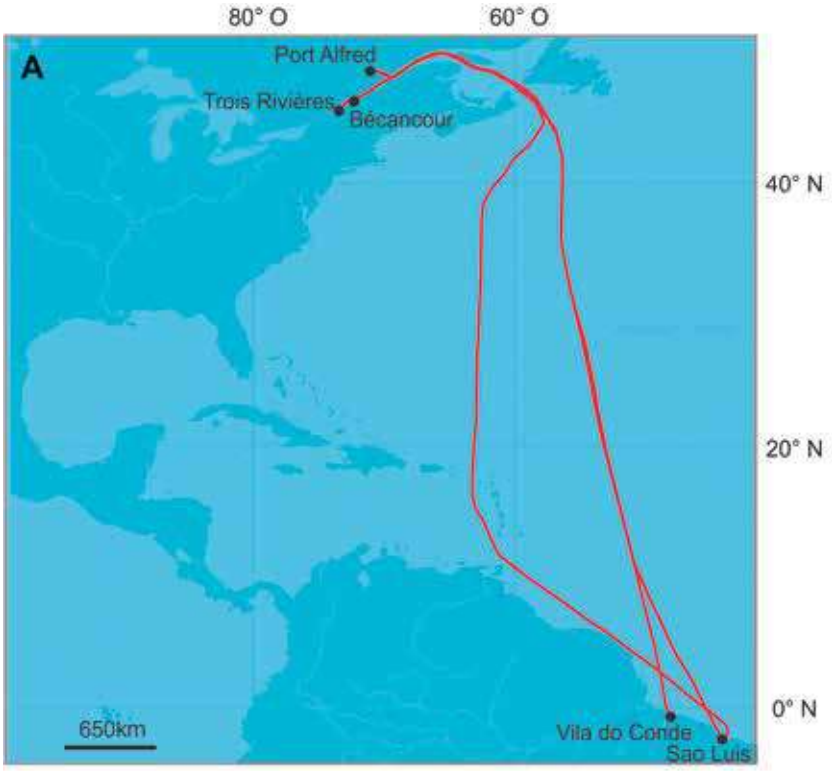
Para su control en puerto, la OMI sugiere a los Estados realizar tres fiscalizaciones de orden administrativo a las embarcaciones: exigir un plan de gestión debidamente aprobado; un libro de registro, donde todas las actividades referentes al tratamiento y la gestión deben estar correctamente asentadas, y la presentación de un certificado internacional de agua de lastre. Ninguna de estas tres verificaciones reviste mayor complejidad y son parte del control ordinario de los procedimientos en puerto, sin embargo, su cumplimiento no garantiza de manera inequívo-

ca que se cumplan los limites numéricos de descarga de organismos estipulados en la Norma D-2. Es por esto que se prevé aplicar un muestreo en aquellas embarcaciones que incumplan con alguno de los requisitos anteriores, o aun cumpliéndolos se presuma un posible riesgo, a fin de controlar que no excedan los límites en las cantidades de organismos descriptas. Muchos países eligen, en su normativa interna, llevar a cabo análisis de riesgo sobre las embarcaciones antes de que arriben a sus puertos. Este análisis permite determinar en qué embarcaciones es más efectivo realizar el muestreo y análisis completo del agua de lastre, optimizando así el tiempo y los recursos.

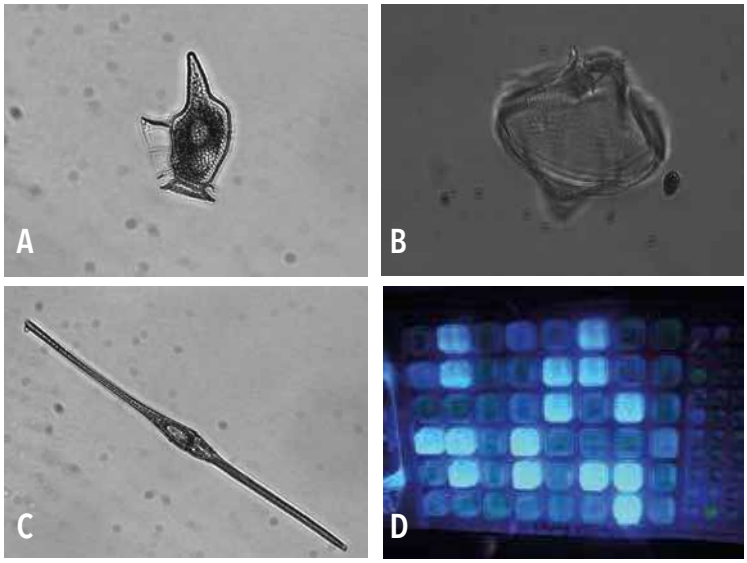
Combinando las normas D-1 y D-2

Una alternativa propuesta por distintos grupos de investigación es la combinación de ambas normas (en lugar de reemplazar una por otra), es decir, sumar a la técnica de intercambio de agua de lastre ya implementada desde 2004 (Norma D-1) el uso de sistemas de tratamiento aprobados por la OMI (Norma D-2). Esta combinación (tratamiento híbrido) potenciaría la capacidad de control de especies transportadas. Dado que el procedimiento de intercambio de agua es una rutina ya incluida en las tareas normales a bordo de las embarcaciones y que los nuevos tratamientos de agua de lastre cuentan con dispositivos de tecnología avanzada y alto grado de automatismo, no representaría un incremento sustancial de las tareas.

Para poner a prueba esta idea, los coautores de este artículo en conjunto con investigadores del Great Lakes Institute for Environmental Research de la Universidad de Windsor, Canadá, llevaron a cabo un experimento a escala real a bordo del buque de carga *Federal Venture* de la empresa FedNav. Los experimentos se realizaron durante cinco viajes comerciales, entre 2012 y 2013, respetando las condiciones normales de trabajo de la tripulación, a fin de que los resultados fueran lo más próximos posible a la realidad. Se midió el efecto de los tratamientos de intercambio de agua (Norma D-1), de agregado de cloro (hipoclorito de sodio a 10 y 20ppm, Norma D-2) y a la combinación de ambos (tratamiento híbrido) sobre las densidades de organismos establecidas por la Norma D-2, en los diez tanques de agua de lastre, de entre 1100 y 1200 toneladas de capacidad. La comparación de estos tratamientos contra tanques control permitió evaluar el grado de cumplimiento de las normas D-1 y D-2 según dichos tratamientos. Tanto el agregado de cloro como el tratamiento híbrido cumplieron los límites propuestos por la OMI para la Norma D-2, pero los mejores resultados fueron observados con el tratamiento híbrido. Incluso en los indicadores bacterianos para enterococos intestinales y *Escherichia coli* se observaron densidades aún menores de las esperadas por la suma de ambos tratamientos aplicados por separado (efecto sinérgico). Esta sinergia podría deberse a una mortalidad mayor cuando se aplica cloro u otro desinfectante sobre organismos previamente sometidos a cambios de salinidad bruscos (estrés osmótico).



Mapa del recorrido del *Federal Venture* durante los experimentos y vista general de la embarcación.



Microorganismos registrados en el agua de lastre, dinoflagelados (A y B) y diatomeas (C). Detección de bacterias mediante kits comerciales sensibles a *Escherichia coli* (D) donde se mezcla la muestra con un químico reactivo, se incuba y se cuentan luego bajo luz UV las celdas fluorescentes, consideradas como resultados positivos a la presencia de bacterias.

Presión de colonización y un enfoque específico

Dos conceptos fundamentales en el estudio de las invasiones biológicas son la presión de propágulo y la presión de colonización. La primera nos dice cuántos ejemplares de una determinada especie, grupo o taxón son introducidos en un determinando evento de introducción. El aumento en el número de ejemplares implica una probabilidad mayor de que algunos de ellos sobrevivan al transporte, a la liberación y eventualmente a las condiciones bióticas y abióticas en el nuevo medio. Las normas D-1 y D-2 buscan disminuir el riesgo de introducción disminuyendo la presión de propágulo al bajar la abundancia total de los organismos transportados. El segundo concepto, la presión de colonización, se basa en la riqueza o diversidad, o sea, cuántas especies son introducidas en un mismo evento de introducción. En general se considera que existe una relación positiva entre el número de especies introducidas y la posibilidad de introducir exitosamente alguna de ellas. Entonces, ambos conceptos son particularmente importantes en el caso del agua de lastre donde, al transportar enormes cantidades de agua de un puerto a otro, se trasladarían comunidades completas con cientos de especies en un mismo evento.

La Norma D-2 no contempla los efectos de los tratamientos de agua de lastre sobre la presión de colonización, pues no considera la diversidad de organismos sino solo su abundancia. Tampoco considera, dentro de las dos fracciones de plancton a controlar, límites a especies o grupos problemáticos más específicos, lo que constituye otra de las críticas frecuentes al Convenio. Frente a esto es interesante destacar que, aun cuando un barco descargue aguas con densidades medias menores que el límite permitido por la OMI y por lo tanto cumpla con el estándar, puede representar un riesgo elevado si los organismos descargados pertenecen a grupos potencialmente dañinos, por ejemplo dinoflagelados, frecuentemente responsables de generar mareas rojas. En el contexto del experimento descripto se analizó más detalladamente la fracción menor del plancton (10-50µm), se identificaron las especies y se observó que, aplicando un solo tratamiento (intercambio de agua o cloro), aunque disminuya la abundancia general (presión de propágulo), difícilmente disminuya la diversidad (presión de colonización), mientras que el tratamiento híbrido disminuyó ambos parámetros. Más importante aún es que la disminución de la abundancia es diferente entre los distintos grupos taxonómicos. Aquellas especies con estructuras de resistencia –como quistes y esporas– estuvieron presentes, aunque en menores densidades, aun en los tratamientos más eficientes. Justamente, los dinoflagelados y las diatomeas, que fueron dos de los grupos más resistentes a los tratamientos, suelen incluir distintos casos de invasores problemáticos. Estos resultados destacan la importancia de realizar análisis detallados, identificando las especies potencialmente peligrosas, y justificarían la introducción de valores límites para alguna especie o grupo en particular. Como ya se dijo anteriormente, la OMI atribuye a los Estados la potestad de abordar estas medidas en sus regímenes internos.

Nuevas tecnologías para una mejor fiscalización

La necesidad de cuantificar la abundancia total de organismos, así como de incorporar la identificación de especies en las muestras de agua de lastre, está impulsando el desarrollo de técnicas moleculares factibles de ser aplicadas rápidamente durante la estadía de las embarcaciones en puerto. Esto está potenciado con el desarrollo de nuevas técnicas de secuenciación masiva que pueden detectar mediante marcadores moleculares muchas especies simultáneamente en una misma muestra. Si bien estas técnicas están aún en proceso de desarrollo y experimentación, prometen ser de gran ayuda en el campo de estudio del agua de lastre. En una primera aproximación, las muestras de zooplancton obtenidas durante el experimento descripto fueron analizadas usando técnicas de secuenciación masiva de próxima generación (*next-generation sequencing*). Los resultados mostraron una disminución de la diversidad de especies solo por efecto del confinamien-

to en los tanques de lastre. Sin embargo, en un estudio más detallado realizado sobre esas mismas muestras con técnicas de *metabarcoding* (técnica que analiza el conjunto de ADN extraído a todos los organismos de una misma muestra) se observó que, si bien la abundancia (presión de propágulo) disminuía para algunos grupos, la presión de colonización (diversidad de especies) no disminuía ni en los tanques de control ni en los que se agregó cloro. Estos resultados en conjunto reafirman lo observado en la fracción menor del plancton y enfatizan la necesidad de aplicar múltiples métodos y tratamientos, destacando el uso de herramientas moleculares para lograr comprender procesos que no pudieran ser analizados con técnicas tradicionales.

Problemas en la práctica y recomendaciones

Si bien el Convenio Internacional de Agua de Lastre obtuvo gran adhesión (82 Estados firmantes, equivalente al 80,94% del tonelaje mundial transportado) y una muy buena aceptación aun por aquellos países no firmantes, la instrumentación para su control representa un conflicto. Por esto es prudente incrementar los esfuerzos de control en particular para las embarcaciones con mayor riesgo fundado. Sin embargo, la OMI establece que este control no debe generar demoras innecesarias que entorpezcan la operatoria en puerto, lo cual implica la necesidad de disponer de las pruebas de ese riesgo previamente a la llegada de la embarcación. Por lo tanto, los entes de control deben elaborar una evaluación de riesgo que minimice la cantidad de embarcaciones para someter a su análisis, seleccionando solo aquellas que revistan mayor riesgo. Las nuevas tecnologías aplicadas en la identificación de especies sumadas a las evaluaciones de riesgo de acuerdo con el lugar de origen facilitarían la labor de control en puerto. La OMI deja en manos de los Estados la elaboración de estas evaluaciones de riesgo, que son de cumplimiento voluntario y representan un instrumento más dentro de sus directrices para las mejores prácticas.

Otro problema a considerar es la variedad de estrategias adoptadas por los diferentes países, que dificulta la administración de cuerpos de agua geográfica y físicamente compartidos pero divididos geopolíticamente. Por ejemplo, nuestro país comparte frentes marítimos con Chile y con Uruguay, dos países no firmantes que acatan como norma interna el intercambio de agua de lastre, pero no el uso de tratamientos de agua de lastre. De poco serviría para un Estado, por ejemplo, aplicar una estrategia enfocada en los riesgos locales, significativamente más eficiente y restrictiva, como la utilización de tecnologías más avanzadas y el tratamiento o las técnicas de detección más sensibles, si otro Estado limítrofe no cumple con una norma equivalente a nivel regional. Por esto resulta necesario construir estrategias regionales para el control de descargas de agua de lastre y una política más conservadora respecto de la introducción de especies exóticas, para así lograr una mejor gestión y control de esta problemática. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CORREA N y ALMADA P, 2013, 'Agua de lastre y especies exóticas', Ciencia Hoy, 22 (131): 59-63.

LIN Y *et al.*, 2019, 'Can chlorination of ballast water reduce biological invasions?', *Journal of Applied Ecology*, 57: 331-343.

PAOLUCCI EM *et al.*, 2015, 'Hybrid system increases efficiency of ballast water treatment', *Journal of Applied Ecology*, 52: 348-357.

PAOLUCCI EM, RON L & MACISAAC H, 2017, 'Combining ballast water treatment and ballast water exchange: Reducing colonization pressure and propagule pressure of phytoplankton organisms', *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 20: 369-377.

Leila Ron
Especialista en gestión de la protección del ambiente acuático. Instituto Universitario de Seguridad Marítima, Prefectura Naval Argentina.
Investigadora RPIDFA.
Profesora en la Escuela de Cadetes Juan Ángel Pirker de la Policía Federal Argentina.
leylaron@gmail.com

Nancy Correa
Bióloga, FCEyN, UBA.
Investigadora RPIDFA.
Servicio de Hidrografía Naval, MinDef.
Secretaria de Investigación, Escuela de Ciencias del Mar.
Docente de la Escuela de Ciencias del Mar y de la Escuela de Guerra Naval.
ncorrea59@gmail.com

Esteban Marcelo Paolucci
Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Investigador adjunto, Conicet.
estebanmpaolucci@gmail.com

Mariana Costa y Micaela Cerletti
Instituto de Investigaciones Biológicas, Conicet-UNMdP

Halófilos: la vida en la sal

Una pizca de historia

Hasta hace poco más de un siglo se pensaba que era imposible encontrar organismos que vivieran en ambientes donde predominan condiciones extremas, entendiéndose por tales aquellas que son muy diferentes a las que permiten el desarrollo de la mayoría de las formas de vida en el planeta Tierra. Algunos ejemplos de estas condiciones son temperaturas superiores a 80°C o menores a -12°C, presiones aplastantes, oscuridad total, ambientes muy ácidos o alcalinos y concentraciones saturantes de sales. Sin embargo, los avances de las técnicas de exploración en estos nichos tan extremos permitieron encontrar una diversidad de organismos que viven en ellos. Los extremófilos (amantes de condiciones extremas) pueden ser microorganismos, plantas o animales, aunque la mayoría son organismos procariotas unicelulares (arqueas y bacterias). Su pequeño tamaño y su metabolismo variado y adaptable les ha permitido colonizar ambientes que resultarían letales para organismos más complejos.

