

CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 30 número 180 junio-julio 2022

www.cienciahoy.org.ar

Nueva sección: Bestiario Los cefalópodos y sus encantos

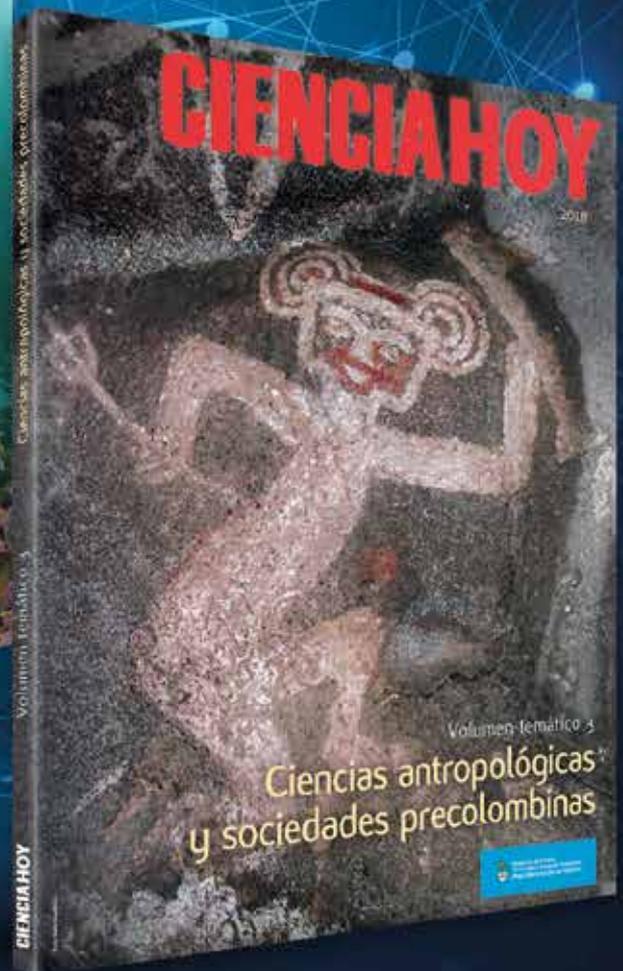
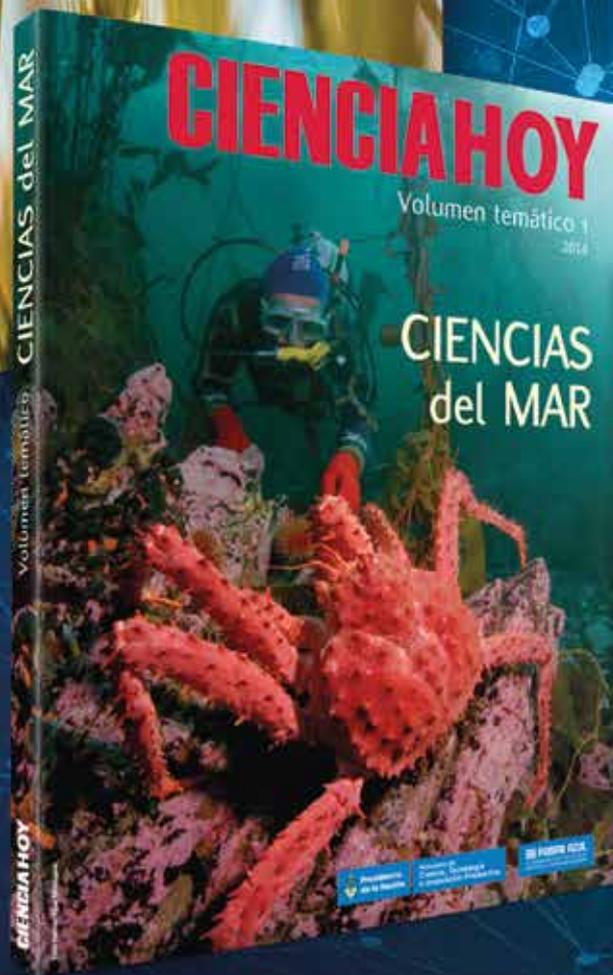
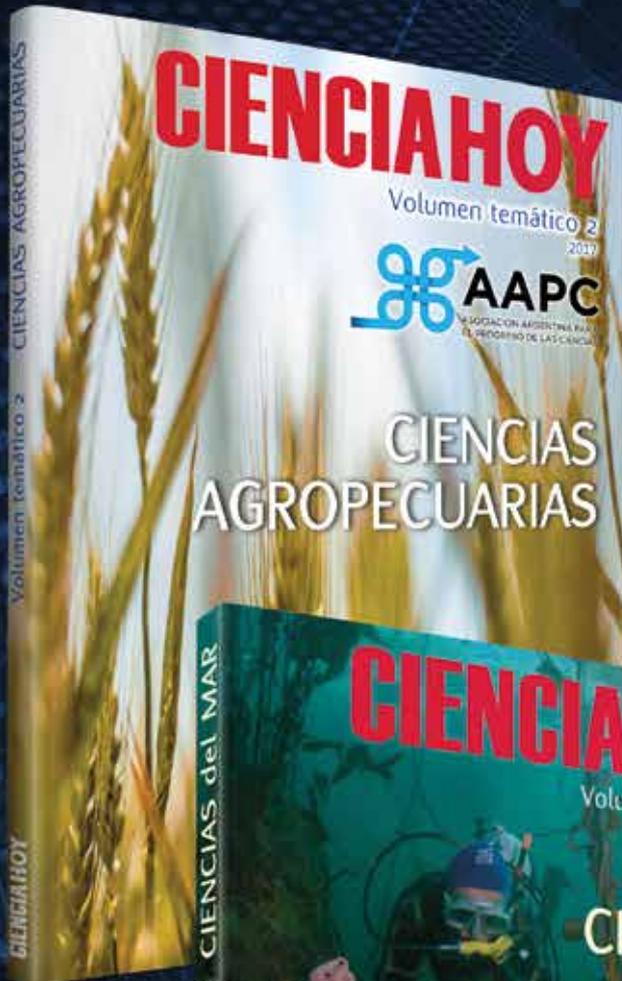


Métodos directos de extracción de litio
Los suelos urbanos

Conocimiento sin reconocimiento
Contraurbanizaciones



CIENCIA HOY CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS



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



@CienciaHoyOK



RevistaCienciaHoy



(+54 911) 4029 6033

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Aníbal Gattone

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

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A (C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel.: (011) 4029 6033

Correo electrónico: contacto@cienciahoj.org.ar

cienciahoj.org.ar

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

Editores responsables

Patricia Ciccioli

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

Federico Coluccio Leskow

Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. Conicet

Cristina Damborenea

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

Alejandro Gangui

Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

Aníbal Gattone

Universidad Nacional de San Martín

Karina V Mariño

Instituto de Biología y Medicina Experimental-Conicet

Mariano I Martínez

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia-Conicet

Santiago Francisco Peña

Departamento de Humanidades y Artes, UNIPE-Conicet

Nicolás Pérez

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

Roberto R Pujana

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia-Conicet

Julia Rubione

Instituto de Investigaciones en Medicina Traslacional. Universidad Austral-Conicet

Consejo científico

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

Secretaría del comité editorial

Paula Blanco

Representante en Bariloche

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

Suscripción digital

ARGENTINA:

Por un año, \$4250

Por dos años, \$7000

EXTRANJERO

Por un año, US\$ 14

Por dos años, US\$ 23

cienciahoj.org.ar/suscripcion/

Diseño y realización editorial

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

Corrección

Mónica Urrestarazu

COMISIÓN DIRECTIVA

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

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

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

ISSN 0327-1218

N° de registro DNDA: en trámite

Sumario



Junio - julio 2022

Volumen 30 - número 180

A MODO DE EDITORIAL

4 La resurrección del mamut, un derroche entre inútil y peligroso

José Emilio Burucúa y Nicolás Kwiatkowski

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

8 Volumen 7, número 38 - 1997

10 Grageas

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

12 Ciencia en tu vida

BESTIARIO

16 Exploraciones naturales e imaginarias del reino animal

Mariano I Martínez y Santiago Francisco Peña

17

BESTIARIO

Los cefalópodos y sus encantos

Augusto C Crespi-Abril

Resumir en pocas páginas los encantos de los cefalópodos es un reto. De todos modos, en este artículo se abordan algunas de las dimensiones

más notables sobre la biología de los cefalópodos, las investigaciones y normativas éticas asociadas a su estudio, su comercialización y su impacto en la cultura.

BESTIARIO

22 Cefalópodos y su genealogía imaginaria: del emblema minoico al monstruoso Kraken

Santiago Francisco Peña

Las dimensiones simbólicas de los cefalópodos tienen una genealogía particular, probablemente atravesada por la idea de criaturas o bien monstruosas y peligrosas o bien simplemente gigantes y majestuosas. Así los encontramos tanto en sus inicios como en la actualidad. Sin embargo, en el camino percibimos que esta historia es menos lineal y predecible de lo que pareciera a simple vista. Este artículo se ocupa de rastrear algunas de las fuentes diversas que contribuyeron a la configuración del imaginario sobre los cefalópodos.

ARTÍCULO

28 Conocimiento sin reconocimiento

Miguel Dimase

Los seres humanos se encuentran comúnmente compelidos por circunstancias sociales, políticas y económicas a decidir y estimar utilizando elementos novedosos y no reconocidos. La heurística —un método práctico que no necesariamente es perfecto, óptimo o racional— puede ayudar a tomar decisiones.

ARTÍCULO

34 Los suelos urbanos: estudio de caso de la región metropolitana de Buenos Aires

Fernando X Pereyra y Deborah B Ragas

Los suelos en zonas urbanas muestran significativos cambios respecto de los suelos naturales. Dichos cambios permiten diferenciar distintos tipos de suelos urbanos productos de las creaciones y modificaciones antrópicas al entorno natural. Su estudio es de suma importancia para comprender los impactos que generan en las múltiples funciones de los suelos (por ejemplo, ciclos de nutrientes, regulación del clima e inundaciones, suministro de alimentos, reservorio de carbono, entre otras). La Región Metropolitana de Buenos Aires presenta claros ejemplos de los distintos tipos de suelos urbanos.

ARTÍCULO

43 Nuevos métodos de extracción directa de litio

Ernesto Julio Calvo

Se escucha mucho hablar del litio y su valor de uso en baterías. Hay un lado comercial del litio que este artículo no toca y una parte científica que se expone prolijamente. El lector va a encontrar descriptos seis mecanismos de extracción directa que desnudan ventajas y desventajas de cada uno. CIENCIA HOY encuentra muy relevante este trabajo de destacados científicos locales y, si bien un tanto técnico, quiere que aparezcan en un medio que no sea el estrictamente científico.

ARTÍCULO

52 Contraurbanizaciones (o cómo vivir en la naturaleza)

Yohana G Jimenez y H Ricardo Grau

Un modelo conceptual con bases empíricas indica que cuando aumentan los ingresos de una población disminuyen las emisiones contaminantes y la extracción de recursos naturales, y aumenta el uso de energías renovables y la valoración de la naturaleza. A esto se le agrega un movimiento migratorio de las grandes urbes hacia lugares naturales pero provistos de educación, salud y servicios. ¿Cuál es el impacto de esa migración y qué consecuencias podría tener en la Argentina? La detección de poblaciones asilvestradas de colza transgénica en la provincia de Buenos Aires motivó la investigación sobre su origen y sobre la transferencia de ese carácter a la maleza nabo silvestre.

59 ILUSIONES Y JUEGOS MATEMÁTICOS *Crossfit cerebral N.º 12*

62 Índice del volumen 30

La resurrección del mamut, un derroche entre inútil y peligroso

En los últimos meses, se tuvo noticia de que un equipo de científicos había obtenido financiamiento para intentar recrear, mediante la manipulación genética, el mamut lanudo (*Mammuthus primigenius*). Se trata de una especie adaptada a los climas fríos de Siberia y Alaska, que llegó a convivir con los seres humanos y se habría extinguido hace unos 10.000 años, aunque poblaciones aisladas sobrevivieron en la isla de Wrangel, en el océano Ártico, hasta hace unos 4.000 años. Sabemos que los humanos cazaban a los mamuts, se alimentaban de su carne, construían refugios con sus huesos, esculpían su marfil y, también, los pintaban en sus cuevas. Entre los más bellos ejemplos de esas artes se cuenta la llamada Venus de Brassempouy, de unos 25.000 años de antigüedad, hoy conservada en el Museo Nacional de Arqueología de Francia, en Saint-Germain-en-Laye.

No sabemos con seguridad —quizá nunca podamos saberlo— si la causa de la extinción fue la caza excesiva, un proceso de cambio climático que implicó una reducción de los hábitats del mamut o una combinación de esos y otros factores. En cualquier caso, el hecho de que vivieran en climas fríos y muchos de sus cadáveres quedaran enterrados en el permafrost permitió recuperar sus restos: el marfil de mamut ruso se comercializaba en Europa occidental al menos desde el siglo XVII; algo más tarde se recobraron ejemplares completos, que se exhiben en diversos museos, de San Petersburgo a Viena y la Columbia Británica. También, por supuesto, esos fragmentos fueron estudiados con gran interés ya desde el siglo XVIII por naturalistas (Georges Cuvier entre ellos) y otros científicos, hasta los actuales análisis de ADN que permiten avizorar una posible ‘desextinción’ de la especie.

Un mapa bastante acabado del genoma del mamut se completó ya en 2015, en un estudio publicado en *Current Biology* ([dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.04.007](https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.04.007)). Desde ese mismo año se intenta utilizar la técnica de edición

genética CRISPR/Cas9, consistente en introducir parte del código genético del mamut en el genoma de elefantes asiáticos, en particular aquellos genes que permiten una mejor adaptación al frío (Sarah Fecht, *Popular Science*, 25-3-2015). El objetivo final sería (¿re?)introducir a la nueva criatura en un ‘parque del Pleistoceno’, ubicado en el área del río Kolyma, en el noreste de Siberia, para recrear el ecosistema de la estepa subártica. Paralelamente, en 2019, un grupo de investigadores transfirió núcleos de células de un ejemplar juvenil desenterrado en Siberia a ovocitos de ratón (doi.org/10.1038/s41598-019-40546-1).

El equipo de George Church, profesor de genética en la Universidad de Harvard, también trabaja en el proyecto hace un lustro. Fueron ellos quienes, en 2015, lograron insertar ADN de los restos congelados de un mamut en células de un elefante vivo, mediante la técnica CRISPR (Bob Webster, en *The Times*, 23-3-2015). En 2019 un empresario del sector tecnológico, Ben Lamm, decidió financiar el proyecto de Church y juntos crearon la empresa Colossal, con el objetivo de acercarse a la producción de ejemplares vivos de mamut: Lamm es el CEO de la compañía y ya obtuvieron 15 millones de dólares de financiamiento. Church cree que podrían producir una primera cría en unos seis o doce años, Lamm aspira a ‘apalancar’ esa tecnología para impulsar ‘una conservación disruptiva’. La compañía creada por ambos busca obtener ganancias de todo el proceso. Cuentan también con otros inversores, entre ellos Richard Garriott, quien acaba de gastar 30 de sus millones para viajar al espacio como turista y aprecia, al mismo tiempo, las posibilidades comerciales de la ‘biología sintética’, esto es, el rediseño de organismos para ‘propósitos específicos’, entre ellos la ‘creación de nuevas formas de vida’ (Catherine Clifford, en *CNBC*, 13-9-2021). Por supuesto, la compañía sostiene que sus objetivos son filantrópicos: la reconstrucción del ecosistema siberiano, mamuts incluidos, podría contribuir a evitar que el metano y el



'Lyuba', cría de mamut momificada hallada en 2007 en Siberia, Rusia, en excepcional estado de conservación. Foto Wikimedia Commons / Ruth Hartnup

carbono almacenados en la tundra se liberaran y aceleraran el calentamiento global (Laura de Francesco, en *Nature Biotechnology*, 39, 7-10-2021). No es necesario poner en duda esas altas miras para encontrar un problema con el argumento: sin necesidad de intentar traer a la vida ejemplares de una especie extinguida, ya se busca lo mismo con otras existentes, como los bisontes.

Las posibles consecuencias éticas de un emprendimiento del tipo se han discutido largamente. Yasha Rohwer, por ejemplo, planteó que el intento no puede justificarse por una obligación moral con la especie extinguida, con la preservación ambiental o con organismos individuales en ecosistemas sin mamuts, aunque quizá podría considerarse moralmente admisible a partir de los beneficios que podría aportar a los humanos, por ejemplo, gracias a un mayor conocimiento científico o porque el contacto con animales extinguidos podría inspirarnos placer o reverencia (doi.org/10.1080/21550085.2018.1448043); Rohwer emplea el término *awe*, de difícil traducción, con sentidos que se asocian no solo con la 'reverencia', sino también con la 'sujeción' y el 'terror', tema sobre el que Carlo Ginzburg ha escrito páginas iluminadoras (*Miedo, reverencia y terror*, Prohistoria, Rosario, 2019). También se

ha cuestionado el problema ético de usar elefantas asiáticas como madres sustitutas en el proceso de hibridación, que las pondría en gran riesgo, con una alta posibilidad de que muy pocos embriones sobrevivan y se produzca una enorme incertidumbre respecto de la relación entre madre elefante y cría mamut (doi.org/10.1007%2F978-1-4939-0820-2_19). Esto no sería un problema para el proyecto de Colossal, pues planean hacer crecer los embriones en bolsas plásticas. Pero eso representa dilemas éticos adicionales: la relación entre madres y crías es fundamental entre los elefantes que conocemos, incubar un mamut en una bolsa de plástico y traerlo al mundo sin madre implica el peligro de gestar animales que no sepan cómo conducirse. Entre los elefantes africanos, por ejemplo, se ha registrado el comportamiento violento (hacia sus congéneres y hacia otras especies) y anómalo de ejemplares juveniles que perdieron a sus madres a manos de cazadores furtivos (Charles Siebert, en *The New York Times*, 8-10-2006). La naturaleza gregaria de los mamuts hace que la producción de unos pocos ejemplares no sea suficiente para augurar buenas perspectivas de éxito y supervivencia de una población, pues serían necesarias grandes manadas, costosísimas de producir y

mantener. Por otra parte, se ha señalado que el hábitat disponible para las nuevas posibles criaturas es pequeño y está en un proceso de reducción, de manera que no quedarían muchas posibilidades para su desarrollo exitoso, a menos que se dediquen crecientes esfuerzos a la protección de esos ecosistemas, algo que ya se muestra problemático en relación con las especies de proboscídeos que todavía sobreviven en Asia y en África (Carl Zimmer, en *The New York Times*, 13-9-2021).

La mayoría de los artículos periodísticos que encontraron alguna señal de alarma en la iniciativa mencionaron alguna ficción distópica que podría compararse con esta circunstancia. La más obvia de ellas es *Jurassic Park*, la novela del Michael Crichton llevada al cine por Steven Spielberg en 1995, con Richard Attenborough en el papel de los actuales integrantes de Colossal y Jeff Goldblum en el de un matemático preocupado por las consecuencias no deseadas de una manipulación tan riesgosa. Podríamos igualmente recordar *Doctor Rat*, novela escrita en 1976 por William Kotzwinkle, en la que todos los animales del planeta se rebelan contra la humanidad y el protagonista del título, criado en el laboratorio, representa un papel perturbador. Quizá podría agregarse un ejemplo más reciente. En *Elefant* (2017), traducida a otros idiomas como *Criaturas luminosas*, Martin Suter se ocupó de las posibles consecuencias de la experimentación genética con animales en laboratorio y de las crecientes desigualdades que asfixian al mundo contemporáneo. La historia es la de una empresa que intenta producir un elefante bioluminiscente a partir de la modificación del ADN; tiene éxito, pero todo desata una serie de aventuras protagonizadas por el animalito, los inversionistas, un veterinario, el mahout de la madre (elefanta de circo), un mendigo que había sido antes banquero y varios otros personajes desdichados o malévolos. La trama de muerte y codicia, sumada a la debilidad congénita del pobre animalito, que muere joven, si bien protegido de los poderosos por sus salvadores, generosos e idealistas, es una bella advertencia.

Por supuesto, los miembros del proyecto desestiman estas críticas. Un becario posdoctoral que está a punto de sumarse a Colossal sostuvo hace poco que no ve un problema ético con la utilización de estas técnicas, incluso si se las aplicara para ‘intervenir el genoma humano’: ‘Si la meta es la conservación, el mantenimiento de los ecosistemas, el aumento de la diversidad, no veo ningún problema ético en volver a la vida a un animal’, sostuvo (Pablo Esteban, en *Página 12*, 28-11-2021). Bastaría, para evitar cualquier inconveniente, un ‘uso ético de las nuevas tecnologías’. Resulta difícil compartir ese optimismo algo ingenuo. Aunque haya quienes reniegan del progreso científico, no es ese el argumento que aquí se defiende: parece incuestionable, hoy quizá más que nun-

ca, que el descubrimiento de las vacunas, la analgesia y la penicilina ha mejorado la vida (de los seres humanos, sin duda; y tal vez de otros animales). Pero eso no es todo. En cualquier proyecto de intervención en el mundo, sea social o natural, existe la posibilidad de que se produzcan consecuencias no deseadas, incluso si los objetivos son los más puros y los métodos se cuentan entre los más probados. Intervenir en el genoma de una especie con el de otra extinguida para intentar, primero, producir nuevos individuos, luego repoblar un ecosistema del que la población original falta hace milenios y, finalmente, usar las técnicas aprendidas para intervenir el genoma humano enciende todas esas alarmas. ¿Qué pasaría si el primer paso fuera exitoso y el segundo pusiera el ecosistema en peligro de una destrucción mayor? ¿Procederíamos a aniquilar a la población que nosotros mismos hemos creado? ¿Y si los dos primeros fueran exitosos pero la manipulación del genoma humano terminara por producir seres que alguien considerara ‘problemáticos’ o ‘inferiores’? ¿Estaríamos entonces dispuestos a justificar qué curso de acción? ¿El de su eliminación? ¿El de su sometimiento?

En el sexto capítulo de su bello libro *Conocimiento prohibido*, publicado en 1996, Roger Shattuck se planteó el dilema de los límites de la indagación científica, justamente en relación con la manipulación genética de seres humanos. Su conclusión es que la ciencia como disciplina nunca podrá pensar o ser responsable por sí misma, porque la responsabilidad y el pensamiento son obra de las personas. Shattuck propone la prudencia frente a estos dilemas y, quizá, un juramento semejante al *primum non nocere* hipocrático. Un cuarto de siglo después de la aparición de su libro, cuando varios sistemas legales han asignado a los animales la categoría de ‘personas no humanas’, nos preguntamos si esas precauciones no deberían extenderse también a ellos. En el caso que presentamos aquí, creemos que la única forma de evitar los peligros antes mencionados es no emprender el proyecto, por más puros que sean los objetivos iniciales. Como la posibilidad de la ganancia estimula imaginaciones febriles, es probable que otros, sin aquellas metas benéficas, busquen concretarlo de todas maneras. Tal vez no deberíamos demorar mucho tiempo un debate sobre la posibilidad de regular estrictamente pesquisas de este tipo, hasta el punto de considerar prohibirlas. 

José Emilio Burucúa

Academia Nacional de la Historia

Nicolás Kwiatkowski

Conicet-UNSAM

Hacé tu suscripción digital a **CIENCIAHOY**

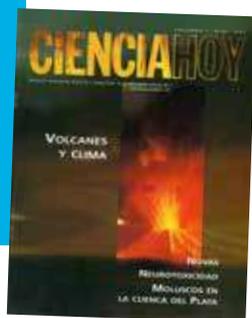
Con tu suscripción digital por un año (6 ejemplares) o por 2 años (12 ejemplares) tendrás acceso a todo el material anterior editado por CIENCIA HOY.

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!



**HACE
25
AÑOS**
en CIENCIA HOY



ESTRELLAS NOVAS

PEDRO SAIZAR

Las novas son estrellas binarias en las que ocurren procesos cataclísmicos de carácter termonuclear que emiten al espacio enormes cantidades de energía luminosa y de elementos químicos como aluminio.

Martín Ortega indica que corría el año 134 aC cuando Hiparco observó una estrella nueva en la constelación de Escorpio, *Nova Scorpii*. Actualmente, se sabe que las novas no son estrellas nuevas. Su aparición repentina en el cielo se produce por un incremento transitorio en el brillo de una estrella ya existente. El fenómeno está asociado a sistemas binarios en los que una enana blanca recibe masa de su estrella compañera iniciándose así reacciones de fusión nuclear en su superficie.

El estudio de las novas parecía un campo de investigación moribundo, hasta que hace unos pocos años se detectó por primera vez emisión de rayos gamma hacia una nova galáctica, *V407 Cyg*. Este descubrimiento produjo un cambio de paradigma en nuestra comprensión del fenómeno. Las novas eran eficientes aceleradores de partículas y sus luminosidades podían estar dominadas por interacciones de choque, en lugar de la fusión nuclear.

EL MUSEO SOY YO

IRINA PODGORNÝ

Un experimento fallido de modernización que fue parte del proceso constitutivo de un país en el que coexistían incómodamente las categorías sarmientinas de *civilización y barbarie*.



INVASORES DE LA CUENCA DEL PLATA

GUSTAVO A DARRIGRAN

Moluscos asiáticos se han instalado en el Río de la Plata y comienzan a extenderse a su cuenca. El desconocimiento de la biología de estos animales exóticos impide prever y prevenir las consecuencias de su diseminación.

‘Si continúan extendiéndose en forma rápida y sin control [...] la falta de conciencia por parte de la sociedad [...] hace temer por el impacto que podrían sufrir el ambiente natural y el humano.’ Esta es la frase final del artículo de CIENCIA HOY (7, 38), de hace veinticinco años, sobre la presencia de dos bivalvos invasores asiáticos (*Corbicula fluminea* o almeja asiática y *Limnoperna fortunei* o mejillón dorado) hallados por primera vez para América del Sur, en la costa rioplatense, Argentina.

En la actualidad el autor indica que se avanzó en el conocimiento sobre su biología y efectos ambientales que producen; pero la dispersión y el impacto de estas dos especies continúan sin control.

La mirada disciplinar de hoy percibe la omisión de actividades significativas para prevenir o controlar a estas especies invasoras, como lo evidencia la dispersión de *C. fluminea* desde Venezuela hasta la Patagonia (río Chubut) y *L. fortunei* a solo 1600km del Amazonas.

CIENTÍFICOS/AS

MIGUEL DE ASÚA

Percepciones sociales del científico que se desprenden de pinturas, grabados, caricaturas e historietas compiladas con un criterio que oscila entre la vaga cronología y los gustos del autor, empecinado discurso curioso del discurso visual de la ciencia.



LOS VOLCANES AFECTAN EL CLIMA DEL PLANETA

LUIZ CARLOS BALDICERO MOLION

Las erupciones de los volcanes diseminan en la atmósfera enormes cantidades de sustancias químicas que pueden tener marcados efectos sobre el clima de la Tierra.

Mariano Augusto indica que las erupciones volcánicas tienen influencias sobre el clima. Los efectos pueden ser los siguientes: a) de enfriamiento, debido al efecto sombra generado por las cenizas y/o los aerosoles formados por la interacción de los gases con la atmósfera, o b) de contribución al calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂.

En los últimos veinticinco años, se ha descartado la posibilidad de que las emisiones volcánicas en la actualidad estuvieran contribuyendo de manera significativa al calentamiento global. Se ha determinado que las erupciones producen alrededor de 110 millones de toneladas de CO₂ cada año, mientras que las emisiones de CO₂ antropogénicas superan entre 1000 y 10.000 veces este valor. Contrariamente, estudios recientes indican que el cambio climático afectaría la forma en que las erupciones volcánicas interactúan con la atmósfera y cómo impactan en el clima.

Se considera que el calentamiento global hará que las columnas de grandes erupciones se eleven más, lo que resulta en un enfriamiento amplificado de hasta 15 % en las latitudes de afectación y por tiempos de hasta tres años. Por otro lado, para el caso de erupciones menores, el efecto se reducirá en aproximadamente 75%, con impactos climáticos relativamente inferiores y mucho más localizados.

ESTUDIOS SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

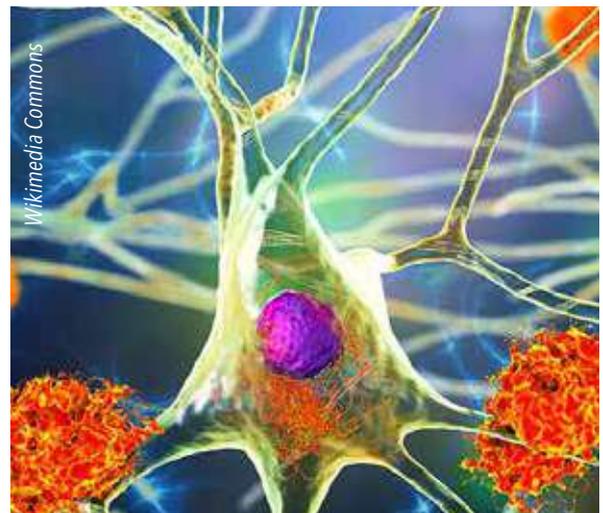
HÉCTOR CIAPUSCIO

La sociología de la ciencia y la tecnología, los estudios sobre el papel de estas en la cultura contemporánea y su planificación y gestión constituyen materia de programas académicos en universidades latinoamericanas y del hemisferio norte.

SECTOR EXTERNO Y DESARROLLO REGIONAL EN LA ARGENTINA

CARLOS NEWLAND

En el siglo XIX, la economía argentina evidenció un importante crecimiento sustentado en la venta de productos primarios —principalmente ganaderos— en el mercado mundial, lo que generó desigualdades en el desarrollo regional.



NEUROTOXICIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA NERVIOSO

ANA MARÍA EVANGELISTA DE DUFFARD

Técnicas que se utilizan para evaluar la alteración de las funciones sensoriales en animales expuestos a sustancias químicas tóxicas.





¿La hibernación nos llevará al espacio? ¿Por qué los osos hibernan?

La hibernación es un estado en el cual el costo energético de existir, en un mamífero, disminuye a punto tal que abandona el control de la temperatura corporal, para hacer frente a condiciones ambientales adversas, tales como el frío o la escasez de alimentos. Históricamente, se ha relacionado este fenómeno con especies que habitan en el hemisferio norte, cerca del Ártico, como los osos pardos. Sin embargo, no son pocas las especies hibernantes que viven en nuestro hemisferio. Un ejemplo de hibernante austral es el monito del monte (*Dromiciops gliroides* y *D. bozinovici*), un marsupial que habita los bosques templados del sur de Chile y Argentina, y que es capaz de alcanzar temperaturas corporales bajo cero ($-0,2^{\circ}\text{C}$) y permanecer en hibernación durante doce días seguidos, llegando a reducir hasta 96% su metabolismo en comparación con sus períodos de actividad.

Desde larga data, los científicos e ingenieros de las agencias espaciales se han preguntado si este fenómeno permitiría reducir los costos, los tiempos de viaje y las complejidades de los viajes espaciales de larga duración. Si los humanos tuviéramos la capacidad de hibernar de un monito del monte, un astronauta de 70kg, que consume 3000kcal, reduciría su costo energético a 120kcal. En otras palabras, el consumo energético de cincuenta astronautas hibernantes equivaldría al de uno solo en actividad normal. Sin embargo, los niveles de ahorro energético que logran los monitos del monte son exclusivos de pequeños animales. Para ellos es muy costoso energéticamente mantener una temperatura corporal constante a bajas temperaturas ambientales, debido a su gran proporción de superficie respecto del volumen. Por ello en estos animales la hibernación es una poderoso-

sa estrategia de ahorro energético y no parece ser, por el momento, una oportunidad viable para viajes espaciales.

