

CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 31 número 181 agosto-septiembre 2022

www.cienciahoy.org.ar



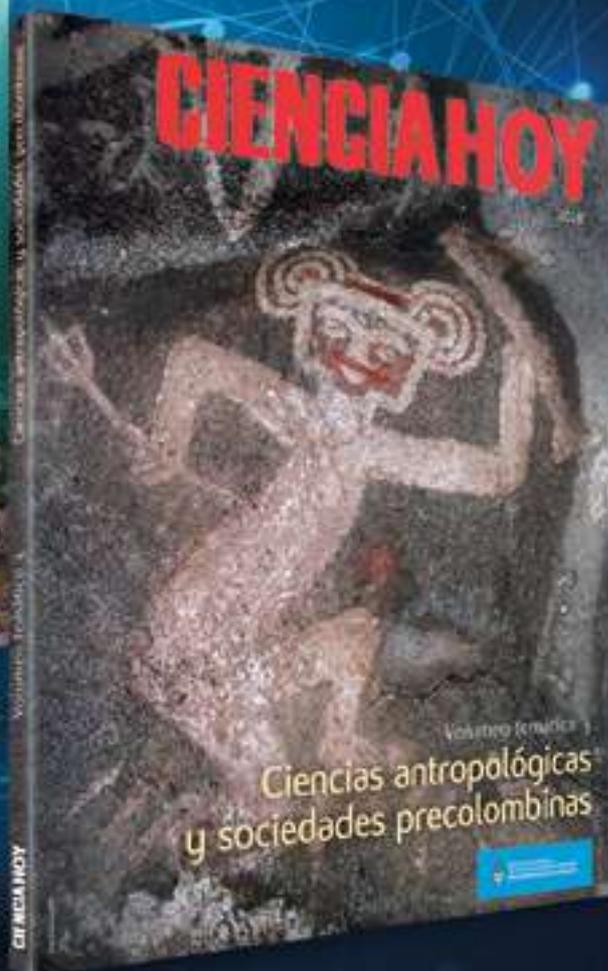
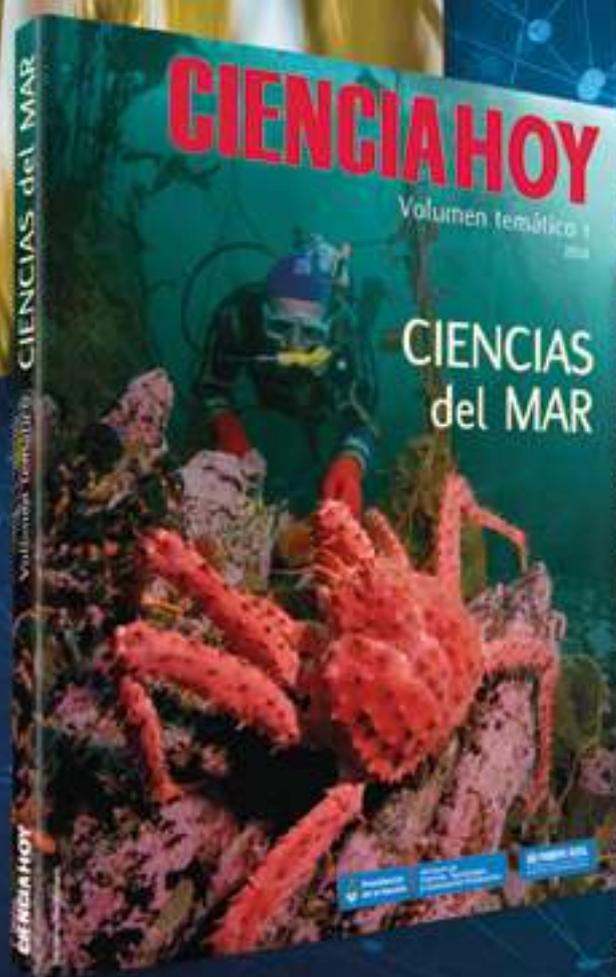
El pelícano y sus avatares

Ciencia y seudociencia
El carnaval del género humano

Plantas exóticas invasoras en la jardinería
Probióticos y abejas



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



Agosto - septiembre 2022

Volumen 31 - número 181

EDITORIAL

4 A veinticinco años de *Dolly*

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

6 Volumen 7, número 39 - 1997

8 Grageas

15 Cartas de lectores

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

16 Ciencia en tu vida

BESTIARIO

20 El pelícano y sus avatares: del símbolo crístico a un ave en duda

Julia D'Onofrio

La historia del pelícano en el imaginario occidental no está ligada a sus particularidades anatómicas o a algún rasgo específico de su temperamento sino a una leyenda de su extraordinario amor filial, identificado con el sacrificio de Cristo. En este artículo se describen los orígenes y derroteros de aquella representación simbólica, que ha sobrevivido hasta nuestros días.

ARTÍCULO

26 Próxima estación: 'Esperanza', un nuevo paso hacia la cura de la infección por VIH

Alejandro Czernikier y Lucía Baquero

La infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) continúa siendo una problemática de salud pública a nivel global. Con los avances en diagnóstico, prevención y tratamiento, se ha convertido en una infección crónica controlable. Entonces, ¿cuánto hemos avanzado en su estudio, tratamiento y en la búsqueda de una cura?

CIENCIA Y SOCIEDAD

33 Plantas exóticas invasoras en la jardinería: ¿llegó el momento de controlar?

Eduardo Haene

Numerosas plantas ornamentales utilizadas en jardinería y paisajismo tienen carácter invasor. Se escapan del cultivo y compiten con la vegetación autóctona, modificando el ambiente. Es necesario un cambio en las prácticas de viveristas y paisajistas, y reemplazar las especies exóticas cultivadas por especies nativas.

ARTÍCULO

40 El carnaval del género humano

Irina Podgorny, Susana García y Aina Trias Verbeeck

La producción de bienes suntuarios a través de la taxidermia de animales cuya caza está hoy prohibida exhibe una naturaleza paradójica. Por un lado, resulta una práctica condenada tanto por razones de conservación como a modo de rechazo del pasado colonial. Sin embargo, se percibe también su revalorización por parte de ciertos movimientos políticos nacionalistas africanos.

ARTÍCULO

46 El origen del cáncer, nuestra alimentación y los antioxidantes

Lucas B Pontel

El cáncer se origina como consecuencia de la acumulación de mutaciones o cambios en la información genética presente en células normales. Algunas de estas mutaciones pueden conferir nuevas características a las células normales permitiendo, por ejemplo, un incremento en la velocidad a la que crecen. Cuando estas células 'transformadas' adquieren características suficientemente diferentes de las células normales, dan origen a lo que se conoce como un tumor. Hay al menos tres factores que pueden causar mutaciones, y así contribuir al origen del cáncer. Aquí se discuten estos factores, y cómo nuestra alimentación puede contribuir a reducir la acumulación de mutaciones. El rol de los suplementos dietéticos y antioxidantes de venta libre se aborda en el contexto de su posible efecto sobre la generación de mutaciones en células normales, y por ende en el origen del cáncer.

ARTÍCULO

50 Probióticos y abejas: aliados en la apicultura

Thomas E Ibáñez Battiston, M Agustina Rodríguez y Leticia A Fernández

La apicultura es una actividad de gran importancia en nuestro país y el uso de probióticos permitiría prevenir enfermedades de las colmenas y mejorar la producción de forma natural y amigable con el medio ambiente. Se aislaron e identificaron microorganismos a partir de kéfir de agua con potencial efecto probiótico en abejas.

ARTÍCULO

55 Ciencia y pseudociencia: ¿por qué todavía es importante distinguirlas?

Alejandro Cassini

Casi todos creemos que sabemos lo que quiere decir ciencia. También creemos que sabemos lo que quiere decir pseudociencia. Sin embargo, la frontera entre ambas no es clara y cuando nos empezamos a mover desde una hacia la otra nos encontramos con problemas. Esto se llama 'el problema de la demarcación' y el autor nos introduce en los vericuetos que esta frontera porosa y permeable nos presenta.

61 ILUSIONES Y JUEGOS MATEMÁTICOS Crossfit cerebral N.º 13

A veinticinco años de *Dolly*

Si bien la clonación de la oveja *Dolly* en 1997 tomó al mundo por sorpresa, las actividades en el área de clonación en animales ya llevaban varias décadas. En particular, el trabajo de Ian Wilmut (uno de los ‘padres’ de *Dolly*) en embriología animal dio lugar a *Frostie*, el primer ternero nacido de un embrión congelado en 1973. Al mudarse a la Animal Breeding Research Organisation –organismo que precedió al Roslin Institute, donde nace *Dolly*– continuó trabajando en reproducción y embriología, y se involucró en un proyecto para generar ovejas genéticamente modificadas que produjesen proteínas de aplicación terapéutica en su leche (algo conocido como *pharming*). Se introducía un gen humano por microinyección en un embrión animal, que luego era transferido a una huésped subrogante, dando lugar a un animal transgénico. Este proceso, según las palabras del mismo Wilmut, era ‘desesperanzador y enloquecedoramente ineficiente’. Sin embargo, se pudieron generar seis ovejas transgénicas, entre las cuales se encontraba *Tracy*, una oveja nacida en 1990 que producía 35 gramos de alfa-1 antitripsina (usada para tratar enfermedades pulmonares como la fibrosis quística) por litro de leche. Ella fue la oveja más famosa hasta la llegada de *Dolly*.

Ante la ineficacia del proceso de ‘transferencia transgénica’, Ian Wilmut decidió enfocar sus esfuerzos en el proceso de ‘transferencia nuclear’. Su trabajo conjunto con Keith Campbell llevó al nacimiento de las ovejas *Megan* y *Morag* en 1995. Este trabajo, en opinión de varios especialistas, fue un descubrimiento casi más relevante que el realizado luego con *Dolly*, ya que demostró que se podían generar organismos viables mediante la transferencia del núcleo de células embrionarias tempranas mantenidas *in vitro* a óvulos vaciados de su núcleo.

Las células embrionarias son pluripotentes, es decir, se pueden diferenciar en diferentes tipos de células. Sin embargo, trabajar con células embrionarias no era simple, y en el mundo científico de aquel entonces se creía que no era posible utilizar núcleos de células diferenciadas obtenidas de organismos adultos, ya que no conte-

nían toda la información necesaria para volver a generar un organismo completo. Esa plasticidad o pluripotencialidad era clave para poder generar un organismo completo clonado.

Este fue el paradigma que rompió *Dolly*, o Lamb 6LL3, el primer animal clonado a partir de la transferencia del núcleo de una célula obtenida de un animal adulto en 1996. El núcleo se obtuvo de una célula de una oveja Finn Dorset y el embrión resultante de la transferencia se implantó en una oveja escocesa de cara negra. El método de clonado se denomina ‘transferencia nuclear de una célula somática’ (SCNT, del inglés *Somatic Cell Nuclear Transfer*). El nacimiento de *Dolly* requirió más de 270 intentos previos fallidos, y fue un homenaje a la templanza y a la experiencia para realizar microcirugías como las requeridas para obtener los óvulos necesarios.

Pero, aun así, considerando los objetivos del proyecto, no se habían obtenido ovejas clonadas y transgénicas. Eso se logró, finalmente, en PPL Therapeutics (una compañía *spin-off* del Roslin Institute, donde trabajaba Keith Campbell) al año siguiente, con el nacimiento de la oveja *Polly*. A partir de *Dolly*, muchos animales más fueron clonados: ratones, ratas, conejos, monos, perros, gatos... e inclusive algunos en vías de extinción.

En la Unión Europea, el clonado de animales es hoy legal para la investigación, pero el clonado de animales de granja por motivos comerciales o de mascotas está prohibido desde 2015. Sin embargo, sí está permitido en otros países, como en los Estados Unidos. Aun en estos países, el alto costo hace que solo animales muy valiosos sean clonados. Notablemente, el clonado de mascotas ha demostrado que pueden aparecer diferencias notables entre el donante y el clon, tanto en aspecto como en personalidad. Un ejemplo es el primer gato clonado (*Copy Cat*) y su donante de ADN, *Rainbow*, en 2002. Si bien su genética era idéntica, su patrón de pelaje fue distinto debido a la influencia del entorno durante el desarrollo del embrión. Algo similar sucede con los caballos de polo, cuya clonación se ha difundido y donde nuestro país es pionero. Se han logrado clones idénticos genéticamente,

pero con temperamentos diferentes (algo sumamente importante para el juego). Si bien la clonación de yeguas para jugar permite tener un plantel idéntico genéticamente, el valor real de los clones es acelerar la cruce de yeguas exitosas con distintos padrillos para obtener nuevos individuos virtuosos únicos.

El clonado de animales se ha propuesto como una potencial vía de rescate de especies en vías de extinción o extinguidas, pero esto presenta varios obstáculos técnicos y éticos (como hemos visto en el editorial del número 180). Entre los problemas técnicos, se encuentra la baja eficacia del proceso: un número importante de células donantes de núcleo y óvulos receptores se requieren para un clonado exitoso. Además, las diferencias en el tratamiento y las condiciones de las células y óvulos varían entre organismos. Por ejemplo, desde el nacimiento de Dolly, llevó cuatro años optimizar las condiciones para poder clonar cerdos. Otro problema es el del receptor; para el caso de los dinosaurios, ¿qué especie sería ideal para llevar adelante la implantación de ese embrión?

¿Es posible entonces clonar humanos? Este es el centro del debate desde el nacimiento de Dolly. Técnicamente es posible, pero el debate iniciado por Dolly hizo que la clonación con fines reproductivos en humanos estuviera prohibida en muchos países del mundo. Cuando el nacimiento de Dolly se hizo público (nota de color: ¡la nota en *The Sun* salió cuatro días antes de la publicación en *Nature*!) se produjo una tormenta mediática a nivel mundial. Obviamente, muchas voces se elevaron contra los aspectos éticos del proceso. Si bien nunca imaginaron el tamaño real de las repercusiones que se generarían, los científicos responsables ya habían contratado a una especialista en comunicación para manejar la prensa, que declaró que solo en las dos primeras semanas desde que se conoció la noticia recibieron alrededor de dos mil llamadas de periodistas, cuyas consultas incluían no solo los aspectos científicos, sino políticos y religiosos. Frente a las crecientes voces en contra, Ian Wilmut se presentó a hablar ante el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de los Comunes en el Reino Unido y frente al Congreso de los Estados Unidos. Bill Clinton, el presidente de este país por ese entonces, anunció su preocupación por las implicancias éticas y llamó a sus asesores en bioética

a expedirse en noventa días sobre las medidas a aplicar para minimizar el abuso de este proceso.

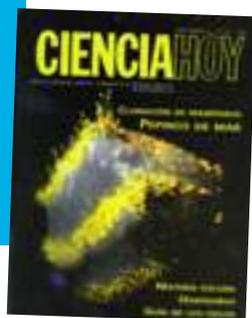
A veinticinco años de estos hechos, lo que queda claro es que la discusión ética que se produjo previno la clonación con fines reproductivos en humanos y abrió el camino a la clonación terapéutica, donde los embriones se generan exclusivamente para obtener células para investigación clínica y se utilizan solamente *in vitro*. Al compartir el ADN del donante con, por ejemplo, un paciente con cierta patología, estas células pueden utilizarse en estudios mecanísticos que sirven para evaluar la eficacia de las nuevas terapias, o para reemplazar tejidos dañados. Esta área, si bien ya fue aprobada como ley en el Reino Unido, está muy controlada por la discusión ética que conlleva y ha decaído en uso con los años y el desarrollo científico.

No obstante, todo el trabajo de investigación que llevó al nacimiento de Dolly inspiró el desarrollo de otro como fue el de las células madre pluripotentes inducidas (iPSCs). En 2006, Kazutoshi Takahashi y Shinya Yamanaka reportaron la generación de iPSCs, demostrando que una célula madura y especializada podía ser reprogramada para convertirse en una célula inmadura con pluripotencia, es decir, capaz de transformarse en otros tipos de células diferentes de la original. Este trabajo le mereció a Yamanaka (junto con John Gurdon) el premio Nobel de medicina de 2012. Si bien las células madre embrionarias y las iPSCs son pluripotentes, las iPSCs no se obtienen de embriones, y pueden producirse en mayor cantidad. En 2022, este campo se encuentra en pleno desarrollo y no sin falta de desafíos. **CH**



Tapas de la revista *Nature* y del diario sensacionalista británico *The Sun* dedicadas a la noticia de la clonación de Dolly.

**HACE
25
AÑOS**
en CIENCIA HOY



LOS MUSEOS EN LOS ALBORES DEL SIGLO XXI

JAMES VOLKERT

Conferencia del director del National Museum of the American Indian, pronunciada en octubre de 1996, en el Museo Etnográfico (FFyL-UBA), con el título 'Merging the Museum and the Hobby Shop: Some Thoughts on Museum Master Plans in Entering the 21st Century'.

CLONACIÓN DE UN MAMÍFERO

DIEGO HURTADO DE MENDOZA

Una descripción breve y simple de los métodos para clonar animales.

HISTORIAS DE LA TIERRA

DIEGO HURTADO DE MENDOZA

El nacimiento de la concepción moderna de la evolución geológica de la Tierra.



Andrés Costa, www.argentinat.org

LOS ARÁCNIDOS CRIPTOZOICOS

ROBERTO M CAPOCASALE

Una fracción importante de los arácnidos vive oculta en microambientes. Esto ha valido a estos artrópodos la denominación de criptozoicos.

Matías Izquierdo indica que el término criptozoico resulta un poco amplio para ser utilizado en un grupo tan diverso como los arácnidos, tal vez los grupos que mejor ajustan a la definición de fauna criptozoica sean los pseudoscorpiones, ricinúlidos, palpígrados y esquizómidos ya que permanecen la mayor parte de su vida ocultos debajo de troncos, piedras, cortezas u hojarasca. Sin embargo, dentro de las arañas, existen algunas familias que se caracterizan por ocupar microhábitats donde difícilmente podrían ser detectadas sin una búsqueda planeada o exhaustiva, como la familia Oonopidae. Para este grupo se describieron 872 especies nuevas luego de diez años de investigación, lo que denota los esfuerzos que existen por conocer esta particular fauna. Otro ejemplo notable es una nueva especie del orden Opiliones, descrita recientemente para una cueva de origen volcánico en la provincia de Mendoza. *Otilioleptes marcelae* reúne características típicas de animales troglomórficos como la reducción de ojos, falta de pigmentación y extremidades exageradamente largas. La naturaleza esquiva y oculta de muchos de estos arácnidos hace que sea necesario redoblar esfuerzos para describir su diversidad y para proteger aquellos ambientes que garanticen su existencia.



Marisa Agarwal, www.inaturalist.org

HOLOTURIOS O PEPINOS DE MAR

JESÚS ELOY CONDE

Invertebrados marinos que forman parte de la gastronomía oriental y, por el éxito de esta, se han convertido en especies amenazadas, a pesar de su importante función en los ecosistemas marinos.

A los estudios presentados en la nota sobre la explotación de los pepinos de mar en el Caribe, hoy se suma la novedad del efecto que la alimentación de los pepinos de mar tiene en la mitigación de las consecuencias del cambio climático. El bienestar de los arrecifes de coral, como aquellos que se encuentran en el Caribe, es crucial debido al gran número de especies que albergan y a la complejidad del ecosistema. Recientemente, un estudio realizado en los arrecifes de coral de Australia indicó que la ingesta de arena de los pepinos de mar y su digestión aumenta los niveles de pH. Esto tiene efecto en la mitigación de una de las aristas del cambio climático: la acidificación de los mares producto del exceso de dióxido presente en la atmósfera. Un estudio realizado por el grupo de investigación liderado por Maria Byrne sobre las poblaciones de pepinos de mar de la gran barrera de coral de Australia detectó el efecto negativo sobre el ecosistema de la sobreexplotación de dos especies de pepinos de mar de interés comercial (*Holothuria whitmaei* y *H. fuscogilva*). **CH**

Más información en WOLFE K & BYRNE M, 2022, 'Overview of the Great Barrier Reef sea cucumber fishery with focus on vulnerable and endangered species', *Biological Conservation*, 266: 109451.