Una de las primeras historias de exploración de estos ambientes fue protagonizada por el microbiólogo israelí Benjamin Elazari Volcani (1915-1999). En 1936, durante una excursión al mar Muerto (situado entre Israel, Palestina y Jordania), llamado así debido a que en sus aguas, casi diez veces más saladas que las de los océanos, se pensaba que no podía proliferar ningún ser vivo, Volcani reveló que ese mar no estaba realmente 'tan muerto'. Si bien los organismos macroscópicos, como los peces o las plantas, no podían vivir allí, sí existían microorganismos que se habían adaptado a estas condiciones extremas. La vida de estos organismos se comenzó a conocer gracias a los estudios de Volcani y de otros microbiólogos como Helena Petter, Trijntje Hof o Lourens Baas Becking. Este último visitó muchos lagos salados y propuso: 'Todo está en todas partes, pero el ambiente selecciona'. Es sobre esta hipótesis que se fueron estableciendo las bases sobre los ahora llamados organismos halófilos.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los halófilos, organismos diversos que habitan en ambientes salinos extremos, sus adaptaciones y su importancia en la investigación y en procesos biotecnológicos.

Halófilos: un mar de posibilidades

El mundo de los organismos halófilos es muy diverso, con representantes en los tres dominios en los que se divide la vida: Archaea, Bacteria y Eucarya. Es importante destacar que los organismos halófilos necesitan la sal para vivir, a diferencia de los organismos halotolerantes que soportan ciertas concentraciones de sal pero no la requieren para su desarrollo. Según su dependencia de la concentración de sal (principalmente cloruro de sodio, NaCl), los halófilos se clasifican en halófilos leves (2-5% NaCl), moderados (5-20% NaCl) o extremos (20-30% NaCl). Téngase en cuenta que el agua de mar contiene 3,5% de sal.

La mayoría de los halófilos son microorganismos y presentan una amplia diversidad metabólica. Se incluyen bacterias y microalgas fotosintéticas, que usan la energía solar para la síntesis de compuestos orgánicos; arqueas y bacterias heterótrofas, las cuales se nutren de otros organismos para obtener la materia orgánica, y organismos litótrofos, que utilizan compuestos inorgánicos como fuente de energía. Algunas pocas especies de hongos también pueden encontrarse en ambientes salinos, siendo una de ellas *Wallemia ichthyophaga*, un halófilo extremo que requiere al menos 9% de NaCl para vivir. Los eucariotas multicelulares son mucho menos diversos e incluyen las llamadas plantas de sal o halófitas, las cuales habitan en ambientes con agua salada como pantanos, playas, manglares y marismas. Además, se pueden destacar las moscas de salmuera y el crustáceo *Artemia salina*, más conocido como mono de mar o *seamonkey*. Estos pequeños organismos miden apenas 15mm de largo y se alimentan de algas que filtran del agua. Una particularidad muy llamativa es su increíble capacidad para resistir condiciones que matarían a prácticamente cualquier ser vivo, como desecamiento, temperaturas de más de 100°C o cercanas a cero absoluto (-273°C), presiones aplastantes encontradas a 6000 metros de profundidad, el vacío del espacio y concentraciones de sal de hasta 50% NaCl (figura 1).

Si bien en los ambientes de mayor salinidad (20-30% de NaCl) pueden encontrarse varias especies de bacterias, microalgas y crustáceos de salmuera, la mayoría de los halófilos extremos pertenecen al dominio Archaea. Las ar-

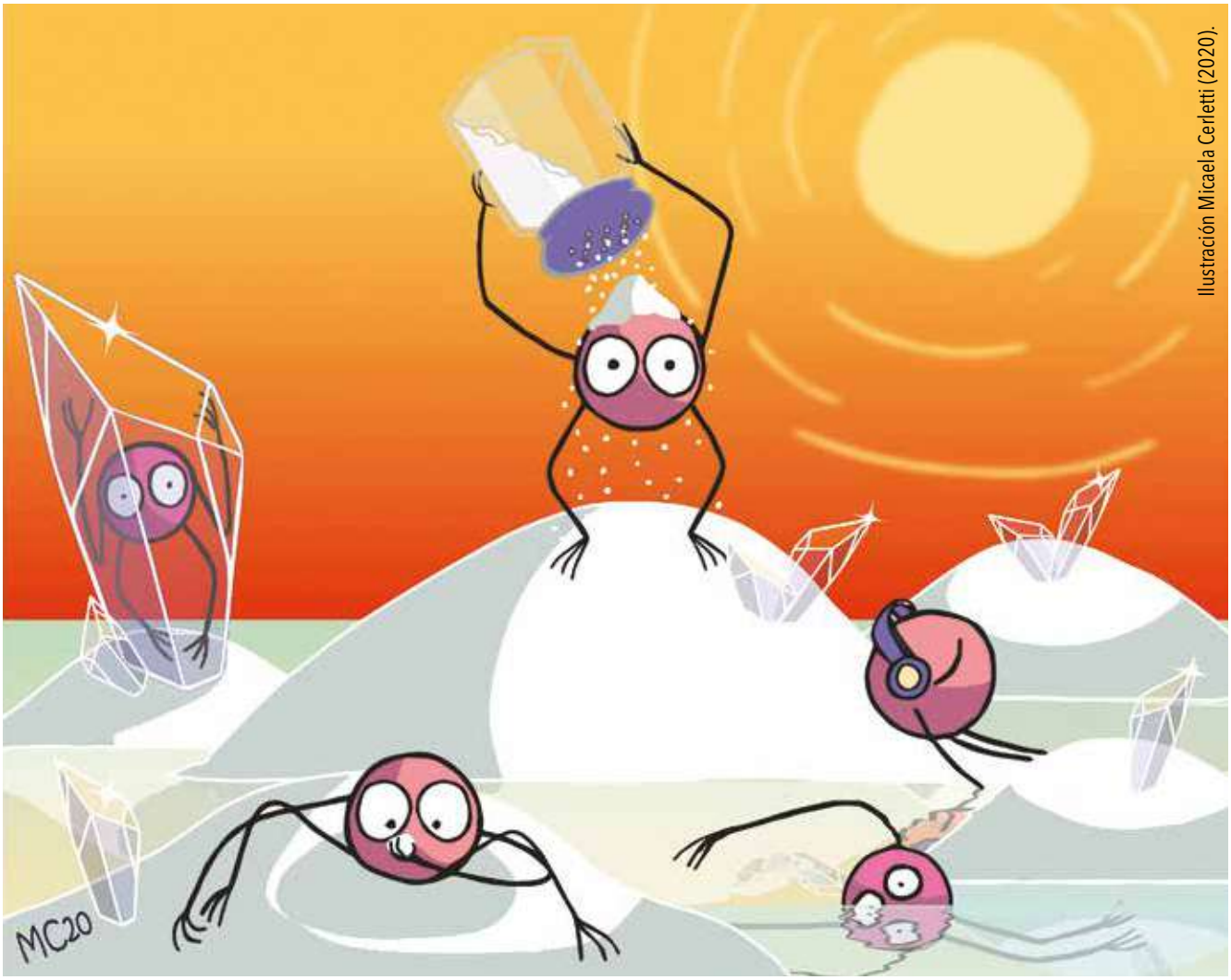
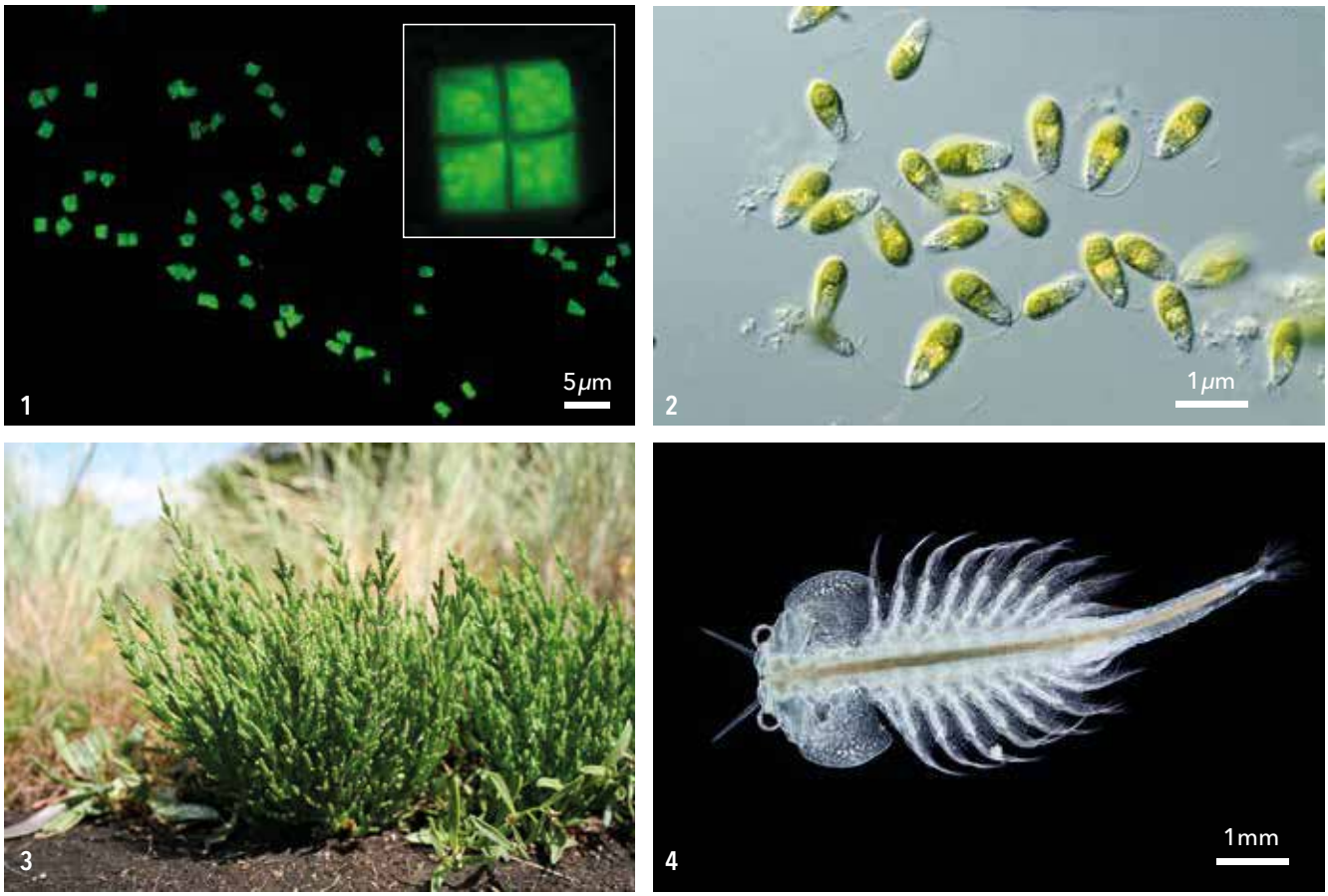


Ilustración Micaela Cerletti (2020).



Imágenes de organismos halófilos. 1) Haloarquea *Haloquadratum walsby*, 2) microalga verde *Dunaliella salina*, 3) planta halófila *Salicornia europea*, 4) crustáceo *Artemia salina*.

queas son microorganismos procariotas con similitudes a las bacterias (unicelulares, sin organelas ni membrana nuclear, cromosoma circular, poseen una envoltura celular) y a las células eucariotas (mecanismos de replicación del ADN, transcripción y traducción). En contraste, las arqueas difieren de los otros dominios especialmente por su membrana celular constituida por lípidos diferentes de los fosfolípidos clásicos. Su particular composición química confiere a las membranas arqueanas una mayor estabilidad a la temperatura y pH extremos, hecho que justifica la notable capacidad de las arqueas para desarrollarse óptimamente en ambientes muy hostiles.

Las arqueas que habitan en ambientes hipersalinos se denominan arqueas halófilas o haloarqueas. Estos microbios están tan adaptados a vivir en condiciones salinas que pueden sobrevivir en forma latente atrapados dentro de un cristal de sal durante millones de años y continuar su desarrollo cuando las condiciones se tornan favorables.

Además del mar Muerto, las haloarqueas y otro halófilos pueden encontrase en lagos hipersalinos y en salinas alrededor del mundo como el lago Magadi en Kenya, el Masazir en Azerbaiján, el Hillier en Australia y las lagunas Negra y Utracán en la Argentina. En algunos ecosistemas estos organismos amantes de la sal son muy abundantes y su presencia puede reconocerse sin necesidad de un microscopio. Esto se debe a que algunos organismos halófilos poseen una coloración rosado-rojiza brillante producto de los pigmentos carotenoides de sus membranas, los cuales poseen propiedades antioxidantes y protegen a las células de la intensa irradiación solar que existe en estos ambientes. La presencia de millones de estos organismos provoca que los cuerpos de agua tornen al color rojizo característico.

Ejemplos de microorganismos extremadamente halófilos ampliamente distribuidos en los hábitats hipersalinos incluyen especies de haloarqueas como *Halobacterium salinarum y Haloferax volcanii*, cianobacterias como *Aphanothece halophytica*, bacterias como *Salinibacter ruber* y *Halomonas elongata* y la microalga verde *Dunaliella salina*.

¿Cómo se adaptaron a vivir en la sal?

Los halófilos han resuelto el problema de cómo lidiar con el estrés salino de diferentes maneras. El principal desafío que enfrentan los organismos halófilos por vivir en

altas concentraciones de sal es la fuerte presión osmótica que el ambiente ejerce sobre las células. Estas están rodeadas por una membrana semipermeable que las separa de su entorno y que funciona como una barrera que permite regular el intercambio de sustancias con el medio externo. Cuando la concentración de sustancias, conocidas como solutos, difiere en ambos compartimentos, las moléculas de agua difunden libremente a través de la membrana celular hacia el compartimento de mayor concentración de solutos por el proceso denominado ósmosis.

Al aumentar la salinidad del medio, los organismos no halófilos se deshidratan y mueren debido a la gran pérdida de agua generada por la presión osmótica del ambiente. Sin embargo, en los organismos halófilos esto no ocurre, gracias a diversas adaptaciones morfológicas y/o fisiológicas que han desarrollado a lo largo de su evolución en el planeta. Una gran variedad de halófilos sintetizan y acumulan solutos compatibles, también llamados osmoprotectores, en el interior de la célula. Los solutos compatibles son compuestos orgánicos pequeños tales como aminoácidos y polialcoholes (por ejemplo, glicina, ectoína, glicerol) que no interfieren con el metabolismo celular y les permiten lograr un equilibrio osmótico con el medio que las rodea. Otro mecanismo es la acumulación intracelular de sales, generalmente cloruro de potasio (KCl) en concentraciones equivalentes al NaCl del medio exterior. Esto se logra bombeando grandes cantidades de iones K^+ al citoplasma. Esta estrategia es usada por los halófilos más extremos, como las haloarqueas y algunas bacterias. Para lidiar con los altos niveles de sal en el interior de la célula, como en este caso con el cloruro de potasio, las proteínas tienen mayor acidez y así evitan sucesos que afectan su funcionamiento como la desnaturalización, agregación y precipitación, que generalmente se producen en proteínas no halófilas expuestas a altas concentraciones de sal.