No obstante, existe una gran excepción: los osos. Estos carnívoros pueden llegar a pesar hasta 400kg, como el oso pardo (*Ursus arctos*), que es capaz de hibernar desde semanas hasta meses. Sin embargo, si se compara el gasto energético en hibernación con el metabolismo basal predicho (es decir, lo que consume cuando está durmiendo), el ahorro energético se hace casi cero en animales de 75kg (similar al de un oso negro; *Ursus americanus*), lo que implica que para estos animales incluso parecería más costoso hibernar que estar en reposo. Esto hace que sea paradójico el hecho de que animales como los osos hibernen. Estos animales no se alimentan, orinan ni defecan durante los 4-6 meses que dura su hibernación, período que coincide con la gesta-



Izquierda. Monitos del monte comenzando hibernación en grupo dentro de un nido construido con musgos y quila (*Chusquea quila*). Foto Roberto F Nespolo. **Derecha.** Crías de oso negro (*Ursus americanus*) junto a su madre hibernando en madriguera. Foto North American Bear Center



Astronauta de la Agencia Espacial Europea (ESA) llevando a cabo experimento de hibernación en la Estación Espacial Internacional (ISS). Foto ESA.

ción y el crecimiento de los cachorros, lo que representa un enorme desafío energético para la madre, quien consume sus proteínas en tejido magro para alimentar a sus crías. De esta manera, la renovación de proteínas es importante para la sobrevivencia, por lo que se postula que los osos hibernan para ahorrarlas y priorizar este recurso para su descendencia. En ese sentido, sería más ventajoso cerrar la llave del control eutérmico (es decir, reducir su metabolismo) de la temperatura corporal que utiliza tejido muscular, para que esté

disponible como fuente de nitrógeno para las crías con el fin de que sintetizen sus proteínas para crecer y desarrollarse durante el período invernal, en el que la oferta de alimento en el entorno es escasa.

Esta es tan solo una explicación al hecho de que teóricamente no se pueda calcular, para animales del tamaño de los osos, un ahorro energético neto de la hibernación.

En general, sin duda los hibernantes naturales son animales fascinantes que logran adaptarse a condiciones

adversas y que aún esconden muchos secretos. Se piensa que diversos mecanismos moleculares que protegen los tejidos de los hibernantes podrían ser utilizados para aumentar la probabilidad de éxito de trasplantes de órganos, o en cirugías complicadas que requieren inducir una depresión metabólica a las células. Por lo tanto, es importante continuar estudiándolos y protegiéndolos, pues quién sabe si el secreto para lograr viajar por el espacio esté escondido en nuestros hibernantes nativos. 

Carlos Mejías

carlos.mejias,molina@alumnos.uach.cl

Tamara Abarzúa

tamara.estay@uc.cl

Roberto F Nespolo

robertonespolo@uach.cl

Más información en CHOUKÈR A, BEREITER-HAHN J, SINGER D & HELDMAIER G, 2019, 'Hibernating astronauts-science or fiction?', *Pflugers Archive. European Journal of Physiology*, 471 (6): 819-828, doi.org/10.1007/s00424-018-2244-7, y en LÓPEZ-ALFARO C, ROBBINS CT, ZEDROSSER A & NIELSEN SE, 2013, 'Energetics of hibernation and reproductive trade-offs in brown bears', *Ecological Modelling*, 270: 1-10, [doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.09.002)

NOTICIAS INSTITUCIONALES

El CONICET subió 54 posiciones y se ubica en el puesto 141 a nivel global entre más de 8.000 instituciones académicas, científicas y gubernamentales dedicadas a la investigación

Además, de acuerdo con el ranking SCImago 2022, en la categoría de organismos gubernamentales centrados en la investigación científica el Consejo quedó en el puesto 17 entre 1.745 organismos de todo el mundo. Asimismo, continúa en la primera posición como la mejor institución gubernamental de ciencia de Latinoamérica. El actual posicionamiento del CONICET es el mejor que se registra desde que comenzó dicho ranking en 2009.

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) escaló 54 posiciones en el ranking SCImago 2022 y se ubicó en el puesto 141 entre 8.084 instituciones académicas, científicas y gubernamentales a nivel global dedicadas a la investigación. De esa manera, subió 54 posiciones respecto del ranking anterior, correspondiente al año 2021, que lo ubicaba en el puesto 195. Además, ascendió al puesto 17 en el *SCImago Institutions Ranking (SIR)* 2022, que mide la evolución de 1.745 instituciones gubernamentales centradas en la investigación a nivel global. Asimismo, mantiene la primera posición como la mejor institución gubernamental de ciencia de Latinoamérica.

La presidenta del CONICET, Ana Franchi, expresó: “Estamos muy contentos y contentas, es el producto del trabajo y esfuerzo de nuestros investigadores e investigadoras, becarios y becarias, del personal técnico y administrativo. Seguimos primeros como institución gubernamental de ciencia y técnica en Latinoamérica, hemos ascendido 54 posiciones para llegar al puesto 141 del ranking global entre más de 8.000 instituciones y universidades en todo el mundo, todo constituye la mejor posición del CONICET desde que comenzó el ranking. Para nosotros y nosotras es un gran motivo de alegría y orgullo”.

“Esto es un reconocimiento para toda la comunidad del CONICET que trabaja en todo el

país y un motivo de orgullo para toda nuestra sociedad. Porque estamos presentes en todas las provincias, y algo muy importante también, es que las temáticas que se investigan incluyen a todas las disciplinas científicas”, destacó Franchi. Y sostuvo: “Tenemos un fuerte compromiso para que el CONICET continúe -y cada vez más- realizando ciencia de calidad, excelencia y de vanguardia a nivel internacional, con el foco en que esté siempre al servicio de la sociedad para mejorar su calidad de vida y sumar al desarrollo del país”.

Por su parte, el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación, Daniel Filmus, expresó: “El prestigio del CONICET a nivel global y regional es el reflejo de todos los esfuerzos que han hecho nuestras y nuestros científicos y que van a impactar, sin lugar a dudas, a corto, mediano y largo plazo, como lo están haciendo los barbijos con tecnología y los kits serológicos, y como lo hará la primera vacuna nacional contra el COVID-19, ‘ARVAC Cecilia Grierson’, por ejemplo.

Y agregó: “Cuando asumimos en el 2019 no había Ministerio de Ciencia y Tecnología, se había degradado. El salario de las y los investi-

gadores había caído de un 40% a un 37%. La comunidad científica se iba del país, el presupuesto del CONICET no aumentaba. Era un panorama realmente desolador. Sin embargo, hoy podemos decir con orgullo que tenemos un récord de investigadores en el CONICET. El año pasado hemos incorporado 820 nuevas y nuevos científicos, porque apostamos constantemente a la reivindicación de esta vocación mediante distintas políticas. A través del Estado, estamos poniendo de pie nuevamente a la ciencia en la Argentina”.

Entre los criterios de medición, Scimago considera como factor más relevante lo relacionado a la Investigación, que se basa en el total de publicaciones, el factor de impacto, el liderazgo científico adquirido a nivel institucional, la colaboración internacional, la calidad de las publicaciones (Q1 a Q4) y el porcentaje de documentos publicados en revistas de Acceso Abierto, entre otras variables, y que en su conjunto tienen una valoración del 50%.

El siguiente factor más ponderado se relaciona con la Innovación, en particular mide el conocimiento innovador y el impacto tecnoló-

SCImago Institutions Ranking es un ranking de instituciones de educación superior y centros de investigación que se realiza desde 2009, enteramente centrado en la investigación, utilizando como fuente la base de datos científica Scopus.

El proceso de medición se realiza a partir de 17 indicadores, que miden el impacto normalizado de la producción científica, la excelencia medida en función de la publicación en los que la institución es el principal contribuyente, el total de publicaciones realizadas en el período, el liderazgo científico adquirido a nivel institucional, la colaboración internacional y el porcentaje de documentos publicados en revistas Acceso Abierto.

Según establece en sus políticas, el objetivo principal que persigue este ranking es el de contribuir a la toma de decisiones, al desarrollo de políticas públicas e institucionales y al establecimiento de hojas de ruta para el impulso la actividad investigadora y mejora continua de las instituciones.

gico valorados en un 30% del total de las mediciones. En último lugar y con un 20% de ponderación se encuentra el Factor Social que reúne indicadores relacionados a las menciones de la producción científico tecnológica realizadas en las Redes Sociales (almétricas o métricas alternativas), la cantidad de páginas asociadas a la web del organismo (tamaño web) y la cantidad de enlaces entrantes al dominio CONICET (vínculos al dominio).

El Factor de Innovación ha sido en esta edición del Ranking el que más se ha destacado el CONICET subiendo 80 lugares respecto a la medición anterior, al pasar del puesto 442 al 362. El siguiente Factor de Crecimiento lo obtuvo de las menciones en redes sociales, tamaño web y enlaces al sitio del CONICET, avanzando 13 posiciones respecto a la edición anterior del SIR. En cuanto a la variable de Investigación, el cre-



cimiento fue de 10 posiciones, pasando del puesto 86 al 76.

En conclusión, el actual posicionamiento del CONICET en el Ranking Scimago 2022, es el mejor lugar, desde el origen de las mediciones del SRI (2009).

Cabe destacar que entre las 8.084 instituciones y que ubica al CONICET en el puesto 141, en el puesto número uno del ranking SCImago se ubicó, una vez más, la Academia de Ciencias de China. ■

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Paleontólogos descubren a Maip: el enorme depredador carnívoro que fue uno de los últimos dinosaurios antes de la extinción

El hallazgo de los científicos del CONICET fue publicado en Scientific Reports.

Un equipo de científicos del CONICET del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” (MACN) descubrió, en la provincia de Santa Cruz, los huesos del megaraptorido más grande conocido hasta el momento. Se estima que este ejemplar carnívoro, en cuyo hallazgo participaron además dos paleontólogos de Japón, habría vivido en la Patagonia en la época anterior a la extinción de los dinosaurios -el denominado Período Cretácico-, hace casi setenta millones de años. El hallazgo de esta especie, que por sus características fue bautizada con el nombre Maip macrothorax, acaba de publicarse en la revista Scientific Reports.

“Con Maip le ganamos a la pandemia”, dice el paleontólogo del CONICET Fernando Novas, jefe del Laboratorio de Anatomía Comparada del MACN y líder del equipo que colectó los huesos de

Maip en cercanías a El Calafate días antes de que se desatara la pandemia mundial debido al coronavirus, a mediados de marzo de 2020. Una vez decretado el aislamiento social y preventivo obligatorio, el equipo de treinta paleontólogos y técnicos que se encontraba en pleno viaje de campaña, realizando las exploraciones y excavaciones en la zona, tuvo que interrumpir su tarea. Quedaron aislados en El Calafate, a 2700 kilómetros de Buenos Aires, hasta que pudieron regresar. De vuelta en sus casas, se dividieron las muestras que habían colectado en el campo y continuaron, cada uno desde su hogar, con el proceso de preparación de los fósiles y su posterior estudio. “Si bien la pandemia nos impidió regresar a nuestro lugar de trabajo, pudimos continuar con el análisis de los rasgos morfológicos de Maip sin inconvenientes”, dice Novas, con orgullo.

Las características que encontraron en este nuevo dinosaurio resultaron muy novedosas: los paleontólogos descubrieron que Maip tenía en-

Equipo de investigación:

Mauro Aranciaga Rolando, becario doctoral del CONICET en el MACN.

Matías Motta, becario doctoral del CONICET en el MACN.

Federico Agnolín, investigador del CONICET en el MACN.

Fernando Novas, investigador del CONICET en el MACN.

Makoto Manabe, científico del National Museum of Nature and Science de Tokio.

Takanobu Tsuihiji, científico del National Museum of Nature and Science de Tokio.

tre nueve y diez metros de largo y un peso de aproximadamente cinco toneladas. Para soportar dicho peso, su columna vertebral estaba compuesta por enormes vértebras interconectadas por un complejo sistema de músculos,

tendones y ligamentos, que el equipo pudo reconstruir a partir de observar una serie de rugosidades y estrías en sus regiones articulares. Ese sistema, infieren los científicos, le permitía al animal mantenerse erguido sobre sus patas traseras mientras caminaba o corría.

“Los huesos de Maip nos ayudaron a entender mejor la anatomía de los megaraptores. Pertenecen a una familia cuyo esqueleto no era como el de un tiranosaurio, grande pero pesado, sino que eran animales ligeros. Es decir que sus huesos no eran macizos sino que presentaban una gran cantidad de huecos internos que los hacían mucho más livianos, algo así como un ladrillo hueco comparado con uno macizo –explica el becario del CONICET Mauro Aranciaga Rolando, primer autor del artículo-. Además tenían cola larga y patas largas, lo que también corrobora que eran animales relativamente ágiles. Lo más característico de estos dinosaurios son sus brazos: largos, gigantes, rematados por unas garras de hasta treinta y cinco centímetros de largo, con las que inferimos que agarraban y despedazaban a sus víctimas. Eran su arma principal, ya que sus dientes eran afilados pero pequeños”.

Los paleontólogos ya tenían cierta información sobre la familia de los megaraptores: el primero de los hallazgos de este grupo de dinosaurios fue *Megaraptor namunhuaiiquii*, descubierto en 1996 por Novas en la provincia de Neuquén, al que le siguieron los descubrimientos de nuevos megaraptores en Australia, Japón y Tailandia. “Cuando tuve la fortuna de descubrir al primer megaraptor en Neuquén fue un impacto grande”, recuerda Novas, “porque se trataba de un enorme carnívoro que tenían manos provistas de garras de unos cuarenta centímetros de largo. Algo nunca antes visto. Después se descubrieron parientes más pequeños de esta especie en Australia. Luego también en otras regiones de la Patagonia, y se fue ampliando la familia de estos peligrosos depredadores. Estos hallazgos se completan con Maip: ahora tenemos a uno de los más grandes, robustos y de los últimos que vivieron en la zona antes de la extinción masiva de fines del Cretácico”, advierte el científico.

El nombre de Maip fue elegido por Aranciaga Rolando. La elección tuvo que ver con que “proviene de un ser maligno de la mitología Tehuelche que habitaba en la cordillera y mataba usando el frío. Justamente, el hallazgo de Maip se produjo al

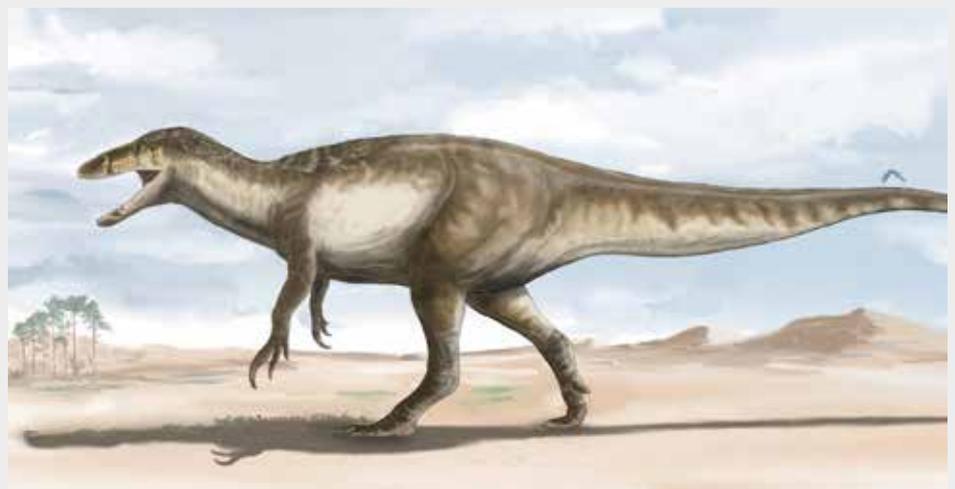
sur de El Calafate, desde donde se aprecia la fastuosa Cordillera de los Andes, un lugar de temperaturas muy frías. Además, para los tehuelches, Maip representaba la sombra que deja la muerte a su paso, mientras que nosotros imaginamos que, durante el Cretácico, este gran depredador con su enorme tamaño habría provocado algo similar”, explica el becario. El término *macrothorax*, por su parte, hace referencia a la enorme cavidad torácica que poseía este dinosaurio.

Maip fue hallado en una zona muy particular: la Estancia La Anita, ubicada a pocos kilómetros de la localidad de El Calafate. Un territorio que, setenta millones de años atrás, era muy diferente: “Era un ecosistema cálido –describe Novas-. Había caracoles acuáticos y terrestres, plantas de muy distinta filiación, era un bosque, casi una selva, con charcos, lagos, arroyos, y diversas criaturas como ranas, tortugas, peces, aves pequeñas y mamíferos. La cordillera de los Andes todavía no se había elevado. De todos esos organismos que vivían en ese entonces fuimos colectando restos fósiles, y ahora, con Maip, agregamos a un super depredador, lo que nos permite ir completando la pirámide alimenticia.”

Este lugar, que era tan distinto hace setenta millones de años, fue para el equipo de investigación un paisaje de ensueño. “Cuando estamos de campaña, la oficina de los paleontólogos muchas veces se traslada temporalmente a un lugar hermoso, y este fue el caso”, admite Aranciaga Rolando. “Hoy es un lugar rodeado de montañas enormes, glaciares, lagos, que demanda que tengamos que caminar muchas horas en condicio-

nes climáticas extremas, pero estando allí, mientras excavábamos para sacar a este dinosaurio que estuvo setenta millones de años enterrado y mirábamos el Lago Argentino, sentíamos una plenitud increíble”. Novas coincide: “Es un sitio que hoy tiene una vista extraordinaria, un paisaje digno de una película de *El señor de los anillos*. Desde lo alto del filo, uno puede divisar el Glaciar Perito Moreno, distintos picos montañosos como las Torres del Paine o El Chaltén. Y este sitio es un lugar privilegiado, además, porque nos permite ir conociendo cada vez mejor a los distintos integrantes de ese ecosistema que se desarrolló al sur del Calafate. Es un tesoro fósil que recién comenzamos a descubrir y comprender”.

Y si bien el esqueleto de Maip brinda mucha información, todavía quedan muchas preguntas sin respuesta. “Aún desconocemos varias partes del esqueleto de este animal, como el cráneo y los brazos, por eso mismo pensamos volver al lugar para buscar más fósiles”, adelanta Novas. Por su parte, Aranciaga Rolando agrega que “los megaraptores son depredadores bastante enigmáticos, y si bien Maip nos ayudó a atar varios cabos sueltos, en especial sus relaciones de parentesco con otros dinosaurios carnívoros todavía quedan por dilucidar aspectos de su comportamiento de caza, por ejemplo cuáles habrían sido sus presas favoritas, entre otras cosas”. Para contestar estos interrogantes, los paleontólogos ya están planificando una próxima expedición, que esperan concretar a comienzos del 2023, con el fin de recabar más datos de estos antiguos habitantes del sur patagónico. ■



Reconstrucción en vida de Maip realizada por el ilustrador argentino Agustín Ozán.

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Nuevo estudio revela que cerca de un 20 por ciento de las especies de reptiles se encuentra bajo amenaza

Especialistas de todo el mundo, entre los que participó un investigador del CONICET, evaluaron el estado de conservación de la población de este grupo de animales vertebrados a nivel mundial. El trabajo fue publicado en Nature.

Por Alejandro Cannizzaro

La Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por su sigla en inglés) es una organización no gubernamental que estableció una serie de criterios que permiten evaluar el estado de conservación de las especies. Según estos parámetros, 961 especialistas de todo el mundo recopilaron datos e información específica de 10.200 reptiles y evaluaron que, de ese total, 1829 especies se encuentran amenazadas. El informe, del que participa solamente un argentino, Luciano Ávila, investigador principal del CONICET y director del Instituto Patagónico de los Ecosistemas Continentales (IPEEC, CONICET), fue publicado en Nature.

“Pese a la enorme diversidad de especies, los reptiles están expuestos, en líneas generales y a gran escala, a peligros similares que otros grupos de vertebrados terrestres como aves y mamíferos. La destrucción del hábitat por la expansión agrícola, el desarrollo urbano, la introducción de especies invasoras y el tráfico de animales con fines comerciales se destacan entre las principales amenazas a nivel global. Pero cada región tiene su particularidad”, explica Ávila, que se especializa en el estudio de lagartijas que habitan las eco-regiones del monte y la estepa patagónica. “A nivel local la desertificación sin duda es una gran amenaza y han comenzado a sucederse en la región, incendios de gran magnitud, que han causado muchísimo daño en distintas poblaciones de reptiles. Y a niveles regionales más amplios, el desarrollo del extractivismo a gran escala de petróleo, gas y minerales provoca la destrucción de amplias zonas naturales de gran importancia para la biodiversidad”, agrega.



Liolaemus cuyumhue, lagartija del arenal, uno de los reptiles de Argentina amenazados por el avance de diferentes proyectos productivos. Gentileza Luciano Ávila

La publicación pone de relieve que, aunque se dispone de evaluaciones integrales del riesgo de extinción para aves, mamíferos, y anfibios desde hace más de una década, hasta ahora los reptiles no habían sido estudiados bajo estos parámetros. Esta es la primera evaluación integral en la que utilizan los criterios de la IUCN para esbozar el estado de situación a nivel mundial de especies de reptiles y que permitiría poder pensar acciones de conservación a futuro.

“Un problema global, por ejemplo, es el tráfico de animales. Pese a que los gobiernos y otras entidades han y siguen realizando esfuerzos para frenarla, esta red comercial sigue teniendo un gran impacto sobre poblaciones silvestres en grupos que son muy vulnerables. Por ejemplo, en tortugas y lagartijas. Hay especies que habitan en un área de distribución geográfica muy restringida, entonces el impacto de una colecta masiva puede ser muy drástico”, afirma el investigador.

En la publicación se destaca, además, que resta estudiar en profundidad los diversos impactos del cambio climático sobre las poblaciones de reptiles en cada una de las regiones que habitan. “En Argentina, por poner tan solo un ejemplo, sabemos que el derretimiento de glaciares significa menos aporte de agua para todas las cuencas en el país y acelera el proceso de desertificación”, asegura.

Para el científico, además, este tipo de trabajo son una oportunidad de intercambio para seguir haciendo foco en los problemas que afectan a estos animales. “Los cocodrilos y las tortugas, por ejemplo, son uno de los grupos de vertebrados más antiguos. Han sobrevivido millones de años y hoy se encuentran amenazados. Estos encuentros entre especialistas permiten, además, pensar acciones de conservación y trabajar mancomunadamente a nivel regional, continental y global”, concluye Ávila. ■

Exploraciones naturales e imaginarias del reino animal

Los seres humanos somos (hasta donde sabemos) los únicos animales capaces de reconocer y reflexionar sobre nuestra provisoriedad, nuestra finitud y sobre los azares que rigen nuestro origen y nuestra genealogía. Así como el universo se encarga de recordarnos nuestra presencia infinitesimal, también es cierto que somos capaces de reconocer la naturaleza extraordinaria de aquello que resulta a simple vista trivial. Hemos naturalizado el hecho de que apenas conocemos a los seres vivos con los que compartimos nuestro planeta, nuestro alimento y nuestros hogares. Nos abocamos a descubrir su anatomía, sus comportamientos, sus regularidades y anomalías, a estrechar los caminos para comprender sus códigos y su lenguaje, con la esperanza y la voluntad —a veces exitosa— de entablar diálogos. Diálogos que exceden las dimensiones estrictamente científicas, porque nuestra atención también —y quizá fundamentalmente— es alimentada por el sentimiento fraternal que suscita nuestra cualidad de seres vivos, nuestra familiaridad esencial. Al mismo tiempo, convivimos con la aterradora verdad de que ignoramos a la masa ingente de aquellos otros seres que se han extinguido, cuyos restos la naturaleza se ha encargado de recrear y legar en otras formas. Así, la evolución rige nuestra historia y nos conduce a la contemplación de nuestros vecinos, que es, en última instancia, una introspección.

Es probable que algunas de estas ideas estuvieran presentes en las mentes de aquellos que se propusieron homenajear a los seres vivos a través de su observación, descripción y clasificación. Poco antes de que Plinio el Viejo compusiera su *Naturalis historia* en el siglo I de nuestra era, del otro lado del mundo, en la China de los Han (siglos IV a I a. e. c.) se compilaba una obra monumental conocida como *Shanhaijing*. Este nombre, que podría traducirse como *Clásico de las montañas y los mares*, orientaba al lector en el conocimiento del mundo natural conocido. Así como se había propuesto el sabio latino, el *Shanhaijing*

también distinguía las observaciones en categorías que hoy entenderíamos como zoológicas, geográficas, farmacológicas, antropológicas o botánicas. Estos patrones similares de observación nos hacen pensar que la zoología puede ser concebida como una categoría trascendental de nuestro intelecto, como una inclinación espontánea de nuestro ánimo, como una reflexión necesaria para nuestra comprensión del mundo.

Podemos creer que motivaciones de este tipo contribuyeron a la composición de las historias naturales y los bestiarios que nuestros antepasados nos han legado. En la diversidad casi ilimitada de formas y categorías, reconocemos la regularidad en la observación, en la identificación y en la fascinación, que no por serena y metódica es capaz de disimular el entusiasmo. En los bestiarios occidentales, cuyos antecedentes más tempranos sean probablemente Plinio y el *Physiologus* griego del siglo II de nuestra era, así como en los tratados naturalistas de la modernidad y en las clasificaciones ilustradas y nominalmente científicas de nuestros tiempos, encontramos efectivamente una regularidad, una tradición que merece ser recreada y reconocida como una vía de entrada a los misterios y las maravillas de nuestros mundos, observables e imaginarios.

Por estas razones, además de otras más lúdicas, hemos bautizado a esta nueva sección de la revista como *Bestiario*, en homenaje a todos aquellos sabios que supieron reconocer y legarnos la belleza y la nobleza animal. Hemos intentado, además, atender a una singularidad de la observación zoológica: su capacidad de absorber sin demasiados obstáculos las dimensiones imaginarias, legendarias, artísticas y fantásticas de los seres vivos, sin renunciar a la precisión empírica necesaria para enriquecer la investigación naturalista. Tal vez una paráfrasis del ingenio de Borges pueda servir de inmejorable invitación a nuestro modesto *Bestiario*: quien recorra nuestra sección, comprobará que la zoología de los sueños no es necesariamente más rica que la zoología natural.



Los cefalópodos y sus encantos

Aspectos generales de su biología

El nombre *Cephalopoda* se forma a partir de dos palabras griegas: κεφαλή (*kephalé*), ‘cabeza’, y πόδες (*pódes*), ‘pies’, de ahí que pueda traducirse literalmente como ‘cabeza-pies’. Más de ochocientas especies están descritas hasta el momento, agrupadas en lo que comúnmente se denominan calamares, sepias, pulpos y nautilus. En términos generales, los cefalópodos se caracterizan por un ciclo de vida corto (entre tres meses y tres años, según la especie), lo cual da pie a la imagen más general del ciclo de vida de los cefalópodos, que podría resumirse en la idea ‘vivir rápido, morir joven’. Aunque existen dos notables excepciones a la regla: los nautilus (*Nautilus* sp.) que pueden llegar a vivir entre cinco y quince años, y los calamares gigantes (*Architeuthis* sp.), entre veinte y treinta años.

Los cefalópodos habitan en todos los océanos del mundo, en su mayoría hasta profundidades de 500 me-

tros, si bien hay registros que indican un alcance de hasta 1000 metros en los casos del calamar gigante y del calamar vampiro (*Vampyroteuthis infernalis*). Si bien estos son los registros más habituales, hay excepciones extraordinarias, como la de una especie de pulpo (pulpo dumbó, *Grimpoteuthis* sp.) registrado a 7000 metros de profundidad en el océano Índico, mostrando así un registro récord, jamás encontrado en otros cefalópodos.

Los cefalópodos como recursos

La mayoría de las especies de cefalópodos son consideradas una fuente de alimento de excelencia y son valoradas en diversas culturas, sobre todo en la cultura oriental. Por ello, sus poblaciones son explotadas a lo largo del planeta y demandadas por mercados muy diversos. La captura se realiza de las formas más variadas. En el caso de especies de calamares, está en su mayor parte in-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los cefalópodos han atraído, a lo largo de los siglos, la atención de artistas, filósofos, poetas y, naturalmente, de marinos y aventureros. Todos ellos nos han dejado como legado expresiones artísticas, literarias y grandes descubrimientos científicos.

dustrializada y se realiza mediante barcos que congelan a bordo las capturas y tienen una gran capacidad de pesca. Los barcos que pescan calamar se denominan ‘poteros’ (derivado de ‘pota’, que es la forma en que se suele llamar a los calamares en España) y suelen hacerlo exclusivamente de noche aprovechando el comportamiento de cacería que tienen los calamares. En la cubierta de las embarcaciones se disponen numerosas lámparas de gran intensidad (un barco en promedio tiene una potencia de iluminación de 200.000 vatios) para que la luz penetre a una profundidad considerable en el agua. De esta forma, se genera un cono de sombra bajo el casco del barco, donde los calamares se esconden al acecho y atacan los señuelos de las líneas de pesca que arrojan por el costado del barco. De esta forma, un barco puede llegar a tener capturas máximas de hasta 30 toneladas por noche. Por otro lado, los pulpos se pescan de manera más artesanal mediante buceo, o en algunos casos mediante el uso de trampas para los ejemplares. En volúmenes de captura, la especie más importante es el calamar gigante del pacífico (*Dosidicus gigas*) con más de 800.000 toneladas anuales. Sin embargo, la especie de calamar que se pesca en la Argentina (*Illex argentinus*) ocupa el segundo lugar con más de 100.000 toneladas anuales. Dado el interés económico de los cefalópodos, se está comenzando a promover la acuicultura de diferentes especies; sin embargo, su biología tan particular hace que la actividad suponga un reto tecnológico importante. El foco actualmente está puesto en la cría de pulpos tanto por su alto valor en el mercado internacional como por las bajas capturas por pesca.

Cefalópodos en la ciencia

Los cefalópodos han sido ampliamente estudiados como modelos animales para comprender ciertos procesos de la vida. El caso más emblemático es el desarrollo que hicieron las investigaciones de Andrew Huxley y Alan Hodgkin en el conocimiento del funcionamiento de las neuronas usando el axón gigante del calamar, ya que los calamares poseen cuerpo muscular inervado por axones de gran diámetro comparado con otras especies de similar tamaño. En algunas especies, como *Dosidicus gigas*, llegan a tener cerca de 1mm de diámetro (enormes, comparados con los 10-20µm de los axones de mamíferos).

Esta rareza anatómica y su función fueron descubiertas a principios de los años 30 por John Z Young, un zoólogo inglés especialista en el estudio de la anatomía de estos moluscos. Los axones gigantes recorren el cuerpo del calamar y permiten activar de manera rápida la respuesta de huida frente a peligros u otros eventos en donde se requiera velocidad. Esta respuesta se consigue

a través de la expulsión de agua con velocidad por la contracción potente de los músculos del cuerpo, que se encuentran inervados por los axones gigantes. Ante este descubrimiento anatómico, los electrofisiólogos (los especialistas en estudiar las propiedades eléctricas de las células y los tejidos) se encontraron frente a una oportunidad única, pues las dimensiones del axón permitían insertar a lo largo de la estructura electrodos metálicos para registro e inyección de corriente y cambiar la composición interna de la célula con el fin de conocer los detalles involucrados en la propagación de los impulsos nerviosos.