Nicolle R. Fuller/NSF/IceCube

MIRANDO AL CIELO CON FRIALDAD

HÉCTOR RUBINSTEIN

La instalación y operación en el polo sur de un detector de neutrinos, con el objeto de buscar materia oscura en el universo.

El Observatorio AMANDA funcionó durante nueve años (1996-2005) en la base Amundsen del polo sur antes de ser absorbido por otro observatorio (*Ice Cube*), que lo contuvo hasta 2009 y que se encuentra actualmente en operaciones. Su principal objetivo es realizar astronomía de neutrinos, con la esperanza de que los datos recolectados brinden pistas importantes para entender el origen de la materia oscura o aporten indicios de física más allá del Modelo Standard, aunque el neutralino reportado en el artículo ya haya sido descartado en el régimen en que se lo buscaba. **CH**

VIRUS Y ENFERMEDADES EMERGENTES

MARÍA TERESA FRANZE-FERNÁNDEZ

Un recorrido por las enfermedades virales que hoy nos preocupan, tanto las nuevas como las antiguas.





Ischigualasto y la vinculación entre los eventos bióticos y climáticos

El Triásico (251-201Ma) fue escenario de una revolución biótica que sentó las bases para el desarrollo de los ecosistemas terrestres que le siguieron y que llegaron hasta la actualidad. Particularmente, el Triásico tardío, donde dominaron las plantas con semilla como las gimnospermas, presenció el origen y la diversificación de los dinosaurios, el origen de la tortuga y la diversidad de cinodontes no mamíferos que están estrechamente relacionados con los primeros mamíferos, como también la disminución de arcosauromorfos basales y sinápsidos. Dado el contexto de cambio climático que se está desarrollando cada vez con mayor intensidad, es interesante descubrir si el registro geológico correlaciona los eventos bióticos con los climáticos.

Para poner a prueba esta hipótesis durante el Triásico, se propuso un estudio de múltiples variables que proporcionara datos robustos sobre las condiciones climáticas y su evolución con el depósito que contiene uno de los registros más antiguos de dinosaurios, la Formación Ischigualasto en la Cuenca Ischigualasto-Villa Unión. El registro paleontológico de la Formación Ischigualasto, expuesta en diversas localidades de las provincias de La Rioja y San Juan, es muy diverso y cuenta con elementos tanto de la flora como de la fauna que dominaban este sector de la Tierra entre 231 y 224 millones de años atrás. El trabajo consistió en combinar la información sobre diversidad y abundancia relativa de plantas y tetrápodos con los datos de la evolución climática y para ello se usaron modelos evolutivos acep-

tados de cambios en los ecosistemas a escala de cuenca.

Los resultados mostraron que, aunque muchos patrones se explican mejor por sesgos de muestreo y tafonómicos, o sea los relacionados con la fosilización, la abundancia relativa de rincosaurios (reptiles herbívoros cercanamente relacionados a los arcosaurios) y la diversidad de seudosuquios (un grupo de arcosaurios del linaje de los cocodrilos) se ajustan a las expectativas de cambio biótico a medida que el clima pasa de condiciones cálidas y secas a más templadas y húmedas. Es decir, se observó una pequeña extinción de arcosaurios de la línea de los cocodrilos y una disminución en la abundancia de rincosaurios a la mitad de la Formación hace aproximadamente 228 millones de años.



Representación de un ecosistema de hace 230 millones de años en el noroeste de la Argentina. Las especies se encuentran como fósiles en la Formación Ischigualasto (Triásico superior), incluyendo la flora y fauna característica. Jorge Gonzales

Se verificó parcialmente la relación planteada de una última aparición de arcosaurios seudosuquios con un cambio a condiciones más templadas y húmedas. La hipótesis proponía que los pulsos de últimas apariciones de los arcosaurios seudosuquios se correlacionan con condiciones más frías y estacionales y los pulsos de primeras apariciones, con condiciones más cálidas. Por otro lado, la disminución en la abundancia relativa de rincosaurios, en comparación con la tendencia climática, permitió refutar la hipótesis postulada para este grupo de reptiles. Se proponía que la abundancia relativa de rincosaurios aumenta con el inicio de condiciones más áridas y disminuye con el inicio de condiciones más húmedas. Con base en la evidencia sólida aportada en el estudio se pudo formular una nueva hipótesis que propone que su abundancia aumentó durante los intervalos más húmedos.

Si consideramos la flora y la fauna registrada en la Formación Ischigualasto, notamos algunos cambios sutiles que no parecen estar relacionados con el muestreo. Sin embargo, es posible preguntar por qué no existe una correlación más fuerte con los cambios paleoclimáticos. Una respuesta podría ser, por ejemplo, que la magnitud y/o el ritmo del cambio climático observado

simplemente no fueron lo suficientemente grandes como para forzar cambios importantes en la estructura del ecosistema. Otra es que, a pesar del abundante registro fósil, los cambios fueron lo suficientemente sutiles como para requerir una resolución estratigráfica aún mayor, con un muestreo de especímenes aún más denso.

La ventaja del uso de los modelos evolutivos de forzamiento abiótico de cambios en los ecosistemas consiste en poder hacer predicciones específicas *a priori*, basadas en lo que sabemos sobre la evolución. Así, se pueden probar utilizando el registro fósil en lugar de tratar *a posteriori* de hacer coincidir los cambios en los *proxies* del paleoclima con los de los conjuntos fósiles. No obstante, este estudio demuestra cuán difícil puede ser establecer correlaciones aun cuando se cuenta con un rico registro de *proxy* climático y un abundante conjunto de datos fósiles. Se mostró, además, cómo el muestreo y la tafono-



Imagen panorámica que muestra la extensión de los afloramientos de la Formación Ischigualasto en el cerro Bola, provincia de La Rioja.

mía pueden controlar fuertemente los patrones en el registro fósil aun cuando se conocen muchos especímenes de diferentes niveles estratigráficos. **LH**

Adriana Mancuso

amancu@mendoza-conicet.gob.ar

Más información en MANCUSO AC, IRMIS RB, PEDERNERA TE, GAETANO LC, BENAVENTE CA & BREEDEN BT, 2022, 'Paleoenvironmental and biotic changes in the Late Triassic of Argentina: Testing hypotheses of abiotic forcing at the basin scale', *Frontiers in Earth Science*, [DOI:10.3389/feart.2022.883788](https://doi.org/10.3389/feart.2022.883788)

Gotas con actitud

La ciencia ficción nos tiene acostumbrados a que los objetos inanimados puedan adquirir características extraordinarias que les permitan hacer cosas inesperadas como moverse o hasta interactuar entre sí, haciéndonos creer que podrían llegar a estar vivos. En ocasiones porque plantean avances tecnológicos que aún no se han desarrollado, como la nanoarmadura de Iron Man; otras a través de la magia, como ocurre en el universo

de Harry Potter. Pero... ¿podría ser posible en la realidad hacer que objetos inanimados evolucionen y cobren vida? ¿Y si el secreto fuera solo saber cómo comunicar sustancias a través de nanomensajes?

En un estudio recientemente publicado en la revista *Nature Communications* científicos del Conicet presentaron un fenómeno en el que dos simples gotas de líquido puestas en contacto a través de una red de nanocanales son capaces de

desarrollar habilidades sensoriales y motoras típicas de los sistemas vivos.

Antes de entrar en detalles, es importante mencionar que cuando hablamos de 'nano-algo' no estamos haciendo más que referir a algo que tiene tamaño nanométrico, es decir que es aproximadamente un millón de veces más pequeño que un milímetro. A esta escala, los materiales pueden comportarse de maneras diferentes de las que estamos acostum-



brados y, gracias a la química, sus propiedades pueden diseñarse y obtenerse a gusto, manipulando la materia desde lo atómico/molecular. De hecho, algunos autores refieren al nanómetro como un 'punto mágico' en la escala dimensional.

En el trabajo presentado, la red de canales a través de la cual ambas gotas se contactan es una película delgada nanoporosa, una superficie de espesor y poros nanométricos. Podríamos pensarla como una esponja muy finita y con cavidades muy pequeñas, lo que hace que los líquidos ingresen a ella por capilaridad, algo similar a lo que sucede con un papel absorbente. Los científicos venían utilizando esta plataforma para estudiar la posibilidad de producir reacciones químicas por contacto de muy pequeñas cantidades de sustancias a través de los poros, en particular la de descomposición del agua oxigenada. Para ocurrir, esta reacción necesita la presencia de otra sustancia que la ayude facilitándole el camino; se la llama comúnmente catalizadora, y en este caso sería una solución de yoduro de potasio.

Entonces, colocaron en el experimento una gota de yoduro sobre la superficie de la película de nanoporos y a con-

tinuación otra gota en la cercanía, esta vez de agua oxigenada y... Luego de unos instantes comenzaron a observar algo inesperado que los dejó maravillados: la segunda gota comenzó a deformarse yendo hacia el encuentro con la primera gota, ¡como si cobrara vida! Pero... ¿qué estaba ocurriendo?, ¿por qué se generaba este desplazamiento tan particular?, ¿podría suceder con otras sustancias?

Muchas preguntas y experimentos después, los científicos explicaron que lo que se había observado es un fenómeno de reconocimiento y respuesta motriz a estímulo por parte de las gotas. Es decir, un mensaje químico enviado a través de los nanoporos diciendo 'vení que acá hay yoduro que puede catalizarte' y que puede ser perfectamente interpretado por la segunda gota, haciendo que vaya a su encuentro e incluso intente conectarse o rodearla. La simple reacción actúa a la vez de señalización química y fuente de energía. Se corroboró también que solo ocurre con estas dos sustancias, demostrando que es necesaria la interacción específica entre estos reactivos. Es más, al intentar reemplazar la segunda gota por agua se observó una especie de efecto barrera, impidien-

do el contacto, como si el mensaje cambiara a un 'no vengas'.

En estos resultados hay dos grandes detalles que merecen ser destacados: por un lado, que el comportamiento observado resulta análogo a muchos de los que se producen en los sistemas vivos, como en la fagocitosis, donde un glóbulo blanco del sistema inmune detecta, rodea y atrapa a un patógeno. La posibilidad de hacer que dos líquidos inanimados puedan evolucionar desarrollando estas características inteligentes debido solo a una interacción química entre ellos es algo que aún no había sido reportado.

El otro es la diferencia de escalas involucradas en este fenómeno: dos gotas macroscópicas de algunas centenas de mililitros de volumen se ven afectadas por unos pequeñísimos volúmenes de líquido (más pequeños que la mil millonésima parte de un mililitro) viajando por los nanoporos. ¡Una reacción química localizada en poros tan pequeños logra que se desplace una gota de volumen muchísimo más grande! Es como si una persona que salta en el patio de su casa hiciese que toda una ciudad temblara en consecuencia.

Ante este fascinante descubrimiento, ¿cuál será el próximo paso? Se espera que el sistema pueda ser utilizado para comprender mecanismos fundamentales del origen de la vida y se aplique, también, en el desarrollo de robótica inteligente de líquidos. Como en las series, este episodio continuará... **CH**

Agustín Pizarro

apizarro@unsam.edu.ar

Nota: en el link del trabajo indicado más abajo se encuentran videos donde se muestra al fenómeno en tiempo real.

Más información en PIZARRO AD, BERLI CLA, SOLER-ILLIA GJAA & BELLINO MG, 2022, 'Droplets in underlying chemical communication recreate cell interaction behaviors', *Nature Communications*, 13: 3047. doi.org/10.1038/s41467-022-30834-2



Un pico que toma lugar de pata

Desde sus primeras manifestaciones en el siglo VI, la heráldica ha tratado de descifrar el origen del triskele o triskelion, la figura formada por tres patas humanas algo flexionadas unidas por la cadera. Las primeras apariciones del cuervo de tres patas se remontan a 7000 años antes del presente en monedas japonesas y chinas, y más posteriormente aparece en las culturas maya y azteca. El novelista inglés del siglo XIX Herbert George Wells, autor entre otras muchas obras de *La guerra de los mundos* (1898), describe las máquinas extraterrestres, los trípodes, con tres patas. Las arañas robots de la nave alienígena de la novela *Cita con Rama* (1972), de Arthur Clarke, también caminaban en tres patas. En el terreno de lo imaginario, los organismos (y algunas máquinas) con tres patas han sido abundantes. Para los bípedos, caminar con un tercer apoyo, como un bastón, sin duda incrementa la estabilidad. Tres patas serían mejor que dos; sin embargo, en un escenario más realista y natural, no hay animales de tres patas, al menos en la Tierra, y tampoco hay ninguna evidencia de que los haya habido.

El plan de organización corporal general básico que quedó establecido desde los primeros hitos en la evolución de los vertebrados es simétrico (esto es, el cuerpo puede dividirse en dos mitades especulares) y tiene número par de extremidades (dos patas anteriores y dos posteriores). Aquella forma que se aleje de ese plan será considerada vedada, por ejemplo, la de poseer tres patas.

Pero una cosa es tener tres patas y otra es poseer la capacidad de un andar trípode. Por mencionar algunos casos, el pez del lodo que habita en Tailandia se apoya sobre el sustrato

con dos aletas pectorales y una tercera estructura que consiste en las aletas pélvicas fusionadas. Hay muchos otros ejemplos, incluso entre los mamíferos como el canguro. En algunos primates americanos como los aulladores o los monos araña, la cola prensil les permite colgarse, ascender o descender de las ramas de los árboles. Los bonobos y los chimpancés africanos pueden desplazarse en tres patas (dos traseras y una delantera) mientras que con la pata delantera restante manipulan el alimento. Entre las aves, los carpinteros usan la cola como tercer apoyo mientras trepan por los troncos. Otra vez, una cosa es tener un tercer punto de apoyo y otra es que ese tercer punto tenga la fuerza suficiente para generar desplazamiento *per se*.

Con esa pregunta como guía, Melody Young, Edwin Dickinson, Nicholas Flaim y el experto en biomecánica animal Michael Granatosky, todos del Instituto de Tecnología de Nueva York (NYIT), estudiaron el desplazamiento vertical de los loros, sabiendo que los loros y las cotorras usan su pico cuando trepan. En biomecánica del desplazamiento, se denomina 'miembro efectivo' a la parte del organismo que interactúa con el sustrato durante el movimiento. En este contexto, el pico de los loros es un miembro efectivo. Pero los investigadores quisieron ir más allá. Su objetivo central fue determinar si el pico se usa solo como gancho estabilizador o, además, como un miembro propulsor.

Para ello diseñaron una pista vertical a la que podían cambiar el ángulo que formaba respecto al piso y estudiaron cómo se desplazaban en ella seis ejemplares de *Agapornis roseicollis*, conocidos vulgarmente como inseparables de Namibia o loritos de

cara rosada. A partir de sus filmaciones, calcularon la frecuencia en que se usaban el pico, la cola y las alas, y midieron la fuerza que empleaba cada una de estas partes y las patas según los ángulos en los que se acomodaba la pista durante la locomoción. Los resultados mostraron que la cabeza y el pico funcionaban durante la marcha como una tercera extremidad, esto es, el pico ejercía una fuerza capaz de tirar del animal hacia arriba (ascender) comparable a la de sus patas traseras, por lo cual contribuye a la locomoción como otra extremidad propulsora. En el lorito de cara rosada, el pico funciona como una tercera pata. Según los autores de la investigación, esta es una novedad evolutiva exclusiva de los loros y que sin duda estaría correlacionada con modificaciones neurológicas y musculares sobre todo a nivel del cuello.

En el campo de la biología evolutiva hay mucho camino por delante que recorrer. Determinar las posibles restricciones energéticas, funcionales y filogenéticas que impiden la aparición de ciertas formas son desafíos a los que se ha enfrentado la ciencia desde siempre. Profundizar los estudios en el desplazamiento de *Agapornis roseicollis* y otros loros podría ayudar a encontrar respuestas. 

Claudia P Tambussi

claudia.tambussi@unc.edu.ar

Más información en YOUNG MELODY W, DICKINSON EDWIN, FLAIM NICHOLAS D & GRANATOSKY MICHAEL C, 2022, 'Overcoming a «forbidden phenotype»: The parrot's head supports, propels and powers tripedal locomotion', *Proceedings of the Royal Society B*, 289. doi.org/10.1098/rspb.2022.0245



El fin de una era

Mucho se ha discutido sobre los dinosaurios, cómo se expandieron hasta el fin del Cretácico (66 millones de años) y la posterior desaparición de varios de sus representantes. Sobre este evento se especularon durante mucho tiempo innumerables teorías, entre ellas la del famoso asteroide que impactó sobre la Tierra. En la actualidad esta teoría es la que presentaría mayor aprobación: el asteroide habría impactado en la península de Yucatán, cerca de la ciudad de Chicxulub, y marcó el fin del Cretácico. Un evento como este, *a priori*, debería afectar en mayor medida a las poblaciones que habitan cerca del lugar del impacto, pero ¿cómo afecta a organismos que están a miles de kilómetros de distancia? Efectos como la dispersión de partículas a través de la atmósfera o cambios en las características de las masas de agua y su posterior circulación a otros sitios del planeta podrían ser una respuesta. Con relación a esto, hoy en día somos testigos, por ejemplo, de erupciones volcánicas que nos afectan la visibilidad o la salud por partículas que viajan miles de kilómetros. En el caso particular del asteroide su impacto dejó un cráter conocido como Chicxulub y, además, se registraron efectos como tsunamis e incendios (entre otros fenómenos) hasta 3500km de distancia del lugar del evento. Prueba de esto, en el interior de los Estados Unidos, en Dakota del Norte, a más de 3000km de la zona de impacto, existe un sitio de estudio conocido como Tanis, el cual presenta un registro único sobre ese momento y que desde su descubrimiento en 2008 continúa dando respuestas a muchos interrogantes.

Entre las consecuencias del impacto, sabemos que hubo una gran extinción pero que afectó a algunos grupos particulares, entre algunos de ellos los dinosaurios no avianos, los pterosaurios (reptiles voladores) y los amonites. Este

es un interrogante que aún despierta curiosidad e intriga a especialistas de todo el mundo. Es claro que las características intrínsecas de cada organismo podrían ser una respuesta, pero también podría ser una explicación el momento del año en que esto ocurrió, lo cual posiblemente afecta de manera diferencial a cada especie. Por lo tanto, conocer el momento del año en que esto ocurrió podría resultar en una pieza clave para comprender esta extinción particular. Una novedad brindada por Melanie Doring y colaboradores resuelve este dilema, en un artículo publicado en la revista *Nature*, donde indican que el meteorito habría impactado durante la primavera del hemisferio norte y el otoño del hemisferio sur. Saber en qué momento del año ocurrió es tan increíble cómo entender cómo Doring y colaboradores descubrieron esto. Pero para ello debemos entender algo más sobre las características de los organismos.

El ciclo anual de un organismo es algo conocido y con muchos ejemplos, desde la migración de distintos organismos, el cambio del pelaje de un perro o la caída de las hojas de un árbol. Estos cambios visibles nos permiten leer algunas variables ambientales sin disponer de herramientas para hacerlo o, como en el caso del registro fósil, sin poder estar ahí presentes. Los especialistas encargados de la novedad que nos toca comentar en este caso logran inferir el momento del año en que el evento ocurrió a partir de la interpretación de los ciclos anuales de peces. El sitio de estudio Tanis presentaba durante los últimos años del Cretácico una estacionalidad bastante marcada, destacada por las diferencias en las precipitaciones y la temperatura a



lo largo del año. Esta estacionalidad deja huellas en los organismos, las tasas de crecimiento pueden verse afectadas y ello permite determinar años o estaciones. En el caso particular del estudio de Doring, se analizaron las piezas óseas de peces fósiles encontrados en Tanis, y estos permitieron realizar reconstrucciones del ciclo de vida. Conociendo el último momento registrado del organismo se puede deducir el momento exacto del impacto del asteroide. De esta manera pudieron determinar la estación del año en el cual ocurrió el evento, que coincide con la primavera del hemisferio norte y el otoño del hemisferio sur.