En organismos más complejos como las plantas halófilas se presentan otros mecanismos de adaptación, por ejemplo, el almacenamiento de sales dentro de estructuras celulares como vacuolas en donde quedan aisladas y no afectan la fisiología de la planta, o el desarrollo de raíces más largas que permiten alcanzar mayor profundidad, donde la concentración de sal es menor.

Algunos ambientes hipersalinos también presentan otros tipos de condiciones extremas, como temperaturas elevadas, alta concentración de metales (por ejemplo, arsénico) y/o PH alcalinos. Como consecuencia, los organismos que habitan estos ambientes son de especial interés para la ciencia, en particular para la biotecnología, ya que presentan una gran variedad de mecanismos adaptativos y ofrecerían soluciones a diversas problemáticas del mundo actual.

Colonias pigmentadas de la haloarquea *Haloferax volcanii* atrapadas en cristales de sal. El tamaño de los cristales más grandes es de aproximadamente 4mm. Foto Roberto A Paggi

¿Qué se puede aprender de los halófilos?

Los primeros fósiles procariotas capaces de sobrevivir en estos ambientes datan de más de 3500MA de antigüedad y eran muy similares en apariencia a los tapetes microbianos que se encuentran en los estanques hipersalinos actuales. Las haloarqueas son de los grupos más antiguos en habitar el planeta y el estudio de su evolución permitiría entender la morfología y fisiología asociada con la adaptación a las condiciones hipersalinas. El estudio de la vida microbiana en altas concentraciones de sal puede responder muchas preguntas fundamentales sobre la adaptación de los microorganismos a sus ambientes. La mayoría de los halófilos conocidos se pueden cultivar en un laboratorio de manera simple y segura, ya que no son patógenos para el ser humano. Géneros como *Halobacterium*, *Haloferax* y *Haloarcula* han destacado como modelos de estudio dentro del dominio Archaea, siendo mucho más simples de manejar que otras arqueas extremófilas, las cuales requieren condiciones ambientales difíciles de replicar en el laboratorio, como altas temperaturas o grandes presiones. En los últimos años se han secuenciado los genomas de muchas de estas especies y se han desarrollado múltiples herramientas para manipular sus genes y así poder estudiar sus mecanismos celulares. Actualmente, los halófilos extremos son incluso fuente de estudio de proyectos de astrobiología, ya que podrían trazar analogías, e incluso dar pistas, sobre la vida en otros planetas. Por ejemplo, se cree que si existieran formas de vida en Marte, estas serían muy similares a los microorganismos halófilos terrestres, debido a la si-

Diversos ambientes hipersalinos y sus colores: 1) laguna Utracán (Argentina), 2) lago Hillier (Australia), 3) lago Masazir (Azerbaiján), 4) mar Muerto (Israel).

militud en las condiciones en cuanto a las aguas probablemente salinas y a las altas radiaciones UV.

Como resultado de los cambios globales naturales y provocados por el hombre, los entornos hipersalinos están en aumento. Las altas temperaturas generan la evaporación de cuerpos de agua provocando acumulaciones de sal. Otra consecuencia de estos cambios globales es la reducción de la superficie con agua dulce disponible para la agricultura, principalmente por el aumento del nivel del mar. En este sentido, el estudio de plantas halófilas permitiría el desarrollo de una agricultura en entornos hipersalinos como posible respuesta a los cambios ambientales. Estos desafíos, junto al creciente estudio de biomoléculas novedosas y estables en microorganismos halófilos, han convertido a estos organismos en importantes recursos para la biotecnología.

Aplicaciones de los halófilos y sus biomoléculas

Debido a que muchos procesos industriales requieren condiciones extremas, como altas o bajas temperaturas, pH ácidos o alcalinos o alta salinidad, los organismos extremófilos se han convertido en atractivas fuentes de enzimas que pueden trabajar en estas circunstancias donde las enzimas convencionales se degradan y no funcionan. Por ejemplo, en la industria de los detergentes y jabones para la ropa se utilizan enzimas que quitan las manchas a baja temperatura, mientras que en tratamientos de esterilización de ropa de quirófano se prefiere un jabón que tenga enzimas estables a altas temperaturas. La industria del cuero y las pieles requiere enzimas que degradan proteínas de la piel de los animales en condiciones con alta sal o minerales. El avance de la biología molecular y la biotecnología permitió utilizar lo que se conoce como reactores biológicos, para producir a gran escala enzimas muy útiles para la industria como proteasas, celulasas, xilanasas, lipasas y amilasas.

Las enzimas halofílicas se caracterizan por tener un exceso de aminoácidos ácidos y una carga superficial negativa. Esta peculiaridad permite que funcionen en entornos con baja actividad de agua, incluidas las mezclas de solvente orgánico y agua. En este sentido, el uso de estas enzimas es muy común en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética, textil e incluso en la producción de biocombustibles y bioplásticos. También se

utilizan en el campo del tratamiento de efluentes tóxicos de los procesos industriales, donde los métodos convencionales no son muy efectivos debido a la alta salinidad de estos efluentes. Esto sucede, por ejemplo, en la producción de diversas sustancias químicas como los pesticidas, algunos productos farmacéuticos y herbicidas, y los procesos de extracción de petróleo y gas.

Además de sus enzimas, los halófilos son fuente de varios productos de mucho interés como los emulsionantes o biosurfactantes y los solutos compatibles. Un caso especial es el de la ectoína, que actúa como osmoprotector aumentando la sobrevivencia a un estrés osmótico extremo. Actualmente, diferentes empresas de todo el mundo producen este compuesto a gran escala utilizando fuentes halófilas como las bacterias *Halomonas elongata* o *Halomonas salina*. La ectoína se utiliza en muchos cosméticos como ingrediente activo en el cuidado de la piel y protección solar, ya que estabiliza proteínas y otras estructuras celulares y protege la piel de la radiación ultravioleta y la resequedad.

Las algas halófilas son muy utilizadas para la producción a gran escala de pigmentos carotenoides, los cuales son muy interesantes debido a su alto poder antioxidante. La microalga *Dunaliella salina* es una de las mayores fuentes comerciales de beta-caroteno ya que llega a acumular hasta el 15% de su peso seco en pigmentos. Si bien inicialmente se cultivaba en piletones salados, actualmente se utilizan biorreactores con condiciones regulables que permiten un proceso más eficiente. Las haloarqueas también son productores ideales de carotenoides debido a la facilidad para cultivarlas y manipularlas genéticamente.

Los halófilos son considerados estrellas para la biotecnología industrial por las ventajas que presentan frente a otros organismos, tales como un menor costo de producción, una disminución en la utilización de energía y una fácil recuperación de los productos. En consecuencia, durante los últimos años se adoptó el uso de organismos halófilos para el desarrollo de la industria biotecnológica. Así como durante millones de años estos organismos se adaptaron a vivir en condiciones adversas, podría decirse que el ser humano está siguiendo el ejemplo de los halófilos, e incluso ayudándose de ellos, para enfrentar los nuevos desafíos del mundo moderno. CH

LECTURAS SUGERIDAS

DASSARMA S & ARORA P, 2001, 'Halophiles', *Encyclopedia of Life Sciences*. DOI *10.1038/npg.els.0000394*

PROGRAMA EDUCATIVO POR QUÉ BIOTECNOLOGÍA, Cuaderno 'Por qué Biotecnología'. Edición 57: Los Organismos Extremófilos, accesible en *www.porquebiotecnologia.com.ar/el-cuaderno*

VISTA AL MAR, 2005, 'El camarón de la salmuera es prácticamente indestructible', accesible en *www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/biologia/5412-el-camaron-de-la-salmuera-es-practicamente-indestructible.html*

YANHE MA & COL, 2010, 'Halophiles: Life in saline environments', *Applied and Environmental Microbiology,* 76 (21): 6971-6981. DOI *10.1128/AEM.01868-10*

Mariana Costa

Doctora en ciencias biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNMdP.

Becaria posdoctoral en el IIB-Conicet, UNMdP.

marianacostamdp@gmail.com

Micaela Cerletti

Doctora en ciencias biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNMdP.

Investigadora asistente en el IIB-Conicet, UNMdP.

mcerletti@gmail.com

Verónica de la Fuente
IFIBYNE-DFBMC-UBA-Conicet

Hágase la luz

Usando optogenética para iluminar el estudio del cerebro

Desde hace muchos años en la comunidad neurocientífica se pensaba que la revolución en el estudio del cerebro iba a ir de la mano del control de la actividad de ciertas neuronas independientemente de otras. El propio Francis Crick, ganador del premio Nobel en 1962 por su contribución al descubrimiento de la estructura química del ácido desoxirribonucleico (ADN), lo mencionó en su análisis sobre los desafíos para el avance de las neurociencias: 'Un requerimiento sería prender o apagar uno o más tipos de neuronas… de manera rápida. La señal ideal sería la luz… Suena descabellado, pero es concebible que biólogos moleculares puedan diseñar que un tipo de célula sea sensible a luz' (Crick, ver 'Lecturas sugeridas'). Bastante acertado estaba, pues la biología celular y las neurociencias convergieron gracias a la biología molecular para dar un salto abismal en el entendimiento de los procesos que ocurren en el cerebro. Nos referimos al desarrollo de la *optogenética*, una poderosa herramienta para estudiar circuitos neuronales que, como lo indica su nombre, depende de la luz (*opto*) y es introducida en las células a estudiar a través de técnicas de ingeniería genética.

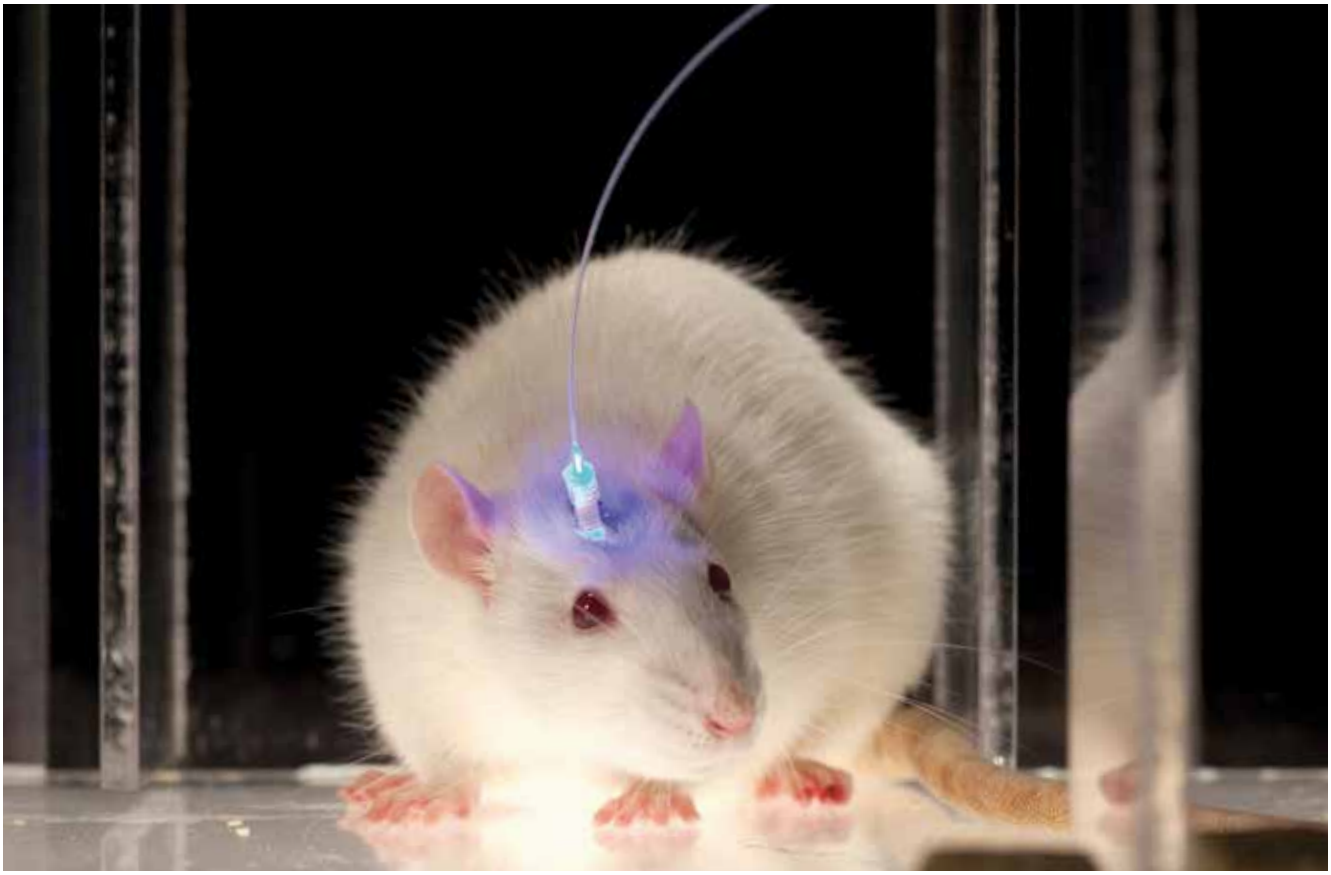
Existen células que naturalmente expresan proteínas sensibles a la luz. Los genes que codifican este tipo de proteínas, llamadas *opsinas*, están divididos en dos grandes familias dependiendo su origen. La familia tipo I incluye a las opsinas que provienen de microorganismos como algas unicelulares, hongos y bacterias, mientras que la familia tipo II incluye a las presentes en células

¿DE QUÉ SE TRATA?

En este trabajo se describe el desarrollo de la optogenética, una poderosa herramienta para estudiar circuitos neuronales que, como lo indica su nombre, depende de la luz (*opto*) y es introducida en las células a estudiar a través de técnicas de ingeniería genética.

de organismos más complejos, como células del sistema visual de vertebrados. Para su correcto funcionamiento ambos tipos de opsinas requieren un cofactor derivado de la vitamina A llamado retinal, que sirve de antena en la detección de luz. Cuando el retinal se une a la opsina otorgándole funcionalidad, lo llamamos rodopsina. Si bien los dos tipos de familias de opsinas son proteínas que se ubican en la membrana celular, los mecanismos que desencadenan una vez que se activan son diferentes. Las de tipo I constituyen una familia de proteínas que permiten, ellas mismas, el flujo de iones a través de la membrana celular, es decir, forman lo que llamamos un canal. Por otro lado, las de tipo II son un tipo especial de receptores (llamados receptores acoplados a proteína G), que una vez activados desencadenan una serie de cascadas de señalización celular.