Además de los avances en el conocimiento, los cefalópodos han inspirado el desarrollo tecnológico. Un caso emblemático es el desarrollo de robots con cuerpos blandos que logran la versatilidad del cuerpo de los pulpos. Este tipo de robots tiene como principal objetivo meterse por lugares imbricados y pequeños, algo que los robots tradicionales de estructuras rígidas no podrían hacer. Otro caso es el desarrollo de los camuflajes: los cefalópodos tienen en su piel células pigmentadas de diferentes colores que pueden mostrar o esconder a voluntad. Esto les permite cambiar de color y camuflarse con el entorno para evitar ser devorados por los depredadores o ser detectados por sus presas. El grado de control de la pigmentación es tal, que hasta pueden enviar mensajes y comunicarse entre individuos cambiando la pigmentación de manera continua y rápida. Esta característica ha inspirado a los tecnólogos a desarrollar materiales de camuflaje activo que puedan ir adaptándose según la necesidad. Otro caso mucho menos sofisticado, pero de gran utilización cotidiana, son las ventosas. Utilizamos diariamente ventosas para sujetar objetos con gran firmeza y ello estuvo inspirado en la forma en la que los cefalópodos sujetan objetos con sus tentáculos flexibles.

Cefalópodos en la cultura

Los cefalópodos han estado presentes en la cultura desde tiempos muy antiguos. Los primeros registros se remontan a la civilización minoica durante la Edad de Bronce (3500-1100 a. e. c.). La representación, aunque parezca caricaturesca a primera instancia, posee numerosos detalles propios de este grupo de animales. Por ejemplo, se puede observar uno de los brazos alargado sin ventosas, que claramente representa el hectocótilo. Esta es una estructura especializada en los machos que se utiliza para fecundar los huevos en las hembras. También se puede observar que algunos de los brazos se encuentran en proceso de regeneración (una especialización propia de los pulpos). Esto sugiere que las observaciones hechas sobre los pulpos eran detalladas y se plasmaron de manera artística en la vasija.



Entre las culturas del Lejano Oriente, por ejemplo, conocemos manifestaciones artísticas en torno a los pulpos específicamente. En 1814, el artista japonés Katsushika Hokusai talló en madera una pieza intitulada *El sueño de la esposa del pescador*. Esta obra representaba un vínculo erótico entre una mujer y dos pulpos, quienes la poseen con sus tentáculos. La imagen llegó a ser interpretada como una violación, dentro del folclore de monstruos marinos que atacan personas, pero los escritos del artista promueven una inspiración completamente diferente, que apunta más bien hacia el registro paródico con un gran componente erótico.

El calamar gigante ha cautivado nuestra imaginación desde hace más de dos mil años. Durante mucho tiempo, quienes veían estos ejemplares (fueran sus cadáveres flotando en el mar o varados en las costas) no podían explicar de qué se trataba. Las principales explicaciones referían a monstruos marinos, serpientes gigantes y hasta hacían referencia a deidades, como Tritón. Sin lugar a dudas, los raros avistamientos de estas criaturas despertaban sentimientos que iban del miedo a la fascinación. Así, surgieron fantásticas explicaciones que inspiraron leyendas y cuentos. Quizá el relato más conocido que involucra un calamar gigante es la novela *Veinte mil leguas de viaje submarino* de Julio Verne, donde una criatura de estas características ataca el submarino *Nautilus* en una batalla durante la cual devora a miembros de la tripulación. Verne describe en el relato al calamar gigante como 'un terrible monstruo digno de todas las leyendas acerca de semejante criatura', reforzando así una leyenda sobre esta especie.

Inteligencia en cefalópodos

Dentro de los vertebrados, no es de extrañar la similitud de capacidad cognitiva entre aves y mamíferos, sobre todo si se la analiza desde una perspectiva evolutiva, porque se considera que el ancestro común más reciente entre aves y mamíferos habría sido el reptil, cuya organización neuroanatómica ya era similar a la de las aves y mamíferos actuales. Sin embargo, se supone que el ancestro común entre un cefalópodo y un vertebrado debió ser más bien un organismo microscópico con una organización rudimentaria del sistema nervioso, en caso de que lo poseyera. En consecuencia, el sistema nervioso de los cefalópodos evolucionó de una manera completamente distinta a la de los vertebrados.

Si bien la proporción entre el sistema nervioso y el cuerpo puede ser comparable a algunos vertebrados, su organización es completamente diferente, ya que el 40% de las neuronas están centralizadas en un ganglio o cerebro y el 60% restantes están distribuidas en los

brazos. Su cerebro tiene forma de anillo rodeando al esófago y dos tercios de los nervios están distribuidos a lo largo de los brazos. Además, cada uno de sus brazos está controlado por su propio ganglio nervioso, por lo cual algunos autores sostienen que esos ganglios podrían actuar incluso como cerebros independientes de cada brazo.

Las diferencias neuroanatómicas que presentan los cefalópodos respecto de los vertebrados es un reflejo de una trayectoria evolutiva independiente de más de 600 millones de años. Por lo tanto, no sería esperable que existieran similitudes cognitivas entre grupos de animales con trayectorias evolutivas tan diferentes. Sin embargo, es cierto que los cefalópodos manifiestan comportamientos complejos, similares y en cierta medida superiores a muchas especies de vertebrados, a pesar de las diferencias neuroanatómicas. Parte de estos comportamientos



Vaso del pulpo. Museo de Heraklion, Creta. puntoarte.blogspot.com/2017/09/el-gran-arte-cretense-grande-es-en.html



El sueño de la esposa del pescador, xilografía realizada por el artista japonés Hokusai en 1814. www.cineyliteratura.cl/el-sueno-de-la-esposa-del-pescador-de-katsushika-hokusai-una-obra-surgida-en-epoca-de-cuarentena/

tamientos están asociados con el aprendizaje e incluyen la resolución de problemas, patrones de comunicación complejos y memoria en diferentes grados. La capacidad cognitiva de los cefalópodos es un fenómeno filosófico significativo y que vale la pena considerar como punto de reflexión, ya que representa un ejemplo de cómo dos grupos tan distantes filogenéticamente pueden converger en una solución cognitiva similar para enfrentar al medio ambiente.

Sobre esta base, es evidente que la evolución de las percepciones, de los comportamientos y de la inteligencia en el mundo animal es un fenómeno complejo que debe abordarse de una manera mucho más integral, más allá de las comparaciones neuroanatómicas. A tal punto esto es así que, en un acto de arrojo, el etólogo holandés Frans de Waal ha sugerido que ‘ni siquiera está claro que nuestra cognición sea tan especial si se compara con una cognición distribuida entre ocho brazos con movimiento independiente, cada uno con su propia dotación neural’. Hasta el momento, se reconocen diversas habi-

lidades cognitivas en los pulpos, como su capacidad para reconocer personas. Esto último se puso en evidencia entre los cuidadores de los acuarios, quienes suelen describir también personalidades diferentes entre individuos de la misma especie de pulpo, incluso a partir de comportamientos lúdicos de algunos de ellos como, por ejemplo, hacer que se mueva un objeto flotante en el tanque con chorros de agua. Esto es solo una muestra del amplio repertorio de capacidades cognitivas por parte de estos moluscos.

Ética de cefalópodos

Cuando hablamos de experimentación con animales, imaginamos experimentos sobre grandes primates o conejos y se suelen presentar debates sobre el derecho de nuestra especie a infligir sufrimiento a otras. El asunto requiere un enfoque más integral, ya que hay suficiente evidencia científica como para aceptar que los vertebra-



dos como gran grupo (lo que incluye a peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) son capaces de experimentar dolor y que cualquier tipo de experimento que se realice sobre ellos debe seguir normas éticas establecidas en la normativa internacional. Sin embargo, cuando hablamos de invertebrados, grupo que incluye a los cefalópodos, la situación no es tan clara.

Debido al poco conocimiento sobre la biología de los invertebrados, el debate sobre el dolor o no es una cuestión aún abierta. Es decir, aún no estén reglamentadas debidamente las normativas éticas para el uso de estos en experimentación. Sin embargo, toda regla conoce una excepción. A partir de 2013, la Unión Europea incluyó a los cefalópodos como único grupo de invertebrados sobre los cuales era necesario tener consideraciones éticas al mismo nivel que los vertebrados. Esto se logró sobre la base de la gran cantidad de registros sobre la extraordinaria capacidad cognitiva de estos animales y su evidente experimentación de dolor y sufrimiento. Por lo tanto, los experimentos con este grupo de animales son

encuadrados bajo la responsabilidad ética de cuidar por su bienestar.

Consideraciones finales

Como podemos ver, los cefalópodos han sorprendido y cautivado a la humanidad desde hace mucho tiempo y han estado presentes en diferentes aspectos de nuestra vida, desde expresiones artísticas hasta grandes descubrimientos científicos. La complejidad de su conducta y sus capacidades sobresalientes para resolver situaciones problemáticas han llevado a que este grupo de animales sea considerado superior cognitivamente a los demás invertebrados por parte de la comunidad científica. De tal forma, nuestra responsabilidad primordial como especie al lidiar con ellos es velar por su cuidado y profundizar nuestra comprensión de su complejidad tanto cognitiva como sensible. **UH**

LECTURAS SUGERIDAS

BOSCHI EE, 1998, *El mar Argentino y sus recursos pesqueros*, t. 2: *Los moluscos de interés pesquero: cultivos y estrategias reproductivas de bivalvos y equinoideos*, INIDEP, Buenos Aires.

CRESPI-ABRILAC y RUBILAR PANASIUK CT, 2018, 'Ética e invertebrados: análisis de los casos de los cefalópodos y equinodermos', *Revista Latinoamericana de Estudios Críticos Animales*, V (1): 210-233

DE WAAL F, 2016, *¿Tenemos suficiente inteligencia para entender la inteligencia de los animales?*, Planeta, Barcelona.



Augusto C Crespi-Abril

Doctor en ciencias biológicas, Universidad Nacional del Comahue.

Investigador adjunto en el Cesimar, CCT-Conicet-Cenpat.

Profesor adjunto, UNPSJB.

Director, Instituto Patagónico del Mar (IPAM), UNPSJB.

augustocrespi@gmail.com

Los cefalópodos y su genealogía imaginaria: del emblema minoico al monstruoso Kraken

Los cefalópodos forman parte de nuestro imaginario desde tiempos muy antiguos. Su presencia cotidiana en nuestras vidas, en nuestro arte, en nuestra dieta, invita a preguntarnos cómo han evolucionado nuestras percepciones sobre ellos. Veremos que pasaron por momentos de reverencia, de trivialidad, de olvido y de fascinación, y cada uno de ellos nos permite reconstruir su genealogía imaginaria.

Su aparición en la historia se la debemos, naturalmente, a aquellas civilizaciones que más cercano y propio sentían el ecosistema marítimo. El encanto suscitado por las criaturas que emergían de las profundidades inspiraba testimonios que, con un grado mayor o menor de fidelidad o fantasía, configuraban un imaginario. En lo que al mundo occidental respecta, las primeras representaciones de cefalópodos se remontan a la talasocracia minoica, entre el cuarto y el segundo milenio antes de nuestra era, el período más temprano de la civilización griega hasta donde los registros nos permiten discernir.



Siglos I-II e. c. Museo Arqueológico de Lesbos.

Es de esperar que los griegos conocieran tan bien a pulpos y calamares, pues la pesca, en cuanto una de las actividades económicas básicas de los marinos del Mediterráneo, el Jónico o el Egeo, los ponía en contacto regular con estos animales. Así lo indica un mosaico encon-

¿DE QUÉ SE TRATA?

El imaginario occidental sobre los cefalópodos tiene su historia, atravesada por diversas tradiciones que parecieran compartir un denominador común: la fascinación con la criatura gigante.



Detalle de la cara A de una crátera de campana ática con figuras rojas, c. 450-425 a. e. c. Museo del Louvre, París, CA 1341.



Mosaico de Escila en Frigidarium, Ostia Antica, 5. IV, Tav. CXXXV, c. siglo I e. c.

trado en la isla de Lesbos –datado probablemente en un período bastante posterior, durante la dominación romana sobre Grecia y el Mediterráneo oriental–, que muestra un episodio tal vez cotidiano pero muy significativo como fuente histórica: la captura de un cefalópodo. Esta realidad material tal vez permita comprender mejor por qué las representaciones de estos seres gozaban de ese grado de precisión y cómo alimentaban la inspiración artística.

Vinculada con esta simbología mítica, quizá tengamos que considerar también la posibilidad de que el monstruo homérico Escila, cuyo ataque diezmo a la tripulación de Odiseo en el estrecho de Messina, también haya estado inspirado en los rasgos anatómicos de los cefaló-

podos. Escila era descrito como una mujer cuyos miembros inferiores se parecían a tentáculos o colas de peces. Sin embargo, la figura tendía a identificarse más bien con los cangrejos o los perros, pues eran precisamente figuras caninas las que atacaban a las tripulaciones que intentaban atravesar sus dominios.

Observamos representaciones similares en otra de las grandes civilizaciones del mundo antiguo: Roma. Entre los célebres mosaicos de Pompeya y Herculano, conservados tras la erupción del volcán Vesubio del año 79, también encontramos majestuosos cefalópodos. En el caso de Pompeya, percibimos un motivo que pronto se convertiría en un *topos* del imaginario occidental: el cefalópodo



Mosaico con peces. Pompeya, Casa del Fauno (VI, 12, 25), habitación 35. 1.175 l., 1.173 h. [Wikimedia Commons](#)



Casa de Lucio Aelio Magno, Pompeya. Museo Nacional de Arqueología, Nápoles. MANN 120177 3.



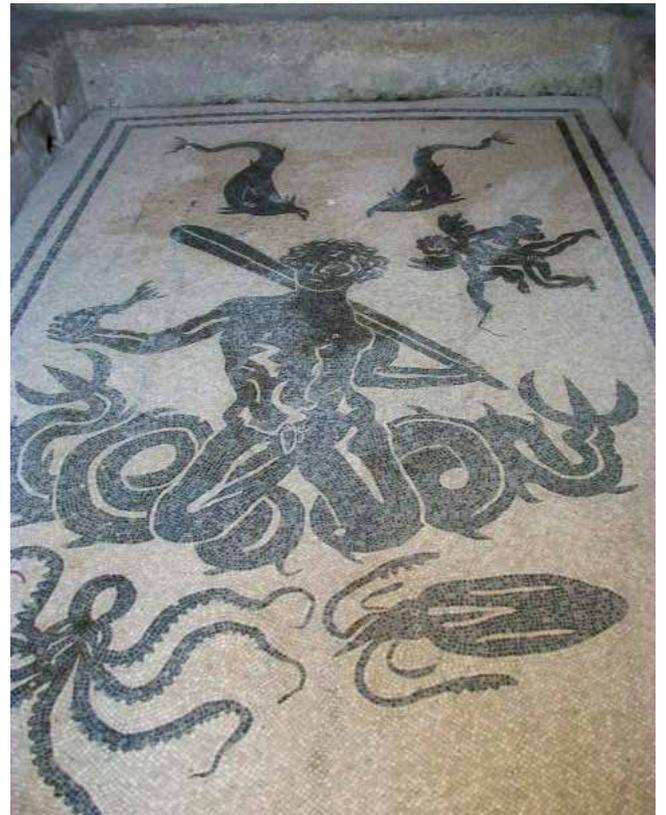
Mosaico fauna marina, Porto fluviale di San Paolo. Museo Nazionale Romano, c. 125-150 e. c., inv. 463Z4.

que combate en las profundidades con otros monstruos marinos (veremos en próximos números cómo su rival más frecuente sería el cetáceo gigante). Asimismo, en el detalle de un fresco romano observamos el tópico del combate en las inmensidades oceánicas.

En la ciudad vecina de Herculano, hallamos mosaicos protagonizados por Tritón, divinidad marina hija de Poseidón (o Saturno, según la nomenclatura romana) y Anfitrite (o Salacia). En este caso, los miembros inferiores del dios se asemejan a tentáculos, aunque se distinguen sutilmente de aquellos del cefalópodo que tiene a su lado por la ausencia de ventosas. En cualquier caso, es evidente la centralidad que estas criaturas habían adoptado ya en las representaciones simbólicas del mundo romano.

La mención a Pompeya y Herculano nos conduce a señalar tal vez la primera mención concreta a la existencia de grandes cefalópodos, capaces de atacar y hundir embarcaciones. Nos referimos a la *Naturalis historia* de Plinio el Viejo, compuesta en el siglo I, interrumpida precisamente por la muerte de su autor durante la catástrofe volcánica. Estamos frente a lo que podríamos considerar tal vez como el primer bestiario del que se tenga registro en nuestra civilización. Reproducido sistemáticamente durante los dos milenios posteriores, no es de extrañar que sus descripciones de cefalópodos gigantes (XLVIII, XXX) estuvieran destinadas a permanecer en el imaginario occidental.

Sin embargo, a medida que nos adentramos en el mundo medieval, nos encontramos con que los cefalópodos (y los moluscos en general) se ven relegados o bien no aparecen siquiera en los bestiarios. A diferencia de Plinio, el *Physiologus* (compuesto originalmente en griego, en el siglo II de la era cristiana) ni siquiera hace referencia alguna a los cefalópodos. El Medioevo, que se sirve de este bestiario como modelo, no parece incorporarlos tampoco más allá de algunos ejemplos marginales



Apodyterium, baños termales femeninos. Herculano, c. siglo I.

y aislados. Hay una hipótesis que, aunque insuficiente, es tentadora: el Occidente latino tiende a ser, durante la Edad Media, una civilización más anclada en tierra firme, menos propensa a la exploración marítima (veremos cómo la tradición escandinava marcará el cambio de rumbo en la percepción de las criaturas marítimas). Las representaciones de fauna acuática poco se asemejan a nuestros cefalópodos, aunque algunas de ellas pudieran su-



gerir cierta familiaridad, como se observa en las figuras extraídas de un bestiario neerlandés del siglo XIII, el *Der naturen bloeme* de Jacob van Maerlant.

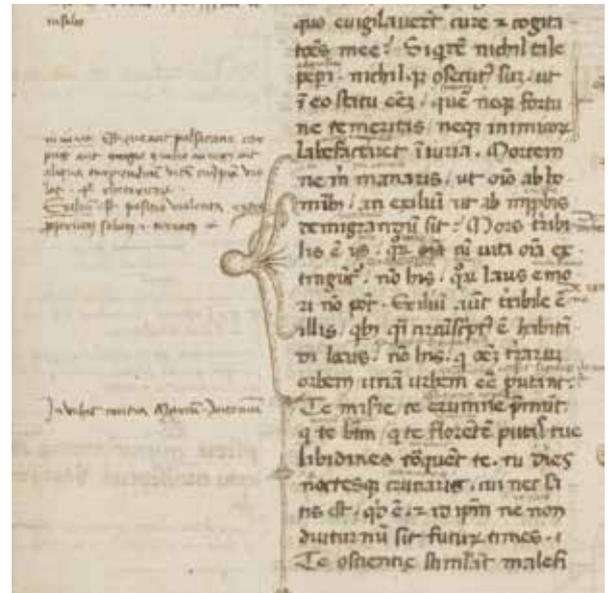
La expansión ultramarina, que se acelera en los siglos XV y XVI, significó una ampliación de horizontes geográficos y mentales sin parangón. Este contexto tal vez explique el regreso de los cefalópodos al imaginario en todo su esplendor. Sin embargo, como decíamos, es preciso atender una línea genealógica particular en el desarrollo de este imaginario: los mitos nórdicos, siempre vinculados a los mares y a las percepciones, los sentimientos y las creencias de los navegantes.

Por eso no es casual el lugar central en esta narrativa de la *Carta marina* (1539) del sueco Olaus Magnus. Allí vemos numerosas criaturas marinas, entre las cuales parece revelarse una figura destinada a convertirse en el arquetipo del cefalópodo gigante: el Kraken. En realidad, las fuentes escandinavas referían a un monstruo llamado *Hafgufa*, al que le atribuían numerosos naufragios por su propensión a englutir embarcaciones, navegantes y hasta otros seres vivos del mar. Aunque la anatomía de la criatura representada por Magnus solo parcialmente puede ser identificada con un cefalópodo (se asemeja más bien a un cetáceo), la genealogía imaginaria nos invita a prestar atención a esa familiaridad, esto es, los aparentes tentáculos que rodean su cabeza. Más preciso sería decir que se vincula con el Ceto, figura legada de la tradición grecorromana, la cual ha recibido diferentes formas, más cercanas generalmente a las ballenas, de ahí el origen del vocablo 'cetáceo'. Sin embargo, ya una fuente noruega del siglo XIII, el *Konungs skuggsjá* o *Espejo del rey* (1250) utilizaba la palabra *Kraken* como sinónimo de *Hafgufa*, entre otros nombres como *Aale tust*, *Anker-trold*, *Horv*, *Kolkrabbi*, *Krabbe*, *Kraxen*, *Sci-u-crak* o *Sa-horven*.

Representaciones casi idénticas del Kraken encontramos en la *Cosmographia* (1544) de Sebastian Münster y en el libro IV de las *Historiae animalium* (1555-1558) de Conrad Gessner, donde el autor lo identifica efectivamente como un 'Ceto barbado'. La obra de Gessner en particular es significativa no solo por su zoología fantástica, sino también, y sobre todo, por su zoología naturalista. Allí encontramos efectivamente algunas de las primeras representacio-



Jacob van Maerlant, *Der naturen bloeme*, c. 1340-1350, f. 108.



Obsérvese el dibujo de un cefalópodo. Cicerón, *Paradoxa stoicorum*. Berkeley, Bancroft Library, BANC MS UCB 085, Italy, c. 1350-1400.



Olaus Magnus, *Carta marina et descriptio septemtrionalium terrarum ac mirabilium rerum in eis contentarum diligentissime*, 1539. Múnich, Bayerische Staatsbibliothek. Mapp. VII,1

nes gráficas fieles de cefalópodos en la modernidad. Este tipo de exploraciones estrictamente naturalistas seguirían su curso en el siglo XVII, como lo demuestra el polímata polaco Jon Jonston en sus *Historiae naturalis* (1657).

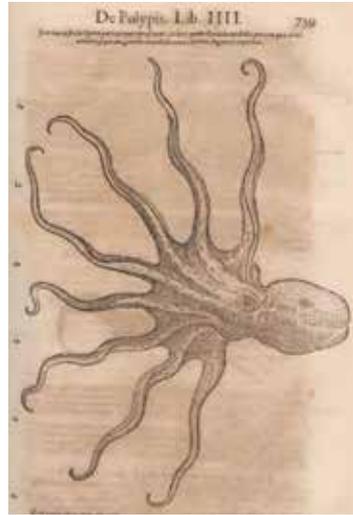
En efecto, durante la modernidad, la profundización del mito no obstaculizó —es probable incluso que haya potenciado— las observaciones naturalistas de grandes cefalópodos, que alcanzan altísimos grados de precisión. Veamos como ejemplo curioso el *Visboek* (1580) o *Libro de los peces*, de Adrian Coenen. Sus páginas nos muestran extraordinarias y coloridas representaciones de cefalópo-



Izquierda. Conrad Gessner, *Historiae animalium*. Fráncfort, Andrea Cambieri, 1600, p. 494.

Derecha, arriba. Conrad Gessner, *Historiae animalium*, Fráncfort, Andrea Cambieri, 1600, p. 739.

Derecha, abajo. Jon Jonston, *Historiae naturalis: de exanguibus acuatibus et serpentina*, Fráncfort, Mattheus Merian, 1657, p. 5.



dos, signos del contacto estrecho de los marinos del norte con estos animales y del maravillamiento que estos últimos producían. Un destalle llama nuestras atención: a pesar de que Coenen no era, hasta donde sabemos, especialmente un erudito sino un pescador alfabetizado y curioso, notamos el efecto imitativo, la repetición de formas anatómicas y expresivas de representaciones heredadas que comienzan a convertirse en arquetipos.

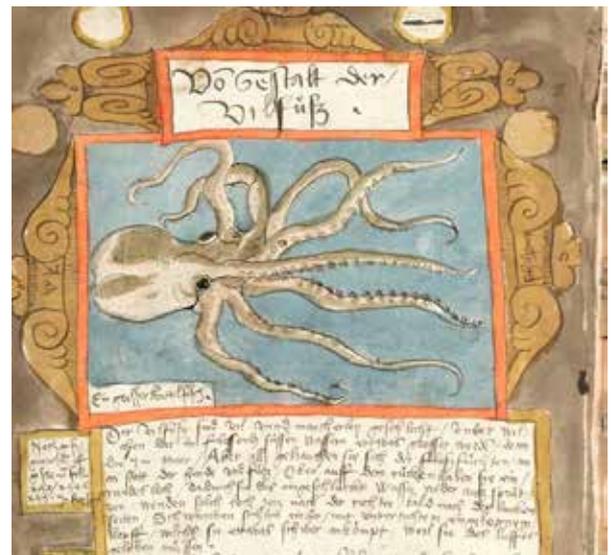
El mito del Kraken se consolidaría en el resto de Europa durante el siglo XVIII, en principio a partir de los testimonios del explorador italiano Francesco Negri, quien lo mencionara en su diario de viaje por el mar del Norte y el Báltico (*Viaje septentrional*, 1700), y del anticuario danés Erik Pontoppidan, quien lo describiera como un ser realmente existente en su *Historia natural de Noruega* (1752). Sin embargo, puede advertirse la siguiente curiosidad: la representación más habitual del Kraken es probablemente resultado de un malentendido, o más bien de un desplazamiento paradójico. La imagen la encontramos en la *Histoire naturelle générale et particulière des mollusques* (1802), de Pierre Denys de Montfort, quien así continuaba la monumental *Histoire naturelle, générale et particulière* (1749-1804) de Buffon y Lacépède. Lo cierto es que la famosa imagen que encontramos en su obra no es precisamente el Kraken sino una representación de un 'pulpo colosal' atacando una nave. Montfort se inspiró en testimonios de marinos y, particularmente, en una imagen que encontró en 1801 en una pequeña iglesia de la Bretaña francesa, donde se reflejaba la experiencia de unos marineros en el Atlántico Sur frente a un inmenso animal marino con las evidentes características anatómicas de los cefalópodos. En efecto, Montfort intentaba sostener científicamente la existencia no solo del Kraken sino también de otra criatura igual de voraz a la cual llamaba 'pulpo colosal'.



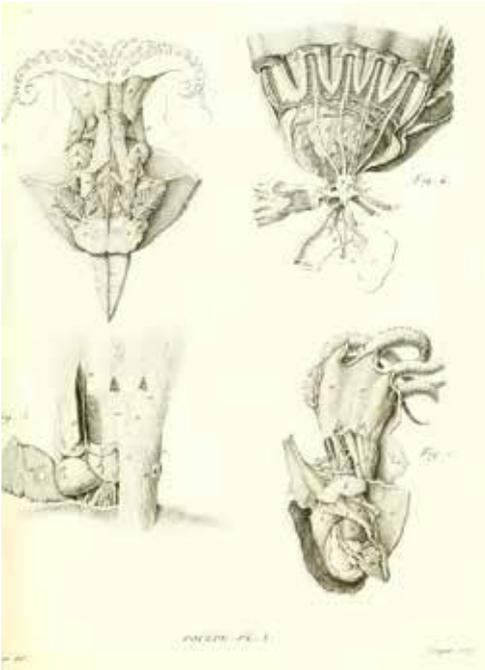
Adrian Coenen, *Visboek*, 1580, f. 257 r.



Adrian Coenen, *Visboek*, 1580, f. 276 r.



Adrian Coenen, *Visboek*, 1580, f. 348 v.



Georges Cuvier, *Mémoires pour servir à l'histoire et l'anatomie des mollusques*, París, Deterville, 1817, p. 55.

Pierre Denys de Montfort, *Histoire naturelle générale et particulière des mollusques*, París, Duffart, 1802.

Alphonse de Neuville y Édouard Riou, 1871.

Montfort fue duramente criticado por sus exageraciones y desprolijidades metodológicas, especialmente por Georges Cuvier, cuyas descripciones anatómicas son probablemente las más precisas de las que se tenga registro en el mundo preindustrial. Sin embargo, la obra de Montfort contribuyó a consolidar el mito del Kraken, que se difundió y se popularizó definitivamente en Occidente, hasta el punto de haberse convertido en un arquetipo literario de los grandes monstruos marinos que acechan a los navegantes. Sus ejemplos más célebres probablemente sean *Moby Dick* (1851), de Herman Melville, y *Veinte mil leguas de viaje submarino* (1871), de Julio Verne, donde esta criatura

actúa como un verdadero villano de las profundidades.

Durante el siglo XIX y hasta nuestros días, encontramos cada vez más rastros de la existencia de cefalópodos gigantes menos como productos de nuestra imaginación que como seres vivos reales, materiales, vecinos. Su complejidad parece incluso superar las expectativas del imaginario milenario que hemos rastreado. En definitiva, este recorrido nos ha invitado a reconocer los modos en que los cefalópodos han participado de nuestras conciencias y horizontes simbólicos desde los inicios de nuestra civilización. Con este primer número del Bestiario, intentamos reivindicar su majestuosa presencia en nuestras vidas. **CH**

Agradecimientos a María Belén Daizo por la colaboración en la recopilación de iconografía antigua, y a José Burucúa y Nicolás Kwiatkowski por su asesoramiento.

LECTURAS SUGERIDAS

BARRÈRE F, 2012, *Une espèce animale à l'épreuve de l'image: essai sur le calmar géant*, L'Harmattan, París.

ELLIS R, 1998, *The Search for the Giant Squid: The world's most mysterious and elusive creature, its biology and mythology*, Lyons Press, Nueva York.

HEUVELMANS B, 1958, *Dans le sillage des monstres marins: le Kraken et le Poulpe colossal*, Plon, París.

NIGG J, 2013, *Sea Monsters: The Lore and legacy of Olaus Magnus' marine map*, The University of Chicago Press, Chicago.

WILLIAMS W, 2011, *Kraken: The curious, exciting, and slightly disturbing science of squid*, Abrams, Nueva York.



Santiago Francisco Peña

Doctor en historia, Université Paris-Sorbonne y UBA.

Profesor adjunto, UNIPE.

Investigador asistente, Conicet.

santiagofpena.ch@gmail.com

Conocimiento sin reconocimiento

Introducción

Suponga el lector que participa de una investigación en la que le presentan docenas de preguntas comparando ciudades. Una podría ser las siguiente:

**¿Cuál de estas ciudades alemanas
tiene mayor población?**

(a) Hamburgo (b) Kassel

Como los investigadores saben que probablemente usted no conozca la mayoría de las respuestas, le indican que use la siguiente heurística (estrategias eficientes que guían la búsqueda de soluciones): 'Si reconoce solo una de las ciudades, elíjala'. Si usted, como la mayoría, reconociera Hamburgo, pero no Kassel, eligiéndola respondería correctamente ya que Hamburgo tiene más habitantes que Kassel. Mediante esta *heurística del reconocimiento* lograría muchas más respuestas correctas que eligiendo al azar entre parejas de ciudades más y menos pobladas. ¿Por qué

se puede inferir la población relativa a partir del reconocimiento? Por tres características humanas muy desarrolladas a lo largo de milenios: 1) capacidad prácticamente ilimitada para reconocer (caras, lugares, palabras); 2) capacidad prácticamente ilimitada para generar asociaciones mnemónicas (sin deliberación y sin notarlas), entre elementos de los ambientes a los que nos exponemos, y 3) capacidad prácticamente ilimitada para detectar regularidades y relaciones en esos ambientes. Esta última capacidad se basa en que elementos ambientales como ciudades, cantidades de habitantes, medios de comunicación y usted mismo no se relacionan entre sí de forma azarosa, sino probabilística, como se muestra en la figura 1.