Por último, del análisis de las piezas óseas se aprecia lo aterrador del impacto. Ellas contenían impactos de partículas procedentes del asteroide. Vale recordar que el sitio analizado se encontraba a más de 3000km del cráter, lo que da una idea de la tremenda devastación que esto provocó. Aunque aún quedan preguntas sin resolver, este avance significa una pieza clave en las investigaciones sobre la extinción ocurrida a fines del Cretácico. **CH**

Más información en DURING MAD, SMIT J, VOETEN DFAE, BERRUYER C, TAFFOREAU P, SÁNCHEZ S, STEIN KHW, VERDEGAAL-WARMERDAM SJA y VAN DER LUBBE JHJL, 2022, 'The Mesozoic terminated in boreal spring', *Nature*, 603: 91-94.

Atención, reduzca la velocidad (de mutación somática)

Aquí todo es siempre invariable y permanente, pero allí todo se mueve y cambia constantemente.

Claire A Nivola

Las mutaciones son aquellos cambios puntuales en las secuencias de nucleótidos que forman el ADN de todos los organismos. En particular, las mutaciones somáticas ocurren en los genes de las células no germinales y por lo tanto no heredables a la progenie. Los genes son secciones del ADN que contienen la información necesaria para sintetizar proteínas, las cuales permiten el desarrollo de distintas funciones en las células. Las mutaciones en los genes ocurren por múltiples factores, intrínsecos y extrínsecos, y se pueden traducir en variaciones de las proteínas y sus funciones. Las proteínas, al no ejercer correctamente estas funciones, producen alteraciones de los procesos celulares que, en el peor de los casos, acortan el tiempo de vida de las células. Incluso también pueden hacer que estas descontrolen el balance entre su proliferación y su muerte, dando paso a la transformación de células normales en células cancerígenas, asociada a una neoplasia (del griego, *neo-*, nuevo, y *plassein*, forma). El envejecimiento de los organismos no es el mero efecto deletéreo e irreversible del paso del tiempo, si no que -como intuían los alquimistas de la Edad Moderna- es un proceso regulable y en cierta manera retardable. Además, el envejecimiento o *aging* (del inglés *age*, tiempo) tiene actores muy distintos pero que curiosamente son los mismos que actúan en todos los eucariotas (todos los organis-

mos excepto las arqueas y bacterias). Las mutaciones somáticas son, entre otros, uno de los posibles daños moleculares que se proponen con una mirada evolutiva como causas del envejecimiento desde hace más de cuatro décadas.

El desarrollo neoplásico también tiene múltiples componentes genéticos y metabólicos y, como ocurre en el envejecimiento, sería factible intervenir en su regulación génica. Las mutaciones somáticas en ciertos órganos o tejidos sujetos a transformación cancerígena son producto de causas más diversas incluidas por supuesto las ambientales, que involucran agentes externos, pero también hábitos culturales como la alimentación. Para estas mutaciones, la velocidad es variable por este contexto, y su acumulación en una célula o grupo de células puede generar que estas adquieran ventajas competitivas que les permitan reproducirse clonalmente más rápido que las células normales.

Grandes mamíferos como los elefantes y las ballenas poseen alta longevidad y baja incidencia de cáncer, aun cuando por sus masas deberían tener más posibilidades de tener mutaciones somáticas, según una clásica y antigua hipótesis sobre la evolución de estas mutaciones. Tal falta de relación entre tamaño y mutaciones constituye una paradoja, conocida como paradoja de Peto. Y, donde hay una paradoja en el conocimiento científico, hay una oportunidad para una buena investigación. Es el caso de un reciente y bellísimo trabajo de este año publicado en la revista *Nature*, de Alex Cagan y

colaboradores, en el que se obtuvieron resultados que resuelven esta aparente incongruencia. En este estudio pensaron que el secreto podía estar no en medir las mutaciones sino su velocidad. Con el fin de tener una medición certera de este parámetro para la comparación entre animales, decidieron muestrear un mismo tipo celular, las criptas de Lieberkühn. Estas células se encuentran en el intestino y constituyen invaginaciones entre las vellosidades del epitelio del colon. Las características de estas 'criptas' que las vuelve una gran elección para el propósito de este estudio es que cada cripta deriva clonalmente de una única *stem cell* y además son accesibles de aislar por microdissección de las biopsias, ya que por sus características histológicas se las distingue del resto del epitelio. Por lo tanto, la cripta contiene las mutaciones acumuladas de la biografía completa de ese tejido, que es además poco afectado por el ambiente y reporta sobre todo cambios genéticos intrínsecos. De este modo la velocidad de mutación somática podía establecerse como el cociente entre el número de mutaciones de una cripta intestinal y la edad del organismo al obtener la muestra. Al analizar esta velocidad de mutación somática en ocho especies distintas de animales, se observó que esta correlaciona inversamente con la supervivencia; o, visto de otro modo: la velocidad de mutación parece restringir la longevidad. En efecto, estas medidas mostraban maravillosamente que especies muy diferentes (y de muy distinto tamaño y número de células somáticas) como, por ejemplo, la rata



topo lampiña y la jirafa, que tienen la misma expectativa de vida, resultaban tener la misma velocidad de mutación somática. Todo ello sostiene la hipótesis de que la velocidad de mutación somática podría ser causa y no efecto del envejecimiento.

Entonces, si la velocidad de mutación somática condiciona la extensión de la vida, se vuelve más preciso entender los mecanismos biológicos que en algunos organismos mantienen bajas esta tasa de mutaciones para así tratar de conseguir emular estas habilidades moleculares en el humano. Esto es clave para la biogerontología y el desafío de extender la longevidad, pero también para la investigación en cáncer.

Además, el diseño comparativo de este tipo de estudio resulta muy inspirador para ensayar nuevos aborda-

jes genómicos que son necesarios en la investigación en cáncer. En los últimos años las técnicas de secuenciación han permitido comenzar a analizar las mutaciones somáticas de los tumores, sobre todo con el fin de encontrar marcadores moleculares o blancos terapéuticos. Sin embargo, hacen falta análisis que sirvan para entender el impacto biológico de la acumulación de mutaciones. Por ejemplo, estudios independientes como el de Yu y colaboradores de 2015 (doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.04.003) y Liu y colaboradores de 2021 (doi.org/10.1002/hep4.1846) muestran que dos de los cánceres más letales, como el de pulmón de células no pequeñas y el carcinoma hepatocelular, poseen una media de 289 y 470 mutaciones somáticas por tumor, respectivamente. Estos valores serían más de diez ve-

ces más altos que el que poseen otro tipo de tumores como el de mama, según mencionan Pereira y colaboradores (doi.org/10.1038/ncomms11479), que es un cáncer con una etiología muy distinta y menor mortalidad que los dos anteriores. Hallar formas unificadas de evaluar y poder comparar el número de mutaciones somáticas y, mejor aún, el de sus velocidades en distintos tipos de cáncer podría ser útil para encontrar nuevos predictores genómicos del desarrollo de tumores. 

Cristián Favre

favre@ifise-conicet.gov.ar

Más información en CAGAN A, BÁEZ-ORTEGA A, BRZOZOWSKA N *et al.*, 2022, 'Somatic mutation rates scale with lifespan across mammals', *Nature*, 604: 517-524.

VESTIDO DE NOVIA



Algunos grupos de aves, durante la época reproductiva, se ponen coquetos. A esto se le llama plumaje nupcial. Generalmente a los machos, que en las aves casi siempre son más llamativos que las hembras, les crece un plumaje especial, para volver locas a las chicas. Esto ocurre, por ejemplo, en varios Passeriformes (pajaritos), garzas y macaes. Algunas aves se deconstruyeron de esta belleza únicamente patriarcal, y, por ejemplo, en los falaropos, las hembras son las que cambian su plumaje. No solo eso, sino que además se aparean con varios machos y les dejan los huevos a ellos para que se hagan cargo de los pichones.

Irene Negri
ireitanegri@gmail.com



Cartas de lectores

¿El litio es energía?

Leí con mucho interés en el número 180 de la revista la nota de Ernesto Calvo sobre los métodos directos de extracción de litio en nuestra puna. El tema del litio me preocupa porque siento que es un recurso energético que, afortunadamente, tenemos en abundancia pero que si no somos cuidadosos puede ser extraído y exportado sin que nuestro país se beneficie de él. ¿Pueden nuestros científicos ayudar en este empeño?

Alberto Galván
(Santa Fe)

Hay algo importante en la consulta del lector que debe ser aclarado. El litio no es un recurso energético. No puede 'quemarse' litio para obtener energía como sí puede hacerse con el petróleo, el gas, el carbón o el uranio. El litio es un elemento indispensable para construir artefactos de almacenamiento de energía (léase baterías) que las hace de mayor capacidad, mejor rendimiento y sin ciclos de 'memoria residual', pero no puede usarse para obtener energía. Es importante remarcar esto para evitar caer en comparaciones *vis à vis* con fuentes verdaderas de energía y atribuirle propiedades que no tiene. Aclarado esto, la ciencia juega en la extracción del litio un papel destacado ya que es la que da origen a las tecnologías que después se usan para optimizar los procesos y el uso de los recursos. El caso de los métodos directos enunciados por Calvo ilustra muy bien este punto. Por supuesto, no es solo ciencia lo que se necesita, ya que hay factores económicos y geopolíticos que afectan la toma de decisiones.

El legendario kraken

El artículo sobre los cefalópodos del número 180 me ha ilustrado sobre los antecedentes culturales, históricos y artísticos de esta figura que leí por primera vez (y aquí mi aporte) en el increíble libro en cuatro tomos de Dan Simmons *Ilion I y II*, y *Olimpo I y II*, saga que pone en clave de ciencia ficción a la *Iliada* (y que es incomprensible si no se ha leído esa obra, más *La tempestad* de Shakespeare y algo de Proust, aunque parezca una mezcla caótica). Allí, los kraken son cefalópodos hambrientos en los mares helados de Europa, luna de Júpiter (abajo, un fragmento). Altamente recomendable como obra de ciencia ficción, esa relectura de la *Iliada* explica algunos cabos sueltos que nos dejó Homero y te tiene en vilo a lo largo de sus cuatro tomos.

Allí fue donde leí por vez primera la existencia de algo llamado kraken, que ahora entiendo de dónde proviene. Gracias por la nota, es muy lindo hacer revisiones históricas. La disfruté.

El sumergible moravec de Mahnmut el europeo iba tres kilómetros por delante del kraken y ganaba terreno, lo cual debería haberle dado un poco de confianza a la diminuta criatura robo-orgánica, pero como el kraken solía tener tentáculos de cinco kilómetros de largo, no lo hacía. Era un agravio. Peor que eso, era una distracción. Mahnmut casi había terminado su nuevo análisis del Soneto 117, estaba ansioso por enviarlo por e-mail a Orphu en Io, y lo último que necesitaba era que se tragaran su sumergible. Estudió el kraken, verificó que la enorme, hambrienta y gelatinosa masa continuaba persiguiéndolo, y se interfecó con el reactor lo suficiente para añadir otros tres nudos a la velocidad de su nave. El kraken, que estaba literalmente fuera de pie tan cerca de la región de Conamara Caos y sus filones abiertos, no pudo mantener el ritmo. Mahnmut sabía que, mientras ambos estuvieran viajando a esa velocidad, el kraken no podría extender por completo sus tentáculos para envolver al sumergible; pero si su pequeño sub se encontraba con algo (digamos un montón grande de algas iridiscentes) y tenía que frenar, o peor aún, se quedaba atrapado en los brillantes filamentos de basura, entonces el kraken caería sobre él como un... —Oh, bueno, maldita sea —dijo Mahnmut, abandonando cualquier intento de buscar un símil y hablando en voz alta al silencio zumbante de la estrecha cavidad medioambiental del sumergible.

Silvana Bujan
(Mar del Plata)

NOTICIAS INSTITUCIONALES

A 60 años de la creación del primer instituto del CONICET

El Instituto Nacional de Limnología es pionero de la ciencia argentina y se dedica al estudio de los cursos de agua dulce del país. Está nucleado en el Centro Científico Tecnológico CONICET Santa Fe.

El Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET-UNL), fue fundado el 3 de agosto del año 1962, convirtiéndose en el primer instituto creado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el país. Como centro de investigaciones se le encargó con especial dedicación del estudio del río Paraná y su cuenca y, además, proyectar su trabajo a todos los medios fluviales y lacustres de Argentina. Hoy con un equipo de más de 70 personas, continúa desempeñando un rol fundamental en el conocimiento y cuidado de nuestros reservorios de agua.

Pablo Collins, director del INALI, destaca la importancia de las temáticas de estudio actuales del instituto, cuyo foco son los ambientes acuáticos continentales, su biodiversidad, la conservación y los servicios o benefi-

cios que brindan a la sociedad: “Estos trabajos se realizan desde una mirada integral, reconociendo a los humedales como una fuente de recursos que se encuentran en riesgo dada la actividad del hombre y su capacidad de modificar las condiciones naturales, junto con el cambio climático”.

Actualmente, el instituto cuenta con 34 investigadores e investigadoras, 23 becarios y becarias, 13 profesionales dedicados al apoyo a la investigación en siete laboratorios, además de personal en áreas administrativas y de campaña. Si nos remitimos a los inicios, entre 1962 y 1987 desarrollaron actividades en el INALI, un total de 12 investigadores e investigadoras, tres becarios y becarias y 30 miembros del personal de apoyo.

En 1966, 4 años después de su nacimiento, el entonces presidente del CONICET, Bernardo Houssay, se acercó a la ciudad de Santo Tomé para inaugurar la primera sede del INALI. La misma estaba ubicada frente al río Salado -ya que se buscaba un lugar con acceso directo al sistema fluvial del río Paraná- y bien conectada

por vía terrestre a diferentes puntos del país. Allí funcionaron por 46 años. A partir del año 2002, este instituto histórico del CONICET comienza a depender también de la Universidad Nacional del Litoral. Junto con esta nueva configuración institucional se gesta un proyecto de relocalización del Instituto, que se concreta en 2008 con un nuevo edificio ubicado en Ciudad Universitaria UNL, en cercanía de la Laguna Setúbal, en la ciudad de Santa Fe.

Las principales actividades del Instituto siguen dirigidas al estudio del funcionamiento del río Paraná y otros sistemas acuáticos continentales naturales y con impacto antrópico. Entre las líneas que se desarrollan actualmente pueden mencionarse ecología de poblaciones y comunidades acuáticas, tramas tróficas, efectos de diferentes usos de la tierra sobre la biota, estrés fisiológico producido por contaminantes, estudios moleculares en diferentes organismos y acuicultura, entre otras. Se suma el desarrollo de propuestas de conservación que contribuyan a la sostenibilidad e integridad de los ecosistemas acuáticos, con una fuerte im-

pronta ambiental y social. Además, el INALI también asigna importancia a la provisión de servicios a empresas e instituciones y la realización de actividades de comunicación de la ciencia, articulando acciones con el sistema educativo y la sociedad en su conjunto.

A sesenta años de su fundación, su director concluye: “Desde INALI queremos contar nuestra historia, una historia que fue de gran contribución a mucho de lo que hoy se conoce como limnología de los grandes ríos. Con orgullo, decimos que fuimos el primer instituto de CONICET, y que, a pesar de los desafíos y dificultades afrontadas, seguimos creciendo, cambiando y expandiendo la frontera de la investigación limnológica”. ■



CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Una dosis heteróloga de refuerzo aumenta de manera notable la inmunidad contra ómicron en adultos mayores

El trabajo, liderado por especialistas del CONICET en colaboración con profesionales del PAMI y publicado en la prestigiosa revista internacional The Lancet Infectious Diseases, analizó la respuesta inmune en un grupo de 124 voluntarios con un promedio de edad de 79 años.

Las vacunas contra el virus que causa COVID-19 que se basan en virus inactivados (Sinopharm y Sinovac) son de las más utilizadas en el mundo. Sin embargo, en contraste con las basadas en adenovirus (AstraZeneca, Sputnik V y Cansino) o en ARN mensajero (Pfizer y Moderna), se dispone de poca información sobre la respuesta inmune inducida por las vacunas a virus inactivados. Además, hay escasos datos sobre la conveniencia de aplicar refuerzos heterólogos combinando vacunas basadas en distintas tecnologías para lograr una mejor respuesta contra ómicron y otras variantes del nuevo coronavirus SARS-CoV-2.

Ahora, un estudio de especialistas del CONICET, publicado en la prestigiosa revista internacional The Lancet Infectious Diseases, revela que una dosis de refuerzo heteróloga aumenta de manera muy significativa el nivel de anticuerpos contra el coronavirus en adultos mayores que recibieron previamente dos dosis de Sinopharm.

Este trabajo comenzó hace casi dos años y es el producto de una estrecha colaboración entre especialistas del CONICET y profesionales del PAMI. “El nuevo estudio muestra lo valioso de la articulación lograda durante la pandemia entre investigadores del CONICET y sectores de Salud”, indica Andrea Gamarnik, líder del trabajo e investigadora superior del CONICET en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Buenos Aires (IIBBA, CONICET-Fundación Instituto Leloir). Y agrega: “La información obtenida en esta investigación es de utilidad para la toma de decisiones concernientes a los esquemas de vacunación en nuestro país como así también en otras partes del mundo donde se emplea la vacuna Sinopharm”.

El trabajo conjunto comenzó antes del inicio del programa de vacunación masiva en Argentina. Con el fin de realizar estudios de vigilancia epidemiológica en geriátricos, se firmó un convenio de cooperación entre la Fundación Instituto Leloir (FIL) y el PAMI para lo cual se construyó un nuevo laboratorio dirigido por Andrés Rossi, científico del CONICET en el IIBBA.

Vacunación heteróloga en adultos mayores

En el estudio se hizo un seguimiento a 124 voluntarios con una edad promedio de 79 años que recibieron las dos dosis de la vacuna Sinopharm y luego recibieron refuerzos empleando distintas vacunas.

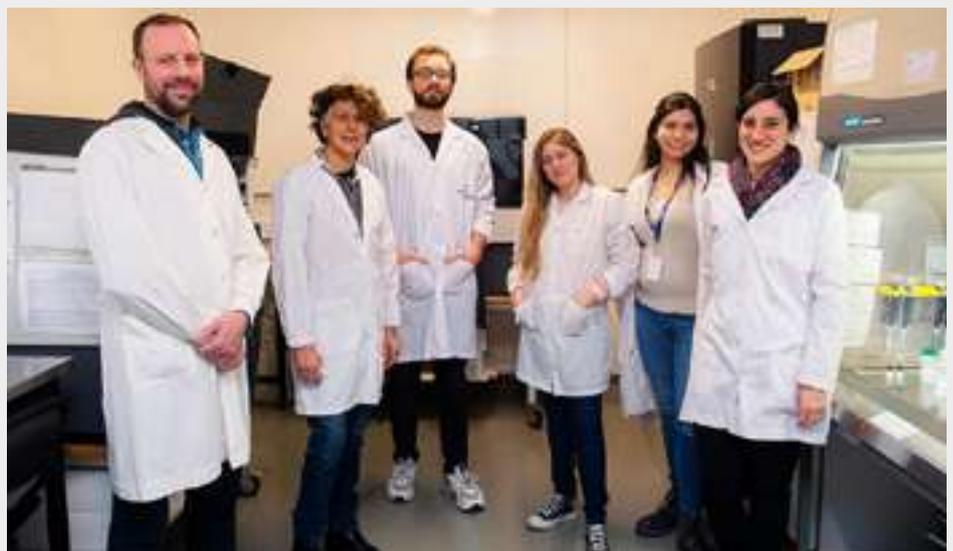
“Analizamos en función del tiempo tanto el nivel de anticuerpos específicos antes y después de los refuerzos, como la capacidad de dichos anticuerpos para impedir la infección del virus en experimentos de laboratorio”, explica Gamarnik.

En la investigación se definió el nivel de anticuerpos y la capacidad de los mismos para neutralizar a ómicron y a la variante original de Wuhan (B.1) tras analizar muestras de sangre de los voluntarios a los 21, 100, 160 y 220 días después de aplicadas dos dosis de Sinopharm. En un

segundo paso, los voluntarios se dividieron en tres grupos que recibieron una dosis de refuerzo diferente: AstraZeneca (basada en adenovirus), Sputnik V (vacuna basada en adenovirus) y Pfizer-BioNTech (vacuna basada en ARN mensajero). Y se les midió la cantidad de anticuerpos y su actividad neutralizante a los 21 y 90 días.