Y aquí lo importante: el flujo de iones. El lenguaje que utilizan las neuronas para codificar información es el de las señales eléctricas, que eventualmente se traducen a señales químicas. Estas señales pueden ocurrir gracias a dos motivos principales. Por un lado, las células mantienen activamente una diferencia de potencial a ambos lados de la membrana (siendo el interior de la célula más negativo que el exterior). Este potencial de membrana está determinado por varios factores, entre ellos la existencia de iones que se distribuyen de manera diferencial a ambos lados de la membrana, sumado a la presencia dentro de la célula de moléculas que poseen carga eléctrica y a la expresión de proteínas en la membrana plasmática que permiten el paso de ciertos iones a través de ella. Este paso de iones puede ser a favor de su gradiente electroquímico, es decir considerando las diferencias de concentración, pero también la fuerza eléctrica (en cuyo caso estas proteínas se denominan canales, una suerte de poros moleculares anclados en la membrana), o en contra de ese gradiente (en cuyo caso se denominan bombas o transportadores). Por otro lado, las células excitables como las neuronas expresan en su membrana, además, ciertos tipos de canales particulares que solo se abren en determinadas situaciones. La apertura de estos poros permitiendo el paso de iones generará cambios en el potencial de membrana, y estos cambios constituyen una señal eléctrica. El tipo de canal activado, y por ende la identidad de los iones a los que sea permeable, determina el sentido del cambio en el potencial de la membrana y, por lo tanto, si la neurona se inhibe o se excita. Cuando la apertura de un canal permite la entrada neta de cargas negativas –o salida neta de cargas positivas–,

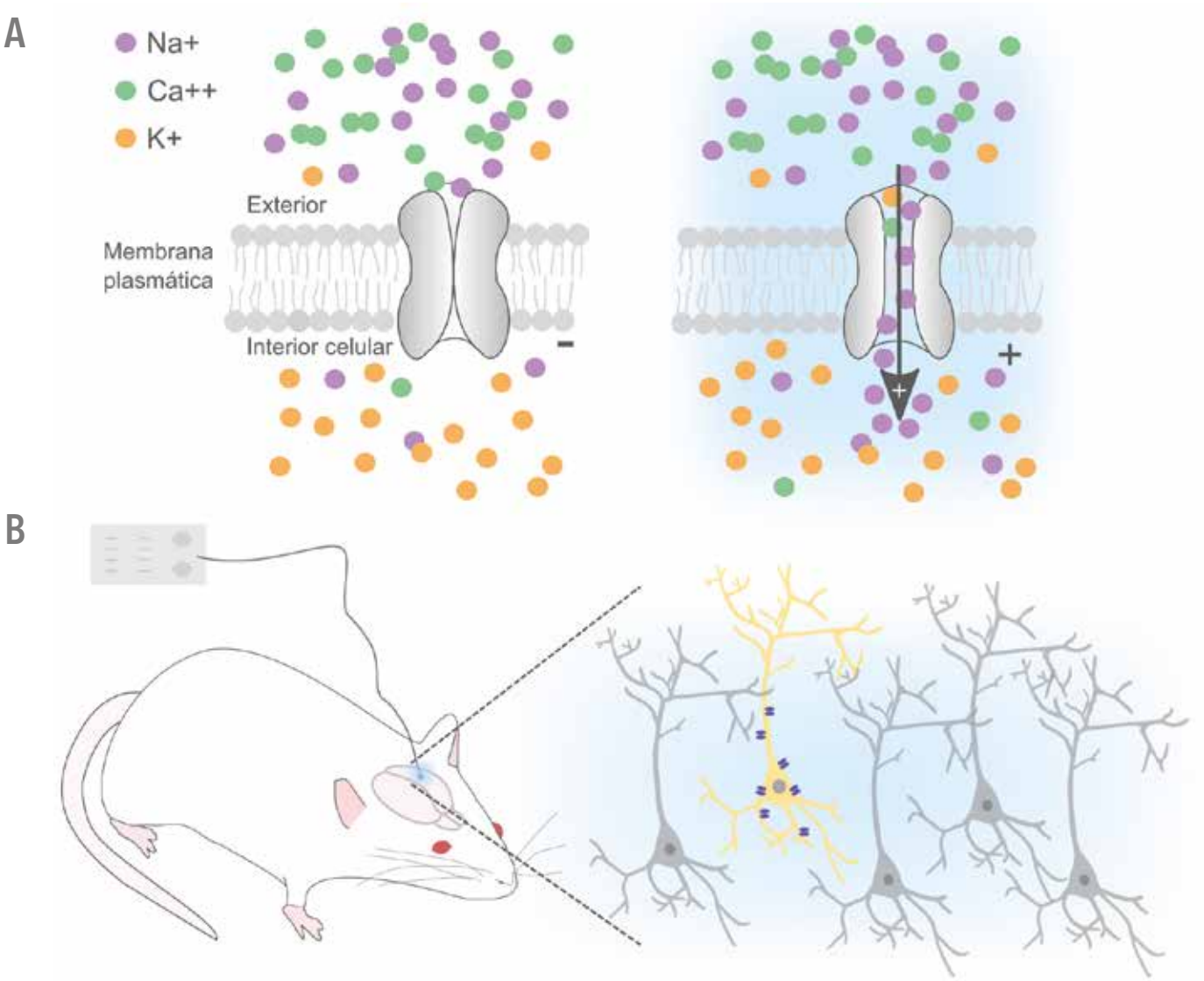


Con técnicas optogenéticas, se puede modular la actividad de neuronas específicas. Foto V Gradinaru, J Carnett, M Mogri, K Deisseroth/Wikimedia Commons/ Stanford University.

la membrana se hiperpolariza (el interior de la célula se hace más negativo respecto del exterior), tratándose de una inhibición. Cuando, en cambio, lo que ocurre es la entrada neta de cargas positivas –o salida neta de cargas negativas– hablamos de una despolarización (el interior de la célula se hace menos negativo que antes respecto del exterior, e incluso puede hacerse positivo), que conlleva a la excitación neuronal. Si la despolarización es tal que a su vez permite la apertura de más canales, puede ser que la neurona dispare lo que se llama potencial de acción, un cambio drástico y rápido del potencial de membrana que eventualmente termina en la liberación del neurotransmisor, esa señal química que impactará en la neurona con la que hace sinapsis. Queda clara entonces la enorme potencialidad de la activación de rodopsinas sobre la modulación de la actividad de las neuronas que las expresan: la excitabilidad de las neuronas depende del flujo de iones… ¡Y hay rodopsinas que, ellas mismas, al captar luz generan flujos de iones!

Ahora bien, el cómo surgieron los descubrimientos científicos que a la larga permitieron el uso de la optogenética como herramienta para modular la actividad neuronal nada tuvo que ver con ese objetivo. De hecho, la historia del desarrollo de la optogenética muestra, una vez más, la importancia de la ciencia básica: el conocer por el simple hecho de conocer. Y no solo eso: también el hecho de cómo los prejuicios pueden enlentecer el avance científico. Ya en la década de 1970 habían sido publicados los primeros trabajos identificando a las bacteriorodopsinas *o bacteriorhodopsins*, bombas de protones (H+) que ante condiciones de bajo oxígeno se expresan en grandes cantidades en la membrana plasmática de ciertos microorganismos favoreciendo la producción de energía. En los años siguientes no solo se profundizó sobre los mecanismos funcionales subyacentes sino que se descubrieron otras rodopsinas naturales como las *halorhodopsins* y *channelrhodopsins*. ¿Por qué tardó tanto el desarrollo de la optogenética entonces? Por un lado, existía el prejuicio de que componentes simples o 'únicos' (codificados por un solo gen) como las opsinas, provenientes de organismos evolutivamente tan alejados, resultaran en una baja expresión, fueran tóxicas en células como neuronas, o no sirvieran para generar señales eléctricas relevantes. Probablemente influenciados por estas dudas razonables, varios grupos de investigación enfocaban sus esfuerzos en el desarrollo de herramientas ópticas pero que involucraban múltiples componentes (cascadas de activación de varios genes junto a compuestos químicos sensibles a luz). También existía la duda de si el retinal, ese componente indispensable para el funcionamiento de las opsinas, se expresaría naturalmente y en cantidades suficientes en neuronas (luego se descubrió que sí). Por otro lado, había más cuestiones por resolver: lograr que neuronas de determinados organismos útiles para el estudio de las neurociencias en el laboratorio (como moscas, gusanos, ratas, ratones, monos) pudieran efectivamente expresar los genes codificantes para esas proteínas, que eran originalmente funcionales en otros tipos celulares evolutivamente alejados. Y como si todo esto no fuera poco, también existía la complicación experimental de lograr que la luz llegase a las neuronas en estudio en pulsos capaces de emular las señales eléctricas neuronales con una resolución temporal que tuviera sentido fisiológico.

Fue en 2005 cuando el grupo de Karl Deisseroth, de la Universidad de Stanford, California, publicó un trabajo pionero en el que se mostraba exitosamente cómo la estimulación lumínica sobre neuronas de mamífero que expresaban la opsina *channelrhodopsin*-2 proveniente del alga unicelular *Chlamydomonas reinhardtii* generaba que esas neuronas aumentaran su actividad eléctrica y dispararan potenciales de acción (ver Boyden en 'Lecturas sugeridas'). Lo que hacía la estimulación lumínica en esas células era que *channelrhodopsin*-2 pasara a su conformación activa y permitiera el paso de cationes (iones con carga positiva) tales como sodio, calcio y potasio a favor de su gradiente de electroquímico. En condiciones normales de una neurona, la activación de *channelrhodopsin*-2 genera una entrada de carga neta positiva (figura A) que, como mencionamos anteriormente, equivale a una despolarización, e implica una excitación. Pero una cosa es iluminar neuronas que están creciendo en lo que se llama un cultivo celular (es decir, neuronas obtenidas del cerebro de un animal de experimentación, y puestas a crecer en una placa de plástico con un medio de cultivo que aporte los nutrientes necesarios, a una temperatura y pH controlados), como hicieron en el trabajo publicado por el grupo de Deisseroth, y otra es pensar en iluminar neuronas en un cerebro de un animal vivo, e incluso realizando alguna tarea. Lo cierto es que en el campo de las neurociencias desde hace tiempo que se usan técnicas invasivas en animales de experimentación para el estudio del cerebro, aplicadas bajo estrictos protocolos de laboratorio aprobados por comités de ética pertinentes. Un ejemplo es la colocación de cánulas permanentes mediante cirugías estereotáxicas (es decir, en determinadas coordenadas específicas del cerebro, basándose en mapas espaciales construidos por neurocientíficos hace ya muchos años) con las que es posible administrar fármacos de manera controlada y localizada. Otro ejemplo es la colocación de implantes con electrodos que detectan actividad neuronal o la inducen mediante aplicación de corriente, también utilizando cirugías estereotáxicas. La administración de luz hacia dentro del cerebro no constituyó realmente un problema tecnológico en sí mismo. De hecho, aunque suene irónico, se utilizó –y se sigue



A. Esquema de la rodopsina *channelrhodopsin-2*, una proteína de membrana plasmática con actividad de canal iónico, permeable a cargas positivas, que en condiciones normales se encuentra cerrado (izquierda). En condiciones fisiológicas, la presencia de luz de longitud de onda de alrededor de 470nm (luz azul) produce la apertura del canal y la consecuente entrada neta de cargas positivas –indicada con una flecha–, despolarizando a la célula (derecha). Esta despolarización (indicada con un signo +), activa a su vez otros canales dependientes de voltaje que desencadenan el disparo de potenciales de acción.
B. Izquierda. Esquema de una rata de laboratorio que expresa *channelrhodopsin-2* en neuronas de interés y que al momento del experimento se la conecta a una fibra óptica que permite la entrada de luz azul a la región del cerebro que se desea estudiar. **Derecha.** Se muestra una red de neuronas en las que la presencia de luz azul solo activa aquella que expresa el canal *channelrhodopsin-2* (la neurona se muestra en naranja, las rodopsinas en azul). La imagen de neuronas de la figura B fue adaptada de SciDraw, Federico Claudi (*scidraw.io*).

utilizando– tecnología relevante en el campo de las comunicaciones: las fibras ópticas, que transmiten la luz de manera muy eficiente y pueden ser lo suficientemente pequeñas en diámetro –ideal para dañar el tejido lo menos posible–, pero a la vez resistentes como para atravesar tejido y llegar a la zona de interés (figura B).

Todo muy lindo, pero… ¿cuán fácil es expresar estas proteínas provenientes de microorganismos en las neuronas de interés? De mínima, es necesario modificar la secuencia nucleotídica de los genes que las codifican de manera que puedan expresarse en las células de interés que, como decíamos antes, suelen pertenecer a organismos diferentes de los de origen, como los distintos animales de laboratorio (e incluso eventualmente humanos). Para lograr la expresión de estas opsinas se utilizan principalmente dos estrategias (o la combinación de ambas), y su elección depende de múltiples factores. Una de esas estrategias es diseñando un animal transgénico que contenga en su genoma el gen en cuestión. Este gen, a su vez, debe incluir regiones regulatorias –i.*e.* promotores– que permitan su expresión. Justamente, la utilización y elección de promotores otorga lo que se llama especificidad: si bien ese gen se encuentra en el genoma de todas las células, solo se transcribirá (y finalmente producirá la

proteína de interés) en aquellas que tengan la maquinaria molecular necesaria para reconocer dichos promotores. La segunda estrategia es usar vectores virales, que son virus modificados capaces de infectar específicamente ciertas células e introducir en ellas el genoma que llevan, que, en este caso, incluye el gen de la opsina. Aquí no solo hay que considerar que estos virus modificados tengan la capacidad de infectar las células de interés (y no otras), sino también que el gen introducido incluya un promotor que permita su transcripción en las células infectadas. En otras palabras, cuando se usan vectores virales importa tanto que el virus tenga la capacidad de infectar la célula de interés como que el gen introducido tenga la región regulatoria que sea reconocible por la maquinaria molecular de esa célula infectada. Así, los controles de expresión selectiva son extremadamente relevantes, pues la optogenética no solo permite el control de *cuándo* –luz prendida– sino de *dónde*, y ese *dónde* implica tanto la posibilidad de modular alguna zona cerebral de interés, pero también determinados *tipos* de neuronas –y no otras– dentro de una misma región. Esto último representa una de las principales ventajas de la optogenética frente a otras técnicas más tradicionales pero menos selectivas que inducen actividad neuronal, como la estimulación eléctrica directa.

La modulación de la actividad neuronal no solo implica aumentar la actividad de ciertas neuronas en un momento dado. También es deseable experimentalmente poder inhibir esa actividad, lo que constituye de hecho una herramienta muy importante a la hora de estudiar si tales o cuales neuronas son necesarias para que un animal lleve a cabo determinada tarea: si se las inhibe y la tarea se ve afectada, entonces se puede concluir que dichas neuronas eran necesarias. Afortunadamente para la ciencia, además de rodopsinas que excitan a las neuronas, también existen otras rodopsinas que, una vez activas, inhiben a las neuronas que las expresan. Estas rodopsinas inhibitorias mueven iones de manera tal que generan que el interior de la neurona se vuelva más negativo, haciendo que sea más difícil disparar potenciales de acción. Las rodopsinas inhibitorias que más frecuentemente se usan en optogenética son aquellas que bombean iones: cloruro (Cl^-) hacia el interior de la célula (*halorhodopsin*) o protones (H^+) hacia el exterior (*archaeorhodopsin*). Es interesante resaltar que los distintos tipos de rodopsinas, tanto excitatorias como inhibitorias, son sensibles a luz de distintas longitudes de onda. Por ejemplo, *channelrhodopsin-2* es sensible a luz azul (~480nm), mientras que *halorhodopsin* es sensible a luz amarilla (~570nm). Esto permite expresar ambas proteínas en una misma neurona, y activarla o inhibirla según la longitud de onda de la luz utilizada.