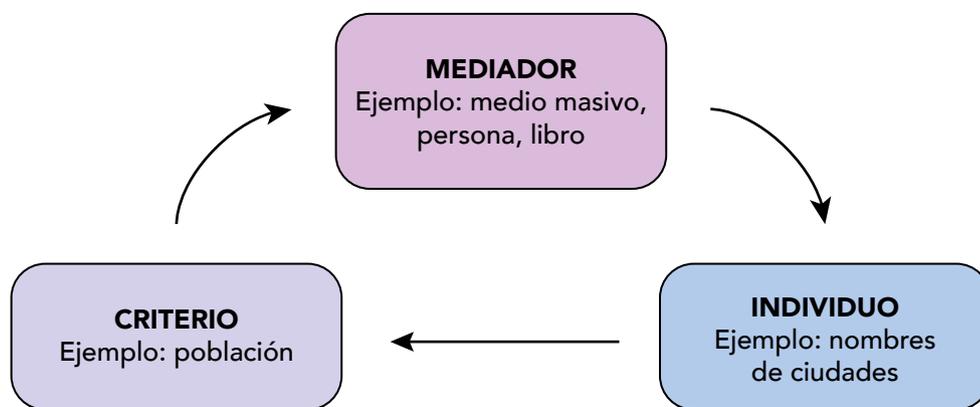
Por ejemplo: los medios tienden a nombrar más frecuentemente las ciudades más pobladas. Esas menciones no se deben en general a noticias relacionadas directamente con su cantidad de habitantes (relativamente pocas se refieren a hacinamiento), pero tampoco ocurren por azar (más frecuentemente se comunican los resultados deportivos de los equipos de las grandes ciuda-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Decisiones, juicios y heurísticas ecológicamente racionales con elementos no reconocidos.

Figura 1. Heurística del reconocimiento en un ambiente de estructura probabilística.

Un criterio inaccesible (por ejemplo, población) es reflejado por un mediador (por ejemplo, cantidad de menciones en periódicos) que influencia la probabilidad de reconocimiento (por ejemplo, nombres de ciudades) por parte de un individuo. El individuo podrá usar en el futuro ese reconocimiento para inferir el criterio que desconoce.



des que de las pequeñas). ¿Como usted tenderá a registrar inconscientemente en su memoria las ciudades más nombradas, si en el futuro se las mostraran de a pares podrá decidir *con mejor probabilidad que al azar* cuál tiene más habitantes eligiendo la ciudad que reconozca!

Se ha probado que la capacidad humana de reconocer, de detectar regularidades y relaciones en los ambientes y de generar asociaciones mnemónicas permite acertar con mayor probabilidad otros criterios, como la altura relativa de montañas o el mejor entre varios colegios. Pero hay más:

- La heurística del reconocimiento predijo los resultados de los partidos de tenis de Wimbledon 2003 y 2005 con precisión igual o mayor que los *ranking* de la Asociación de Tenistas Profesionales (ATP) y que los expertos.
- En los mercados de valores norteamericano y alemán, en 1999 la heurística igualó o superó en rendimiento promedio a los principales fondos de inversión, a los índices del mercado, a acciones elegidas al azar y a acciones menos reconocidas.
- Juicios basados en el reconocimiento de partidos políticos pronosticaron en 2011 resultados electorales tan bien o mejor que las encuestas de intención de voto.

Demasiado reconocimiento y... demasiado poco

Sin embargo, ¿qué ocurriría si usted reconociera ambos elementos del par? ¡Maldición! No podría aplicar la heurística del reconocimiento. Debería buscar en su memoria *información adicional* para que lo ayude a inferir. Por ejemplo, preguntarse lo siguiente: ¿una de estas dos ciudades tiene aeropuerto? La que lo tenga podría ser la más populosa.

¿Y si usted no reconociera ninguno de los elementos? Los trabajos publicados coincidían en que usted no podría acceder a información adicional y que debería resignarse a elegir al azar. *Hasta ahora.*

Nuevos resultados

Como parte de un estudio más amplio, en 2010 el investigador Guillermo Campitelli y el ajedrecista y filósofo Martín Labollita entregaron listas de apellidos de ajedrecistas a 157 participantes de un estudio. En vez de pares de alternativas como en el ejemplo de Hamburgo y Kassel, esta vez fueron listas. Les pidieron: (1) indicar si los reconocían; (2) estimar su nacionalidad, y (3) estimar su fuerza de juego (puntos Elo). Aunque el reconocimiento fue muy bajo, *¡sorprendentemente ambas estimaciones superaron las que se hubieran obtenido por azar!* Los autores supusieron, entonces, que de todos modos los participantes habían realizado inferencias, pero... ¿cómo? Campitelli me ofreció investigar y para hacerlo decidí extremar las condiciones y analizar solo a los 123 participantes que no habían reconocido a ningún jugador. De esa forma se eliminaba cualquier influencia del reconocimiento en los resultados. Sin embargo, el análisis preliminar reveló que aun así el promedio de aciertos en ambas estimaciones se mantuvo.

Inferencias y heurísticas con información limitada e imperfecta

Inferir es llegar a una consecuencia a partir de algo. Así como puede inferirse que una ciudad tiene más habitantes por reconocérsela, Charles Darwin notó que una persona observa los ojos de otra para intentar inferir inocencia o culpabilidad; un jugador de béisbol mantiene fijo el ángulo que la mirada forma con la pelota para estimar sin

cómputos complejos dónde caerá; los sapos machos, al recorrer los pantanos por la noche, usan el tono del croar de un rival para inferir su tamaño y decidir si pelean. Sin embargo, todas esas claves son inciertas: una ciudad como el Vaticano puede ser muy difundida y reconocida a pesar de sus pocos habitantes; los ojos de un culpable pueden engañar; una pelota puede girar más bruscamente de lo previsto; un pequeño sapo puede tener un croar grave.

Heurística significa ‘encontrar’ o ‘descubrir’. Los seres humanos usan heurísticas para guiar sus decisiones cuando enfrentan limitaciones de tiempo, de información y de recursos cognitivos; o simplemente por ser herramientas adaptadas a determinados ambientes. Las heurísticas son estrategias que con información limitada e imperfecta mejoran la probabilidad (pero sin garantías) de descubrir soluciones que, además, no serán óptimas, pero sí *satisfactorias*.

Racionalidad y teorías de verdad

Históricamente, la filosofía y la psicología definieron la racionalidad humana de muchas maneras, atribuyéndole desde completa adherencia a reglas hasta completa independencia de reglas. A su vez, han utilizado tres teorías para evaluar la verdad o corrección de los juicios y las decisiones humanas: 1) la teoría de coherencia, que califica los juicios y las decisiones de verdaderos o correctos según la coincidencia que presenten respecto de sistemas normativos –como el de la lógica o el de la probabilidad–; 2) la teoría de correspondencia, o sea, según la coincidencia con hechos del mundo, y 3) la teoría pragmática, según sean útiles a determinado fin. Se sigue entonces que las estimaciones de los participantes fueron correctas evaluándolas tanto con la teoría de correspondencia, debido a su coincidencia con la realidad –aciertos–, como con la teoría pragmática, ya que sirvieron para resolver los problemas que los investigadores les presentaron.

Heurísticas sin reconocimiento

A partir de los aciertos publicados por Campitelli y Labollita, las hipótesis iniciales fueron que los participantes habrían generado durante sus vidas (a) asociaciones entre sufijos rusos presentes en apellidos y el término Rusia (además de términos relacionados, como ruso, rusa, URSS, etc.), debido a que acertaron esta nacionalidad por encima del azar; (b) asociaciones entre Rusia –más términos relacionados– y buen desempeño en ajedrez, debido a que asignaron más puntaje a los jugadores eslavos (ya veremos por qué esta hipótesis inicial incluyó ‘Rusia’ en vez de ‘eslavos’).

Para lograr esos aciertos, los participantes debieron exponerse mucho antes a ambientes que presentaran determinados componentes. Uno de ellos tuvo que ser el de apellidos con sufijos. La antroponimia explica que los sufijos han surgido adicionando morfemas al final de los nombres de los hijos. Por ejemplo, en Rusia son comunes -ov, -in, -ich; típicos de Ucrania son -nko y -enko. Sin embargo, ya no tienen correspondencia unívoca con las nacionalidades. Otros componentes ambientales tuvieron que ser *ajedrez*, Rusia (más términos relacionados) y medios de comunicación como diarios, radios y otros.

Además, los participantes tuvieron que haber contado con capacidades cognitivas que les posibilitaran detectar regularidades y relaciones en esa información captada del ambiente. También tener la capacidad de generar asociaciones que les permitieran mucho después –durante la investigación– realizar inferencias como las que vimos sobre ciudades, tenistas, etc., *pero sobre elementos no reconocidos* (recordar que analicé solo a los participantes que no reconocieron a ningún jugador). ¡Parecía demasiado!

Sin embargo, estudios psicológicos, históricos, lingüísticos y mediáticos respaldaron teóricamente estas posibilidades y el análisis de los datos las corroboraron. Resumiré a continuación esos estudios que avalan las extraordinarias capacidades cognitivas de los seres humanos para detectar regularidades y relaciones de los ambientes. Luego analizaré la posibilidad de que históricamente haya existido un ambiente concreto con los componentes necesarios para que los participantes los extrajeran.

Capacidades cognitivas

Detectar regularidades lingüísticas

Palabras. Desde los ocho meses detectamos, registramos y recordamos palabras, incluso de una lengua artificial hablada de manera continua (es decir, sin pausas, acentuación ni prosodia), exponiéndonos solo durante dos minutos.

Apellidos. Los antropónimos (nombres propios) son de las primeras palabras que adquirimos. Desde los dos años detectamos si un sustantivo refiere un nombre propio (Carlsen) o común (perro), sin percatarnos y mediante exposiciones muy breves.

Sufijos y otros morfemas. Desde los once meses los detectamos y registramos muy rápidamente, sin notarlo. Desde los cuatro años podemos usar sufijos correctamente, incluso en palabras inventadas.

Detectar relaciones lingüísticas

Palabras. Antes del año aprendemos inconscientemente la asociación entre el sonido de una palabra y su refe-

rente (a qué o a quién alude la palabra), incluso mediante elementos nombrados sin atención conjunta (sin mirar juntos el objeto que se nombra), sin señalamiento ni otras pistas.

Sufijos y otros morfemas. A los cinco años podemos descubrirlos y asignarles significados involuntariamente (por ejemplo, que en inglés el sufijo *-ing* se agrega tras una raíz verbal con el significado de ‘lo que está ocurriendo en el presente’).

Ambientes

Las capacidades cognitivas para extraer del ambiente regularidades y relaciones habrían permitido a los participantes detectar sufijos en apellidos, por mera exposición mediática. Sin embargo, para luego asignar correctamente la nacionalidad rusa en el estudio, también tuvieron que haberse expuesto a la difusión de determinados sufijos más próximos a la palabra Rusia (o vinculadas, como ruso, etcétera) que a palabras relacionadas con otras nacionalidades. También tuvieron que exponerse a difusiones análogas para que asignaran más puntos a ajedrecistas rusos. Pero ¿existió un ambiente así?

Inferir la nacionalidad rusa

Diversos estudios revelaron que la batalla ideológica que mantuvo Estados Unidos con la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) durante la mayor parte del siglo XX determinó que mundialmente las noticias, películas, televisión, sistemas educativos y hogares aludieran a Rusia, y a términos relacionados, mucho más que a cualquier otra nacionalidad eslava; que *soviético* y *ruso* se usaran intercambiamente; que no solamente sufijos rusos (por ejemplo, *-ov*) sino también eslavos no rusos (por ejemplo, el ucraniano *-enko*) aparecieran con mayor frecuencia próximos a términos como Rusia o ruso que a cualquier otra nacionalidad o gentilicio.

El descubrimiento de que ese ambiente había favorecido no solo la asociación de Rusia con los sufijos rusos (por ejemplo, *-ov*, *-ev*) sino también con los sufijos esla-

vos no rusos (por ejemplo, el ucraniano *-enko*) me llevó a generar una hipótesis más amplia: los análisis evidenciarían que también se había asignado correctamente Rusia a los jugadores de nacionalidad rusa, pero con sufijos eslavos en sus apellidos (es decir, no solo a los rusos con sufijos rusos). La figura 2 muestra la estructura probabilística de ese ambiente que habría permitido inferir luego la nacionalidad rusa de un apellido, sin reconocerlo: el criterio inaccesible (la nacionalidad) habría sido reflejado por mediadores accesibles (por ejemplo, la frecuencia con que los apellidos con sufijos eslavos –no solo rusos– se difundieron en la proximidad de, o referidos a, Rusia). Gracias a su capacidad para detectar regularidades y relaciones, los participantes asociaron los sufijos eslavos con Rusia y los usaron luego en el estudio para inferir esta nacionalidad.

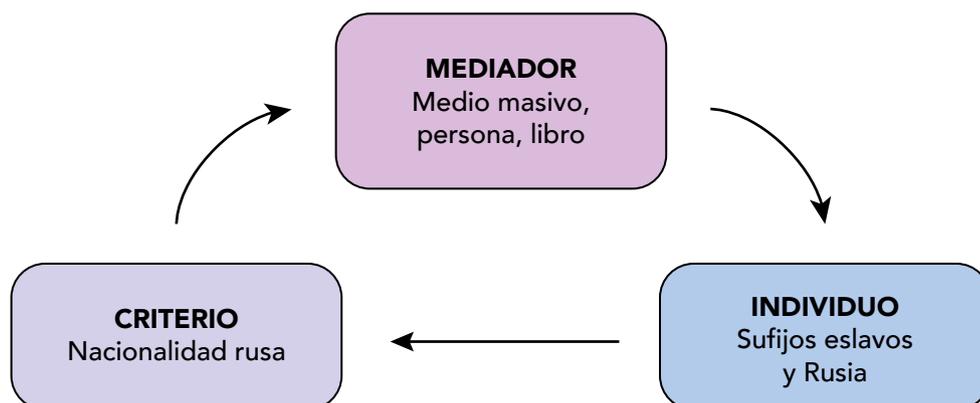
Sin embargo, en ese ambiente habría existido alta incertidumbre (por ejemplo, los sufijos difundidos por los medios en la proximidad de Rusia o palabras relacionadas podrían haberse correspondido mal con los sufijos de las personas realmente nacidas en Rusia), generando asociaciones imperfectas. Aun así, una heurística imperfecta como ‘todos los apellidos terminados en *-ov* son rusos’ –ya que no se cumplía en todos los ajedrecistas presentados–, habría logrado más aciertos que una nacionalidad asignada al azar.

Resultado. Los análisis corroboraron la hipótesis amplia: los aciertos se debieron a la correcta asignación de Rusia a jugadores de nacionalidad rusa con los sufijos rusos *-ov* y *-ev*, pero también al jugador ruso con el sufijo ucraniano *-enko*.

Inferir los puntos de los eslavos

En 1949 la URSS decidió lograr la supremacía deportiva como evidencia adicional de las ventajas del socialismo sobre el capitalismo. En ajedrez, entre 1948 y 1991 los campeones mundiales fueron casi exclusivamente so-

Figura 2. La estructura probabilística de un ambiente que habría permitido inferir la nacionalidad rusa de un apellido, sin reconocerlo. El criterio inaccesible fue reflejado por mediadores accesibles (por ejemplo, la frecuencia con que los apellidos con sufijos eslavos –no solo rusos– fueron difundidos en la proximidad de, o referidos a, Rusia). Gracias al mediador, el individuo asoció los sufijos con Rusia y los usó luego para inferir esta nacionalidad.





Partida por el título mundial de ajedrez entre Anatoli Kárpov y Garri Kaspárov, 1984.

viéticos; desde 1992, luego del desmembramiento, fueron rusos o de otras nacionalidades eslavas. Gran parte de los cincuenta mejores del ranking fueron soviéticos desde 1970; fueron rusos o eslavos desde 1992. Entre 1952 y 1991 la URSS ganó regularmente la Olimpiada de Ajedrez (luego Rusia y países eslavos). La cobertura mediática mundial fue siempre muy amplia, usando soviético y ruso indistintamente. Parecía entonces muy probable que los participantes hubieran asociado Rusia con buen ajedrez.

Sin embargo, esos mismos trabajos revelaron otra posibilidad: los participantes podrían haber generado asociaciones entre buen ajedrez y determinados sufijos (sin asociar Rusia y ajedrez), ya que por las mismas causas se difundieron incontables ajedrecistas con apellidos que contenían sufijos eslavos. Algunos, como *-ov*, aparecieron en varios campeones mundiales (Karpov y Kaspárov abarcaron veinticinco años consecutivos). La figura 3 muestra (con ambas hipótesis en el individuo) la estructura probabilística que podría haber permitido inferir luego en el estudio que los eslavos tienen más puntos Elo, sin necesidad de reconocerlos.

El criterio inaccesible (el mayor puntaje relativo de los eslavos) habría sido reflejado por mediadores accesibles (por ejemplo, la frecuencia con que los apellidos con sufijos eslavos –no solo rusos– se difundieron en contextos ajedrecísticos, usualmente en la proximidad de, o referidos a, Rusia o términos relacionados). Gracias a los mediadores los participantes habrían asociado (a) los sufijos eslavos con buen ajedrez, o bien (b) Rusia con buen ajedrez. Así, durante el estudio habrían asignado más puntos a quienes presentaron los sufijos o a quienes consideraron rusos (usando los sufijos solo para discriminar la nacionalidad rusa).

También en este ambiente habría existido alta incertidumbre (por ejemplo, los jugadores difundidos con esos sufijos eslavos no siempre habrían tenido más puntos Elo). Sin embargo, una heurística como ‘los rusos son buenos en ajedrez’ que asignara más puntos a quienes los participantes creyeran rusos hubiera logrado mejores estimaciones que puntuar al azar –aun cuando no todos los rusos que les presentaron tenían realmente mayor puntaje–.

Resultado. Los análisis revelaron que no fue Rusia sino un sufijo el que se asoció con buen ajedrez, ya que mientras se asignó correctamente Rusia a los ajedrecistas rusos con sufijos *-ov*, *-ev* y *-enko*, solo los jugadores con *-ov* recibieron un puntaje significativamente mayor.

Conclusión

Esas asociaciones fueron ecológicamente racionales, como postula el psicólogo austríaco Gerd Gigerenzer (n. en 1947), ya que, mediante capacidades desarrolladas evolutivamente los participantes, por mera exposición, explotaron ambientes estructurados por diversos elementos relacionados entre sí sin instrucción explícita ni deliberación. Luego usaron las asociaciones heurísticamente, como guía o estrategia. Los resultados

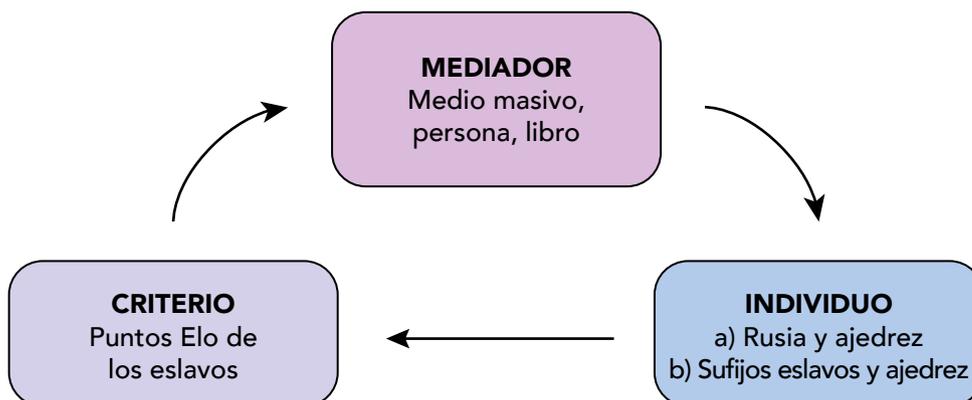


Figura 3. La estructura probabilística de un ambiente que habría permitido inferir que los jugadores eslavos tienen más puntos Elo, sin reconocerlos. El criterio inaccesible fue reflejado por mediadores accesibles (por ejemplo, la frecuencia con que los apellidos con sufijos eslavos –no solo rusos– fueron difundidos en contextos ajedrecísticos, usualmente en la proximidad de, o referidos a, Rusia). Gracias a los mediadores, el individuo asoció (a) sufijos eslavos con ajedrez, o bien (b) Rusia con ajedrez. Luego asignó más puntos a quienes tuvieron sufijos, o bien a quienes consideró rusos (usando los sufijos solo para discriminar la nacionalidad rusa).

concuendan con el modelo de racionalidad limitada propuesto por el politólogo norteamericano Herbert Simon (1916-2001): aun sin reconocer los elementos, los participantes no se resignaron a la inacción, pero tampoco a 'adivinar'; no aspiraron a respuestas certeras, pero sí a algún tipo de respuesta; aun sabiendo que no acertarían siempre, decidieron que podrían acertar más que al azar. Las heurísticas que se generan adaptativamente, que guían juicios riesgosos e imperfectos y que se aplican solo a determinados contextos, son por eso mismo racionales ya que, con restricciones temporales, conocimiento imperfecto y recursos cognitivos restringidos, generan juicios exitosos en correspondencia con hechos del mundo, más allá del laboratorio. Esto invita a revisar qué es juzgar y decidir 'bien', ya que la mayoría de las veces debemos manejar información limitada, en ambientes inciertos, conformándonos con aciertos parciales y sabiendo que cometeremos errores; pero enfrentamos problemas que necesitan soluciones satisfactorias en vez de las soluciones óptimas que las teorías basadas

en racionalidad lógica afirman que se buscan al decidir.

Los seres humanos se encuentran comúnmente compelidos por circunstancias sociales, políticas y económicas a decidir y estimar utilizando elementos novedosos y no reconocidos. El descubrimiento de que podemos recurrir a heurísticas ecológicamente racionales para inferir información sobre elementos que no reconocemos permitirá investigaciones hasta ahora inexploradas. También ayudará a reconsiderar estudios que podrían haber incluido inadvertidamente claves lingüísticas en sus elementos, quizá introduciendo confusión o interacciones insospechadas (por ejemplo, muchos nombres de ciudades usados en tareas de reconocimiento como la presentada al principio de este artículo pueden haber tenido sufijos, prefijos o infijos que influenciaran la decisión de los participantes no solo ante dos ciudades no reconocidas, sino también ante dos ciudades reconocidas o incluso ante una ciudad reconocida y una no reconocida). Este estudio es un aporte para ayudar a comprender mejor la sorprendente relación entre la cognición y los ambientes. 

LECTURAS SUGERIDAS

CAMPITELLI G & LABOLLITA M, 2010, 'Correlations of cognitive reflection with judgments and choices', *Judgment and Decision Making*, 5 (3): 182-191.

DIMASE M, 2019, 'Heuristics in judgment tasks with unrecognized elements', *Europe's Journal of Psychology*, 15 (3): 531.

GIGERENZER G & TODD PM, 1999, *Simple Heuristics that Make Us Smart*. Oxford University Press, Nueva York.

KAHNEMAN D, 2012, *Pensar rápido, pensar despacio*, Debate, Madrid.

SIMON HA, 2011, *El comportamiento administrativo: un estudio de los procesos de decisión en las organizaciones administrativas*, Errepar, Buenos Aires.



Miguel Dimase

Magíster en psicología cognitiva, UBA.
Licenciado en informática, Universidad Católica de Salta.
Profesor en Disciplinas Industriales, Universidad Tecnológica Nacional (UTN).
miguel.dimase@gmail.com

Los suelos urbanos

Estudio de caso de la región metropolitana de Buenos Aires

Introducción

El suelo es un componente esencial del medio natural que cumple numerosas funciones y servicios tanto ecosistémicos como ambientales. Sus características son el resultado de la combinación de una serie de elementos, llamados factores de formación, que incluyen biota, relieve, clima, material originario y tiempo. Estos se interrelacionan entre sí y condicionan el tipo y la intensidad de los procesos formadores de los suelos, hasta que alcanzan un estado de equilibrio dinámico con las condiciones naturales y se plasman en sus propiedades. Estas pueden ser propiedades morfológicas, físicas y químicas, que permiten la diferenciación en horizontes o, por el contrario, pueden conducir a la simplificación o mezcla del perfil del suelo.

El creciente rol que juega la humanidad como factor modificador de suelos es ampliamente reconocido. La continua y abusiva utilización de este recurso por parte del hombre condiciona negativamente sus propiedades, interfiere con su génesis y trunca su evolución, ya que no solo actúa sobre los suelos en sí mismos sino también sobre los propios factores de formación. Estos condicionamientos se asocian a los diferentes usos de la tierra, siendo especialmente evidentes y significativos en las zonas urbanas, los que resultan en heterogeneidades en los materiales y/o diversas formas de degradación tanto físicas como químicas y biológicas. Tan notoria es la acción antrópica que actualmente se considera a la humanidad como el sexto factor de formación de los suelos.

En particular, las acciones humanas generan relieves antrópicos y producen materiales antrópicos. En el Área

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los suelos urbanos productos de la acción antrópica en la Región Metropolitana de Buenos Aires.



Figura1. Fuente: FAO.



Figura 2. Suelo natural típico del Área Metropolitana de Buenos Aires, predio del INTA Castelar.

Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) estos son notorios, especialmente en la zona litoral costera del estuario del Río de la Plata, donde los rellenos a partir de los materiales dragados y otras fuentes (como materiales de construcción, excavaciones de la red de subte, etcétera) han implicado la generación de varios miles de hectáreas de geoformas antrópicas, llegando a ser este sector de la costa el más modificado del país.

La caracterización, clasificación y cartografía de los suelos urbanos es un proceso sumamente complejo, principalmente por la gran variabilidad en los materiales y procesos. Aun así, su estudio permite interpretar tanto su evolución como su comportamiento frente a los diferentes usos actuales y futuros, por lo que se ha convertido en un campo novedoso de investigación en las últimas décadas.

El suelo es un sistema abierto que evoluciona transformándose hasta alcanzar el equilibrio con las condi-

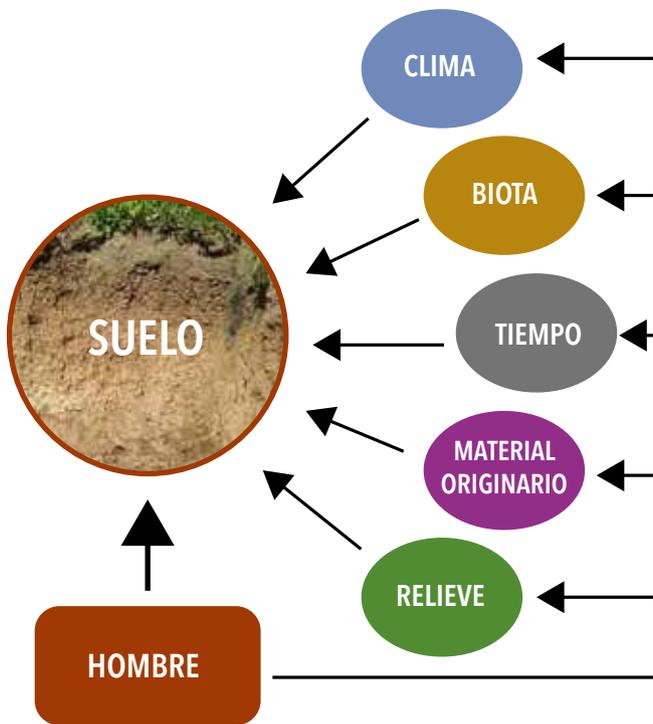


Figura 3. Factores de formación del suelo y la influencia directa e indirecta del hombre

ciones ambientales y a partir de ese momento tiende a permanecer en un equilibrio dinámico. La energía necesaria para su formación proviene de distintas fuentes: gravedad (controla los movimientos), energía conservada en los minerales (no es renovable, decae) y energía solar, tanto en el agua como en los organismos.

Los efectos de la urbanización en los suelos son variados y significativos, alterando en forma directa o indirecta las funciones de estos. El principal factor de formación de suelos en las poblaciones humanas es el tipo de uso de la tierra. La actividad antrópica puede acelerar o ralentizar los procesos pedogenéticos, crear nuevos materiales originarios, influir sobre las condiciones de temperatura y humedad, modificar la dinámica biológica, promover la meteorización, interactuar con los procesos geomorfológicos y/o modificar completamente las funciones de los suelos naturales.

Los suelos urbanos

La urbanización forma parte de uno de los principales procesos de transformación del territorio y los ecosistemas. Por lo general, el cambio se incrementa desde el centro de las ciudades hacia la periferia de manera desordenada y sin respetar la dinámica natural, y también se acumulan los efectos a través del tiempo, sien-

Influencias de las acciones antrópicas sobre los factores de formación de los suelos	
CLIMA	Clima urbano, cambio climático, aumento de la escorrentía superficial, sequías, inundaciones
BIOTA	Deforestación, cultivos, introducción de especies exóticas, extracción de la cobertura vegetal
RELIEVE	Relieve antrópico, excavaciones, rellenos, cambios en los regímenes de erosión y deposición
MATERIAL ORIGINARIO	Materiales antrópicos, mezcla de materiales, introducción de metales y polvo
TIEMPO	Permanente rejuvenecimiento de los suelos por alteraciones en los anteriores. El tiempo 0 de formación de suelos se reajusta

Tabla 1. Influencia del hombre sobre los factores de formación de los suelos

do frecuente observar diversas problemáticas producto de ello.

Los suelos de zonas urbanas presentan una combinación de numerosos usos, incluyendo actividades industriales, urbanas, forestales y agrícolas, por lo que poseen una fuerte heterogeneidad espacial-temporal, resultante de ingresos de materiales exógenos que se mezclan con los originarios. Las actividades humanas son intensivas y diversas en las ciudades de manera que la evolución de los suelos urbanos está controlada por los mismos factores que los suelos naturales, pero el factor humano impone ciclos de transformación extremadamente rápidos en comparación con los dominantes en condiciones naturales.

Como parte de proyectos de investigación en curso se han realizado más de veinte calicatas en las cuales se describieron los suelos y se tomaron muestras que han sido analizadas, incluyendo propiedades como materia orgánica, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, bases y suma de bases, entre otras. Los resultados de algunos perfiles seleccionados se muestran en las tablas 2 y 3, y la localización de los sitios de muestreo se observa en la figura 2. Las calicatas fueron complementadas con numerosas observaciones de campo, especialmente en diferentes sectores de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Avellaneda, Lanús y La Matanza.