“La aplicación de una dosis heteróloga de refuerzo elevó los niveles de anticuerpos IgG más de 350 veces y la seropositividad, es decir, la presencia de anticuerpos específicos se detectó en el 100 por ciento de la cohorte, respuesta que se mantuvo 90 días después del refuerzo”, indica Gamarnik, quien lideró el desarrollo de COVIDAR, el primer test serológico argentino que sirve para medir anticuerpos contra el nuevo coronavirus y que fue aprobado por ANMAT.

Además, en cada grupo el refuerzo aumentó notablemente la capacidad de los anticuerpos para neutralizar a la variante ómicron. “Antes del refuerzo, el 23 por ciento de las personas mostraron la presencia de anticuerpos neutralizantes contra la variante original de Wuhan pero solo el 8 por ciento de la población contaba con anticuerpos neutralizantes contra ómicron, variante que circula en este momento en Argentina y en gran



parte del mundo. Tras el refuerzo, el 100 por ciento de los participantes mostraron inhibición de la infección contra la variante de Wuhan y entre el 73 y 90 por ciento contra la infección para la variante ómicron”, destaca Gamarnik.

“El estudio aporta información relevante en relación a una vacuna que ha sido muy empleada en el mundo, por fuera de China, en países de ingresos bajos y medios. Por otra parte, nuestra investigación está dirigida a un grupo poblacional, adultos mayores, que sin dudas es el que ha sufrido las mayores tasas de morbilidad severa y mortalidad, a lo largo de la pandemia”, comenta Jorge Geffner, coautor del estudio e investigador superior del CONICET en el Instituto de Investigaciones Biomédicas en Retrovirus y SIDA (INBIRS, CONICET-UBA).

De acuerdo con Geffner, las observaciones realizadas muestran que la administración de terceras dosis heterólogas, de diferentes plataformas (vectores adenovirales y ARN mensajero) “inducen una fuerte respuesta inmunológica frente a diferentes variantes de SARS-CoV-2, incluyendo ómicron, revelándose por lo tanto

como una estrategia adecuada de vacunación para los adultos mayores”.

Por su parte, Yanina Miragaya, jefa de Epidemiología y Riesgo Sociosanitario del Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados (INSSJP-PAMI) y también autora del trabajo, afirma: “Basándonos en la experiencia exitosa de varios proyectos enfocados al abordaje de la pandemia entre el INSSJP y la Fundación Instituto Leloir, se pudo avanzar con el diseño de este estudio que hoy nos enorgullece compartir con el mundo”.

Se estima que en la Argentina un 15 por ciento de la población corresponde a adultos mayores. “Esto implicó un desafío enorme durante la pandemia para nuestro país y especialmente para PAMI, ya que al ser la Obra Social más grande de América Latina, que brinda cobertura a más de 5.5 millones de personas mayores, tuvo que, de manera anticipada, definir acciones de prevención y cuidado en general y en particular a los Establecimientos de Estancia Prolongada como las Residencias para Personas Mayores, ya que presentan un doble riesgo: su edad y la

naturaleza semicerrada de los lugares donde viven”, indica Miragaya.

“Nuestro estudio aporta evidencia científica útil para la toma de decisiones por parte de las autoridades sanitarias de nuestro país y resalta la importancia de promover la aplicación de dosis de refuerzos para evitar nuevas olas de la pandemia”, concluye Gamarnik.

La primera autoría de este trabajo es compartida por Santiago Oviedo Rouco, Pamela Rodríguez y Esteban Miglietta, del IIBBA, y de la misma institución también participaron María Mora González Lopez Ledesma, Carla Pascuale, Diego Ojeda, Lautaro Sanchez y Andrés Rossi. También son autores del estudio Augusto Varese, Bianca Mazzitelli y Ana Ceballos, del INBIRS; y Eduardo Pérez y Pablo Rall, del INSSJP-PAMI.

La investigación contó con el apoyo del CONICET, de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i), el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Fondo para la Convergencia Estructural del MERCOSUR (FOCEM), y la Universidad de Buenos Aires (UBA). ■

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Comprueban que la sobrecacería convirtió al huemul en una especie en peligro de extinción

Por esta razón el cérvido más austral del mundo perdió tradiciones migratorias que son clave para su supervivencia, reveló un estudio del CONICET.

En tiempos modernos se conceptualizó equivocadamente al huemul (*Hippocamelus bisulcus*) como una especie adaptada al bosque y exclusivamente a la alta montaña, con ambientes rocosos y fuertes pendientes. Ahora, un estudio de investigadores del CONICET y colegas, publicado en la revista *Conservation*, pone en crisis este concepto asegurando que el huemul no es distinto a otros cérvidos y que la causa de su disminución extraordinaria se debe a la presión antrópica histórica y prehistórica que resultó en su expulsión de buena parte de su territorio original en la península patagónica y lo dejó sobre-

vivir exclusivamente en refugios del bosque andino alto.

“Esta especie refugiada perdió entonces sus tradiciones migratorias (ciclo cultural de traslado de invernadas a veranadas) y su acceso a diversos hábitats como praderas y vegas, modificando sus prácticas alimentarias”, afirma Werner Flueck, primer autor del trabajo e investigador del CONICET en el Parque Nacional “Nahuel Huapi”, que depende de la Administración de Parques Nacionales.

Se estima que de la metapoblación original en Argentina solo quedan, actualmente, entre trescientos cincuenta y quinientos huemules, fragmentados en unos sesenta grupos a lo largo de 1800 km de los Andes, con uno de los grupos poblacionales más destacados en el Parque Protegido Shoonem, Alto Rio Senguer, en la Provin-

cia de Chubut, donde se desarrollan tareas de investigación con el apoyo de la Dirección de Flora y Fauna de la Provincia del Chubut.

“La pérdida de las tradiciones migratorias del huemul a raíz de la sobrecacería en el pasado y el establecimiento de poblaciones humanas en zonas habitadas por estos animales puso a esta especie en peligro de extinción”, indica Flueck. Y agrega que la reclusión obligada a regiones de los Andes, en zonas clasificadas como veranadas, sería un factor que explicaría la disminución de su población y la alta proporción de ejemplares con afección del esqueleto y baja longevidad.

Información histórica, telemetría y estudios médicos

Los autores del trabajo lograron confirmar la tradición migratoria en un hábitat amplio que

tenían los huemules en el pasado combinando zonas abiertas (praderas) y boscosas de la península patagónica, mediante la información arqueológica por el hallazgo de huesos o astas que los machos pierden durante el invierno, y a partir de la recopilación de registros históricos contenidos en relatos de naturalistas y otros testimonios de viajeros desde 1521 en adelante.

“Los datos históricos encontrados demuestran que en el pasado el huemul tuvo miembros que migraron estacionalmente pasando de zonas andinas boscosas, clasificadas como veranadas, a regiones no boscosas de la península patagónica durante los inviernos. Incluso, en esta zona de internadas, se estima que muchos grupos de huemules se comportaban como residentes anuales, compartiendo hábitat con guanacos y choiques, u otros animales esteparios. En tal sentido su comportamiento es muy similar al de otros cérvidos”, destaca Flueck, también investigador del Instituto Suizo de Salud Tropical y Pública, con sede en Basilea, Suiza.

La pérdida no es sólo de hábitat sino también de un patrón cultural, ya que la migración se educa de las madres, o el grupo, a las crías, no es genética, explica el investigador del CONICET. Y agrega: “Sin educación no hay migración posible, solo movimientos mínimos ocasionales por contingencia climática. Incluso estas migraciones deben de haberse compartido con otros mamíferos, como guanacos, tal como lo representan las imágenes rupestres de caza de los antiguos habitantes prehistóricos”.

El naturalista argentino Francisco Pascasio Moreno (1852-1919) ya había publicado en 1898 sobre avistajes en zonas no boscosas de la Patagonia, donde los huemules abundaron y no huían a pesar del peligro que corrían. También el alemán Carl Martin, había relatado en 1899 sobre una zona de estepa con pedazos de bosque bajo y abierto, donde con su grupo de la expedición, además de ver muchos grupos de huemules mientras cruzaron la zona, cazaron algunos para comer su carne durante semanas.

Flueck y colegas colocaron radio collares (uno con GPS satelital) a seis huemules (tres hembras y tres machos) del Parque Protegido Shoonem, sector lago La Plata, para estudiar sus movimientos entre 2017 y 2022.

“Los huemules radiomarcados y geolocalizados permanecieron todo el año en pequeños rangos territoriales con mínimos movimientos altitudinales estacionales. Constatamos así

que es el único cérvido en el mundo que habita veranadas de las cordilleras montañosas durante todo el año como reacción a las actividades antropogénicas”, destacó Flueck. Y agrega: “Sin embargo, la anatomía del huemul demuestra que está adaptado a praderas (áreas abiertas desforestadas). Desafortunadamente la presencia humana lo alejó de sus tradiciones migratorias. Este cambio disminuyó sus tasas de reproducción y alteró de manera perjudicial su salud”.

Flueck también ha liderado muchas investigaciones sobre la salud de los huemules. Uno, publicado en BMC Research Notes en 2020, determinó que en Argentina el 57 por ciento de los cadáveres de huemules presentaba osteopatología, y que el 86 por ciento de los vivos tenía esa condición. Presentaban problemas estructurales tanto en los esqueletos como en las dentaduras.

“Las lesiones craneales involucraban pérdida de dientes antes de morir a edad joven, lo que reducía la eficiencia de alimentación. Los análisis de sus tejidos demostraron carencias de minerales como selenio, cobre, magnesio y yodo que son indispensables para el metabolismo de huesos”, subraya Flueck.

Al respecto, el investigador del CONICET comenta que en zonas de veranadas de alta montaña como los Andes la calidad nutricional del forraje es menor comparado con el de las zonas de internadas a las cuales los huemules no tienen acceso por la presencia humana y la pérdida de la costumbre de migrar. “Los pocos casos donde un huemul baja a un valle, generalmente no sobrevive por ataques de perros, caza, o accidentes con vehículos. Por esta razón, la mayoría de las subpoblaciones existentes de huemules habitan en áreas montañosas remotas, poco atrac-

tivas para los asentamientos humanos y de poco valor para la agricultura o la silvicultura”.

Oportunidades de conservación

La extinción es un proceso irreversible, advierte Flueck. “Si se extingue el huemul sería un fracaso del sistema humano, y de las naciones de Argentina y Chile, ya que es un endemismo. Perderlo es inexcusable y es prevenible”, enfatiza. Y agrega: “Los mamíferos grandes, como los huemules, tiene un rol relevante en el funcionamiento de un ecosistema”.

Si la falta de un comportamiento de migración explica el alto grado de enfermedad ósea y la ausencia de recuperación numérica del huemul, el investigador subraya que “parte de la solución sería la reintroducción de huemul a zonas de internadas usadas históricamente, en aquellas áreas donde se logren neutralizar las amenazas antrópicas y ambientales. Con un buen monitoreo se podría comprobar el efecto de esa medida en la salud y en la respuesta poblacional. Sería la prueba que se ha logrado crear poblaciones ‘fuentes’, y con eso una fase de recuperación de la especie”.

“El trabajo recientemente publicado aumenta el conocimiento sobre el huemul, y provee herramientas útiles y concretas para aumentar la posibilidad de recuperarlo. Consideramos que será parte fundamental para determinar una estrategia de conservación y recuperación del cérvido más austral del mundo”, concluye Flueck, también integrante y creador de la Fundación Shoonem cuyo objetivo es colaborar con el estado en la preservación y conservación de la naturaleza en la cuenca hídrica del Río Senguer, en la Provincia del Chubut. ■



El pelícano y sus avatares: del símbolo crístico a un ave en duda

Entre las tantas aves que la tradición occidental convirtió en símbolos transmisores de ideas complejas, la historia del pelícano (*Pelecanus onocrotalus*) es una de las más peculiares. Su carácter simbólico alcanzó tanto peso que llegó incluso a hacer desaparecer o poner en duda la realidad concreta de este animal, sepultado por el peso inverosímil de sus leyendas. Así pues, el pelícano es un ejemplo elocuente de la mirada transformadora que los seres humanos han dedicado a la naturaleza en su búsqueda por comprenderla o quizá, ante todo, de comprenderse y justificar sus creencias.

Ya en la antigüedad encontramos descripciones bastante fieles, donde destacaba su largo pico con una gran bolsa gular en la mandíbula inferior, cuya función es la pesca y la recolección de alimento. Aristóteles, por ejemplo, indicaba que estas aves tragaban los moluscos ente-

ros con sus conchas y que los recocían en ese saco hasta que se abrían para poder comer su carne (*Historia de los animales IX*, 10, 614b). En el caso de la *Historia naturalis* de Plinio (siglo I e. c.), el pelícano era presentado como un ave rumiante que capturaba alimento con gran voracidad para luego, 'volviéndolo poco a poco a la boca, como rumiando, llevarlo al vientre verdadero' (*Historia natural*, libro X, cap. 47, p. 506 de la traducción de Gerónimo de la Huerta). Un par de siglos después, vemos en el *De natura animalium* de Eliano un detalle que puede haber sido el origen de la leyenda sobre nuestra ave. En su obra incluía al pelícano dentro de las aves que aman mucho a los hijos y decía haber oído que, si se quedaba sin alimento para ofrecerles, el pelícano era capaz de vomitar lo ingerido en la víspera para alimentar a sus crías. Percibimos cómo la mirada antropomórfica y moralizante empieza a filtrarse en la representación de esta ave.

¿DE QUÉ SE TRATA?

La historia del pelícano en el imaginario cristiano ha girado en torno de una leyenda de alto contenido simbólico, la cual parece haber diluido y confundido la existencia natural y la anatomía de esta ave.



En efecto, el agregado de Eliano parece haber sido crucial para convertir al pelícano en un símbolo cristiano. En el *Physiologus* griego ya se decía que el pelícano era capaz de revivir a sus crías muertas con sangre emanada de su propio pecho, obtenida a través de una herida autoinfligida con su pico. En las distintas versiones del *Physiologus* el relato de la muerte de los polluelos difería, lo cual explica las diversas versiones retomadas por los bestiarios medievales, que guiaron la lectura de la naturaleza y de los animales. Tenemos, no obstante, un núcleo común de la leyenda: ante sus crías muertas (fuera por la acción de una serpiente o por el propio pelícano), el macho o la hembra, luego de tres días de lamentos, revivían a sus crías con la sangre de su pecho herido por su propio pico.

Estos ejemplos morales convirtieron paulatinamente al pelícano en un símbolo del sacrificio de Cristo, quien sacrifica su vida por la humanidad al darse en ofrenda a los fieles en forma de pan y vino en el sacramento de la comunión. San Agustín de Hipona, en su comentario al salmo 102 o 101 de la *Vulgata* (cuyo versículo 7 menciona al pelícano), no se privaba de desarrollar la alegoría crística de la leyenda del pelícano, aunque planteara dudas sobre su veracidad: ‘Se dice que estas aves matan a sus polluelos a picotazos y que, una vez muertos, los lloran por tres días en el nido; en fin, se dice también que, hiriéndose la madre gravemente a sí misma, derrama su sangre sobre sus hijos, con la cual rociados reviven. Quizá esto sea verdad, quizá sea falso. Si es verdad, observad cómo conviene a Aquél que nos vivificó con su sangre’.

El simbolismo animal, tan influyente durante la Edad Media, es ciertamente deudor del pensamiento de san Agustín, quien presentaba un mundo repleto de huellas de su creador. Los animales, las plantas y los minerales se convertían en signos naturales que enseñaban a los hombres verdades trascendentes. Resultaban ser ejemplos tanto de vicios como de virtudes, símbolos de misterios divinos y de advertencias morales para que el creyente se encaminara hacia la Salvación. Podríamos decir que durante la Edad Media se trazó una suerte de gramática simbólica al valerse de los animales como mensajeros silentes de un lenguaje escrito por la mano de Dios. Sin saberlo, los animales decían a los hombres muchas cosas, no con palabras ciertamente, sino que ellos mismos daban forma a un léxico simbólico que el buen cristiano debía aprender a leer. Era en la Biblia donde se hallaba el fundamento para formar esta mirada que definía la relación de los hombres con la naturaleza y así solían recordarse con frecuencia ciertos pasajes del Antiguo Testamento, como en Proverbios 6,6 (‘Fíjate en la hormiga, perezoso, / observa sus costumbres y aprende a ser sabio’) o en el libro de Job 12, 7-10 (‘Pero interroga a las bestias, y te instruirán, / a los pájaros del cielo, y

te informarán, / a los reptiles de la tierra, y te enseñarán, / a los peces del mar y te explicarán. / ¿Quién no sabe, entre todos ellos, / que todo esto lo hizo la mano del Señor? / Él tiene en su mano la vida de todo viviente / y el espíritu de todo ser humano’).

La producción profusa de bestiarios (figura 1) contribuyó a formalizar y difundir las supuestas enseñanzas naturales de las ‘bestias’. En estas obras se conjugaban las peculiaridades físicas de los animales y sus costumbres (muchas veces fabulosas o legendarias), cuyas fuentes eran en general los textos bíblicos, el ya mencionado *Physiologus*, los comentarios de la patrística y lo recogido por las autoridades de la antigüedad. Tales leyendas, junto con sus consiguientes figuras, nutrieron el arte de la época y pueden reconocerse aún hoy en las decoraciones de

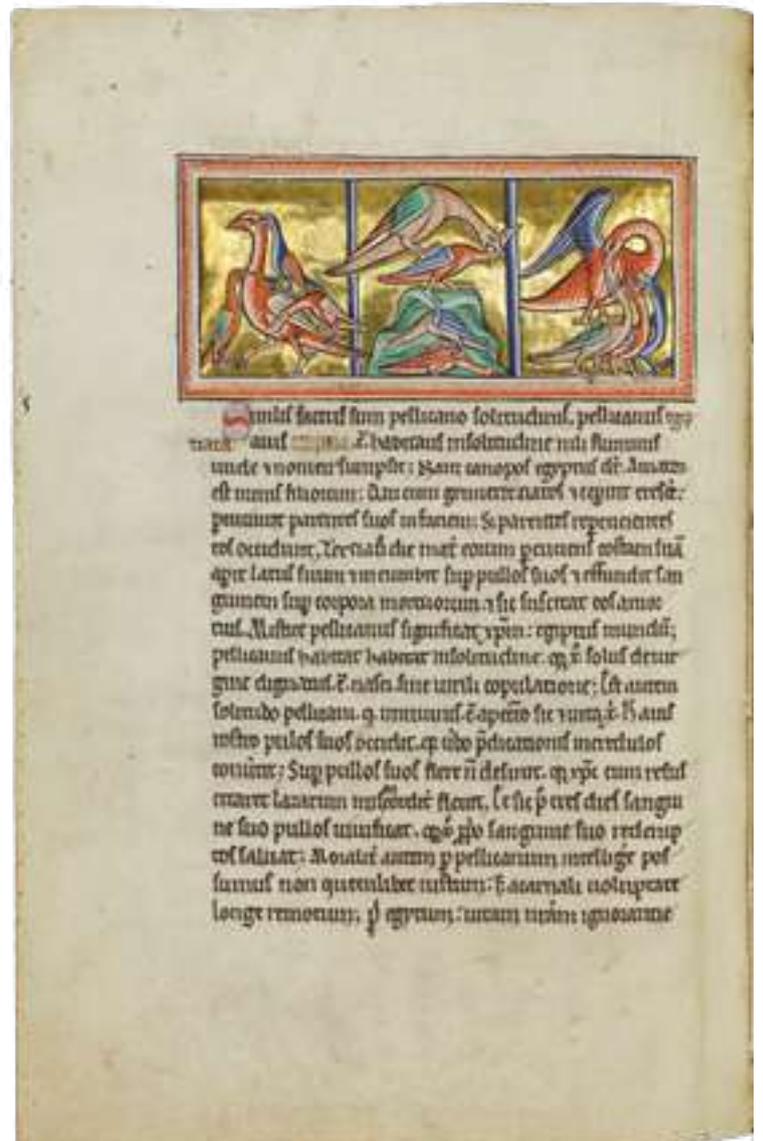


Figura 1. *Bestiario Ashmole*, 1511, que contiene una representación iluminada del pelícano. © Bodleian Libraries, University of Oxford



Figura 2. Bestiario ca. 1450, La Haya, Ms. Museum Meermannno, MMW, 10 B 25, folio 32r medieval. manuscripts.kb.nl/show/manuscript/10+B+25



Figura 3. Libro de Horas de Carlota de Saboya, ca. 1420-1435, Nueva York, The Morgan Library & Museum, Ms. M. 1004 fol. 157r. ica.themorgan.org/manuscript/page/214/7692

iglesias, monumentos, joyas o artefactos suntuarios, así como en la heráldica o las divisas cortesanas.