Las opsinas, entonces, parecieran ser herramientas naturales al servicio de la ciencia: se activan con determinadas longitudes de onda, y la activación de las neuronas utilizando esta metodología mimetiza bastante bien la actividad natural de estas. Todo esto sin mucha más modificación que para permitir su expresión en las células de interés. No obstante, lo que la naturaleza no provee, en el laboratorio se busca. Desde el momento en que comenzó el desarrollo y uso de la optogenética como herramienta útil para modular la actividad neuronal se trabaja incansablemente en perfeccionar distintos aspectos metodológicos para extender los límites de su utilidad. Por un lado, mejoras sobre las mismas opsinas: algunos ejemplos incluyen modificaciones en los genes que las codifican con objetivos como modificar la amplitud y velocidad de las respuestas, lograr un control de localización diferencial *dentro* de la neurona de interés, o modificar la longitud de onda que las activa. En cuanto a esto último, sucede que la luz azul o amarilla (que activa *channelrhodopsin* o *halorhodopsin*, respectivamente) no penetra grandes distancias en el tejido, pues es absorbida por distintas moléculas que encuentra a su paso. En cambio, la luz roja presenta mayor penetrancia, permitiendo que la fuente de luz esté a mayor distancia de la célula que expresa la opsina. Esta luz roja de gran penetrancia es particularmente útil cuando se estudian animales pequeños, como moscas: basta con iluminar desde el exterior, que con seguridad se estará irradiando el cuerpo entero y activando las rodopsinas donde quiera que se hayan expresado. Por otro lado, también día a día se intenta mejorar no solo las metodologías asociadas con una expresión exitosa de la opsina de interés en tipos específicos de células del sistema nervioso, sino también las vías de administración de luz a esas células o regiones específicas incluso cuando el sujeto experimental realiza conductas que implican movimiento.

Así, la optogenética se posiciona como una poderosa y versátil herramienta que ha logrado gran precisión temporal y celular para la activación o inhibición de la actividad neuronal, en una gran variedad de modelos animales, e incluso en animales comportándose libremente y resolviendo tareas. La incorporación de la optogenética como herramienta en un laboratorio de neurociencias es absolutamente factible. Es una técnica relativamente accesible: básicamente necesita de (i) el gen que codifica la opsina de interés; (ii) un método para lograr que ese gen esté presente en las células de interés (y que además se exprese), sea utilizando animales transgénicos o administrando virus modificados para tal fin –o combinando ambas opciones–, y (iii) una fuente de luz, sea un láser o incluso un diodo emisor de luz (también conocido como LED, por su sigla en inglés) sumado a una manera de entregar al tejido en estudio esa luz (por ejemplo, usando fibras ópticas). Lo más difícil: la pregunta científica que se quiera contestar. Las apli-

caciones de la optogenética van desde la ciencia básica –por ejemplo, estudiando mecanismos neuronales y de circuitos que subyacen a los distintos comportamientos animales– hasta la ciencia aplicada. Sin ir más lejos, el 24 de mayo de este año se publicó en la prestigiosa revista *Nature Medicine* un trabajo promisorio (ver Sahel *et al.*, en 'Lecturas sugeridas') en el que se muestra cómo la utilización de la optogenética permitió restaurar parcialmente la visión en un paciente con un tipo particular de ceguera, la retinitis pigmentosa, una enfermedad neurodegenerativa progresiva de origen genético. En este trabajo utilizaron el gen de la opsina ChrimsonR (un tipo de *channelrhodopsin*), administrado utilizando vectores virales que infectan células ganglionares de la retina. La luz que activa ChrimsonR es color ámbar (cerca del rojo en el espectro de luz), y la forma de "estimulación" para el paciente fue la utilización de anteojos especiales que transforman los eventos lumínicos de las imágenes reales en monocromáticos, pudiendo activar así la opsina. La utilización exponencial de la optogenética como herramienta para entender el funcionamiento del sistema nervioso, la cantidad de laboratorios que la utilizan desde que está disponible y la potencialidad en cuanto a terapias regenerativas o de recuperación de función pone a las personas que la desarrollaron como grandes candidatos y candidatas para premio Nobel. El misterio está en quién o quiénes serán las personas laureadas debido a la enorme contribución interdisciplinaria que llevó a su desarrollo. Para eso sí habrá que esperar… quién sabe cuánto. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BOYDEN ES, ZHANG F, BAMBERG E, NAGEL G & DEISSEROTH K, 2005, 'Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity', *Nature Neuroscience*, 8: 1263-1268.DOI *10.1038/nn1525*

CRICK F, 1999, 'The impact of molecular biology on neuroscience', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences,* 354, 2021. DOI *10.1098/rstb.1999.0541*

SAHEL JA, BOULANGER-SCEMAMA E, PAGOT C *et al.*, 2021, 'Partial recovery of visual function in a blind patient after optogenetic therapy', *Nature Medicine.* DOI *10.1038/s41591-021-01351-4*

YIZHAR O, FENNO LE, DAVIDSON TJ, MOGRI M, & DEISSEROTH K, 2011, 'Optogenetics in neural systems', *Neuron*, 71: 9-34. DOI *0.1016/j.neuron.2011.06.004*

Verónica de la Fuente

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Jefa de trabajos prácticos, DFBMC, FCEN, UBA.
Investigadora asistente en el IFIBYNE, UBA-Conicet.
verodelaf@gmail.com

Fotografía de la cordillera de los Andes tomada desde un avión, a aproximadamente 33° de latitud sur, en el norte de la provincia de Mendoza. La quebrada principal que se observa pertenece al río Tupungato y en el fondo se puede ver el volcán homónimo de 6570m. Foto del autor

Maximiliano Naipauer
Instituto de Geocronología y Geología isotópica (INGEIS), UBA-Conicet

Circones, los relojes de la Tierra

La edad de la Tierra

Una roca nos evoca, primariamente, una montaña o una sierra y nos traslada imaginariamente a algún lugar en la cordillera de los Andes, las sierras pampeanas o las sierras de Tandil, por citar cordones montañosos de nuestro país.

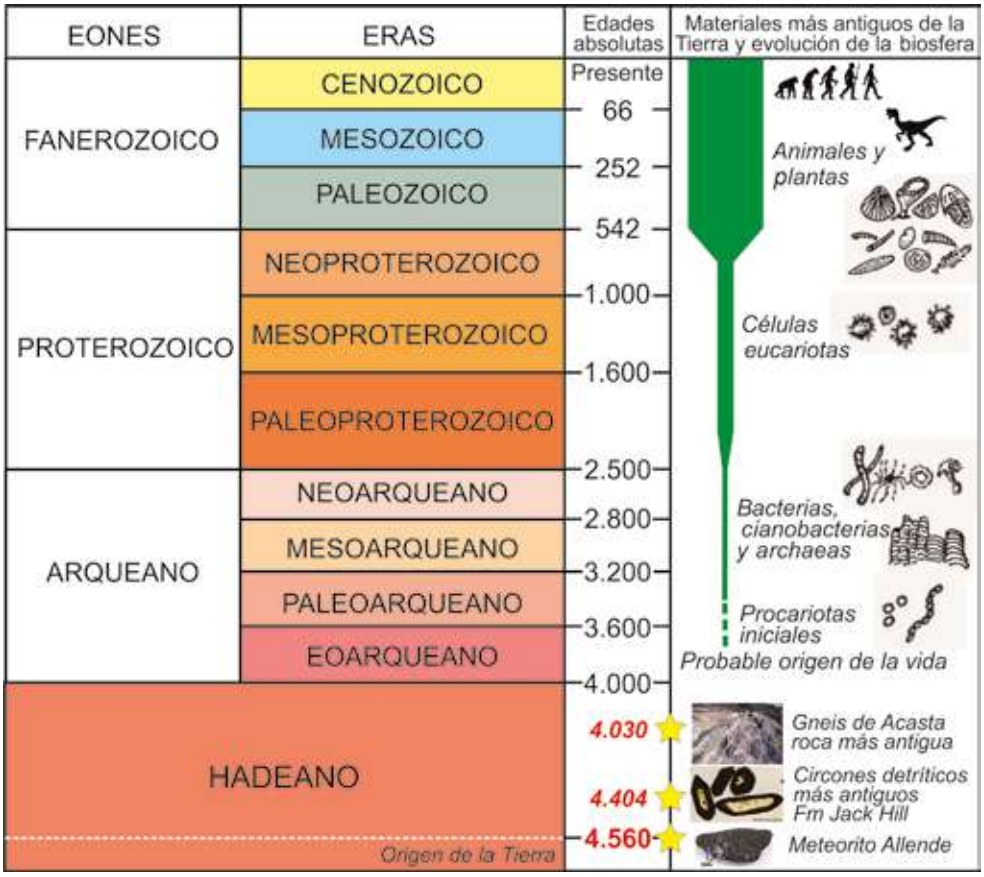
Rara vez nos interrogamos sobre su antigüedad o sobre cómo podemos deducirla. Para las ciencias, poder determinar con exactitud la edad de la Tierra y de los primeros estadios de su formación es fundamental. Nos ayuda a entender su evolución y corroborar las hipótesis sobre el origen de los continentes, los océanos, la atmósfera primitiva y la misma evolución de la vida. Al tiempo transcurrido desde la formación de la Tierra hasta el presente se lo denomina tiempo geológico, y la única manera que tenemos de cuantificarlo y saber qué sucedió en algún momento del pasado es a través del registro que se preserva en las rocas.

Las edades relativas a partir de los fósiles, el tiempo absoluto y la datación radiométrica

Hay dos tipos de edades que nos permiten referirnos al tiempo geológico: las edades relativas y las edades absolutas. Antes de que pudiéramos determinar la edad absoluta de las rocas y por ende la de la Tierra, la herramienta más utilizada fue la datación geológica relativa. Esta se basa en los principios fundamentales de la estratigrafía y la sucesión faunística en el registro fósil; se supone que los fósiles alojados en los estratos superiores son los más jóvenes. Estos principios dieron origen a la bioestratigrafía, que es la rama de la paleontología utilizada para establecer edades relativas a partir del estudio detallado de la aparición y extinción de diferentes organismos. El registro fósil es, por lo tanto, un elemento primordial, pero es aplicable solo a una pequeña porción del tiempo geológico. Se

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las dataciones radiométricas uranio-plomo en minerales de circón como herramientas para obtener las edades de los distintos eventos geológicos.



Escala de tiempo geológico con sus divisiones en eones y eras desde el origen de la Tierra hasta el presente. Los valores de las edades absolutas están expresados en millones de años.

restringe al Fanerozoico –últimos 542 millones de años–, que es cuando está bien representado debido a la diversificación de los animales y las plantas. Las edades relativas nos permiten ordenar los eventos geológicos y las rocas que forman una sucesión, por ejemplo, qué está primero, segundo, y así sucesivamente. No podemos conocer la edad real en años pero sí determinar qué es más antiguo o más joven en forma relativa.

Para los científicos conocer la edad geológica relativa de una roca o un fósil no es suficiente. Con edades absolutas se pueden cuantificar las edades relativas, determinar la duración en años de los períodos geológicos y determinar así cuánto tiempo se desarrolló una forma de vida hasta su desaparición. El descubrimiento de la radiactividad en 1896 por Henri Becquerel fue el primer paso para desarrollar el método de datación absoluta. Este método está basado en el decaimiento radiactivo de un conjunto de elementos químicos que están presentes en los minerales. Los elementos están constituidos por átomos que poseen un núcleo y electrones; a su vez, el núcleo está formado por protones y neutrones. Muchos de los elementos poseen isótopos, que son subespecies atómicas de un mismo elemento pero que difieren en el número de neutrones. Hay dos tipos de isótopos: los estables y los inestables o radiactivos. Estos últimos son los utilizados para las dataciones radiométricas.

Los isótopos radiactivos de un elemento ('padres') poseen un núcleo atómico inestable y se transforman en otro isótopo –del mismo u otro elemento– más estable ('hijo'), liberando energía y partículas. A este proceso se lo conoce como radiactividad natural y uno de sus aspectos importantes es que la velocidad de decaimiento o desintegración de cada isótopo padre en su hijo es siempre la misma y no depende de la cantidad inicial, los cambios de temperatura y presión o los procesos químicos involucrados; tan solo depende de cada elemento. Por lo tanto, si conocemos la velocidad de desintegración de un isótopo padre y podemos medir la relación que existe entre este y el isótopo hijo es posible calcular la edad geológica absoluta de una roca o mineral.

De acuerdo con la antigüedad y el tipo de roca que necesitamos analizar se pueden utilizar diferentes isótopos como binomios padre-hijo: el potasio-argón (K-Ar), el argón-argón (Ar-Ar), el rubidio-estroncio (Rb-Sr), el uranio-plomo (U-Pb) y el carbono (C) decayendo a otro isótopo del mismo elemento (C^{14}). Sin lugar a dudas el sistema isotópico mejor conocido y más utilizado en la actualidad es el U-Pb debido a que el uranio posee una velocidad de desintegración muy baja y por lo tanto tiene una vida media muy grande. La vida media es una característica de cada isótopo radiactivo y se define como el tiempo necesario para que el isótopo padre se desintegre a la mitad. Hay vidas medias muy cortas y otras que duran miles de millones de años. El uranio posee dos isótopos radiactivos que son utilizados para datar las rocas, el U^{238} (isótopo padre) decae a Pb^{206} (isótopo hijo) con una vida media de 4470 millones de años y el U^{235} decae a Pb^{207} con una vida media de 700 millones de años –muy útiles para calcular la edad de las rocas más antiguas de la Tierra–. Otros isótopos con vida media grande son el Rb^{87} (48.800 millones de años) y el K^{40} (1251 millones de años). Por otro lado, existen isótopos, como el C^{14}, que tienen una vida media corta (5730 años) y por lo tanto son muy útiles solo para calcular edades de materiales y eventos geológicos recientes (menos de 50.000 años).

Estos binomios isotópicos se encuentran en diferentes materiales presentes en la corteza terrestre, como minerales, fósiles y rocas, y difieren de acuerdo con los objetivos del estudio. Los minerales más utilizados para el sistema K-Ar son micas, anfíboles y feldespatos; para el sistema U-Pb se utilizan circón, titanita, monacita, baddeleyita y rutilo. El sistema Rb-Sr es común utilizarlo en roca total y minerales como micas y anfíboles. Como el C^{14} está presente en los seres vivos, el método de datación del radiocarbono (C^{14}) es muy usado en materiales arqueológicos, huesos y fósiles.

El circón: un mineral microscópico capaz de revelar la edad de las rocas

Los circones –cuya fórmula química es $ZrSiO_4$– son minerales de pequeño tamaño que cristalizan a partir de una gran variedad de rocas ígneas y pueden recristalizar en rocas metamórficas. Además, por erosión de estas últimas existen también circones en rocas sedimentarias. Debido a su estructura atómica y sus características físico-químicas, los circones se mantienen estables durante largos períodos. Son uno de los minerales más utilizados para obtener edades absolutas ya que pueden incorporar muchos elementos (uranio, torio, titanio, hafnio y el grupo de las tierras raras) en su estructura cristalina en reemplazo del zirconio (Zr). Una vez cristalizados, retienen estos elementos con los que comparte el número de valencia y radio iónico, y, por ello, los dotan de características químicas muy similares. Particularmente, poseen altos contenidos de uranio (entre 100 y 1000ppm) y por este motivo son uno de los minerales de datación por U-Pb por excelencia.