Los suelos reconocidos en la región pertenecen esencialmente al orden molisol (utilizando la Taxonomía de

UBICACIÓN DE PERFILES

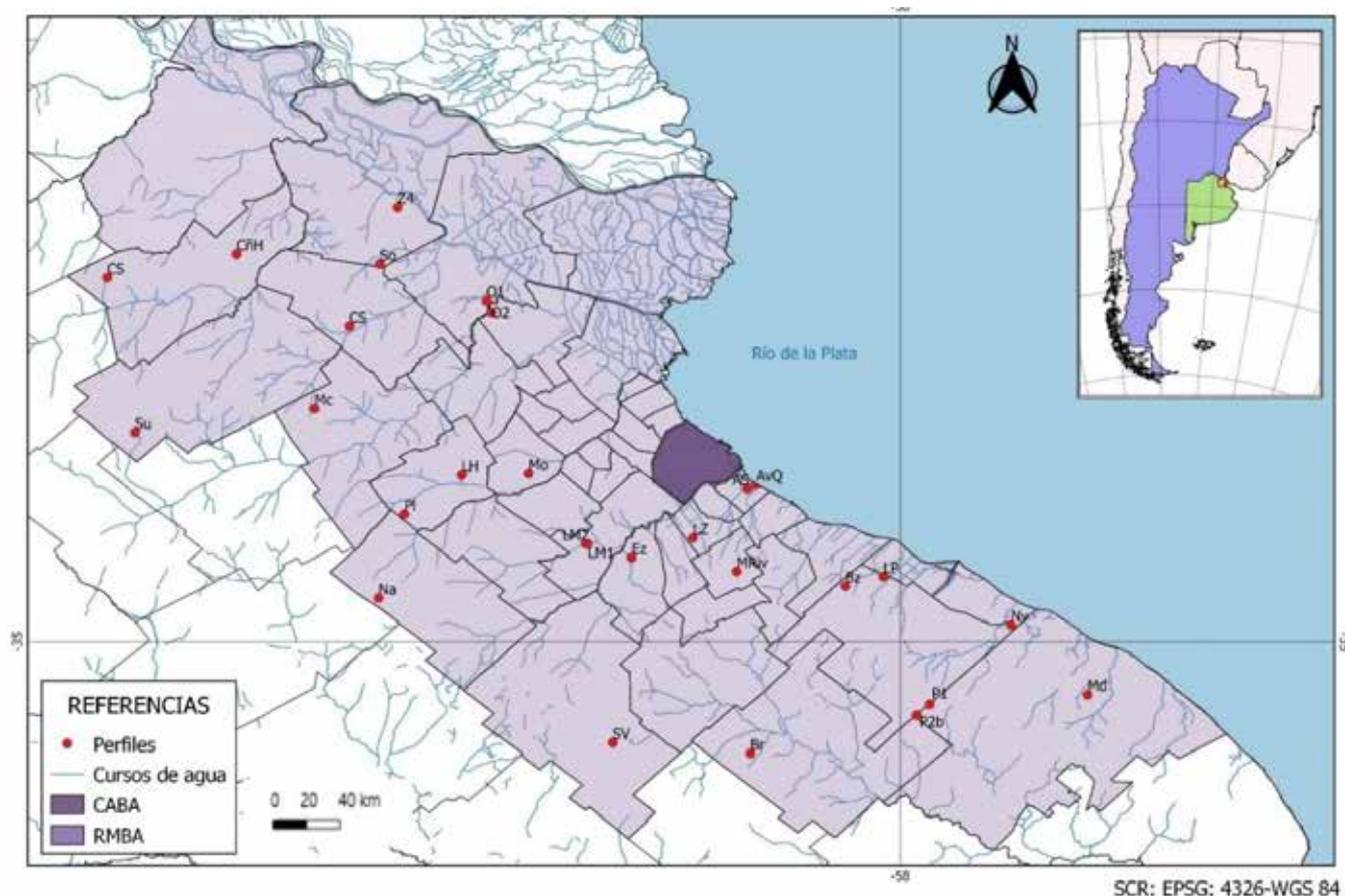


Figura 4. Localización de los sitios de estudio donde se realizaron calicatas y se tomaron muestras.

Suelos, que es la clasificación más usada en el país, tanto en investigación como por parte del INTA en la cartografía), predominado los argiudoles típicos en los sectores más elevados y los acuoles en general en los más bajos. En ambos casos se trata de suelos con potentes horizontes superficiales (A) oscuros ricos en materia orgánica humificada. En el primer caso, se trata de suelos bien drenados con un horizonte de acumulación de arcillas subsuperficial (Bt) y por debajo, generalmente un horizonte C cementado con carbonato de calcio (CaCO_3), denominado petrocálcico o calcrete (conocido como 'tosca'). Son dominantes en la planicie loésica. Los segundos, por el contrario, se localizan en los sectores más bajos con el nivel freático poco profundo o aflorante, por lo que tienen rasgos hidromórficos conspicuos, generalmente en el ambiente fluvial y estuárico. Son menos potentes y usualmente presentan perfiles más simples sin otros horizontes diagnósticos.

Tal como se dijo, las influencias de las acciones antrópicas en zonas urbanas son especialmente significativas, entre las que se destacan mezcla de materiales originarios, presencia de horizontes de origen antrópico y

truncamiento de los perfiles (falta de los horizontes superficiales) y presencia de elementos y compuestos en proporciones anómalas respecto de los suelos naturales. Dentro de estos últimos se ha considerado en este caso la presencia de los llamados metales pesados.

Uno de los primeros efectos de la acción antrópica en los suelos es la compactación, esto es, la destrucción de la estructura, alterando la capacidad de retención de agua y la permeabilidad. Esta situación se ha verificado en la mayor parte de los suelos reconocidos, observándose, como rasgo más notorio, la destrucción de la estructura natural del suelo en la parte superior del horizonte A y a veces el reemplazo por una estructura de tipo laminar.

Por otra parte, los tiempos de formación en los suelos urbanos son demasiado cortos para la formación de horizontes diagnósticos; es por ello que los suelos se encuentran en un estado de permanente inestabilidad o rejuvenecimiento. Al igual que en los suelos naturales jóvenes, el material originario juega un papel central en la diferenciación de los suelos urbanos y las propiedades del suelo. De esta manera, en los suelos urbanos de la región estudiada es posible distinguir distintos tipos

Ubicación/ propiedades	Horizonte	pH	CE (ds/ cm)	% MO	Ca (meq/ 100 grs)	Mg (meq/ 100 grs)	Na (meq/ 100 grs)	K (meq/ 100 grs)	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clase textural
Suelos de zona de quintas Avellaneda	A1	6,93	0,4	1,6	14,23	2,02	0,79	2,33	25	22,5	15	62,5	Franco
	A2	6,8	0,29	1,75	15,03	1,75	0,56	1,96	22	25	22,5	52,5	Franco
	Cg	6,37	0,2	1,85	14,12	1,61	0,45	1,5	19,50	35	32,5	32,5	Franco-arcilloso
Suelos en Arroyo Sarandí Avellaneda	A	6,65	0,53	0,8	11	1,52	0,63	1,11	17,5	25	35	40	Franco
	Bt1	6,9	0,48	0,9	12,8	1,62	0,46	0,73	18,1	32	30	38	Franco-arcilloso
	Bt2	7,5	0,23	0,95	14,61	1,7	0,37	0,52	19,77	35	30	35	Franco-arcilloso
Suelos de Ezeiza	A1	7,15	0,23	3,58	14,56	1,63	0,35	1,28	23	17,5	50	32,5	Franco-limoso
	A2	7,22	0,19	2,42	15	1,42	0,5	1,11	23,5	17,5	55	27,5	Franco-limoso
	Bt	7,15	0,9	1,1	11,27	1,11	0,55	0,63	16,98	40	40	20	Arcilloso
	BC	7,09	0,78	1,42	8,46	0,99	0,43	0,66	13,47	27,5	45	27,5	Franco-arcilloso
Reserva Santa Catalina	Loma alta	6,3	0,1	0,6	6,78	1,26	0,33	0,81	12,39	25	50	25	Franco
Reserva Santa Catalina	Media loma	6,51	0,93	1,500	9,11	1,49	0,46	1,11	15,5	25	47,5	27,5	Franco
Reserva Santa Catalina	Baja loma	6,31	0,82	0,86	8,08	1,42	0,31	0,88	14	20	50	30	Franco

Tabla 2. Datos de perfiles seleccionados

Ubicación/ metales pesados	Suelos naturales de la provincia de Buenos Aires (Lavado <i>et al.</i> , 2004)				Suelos de zona de quintas Avellaneda			Suelos de Arroyo Sarandí Avellaneda		
	A1	A2	Cg	A	Bt1	Bt2	A	Bt1	Bt2	
Ni (ug/g)	6,67				23,75	18,8	11,95	19,7	16,75	18,75
Zn (ug/g)	55,25				201,9	149,25	60,45	270	111,4	55,65
Pb (ug/g)	15,50				58,65	36,5	8,45	53,7	106,7	17,5
Cu (ug/g)	18,50				62,8	144,2	32,65	52,6	66,35	21
Cr (ug/g)	24,33				156,3	147,92	137,16	96,67	95,25	32,45

Ubicación/ metales pesados	Suelos de Ezeiza				Reserva Santa Catalina, Lomas de Zamora			Decreto 831/93 Niveles guía calidad de suelos ley 24.051		
	A1	A2	Bt	BC	Loma alta	Loma media	Loma baja	Uso agrícola	Uso residencial	Uso industrial
Ni (ug/g)	30,4	37,8	37,1	35,5	28,1	14,75	13,35	150	100	500
Zn (ug/g)	73,57	71,45	91,1	83,4	89	78,1	17,9	600	500	1500
Pb (ug/g)	39,2	41,8	34,95	38,45	41,55	14,65	12,4	375	500	1000
Cu (ug/g)	29,85	26,45	29,5	30,7	29,85	28,75	83,65	150	100	500
Cr (ug/g)	58,25	55,55	67,95	74,8	102,2	47,1	67,8	750	250	800

Tabla 3. Concentraciones de metales pesados para los perfiles seleccionados.

de materiales originarios: 1) puramente naturales (sedimentos o regolitos); 2) materiales naturales removiliados por acciones antrópicas; 3) mezcla de materiales naturales con materiales antrópicos, pudiendo dar como

resultado materiales y horizontes úrbicos (ladrillos, cemento, vidrio, materiales de construcción, residuos orgánicos, concreto, etcétera); 4) materiales enriquecidos con materia orgánica y/o humus (por ejemplo, prove-

EFFECTO DE LA ACCIÓN ANTRÓPICA	PROPIEDADES MODIFICADAS
Compactación, encostramiento y cambios en la densidad aparente	Textura, estructura, porosidad y permeabilidad
Introducción de contaminantes y materiales úrbicos, orgánicos y técnicos	Propiedades físicas y químicas
Decapitación y soterramiento	Perfil del suelo
Modificación de las condiciones de drenaje de los suelos	Condiciones de hidromorfismo
Modificación de biodiversidad	Propiedades biológicas y químicas
Cambios en el pH, conductividad y resistividad	Propiedades químicas

Tabla 4. Efectos directos de la actividad antrópica sobre las propiedades del suelo.



Izquierda. Figura 5. Suelo natural típico del AMBA correspondiente a un argiudol típico. Perfil ubicado en la zona norte donde se observan los tres horizontes: potente horizonte A de tipo mólico, oscuro, rico en materia orgánica, por debajo horizonte Bt argílico con estructura prismática característica y por debajo horizonte C con acumulación de carbonato de calcio. **Derecha. Figura 6.** Incorporación de materiales de origen diverso en el perfil del suelo (materiales úrbicos). Predio de Segemar, partido de San Martín, provincia de Buenos Aires.

nientes de residuos, compostaje, etcétera), y 5) materiales artificiales de origen industrial, mineros.

Los suelos urbanos en la Región Metropolitana de Buenos Aires

Dentro del área urbana y periurbana de la RMBA pocos suelos mantienen sus características y rasgos originales, mientras que otros han sufrido sucesivas transformaciones, perdiendo sus características naturales. El límite entre horizontes distintos se caracteriza por un contraste abrupto de ciertas propiedades como textura, estructura, densidad aparente, aireación, conductividad hidráulica, color, valor de pH y composiciones químicas. En consecuencia, un suelo urbano presenta fuertes discontinuidades

litológicas dentro de los perfiles. Pueden diferenciarse los siguientes:

1. Suelos naturales
2. Suelos influidos por el hombre
3. Suelos modificados por el hombre
4. Suelos hechos por el hombre

Los suelos naturales preservan sus perfiles normales o parte de ellos y ocurren en zonas de parques o forestadas o en las zonas de reservas o aledañas a cursos fluviales, mar o lagos. Sus propiedades están escasamente modificadas, aunque los análisis químicos pueden revelar altas concentraciones de metales pesados y pH anómalos en comparación con suelos naturales de la zona no urbanizada, dando lugar a los suelos influidos por el hombre. En la RMBA son más evidentes en las zonas pe-

riurbanas, especialmente hacia el sur, como la zona rural de los partidos de La Plata, Luján, Cañuelas y Mercedes, entre otros.

Los suelos modificados por el hombre corresponden a suelos transformados especialmente en su parte superior (topsoil), con materiales úrbicos someros, y por debajo de los 50cm los horizontes naturales se mantienen preservados. Aquellos que poseen un uso minero, vinculados a la fabricación de ladrillos, se encuentran por lo general decapitados. En la RMBA, a excepción de sectores aislados, las principales afectaciones son la remoción de los horizontes superficiales, la mezcla de estos con otros materiales o su cobertura por construcciones (viviendas, calles, etcétera). Así, se encuentran suelos sellados o tapados por cemento, asfalto o construcciones. En diversos sectores de la ciudad de Buenos Aires se encuentra este tipo de suelos, reconociéndose perfiles naturales a partir del horizonte Bt, inmediatamente por debajo del pavimento o asfalto de calles y avenidas. Asimismo, en sectores residenciales e industriales de La Matanza y Avellaneda se han observado suelos con un horizonte superficial antrópico por encima de un perfil natural que suele comenzar también en un horizonte Bt (o argílico).

Los suelos hechos por el hombre son aquellos que poseen un material de origen totalmente antrópico, con o sin capas impermeables y con o sin horizonte diagnóstico. Se incluyen en este grupo los rellenos en planicies aluviales, zona costera, cavas, rellenos sanitarios, entre otros, generándose en todos los casos un relieve antrópico. En estos últimos, los suelos han ido adquiriendo propiedades naturales como es el caso de la reserva Costanera Sur o en la zona de Costanera Norte en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Es destacable la velocidad con la que algunas propiedades se han manifestado

en estos suelos, caracterizados por la diferenciación de horizontes, procesos de melanización, iluviación e hidromorfismo, que se materializa en la presencia de horizontes superficiales oscuros (ricos en materia orgánica humidificada), rasgos relacionados con la migración incipiente de arcillas y moteados respectivamente. En estos sectores, la antigüedad de los rellenos es menor que 60-50 años, por lo que estas características que han adquirido los suelos generados en materiales y geoformas artificiales han sido desarrolladas en tiempos menores que estos. Finalmente, en los terraplenes y laterales de excavaciones de autopistas, avenidas o ferrocarriles ocurre algo semejante. En ellos se han formado suelos de diferentes grados de desarrollo como, por ejemplo, en los laterales de la avenida General Paz, límite entre la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires, donde los suelos formados tienen menos de ochenta años y han desarrollado conspicuos horizontes superficiales húmiferos. Lo mismo puede observarse en los terraplenes de los ferrocarriles, como por ejemplo en la zona de Avellaneda, provincia de Buenos Aires.

Otro aspecto frecuente en zonas urbanas es que los suelos contengan contaminantes, como compuestos orgánicos o metales pesados. Las propiedades que regulan el comportamiento de los contaminantes en los suelos son aquellas que se relacionan con la adsorción y la naturaleza del complejo de intercambio integrado por (1) materia orgánica (contenido y tipo de humus); (2) mineralogía de las arcillas; (3) CIC, y 4) medio del suelo (pH y condiciones de óxido-reducción).

En general, los suelos de la región considerada presentan características naturales que tienden a favorecer la adsorción de cationes. En todos los casos analizados de numerosos suelos de la RMBA, las concentraciones



Suelos formados sobre materiales antrópicos depositados. **Izquierda. Figura 7.** Cantera en Luján. **Derecha. Figura 8.** Excavación en sector industrial, cercano al cementerio de La Tablada, La Matanza.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONAS URBANAS	MATERIALES
Actividad industrial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ORGÁNICOS ➤ INERTES DE COMPOSICIÓN VARIABLE ➤ RADIATIVOS ➤ METALES PESADOS ➤ FOSFATOS, SALES ➤ HIDROCARBUROS Y PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO ➤ FERTILIZANTES Y PESTICIDAS ➤ RESIDUOS DOMICILIARIOS, PELIGROSOS, PATOGENICOS Y/O ELECTRÓNICOS ➤ EMISIONES DE COMBUSTIÓN ➤ MATERIAL PARTICULADO
Tránsito vehicular	
Rellenos sanitarios	
Minería (colas de lavado)	
Vuelco y manejo inadecuado de residuos especiales	
Agroquímicos	
Contaminantes atmosféricos	
Aguas de riego y residuales	
Lodos de depuración	

Tabla 5. Fuentes de contaminación y materiales en suelos urbanos.



Arriba: Izquierda. Figura 9. Horizonte Bt del suelo por debajo del asfalto en la avenida Nazca (CABA). **Derecha. Figura 10.** Suelo antrópico y por debajo, un antiguo Bt, predio de Universidad Nacional de La Matanza, San Justo.

Abajo: Figura 11. Suelos úrbicos. **Izquierda. A.** Reserva Costanera Sur. **Derecha. B.** Horizonte A con mezcla de materiales antrópicos, formando un horizonte úrbico. Monte Inglés, Avellaneda.

de metales pesados detectadas son anómalas, superando las concentraciones naturales significativamente, aunque por lo general no llegan a sobrepasar los niveles guía. En líneas generales la presencia de elevados tenores de metales pesados es atribuida a la actividad industrial y al tránsito vehicular.

Consideraciones finales

Pese al evidente y creciente rol de la humanidad como factor modificador y creador de los suelos, el estudio de dichas modificaciones en los ambientes urbanos hasta ahora ha sido relativo. Se ha focalizado esencialmente en los usos agropecuarios y en sus efectos en la productividad y no en sus impactos en todas las funciones que los suelos desempeñan. Sin embargo, en forma creciente,

esta problemática está siendo abordada cada vez más por investigadores de diferentes formaciones. En tal sentido, nuestro país no es la excepción, más teniendo en cuenta su larga y valiosa historia de estudios edáficos. En particular, en numerosos centros y universidades de la RMBA las investigaciones en los efectos de las acciones antrópicas en los suelos de la zona urbana y periurbana constituyen un campo novedoso y en expansión.

Los suelos en zonas urbanas muestran significativos cambios respecto de los naturales. Las modificaciones son variadas y resultan de la influencia directa de las acciones antrópicas sobre los mismos suelos, así como en forma indirecta, a través de la modificación de los factores de formación y los procesos pedogenéticos. Finalmente, el desarrollo de la agricultura urbana y familiar implica necesariamente el estudio de los suelos y sus particularidades en estos tipos de ambientes. 

LECTURAS SUGERIDAS

FAO. www.fao.org/

INTA. inta.gob.ar/

LAVADO, RS, ZUBILLAGA MS, ÁLVAREZ R. & TABOADA MA, 2004, 'Baseline levels of potentially toxic elements in Pampas Soils', *Soil & Sediment Contamination*, 13: 427-437.

MORRÁS H, 2010, 'Ambiente físico del Área Metropolitana', en Lattes I, Alfredo E, Donati JM y Zuloaga N (eds.), *Dinámica de una ciudad 1810-2010*, Dirección General de Estadística y Censos Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pp. 27-61.

PEREYRA FX y RAGAS DB, 2021, *Los suelos de la pampa ondulada: características, clasificación, distribución y génesis, provincia de Buenos Aires, Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales-Segemar, Buenos Aires.

PEREYRA FX, 2004, 'Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental', *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3): 394-410.



Fernando X Pereyra

Doctor en Ciencias Geológicas, FCEN, UBA.
Profesor titular UNDAV.
Investigador UNDAV y Segemar.
Director de la carrera de Ciencias Ambientales, UNDAV.
ferxp2007@yahoo.com.ar



Deborah B Ragas

Licenciada en Ciencias Ambientales, UNDAV.
Ayudante de primera, UNDAV.
Investigadora UNDAV.
dragas@undav.edu.ar

Ernesto Julio Calvo
INQUIMAE, FCEN, UBA

Nuevos métodos de extracción directa de litio

Impacto en la explotación sustentable de los salares de la puna

La creciente demanda de litio para almacenamiento de energía en electromovilidad (vehículos eléctricos), electrónica móvil y almacenamiento de energías renovables intermitentes ha llevado el precio de 4500 dólares, en 2020, por tonelada de carbonato de litio equivalente (LCE, por su sigla en inglés) a 72.000 dólares en marzo 2022. El consumo global de litio para baterías se incrementó del 23% en 2010 a 65% en 2020 y el consumo global total en 2020 fue de unas 440.000 toneladas mientras que para 2030 se proyecta una demanda mundial de 1,793 miles de toneladas, por lo que se estiman precios en alza en los próximos años.

Existen dos fuentes de litio: roca (por ejemplo, espodumeno) o arcillas conteniendo litio (como la de Sonora en México o Nevada en Estados Unidos) y salmueras de

salares de altura (como el 'triángulo del litio' de Uyuni, Bolivia; Atacama, Chile; la puna argentina; Clayton Valley en Nevada, Estados Unidos, y en el norte de China), fluidos geotérmicos, agua de mar y otros. Los salares continentales se concentran en el triángulo del litio con el 65% de los recursos globales.

La extracción de roca por molienda y lixiviado ácido es muy simple, pero tiene un costo de 9000 dólares por tonelada y mayor impacto ambiental que la extracción a partir de salmueras continentales, a solo 3500 dólares por tonelada. La extracción de arcillas en México y Nevada por tratamiento ácido aún está en desarrollo. Aunque la recuperación de litio en salmueras tiene menor costo, es lenta y produce residuos. Los mayores recursos de litio están en el agua de mar, pero su concentración es 10.000 veces menor que la de las salmueras, lo que hace

¿DE QUÉ SE TRATA?

Extracción de litio. Métodos directos. Sus ventajas y desventajas.

su extracción mucho más costosa. Alternativamente, se puede extraer litio de fluidos geotérmicos, por ejemplo en Salton Sea (California) y Cornwall (Reino Unido) y de aguas de formaciones de petróleo. Una fuente secundaria de litio son los líquidos del reciclado de baterías de ion litio que cobrarán importancia en la década de 2030.

La producción mundial del litio en 2020 fue de 440.194 toneladas. La Argentina produce unas 35.000 ton/año en dos empresas extranjeras, Livent (en el salar de Hombre Muerto, Catamarca) con 20.000 ton/año, y Orocobre-Toyota (en el salar de Olaroz, Jujuy) con 15.000 ton/año. Según informes de la Secretaría de Minería hay otros veinte proyectos en marcha, pero aún no han llegado a la etapa de producción. Minera Exar (Lithium Americas de Canadá y Gangfeng de China) en el salar de Olaroz-Cauchari estaría comenzando la producción a fines de 2022 por el método tradicional y la empresa francesa Eramet proyecta comenzar la producción en gran escala en 2024.

¿Cómo se extrae el litio actualmente?

El método por evaporación y agregado de cal-soda utilizado en la actualidad consiste en el bombeo de salmuera de la profundidad del salar, concentrado en pozas de enorme extensión y poca profundidad durante un período de 12-18 meses bajo radiación solar. La recristalización fraccionada de las diferentes sales contenidas en la salmuera ocurre por precipitación secuencial de los cloruros de sodio, potasio y magnesio, como halita (NaCl), sivinita (NaCl + KCl), carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y bischoffita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). En este proceso las condiciones climáticas, estación seca o de lluvias influyen en el rendimiento. El desarrollo de un salar lleva más de siete años y la química particular de cada salar define el proceso; por ejemplo, las salmueras de Bolivia y China tienen alta relación magnesio a litio, y requieren una química vía sulfatos más compleja que la de cloruros que se emplea en la Argentina y Chile. El líquido resultante rico en cloruro de litio se transporta por tuberías a la planta química donde se separan boratos por extracción con solventes, mientras que el calcio y el magnesio se separan por agregado de cal o de carbonato de sodio en frío y, luego de filtrar los sólidos, se precipita el carbonato de litio al agregar carbonato de sodio a 85°C. Posteriormente se lava y seca el carbonato de litio de baja pureza o bien se alcanza grado batería (más del 99,6%).

Actualmente la empresa australiana Orocobre (asociada a Toyota Tsusho, de Japón) produce carbonato de litio de grado comercial en Jujuy y agrega valor para

transformarlo en hidróxido de litio hidratado o carbonato de litio de grado batería en Japón.

La empresa norteamericana Livent (anteriormente FMC) produce carbonato de litio en Catamarca a partir de salmueras del salar de Hombre Muerto y cloruro de litio en Güemes (Salta) que se exportan, vía el paso de Jama, desde el puerto de Antofagasta en Chile.

La eficiencia de extracción del proceso actual de evaporación conocido como 'cal-soda' no excede el 30-40% debido a la alta solubilidad del carbonato de litio, aun a 85°C (9,5 gramos por litro).

Nuevos métodos de extracción directa

En los últimos años se extendió apreciablemente el desarrollo de métodos de obtención de sales de litio alternativos a las tecnologías tradicionales como la lixiviación de espodumeno (aluminio-silicato de litio) y la evaporación de salmueras bajo radiación solar con agregado de cal y soda Solvay. Estos nuevos métodos de extracción directa de litio (DEL, por su sigla en inglés) reducen el tiempo de procesamiento. Ellos son los siguientes:

- Absorción específica de iones litio en materiales de intercalación inorgánicos como el óxido de manganeso y litio (LMO), el óxido de titanio y litio (LTO) y el cloro-aluminato de litio o gibbsita.
- Intercambio iónico Li^+/H^+ con óxidos de manganeso como $\text{Li}_4\text{Mn}_5\text{O}_{12}$.
- Extracción por solventes con moléculas secuestrantes específicas del ion litio como los óxidos de fosfina.
- Nanofiltración con membranas selectivas al ion litio.
- Electrodiálisis directa de salmueras (electrólisis con membranas).
- Extracción electroquímica utilizando materiales de intercalación de litio en cátodos de baterías de ion litio como LiFePO_4 (LFP) o LiMn_2O_4 (LMO).
- Precipitación de fosfato de litio y posterior electrodiálisis para obtener $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ de alta pureza.

En todos estos métodos se busca separar selectivamente al ion litio de los otros componentes de las salmueras. Estas son fluidos complejos, como se aprecia en la tabla 1, donde se comparan las composiciones de salmueras de Sudamérica, en particular la relación Mg/Li que es un factor crítico que determina la eficiencia de los métodos actuales.

Salar	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ³⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₇ ²⁻	Mg/Li
Uyuni	0,350	87,50	27,20	6,50	156,90	8,50	0,20	18,6
Hombre Muerto	1,268	103,24	14,20	3,09	182,00	11,38	1,62	3,4
Olaroz	1,280	115,0	107,8	2,62	84,98	11,33	0,78	2,0
Atacama	1,480	100,70	19,90	9,80	156,00	14,09	N/A	6,6

Tabla 1. Composición media de salmueras en el triángulo del litio (gramos por litro).

La principal ventaja en todos estos métodos es el tiempo de extracción, que es de horas en lugar de los 12 a 18 meses requeridos por la evaporación.

Otro aspecto importante a considerar es el enorme volumen de salmuera que debe tratarse en la evaporación. A concentraciones típicas de 500 a 1000 mg por litro de litio, para extraer una tonelada de litio (o 5 toneladas de carbonato de litio equivalente, LCE) deben evaporarse entre 1000 y 2000 metros cúbicos de salmuera, o sea, del orden del millón de litros de salmuera. Además, este proceso demanda enormes superficies (miles de hectáreas) y largos tiempos de evaporación.

Los métodos de extracción directa, además de rápidos, tienen menor consumo de agua; no dependen de condiciones climáticas ni de la composición de la salmuera, tienen alto rendimiento (70-90%) y, en general, tienen menor efecto sobre el medio ambiente. Analicémoslos:

Intercambio iónico Li⁺/H⁺ con óxidos de manganeso o titanio

Un grupo japonés inició estudios de captación de litio en agua de mar en los años 90. En este caso la absorción por intercambio iónico entre iones Li⁺ contenidos en las salmueras o el agua de mar y los iones hidrógeno H⁺ en un óxido tal como H_{1,33}Mn_{1,67}O₄/Li_{1,33}Mn_{1,67}O₄, H_{1,6}Mn_{1,6}O₄/Li_{1,6}Mn_{1,6}O₄ o en H₂TiO₃/Li₂TiO₃ ocurre por intercambio iónico. El litio se absorbe como ion desnudo, es decir, necesita perder el agua de hidratación que lo rodea en medio acuoso, Li(H₂O)₄⁺. La selectividad del litio sobre otros cationes (iones positivos) presentes en la salmuera como Na⁺, K⁺, Mg²⁺, etcétera, se debe al tamaño pequeño del ion litio y a la cavidad que los recibe en el óxido anfitrión como huésped. Los radios iónicos de los iones hidratados litio (0,74nm) y magnesio (0,72nm) son similares; sin embargo, la energía de hidratación que liga al catión con las moléculas de agua más cercanas es mucho mayor para el Mg²⁺ que para el Li⁺ (1900 versus 475kJ/mol), por lo que el último se absorbe selectivamente. Como comparación se requieren 44kJ/mol para evaporar 18g de agua.

La necesidad de perder la atmósfera de agua del ion litio hidratado Li(H₂O)₄⁺ para incorporarse al óxido ab-

sorbente implica que el proceso de absorción sea lento: lleva más de veinticuatro horas la absorción de iones litio en H_{1,33}Mn_{1,67}O₄ o H₂TiO₃.

Un estudiante de doctorado en la Universidad de Northwestern en los Estados Unidos, David H Snyder, realizó una búsqueda en una base de datos (*Open Quantum Materials Database*) de más de 400.000 sustancias químicas de óxidos que puedan intercambiar litio. Finalmente identificó cuatro óxidos Li₂MnO₃, Li₄Mn₅O₁₂, Li₇Ti₁₁O₂₄ y Li₃VO₄, estables en soluciones acuosas de salmueras con capacidad para intercambiar litio por hidrógeno. Sobre esta base se diseñó la tecnología de intercambio iónico de ion hidrógeno por iones litio en dichos óxidos, recuperando luego el cloruro de litio mediante el agregado de ácido clorhídrico e intercalando el ion hidrógeno nuevamente en el óxido.

Debido a la degradación que sufren estos materiales durante el tratamiento ácido se aplicó un recubrimiento de 10nm de óxido de circonio, ZrO₂, en partículas de 3 micrones de Li₄Mn₅O₁₂ evitando así su disolución. Luego se armaron gránulos milimétricos porosos de partículas absorbentes en columnas de intercambio iónico. En 2016 Snyder fundó la empresa Lilac Solutions que recibió un fondo semilla de Bill Gates de 20 millones de dólares y actualmente tiene una planta piloto experimental en el salar de Kachi, Salta. El material absorbente se utiliza en columnas o en membranas para la captura de iones litio de las salmueras o del agua de mar con una capacidad 32,6mg de Li/g de absorbente.