El pelícano en su piedad

Durante la Baja Edad Media se produjo una suerte de fijación iconográfica de la imagen que más trascendencia tendría a lo largo de los siglos: la conocida como ‘el pelícano en su piedad’, que consiste en un ave adulta rodeada por sus crías que hiere su pecho para alimentarlos con su sangre. El pelícano muestra, así, el ejemplo piadoso de quien se sacrifica por su prole (figuras 2 y 3).

La marcada veta religiosa de este símbolo de Cristo se refleja en las numerosas representaciones medievales



Figura 4. *Arbor vitae*, ca. 1260, Salterio Scherenberg, Cod. St. Peter perg. 139, folio 8r, Estrasburgo, Badische Landesbibliothek. [Wikimedia Commons](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arbor_vitae.jpg)

y renacentistas de la crucifixión presididas por pelícanos. En lo alto de la Cruz, un pelícano alimenta o revive a sus crías hiriéndose el pecho. Su herida funciona como un espejo de la herida de Cristo en su costilla izquierda, aquella de donde mana la sangre que salva a la humanidad (figura 4). Es muy común también encontrar en las iglesias católicas y anglicanas, aún en nuestros días, depósitos eucarísticos o decoraciones con forma de pelícano. Por esta razón, Cristo aparece nombrado como ‘pelícano divino’ en la literatura medieval. Así lo encontramos en el himno de Santo Tomás, ‘Adoro te’ (‘Señor Jesús, pelícano bueno / límpiame a mí, inmundo, con tu sangre...’) o en la *Commedia* de Dante Alighieri (‘Este es el que descansó sobre el pecho de nuestro pelícano y este fue desde lo alto de la cruz elegido para la gran misión’, Paraíso, canto XXV, v. 112).

Por otra parte, el símbolo podía tomar un tinte político y hacer de esta representación iconográfica una metáfora del soberano que protege a su pueblo. Encontramos testimonios de este motivo, por ejemplo, en la divisa apócrifa de Alfonso X de Castilla, difundida en varias colecciones del siglo XVII y utilizada con variantes por príncipes seculares y religiosos (figura 5). Otro famoso

ejemplo es el retrato de Isabel I de Inglaterra (1553-1603), en el cual la soberana luce una joya con forma del pelícano con sus crías (figura 6).

Encontramos también el símbolo del pelícano como figura de los amantes dentro de la estética del amor cortés, donde no es extraño que las ideas religiosas se trasladaran a las relaciones amorosas. Así, el pelícano sacrificial podía representar tanto al amante que muere por su dama o a la vida que ella puede dar al enamorado si accede a sus súplicas.

Formas elocuentes

Más allá del antropomorfismo y de las escasas probabilidades de que un ave reviva o alimente a sus crías con su propia sangre, es notable la transformación que sufre el pelícano en estas representaciones, al punto de que se vuelve difícil de reconocer en términos estrictamente anatómicos. Por ejemplo, las características de su pico dificultan la posibilidad de herir su propio pecho. Es probable que el pelícano



Figura 5. Supuesta empresa de Alfonso X en Salomon Neugebauer, *Selectorum symbolorum heroicorum*, 1619. www.bidiso.es/Symbola/divisa/12



Figura 6. *The Pelican Portrait*, Queen Elisabeth I, Nicholas Hilliard (atribuido) ca. 1575, Walker Art Gallery, Liverpool.

real, con su desproporcionado pico y su peculiar garbo, pudiera parecer un ave algo extravagante para los cánones estéticos entonces vigentes. Tal vez por eso las representaciones tradicionales tiendan a mostrar un ave con un pico pequeño y un cuello largo. Los rasgos de ese pelícano simbólico parecen un testimonio de la valoración humana para juzgar a los animales. El pelícano simbólico tiende a asimilarse anatómicamente a las águilas, a los cisnes e incluso a las palomas, aves cargadas de significados positivos dentro del código simbólico animal.

El avance de la observación y la precisión científica suscitaron dudas terminológicas e intentos por discernir si pelícano y onocrótalo eran la misma ave. Los autores de la antigüedad lo habían llamado con ambos nombres, pero el animal que se convirtió en el símbolo zoológico del sacrificio de Cristo poco podía tener que ver con el ave real que era conocida por su voracidad, su figura poco agraciada y su ruidoso graznido (de ahí el nombre 'onocrótalo' que alude al rebuzno del asno). De he-

cho, el onocrótalo funcionaba como analogía del hombre glotón y murmurador en las colecciones de figuras simbólicas del siglo XVI y XVII.

En la enciclopedia natural de Conrad Gesner, *Historiae animalium*, de mediados del siglo XVI, hay un capítulo dedicado al onocrótalo (con una imagen bastante fiel del ave real) y otro separado para el pelícano. Un caso notable es el del español Andrés Ferrer de Valdecebro, que en su obra de finales del siglo XVII *Gobierno general, moral y político, hallado en las aves más generosas y nobles: sacado de sus naturales virtudes y propiedades*, hacía malabarismos para mantener una propuesta ligada a las propiedades naturales de los animales junto con las alegorías morales que de ellos se extraían. Llegaba a decir, por ejemplo, que pelícano y onocrótalo eran la misma ave y que habían sido vistos, incluso, en el aviario que tenía el rey Felipe IV en el Palacio del Buen Retiro. La obra de Valdecebro recoge prácticamente todas las moralizaciones edificantes que se han vertido sobre nuestra ave. Su descripción es bastante fiel, pero insiste en mencionar la supuesta llaga en el pecho, atribuida a su simbólica herida autoinfligida.

Aunque esta alegoría siguió su curso en la cosmovisión cristiana, también es cierto que podemos encontrar en la literatura temprano-moderna dudas sobre la existencia misma del pelícano. Tal es el caso de Francisco de Quevedo en sus cuatro romances burlescos sobre animales fabulosos donde enumera aquellos animales que se encuentran en los libros pero no 'en las despensas': el unicornio, el basilisco, el ave fénix y el pelícano. Curiosamente, sobre el que más carga las tintas de su burla y desprecio es este último, al cual convierte en una figura ridícula, a la que lla-



Figura 7. Poster de reclutamiento de la Scottish National Blood Transfusion Association, 1944, por KM Munnich.



Figura 8. Sello del estado de Luisiana, Estados Unidos.



EL PELÍCANO

Los pelícanos son aves que se distribuyen principalmente cerca de los trópicos. En nuestro continente existen tres especies, una de ellas con distribución pacífica, hasta el sur de Chile. Son aves gregarias, que viven en coloniales e ictiófagas (comen peces). Ciertas características anatómicas le confieren ventajas al ambiente acuático, como por ejemplo sus extremidades traseras con cuatro dedos incluidos dentro de una única membrana, como una aleta, que le otorga ventajas al desplazarse en agua. Por otro lado, presentan la bolsa gular, que es un reservorio en el pico capaz de expandirse. Entre algunas curiosidades, tienen un sistema de pesca cooperativa bastante particular, se sitúan en forma de herradura para agrupar a los peces, luego se zambullen simultáneamente, los atrapan con el pico bajo el agua y los almacenan en la bolsa gular, que además cumple las funciones de termorregulación por estar muy vascularizada.

CIENCIA HOY

ma 'Pájaro disciplinante, / que haciendo abrojo del pico / sustentas, como morcillas, / a pura sangre, tus hijos'.

Aunque hoy desmentida la leyenda, lo cierto es que la figura 'el pelícano en su piedad' permanece aún como un símbolo relativamente vivo. Uno de los ejemplos más conocidos es el uso que le ha dado la tradición masónica, como imagen de sacrificio y regeneración. No obstante, algo ha cambiado en nuestro tiempo porque, aunque la acción que se representa siga siendo fabulosa, por lo general las imágenes ya no se permiten olvidar la característica forma de su pico. El animal simbólico seguirá siendo ejemplo de piedad y sacrificio, pero al menos su nombre condice con su forma en la mirada actual (figuras 7, 8 y 9). 



Figura 9. Escultura Ramón Martín, 2010, talla en madera para la cofradía sacramental de los dolores de El Viso del Alcor, Sevilla.

LECTURAS SUGERIDAS

D'ONOFRIO J, 2020, 'En jeroglíficos andas... Animales leídos pero no mirados: el caso del pelícano en la España del Siglo de Oro', *Romance Notes*, 60 (3): 461-478.

El fisiólogo. Bestiario medieval, 1971, introducción y notas de N Guglielmi, traducción castellana de M Ayerra Redín, Buenos Aires, Eudeba.

GARCÍA ARRANZ JJ, 2010, 'Pelícano vulgar', en *Symbola et emblemata avium. Las aves en los libros de emblemas y empresas de los siglos XVI y XVII*, La Coruña, Saelae, pp. 652-668. www.bidiso.es/sielae/upload/symbolaetemblemataavium_.pdf

RAPOSO C, 2016, 'De la pesca al sacrificio o cómo el pelícano se transformó en un símbolo', *Memoria Europae*, 11/2 (2): 78-97. www.academia.edu/87759081/de_la_pesca_al_sacrificio_o_cómo_el_pelícano_se_transformó_en



Julia D'Onofrio

Doctora en letras, UBA.
Investigadora adjunta en el IFLH,
UBA-Conicet.
Jefa de trabajos prácticos, UBA.
juliadonofrio@gmail.com

Próxima estación: 'Esperanza', un nuevo paso hacia la cura de la infección por VIH

El 5 de junio de 1981 el Centro de Control de Enfermedades de Estados Unidos (CDC) publicó un informe en su reporte semanal de morbilidad y mortalidad (*Morbidity and Mortality Weekly Report*, una publicación de seguimiento epidemiológico en ese país). Allí señaló el hallazgo de 'cinco casos poco frecuentes de neumonía en hombres gays'. Un mes después, el diario *The New York Times* informó sobre la aparición de casos de un tipo de cáncer inusual y particularmente agresivo en 41 varones homosexuales (figura 1).

Este sería el primer reporte de lo que más tarde se conocería como enfermedades asociadas al síndrome de inmunodeficiencia adquirida o sida, etapa final de la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) en ausencia de tratamiento. Recostada en una discriminación estructural, la comunidad médica asoció durante estos primeros años a la epidemia con poblaciones marginalizadas, principalmente varones homosexuales, contribuyendo a instalar una idea errónea del VIH como un virus que solo afecta a determinadas personas; aquello a lo que algunos autores llaman 'ajenización' de la infección.

¿DE QUÉ SE TRATA?

A propósito de un caso excepcional, ¿cuáles son las perspectivas y limitaciones en la búsqueda de una cura para la infección por VIH?

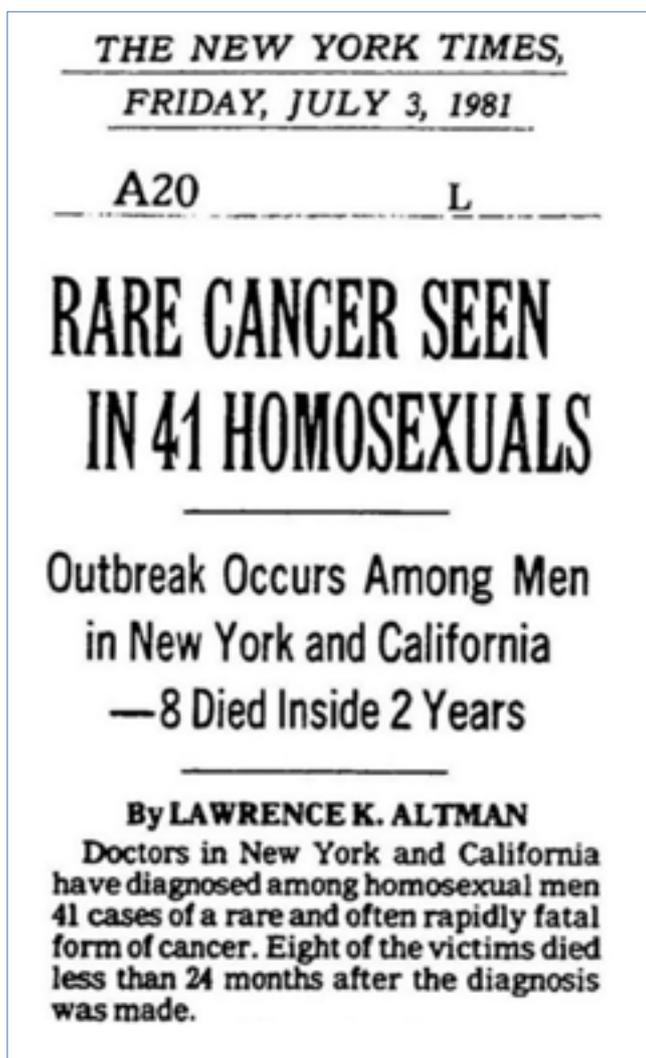


Figura 1. Titular en la portada del diario *The New York Times*, viernes 3 de julio de 1981

Afortunadamente, mucha agua ha corrido bajo el puente. Por un lado, los avances en el tratamiento antirretroviral combinado (o TARVc) lograron reducir drásticamente la morbilidad y mortalidad asociadas al VIH y al sida, transformándola en una infección controlable. A su vez, la toma de medicación diaria de forma sostenida —adherencia al tratamiento— permite reducir la cantidad de VIH circulante en plasma (carga viral) a niveles no detectables por las técnicas tradicionalmente empleadas. Así, el último hito de este largo camino se condensa en el concepto de *indetectable = intransmisible* (I = I), que implica que una persona con VIH que mantiene su carga viral indetectable por más de seis meses y una adherencia diaria a su tratamiento no puede transmitir el virus por vía sexual. Finalmente, el trabajo que diversos grupos de activistas han realizado para terminar con la epidemia de la discriminación ha tenido un efecto drástico tanto en la percepción que la sociedad tiene de la infección como también en la calidad de vida de las personas con VIH.

Cabe mencionar la aprobación que obtuvo en la Argentina la Ley Nacional de Respuesta Integral al VIH, Hepatitis Virales, otras Infecciones de Transmisión Sexual (ITS) y la tuberculosis (TBC) el 30 de junio de 2022, proyecto desarrollado por numerosas organizaciones, con un foco en la eliminación del estigma y un enfoque basado en los derechos humanos.

A pesar de los avances en el desarrollo de antirretrovirales y las nuevas estrategias de prevención, como la profilaxis preexposición (PrEP, el uso de antirretrovirales de forma previa a una eventual exposición al virus) y pos-exposición (PEP, el uso de antirretrovirales luego de haber tenido una exposición al virus), sumado a *indetectable = intransmisible*, continúan existiendo numerosas barreras —desde económicas hasta sociales, asociadas al estigma—. Las dificultades en el acceso a la medicación, las fallas en el sistema de salud pública y la ineludible necesidad de tomar pastillas diariamente son obstáculos significativos en el día a día de una persona con VIH. Estas barreras se ponen en evidencia en las estadísticas año a año. Según el Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH y Sida (ONUSIDA), durante el año 2020 un millón y medio de personas contrajeron la infección por VIH y más de medio millón fallecieron por causas relacionadas al sida. A su vez, un reciente reporte del Unicef indica que durante el año 2020 una niña o un niño adquirió la infección por VIH cada dos minutos. Cabe destacar que el 89% de las nuevas infecciones pediátricas por VIH se concentraban en 2020 en el África subsahariana, donde se registraron el 88% de las muertes infantiles relacionadas con el sida. Mientras tanto, en América Latina, solo la mitad de esas infancias tienen acceso al tratamiento. Así, un enfoque basado en medicamentos no es suficiente para lograr mejoras en los indicadores de diagnóstico y tratamiento de VIH y sida, resultando necesario incorporar una mirada integral y centrada en las personas que viven con el virus, contemplando sus múltiples realidades socioeconómicas. Mientras tanto, la cura sigue siendo una necesidad imperiosa y un reclamo legítimo por parte del activismo.

¿Por qué es tan complejo encontrar una cura para el VIH? ¿Qué avances se lograron? Para entender esto, veamos con mayor detalle qué ocurre en nuestras células.

¿Qué ocurre cuando el VIH ingresa al cuerpo?

Como cualquier otro virus, el VIH utiliza para replicarse la maquinaria de la célula a la cual infecta. El abanico de células del sistema inmune que el VIH puede infectar es muy amplio, siendo su principal diana aquellas

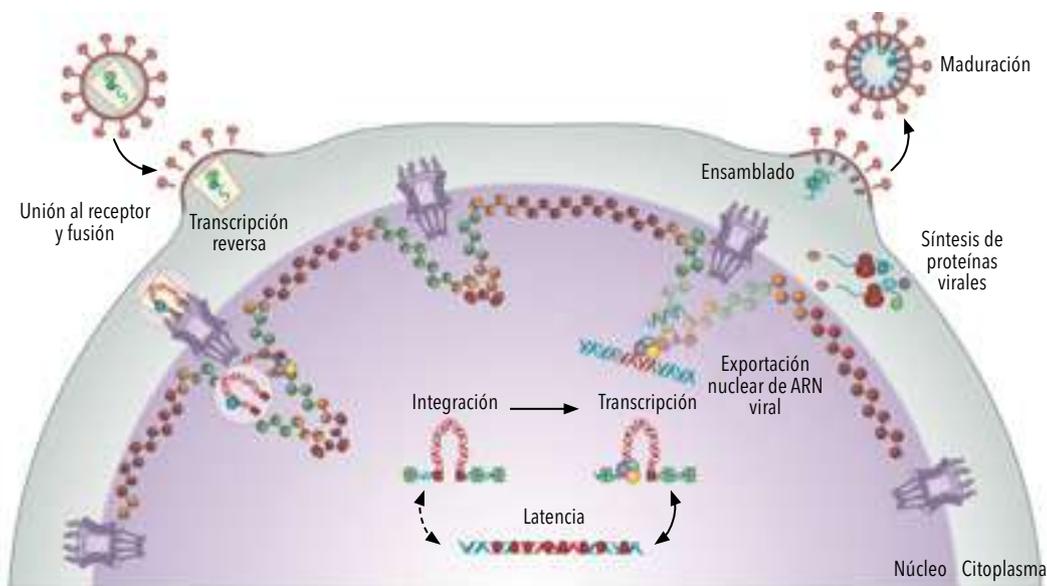


Figura 2. Esquema simplificado del ciclo de replicación del VIH. El virus ingresa a la célula blanca mediante la unión a su receptor y correceptores en la membrana. Allí, el ARN viral se retrotranscribe a ADN, ingresa al núcleo y se integra al genoma celular. El ADN viral integrado puede dar lugar a la producción de nuevas partículas virales -capaces de infectar otras células- o bien puede permanecer integrado y silenciado, constituyendo un reservorio viral silente (ver figura 4), sin verse afectado por el tratamiento antirretroviral. Modificado de Lusic y Siciliano (2017).