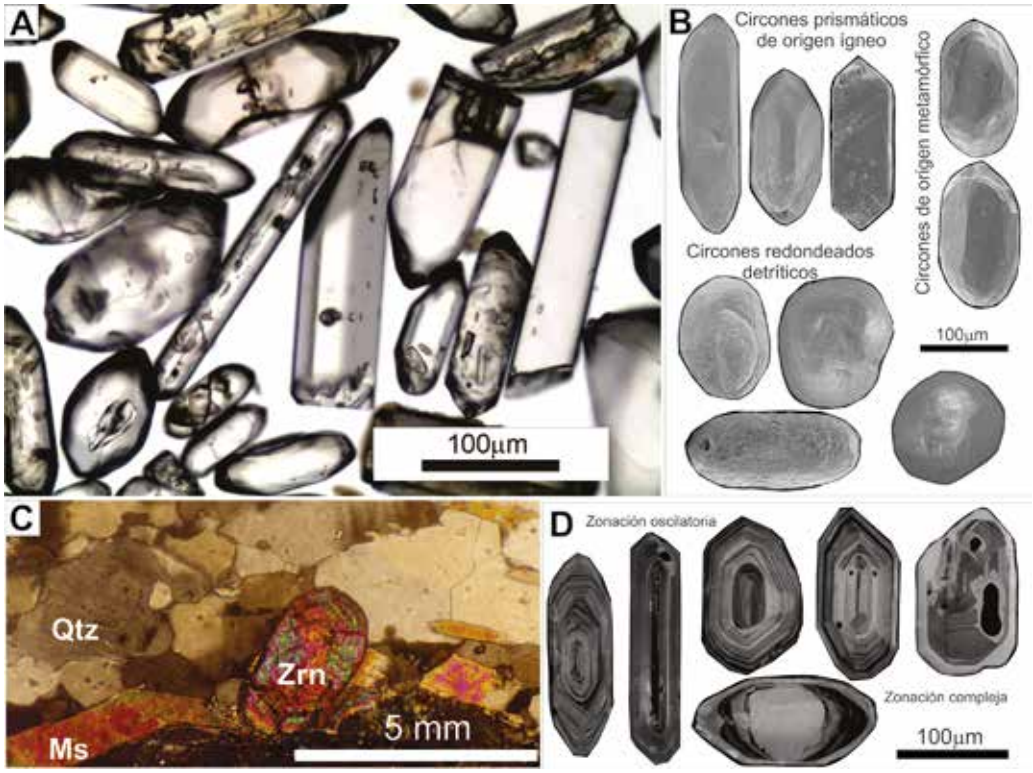
Los minerales que constituyen las rocas ígneas se forman a partir del magma que, por su menor densidad, asciende a través de la corteza y al enfriarse cristaliza los minerales. Las rocas ígneas pueden ser plutónicas o volcánicas según la velocidad de enfriamiento. Las primeras cristalizan en profundidad y las segundas cercanas y/o en superficie. Los circones son minerales accesorios muy comunes en las rocas plutónicas, como granitos, granodioritas y tonalitas, y también en rocas volcánicas como dacitas y riolitas. Además, los circones pueden formarse en las rocas metamórficas, donde los minerales crecen en estado sólido. En ciertas condiciones de altas temperaturas y presiones, el circón puede recristalizar y ello permite conocer la edad del metamorfismo (es decir, cambios de presión y temperatura en la corteza que inducen el metamorfismo).

Por último, hay que destacar que los circones son muy abundantes en las rocas sedimentarias aunque no son minerales autigénicos (no se formaron durante la sedimentación), sino granos detríticos originados en rocas ígneas o metamórficas previas. Particularmente, son muy utilizados porque brindan información sobre las áreas de aporte sedimentario y permiten determinar edades máximas de sedimentación (edad más antigua a partir de la cual el sedimento pudo haberse depositado en la cuenca) en las rocas sedimentarias antiguas o carentes de fósiles. El estudio de la morfología externa y textura interna de los cristales a través de imágenes tomadas por microscopios electrónicos permite clasificar los circones según su origen ígneo, metamórfico o sedimentario.

La medición de las cantidades de los isótopos padre e hijo en una muestra se realiza con un espectrómetro de masas, instrumento analítico de alta precisión que permite discriminar y medir las masas atómicas de los isótopos. Una vez medidas se calcula la edad del material a través de algoritmos. En primer plano, el sistema de ablación láser RESOlution-SE de 193nm dotado con una celda para muestras y controlado por software. Al fondo se encuentra el espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) triple cuadrupolo Agilent 8900. Este equipamiento pertenece al La.Te.Andes, laboratorio ubicado en la ciudad de Vaqueros, provincia de Salta. Foto Roberto Hernández

Métodos para determinar una edad en circones

La edad de los circones se obtiene a través de una técnica que se denomina, en forma genérica, espectrometría de masas y que consiste en separar a los elementos que constituyen el mineral en función de su masa. Tres técnicas de espectrometría son las usadas: la de ionización térmica y dilución isotópica (ID-TIMS, *Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometer*), la de iones secundarios (SIMS, *Secondary Ion Mass Spectrometer*) y la de plasma acoplado inducido y láser de ablación (LA-ICP-MS, *Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer*). La primera fue desarrollada



A. Microfotografía tomada con microscopio óptico a grano suelto donde se observa una gran variedad de morfologías de cristales. B. Granos de circón clasificados de acuerdo con su morfología externa, tomados con un microscopio electrónico de barrido. C. Microfotografía tomada con microscopio óptico de una lámina delgada de una roca metasedimentaria con detalle de un circón detrítico (Zrn) en un mosaico de cuarzo (Qzt) y muscovita (Ms). D. Imágenes de catodoluminiscencia de circones donde se pueden observar sus texturas internas; los cristales de la izquierda tienen típica zonación oscilatoria indicativa de su origen ígneo y los de abajo y a la derecha con texturas complejas relacionadas con crecimientos metamórficos.

en la década de 1950, la segunda a partir de la de 1980 y la última se aplicó a geocronología a partir de los años 90. La explosión de datos geocronológicos en las publicaciones desde el 2000 se debe, probablemente, a la disponibilidad de los datos de la última.

El desarrollo reciente de técnicas analíticas, que permiten obtener edades absolutas a partir de un pequeño volumen en un cristal único e *in situ*, se complementa con análisis detallados de imágenes obtenidas con microscopios electrónicos y de catodoluminiscencia. Estas imágenes muestran las texturas y estructuras internas complejas de los cristales y permiten seleccionar un área específica a datar dentro de los cristales. Por lo tanto, estos métodos (SIMS y LA-ICP-MS) nos permiten registrar edades diferentes en un mismo cristal que indican distintas etapas dentro de su historia de crecimiento.

El circón se está utilizando para desentrañar sistemas geológicos cada vez más complejos, y presenta oportunidades interesantes para la investigación más avanzada en ciencias de la Tierra. En la Argentina hay dos laboratorios, uno del Conicet (La.Te.Andes, *www.lateandes.com*) y otro en el Servicio Geológico Minero Argentino (Segemar), que están desarrollando dataciones U-Pb (LA-ICP-MS) en circón con instrumental de última generación adquiridos con fondos públicos y privados. Estos proyectos servirán, sin lugar a duda, para el mejor conocimiento de la geología de la región y se convertirán en un pilar fundamental para la exploración de recursos naturales en el ámbito público y en el privado.

La edad de la Tierra y las rocas más antiguas de nuestro país según los circones

Las condiciones de la Tierra en su nacimiento eran muy distintas a las actuales. Predominaba el estado fundido sobre el sólido, y esto hace que el año uno de la Tierra sea muy difícil de determinar ya que el registro geológico no se preservó. Sin embargo, el estudio de materiales extraterrestres nos brinda información muy valiosa sobre el origen y la evolución del sistema solar y del planeta Tierra. Las edades más antiguas obtenidas provienen de materiales rocosos extraídos de meteoritos, como el Allende o el Juvinas, e indican –usando métodos como el K-Ar y el U-Pb– edades de 4560 millones de años. Si tomamos en cuenta que el sistema solar y los planetas se formaron juntos y que estos meteoritos pueden provenir de planetas destruidos en el inicio del sistema solar, se considera que la Tierra debió haber tenido algún tipo de corteza sólida tan antigua como 4560 millones de años. Este valor es, por lo tanto, el aceptado actualmente por la comunidad geológica como la edad de la Tierra. Cabe destacar que el geólogo norteamericano Clair Patterson (1922-1995) fue el primero que, midiendo isótopos de plomo y eliminando abnegadamente toda posible contaminación, proclamó en 1956 que la Tierra tenía una edad de 4550 ± 70 millones, una cifra que recién se actualizó en 2001 (ver recuadro 'Un milímetro de roca').

UN MILÍMETRO DE ROCA

¿Cómo se llega a determinar la edad de una roca que tiene casi la edad de la Tierra, a partir de un mineral que no mide más de 1mm? Lo primero que se realiza es el estudio en el campo, donde se recolectan las muestras de rocas de interés que mejor representan a la unidad estudiada, y que serán analizadas por el método radiométrico (figuras 1 y 2). Luego, las rocas seleccionadas son molidas y tamizadas y el polvo obtenido es lavado en agua en una batea, para concentrar aquellos minerales más pesados. Los concentrados de minerales de circón y de otros minerales pesados se extraen luego con un separador magnético. La purificación final de las muestras se logra seleccionando manualmente los circones con una aguja de acupuntura y una lupa binocular (figura 3).

Los circones se montan luego en moldes que se rellenan con una mezcla para formar una resina (figura 4). Una vez que la resina está completamente seca, luego de un día, cada molde se pule para que las superficies de los minerales queden expuestas para análisis en el espectrómetro de masa (figura 5). Los datos 'crudos' que se obtienen se procesan y corrigen para finalmente llegar a los datos listos para ser usados.

En 2001, a partir del análisis de circones de rocas sedimentarias del monte Narryer y Jack Hills en Australia occidental, usando el método U-Pb junto con espectrometría de masas, se llegó a obtener la edad de las rocas más antiguas de la Tierra de 4.404 ± 8 millones de años.

Sin ir tan lejos, en la puna salteña, al noroeste de la Argentina, nuestro grupo de investigación de la Universidad Nacional de Salta-Conicet determinó edades de unos 515 millones de años en circones de rocas graníticas (rocas conformadas por minerales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y muscovita, rocas usadas en muchas mesadas de cocina) utilizando el mismo método pero diferente técnica analítica, la de LA-ICP-MS.

Nuestro grupo no solo estableció las edades de las rocas, sino que también pudo determinar las fuentes que les dieron origen. Esto se logró ya que, además de los isótopos de U-Pb, se utilizaron isótopos de Lu-Hf para conocer el origen de las rocas graníticas. Se comprobó que las fuentes que originaron estas rocas de la puna salteña corresponden a una mezcla entre magmas (masas de rocas fundidas) del manto y magmas de la corteza terrestre.

Queda claro que los circones son peculiares y juegan un papel muy relevante en la geología. Gracias a ellos, y al avance científico y tecnológico reciente, se han dado grandes progresos en el estudio de la evolución de la Tierra y los procesos que la formaron.

LECTURAS SUGERIDAS

ORTIZ A, HAUSER N, BECCHIO R, SUZAÑO N, NIEVES A, SOLA A, PIMENTEL M & REIMOLD W, 2017, 'Zircon U-Pb ages and Hf isotopes for the Diablillos Intrusive Complex, Southern Puna, Argentina: Crustal evolution of the Lower Paleozoic orogen, Southwestern Gondwana margin', *Journal of South American Earth Sciences*, 80: 316-339.

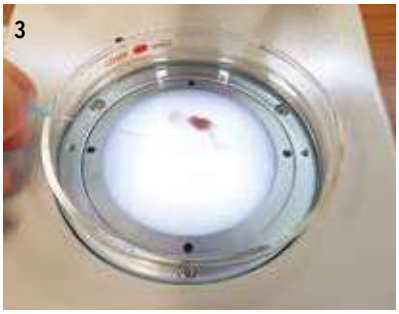
ORTIZ A, SUZAÑO N, HAUSER N, BECCHIO R & NIEVES A, 2019, 'New hints on the evolution of the Eastern Magmatic Belt, Puna Argentina. SW Gondwana margin: Zircon U-Pb ages and Hf isotopes in the Pachamama Igneous-Metamorphic Complex', *Journal of South American Earth Sciences*, 94: 102246.

WILDE SA, VALLEY JW, PECK WH & GRAHAM CM, 2001, 'Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.40, Gyr ago', *Nature*, 409 (6817): 175-178.

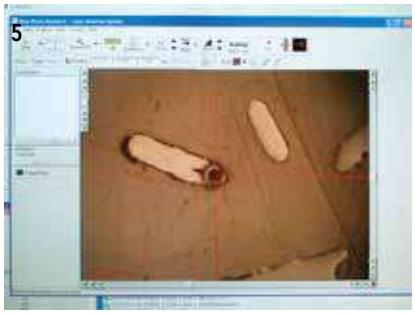
Agustín Ortiz
Doctor en ciencias geológicas, UNSa.
Profesional adscripto, FCN-UNSa.
Becario posdoctoral en el Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO)-Conicet.
agustinortiz13@hotmail.com

1

2


3

4


5

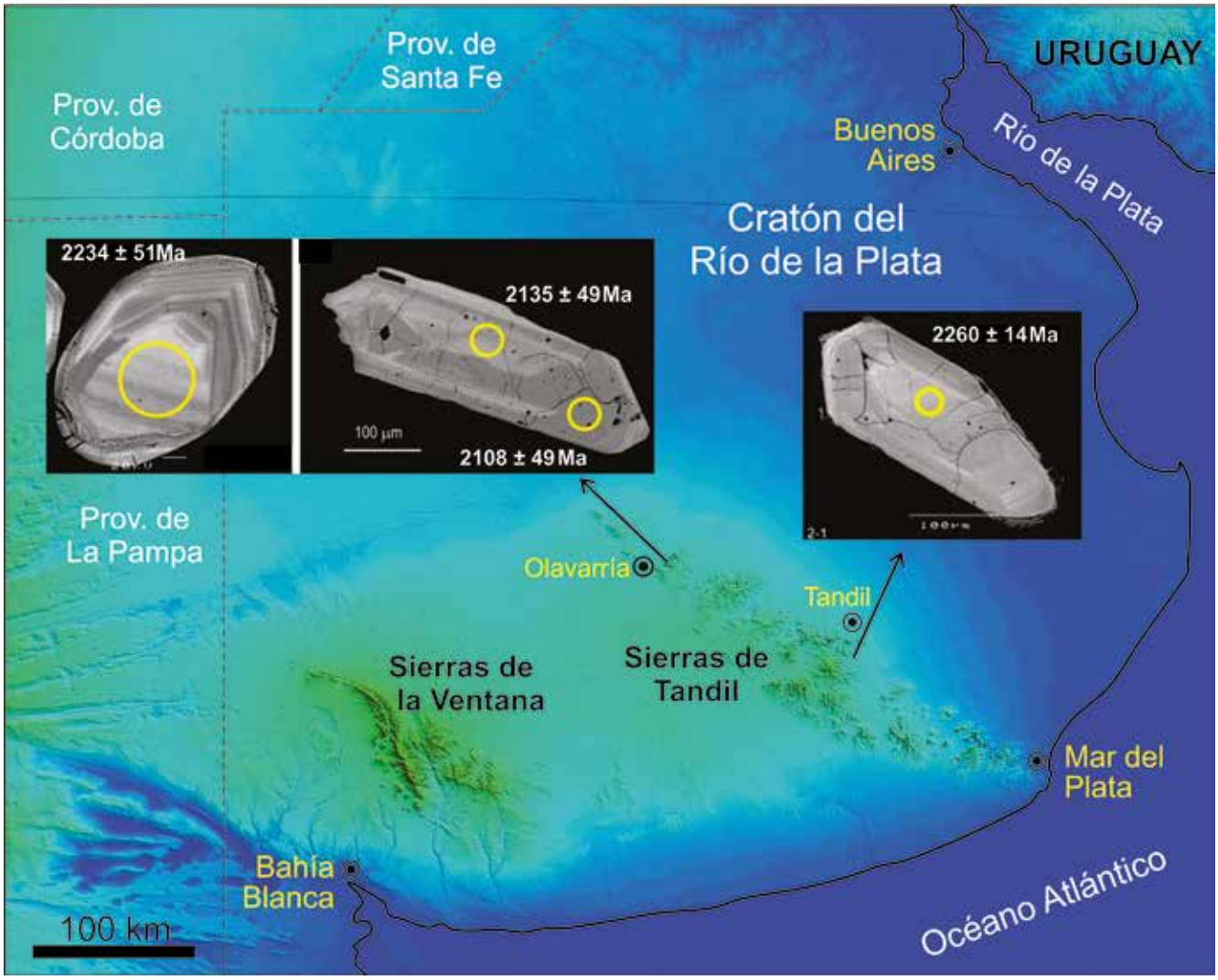


Imagen satelital de la provincia de Buenos Aires donde se muestran las sierras de Tandil y de la Ventana. Además, se agregaron microfotografías de catodoluminiscencia donde se observan cristales de circón datados por U-Pb (SHRIMP), los círculos amarillos muestran el sector analizado dentro del cristal y la edad obtenida (ver Cingolani en 'Lecturas sugeridas').