Absorción específica de cloruro de litio por hidróxido laminar doble de litio y aluminio (gibbsita)

La gibbsita es una forma mineral del hidróxido de aluminio, α-Al(OH)₃, que capta iones litio en la corteza terrestre transformándose en hidróxido doble de Li y Al en capas (LiAl-LDH) como Li[Al(OH)₃]₂OH·2H₂O. El ion litio se intercala desde soluciones acuosas en los anillos μ₂-oxo de seis miembros en el plano basal de la gibbsita con iones cloruro que compensan la carga positiva del ion litio. Los iones litio, luego de perder las cuatro moléculas de agua de hidratación, Li(H₂O)₄⁺, se ubican en sitios cristalográficos bien definidos. La extracción selectiva de litio con gibbsita fue introdu-

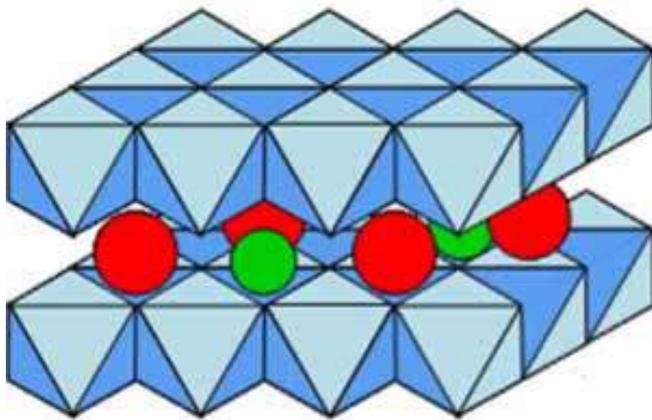


Figura 1. Estructura de hidróxido laminar doble de litio y aluminio (LDH) con átomos de litio (verde) y cloruro (rojos) intercalados en el hidróxido de aluminio (celeste).

cida por la empresa Dow Chemical en 1980. El material absorbente puede prepararse a partir de bauxita $\text{Al}(\text{OH})_3$, mediante activación química con LiCl para dar $\text{Li} [2(\text{Al}(\text{OH})_3)]\text{Cl} \cdot x\text{H}_2\text{O}$, como se muestra en el esquema de la figura 1. Se ha encontrado una recuperación del 90% de LiCl en 90 minutos con una capacidad de extracción máxima de 33mg/g. A pesar de que los radios iónicos del Mg^{2+} y del Li^+ son similares, se obtiene mayor selectividad al ion litio por su menor energía de hidratación.

La gibbsita se utiliza a gran escala por su bajo costo, es ambientalmente segura y de fácil regeneración. Actualmente la empresa Livent en Catamarca utiliza este método, luego de una preconcentración por evaporación de salmueras del salar de Hombre Muerto, en columnas de absorción con cientos de toneladas de gibbsita. Las patentes de la empresa francesa Eramet sugieren que también utilizarán esta técnica de absorción en la futura planta en Salta. La empresa Simbol Inc. de los Estados Unidos desarrolló un sistema de torres de absorción con 25 toneladas de gibbsita cada una para extraer cloruro de litio de aguas geotermales en Salton Sea (260ppm Li^+), California.

Recuperación de litio utilizando membranas

A diferencia de otros métodos de extracción directa, la separación selectiva de litio utilizando membranas tiene varias ventajas: la filtración con membranas es continua en una sola etapa en lugar de dos (captura y liberación de litio). Se han utilizado membranas en nanofiltración, con líquidos iónicos embebidos, filtración selectiva, electrodeionización capacitiva y electrodiálisis para la recuperación de litio desde soluciones acuosas. La primera aplicación de nanofiltración para extraer litio de soluciones acuosas en 2006 empleó tecnología de desalinización en una configuración espiral con membrana GE Osmonics

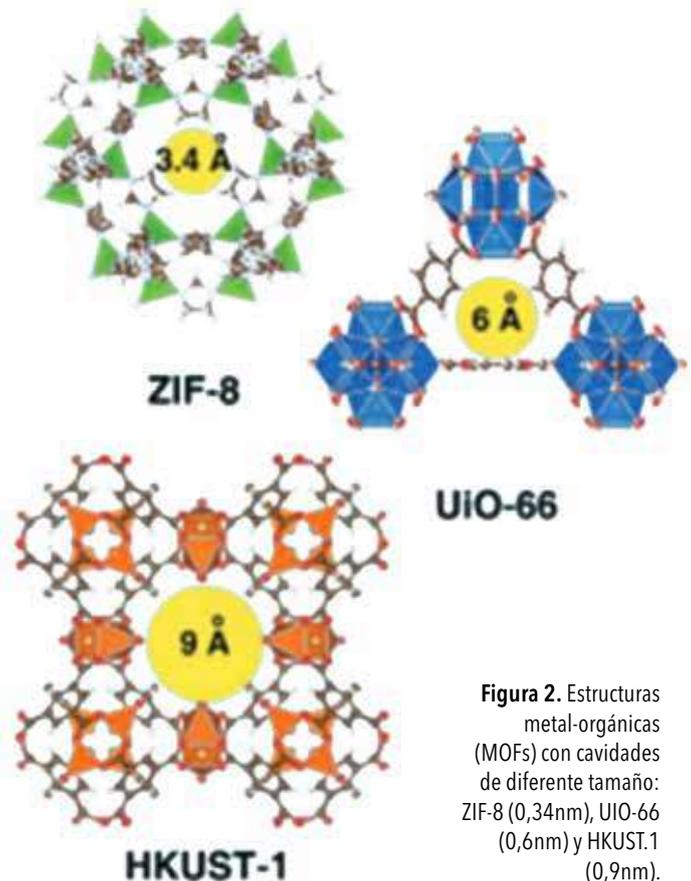


Figura 2. Estructuras metal-orgánicas (MOFs) con cavidades de diferente tamaño: ZIF-8 (0,34nm), UIO-66 (0,6nm) y HKUST.1 (0,9nm).

con 61-67% de retención de Mg^{2+} y un factor de separación $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}$ de 3,5.

El tamaño de los poros determina la selectividad: las membranas de intercambio iónico, por ejemplo geles de poliácridamida con grupos cargados como sulfonato (R-SO_3^-) o amonio cuaternario (R-NH_4^+) y entrecruzadas con divinilbenceno, presentan poros de mayor tamaño que los iones hidratados (figura 3). En cambio, membranas con estructuras metal-orgánicas del tipo MOF (*Metal Organic Frameworks*) mostradas en la figura 2 o conteniendo óxidos de intercalación como LiMn_2O_4 presentan canales del orden de un nanómetro y solo puede pasar el ion litio desnudo ($r_{\text{Li}^+} = 0,12\text{nm}$ comparado con $r_{\text{Li}(\text{H}_2\text{O})^{4+}} = 0,74\text{nm}$), por lo que resultan selectivas al ion litio.

La selectividad al ion litio en las estructuras MOF es el resultado del tamaño del canal iónico que es menor que el diámetro del ion hidratado, como se aprecia en el esquema de la figura 3, por lo que debe perder la atmósfera de solvatación antes de ingresar al canal MOF en la membrana.

Sin embargo, esta pérdida de agua de solvatación del ion litio trae aparejada como penalidad la lentitud del proceso en membranas que actúan como tamices iónicos. Sobre la base del desarrollo de un grupo australiano la empresa norteamericana Energy-X comercializa el proceso Litas™ de extracción directa de litio utilizando

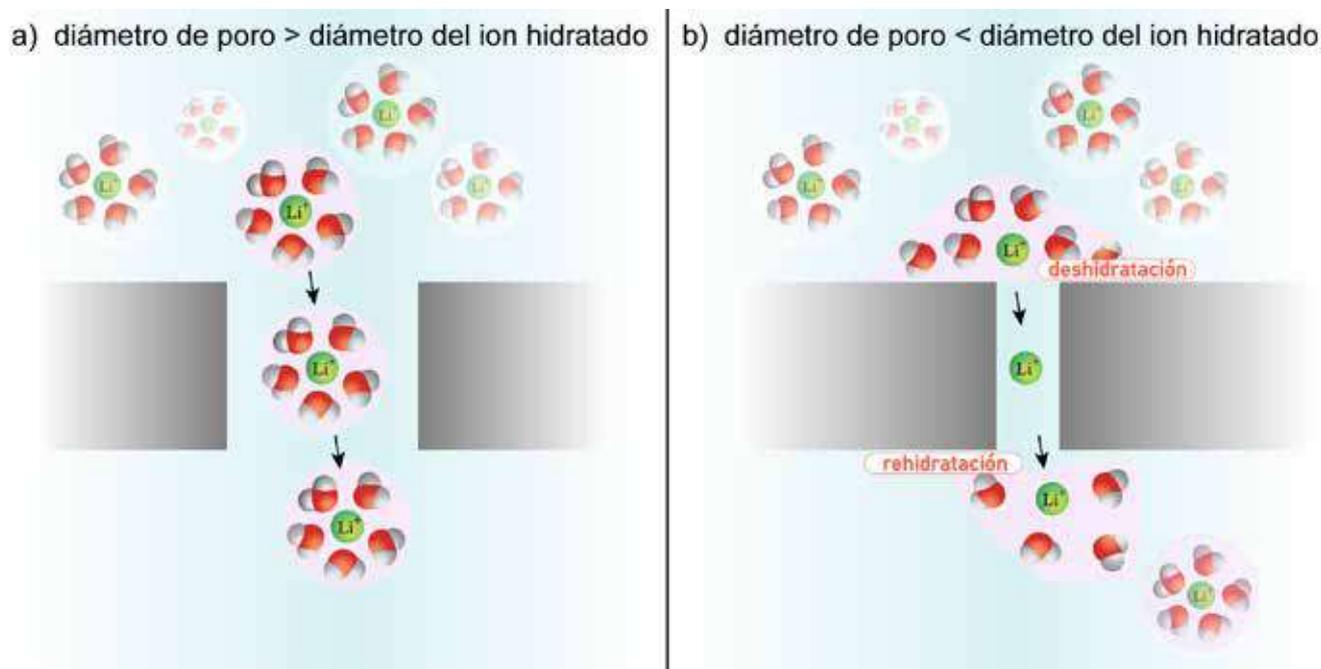


Figura 3. Comparación de la permeación de iones litio a través de poros en una membrana de intercambio iónico con diámetro de poro mayor al de ion litio hidratado $\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_4^+$ (a) y a través de MOF con desolvatación en poro con diámetro menor que el de $\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_4^+$ (b).

tecnología de membranas enrolladas en espiral análogas a las usadas en desalinización por nanofiltración o deionización capacitiva.

Electrodiálisis

Entre los métodos de electrólisis con membranas, la electrodiálisis ocupa un lugar importante. En la electrodiálisis la descomposición del agua produce oxígeno e iones hidrógeno en el ánodo mientras que en el cátodo se forma hidrógeno verde sin huella de carbono e iones hidróxido. La celda puede tener una o varias membranas selectivas a cationes y aniones, de modo tal de rechazar a unos y permitir el paso de los otros, con lo que la migración de cationes litio al cátodo produce LiOH y aniones al ánodo donde se produce el ácido correspondiente. En la electrodiálisis directa de salmueras el movimiento de todos los iones, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{B}_2\text{O}_7^{2-}$, etcétera, además del Li^+ , consume mucha energía eléctrica, típicamente 10kJ/kg de $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$. En la electrólisis directa de salmueras con alta concentración de cloruros se libera gas cloro en el ánodo que es corrosivo y venenoso, lo que significa una limitación para su aplicación a gran escala.

Precipitación de fosfato de litio y posterior electrodiálisis

Dada la menor solubilidad del fosfato de litio (Li_3PO_4), $0,39\text{g/L}$ a 25°C comparada con la de carbonato de litio (Li_2CO_3), 13g/L a 25°C y $8,5\text{g/L}$ a 85°C , se ha propuesto precipitar fosfato de litio desde salmueras con ácido fosfórico en medio alcalino luego de eliminar

los cationes Mg^{2+} y Ca^{2+} . De este modo se reemplaza el método actual para producir hidróxido de litio monohidrato, $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, por reacción entre el carbonato de litio Li_2CO_3 y el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada), por un método por electrodiálisis. En el mismo el LiH_2PO_4 , obtenido por disolución de Li_3PO_4 con ácido fosfórico, se electróliza para obtener hidróxido de litio y recuperar el ácido fosfórico. Este método ofrece varias ventajas: menor costo energético que la electrodiálisis directa de la salmuera, no genera residuos ni gas cloro venenoso en el ánodo, recicla el ácido fosfórico y genera hidrógeno verde en el cátodo. El hidróxido de litio tiene gran demanda en la fabricación de cátodos de baterías de alta energía (NMC).

La empresa coreana Posco está construyendo una planta de electrodiálisis en Güemes (Salta) para procesar el fosfato de litio que se llevará desde el salar de Hombre Muerto cerca de Cerro Ratones y que se obtendrá por precipitación del fosfato de litio de las salmueras luego de eliminar calcio y magnesio. Investigadores argentinos en INQUIMAE (UBA-Conicet) han descripto recientemente en detalle el proceso de electrodiálisis de fosfato de litio soluble (LiH_2PO_4) en reactores de dos y tres compartimentos mediante experimentos y simulaciones numéricas (M Zensich et al., *J. Electrochem. Soc.* 2022, DOI: 10.1149/1945-7111/ac716e).

Extracción de litio por solventes orgánicos

La extracción por solventes se ha utilizado ampliamente para extraer selectivamente metales de soluciones

acuosas debido a la simplicidad en la operación. Ya en 1968 se propuso extraer litio por partición entre una solución acuosa y el solvente dibenzoilmetano (dicetona) con óxido de trioctilfosfina (TOPO) para capturar los iones litio de la fase acuosa. Luego se extendió a otros solventes, líquidos iónicos, etcétera, con recuperación mayor que el 90%. La empresa química Solvay™ desarrolló el proceso cyanex™ 936 P con β-dicetonas y fosfinas para la extracción selectiva de litio de salmueras luego de eliminar magnesio y calcio. Solvay comercializa este producto junto a la empresa israelí Tenova Advanced Technologies y también se emplea en el reciclado de baterías de litio.

Para pasar a la fase orgánica no miscible con la acuosa, nuevamente el ion litio debe desprenderse de las cuatro moléculas de agua de hidratación fuertemente ligadas por interacción ion-dipolo (la energía de hidratación de Li^+ es muy grande, -475kJ/mol) para rodearse de un ambiente de átomos de oxígeno de las moléculas fosforadas en el solvente orgánico. La constante de partición entre agua y el solvente orgánico (o sea, el cociente de las concentraciones de litio en ambas fases,) es proporcional a la diferencia de energía libre de solvatación del ion litio, y da una medida de la magnitud de la extracción desde la salmuera.

Sin embargo, para aplicar estos métodos en operaciones a gran escala con miles de toneladas de salmueras debe tenerse en cuenta el costo energético de recupera-

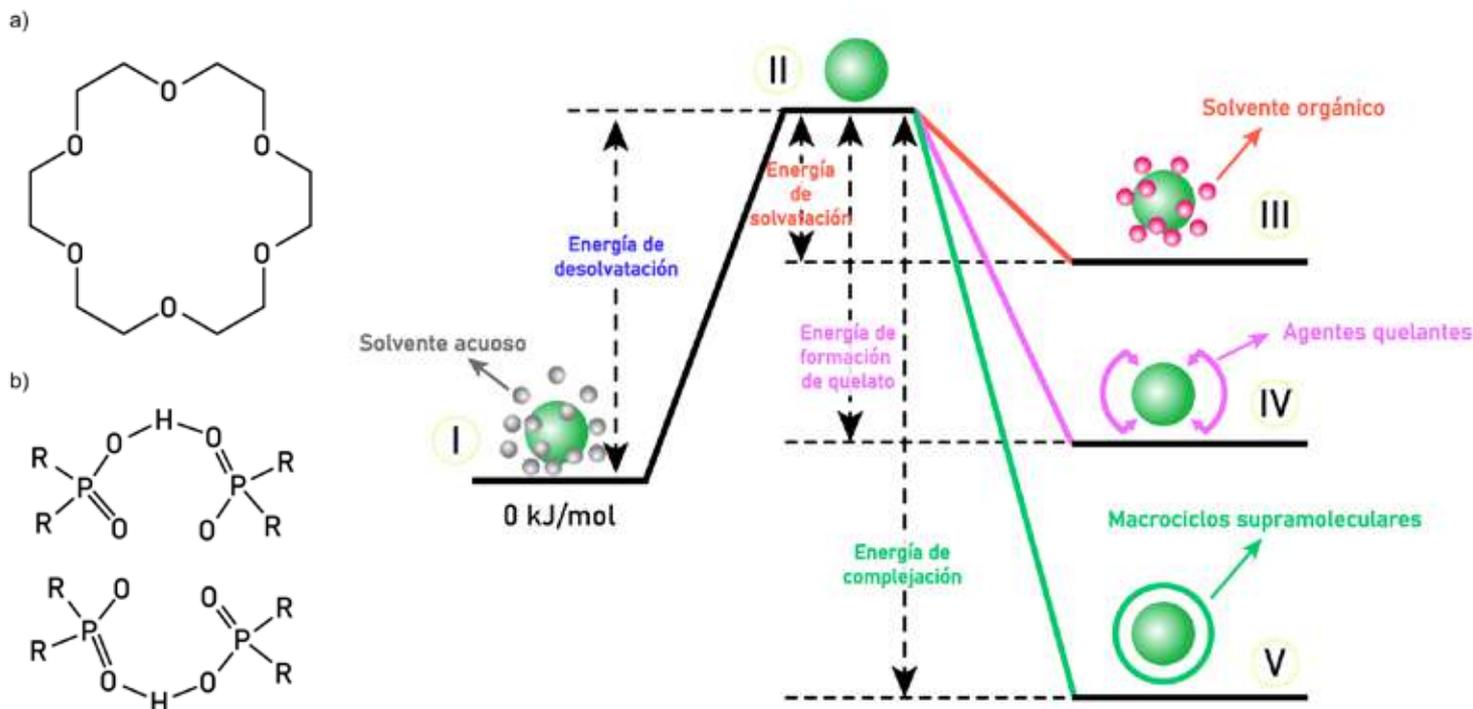
ción del solvente y los enormes volúmenes de solventes involucrados, muchas veces no muy amigables con el ambiente.

En el proceso actual de evaporación-precipitación con cal y soda, los boratos presentes en las salmueras también se extraen con solventes orgánicos, que deben reciclarse por destilación.

Otra tecnología de extracción de iones litio de las salmueras por reconocimiento molecular específico es la llamada SuperLig™ Molecular Recognition Technology (MRT) desarrollada por la empresa norteamericana IBC Advanced Technologies Inc. El reconocimiento molecular específico se da con moléculas macrocíclicas disueltas en el solvente orgánico no miscible con el agua. Estas moléculas presentan cavidades del tamaño del ion Li^+ desnudo y actúan como anfitrionas del ion huésped Li^+ por interacción con átomos de oxígeno, como se ilustra en la figura 4.

Esta tecnología se está probando actualmente en planta piloto en el salar de Maricunga en Chile y se afirma que no requiere etapas separativas previas. El proceso continuo tendría alta velocidad de recuperación del litio con gran capacidad de extracción.

En la figura 5 puede verse el perfil de energías de los distintos procesos involucrados en la extracción con solventes con la pérdida de agua del ion $\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_4^+$ para dar $[\text{Li}^+]_{\text{org}}$ en el entorno orgánico. Identificamos procesos de pérdida de agua (desolvatación) del ion litio, solva-



Izquierda. Figura 4. (a) estructura química de éter corona con 6 átomos de oxígeno y (b) de óxido de fosfina; ambos coordinan al ion Li^+ en la cavidad central

Derecha. Figura 5. Esquema de energías del proceso de pérdida de la atmósfera de solvatación del ion litio para encontrar otro entorno en solvente, quelato o macrociclo supramolecular.

tación en el solvente orgánico, formación de un complejo o quelato con la molécula anfitriona, o interacción supramolecular. Vemos nuevamente que la selectividad del litio respecto de otros iones está determinada por el tamaño del ion litio huésped, el entorno anfitrión y la energía de solvatación.

Extracción electroquímica utilizando materiales de intercalación de ion litio

En los años 90 los trabajos pioneros de Feng Kanoh en Japón introdujeron materiales de intercalación de litio usados en baterías de ion litio como LiMn_2O_4 para la recuperación selectiva de litio de agua de mar. En 2012 Mauro Pasta y Fabio La Mantia propusieron un sistema electroquímico para la recuperación de litio de salmuera artificial, que combina un cátodo de intercalación, reversible a litio, y un ánodo de plata que absorbe iones cloruro al pasar una corriente eléctrica por la celda de electrólisis. En paralelo investigadores argentinos en el INQUIMAE (UBA-Conicet) desarrollaron un sistema similar con captación de Li^+ en el cátodo LiMn_2O_4 de estructura cristalina cúbica y captación simultánea de Cl^- en un ánodo de carbón recubierto por el polímero conductor polipirrol, selectivo a los iones cloruro en salmuera naturales. El método desarrollado fue patentado por el Conicet en la Argentina, Bolivia, Chile y China. Además, ganó el premio internacional BrightMinds Challenge en Holanda en 2017 (ver *Ciencia Hoy*, 28 (164): 17) por la combinación del método electroquímico con energía solar para producir la corriente eléctrica necesaria. Posteriormente, se desarrollaron reactores electroquímicos para la recuperación sostenible de litio de salares de la puna argentina. Este método y sus variantes son rápidos (horas versus meses de evaporación), no agregan sustancias químicas ni generan residuos, ya que usan electrones como 'reactivos', son altamente selectivos al litio respecto del magnesio y se han aplicado exitosamente a salmuera de Atacama en Chile, Uyuni en Bolivia, Hombre Muerto y Cauchari-Olaroz en la Argentina y Clayton Valley en los Estados Unidos. Además, por ser un proceso de batería el consumo de energía es muy bajo, menos de 0,2 kWh/kg de carbonato de litio equivalente; resulta independiente del clima (estación lluviosa) y la composición de las salmuera (relación Mg/Li). Actualmente investigadores en China, Corea y Alemania publican activamente sobre esta tecnología.

Nuevamente, en la intercalación de iones litio en los sitios tetraédricos del óxido anfitrión LiMn_2O_4 estos deben perder la atmósfera de solvatación, adsorberse sobre sitios en la superficie del óxido y difundir dentro de la estructura cristalina, como se ilustra en la figura 6.

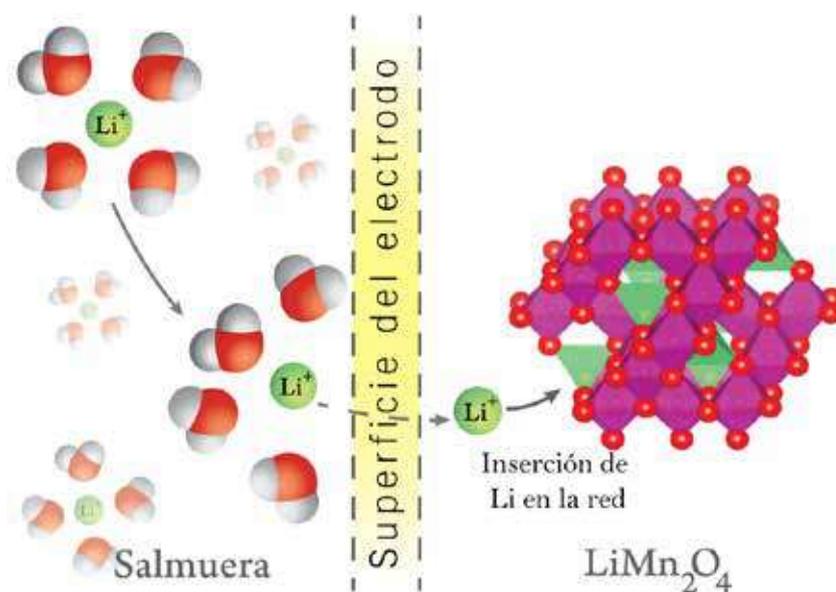


Figura 6. Esquema del proceso de extracción electroquímica de litio de salmuera por bombeo iónico de Li^+ en huecos tetraédricos de la estructura cúbica del cristal de LiMn_2O_4 luego de perder las cuatro moléculas de agua de hidratación.

Hay dos variantes del método electroquímico de bombeo de iones litio: intercambio iónico o captura iónica, como se ilustra en la figura 7. En el primer caso dos electrodos tridimensionales porosos de LiMn_2O_4 con diferente contenido de litio están separados por una membrana semipermeable a los iones negativos (cloruros). El de menor contenido de litio en contacto con salmuera natural extrae por intercalación los iones litio, mientras que los cloruros migran a través de la membrana al otro compartimento donde iones litio en el electrodo de mayor contenido son liberados a la solución de recuperación dando lugar al aumento de concentración de cloruro de litio. En el segundo caso, un electrodo poroso de LiMn_2O_4 extrae litio de la salmuera mientras que el electrodo de polipirrol capta iones cloruro en una celda sin divisiones ni membranas.

En una segunda etapa se invierte la corriente aplicada y ocurren los procesos inversos con recuperación de cloruro de litio de alta pureza.

Actualmente la pyme argentina Laring SA es la única que desarrolla una planta piloto de recuperación de litio a partir de salmuera de la puna por estos métodos electroquímicos de bombeo iónico en materiales de intercalación de iones litio.

Resulta muy interesante comparar la velocidad específica de extracción de litio por metro cuadrado y por hora que se obtiene con las diferentes tecnologías de extracción directa. En la tabla 2 puede apreciarse en todas ellas que el flujo de litio tiene la misma magnitud. Suggerimos que esto se debe a que la etapa limitante en todas

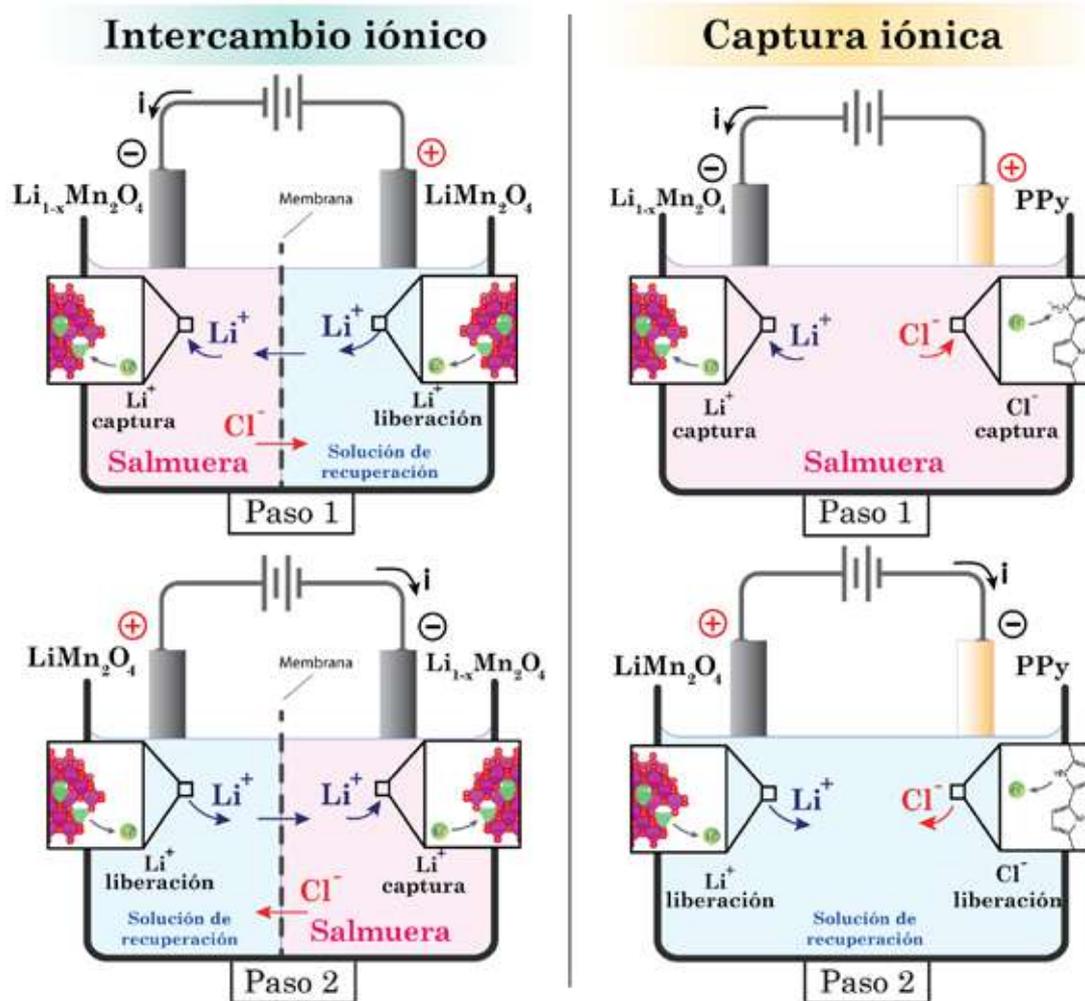


Figura 7. Esquema de intercambio iónico y captura iónica de iones litio en la recuperación electroquímica de cloruro de litio de salmueras por bombeo iónico.

ellas es la desolvatación del ion litio hidratado presente en la salmuera. Solo si pierde el agua de hidratación y se incorpora desnudo a un sitio adecuado por tamaño en un esquema anfitrión-huésped se logra una gran selectividad respecto de los otros iones presentes. La energía de hidratación del litio es muy grande, por lo que una fracción muy pequeña de iones parcialmente deshidratados

están en condiciones de ser extraídos haciendo el proceso muy lento. El tamaño pequeño del ion litio y su fuerte interacción con las moléculas de agua son determinantes de la velocidad de todos estos procesos.

Una medida de la importancia que están alcanzando los métodos de extracción directa de litio es la convocatoria internacional que hizo Yacimientos de Litio Bolivia-

Tabla 2. Comparación de la velocidad de recuperación de litio entre diferentes métodos de extracción directa.

Método	Sistema	Flujo de Li ⁺ mol.m ² h ⁻¹
1. Electroneofiltración	Membrana de poliamida cargada	2
2. Membrana MOF	Membrana MOF	0 a 6
3. Membrana cerámica LLTO	Membrana de LLTO	0,2
4. Junta de transferencia electroquímica	Membrana LiMn ₂ O ₄	1,4 a 4,1
5. Bombeo iónico electroquímico	Li _{1-x} Mn ₂ O ₄ / LiMn ₂ O ₄	1,6

Referencias de cada uno de los métodos: 1. J. Membrane Sci., 594, 2020: 117453. 2. Angewandte Chemie, 55, 2016: 1-6. 3. Energy & Environment, 14, 2021: 3152. 4. Electrochem. Comm., 23, 2012: 29-32. 5. J. Electrochem. Soc., 168, 2021: 20528.

no (YLB) en 2021 a empresas para desarrollar métodos de extracción directa de litio. Ocho empresas internacionales fueron seleccionadas (Catl Brunp & Cmoc, Fusion Enertech, EnergyX, Lilac Solutions, Citic Guoan/Crig, TBEA Group, Uranium One Group y Tecpetrol) para realizar pruebas piloto de extracción directa de litio (DLE) de salmueras de Uyuni y Colpasa a su propio costo con el fin de incorporar las nuevas tecnologías a las que apuesta Bolivia para impulsar la industrialización del litio. Otras pruebas piloto se están llevando a cabo en la Argentina y en Chile.