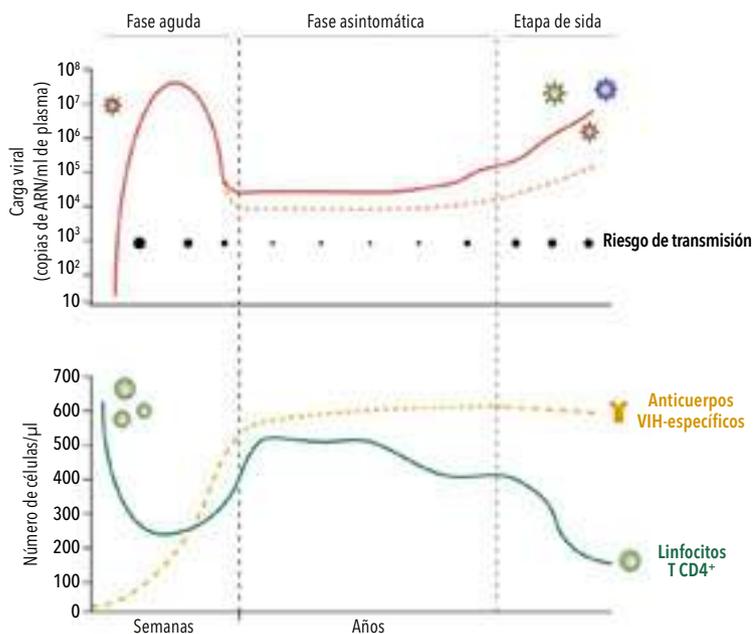


Figura 3. Curso de la infección por VIH en ausencia de tratamiento antirretroviral. Las primeras semanas luego de la adquisición del virus -etapa aguda de la infección- se caracterizan por una carga viral alta (línea roja), un descenso en el recuento de linfocitos T CD4⁺ (línea verde) y la ausencia de anticuerpos específicos. Luego de la infección aguda, la carga viral se estabiliza en distintos niveles (línea roja punteada) y los anticuerpos pueden detectarse luego de tres a cuatro semanas (línea amarilla punteada) -antes de este tiempo, un test de VIH puede arrojar un falso negativo-. En ausencia de tratamiento, la carga viral aumenta y los linfocitos T CD4⁺ disminuyen, pudiendo llevar al desarrollo de sida. Adaptado de Simon *et al.* (2006).

que presentan el receptor de membrana CD4: los linfocitos T CD4⁺, un tipo de glóbulo blanco fundamental en la defensa frente a infecciones. Luego de ingresar al linfocito, el material genético del virus (ácido ribonucleico, ARN) se retrotranscribe a ADN y se integra como 'provirus' al genoma del hospedador. Desde allí, puede ini-

ciar su ciclo de replicación, llevando a la destrucción del linfocito y la generación de nuevas partículas virales que amplificarán la infección (figura 2).

Con el correr de los años, la depleción progresiva y acumulada de linfocitos T CD4⁺ lleva a un cuadro de inmunodeficiencia generalizado característico de la etapa final de la infección (figura 3). El tratamiento antirretroviral combinado interrumpe la replicación viral bloqueando diversas etapas del ciclo y permite, en término de meses, recuperar el número de linfocitos T CD4⁺ y reducir la cantidad de partículas virales en plasma a niveles indetectables. Sin embargo, esto no implica la eliminación del virus, dado que -aun bajo tratamiento- el genoma puede permanecer en estado latente en algunas células: el genoma viral se integra al genoma de la célula, pero no produce nuevos viriones. Las células donde esto sucede constituyen los *reservorios virales* y representan el mayor obstáculo a la hora de eliminar la infección, ya que estos no son afectados por la terapia (figura 4).

Si el tratamiento se interrumpe, el virus puede volver a multiplicarse produciendo un nuevo incremento de la carga viral (figura 5). Así, la administración de terapia antirretroviral de manera ininterrumpida y de por vida es indispensable, haciendo a la búsqueda de una cura una tarea ineludible.

¿De qué hablamos cuando hablamos de 'cura'?

Como con otras infecciones virales, resulta lógico asumir que una persona se encuentra curada cuando ya no hay rastros de virus en su cuerpo. Ahora bien, da-

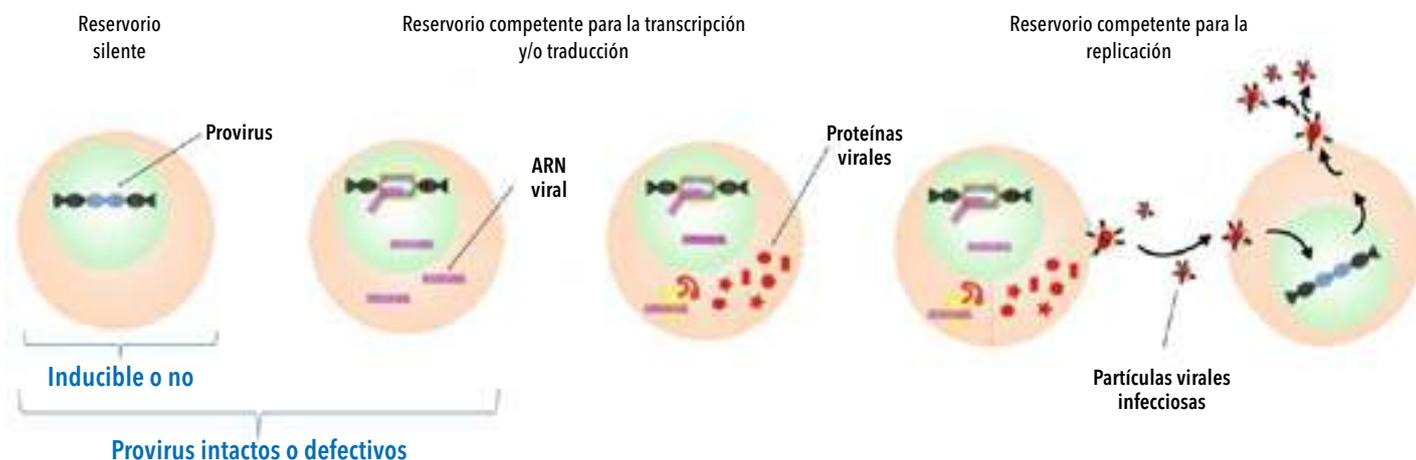


Figura 4. Reservorios virales. El reservorio viral puede ser *silente* cuando el provirus o ADN viral integrado permanece sin ser expresado; este reservorio puede ser inducible o no. A su vez, puede clasificarse por su capacidad de producir ARN viral (*reservorio competente para la transcripción*), proteínas virales (*reservorio competente para la traducción*) o partículas virales infecciosas (*reservorio competente para la replicación*). El genoma del reservorio silente y el competente para la transcripción pueden ser intactos o defectivos. Adaptado de Baxter *et al.* (2018).

da la existencia de reservorios virales, ¿es factible pensar en esta posibilidad? La respuesta podría encontrarse en los casos excepcionales de Timothy Ray Brown en Berlín y Adam Castillejo en Londres. Viviendo con VIH y como parte de un tratamiento para la leucemia, recibieron un trasplante de médula ósea con una particularidad: los donantes tenían una mutación homocigota en el gen CCR5, responsable de codificar otra proteína fundamental para el ingreso del VIH a las células. Usualmente, a los receptores de estos trasplantes se les realiza un pretratamiento con radiación o quimioterapia para evitar el rechazo y eliminar todo vestigio de células cancerosas. En este caso, esto implicó también la eliminación de las células que actuaban como reservorios virales. Luego de esta intervención, el sistema inmune de ambos individuos comenzó a repoblarse con células provenientes de la médula trasplantada que –al carecer del receptor CCR5– resultaron incapaces de ser infectadas por el VIH. Así, ambos pudieron abandonar el tratamiento sin sufrir un rebote en la carga viral. Algo similar se observó recientemente en una mujer de Nueva York, quien parece haber alcanzado la eliminación del virus a través de un trasplante de células de cordón umbilical. Si bien los grandes riesgos y costos hacen a estas estrategias impracticables a gran escala, son ejemplo de que una cura para la infección por VIH sería posible.

Sin embargo, no se trata de algo simple, empezando por la definición misma de cura, que ha sufrido diversas modificaciones. La Sociedad Internacional de Sida (IAS, por su sigla en inglés) establece que, de mínima, para que una intervención sea considerada una cura debe ser segura, efectiva, escalable y universalizable. Más precisamente, llama ‘remisión’ al control duradero del virus en ausencia de tratamiento, y ‘cura erradicativa’ a la eli-

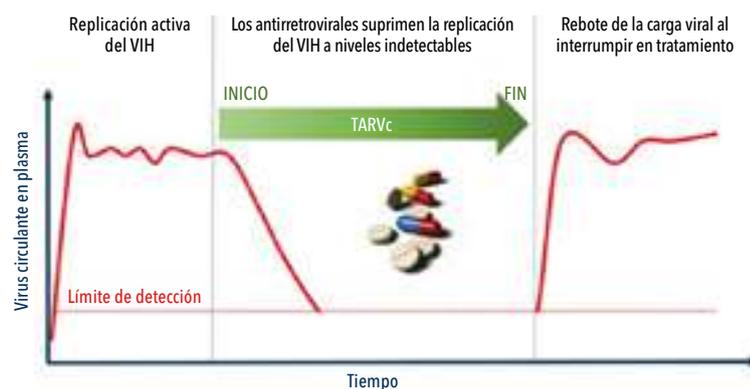


Figura 5. Dinámica de la carga viral plasmática al interrumpir el tratamiento antirretroviral. Durante la replicación activa del VIH, la carga viral en plasma se mantiene alta. Los antirretrovirales suprimen la replicación del VIH a niveles indetectables pero, al interrumpirse el tratamiento, ocurre un nuevo incremento (rebote) de la carga viral. Adaptado de Kulpa y Chomont (2015).

minación de todas las células infectadas por VIH, lo que hasta ahora nunca fue alcanzado.

Cronología de una excepcionalidad

En 2013 una joven de la ciudad de Esperanza, Argentina, recibe una noticia inesperada: el resultado de su test de VIH resulta positivo, determinado por la presencia de anticuerpos contra el virus. Siguiendo el protocolo tradicional, se le realizó un análisis de carga viral para evaluar la cantidad de virus circulante en sangre. Este test de gran sensibilidad se realiza mediante la reacción en cadena de la polimerasa o PCR que permite detectar un número muy bajo de copias de ARN viral por mililitro de sangre y es un importante indicador del grado de multiplicación vi-

ral. Sorprendentemente, su nivel de carga viral resultó indetectable. Temiendo que se tratase de un error, las pruebas se repitieron en cuatro oportunidades, obteniéndose siempre los mismos resultados: en su sangre había anticuerpos contra el VIH pero ningún rastro de su material genético, manteniéndola sin un diagnóstico definitivo durante cuatro años. En 2017 ‘Esperanza’ –como decidiría ser llamada en la comunicación de su caso– se contacta con Natalia Laufer, médica infectóloga, investigadora del Conicet y especialista en ‘controladores élite’: aquel 1% de personas con VIH con capacidad de mantener una carga viral indetectable aun sin tratamiento. En conjunto con Gabriela Turk, conformaron el equipo de investigación del Instituto de Investigaciones Biomédicas en Retrovirus y Sida (INBIRS) que se dedicaría al estudio de su caso.

Luego de repetir los ensayos de PCR con un límite de detección aún menor y obtener los mismos resultados, las investigadoras decidieron buscar ya no el material genético de partículas virales libres, sino aquel integrado al genoma del huésped: el reservorio viral. Si bien por diversos factores –la mayoría desconocidos– los controladores élite pueden evitar que el virus se multiplique en su cuerpo, es posible encontrar en sus células ADN proviral completo y con capacidad de replicar en ensayos *in vitro*. Para evaluar esto en Esperanza, se enviaron 90 millones de células al laboratorio de Sharon Lewin, del Instituto Doherty en Australia, para la realización de ensayos de PCR de alta sensibilidad en búsqueda de diversas especies de material genético viral.

Para sorpresa de las investigadoras, fue imposible hallar siquiera una copia de ADN viral en todas las células analizadas. Evidentemente el caso de Esperanza era excepcional, pues presentaba características hasta ahora observadas únicamente en una mujer de San Francisco, en cuyas células no se halló virus intacto o con capacidad de multiplicarse (replicativamente competente, figura 6) sin requerir tratamiento antirretroviral. Al igual que Loreen Willenberg en San Francisco, Esperanza tampoco recibió un tratamiento, excepto durante un período del embarazo que cursó en 2019. Al cabo, mantuvo su carga viral indetectable luego de interrumpir la terapia y su bebé nació sin rastros de VIH.

Ahora bien, si en su plasma había anticuerpos, en algún lugar tendrían que encontrarse rastros del virus. Así, se amplió la búsqueda a un número exponencialmente mayor de células. Dada la imposibilidad de una extracción sanguínea tan grande, se le realizó una leucaféresis, técnica donde la sangre se hace circular a través de un dispositivo que extrae los glóbulos blancos para luego reingresar al torrente sanguíneo. A partir de esto, se purificaron más de 1500 millones de células que fueron enviadas al laboratorio de Xu Yu, de la Universidad de Boston, para que, de encontrarse material genético viral, determinase –mediante secuenciación genómica– si era intacto o defectivo (figura 6).

Los hallazgos surgidos de esta colaboración fueron publicados en la revista *Annals of Internal Medicine*. El resultado más importante de este trabajo determinó que dentro de esa enorme cantidad de células solo pudieron encontrarse siete copias de genoma viral, todas incompletas y con alta incidencia de mutaciones respecto del genoma de referencia; es decir, en teoría incapaces de replicar. Esto se comprobó mediante un ensayo de referencia en el cual se estimularon 150 millones de linfocitos T CD4⁺, sin hallar evidencia de virus replicativamente competente.

¿Podría esta bajísima proporción de células latentemente infectadas explicarse por cierta resistencia de los linfocitos a la infección? Para responder esta pregunta se evaluaron los niveles de los correceptores que usa el VIH para ingresar a las células, pero no se mostraron disminuidos. En línea con estos resultados, los linfocitos de Esperanza resultaron ser permisivos a la infección por VIH cuando se los expuso *in vitro* a tres variantes de virus, pudiendo completar una infección productiva dentro de sus células. Por último, al exponer a los linfocitos a fragmentos de partículas virales, se observó la presencia de memoria inmune celular.

Estas características permitirían pensar a Esperanza, al igual que la mujer de San Francisco, como un caso de ‘cura erradicativa’ ya que no parecería haber presencia de provirus con capacidad replicativa en sus células, algo solo observado anteriormente en los casos de Berlín, Londres y Nueva York.

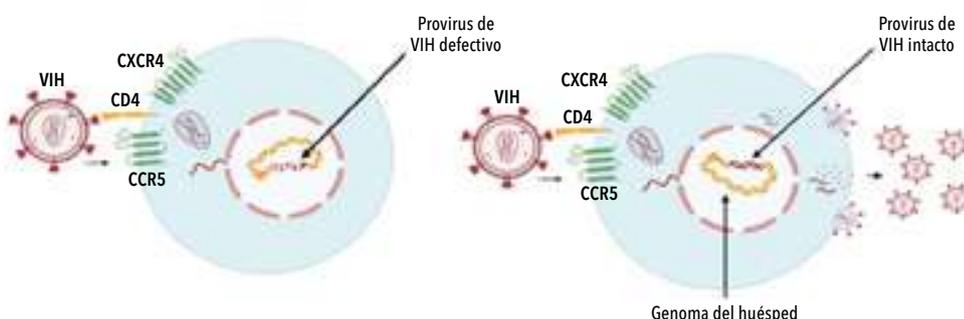


Figura 6. Provirus defectivo e intacto. Cuando el provirus se encuentra con alta incidencia de mutaciones o deleciones y no produce partículas virales infectivas se denomina *defectivo*. El provirus *intacto*, por el contrario, es capaz de producir partículas virales infectivas (replicativamente competente). En la célula blanco se representa el receptor de VIH, CD4, y sus correceptores CCR5 y CXCR4. Gentileza de Xu Yu.

Nuevas preguntas, perspectivas y limitaciones

Los principales interrogantes que surgen al analizar estos casos son los siguientes: ¿cómo fue posible? y, fundamentalmente, ¿cómo pueden ayudar a la búsqueda de una cura? Ambos están relacionados ya que, de dilucidar qué mecanismos permiten al sistema inmunológico de los controladores excepcionales contener la infección, podrían replicarse en otras personas con VIH. Sin embargo, averiguar esto es complejo ya que se cree que el control de la infección ocurre a tiempos tempranos. El caso de Esperanza evidencia esta primera limitación: su infección comenzó antes de 2013 y las primeras muestras de sus células pudieron ser analizadas recién en 2017. A pesar de esto, existen algunas hipótesis que intentan arrojar luz. La más aceptada postula que en los controladores élite ocurren tempranamente sucesivas rondas de selección donde células latentemente infectadas son reactivadas y eliminadas por el sistema inmune. Así, luego de mucho tiempo, solo permanecen en el cuerpo los linfocitos donde el provirus es defectivo o se encuentra integrado en zonas 'silentes' del genoma en donde no se expresa y, por ende, no se producen partículas virales (figura 4). Por qué estos procesos ocurren en tan pocos individuos, cómo sucede este control espontáneo o qué diferencia al sistema inmune de Esperanza respecto

de otros controladores élite siguen siendo interrogantes abiertos.

Determinar de modo concluyente que se ha alcanzado una cura erradicativa conlleva importantes limitaciones tanto prácticas como epistemológicas. Por un lado, por la imposibilidad de analizar todas las células de una persona con VIH y, por otro, por la propia naturaleza falsable de la producción científica. Empíricamente, solo puede afirmarse que alguien no ha alcanzado una cura erradicativa mediante el aislamiento de virus replicativamente competente, algo que no pudo lograrse en este trabajo a pesar del astronómico número de linfocitos analizado. En otras palabras, la ausencia de evidencia de virus con capacidad de replicar no es evidencia de su ausencia.

Si bien no hay un único parámetro que permita explicar cómo se logra este control, el estudio de estos casos cobra relevancia y trae esperanza para el desarrollo de estrategias menos agresivas y con menores efectos adversos que, aunque no logren eliminar por completo el virus, permitan llegar a una remisión por tiempos prolongados sin la necesidad de un tratamiento antirretroviral.

Por último, el hecho de que Esperanza haya decidido mantener el anonimato –mencionando el peso del estigma que aún acarrea la infección– nos recuerda que, a cuarenta años del comienzo de la epidemia, no solo queda mucho trabajo por hacer en la búsqueda de una cura, sino también en la eliminación de la discriminación. 

LECTURAS SUGERIDAS

ALIANZA MUNDIAL CONTRA EL ESTIGMA Y LA DISCRIMINACIÓN ASOCIADAS AL VIH-

ARGENTINA, MUÑOZ M (coordinador para Argentina de la Alianza Mundial Contra el Estigma y la Discriminación Asociadas al VIH), 2022, 'Cincuenta puntos clave para entender la Ley de Respuesta Integral al VIH, Hepatitis, Infecciones de Transmisión Sexual y Tuberculosis'. www.redtralsex.org/IMG/pdf/50puntosclave_leyvih2022.pdf

ASOCIACIÓN CICLO POSITIVO, 2020, 'De Ushuaia a La Quiaca'. drive.google.com/file/d/1nMwWq144R2tbAzGXYS0tzhsMqAWk81m8/view

MINISTERIO DE SALUD, 2021, Boletín N.º 38. *Respuesta al VIH y las ITS en la Argentina*, Buenos Aires.

MINISTERIO DE SALUD, 2017, *¿Qué piensan y hacen las personas ante el VIH y el sida?: un estudio sobre significados asociados al VIH y al sida en la población general en la Argentina*, Dirección de Sida y ETS, Buenos Aires.

MINISTERIO DE SALUD, 2016, *Vivir en positivo: guía para las personas con VIH, sus familiares y amigos*, Dirección de Sida y ETS, Buenos Aires.

MINISTERIO DE SALUD Y DESARROLLO SOCIAL, 2019, *Proyecto piloto de implementación de centros de prevención combinada y PrEP en la República Argentina: guía de directrices clínicas para equipos de salud*, Dirección de Sida, ETS, Hepatitis y TBC, Buenos Aires.



Alejandro Czernikier

Licenciado en ciencias biológicas, UBA.
Doctorando en INBIRS, UBA-Conicet.
Docente en el Instituto Educativo Isaura Arancibia.
a.czernikier@gmail.com



Lucía Baquero

Licenciada en ciencias biológicas, UBA.
Doctoranda en INBIRS, UBA-Conicet.
Docente auxiliar en el Departamento de Química Biológica, FCEN-UBA.
baqueroLucia@gmail.com



Eduardo Haene

Universidad de Belgrano

Plantas exóticas invasoras en la jardinería: ¿llegó el momento de controlar?