El mineral más antiguo proveniente de rocas terrestres son los circones detríticos obtenidos de rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados) expuestas en la localidad de Jack Hill en el oeste de Australia. Si bien la edad de la sedimentación es del Eón Arqueano, los circones detríticos incluidos en las areniscas son más antiguos, con edades de 4404 millones de años –midiendo U-Pb con el método SHRIMP–, lo que sugiere que ya existían rocas graníticas en la corteza terrestre que contenían esos cristales. Por otro lado, la roca más antigua analizada es el gneis de Acasta en Canadá que arrojó una edad de 4030 millones de años –usando U-Pb en circón–. En el suroeste de Groenlandia también se han obtenido edades U-Pb en circón de ese orden de magnitud en rocas graníticas.

En la Argentina las rocas más antiguas que se conocen están expuestas en las sierras de Tandil, en el sureste de la provincia de Buenos Aires. Estas rocas conforman el basamento ígneo-metamórfico del cratón del Río de la Plata que se extiende por debajo de gran parte de la provincia de Buenos Aires hasta las sierras de Córdoba bajo los sedimentos modernos de la llanura chaco-paranaense y aflora en la República Oriental del Uruguay. Las sierras de Tandil están formadas por pequeños cerros y sierras que no superan los 500 metros de altura y se elevan sobre la llanura pampeana. Las rocas ígneas y metamórficas están agrupadas en el Complejo Buenos Aires y han sido objeto de estudios geocronológicos en los últimos cincuenta años. Desde las primeras dataciones por los sistemas K-Ar y Rb-Sr se conoce que estas rocas tienen edades entre los 2200 y los 2000 millones de años (Paleoproterozoico inferior). Estos valores fueron confirmados en numerosos trabajos donde se han obtenidos edades U-Pb (SHRIMP) en circo-

nes separados de rocas metamórficas e ígneas, distribuidas desde el extremo noroeste, en la localidad de Olavarría, hasta las inmediaciones de la ciudad de Tandil, en la parte central del cordón serrano.

Consideraciones finales

Las dataciones radiométricas nos permiten establecer que la Tierra se formó hace 4.560 millones de años de acuerdo con las edades determinadas en meteoritos y en rocas de la Luna. Circones detríticos separados de rocas sedimentarias confirman fehacientemente que el planeta ya contaba con una corteza continental sólida hace 4404 millones de años. La roca más antigua que se conoce arrojó una edad U-Pb en circón de 4030 millones de años. En nuestro país las rocas más antiguas, datadas por el método U-Pb, poseen edades en torno a los 2200 millones de años y están en las sierras de Tandil.

Cabe reflexionar sobre la inmensidad del tiempo geológico, medido en miles de millones de años, su relación con el origen de la vida en la Tierra y nuestra historia como especie humana comprendida por los últimos cientos de miles de años. El reconocimiento de la magnitud de la edad de nuestro planeta es considerado uno de los aportes más significativos que ha dado la geología al entendimiento de la naturaleza. CH

Agradecimientos

El autor desea agradecer a los revisores y al cuerpo editorial de la revista por sus contribuciones para mejorar la calidad de este manuscrito. También agradece a los profesores Carlos A Cingolani y Víctor A Ramos la lectura crítica y los comentarios realizados sobre la versión preliminar.

LECTURAS SUGERIDAS

BENEDETTO JL, 2018, *El continente de Gondwana a través del tiempo: una introducción a la geología histórica*, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.

CINGOLANI CA, 2011, 'The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview', *International Journal Earth Sciences*, 100 (2): 221-242.

PATTERSON C, 1956, *Age of meteorites and the Earth. Geochimica et Cosmochimica Acta*, 10 (4): 230-237.

Maximiliano Naipauer
Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Profesor adjunto FCEN-UBA.
Investigador adjunto del Conicet.
Director del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, UBA-Conicet.
maxinaipauer@gl.fcen.uba.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

Crossfit cerebral N.° 8

Matemática, ilusiones y humor

Sumar bien

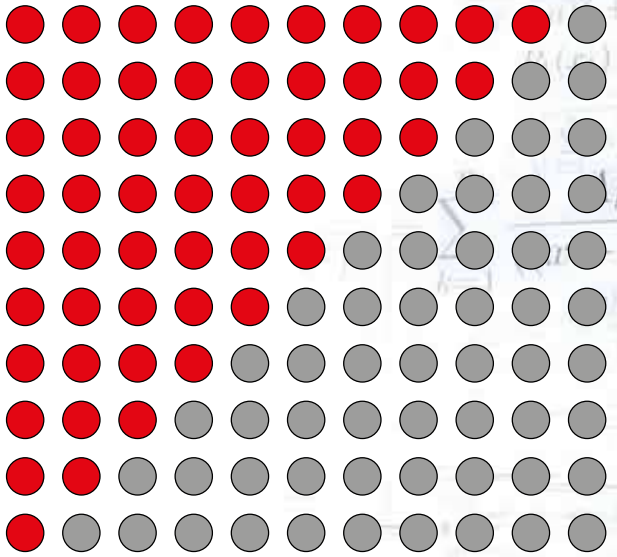
Carl Friedrich Gauss, llamado el *príncipe de los matemáticos*, además de un genio era dueño de un genio difícil de manejar. Desde niño ya era muy inquieto, y cuenta la leyenda que en una clase su docente, para mantenerlo entretenido mientras educaba a los plebeyos, le pidió que sumara todos los números del 1 al 100.

Esperaba así tenerlo ocupado un buen rato, pero el príncipe no tardó nada en darle el resultado: 5050.

Los matemáticos no se destacan necesariamente por hacer rápido las cuentas, sino por hacerlas bien. Con certeza Gauss no llegó al resultado pensando que '1 más 2 es 3, más 3 es 6, más 4 es 10'. ¿Cómo llegó? No tenemos esa certeza, pero bien pudo haber sido pensando en la figura que se ve a la derecha.

Si queremos contar las monedas rojas, en lugar de calcular 1 + 2 + 3 +... + n (en el dibujo n = 10, pero el razonamiento es independiente de esto), podemos contar las rojas más las grises, y luego dividir por dos. Y esto último es más fácil, pues el cuadrado tiene n monedas de alto y n + 1 de ancho, con lo cual la cantidad total es igual a ½ * n * (n+1).

Juguemos a ser príncipes. ¿Cuál es el resultado de $1^2 + 2^2 + 3^2 + ... + 50^2$?



La ilusión de Pinocho: ¿adónde empieza y termina nuestro cuerpo?

En números anteriores hemos compartido ilusiones que permiten experimentar la percepción visual. Hoy nos preguntaremos: ¿cómo percibimos nuestro cuerpo? Para ello, les proponemos hacer la *ilusión de Pinocho*. En esta ilusión, quien la experimenta debe estar con los ojos cerrados y ubicado atrás de una segunda persona. Una tercera persona llevará la mano del primero o primera hacia adelante para tocar la nariz de la segunda persona, mientras le toca su propia nariz de manera sincrónica (*importante*: para que la ilusión funcione bien, los contactos dedo-nariz deben ser simultáneos y sincrónicos).

¿Por qué sentimos que tenemos una nariz larga? Este es un ejemplo de una ilusión sinestésica: o sea, que la información de una modalidad sensorial influye en la percepción de otra modalidad. En este caso confluye información de la modalidad somatosensorial (tacto; en nuestro ejemplo, desde el dedo y la nariz de la primera persona) y propioceptiva (información postural interna, en este caso: de si los músculos están estirados o contraídos). Esta información llega a la corteza somatosensorial, en el cerebro, y se integra para darle sentido al hecho de que sentimos que nos tocamos la nariz con un brazo que se encuentra estirado… por ende, debemos tener una nariz alargada como Pinocho.

¿Qué pasa si repetimos el experimento sin los ojos tapados? Verán entonces que la información visual también contribuye a entender los límites de nuestros cuerpos.

Fronteras

Debo admitir, queridos colegas, que soy extranjero. No solamente en el mundo científico, dado que los humoristas descubrimos lo que ya estaba descubierto, y respecto del sistema 'ensayo y error' estamos más cerca del error que del ensayo.

También soy un extranjero lingüístico, en el punto de que no es que no crea en los neologismos, pero tenía entendido que solamente eran válidos cuando de alguna manera le agregaban un sentido nuevo, digamos, enriquecían, a la lengua. Cierto es que estamos en tiempos donde las riquezas son difíciles de incrementar, pero el uso de algunas palabras como 'influenciar' (en vez de 'influir'), 'recepcionar' (en vez de 'recibir'), 'deletear' (en vez de 'borrar'), 'accesar' (en vez de 'acceder'), 'guglear' (en vez de 'investigar'), 'contagiación' –perlita regalada por una ministra de Educación– (en vez de 'contagio') y otras donde equis, arrobas o signos diversos reemplazan a las otrora reconocibles letras, sin agregarles matiz alguno (o quizá sí, el de volverlas más confusas y quitarles un poquito de la historia), me hacen pensar en que el lenguaje se parece un poquito al capitalismo financiero: si emitimos más palabras para los mismos sentidos, cada palabra vale menos.

Pero quizá se acerque a cierta equidad en la cual cada persona, persono y persone tenga el derecho de crear su propio diccionario; el lenguaje perderá tal vez la posibilidad de comunicarnos, pero también la comunicación es un bien, que no por escaso cotiza en estos tiempos. Se trata de ser visibles, si nadie te escucha, o escuchan cualquier cosa, no importa, en tanto y en cuanto te den un *like*.

Y aquí viene otra: el 'te quiero' o 'te amo' presencial, del siglo XX, fue remplazado por el *like*, virtual, anónimo pero sumamente autosatisfactorio.

Antes lograbas que una persona te ame, y eras feliz si también amabas a una persona, y si era la misma persona, mejor aún. Ahora se trata de conseguir muchísimos *likes*. Los que seguimos creyendo en el amor, cada vez más extranjeros

Luego tenemos la medicina, las ciencias que investigaban, microscopio, estetoscopio o algún otro 'escopio' mediante, lo que nos pasaba a las personas cuando nos enfermábamos, y hacían lo posible por sanarnos. La ciencia proponía una pregunta, y eso era respetado. Proponía, era.

Hoy en día, la autopercepción, por subjetiva que sea, te cura de todo. Y, ya que está, por el mismo precio, te hace sentir como querés sentirte, ser quien quieras ser, como y 'no falta mucho' cuando quieras ser. Así, dentro de poco, con solo desearlo, un jubilado italiano podrá ser Brad Pitt o Angelina Jolie, o, por qué no, los dos juntos en un solo cuerpo, y en la década de 1940, o en las Cruzadas o en Ciudad Gótica.

Hoy en día tampoco hace falta comunicarse. Porque 'ya estamos comunicados'. Todo el tiempo. Para qué llamar entonces a alguien que virtualmente ya está aquí. Le mando un mensaje, y doy por sentado que lo recibió. Y si no, lo mismo da.

Debo reconocer mi condición de extranjero. Nativo y ciudadano del siglo XX. Por eso, permítanme terminar esta columna con un tanguito (que aún no tiene música, pero ya la tendrá) que me propuse componer al respecto, aunque más no fuera para dejar testimonio de mi extranjeritud (y sí, me adapto y yo también creo un neologismo) témporoespacial.

Yo soy del siglo pasado

Yo soy del siglo pasado / de Discépolo y Piazzolla
Del tiempo descamisado / Del flan y la pastafrola
Del amor en los zaguanes / Del cine de Woddy Allen
De los malos alemanes / Del picado en plena calle

Yo soy del siglo pasado / Del amor en rock y tango
Del que nunca ha visto un dólar / De la pizza a cinco mangos
De Perón, del Che, de Mao / De la compu de escritorio
Soy de Control versus Kaos / Del diván y el consultorio

Yo soy del siglo pasado / No me hablen con iniciales
Si no voy, es que no estoy / Yo no soy 'mis avatares'
Yo soy del siglo pasado / Con diecinueve en la fecha
no estaba todo mezclado / había izquierda y derecha

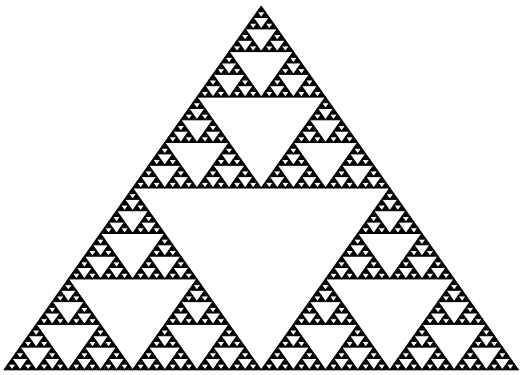
Yo soy del siglo pasado / Había códigos reales
Antes tenías amores / Ahora, vínculos virtuales
Yo soy del siglo pasado / Las cosas tecno me asustan
Antes decías 'te quiero' / Y ahora cliqueás 'me gusta'

Y en este mundo tan raudo / nos hacen sentir culpables
si no tomas los recaudos / pasás a ser descartable
¿De qué planeta venís? / Pregunta un pibe asombrado
Le contesté: Soy de aquí / Pero del siglo pasado

Rudy

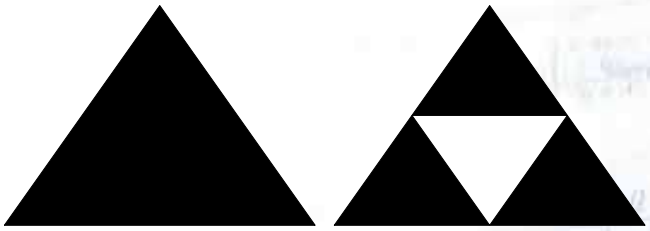
Hasta el infinito y más allá...