Conclusiones y perspectivas

Los procesos de extracción directa de litio de salmueras ofrecen varias ventajas sobre el método de evaporación y tratamiento cal-soda Solvay: comparado con el proceso actualmente empleado, son más rápidos y de mayor eficiencia (70-95% versus 30-35%), se pierde menos agua de las salmueras y generan menos residuos sólidos y efluentes líquidos. Sin embargo, a excepción de la absorción en gibbsita que ya se usa industrialmente, no han alcanzado aún gran escala y se encuentran en la etapa de pruebas piloto.

La velocidad de extracción es baja, como se discutió anteriormente, y la capacidad de extracción de litio

en los materiales absorbentes y materiales de cátodos es menor que el 5% de la masa de estos materiales, por lo que se requieren grandes masas y superficies. Una alternativa para aumentar la superficie puede ser el uso de las actuales tecnologías maduras en desalinización como nanofiltración de deionización capacitiva.

En una primera etapa los métodos de extracción directa se utilizarán en forma complementaria a una pre-concentración por evaporación solar, incorporándose posiblemente en la etapa de precipitación de carnalita.

Una característica propia de estos procesos es el modelo de negocios diferente del de la minería tradicional que será de *servicios de extracción de litio*, dado que los procedimientos químicos y electroquímicos no son habituales en la práctica minera tradicional.

Sin duda cuando alcancen un nivel de explotación industrial producirán un impacto disruptivo en la economía del litio. Esto ofrece una oportunidad para desarrollar nuevas tecnologías de extracción directa en la Argentina dado que la tecnología es más valiosa que la simple posesión de los recursos en el subsuelo.

Un país con premios Nobel en ciencias, que ha desarrollado energía nuclear, satélites y radares y posee un sistema científico articulado, requiere la fuerte decisión y el esfuerzo de muchos científicos e ingenieros en este desarrollo junto a empresas dispuestas a invertir en estas nuevas tecnologías. 

LECTURAS SUGERIDAS

CALVO EJ, 2021, 'Direct lithium recovery from aqueous electrolytes with electrochemical ion pumping and lithium intercalation', *ACS Omega*, 6: 35213-35220. doi.org/10.1021/acsomega.1c05516

JORRANT M, 2022, *Renta económica, régimen tributario y transparencia fiscal de la minería de litio en Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile*, publicación de las Naciones Unidas LC/TS.2022/14.

SADY KENNEDYTA, 2002, 'Ally-shoring the lithium supply chain in the Americas: A strategic model for US critical mineral policy', Thesis Master Degree in Public Policy, Harvard Kennedy School.



Ernesto J Calvo

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

Contraurbanizaciones (o cómo vivir en la naturaleza)

Desde tiempos prehistóricos, la expansión de los asentamientos humanos ha reflejado un aparente conflicto entre el crecimiento socioeconómico de las civilizaciones y la conservación de los ecosistemas. Sin embargo, en 1950 el economista Simón Kuznets recopiló evidencia que dio origen a la curva que hoy lleva su nombre (la llamada, por su sigla en inglés, EKC, *Environmental Kuznets Curve*) que describe la relación unimodal entre el desarrollo económico y el impacto ambiental. Este modelo propone que en etapas tempranas del crecimiento económico moderno predomina la degradación de los sistemas naturales (e.g. aumento de la contaminación, destrucción de hábitats naturales y pérdida de biodiversidad por expansión agrícola). Posteriormente, a medida que aumentan los ingresos per cápita, se redu-

cen las emisiones, disminuye la extracción de recursos naturales, aumenta el uso de energías renovables y la valoración de la naturaleza.

Los ambientes naturales recuperados, sin embargo, pueden tener nueva configuración y composición como consecuencia de la intervención humana. Estos ambientes suelen presentar algunas características novedosas, en buena medida dadas por la existencia de especies introducidas y contextos paisajísticos distintos que dan origen al concepto de ‘nuevos ecosistemas’, con nuevos procesos y funciones ecológicas.

Los registros de recuperación de bosques en regiones con auge económico constituyen un claro ejemplo de la relación representada en la curva ambiental de Kuznets. Este proceso, conocido como ‘transición forestal’, se ha generalizado en Norteamérica y Europa (donde la

¿DE QUÉ SE TRATA?

Nuevas urbanizaciones como impulsoras del asilvestramiento (*rewilding*) y de ‘nuevos ecosistemas’.

mayoría de los países han ganado superficie de bosques en las últimas décadas) y en regiones puntuales de Asia, Oceanía y Latinoamérica. El desarrollo socioeconómico favoreció el crecimiento de las ciudades y la oferta de nuevos trabajos, promoviendo el abandono de la agricultura en áreas poco productivas o difícilmente mecanizables y la emigración de la población rural hacia áreas urbanas.

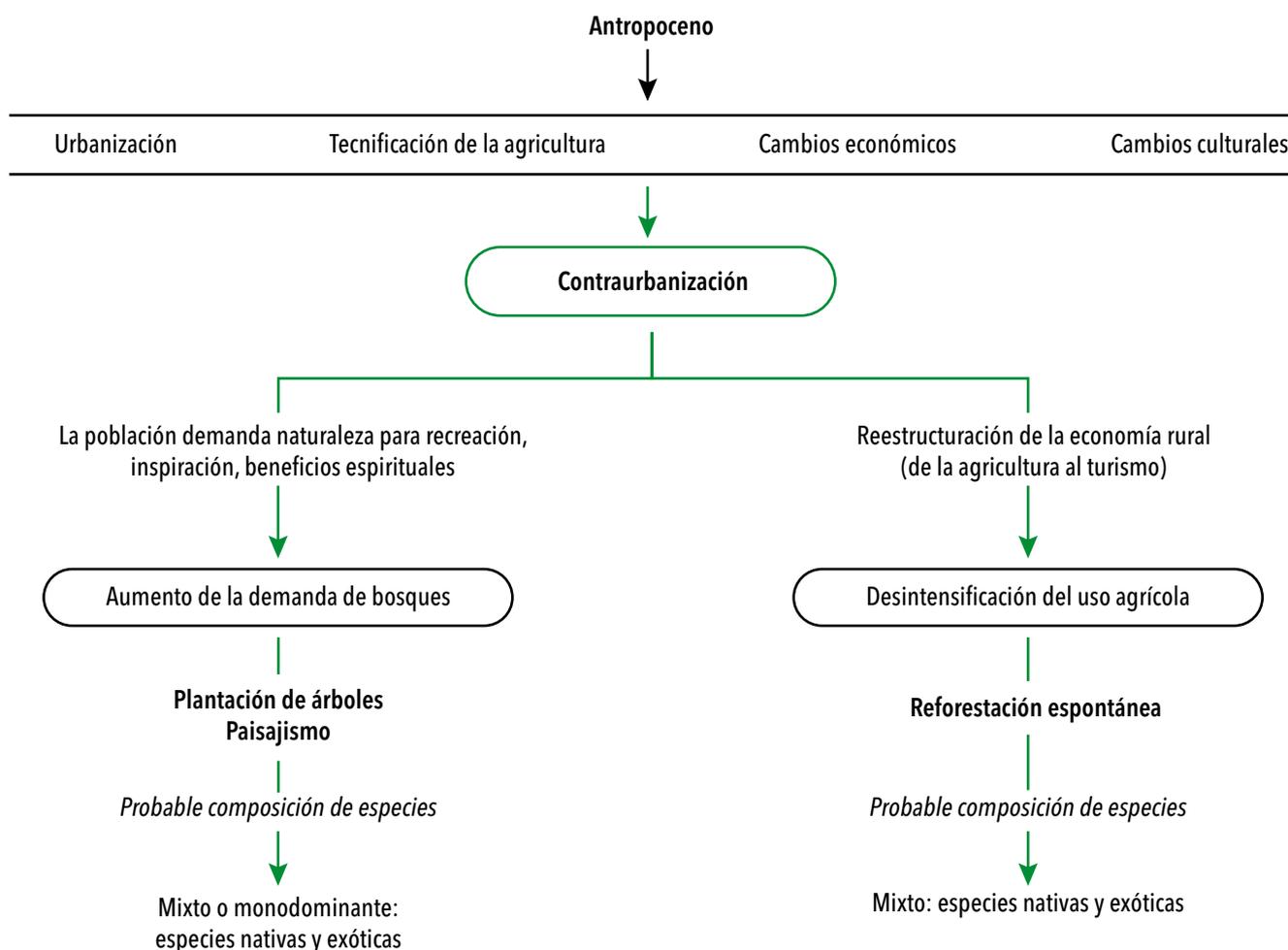
Por ejemplo, la despoblación y disminución de la intensidad de actividades humanas en valles intermontanos fue clave para la recuperación de los bosques. Adicionalmente, desde la década de 1970 comenzó a registrarse un nuevo fenómeno de urbanización en estas regiones marginales de los países desarrollados, que también estaría impulsando la transición forestal a través del desarrollo socioeconómico. Este novedoso modelo de urbanización, denominado *contraurbanización*, se manifiesta como un incremento de la población en las áreas periurbanas y rurales. La *contraurbanización* está impulsada por el deseo de la población de vivir, permanente o temporalmente, en áreas menos densas, con un estilo de vida más tranquilo y en contacto con la naturaleza, por lo que se desarrolla en paisajes naturales espectaculares, con climas amenos (montañas o zonas cos-

teras), pero con acceso a los beneficios/servicios de las grandes ciudades (e.g. trabajo, educación, salud).

Este artículo se basa en nuestras investigaciones recientes que documentan que los cambios socioeconómicos asociados a la *contraurbanización* en los ambientes agroganaderos rurales podrían llevar a una recuperación de los ecosistemas naturales o al surgimiento de nuevos ecosistemas resultantes de la interacción con la sociedad (ver figura). Los procesos que se están registrando actualmente constituyen una evidencia de los modelos de urbanización futuros, por lo que estudiar y comprender las consecuencias ecológicas de la *contraurbanización* resulta una prioridad de investigación en ecología del antropoceno.

Cambios en los sistemas sociales y económicos rurales

La vida en los sistemas rurales ha estado históricamente asociada al trabajo de la tierra y la cría de ganado como medio de subsistencia. Sin embargo, se ha observado que la reducción de la rentabilidad económi-



ca de estas actividades (a pequeña escala) generalmente deja solo dos opciones a los pobladores locales: 1) migrar hacia las ciudades en busca de nuevas oportunidades (educación, trabajo y mayor acceso a servicios públicos), donde este éxodo rural ocurre principalmente en áreas remotas, o 2) diversificar actividades y reorientar su economía hacia el turismo y servicios asociados, proceso cada vez más frecuente en áreas con alta conectividad con grandes ciudades y cualidades atractivas para los ‘urbanitas’. Nuestro trabajo se centra en el estudio de sistemas que siguen el segundo patrón, donde convergen la reestructuración del sistema rural y la demanda de naturaleza/ambientes cuasi rurales por parte de nuevos habitantes urbanos.

Los nuevos habitantes generan una alta demanda de terrenos y los pobladores rurales originales encuentran mayor beneficio económico vendiendo parte o la totalidad de sus tierras para la edificación de viviendas que manteniendo las actividades tradicionales. Además de esto, también suelen obtener ganancias trabajando en la construcción, el comercio y el mantenimiento de casas y jardines, y brindando servicios orientados al turismo (guía o venta de productos/experiencias locales). Los municipios rurales asociados también pueden incrementar su planta laboral al acceder a mayores ingresos por impuestos resultantes de mayor actividad económica y formalización inmobiliaria. Ocasionalmente, el aumento de demanda de terrenos en zonas rurales podría repercutir negativamente en los miembros jóvenes de la comunidad local que no pueden costear la adquisición de vivienda propia y emigran. Además, las prácticas tradicionales pueden reducirse porque entran en conflicto con los usos de los nuevos habitantes. Por ejemplo, los nuevos residentes suelen restringir actividades como la caza porque va en contra de su percepción idílica del campo o incluso destinar tierras para la conservación que, aunque favorecen la recuperación de la biodiversidad, restringen actividades como recolección de leña y pastoreo de los animales domésticos. A pesar de esto, algunas tradiciones como la comida, la música y el arte local pueden revalorizarse para ser explotadas recreativamente y fortalecer el turismo rural.

Servicios ecosistémicos y biodiversidad en las contraurbanizaciones

El aumento del uso residencial de zonas rurales y periurbanas puede generar en la naturaleza impactos de distinta magnitud y dirección. Cuando el aumento

de viviendas ocurre en zonas prístinas o la densidad de construcciones es muy alta, inevitablemente conduce a una transformación severa del ambiente preexistente. Pero, por otra parte, el uso residencial de baja densidad en zonas previamente transformadas por la agricultura podría conducir a la transición forestal. La expansión de bosques en las áreas con contraurbanización es más probable cuando la llegada de nuevos pobladores es motivada por las amenidades de la naturaleza. Aunque el bienestar depende en gran medida de bienes materiales, cuando las necesidades básicas están satisfechas —generalmente población de ciudades prósperas— surgen nuevas demandas de la sociedad, asociadas al bienestar físico/espiritual y el disfrute de la naturaleza. Los beneficios que los ecosistemas naturales aportan a la sociedad o ‘servicios ecosistémicos’ van desde bienes y servicios (madera, alimento, conservación de cuencas y recursos hídricos) hasta beneficios intangibles como la inspiración, la tranquilidad y las oportunidades de realizar deportes y recreación. Estos últimos ‘servicios culturales’ son probablemente la principal causa por la que los habitantes de las contraurbanizaciones diseñan sus jardines, impulsan la creación de áreas protegidas y promueven iniciativas para financiar la conservación de bosques y otras áreas naturales de percibido valor estético.

Aunque probablemente la belleza sea uno de los atributos más apreciados en estos paisajes, la expansión de los bosques trae beneficios asociados, como la disminución del riesgo de inundaciones, el control de la erosión y la mejora de la calidad del aire y del agua, y la generación de hábitat para la flora y fauna. También, alternativamente, pueden emerger perjuicios para los contraurbanitas, asociados, por ejemplo, al ataque de animales silvestres a personas o a animales domésticos, así como la transmisión de enfermedades desde la fauna autóctona, o la proliferación de animales típicamente considerados indeseables (e.g. roedores, serpientes).

Los servicios ecosistémicos que brindan los bosques dependen inherentemente de la composición de esta comunidad biótica. Las contraurbanizaciones, al igual que la mayoría de los ambientes dominados por los humanos, son más susceptibles a la introducción de especies que no pertenecen a la región (especies exóticas). En las áreas residenciales las plantas exóticas son especialmente abundantes por su estética, rápido crecimiento, facilidad de propagación y adaptación a las condiciones ambientales de jardines. Estas características, precisamente, son las que favorecen su establecimiento en las áreas circundantes (por ejemplo, campos de cultivos abandonados o nuevos bosques). Como la mayoría de las plantas exóticas son capaces de coexistir con la vegetación nativa, es probable que los ambientes

contraurbanizados den lugar a nuevos ecosistemas que surgen de la interacción de la sociedad con los componentes bióticos del sistema.

En este punto es importante destacar que un pequeño porcentaje (10%) de las plantas exóticas pueden volverse invasoras, dominar el paisaje limitando el crecimiento de otras plantas y generar grandes cambios en el ecosistema. Debido a la dificultad de predecir si una especie exótica se volverá invasora suele recomendarse el uso de plantas nativas, por ejemplo, en jardines, en proyectos de reforestación o en restauración ecológica.

Ejemplos de nuevos bosques en contraurbanizaciones de Argentina

Tafí del Valle (Tucumán)

Tafí del Valle se ubica a 60km de ciudades de tamaño intermedio (20.000-50.000 habitantes) y a 110km de la capital de Tucumán (con casi 1 millón de habitantes). Se encuentra a unos 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), con clima agradable todo el año y vistas paradisíacas de las montañas donde los pastizales alternan



Arriba. Expansión de bosques en Tafí del Valle en (a) 2002 y (b) 2019. Google Earth Pro. **Abajo.** *Pyracantha angustifolia* (con frutos color naranja) en Tafí del Valle. Foto Valentina Irrazabal

con bosques de alisos, que ya eran usados como lugar de veraneo por hacendados de Tucumán desde principios del siglo XX. En 1943 la conectividad con la capital se incrementó por la creación de la ruta provincial 307 y a partir de la década de 1980 se aceleró la llegada de nuevos pobladores, desatando un boom inmobiliario. Tierras previamente arrendadas para agricultura o ganadería se vendieron para la construcción de viviendas y hospedajes. La llegada de nuevos pobladores abrió un nuevo mercado laboral para la comunidad basado en el turismo: construcción, mantenimiento de casas y jardines, venta de comidas y artesanías, servicios de guías de cabalgatas y caminatas, aunque también surgieron conflictos socioculturales entre los distintos grupos de pobladores. La reducción de la frecuencia de fuegos, utilizados como herramienta de manejo de los pastizales que servían como alimento para el ganado, y el aumento de las precipitaciones favorecieron la expansión de bosques de aliso en Tañá. Además, es frecuente encontrar en los caminos y jardines el arbusto exótico *Pyraecantha angustifolia*, originario de Asia. Este arbusto fue introducido como ornamental para cercos vivos e invadió rápidamente las zonas aledañas a la villa turística, modificando la apariencia del paisaje donde predomina el pastizal natural.

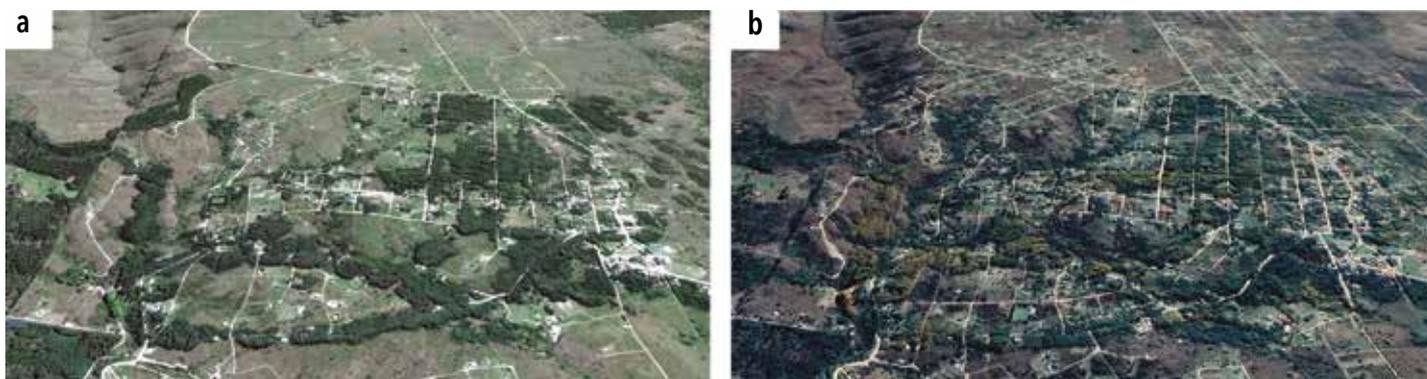
Villa Yacanto (Córdoba)

Villa Yacanto es un pequeño pueblo ubicado a 122km de Córdoba Capital (más de 1,5 millones de habitantes), en el departamento de Calamuchita, uno de los principales destinos turísticos de Córdoba. Se encuentra a 1100 metros sobre el nivel del mar, rodeado de sierras, arroyos, ríos, y tiene acceso directo a la cumbre más alta de la provincia (cerro Champaquí, con 2884msnm). El pueblo se fundó en 1768 y la principal actividad económica era la ganadería bovina y ovina; sin embargo, en la década de 1940 se orientó hacia el turismo y se plantaron árboles para incrementar el valor escénico del paisaje y promocionar el turismo en armonía con la na-

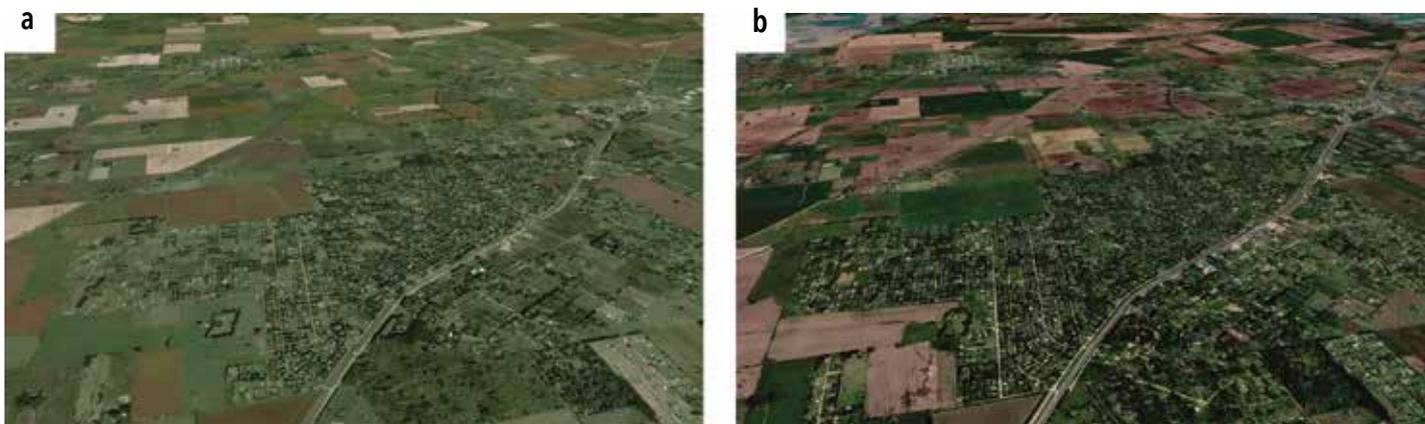
turalidad. El aumento de la oferta gastronómica y hotelera junto con la pavimentación de la principal ruta de acceso condujeron a un rápido incremento de residencias temporales y permanentes entre 2003 y 2006. A pesar de la llegada de población urbana (principalmente de Buenos Aires y Rosario), se mantienen algunas tradiciones locales, explotadas también turísticamente, como el desfile de gauchos, y aumentaron los atractivos paisajísticos. La forestación en Villa Yacanto está compuesta principalmente por pinos originarios de Norteamérica y Asia, a los que se suman en menor densidad abedules, cedros y cipreses, todos del hemisferio norte. Hacia las zonas más bajas, progresivamente va ganando importancia el ligustro (originario de China), típicamente dispersado desde forestaciones urbanas y cercos vivos, que es una de las especies invasoras más agresivas y extendidas de la Argentina.

Exaltación de la Cruz (Buenos Aires)

Este partido de la pampa bonaerense ubicado a 80km al norte del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA, cerca de 15 millones de habitantes) muestra un paisaje llano y surcado de pequeños arroyos. Los primeros pueblos se consolidaron en 1870 y la principal actividad económica era agrícola-ganadera; sin embargo, la población creció rápidamente en la década de 1990 en los pueblos más accesibles y aumentaron los emprendimientos turísticos. En 1994 la capital del partido, Capilla del Señor, fue declarada 'bien de interés histórico nacional' y se estableció como destino turístico rural. Con la disminución de la rentabilidad de los campos agrícolas, se revalorizaron patrimonios histórico-culturales y naturales y se restringieron los usos agropecuarios en zonas cercanas a las áreas residenciales. Se desarrolló más infraestructura, principalmente agua y cloacas, lo que atrae más población urbana. Los pobladores locales tuvieron que diversificar sus actividades y establecieron puestos gastronómicos y de artesanías, y se popularizaron festivales tradicionales. La demanda de naturaleza de



Expansión de bosques y urbanización en Villa Yacanto, Córdoba, en (a) 2010 y (b) 2020. Google Earth Pro



Expansión de bosques en Exaltación de la Cruz, provincia de Buenos Aires, en (a) 2006 y (b) 2020. Google Earth Pro

la población llevó a la creación de espacios verdes para recreación, incorporación de especies autóctonas en arbolado urbano (aunque en el paisaje también se distinguen ciertas especies exóticas como pinos, acacias negras, eucaliptos y casuarinas provenientes del hemisferio norte y Australia) y aumento de vegetación en los jardines privados. Aunque todavía persiste la actividad agro-ganadera, a medida que se desintensifica la actividad en algunos campos, se expanden los bosques con especies nativas y exóticas.

Consideraciones finales

El agitado estilo de vida en las ciudades y la búsqueda de ambientes más tranquilos va a seguir impulsando la 'contraurbanización' de sitios con características espe-

cíficas. Los valores estimados podrían incluso sufrir un gran incremento si se consideran los cambios que ocurrieron en el marco de la pandemia de COVID-19, favoreciendo el aumento del trabajo remoto y la posibilidad de compras *online*. Las áreas contraurbanizadas podrían, por lo tanto, funcionar como sitios experimentales para estudiar los cambios de usos del suelo e impactos ecológicos de un proceso que será frecuente en el futuro. Conocer cómo funcionan estos sistemas nos permitirá elaborar escenarios futuros de composición, estructura y funcionamiento de los nuevos bosques y ecosistemas emergentes y dirigir esfuerzos para lograr resultados socioambientales deseables.

Aunque varios estudios han evaluado el impacto negativo que tendría el aumento de viviendas en áreas naturales, o la explotación turística, poco se sabe de las densidades de los asentamientos y las actividades econó-

INVASIONES BIOLÓGICAS Y BIODIVERSIDAD

El abandono agrícola y la consecuente recuperación de ecosistemas resultantes de la contraurbanización frecuentemente se asocian a un avance de especies exóticas que, escapadas de jardines y sistemas agrícolas, pasan a ser muy abundantes en estos 'nuevos ecosistemas'. Esto plantea importantes dilemas desde el punto de vista de la conservación. Por un lado, se ha documentado que algunas de estas invasiones se caracterizan por bosques monodominantes de baja biodiversidad y alta capacidad de persistencia, como es el caso, por ejemplo, del ligustro en zonas del noroeste argentino o las sierras de Córdoba. Otras veces, las especies exóticas son solo la primera etapa de colonización, que luego da lugar a una sucesión forestal secundaria con abundancia de especies nativas que incluso pueden verse favorecidas por el 'efecto nodriza' de especies exóticas como el *Crataego*, arbusto espinoso que por esta característica coloniza sitios pastoreados y permite que bajo su protección se establezcan otras especies. Lo más

frecuente, sin embargo, es que estas nuevas especies incorporadas a los ecosistemas simplemente sumen biodiversidad sin excluir significativamente a las nativas dado que las nuevas comunidades bióticas típicamente no se 'saturan' de especies. Se ha postulado, incluso, que en estos nuevos ecosistemas las especies invasoras podrían estar evolucionando para generar nuevas especies, especiación masiva que contrarrestaría la 'crisis' de extinción a nivel global. Estos distintos caminos hipotéticos y sus mecanismos subyacentes resaltan el potencial de utilizar los ambientes periféricos a las contraurbanizaciones para investigaciones de alto impacto teórico y aplicado sobre la ecología del Antropoceno.

Lectura sugerida

GRAU HR, 2022, 'Contra el consenso: hallazgos que amenazan fundamentos del ecoalarmismo', *Ecología Austral*, 32: 33-44.

micas que llevarían a la recuperación de los bosques o a mejorar la calidad ambiental de los ecosistemas. Nosotros encontramos que, cuando las contraurbanizaciones cumplen determinadas características –densidad urbana moderada, migrantes que buscan mayor accesibilidad a la naturaleza y un uso agrícola-ganadero previo–, las zonas rurales pueden incrementar su cobertura forestal, aumentar su biodiversidad y generar ganancias de servicios ecosistémicos, como secuestro de carbono o conservación de cuencas. Esto responde, en parte, a que los valores de la sociedad están cambiando y se ha ido

afianzando la percepción positiva sobre la naturaleza y a que, en muchos casos, las mejores zonas para contraurbanizaciones (por ejemplo, montañas, costas, zonas desérticas) no son apropiadas para la agricultura moderna. Este cambio sociocultural que acompaña el desarrollo económico y los nuevos conocimientos que adquirimos sobre la relación de la humanidad con la naturaleza podrían contribuir a la recuperación de los ecosistemas naturales o generar nuevos ecosistemas con una configuración y dinámica propias que posibilitarían, sin embargo, otorgarles más resiliencia. 

LECTURAS SUGERIDAS

JIMENEZ YG et al., 2021, 'Counterurbanization: A neglected pathway of forest transition', *Ambio*. [Doi.org/10.1007/s13280-021-01632-9](https://doi.org/10.1007/s13280-021-01632-9)

JIMENEZ YG, ARÁOZ E, GRAU HR & PAOLINI L, 2021, 'Linking forest transition, plant invasion and forest succession theories: Socioeconomic drivers and composition of new subtropical andean forests', *Landscape Ecology*, 36 (4): 1161-1176.

SILI ME, 2019, 'La migración de la ciudad a las zonas rurales en Argentina: una caracterización basada en estudios de caso', *Población y Sociedad*, 26 (1): 90-119. [dx.doi.org/10.19137/pys-2019-260105](https://doi.org/10.19137/pys-2019-260105).

THOMAS C, 2017, *Inheritors of the Earth: How nature is thriving in the age of extinction*, Hachette, Nueva York.



Yohana G Jimenez

Licenciada en ciencias biológicas, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán (UNT).
Estudiante de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC).
Becaria doctoral en el Instituto de Ecología Regional (IER), UNT-Conicet.
yohanajimenez2406@gmail.com



H Ricardo Grau

Ph.D. en geografía, University of Colorado at Boulder, Estados Unidos.
Profesor titular Ecología del Paisaje, Facultad de Ciencias Naturales, UNT.
Investigador principal del Conicet.
chilograu@gmail.com

Crossfit cerebral N.º 12

Ilusiones y juegos matemáticos

Demoliendo reglas

Si planteo la siguiente secuencia numérica:

2, 4, 8, 16, ...

y luego pregunto qué número cree usted que continúa, es muy probable que la respuesta sea 32. Y esto tiene sentido porque en nuestra mente determinamos una regla que están cumpliendo los números dados: cada uno que aparece es el doble del anterior. Pero ¿es esta la única regla que cumplen? ¿No habrá otra regla a la que se ajusten estos números y, por lo tanto, haya otro posible candidato para ser el siguiente? Más aún, dado cualquier candidato para ocupar la quinta posición, ¿habrá una regla a la que se ajusten todos los números de la nueva lista?

Lo anterior tiene que ver con la paradoja de Wittgenstein, la cual enuncia que *una regla no puede determinar ningún curso de acción porque todo curso de acción puede hacerse concordar con la regla*.

Si bien de esto se puede desprender un amplio debate filosófico, solamente me atrevo a hablar sobre su relación con una lista finita de números como la del inicio. Esto es algo que sabe explicar muy bien el escritor y matemático Guillermo Martínez, autor de *Crímenes imperceptibles*, entre otras obras. Guillermo se refirió a este tema en varias charlas y en-

trevistas sobre series lógicas y crímenes en serie, y voy a tomar algunas de sus ideas como punto de partida para responder las preguntas hechas al principio. Creo que, de hecho, todas se responden si logramos comprender que *no importa cuántos ejemplos nos muestren de una regla, no podemos inferir la regla a partir de ellos* o, en otras palabras, *ninguna lista finita de números tiene, en general, una continuación única*.

Para entender esto vamos a suponer que la regla que nos quieren hacer pensar es la del comienzo: cada número es el doble del anterior, y que para ello nos muestran los 3 primeros números de la lista. A saber:

2, 4, 8, ...