El escenario ambiental actual nos presenta una realidad compleja donde las decisiones comprometen nuestro propio bienestar, no el de las generaciones futuras como se predecía a finales del siglo XX. Afirmaciones indiscutidas sobre el deterioro ambiental hace apenas 30-60 años hoy pueden resultar controvertidas o dejar de serlo. Después de un historial glorioso de la jardinería argentina, paisajistas y viveristas se enfrentan al desafío de renovar su elenco de especies. Nos referimos a dejar de emplear las plantas documentadas como nocivas por su carácter invasor, es decir, las que tienen capacidad de escaparse del cultivo y competir ventajosamente con la vegetación nativa hasta reemplazarla. Entre estas plantas se encuentran algunas favoritas de muchos especialistas y otras tantas que forman parte de paisajes habituales de los argentinos. Hoy deberíamos descartarlas, evitar su multiplicación, acelerar su recambio. Para los

paisajistas locales, es una oportunidad de innovación.

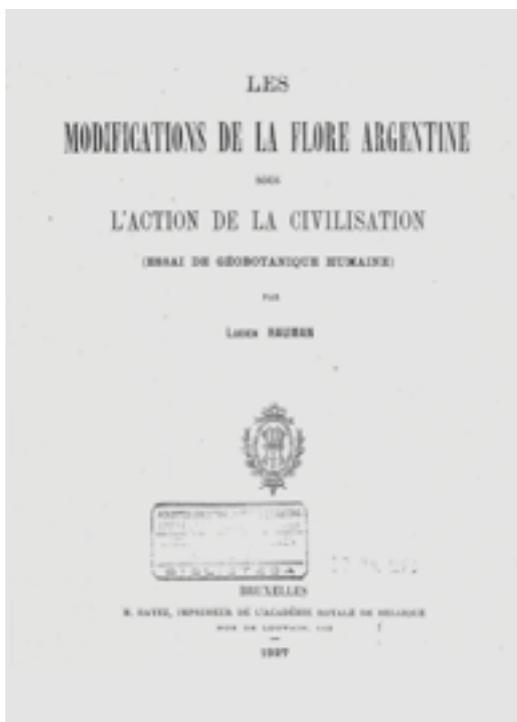
Es pertinente aclarar que hay otras fuentes de plantas exóticas invasoras. La agricultura aportó muchas especies consideradas malezas que llegaron como polizontes entre las semillas de cereales, como los cardos. La ganadería sumó hierbas forrajeras como el sorgo de Alepo y árboles para sombra del ganado como la acacia negra (*Gleditsia triacanthos*). La silvicultura ingresó pinos del hemisferio norte. De este amplio abanico de actividades humanas, ahora nos concentraremos en la jardinería.

Testigos de la invasión

Cuando el naturalista alemán Carlos Berg (1843-1902) llega en 1873 a la Argentina para sumarse al hoy Museo Argentino de Ciencias Naturales queda sorpren-

¿DE QUÉ SE TRATA?

La expansión de plantas ornamentales con características invasoras es preocupante y debemos ocuparnos del problema.



Portadas de los trabajos de Carlos Berg de 1877 y Lucien Hauman de 1927 que documentan la invasión de especies exóticas vegetales en la Argentina.

dido al descubrir vegetales de crecimiento espontáneo que le resultan familiares. En 1877 publica 'Enumeración de las plantas europeas que se hallan como silvestres en la provincia de Buenos Aires y en Patagonia', donde registró 154 especies exóticas, muchas de ellas ya instaladas. Es interesante cómo describe allí el inicio de la expansión de algunas plantas recién llegadas. Por ejemplo, el árbol del cielo (*Ailanthus altissima*): 'De esta especie asiática, que se ha cultivado hace muchos años en Europa y América, encontré algunos pequeños ejemplares en el campo cerca de la estación Centro América', ubicada en lo que hoy es el centro de la ciudad de Buenos Aires, entre las calles Pueyrredón, Santa Fe, Larrea y Arenales. Agrega: 'Como nadie los ha plantado ahí, deben haber nacido de semillas, llevadas por el viento u otros medios. Cultivado se halla este árbol en un jardín, en frente de la estación mencionada, y en varias quintas de los alrededores de la ciudad'. Hoy el árbol del cielo invadió gran parte de las regiones templado-cálidas del territorio argentino, donde puede resultar molesto en parques urbanos y reservas naturales.

Esta observación de Carlos Berg tiene varios aspectos de interés: 1) documenta el inicio de la invasión de una especie exótica, aunque seguramente había otros focos de esta expansión; 2) nos señala que las semillas provienen de su cultivo en jardines, y 3) muestra cómo especies asiáticas llegan al país desde Europa, y no de su patria. Esto último es un proceso generalizado para la Argentina, donde muchas plantas proceden de cultivos en países europeos, aunque son nativas de sus colonias en otros continentes.

Lo que para Berg fue un motivo de curiosidad, cincuenta años después escala a problema ambiental. Lucien Hauman (1880-1965) fue un botánico belga llegado al país para iniciar el dictado de clases en 1904 en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires. Fue un conservacionista pionero. En 1927 escribió un trabajo maravilloso que tituló 'Las modificaciones de la flora argentina bajo la acción de la civilización'. Trata extensamente la invasión de plantas exóticas en el país, cuyo número alcanzaba en ese entonces 450 especies. Señala a las plantas ornamentales como una de las fuentes de numerosas especies invasoras, entre las que apunta a la caña de ámbar (*Hedychium coronarium*) y la madreselva (*Lonicera japonica*) en el delta del Paraná, ornamentales originarias de Asia. Sin los herbívoros y patógenos que las controlan en sus lugares de origen, en América crecen desmedidamente y desplazan a la vegetación silvestre nativa.

Hauman comprobó el gran impacto de estas especies invasoras. Apunta: 'Algunas de ellas, finalmente, bastante naturalizadas y perdiendo todo carácter antropofílico (o sea que ya no dependen de los ambientes antropizados para prosperar), se han mezclado con la flora autóctona sobre inmensos territorios, adquiriendo allí tal desarrollo que han modificado profundamente su aspecto primitivo'. La pérdida de los paisajes típicos de las regiones naturales es otra consecuencia negativa de este grupo de especies problemáticas.

Cabe mencionar otra personalidad destacada de las ciencias argentinas: Eduardo Rapoport (1927-2017), quien acuñó el concepto 'biogeografía del futuro', donde cada región del mundo con igual clima tendría las

mismas especies silvestres, disminuyendo así vertiginosamente la biodiversidad planetaria. En su autobiografía *Aventuras y desventuras de un biólogo latinoamericano* señalaba: ‘Si un botánico entrenado mira una foto representativa de cualquier ecosistema natural, sea una pradera, bosque, estepa, podrá averiguar de qué lugar del planeta se trata. En cambio, un jardín, sea de Berlín, San Francisco, Sídney o Buenos Aires, contendrá rosas chinas, margaritas europeas, yucas mexicanas o calas etiópicas’. Los jardines y parques se transforman en lo que Marc Augé denominó *Los no lugares: espacios del anonimato*, es decir, sitios carentes de una singularidad que genere identidad. La globalización se gestó también en los jardines.

En la *Actualización del catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur*, realizada en 2019 por Fernando Zuloaga y colaboradores, figuran 984 especies exóticas para la Argentina. En otras palabras, en un siglo se duplicó el número de exóticas.

Sitios críticos

Otro aspecto clave para considerar es la ubicación de los lugares invadidos por plantas exóticas en la Argentina. En pocas décadas, se ha observado cómo progresa el espacio ocupado por estos vegetales invasores en áreas naturales protegidas, donde el esfuerzo está concentrado en la conservación de la biodiversidad local. Hemos documentado pastizales pampeanos en 1990 dentro del actual parque nacional Ciervo de los Pantanos (Campana, provincia de Buenos Aires), y hoy son bosques puros de ligustros (*Ligustrum lucidum*). La laguna costera del refugio municipal Ribera Norte (San Isidro) en pocos años pasó de ser un humedal con sorprendente variedad de flora y fauna a un tapiz monopolizado por lirio amarillo (*Iris pseudacorus*). El ligustro y el lirio son especies ornamentales originarias del Viejo Mundo.

Dado que la fuente de plantas exóticas ornamentales son los jardines, los sitios más vulnerables son las ciudades y sus alrededores. En la actualidad esta invasión vegetal es uno de los problemas más costosos que enfrentan las reservas naturales urbanas, centros estratégicos de educación ambiental.

Los parques de cascos de estancias también son otro foco de esta invasión. En regiones templado-cálidas de la Argentina vemos avanzar desde allí algunas especies por alambrados, banquinas y terrenos baldíos, como la palmera fénix (*Phoenix canariensis*), originaria de las islas Canarias. La esparraguera conocida localmente como helecho plumoso (*Asparagus setaceus*), originaria de Sudáfrica, invadió montes nativos de la reserva privada El Potrero (Gualeduaychú, Entre Ríos) y un relicto de algarrobal de San Carlos (Santa Fe).

Se han introducido al país como cerco vivo varios arbustos que resultaron invasores agresivos. Hay cinco especies del género *Pyracantha* y cuatro de *Cotoneaster*, originarios de Asia y Europa, naturalizados en la Argentina. En la actualidad avanzan por variados ambientes, en particular pastizales serranos. La pérdida de superficie con hierbas forrajeras por avance de plantas exóticas invasoras escapadas de jardines ocasiona pérdidas económicas en campos ganaderos.

Una de las gramíneas que denominamos cola de zorro (*Pennisetum setaceum*) se difundió como planta ornamental en el país principalmente desde comienzos del siglo XXI. Originaria del centro-norte de África, ya cuenta con antecedentes de asilvestramiento en todos los continentes. Aún no figura en la lista oficial argentina de especies invasoras. Esta gramínea tiene una habilidad sorprendente para crecer en grietas de pavimentos y pisos cementados, fisuras de techos, sitios alterados. La primera pregunta que nos surge es qué necesidad había de importar *Pennisetum setaceum* cuando hay varias especies lo-



El árbol del cielo (*Ailanthus altissima*) es una especie exótica en la Argentina, que logra crecer en sitios modificados, como los terraplenes del ferrocarril en el parque 3 de Febrero, ciudad de Buenos Aires.



Arriba

Izquierda. Renoval de árbol del cielo (*Ailanthus altissima*) en las sierras de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Pulsos de degradación en pastizales permiten a los árboles invasores instalarse.

Derecha. Las especies exóticas invasoras crecen desmedidamente fuera de su distribución natural. La caña de ámbar (*Hedychium coronarium*), originaria de Asia, invade los bajos del delta del Paraná desplazando la flora local.



Abajo

Izquierda. Las flores de la caña de ámbar (*Hedychium coronarium*) emanan un perfume agradable. El desafío actual es comprender que una especie tan bella, al asilvestrarse fuera de su ámbito, desplaza la biodiversidad local y es un problema ambiental.

Derecha. La madreselva (*Lonicera japonica*) es una enredadera ornamental originaria de Asia. Cultivada en la Argentina, se asilvestró e invadió amplios terrenos donde tapa la vegetación y desplaza la biodiversidad regional.

cales con el mismo valor ornamental. La inquietud de muchos paisajistas y sus clientes por repetir modelos vistos en viajes por el mundo o en revistas extranjeras sería oportuno canalizarla en ensayar diseños originales con impronta local.

Tiempo de actuar

En 2021, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del gobierno nacional editó la Lista oficial de las especies exóticas invasoras y exóticas potencialmente invasoras presentes en la República Argentina. Es una herramienta valiosa dentro de la Estrategia Nacional sobre la Diversidad Biológica firmada por el país, y que tiene la invasión de especies como una de sus amenazas importantes. Este listado es el

resultado de un esfuerzo colectivo de muchos investigadores para generar un material de referencia inicial. Figuran allí 407 especies vegetales consideradas peligrosas por favorecer la pérdida de biodiversidad nacional por su capacidad invasora. De ellas, 97 especies, el 24% del total, fueron ingresadas con fines ornamentales, es decir, llegaron de otros continentes por viveristas comerciales y amantes de la jardinería de la Argentina. No discutimos el valor estético de estas especies, pero ahora sabemos que hay algunas con antecedentes de proliferación desmedida que deben controlarse.

El aceleramiento del cambio climático ha colocado a la conservación de la biodiversidad como una temática transversal en el mundo actual. Cada día somos más conscientes del valor de la naturaleza como beneficio directo para el bienestar humano. Existe evidencia científica sólida del rol negativo sobre la biodiversidad que ejer-



Arriba. Extracción de ligustros en 2022 donde había pastizal pampeano en el parque nacional Ciervo de los Pantanos (Campana, provincia de Buenos Aires). Se puede observar que no había prácticamente ninguna especie nativa sobreviviente. Este proceso de invasión, en 32 años, muestra el pasaje de un sitio de alta biodiversidad y en grave peligro de extinción como comunidad, el pastizal pampeano, a un ligustral. En la foto de la derecha se aprecia el lugar invadido por ligustros, donde resulta dominante. **Abajo.** El bajo ribereño del refugio municipal Ribera Norte (San Isidro, provincia de Buenos Aires) fue cubierto en pocas décadas por el lirio amarillo. Un ambiente de alta biodiversidad como este quedó simplificado al extremo, desplazando la rica flora y fauna nativas del lugar, en dirección contraria con los objetivos del área protegida. Imagen de noviembre de 2007.

ce la invasión de especies exóticas. La Argentina cuenta con un historial de un siglo y medio de monitoreo del tema. La aprobación de una lista oficial con especies invasoras peligrosas es un hito fundamental. Todo ello nos lleva a un nuevo escenario: es tiempo de actuar.

Nos preguntamos lo siguiente: ¿debemos exterminar todas las especies invasoras?, ¿incluyendo ejemplares de valor patrimonial? Desde ya, parece exagerado. Pero debemos apuntar un dato más para comprender la situación: no contamos con herramientas tecnológicas para controlar poblaciones enteras de estas especies invasoras. Lo que nos queda es un accionar artesanal, cortando o extrayendo uno a uno cada ejemplar problemático o el empleo de otras técnicas pero que requiere, en cada caso, una evaluación independiente de su impacto ambiental.

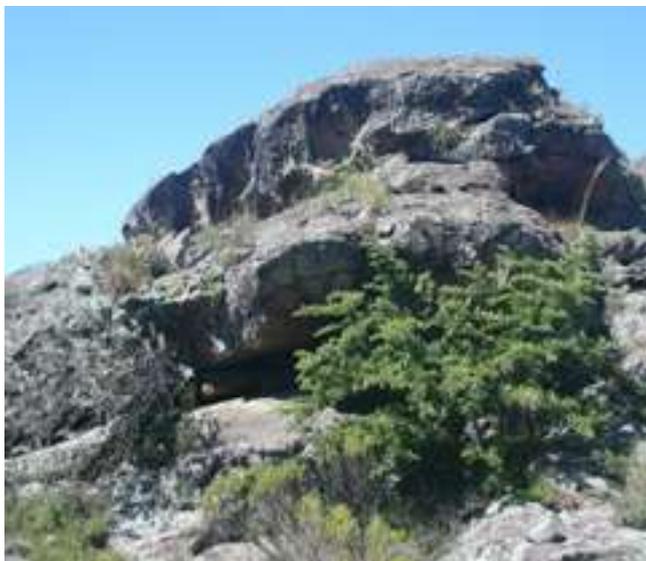
La educación sigue constituyendo la base más sólida para abordar la solución de problemas ambientales. La capacitación sobre flora local de los profesionales vinculados a la jardinería es clave, incluyendo agrónomos y arquitectos. Las reservas naturales y los jardines botánicos son ámbitos ideales donde percatarse de esta temática. Vemos avances sustanciales en la toma de conciencia de contaminación, cambio climático y manejo inadecuado

de los recursos, como deforestación. Pero el cuarto gran problema ambiental, la invasión de exóticas, aún no ha sido comprendido en toda su dimensión. Para manejar los vegetales ornamentales exóticos, las asociaciones de profesionales vinculados a jardinería, paisajismo y viveros, medios de comunicación especializados y organismos gubernamentales son actores clave.

La aplicación de políticas estatales también es un aspecto necesario para la solución de este problema. En un país federal como la Argentina, lo esperable sería que la lista de especies invasoras sea reconocida por ley nacional. De esta manera, provincias y municipios podrían aprobar normativas articulando con su realidad territorial. Entre las acciones estratégicas se pueden mencionar el reemplazo de especies invasoras en los espacios públicos, viveros oficiales y compras de plantas para proyectos paisajísticos en marcha, desalentar el uso de algunas especies y, en el área de amortiguamiento de áreas protegidas, prohibir otras. El cambio por plantas nativas que están vinculadas con la cultura local y son refugio y alimento de la fauna regional siempre será la mejor opción. Todo accionar oficial tendría un doble efecto: disminuir la fuente del problema y generar experien-



Izquierda. La palmera fénix (*Phoenix canariensis*) es endémica de las islas Canarias. Cultivada en la Argentina desde el siglo XIX, se ha expandido silvestre en las últimas décadas, dispersada por aves. Las reservas naturales urbanas, como Costanera Sur en la ciudad de Buenos Aires, en la foto, son sitios vulnerables a la invasión de este tipo de especies, cambiando el paisaje natural que se pretende conservar allí. **Derecha.** La esparraguera o helecho plumoso (*Asparagus setaceus*) es una planta exótica que invadió el sotobosque de la reserva privada El Potrero, Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos.



Izquierda. El uso de arbustos exóticos para formar cercos vivos en la Argentina generó el asilvestramiento de varios de ellos. En la imagen observamos el inicio de invasión del crataegus o espinos de fuego naranja (*Pyracantha angustifolia*) en 2007 en la reserva privada de Vida Silvestre Cerro Blanco, Córdoba. **Derecha.** El arbusto *Cotoneaster franchetii*, oriundo del Viejo Mundo, avanza sobre pastizales serranos en la provincia de Córdoba. Además de la pérdida del paisaje emblemático del lugar, esta invasión disminuye la capacidad ganadera y con ello la rentabilidad de los establecimientos rurales.

cias demostrativas, factibles de incorporarse en campañas educativas.

Las bases de datos con los antecedentes de especies invasoras permiten ser más estrictos en el ingreso de las plantas problemáticas en países donde no existen y los medios de comunicación son aliados para no generar una demanda de esas especies.

La necesidad de controlar plantas ornamentales invasoras está sólidamente fundamentada por científicos y el

Estado Nacional brindó una herramienta valiosa. El paso siguiente, instrumentar medidas concretas, requiere sumar nuevos actores. Tal vez el protagonismo actual está en manos de los amantes de la jardinería, apasionados a los cuales pedimos un cambio racional. **CH**

Agradezco la lectura crítica de Ana Molina, Roberto Landó, Diego Chaluh y Gerardo Fernández.

Todas las fotos de este artículo fueron provistas por el autor.

LECTURAS SUGERIDAS

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2017, *Estrategia de comunicación y concientización pública: proyecto 'Fortalecimiento de la gobernanza para la protección de la biodiversidad mediante la formulación e implementación de la Estrategia Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras'*, Buenos Aires.

SCHÜTTLER E Y KAREZ CS (eds.), 2008, *Especies exóticas invasoras en las reservas de biósfera de América Latina y el Caribe: un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las reservas de biósfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas*, Unesco, Montevideo.

WITTENBERG R Y COCK MJW (eds.), 2001, *Especies exóticas invasoras: una guía sobre las mejores prácticas de prevención y gestión*, CAB International, Wallingford.



Eduardo Haene

Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, UBA (FAUBA).
 Jefe de trabajos prácticos, FAUBA.
 Docente de la Licenciatura de Ciencias Biológicas, Universidad de Belgrano (UB).
 Investigador de la UB.
eduardohaene@hotmail.com

El carnaval del género humano

En mayo de 2019, el presidente de Botsuana, Mokgweetsi Masisi, encabezó en la ciudad de Gaborone una reunión con sus pares de Namibia, Zambia y Zimbabue, dedicada a tratar el futuro de los elefantes en su hábitat natural. En el transcurso de la jornada, se discutirían los conflictos surgidos de la caza ilegal y, sobre todo, de las consecuencias para África de la inclusión de estos animales en el apéndice 1 de CITES, la convención sobre el comercio internacional de especies en peligro firmada por ochenta países en 1973. Hoy, luego de varias enmiendas, han adherido un total de ciento cuarenta.