En el número anterior hablamos sobre la dimensión del triángulo de Sierpinski, que es un fractal autosemejante que se construye repitiendo infinitas veces una instrucción muy simple: se parte de un triángulo equilátero y se marcan los puntos medios de cada lado. Al unirlos se forma un triángulo central, el cual se elimina. Se repite el proceso en cada uno de los triángulos que quedan, y así hasta el infinito.



Vimos que su dimensión (en un sentido preciso) es un número comprendido entre 1 y 2. Veremos ahora qué relación tiene esto con la medida 'adecuada' para este tipo de objetos matemáticos. Para ello, supongamos que el triángulo de Sierpinski es un terreno que compramos, y que lo queremos cercar con alambre para que nadie entre. Es decir, queremos rodear al objeto 'final' obtenido después del proceso iterativo infinito. En matemática, 'llegar al infinito' se puede pensar como llegar tan lejos como uno quiera, y una forma posible de saber qué pasa luego de dar infinitos pasos es ir analizando qué ocurre en cada uno, encontrar un patrón (si lo hubiera), y deducir de ahí qué pasaría si damos infinitos de estos pasos.

Vayamos por pasos, entonces. Supongamos que la etapa inicial, digamos etapa 0, es un triángulo de perímetro L (en metros) y área A (en metros cuadrados), y que la etapa 1 corresponde a haber eliminado el primer triángulo central en el proceso de construcción. ¿Cuánto alambre necesito para cercar el resultado de la etapa 1? La cuenta es sencilla: en esta etapa hay 3 triángulos, cada uno de lado igual a la mitad del original (así que el perímetro de cada uno es $L/2$). Luego, la cantidad de alambre necesaria para cercar la etapa 1 es $3L/2$ (el triángulo central no pertenece a nuestro terreno, debemos cercarlo para que nadie entre).



Etapa 0 **Etapa 1**

Este comportamiento se repite en cada etapa: cada triángulo negro de la etapa anterior se reemplaza por 3 copias reducidas a la mitad. Así, los metros necesarios de alambre en cada etapa corresponden a 3/2 veces lo de la etapa anterior. Luego, en cada etapa multiplicamos por un número mayor que 1 lo obtenido en la etapa anterior, lo que hace que la cantidad tienda a infinito si lo hacemos infinitas veces.

¿Estaremos, entonces, rodeando mucho terreno? Si el área en la etapa 0 era A, en la siguiente tenemos 3 triángulos negros de área igual a $A/4$ (porque dividimos en 4 triángulos iguales y 'tiramos' uno). Entonces la superficie cercada en la etapa 1 es igual a $3A/4$. Nuevamente esto se repite en cada etapa: cada triángulo negro se reemplaza por 3 de área igual a $A/4$. Luego, en cada etapa el área cercada corresponde a las ¾ partes de la anterior. Esto significa multiplicar por un número menor que 1 una cantidad fija, infinitas veces, lo que hace que la cantidad disminuya en cada paso, hasta llegar a cero.

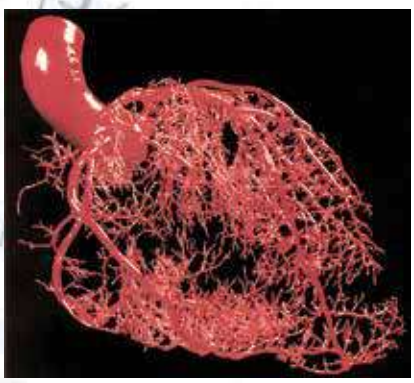
Entonces, si pudiéramos llegar al infinito y pensar en el triángulo de Sierpinski, ¡necesitaríamos infinitos metros de alambre para cercar un terreno con superficie nula! Esto dice, en cierta forma, que es un objeto muy grande para ser unidimensional, pero muy pequeño para ser bidimensional, como esperábamos.

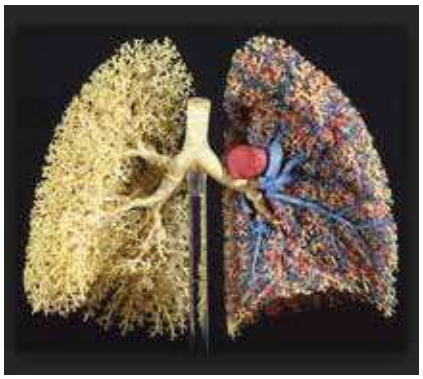
Pregunta: ¿Cuánto alambre se necesita exactamente para cercar el terreno en la etapa n? ¿Qué área queda cercada en esa etapa?

La naturaleza tuvo la misma idea...

En el número anterior también mencionamos que los fractales, al igual que los rectángulos y los segmentos, son objetos puramente matemáticos. Sin embargo, la naturaleza los imita dentro de las escalas que puede, lo que resulta suficiente para beneficiarse de las propiedades de estos objetos. Por supuesto, estas propiedades no son tan extremas como en los fractales auténticos, pero se parecen y sirven.

Por ejemplo, el objeto matemático tiene longitud infinita y área nula, pero el objeto real será uno con longitud muy grande y área muy pequeña. Un ejemplo concreto de esto son las ramificaciones en el cuerpo humano, que logran maximizar longitud minimizando el espacio que ocupan (¡porque todo tiene que entrar en el cuerpo!). Este es el caso de los pulmones, el sistema nervioso y el circulatorio. En este





último, sin entrar en precisiones rigurosas, hay unos 30 niveles de ramificación que logran una longitud total mayor que dos veces la circunferencia de la Tierra.

Además, el algoritmo para construirlos es tan simple como efectivo: crece y bifúrcate. Esta misma instrucción es la que siguen las nervaduras en la hoja de una planta. Si pensamos en objetos de dimensión entre 2 y 3, encontramos fractales que tienen área infinita y volumen cero. En la naturaleza, que es menos exagerada, tenemos objetos con área muy grande y volumen muy chico. Por ejemplo, el cerebro y los intestinos tienen pliegues para incrementar superficie minimizando volumen.

¡Ave César!

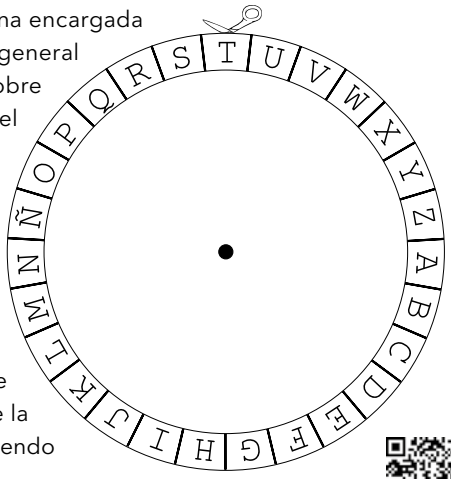
15 GH ODBR GH 2021

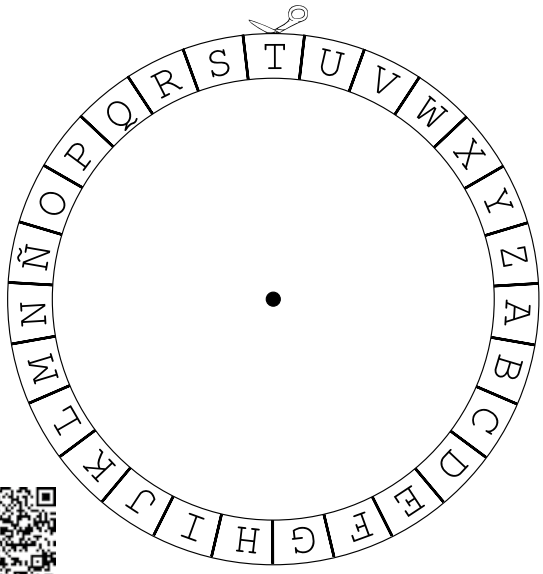
TXHULGD DGD,
PR WH RÑYLGHV GH FROSUDU ÑD FLHPFLD KRB. ÑD SURALOD YLHPH HPFULSWDGD.
FRP DORU, PLQLWD.

Imaginémonos en una cantina romana de hace dos mil años. Una persona encargada de llevar un mensaje de un general a otro se queda dormida sobre la mesa y ahí, aprovechando el descuido, un espía le roba el contenido de su morral.

O no, imaginémonos que, como en una película de espías más actual, una persona se sube con su computadora a un poste en la calle y la enchufa a los cables de internet, y así mira todo lo que la gente de la cuadra está haciendo por internet.

En ambos casos, el espía se encuentra con una carta, o con un e-mail, como el que está arriba. La carta *está encriptada*.



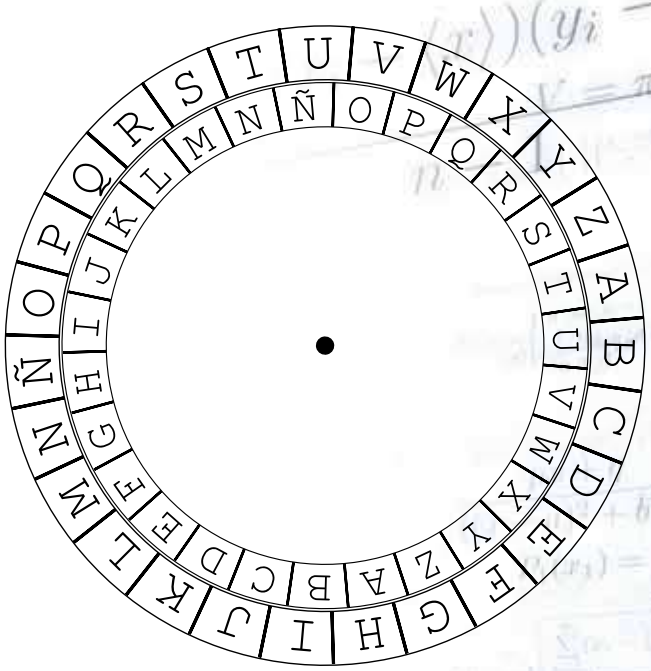


Usa este QR para bajar la imagen y poder imprimirla.

¡Ja! Lo logramos: logramos que el espía no conozca nuestra información. Ahora vamos a ver cómo haría quien recibe el mensaje para *desencriptarlo*.

Les invitamos a un viaje a la nostalgia, a esas revistas que nos ofrecían diversas figuras para recortar y armar. ¡Anímense a recortar, nomás! Y vamos a construir nuestro *dispositivo desencriptador*. Se deben recortar los dos círculos de la figura solo por fuera de ellos, y armarlos centrándolos con un ganchito mariposa, *pin* o alfiler de la forma que indica la figura a la derecha.

Así, ambos círculos podrán girar libremente con el más chico por encima del más grande. Y, ahora, con nuestro dispositivo desencriptador, les invitamos a descifrar el mensaje oculto. Hay que alinear *de la forma correcta* un círculo con otro, y eso nos dirá *qué letra del mensaje (que buscamos en el círculo externo) debe transformarse en cuál otra (que es la que aparece en el círculo interno)*. Solo hay que averiguar *cuánto* debe desfasarse una de la otra…



Corolario

Para que cosas como nuestras contraseñas o nuestros mails y datos privados puedan ir y volver por los cables de internet (y por wifi) sin que nadie que los intercepte pueda entenderlos (aun con una compu enchufada a la red), es necesario *encriptar* todo lo que viaje por la red. Y para eso podemos usar un *mecanismo de encriptación* como el del César, que es como se llama esta forma de encriptar que hoy vimos. Sin embargo, este sistema de encriptación puede ser quebrado fácilmente con la tecnología actual. Por ello, en la actualidad se usan sistemas con la misma idea (una herramienta que nos dice qué se transforma en qué), pero con mecanismos más complejos que nuestros círculos, lo cual las hace más seguras ¡y son prácticamente indescifrables!.

Más información: *https://es.wikipedia.org/wiki/Cifrado_César*

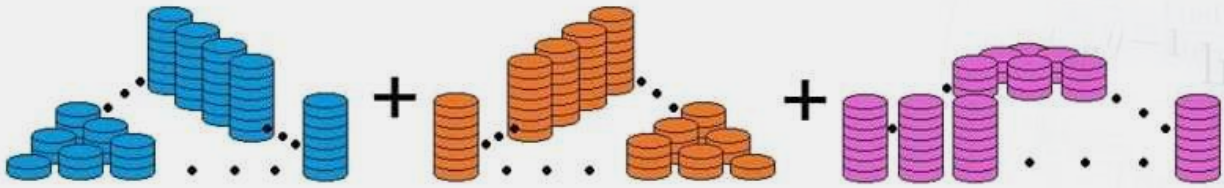
¿Cuál es tu código favorito para encriptar texto?

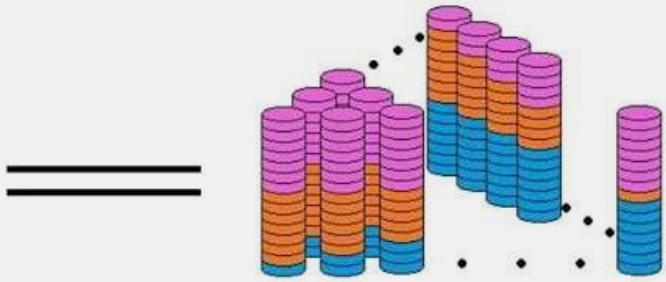
Si querés podés mandarnos tu mensaje encriptado a *contacto@cienciahoy.org.ar*

Soluciones

'Sumar bien'

Así como en el problema de Gauss, según la figura que dimos es más natural calcular el doble de 1 + 2 + 3 +… + n, en este caso resulta natural calcular el triple de $1^2 + 2^2 + 3^2 + \ldots + n^2$. En efecto:





Esta última 'porción de torta' tiene un total de 2n + 1 capas, cada una de la cual tiene (¡gracias a Gauss!) n* (n + 1) / 2 confites. Lo cual nos permite concluir que

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \ldots + n^2 = \tfrac{1}{3}\,\tfrac{1}{2} * (2n + 1) * n * (n + 1)$$

Respuesta a la pregunta de 'Hasta el infinito y más allá'

En la etapa *n* necesitamos $(3/2)^n$ *L* metros de alambre para cercar una superficie de $(3/4)^n$ *A* metros cuadrados.

'Ave César'

Dos pistas, GH = DE en la fecha y ODBR = MAYO (único mes de cuatro letras).

15 DE MAYO DE 2021
QUERIDA ADA,
NO TE OLVIDES DE COMPRAR LA CIENCIA HOY. LA PROXIMA VIENE ENCRIPTADA.
CON AMOR, NIÑITA.

Equipo de la sección 'Matemática, ilusiones y humor'

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

Rudy
Humorista.
marcelorudy10@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***

HUMOR

El carau (*Aramus guarauna*) y el caracolero (*Rostrhamus sociabilis*) se alimentan principalmente de caracoles de agua dulce del género Pomacea. Una larga historia evolutiva cuenta cómo el miembro anterior de las aves pasó de ser una hermosa patita de cinco dedos a un ala emplumada.

Irene Negri
irenitanegrix@gmail.com

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