¿Alcanza esto para determinar la regla? La regla que queremos se puede traducir simbólicamente como que en la posición n de la lista se encuentra el número 2^n , es decir, en el primer lugar está el 2, en el segundo lugar está 2^2 , en el tercero aparece 2^3 , y así. Según esta regla, en la cuarta posición corresponde el número $2^4 = 16$. Sin embargo es sencillo de verificar que los tres números dados también cumplen, por ejemplo, la siguiente instrucción: en la posición n se encuentra el número $n^2 - n + 2$. Para verificarlo y, a su vez, determinar quién sigue, organicemos la información en una tabla:

n (posición en la lista)	$n^2 - n + 2$ (regla para calcular el valor que va en la posición n)
1	$1^2 - 1 + 2 = 2$ ✓
2	$2^2 - 2 + 2 = 4$ ✓
3	$3^2 - 3 + 2 = 8$ ✓
4	$4^2 - 4 + 2 = 14$

Así, según esta regla, el candidato para ocupar el cuarto puesto de la lista es el número 14.

Podríamos entonces pensar que la información que teníamos era muy poca como para poder determinar la regla y que, tal vez, esta sí queda definida si conocemos un número más. Así, supongamos que el dato es el siguiente:

2, 4, 8, 16, ...

Se puede ver que los datos en esta lista se ajustan ahora a la regla $(n^3 - 3n^2 + 8n)/3$, donde n indica, como antes, la posición. Según esto, ¿qué número ocuparía el quinto lugar en la lista?

Esto va a seguir pasando siempre: por más que la lista se haga más larga, vamos a poder encontrar una regla que se ajuste a ella que no sea, necesariamente, la que esperamos. Es claro que la regla se va haciendo cada vez menos 'natural',

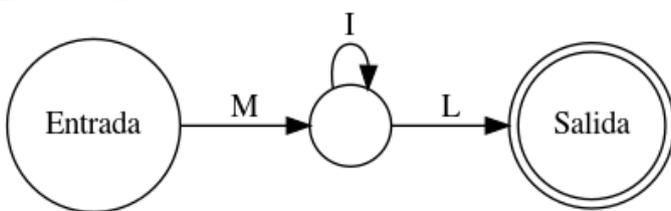
pero tampoco existe un criterio que mida esta naturalidad como para poder establecer cuál es la más indicada. Esto implica que cualquier otro número podría ser el siguiente, ya que dada cualquier lista finita de números podemos encontrar una regla que se ajuste a ellos. Una forma de encontrar dicha regla es mediante teoremas de interpolación (ampliaremos esto en el próximo número). Pero existen muchos caminos para encontrar una regla. Por ejemplo, mediante un enfoque geométrico, como muestra Guillermo Martínez (mirá el ejemplo escaneando el código QR), lo que deja de lado cualquier criterio sobre lo elegante, lo fácil o lo 'natural', como pretendíamos antes.



¿Me reconocéééééés?

Volvemos al caso de la sala de escape que vimos en el número anterior, nuestro *autómata*. Recordemos que la forma de transitar por la sala es, dada una palabra que tenés en la mano, ir utilizando las letras para pasar de habitación en habitación a medida que vas leyendo una letra y transitando por la flecha correspondiente.

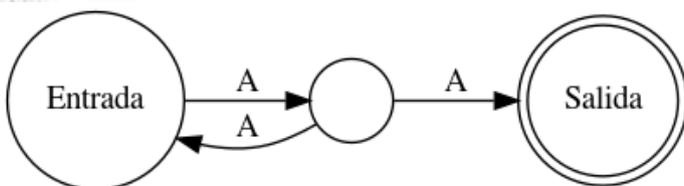
Recordemos un ejemplo:



Se puede salir de la sala teniendo en la mano la palabra **ML, MIL, MIIL, MIIIL, MIII... IIL**, pero no con **MI**, ni **MIII**, ni ninguna otra cosa que no sea **M**, ninguna o algunas **I** y una **L**. Se dice entonces que nuestro autómata *reconoce todas las palabras que comienzan con M y terminan con L, y con varias I entre ellas, e incluso sin ninguna.*

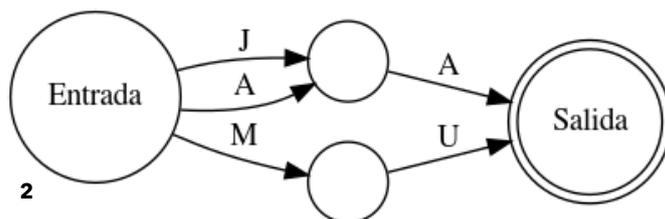
El objetivo de hoy es decir a qué autómata corresponde cada descripción:

- A.** Reconoce únicamente la palabra **JA**.
- B.** Reconoce las palabras **JA** y **AA** (y alguna más, ¿cuál?).
- C.** Reconoce las palabras que son risas: **JA, JAJA, JA JA JA...** y así.
- D.** Reconoce las palabras que tienen únicamente y exactamente una cantidad par de letras A: **AA, AAAA, AA-AAAA, ...**

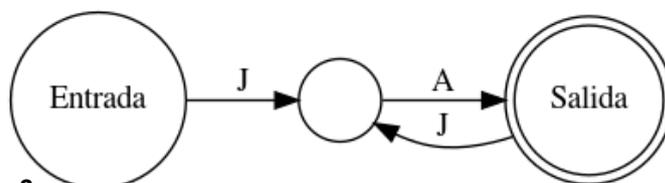


1

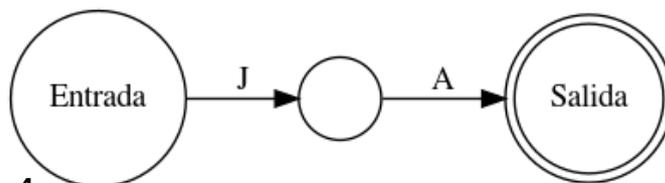
Conclusión: cuando alguien nos presente una lista finita de números y pregunte cuál es el siguiente, la respuesta es que *¡cualquiera puede serlo!* Y si no logra convencerlo con todo lo anterior, en el próximo número veremos cómo construir una regla que compruebe esto.



2



3



4

Conclusión

Gracias a los autómatas -que tienen 'ciclos' (un ciclo es la posibilidad de repetir ese redondel por donde ya se transitó)- podemos hacer que nuestros autómatas reconozcan *infinitas* palabras. Un ejemplo de esto es nuestro primer autómata (el de **MIIIL**), que reconoce infinitas palabras: las infinitas palabras que comienzan con **M**, terminan con **L** y tienen varias **I** en el medio. Esto hace que podamos construir un programa denominado *parser*, que es capaz de decirnos si *cualquier programa está bien escrito*. Los famosos 'errores de sintaxis', tan comunes al aprender a programar, son detectados por un autómata como este, que *no puede decirnos si un programa anda*, pero sí puede ayudarnos a reconocer infinitos programas bien escritos o, mejor dicho, nos dice si cualquier programa respeta las reglas del lenguaje de programación en el que fue escrito.

X-le

Si me preguntan quién se lleva el Nobel en la categoría 'Juegos de ingenio' del año 2022, no tengo dudas: el wordle. Dudé en otorgarle el Oscar también, pero quiero evitarme una cachetada por algún mal chiste.

¿Es nuevo este juego? Mmmm nnnnoo creo... en los 80 jugaba con mi hermano a una versión numérica, para dos jugadores:

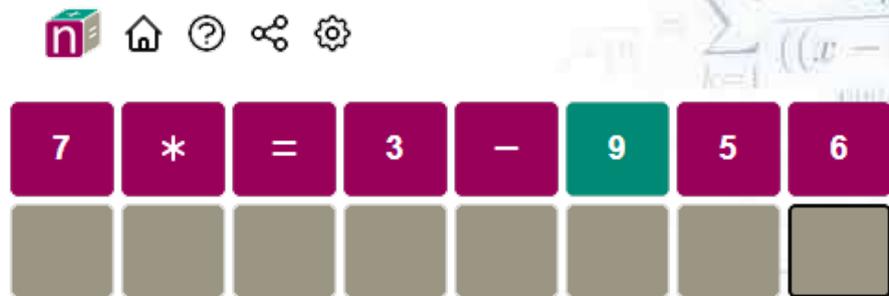
- A y B eligen cada uno un número de 4 cifras en secreto;
- A le dice a B un número, y B le responde cuántos dígitos están bien ubicados y cuántos figuran en el número pero no están bien ubicados;
- B le dice a A un número, y A...

Se alternan, y gana el que descubre el número del otro (si es A, B puede tener otra oportunidad, y empatan si también lo descubre).

Federico, mi hijo, se ha hecho fanático del wordle y su variantes. Antes de ir a la escuela (y/o a la vuelta) juega media docena de X-le, donde X se reemplaza por **word** (en español, a veces con tildes, pocas en inglés), **bold** (con palabras típicamente argentinas), **world** (dan un mapa, uno sugiere países, la ayuda es en qué dirección

-N, NE, E...- queda el correcto, y qué distancia hay entre las capitales). Y juega otros matemáticos: **nerd**, **ood**, **summ**... Estas variantes las encontró en la página <https://gamovil.com>, hay para series, películas, música... pero no está mi favorito: el **chessle**. Si lo juegan, les dejo una pista: traduzcan la notación algebraica moderna (1. e4 c5, 2. Cf3 Cc6...) a la vieja (1. P4R P4AD, 2. C3AR C3AD...), me lo van a agradecer.

Para ir terminando, el muy recomendable **nerdle** tiene además distintas opciones (www.nerdlegame.com). Una de ellas, **instant nerdle**, se presta para plantear acá porque no se necesita *feedback*: nos dan una lista de dígitos y símbolos matemáticos, y debemos reordenarlos para que se cumpla una igualdad. Los de color verde están bien ubicados; los púrpura, no. Les dejo una captura como ejemplo, y la respuesta está en las soluciones. Mejor dicho, *están*, porque este tiene dos soluciones:



Soluciones

Demoliendo reglas

Según la regla dada, el número siguiente en la lista es 30.

¿Me reconocéééééééééé?

A-4, B-2 (y reconoce MU también), C-3, D-1

X-le

El problema tiene dos soluciones, la oficial es $57 - 6 * 9 = 3$. Y la alternativa, haciendo pasaje de términos, $57 - 3 = 9 * 6$. Según las reglas, esta otra no es válida porque no debe haber operaciones después del igual.

Equipo de la sección 'Ilusiones y juegos matemáticos'

Marilina Carena

Matemática, UNL-Conicet.
marilcarena@gmail.com

Nicolás Fernández Larrosa

Biólogo, IFIBYNE, UBA-Conicet.
fernandezlarrosanicolas@gmail.com

Pablo Groisman

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

Matías López-Rosenfeld

Computador, UBA-Conicet
mlopez@dc.uba.ar

Mariano I Martínez (coordinador)

Biólogo, MACN-Conicet
mmartinez@macn.gov.ar

Juan Pablo Pinasco

Matemático, UBA-Conicet.
jpinasco@gmail.com

Nicolás Pírez (coordinador)

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

Alfredo Sanzo

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

Preguntas, comentarios

y sugerencias:

contacto@cienciahoy.org.ar

ÍNDICE del volumen 30

Autores

Abarzúa, Tamara

Ver: Carlos Mejías

Alzua, María Laura

Ver: Pablo R Brumovsky

Becu-Villalobos, Damasia

A cien años del descubrimiento de la insulina. Houssay, sus discípulos, y la producción en Argentina, 178:16

Bergero, Paula

Ver: Nara Guisoni

Bozzano, Graziella

Los cañones submarinos del Margen Continental Argentino, 177:32

Brumovsky, Pablo R

Los premios Nobel 2021, 178:51

Bugallo, Verónica

Ver: Gabriela Facciuto

Burucúa, José Emilio

La resurrección del mamut, un derroche entre inútil y peligroso, 180:4

Caballero-Ochoa, Andrea Alejandra

Ver: Francisco Alonso Solís-Marín

Cáceres-Saez, Iris

Los mamíferos marinos como centinelas de la salud del océano, 175:45

Calvo, Ernesto Julio

Nuevos métodos de extracción directa de litio. Impacto en la explotación sustentable de los salares de la puna, 180:43

Cappozzo, Humberto Luis

Ver: Iris Cáceres-Saez

Carena, Marilina

Crossfit cerebral N.º 7, 175:60
Crossfit cerebral N.º 8, 176:59
Crossfit cerebral N.º 9, 177:53
Crossfit cerebral N.º 10, 178:60
Crossfit cerebral N.º 11, 179:61
Crossfit cerebral N.º 12, 180:59

Castro Guijarro, Ana C

Oncología integrativa: una mirada holística sobre el cáncer, 178:11

Cerletti, Micaela

Ver: Mariana Costa

Ciai, Dante

Ver: Esteban Soibelzon

Ciencia Hoy

Estrellas de neutrones: conflicto entre observaciones y datos de laboratorio, 177:10

Extinciones en masa, 179:8

Nuevo límite superior a la masa del neutrino, 179:12

Viejos datos... ¿nueva física?, 179:10

Conejeros-Vargas, Carlos Andrés

Ver: Francisco Alonso Solís-Marín

Cornacchia, María Clara

Ver: Fernando X Pereyra

Coronel, M Florencia

Ver: Pablo R Brumovsky

Correa, Nancy

Ver: Leila Ron

Corvalán, Marina

Ver: Fernando X Pereyra

Costa, Mariana

Halófilos: la vida en la sal, 176:38

Cremonte, Florencia

Parásitos en el intermareal: una potencial zoonosis, 175:25

Crespi-Abril, Augusto C

Los cefalópodos y sus encantos, 180:18

Cyrulies, Ernesto

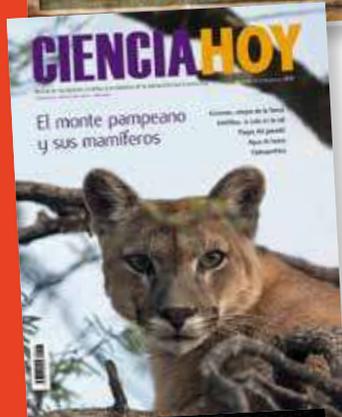
Enfriando con el calor del sol, 175:56

De la Fuente, Verónica

Hágase la luz. Usando optogenética para iluminar el estudio del cerebro, 176:44

De Nicola, Alejandro F

Ver: Damasia Becu-Villalobos



Delfino Ahumada, Habib

Ver: Esteban Soibelzon

Desántolo, Bárbara

Ver: Marcos Plischuk

Desojo, Julia B

Tortugas y arcosaurios en los inicios del Mesozoico, 175:10

Diambra, Luis

Ver: Nara Guisoni

Dimase, Miguel

Conocimiento sin reconocimiento, 180:28

Donato, Patricio G

Redes de servicios públicos inteligentes, 178:36

Dubner, Gloria

Supernovas extremas. Los cataclismos estelares más espectaculares, 178:41

Facciuto, GabrielaMejoramiento genético de plantas ornamentales (el caso de *Alstroemeria*), 175:51**Farengo, Ricardo**

Creando soles en la Tierra, 175:8

Fernández Larrosa, Nicolás

Ver: Marilina Carena

Figueroa, Marcelo Fabián

Ellos, ellas y la botánica en el tránsito del siglo XVIII al XIX: Linnaeus, Rousseau y el estudio de las plantas, 178:32

Fiorelli, Lucas

Ver: Julia B Desojo

Fiquepron, Maximiliano Ricardo

Historia y memoria de la fiebre amarilla en la Argentina. Itinerarios, bifurcaciones y atajos, 179:18

Funes, Marcos A

Ver: Patricio G Donato

Gallo, Carola

Ver: Pablo R Brumovsky

García, Rocío

Ver: Jonatan Gomez

García Mancuso, Rocío

Ver: Marcos Plischuk

Gilardoni, Carmen

Ver: Florencia Cremonte

Giménez de Castro, Guillermo

Veinte años del telescopio solar submilimétrico, 177:59

Gollo, Maira

Ver: Jonatan Gomez

Gomez, Jonatan

Líquenes y microplásticos, 178:10

Grau, H Ricardo

Ver: Yohana G Jimenez

Grau, Ricardo

Ver: Carlos Navarro

Groisman, Pablo

Ver: Marilina Carena

Guisoni, Nara

Sonic Hedgehog y el origen de las formas biológicas, 175:31

Hocsman, Salomón

Ver: Carlos Navarro

Isla, Federico Ignacio

La erosión costera y el manejo de la arena en la barrera medanosa oriental de Buenos Aires, 179:51

Isla, Manuel

¿Cómo estudiamos y qué sabemos de las playas del pasado?, 176:17

Izquierdo, Andrea E

La necesidad e importancia para las vegas altoandinas de una ley de presupuestos mínimos para los humedales, 177:28

Jacovkis, Pablo Miguel

A 25 años del 'affaire Sokal': ciencia, imposturas y condicionamientos, 178:4

Jimenez, Yohana G

Contraurbanizaciones (o cómo vivir en la naturaleza), 180:52

Kravetz, Sebastián*Ganoderma lucidum*, un hongo que produce compuestos potencialmente antivirales, 177:8**Kwiatkowski, Nicolás**

Ver: José Emilio Burucúa

Lattes, Alfredo E

Entre pirámides y obeliscos demográficos. Nuevas miradas al envejecimiento en la población, 175:39

López, Consuelo

¿Quién desarrolla la tecnología que usamos?, 177:48

López Luján, Leonardo

Ver: Francisco Alonso Solís-Marín

López-Rosenfeld, Matías

Ver: Marilina Carena

Mandrini, Cristina Hemilce

Ver: Guillermo Giménez de Castro

Martin, Gabriel

Ver: Esteban Soibelzon

Martínez, Mariano IExploraciones naturales e imaginarias del reino animal, 180:16
Ver: Marilina Carena**Massaro, Mora**

El centenario de la insulina, 177:16

Mejías, Carlos

¿La hibernación nos llevará al espacio? ¿Por qué los osos hibernan?, 180:10

Melgar, Alejandra Estefanía

Pequeñas recolectoras de basura, 177:9

Mininni, Pablo Daniel

Ver: Pablo R Brumovsky

Miseres, Vanesa

El lenguaje de las flores. Mujeres y botánica en el siglo XIX, 178:28

Montero, Raúl

Ver: Esteban Soibelzon

Naipauer, Maximiliano

Circones, los relojes de la Tierra, 176:50

Navarro, Carlos

Las vegas. Hidrosocioecosistemas esenciales de las regiones andinas, 177:25

Negrete, Javier

Ver: Esteban Soibelzon

Negri, IreneBandada mixta, 175:9
Bioluminiscencia, 177:11

Piedra, papel o tijera, 176:64
Pompones, 179:13

Nespolo, Roberto F
Ver: Carlos Mejías

Ortiz, Agustín
Un milímetro de roca, 176:55

Palacios, María Belén
Ver: Alejandra Estefanía Melgar

Palma, Fermín I
Ver: Graziella Bozzano

Pandolfo, Claudio E
Hacia rutas salvajes. Transgenes en poblaciones silvestres de plantas, 179:22

Paolucci, Esteban
Ver: Leila Ron

Parada Zárate, Tayra
Ver: Francisco Alonso Solís-Marín

Peña, Santiago Francisco
Cefalópodos y su genealogía imaginaria: del emblema minoico al monstruoso Kraken, 180:23
Ver: Pablo Miguel Jacovkis
Ver: Mariano I Martínez

Pereyra, Fernando X
Modificación antrópica del paisaje de la Región Metropolitana de Buenos Aires, 177:39
Ver: Deborah B Ragas

Perez, S Ivan
Ver: Luciano Prates

Peterson, Victoria
Pienso, entonces nuevo. Hacia las interfaces cerebro-computadora como herramientas de rehabilitación motora funcional, 179:47

Pinasco, Juan Pablo
Ver: Marilina Carena

Pírez, Nicolás
Ver: Marilina Carena

Plischuk, Marcos
Colecciones documentadas de esqueletos: ¿para qué sirven?, 176:23

Ponce, Denis A
Armados hasta la piel. Histología de osteodermos, 177:18

Poverene, Mónica
Ver: Claudio E Pandolfo

Prates, Luciano
Los seres humanos y la extinción de la megafauna en Sudamérica durante el Pleistoceno final, 179:36

Ragas, Deborah B
Los suelos urbanos: estudio de caso de la región metropolitana de Buenos Aires, 180:34

Raulin, Jean-Pierre
Ver: Guillermo Giménez de Castro

Remírez, Mariano
Ver: Manuel Isla

Ron, Leila
Agua de lastre. Legislación y nuevos tratamientos para prevenir la introducción de especies exóticas, 176:32

Rosier, Florence (La Recherche)
Entrevista con François-Xavier Fauvelle. 'Es posible pensar la historia desde África', 175:20

Rudy
Ver: Marilina Carena

Santos, Diego M
Clemente Ricci (1873-1946) y las humanidades como parte del proyecto científico en la Argentina, 179:57

Sanzo, Alfredo
Ver: Marilina Carena

Sartarelli, Andrés
Ver: Ernesto Cyrulius

Silvestrini, Jazmín
Ver: Fernando X Pereyra

Sirolli, Nicolás
Ver: Marilina Carena

Soibelzon, Esteban
El monte pampeano y sus mamíferos, 176:8

Solís-Marín, Francisco Alonso
Pepinos de mar en las ofrendas mexicas del Templo Mayor, México, 178:46

Spoltore, Daniela V
Ver: Graziella Bozzano

Sterli, Juliana
Ver: Julia B Desojo

Tassone, Alejandro A
Ver: Graziella Bozzano

Tripolone, Gerardo
El derecho constitucional luego de veinte años de guerra contra el terrorismo, 179:31

Ubierna, Pablo
Ver: Diego M Santos

Vargas López, Mauricio R
Ver: Ana C Castro Guijarro

Vázquez, Nuria
Ver: Florencia Cremonete

Villagra, Elizabeth
Ver: Jonatan Gomez

Villar, Diego
La gran belleza. El diario de Guido Boggiani, 178:20

Villar, Marcelo J
Ver: Pablo R Brumovsky

Violante, Roberto A
Ver: Graziella Bozzano

Zavaro Pérez, Carlos A
La historia que cuentan los cladogramas, 179:41

Zúñiga-Arellano, Belem
Ver: Francisco Alonso Solís-Marín

Artículos

Agua de lastre. Legislación y nuevos tratamientos para prevenir la introducción de especies exóticas
Leila Ron, Nancy Correa y Esteban Paolucci, 176:32

Boggiani, La gran belleza. El diario de Guido
Diego Villar, 178:20

Botánica en el tránsito del siglo XVIII al XIX: Linnaeus, Rousseau y el estudio de las plantas, Ellos, ellas y la
Marcelo Fabián Figueroa, 178:32

Cañones submarinos del Margen Continental Argentino, Los

Graziella Bozzano, Roberto A Violante, Fermín I Palma, Daniela V Spoltore y Alejandro A Tassone, 177:32

Circones, los relojes de la Tierra

Maximiliano Naipauer, 176:50

Cladogramas, La historia que cuentan los

Carlos A Zavaro Pérez, 179:41

Conocimiento sin reconocimiento

Miguel Dimase, 180:28

Contraurbanizaciones (o cómo vivir en la naturaleza)

Yohana G Jimenez y H Ricardo Grau, 180:52

Derecho constitucional luego de veinte años de guerra contra el terrorismo, El

Gerardo Tripolone, 179:31

Enfriando con el calor del sol

Ernesto Cyrules y Andrés Sartarelli, 175:56

Erosión costera y el manejo de la arena en la barrera medanosa oriental de Buenos Aires, La

Federico Ignacio Isla, 179:51

Esqueletos: ¿para qué sirven?, Colecciones documentadas de

Marcos Plischuk, Bárbara Desántolo y Rocío García Mancuso, 176:23

Fiebre amarilla en la Argentina. Itinerarios, bifurcaciones y atajos, Historia y memoria de la

Maximiliano Ricardo Figuepron, 179:18

Flores. Mujeres y botánica en el siglo XIX, El lenguaje de las

Vanessa Miseres, 178:28

Formas biológicas, Sonic Hedgehog y el origen de las

Nara Guisoni, Paula Bergero y Luis Diambra, 175:31

Halófilos: la vida en la sal

Mariana Costa y Micaela Cerletti, 176:38

Humanidades como parte del proyecto científico en la Argentina, Clemente Ricci (1873-1946) y las

Diego M Santos y Pablo Ubierna, 179:57

Interfaces cerebro-computadora como herramientas de rehabilitación motora funcional, Pienso, entonces nuevo. Hacia las

Victoria Peterson, 179:47

Litio. Impacto en la explotación sustentable de los salares de la puna, Nuevos métodos de extracción directa de

Ernesto Julio Calvo, 180:43

Mamíferos marinos como centinelas de la salud del océano, Los

Iris Cáceres-Saez y Humberto Luis Capozzo, 175:45

Mejoramiento genético de plantas ornamentales (el caso de *Alstroemeria*)

Gabriela Facciuto y Verónica Bugallo, 175:51

Modificación antrópica del paisaje de la Región Metropolitana de Buenos Aires

Fernando X Pereyra, María Clara Cornacchia, Marina Corvalán y Jazmín Silvestrini, 177:39

Monte pampeano y sus mamíferos, El

Esteban Soibelzon, Javier Negrete, Habib Delfino Ahumada, Raúl Montero, Dante Ciai y Gabriel Martín, 176:8

Optogenética para iluminar el estudio del cerebro, Hágase la luz. Usando

Verónica de la Fuente, 176:44

Parásitos en el intermareal: una potencial zoonosis

Florencia Cremonte, Carmen Gilardoni y Nuria Vázquez, 175:25

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

Francisco Alonso Solís-Marín, Leonardo López Luján, Belem Zúñiga-Arellano, Andrea Alejandra Caballero-Ochoa, Carlos Andrés Conejeros-Vargas y Tayra Parada Zárate, 178:46

Piel. Histología de osteodermos, Armados hasta la

Denis A Ponce, 177:18

Pirámides y obeliscos demográficos. Nuevas miradas al envejecimiento en la población, Entre

Alfredo E Lattes, 175:39

Playas del pasado?, ¿Cómo estudiamos y qué sabemos de las

Manuel Isla y Mariano Remírez, 176:17

Redes de servicios públicos inteligentes

Patricio G Donato y Marcos A Funes, 178:36

Roca, Un milímetro de

Agustín Ortiz, 176:55

Seres humanos y la extinción de la megafauna en Sudamérica durante el Pleistoceno final, Los

Luciano Prates y S Ivan Perez, 179:36

Suelos urbanos: estudio de caso de la región metropolitana de Buenos Aires, Los

Fernando X Pereyra y Deborah B Ragas, 180:34

Supernovas extremas. Los cataclismos estelares más espectaculares

Gloria Dubner, 178:41

Tecnología que usamos?, ¿Quién desarrolla la

Consuelo López, 177:48

Telescopio solar submilimétrico, Veinte años del

Guillermo Giménez de Castro, Cristina Hemilce Mandrini y Jean-Pierre Raulin, 177:59

Tortugas y arcosaurios en los inicios del Mesozoico

Julia B Desojo, Juliana Sterli y Lucas Fiorrelli, 175:10

Transgenes en poblaciones silvestres de plantas, Hacia rutas salvajes.

Claudio E Pandolfo y Mónica Poverene, 179:22

Vegas. Hidrosocioecosistemas esenciales de las regiones andinas, Las

Carlos Navarro, Ricardo Grau y Salomón Hocsman, 177:25

Vegas altoandinas de una ley de presuestos mínimos para los humedales, La necesidad e importancia para las

Andrea E Izquierdo, 177: 28

Bestiario

Cefalópodos y su genealogía imaginaria: del emblema minoico al monstruoso Kraken

Santiago Francisco Peña, 180:23

Cefalópodos y sus encantos, Los

Augusto C Crespi-Abril, 180:18

Exploraciones naturales e imaginarias del reino animal

Mariano I Martínez y Santiago Francisco Peña, 180:16

Ciencia en el mundo

Premios Nobel 2021, Los

Pablo R Brumovsky, M Florencia Coronel, Marcelo J Villar, Pablo Daniel Mininni, Carola Gallo y María Laura Alzua, 178:51

Editorial

‘Affaire Sokal’ ciencia, imposturas y condicionamientos, A 25 años del

Pablo Miguel Jacovkis y Santiago Francisco Peña, 178:4

Debates sobre la exención de patentes de invención en pandemia, 175:4

Dilemas en el camino a la igualdad, 177:4

Ley de financiamiento de ciencia y técnica, 179:4

Mamut, un derroche entre inútil y peligroso, La resurrección del

José Emilio Burucúa y Nicolás Kwiatkowski, 180:4

Planes para después de la pandemia, 176:4

Entrevista

Fauvelle, Entrevista con François-Xavier. ‘Es posible pensar la historia desde África’

Florence Rosier (*La Recherche*), 175:20

Grageas

Estrellas de neutrones: conflicto entre observaciones y datos de laboratorio

Ciencia Hoy, 177:10

Extinciones en masa

Ciencia Hoy, 179:8

Física?, Viejos datos... ¿nueva

Ciencia Hoy, 179:10

Hibernación nos llevará al espacio? ¿Por qué los osos hibernan?, ¿La

Carlos Mejías, Tamara Abarzúa y Roberto F Nespolo, 180:10

Hongo que produce compuestos potencialmente antivirales, *Ganoderma lucidum*, un

Sebastián Kravetz, 177:8

Líquenes y microplásticos

Jonatan Gomez, Rocío García, Maira Gollo y Elizabeth Villagra, 178:10

Neutrino, Nuevo límite superior a la masa del

Ciencia Hoy, 179:12

Oncología integrativa: una mirada holística sobre el cáncer

Ana C Castro Guijarro y Mauricio R Vargas López, 178:11

Recolectoras de basura, Pequeñas

Alejandra Estefanía Melgar y María Belén Palacios, 177:9

Soles en la Tierra, Creando

Ricardo Farengo, 175:8

Humor

Bandada mixta

Irene Negri, 175:9

Bioluminiscencia

Irene Negri, 177:11

Piedra, papel o tijera

Irene Negri, 176:64

Pompones

Irene Negri, 179:13

Ilusiones y juegos matemáticos

Crossfit cerebral N.º 7

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez (coordinador), Rudy, Alfredo Sanzo y Nicolás Sirolli, 175:60

Crossfit cerebral N.º 8

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Matías López-Rosenfeld, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez (coordinador), Rudy, Alfredo Sanzo y Nicolás Sirolli, 176:59

Crossfit cerebral N.º 9

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Matías López-Rosenfeld, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez (coordinador), Alfredo Sanzo y Nicolás Sirolli, 177:53

Crossfit cerebral N.º 10

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Matías López-Rosenfeld, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez (coordinador), Alfredo Sanzo y Nicolás Sirolli, 178:60

Crossfit cerebral N.º 11

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Matías López-Rosenfeld, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez (coordinador), Alfredo Sanzo y Nicolás Sirolli, 179:61

Crossfit cerebral N.º 12

Marilina Carena, Nicolás Fernández Larrosa, Pablo Groisman, Matías López-Rosenfeld, Mariano I Martínez, Juan Pablo Pinasco, Nicolás Pérez y Alfredo Sanzo, 180:59

Memoria de la ciencia

Insulina, El centenario de la

Mora Massaro, 177:16

Insulina. Houssay, sus discípulos, y la producción en Argentina, A cien años del descubrimiento de la

Damasia Becu-Villalobos y Alejandro F De Nicola, 178:16