Aquella inclusión prohibía el tráfico de marfil, causa principal de la caza de elefantes. El argumento de Masisi era que para ese entonces, en 2019, la población elefantina había crecido a punto tal que ya no estaba amenazada sino que, por el contrario, representaba un problema para los cultivos y para la subsistencia de los humanos. Masisi —como tantos otros gobernantes del continente— consideraba que los elefantes africanos debían trasladarse al apéndice 2, por lo que, en 2021, se reinstuyó, al menos en lo que respecta a Botsuana, Namibia, Sudáfrica y Zimbabue, el permiso del comercio de marfil registrado y controlado por la ley, además de pelos y cueros,

¿DE QUÉ SE TRATA?

La taxidermia de animales africanos protegidos es hoy entendida desde una perspectiva ambivalente a partir de una resignificación africanista.

cuyas ganancias deberían destinarse a la protección de los paquidermos y el desarrollo de las comunidades de las áreas donde viven estos animales.

Masisi, un antiguo estudiante de ciencias sociales egresado de las universidades de Bostuana y de la Florida en los Estados Unidos de América, se había desempeñado en la Unicef como especialista en educación juvenil. Asumió la presidencia de su país en 2018, abogando por la descriminalización de la homosexualidad y por la derogación de la prohibición de la caza de elefantes en Bostuana, una medida establecida por su predecesor Ian Khama, un abogado de la conservación ambiental. Una vez investido, mantendría esa promesa: la reunión de mayo fue, en realidad, el preámbulo del levantamiento del uso de la fuerza letal (*Shoot to kill*), es decir, de la disposición que trataba a los cazadores furtivos sin contemplaciones.

La cumbre de mayo de 2019 se había inaugurado bajo la necesidad de no dejarse atrapar por las ‘miradas foráneas’ en lo que se refería al futuro de ‘nuestros elefantes’. Para ratificarlo, la reunión comenzó con la entrega de un regalo diplomático, voluminoso, que llegó cubierto por una tela azul, en brazos de los soldados del ejército: unos taburetes hechos con patas de elefante, incorporados simbólicamente como una suerte de resistencia a las medidas internacionales y de la autodeterminación de estos países en lo que respecta a sus políticas ambientales y económicas.

La reacción no se hizo esperar: la noticia, levantada por la BBC, se difundió a través de los medios masivos de comunicación internacionales. Los gestos de Masisi eran atribuidos a razones demagógicas frente a la inminencia de las elecciones. El disgusto de los ambientalistas frente a este desafío encarnado por los taburetes despertó la sensibilidad de las organizaciones abogadas de los derechos animales. Sin embargo, la cuestión parece ser más compleja. Hay una historia, un origen y una transformación en la carga simbólica de estos objetos. En poco más de un siglo, habían pasado de ser una mercancía de lujo de la aristocracia y de los funcionarios británicos a constituirse en un símbolo nacionalista de la autodeterminación de los pueblos frente a las antiguas colonias. De ello, de las múltiples transformaciones de los objetos a lo largo de la historia, trata esta nota.

Una familia de taxidermistas

La paradoja es que tanto Masisi como sus detractores pasaron por alto el detalle de que esta artesanía se originó, en realidad, lejos de África, pues se trataba de una de las tantas derivaciones de una moda surgida en los talleres de un taxidermista inglés de fines del siglo

XIX. Estos objetos habían sido producidos por James Rowland Ward (1848-1912), miembro del linaje de taxidermistas que, desde el siglo XIX, dominó el mercado del animal disecado a ambos lados del Atlántico Norte. Tres generaciones de la familia Ward perfeccionaron su arte tanto en Inglaterra como en el extranjero. John, el abuelo, tuvo una hija, Jane Catherine, y dos hijos, James Frederick y Edwin Henry –un Enrique que no debe confundirse con el naturalista homónimo instalado en Rochester a pesar de que ambos vástagos en la década de 1830 partieron hacia América del Norte para realizar colecciones de pájaros–. Henry acompañaría al artista franco-estadounidense John James Audubon (1785-1851), por entonces famoso por su empeño en publicar sus acuarelas y la descripción de las ‘aves de América’. Henry, en su adolescencia, había adquirido todas las destrezas necesarias para preparar los cueros y montar los pájaros de la colección de Audubon y, a su regreso a Londres, aprovechó la moda de adornarse y adornar la casa con pájaros muertos y plumas para montar un negocio dedicado al efecto.

Con el tiempo, los dos hijos de Edwin Henry, Edwin y Rowland, serían dos de los taxidermistas más renombrados de Gran Bretaña. El primero emigró a California, donde le transmitió las técnicas de la familia a sus tres hijos. Rowland fue el más famoso, obteniendo una fortuna considerable y reputación mundial como taxidermista y diseñador de muebles y trofeos de caza. En efecto, el taburete de Bostuana no es más que uno de los diseños que integraba ese conjunto que se dio en llamar ‘muebles wardianos’ (*Wardian furniture*), una costumbre subsi-



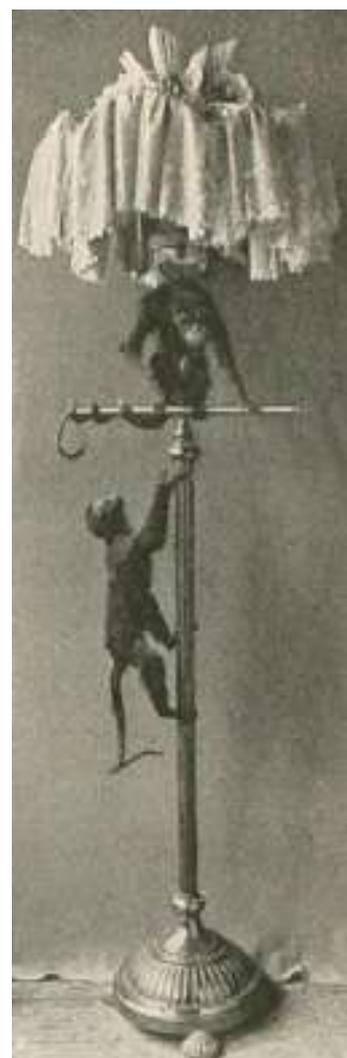
Objetos realizados con pezuñas, patentados en 1883 y ofrecidos como trofeos de caza por la empresa de Rowland Ward de Londres. *Observations on the preservation of hoofs and the designing of hoof-trophies*, Rowland Ward & Company, Londres, 1885.

diaria de la caza mayor y de la manía de engalanar los hogares con animales en todos sus estados y preparados en los materiales más diversos. Rowland Ward innovó la manera de presentar los trofeos de caza y, en vez de limitarse a montar cabezas mirando tristemente desde la chimenea del salón de fumar, prefirió transformar en muebles los animales cazados en la India, Ceilán (hoy Sri Lanka), África, o en los cotos privados del continente.

En 1896, la revista inglesa *Strand* publicó un artículo en el cual se mostraba su extravagante repertorio: un oso de pie, en actitud de mayordomo, con una bandeja en sus 'manos', ofrecía champagne o cigarros a los invitados; una silla para perro, hecha con la piel de un bebé jirafa; lámparas sostenidas por los monos que, en vida, habían sido las mascotas de la casa; el papagayo embalsamado del príncipe de Gales montado como frutero y florero; un faisán gigante preparado como pantalla para la chimenea; un emú, un cisne y un oso como por-

talámparas; un tigre como silloncito de lectura; un pico de albatros para ajustar las cartas; varios percheros y mesas compuestos por cuernos; una pata de avestruz transformada en peso para evitar el cierre no deseado de las puertas; un cráneo de tigre bengalí enmarcando un reloj entre sus colmillos; un bebé elefante dando la bienvenida en el vestíbulo.

Entre los objetos diseñados y patentados por Rowland Ward, uno en particular sobresalía por el éxito que tuvo en el comercio dada la profusión de elefantes muertos por los cazadores que frecuentaban Asia o África: la pata de este mamífero transformada en taburete, paragüero o licorera. El duque de Edimburgo —es decir, el príncipe Alfred de Sachsen-Coburg-Gotha (1844-1900), el segundo hijo de la reina Victoria y el príncipe Alberto— contaba con una de ellas y la colocaba en el centro de la mesa cada vez que recibía visitas: procedía de la India, de un elefante cazado por este miembro de la familia



Repertorio de 'muebles wardianos' (*Wardian furniture*) confeccionados por la empresa Rowland Ward, con animales cazados o con las mascotas fallecidas de la aristocracia inglesa.



ELEPHANT'S FOOT LIQUEUR STAND.
From H.E.H. the Duke of Edinburgh's Collection. Feet purchased at the late Mr. EDWIN HENRY WARD'S Sale. Designed by Mr. ROWLAND WARD.

BY ROWLAND WARD, F.Z.S.

Licorera del príncipe Alfred de Sachsen-Coburg-Gotha, Duque de Edimburgo, diseñada por Rowland Ward, ca.1885. Una pieza incorporada a los catálogos de la casa Ward y a los de sus imitadores.

real, el primero en visitar la India británica en 1869. Este objeto se incorporó a los catálogos de la casa Ward que también incluían el inventario detallado de las patas de elefante disponibles con sus medidas en vida, procedencia y dueño. Las de Asia llegaban del distrito de South Arcot, Travancore, Assam, Ceilán, Madrás, las provincias del noroeste, Myanmar, Sumatra y Mysore.

Animales y materiales en la moda europea

Es probable que Ward se inspirara, además de en las aves de su padre, en la larga tradición cerámica que, desde el siglo XVIII, fabricaba muebles en porcelana de dimensiones espectaculares reproduciendo animales enteros o sus patas en mesas y consolas. A modo de ejemplo, la Manufactura de Capodimonte, en Nápoles, producía muebles con motivos chinos, monos y pájaros en porcelana y a tamaño 'natural' inspiradas en los grabados de los Audran, una familia de artistas franceses. En el caso de Meissen, la fábrica –fundada en 1710 cerca de Dresde– por encargo de Augusto II, príncipe elector de Sajonia, rey de Polonia y fundador del establecimiento, había realizado hacia 1730 también varios animales en porcelana blanca y 'tamaño natural'. Entre otros, un rinoceronte, una cabra y un pelícano destinados al Palacio Japonés del príncipe, hechos según los modelos



Elefante cazado en África a fines del siglo XIX, trozado para su transporte y la preparación de trofeos de caza.

del escultor Johann Gottlieb Kirchner (1706-1768) y Johann Joachim Kändler (1731-1775), quienes se inspiraron en Durero y en los animales de la *ménagerie* real, los cuales, por su tamaño, representan un desafío técnico para la época.

Con estos animales, Augusto II demostraba el fin del reinado de la porcelana china y ganaba notoriedad a lo largo y a lo ancho de Europa. Aunque la totalidad de las piezas se exhibe en la colección de Dresde, seis de los animales llegaron en 1837 al Museo de la Manufactura de Sèvres por intercambio con el geólogo Alexandre Brogniart (1770-1847), su director y fundador. Algunas de las obras de Kirchner y Kändler arribaron también a las colecciones inglesas. Estos adquirieron renombre por sus aves exóticas y sus orquestas de monos vestidos

con los ornamentos del rococó y barroco sajones (*Affenkapelle*), modelos que en nuestros días se siguen fabricando y vendiendo a precio elevado.

Las llamadas 'monerías' se difundieron rápidamente por París y muchas de las poses e ideas hechas en Sajonia volverían a aparecer en los animales de los Ward y en las escenas creadas con animales taxidermizados por ellos y otras compañías. Las ranas, las ardillas, los gatitos y los monos de verdad, muertos y vestidos como en la era victoriana, reemplazarían a los de caolín, tomando el té, tocando en alguna orquesta con el sello de las técnicas *Made in England* que, en este caso, no recurría al dominio del fuego, pero sí al de la química de la preservación y la desecación de la materia orgánica.

En cuanto a la vida de los muebles confeccionados con patas de elefante, los taburetes y paragüeros continuaron comercializándose durante todo el siglo XX. Sin ir más lejos, la empresa Edward Gerrard & Son, principal competidora de los Ward, también se dedicó al montaje de trofeos de caza y a la producción de artefactos domésticos con patas de elefantes, rinocerontes e hipopótamos, pero con precios más accesibles y una clientela menos conspicua. Estos objetos dominaron los catálogos de esta compañía durante las décadas de 1920 y 1930, y las revistas de moda lograrían imponerlos como objetos de decoración en los años por venir.

En el siglo XXI, todo ellos se han vuelto piezas de anticuario. Varias casas de remate los ofrecen a precios que oscilan entre los 200 y los 3000 euros, aclarando que proceden de animales cazados antes de su incorporación a la lista de especies protegidas. Por otro lado, los objetos que no pueden datarse o demostrar su fecha de confección y procedencia son decomisados por la guardia de aduana mientras se determina a qué especie pertenece y se resuelven los juicios por tenencia, contrabando y comercio de objetos prohibidos por las leyes europeas.

Son investigaciones largas y complejas, que sitúan las piezas incautadas en un limbo legal y funcional. Su volumen genera, además de pesquisas judiciales e implicaciones legales, nuevas cuestiones relativas al objeto, su origen y, sobre todo, su futuro. En ocasiones, se percibe la intención de incorporarlas a un museo. Las entidades enfrentan, a su vez, conflictos de espacio y de incomodidad. Los conservadores dudan en anexar estos especímenes a sus exposiciones porque, a fin de cuentas, estos objetos, como tantos otros, despiertan los deseos más inesperados. No olvidemos que las patas de elefante de los Ward y del duque volvieron a África en forma de catálogos y revistas de moda, enseñando que los europeos estaban dispuestos a pagar por estos objetos contruidos sobre los desechos de la caza mayor o la caza furtiva del marfil. Habrá quien crea que es una



Rinoceronte en porcelana blanca, fabricado en 1731 y atribuido al escultor Johann Gottlieb Kirchner (1706-1768), según una estampa de Abraham de Bryn basada en Dürero. Meissen, Sajonia. Museo Nacional de la Cerámica de Sèvres. Altura: 68cm; profundidad: 48cm; largo: 109cm.



'Patas de elefante', obra del año 2003 del ceramista-escultor Hervé Rousseau (n. en 1955). Colección de cerámica francesa contemporánea del Museo Nacional de la Cerámica de Sèvres.



Una vitrina en el aeropuerto internacional de Turín con una serie de objetos de origen natural incautados por la policía italiana, cuya importación y transporte están prohibidos.



Taburete y paragüero hechos con patas de elefante, decomisados por la Guardia Civil española y depositados en las colecciones zoológicas de la Universidad de las Islas Baleares en Mallorca hasta la finalización del juicio por la tenencia de partes de animales protegidos por las leyes europeas.

artesanía africana. El presidente Masisi, por su lado, está dispuesto a usarlos como un pilar sobre el cual construir su gobierno. Rowland Ward debe reírse desde la tumba o desde algún mueble donde, quizá, sus descendientes hayan escondido sus restos porque, a la hora de ganar dinero, todo hueso sirve. 

Agradecimiento: este trabajo está dedicado a Pepe Pérez Gollán, in memoriam. Forma parte de los proyectos PIP-2647 y PICT-2020-SERIEA-03693 y ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea a través del acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie N.º 101007579, proyecto RISE SciCoMove (Scientific Collections on the Move. Provincial Museums, Archives, and Collecting Practices, 1850-1950) dirigido por Irina Podgorny y Nathalie Richard, scicomove.hypotheses.org. Se agradece al personal del IMEDEA que facilitó la información sobre las piezas en custodia y al doctor Guillem Pons de la UIB.

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2021, *The Terrible Beauty: Elephant, human, ivory*. Stiftung Humboldt Forum-Hirmer, Berlín.

BURUCÚA JE Y KWIATKOWSKI N, 2019, *Historia natural y mítica de los elefantes*, Buenos Aires, Ampersand.

JACKSON CE, 2018, 'The Ward family of naturalists', *Archives of Natural History*, 45: 1-13.

MORRIS PA, 2004, *Edward Gerrard & Sons: A taxidermy memoir*, MPM Publishing, Ascot.

PÉREZ GOLLÁN JA, 1995, 'Mr. Ward en Buenos Aires: los museos y el proyecto de nación a fines del siglo XIX', *CIENCIA Hoy*, 5 (28): 52-58.

PODGORNY I, 2022, *Desubicados*, Rosario: Beatriz Viterbo.

WARD RA, 1913, *A Naturalist's Life Study in the Art of Taxidermy*, Rowland Ward Ltd., Londres.

La reglamentación europea (1996) sobre la protección de la fauna y la flora silvestres en lo concerniente a su comercio puede consultarse en eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997R0338&from=LV



Irina Podgorny

Doctora en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Investigadora principal en CIC/Conicet.



Susana García

Doctora en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Investigadora adjunta en Conicet.



Aina Trias Verbeeck

Licenciada en biología y MSc en historia de la ciencia, IHC-Universitat Autònoma de Barcelona. Doctoranda en historia de la ciencia, Institutió Milà i Fontanals-CSIC, Barcelona.

El origen del cáncer, nuestra alimentación y los antioxidantes

Cómo nuestra alimentación puede impactar en la aparición de tumores

Hace unos años me encontraba en mi pueblo natal, llamado Sampacho, en el sur de la provincia de Córdoba, junto a mi padre tomando un café de media mañana en una conocida cafetería local cuando un amigo se acercó y me dijo: 'Hay mucho cáncer en el pueblo, ¿será lo que estamos comiendo?'. En ese momento entablamos una larga conversación acerca de los diferentes casos de cáncer que se habían diagnosticado en los últimos meses en el lugar. Que Ana, que Juan, que Pedro, y así seguimos contando y conversando acerca de los diferentes casos. Reconozco que la pregunta me tomó por sorpresa, y para brindar una respuesta precisa primero intenté explicar qué significaba esa palabra tan simple, tan temida: cáncer.

¿Qué es el cáncer?

El cáncer es una enfermedad compleja y heterogénea en la que el denominador común es la presencia de células anormales o cancerosas que se dividen descontroladamente. Este crecimiento descontrolado hace que las células cancerosas terminen desplazando a las normales, y así afecten el funcionamiento normal de tejidos y órganos. El crecimiento anormal de células cancerosas da lugar a lo que se denomina tumor o cáncer, y si no se diagnostica y trata a tiempo puede llevar a la muerte. Lo interesante es que las células cancerosas se originan a

¿DE QUÉ SE TRATA?

Descripción de una de las teorías más aceptadas para explicar el origen del cáncer, y de qué manera nuestra alimentación y el consumo de suplementos dietéticos y antioxidantes puede afectar este proceso.

partir de células normales, y comparten gran parte de sus características.

Según el observatorio de cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2020 se diagnosticaron 130.878 casos de cáncer en la Argentina, siendo el más frecuente el cáncer de mama, seguido por el cáncer colorrectal, el de pulmón, el de próstata y el de riñón. En ese mismo año, 69.563 personas perdieron la vida por algún tipo de cáncer. El cáncer que causa el mayor número de muertes en el país es el de pulmón, seguido por el colorrectal, el de mama y el de próstata.

La charla en el café continuó, y ahora que entendíamos a que nos referíamos cuando hablábamos de cáncer, me enfoqué en explicar cómo se originan esas células cancerosas, lo que me llevaría a responder esa pregunta corta, pero a la vez tan compleja: 'Hay mucho cáncer en el pueblo, ¿será lo que estamos comiendo?'.

¿Cómo se origina una célula cancerosa?

Una célula normal de nuestro cuerpo está expuesta a numerosos desafíos que pueden dañar el material genético produciendo mutaciones, que no son otra cosa que cambios en las instrucciones allí descritas para que la célula cumpla su función y se divida normalmente. Estas mutaciones se denominan somáticas ya que no estaban presentes al nacer, y en su mayoría no tendrán gran impacto en el funcionamiento de las células. Sin embargo, en ciertas ocasiones, pueden cambiar instrucciones que determinan la velocidad a la que la célula se divide. En este caso, la mutación se conoce como *driver* o 'causante'. Estas mutaciones son necesarias para que una célula normal se transforme en una célula cancerosa, aunque pueden no ser suficientes para causar un cáncer. Por ejemplo, esa misma célula para mantener un mayor crecimiento también necesitará modificar las instrucciones para producir energía, ya que un proceso proliferativo intenso requiere mayor consumo energético. La acumulación gradual de mutaciones *driver* que conducen a un aumento descontrolado de la proliferación celular es una de las teorías más aceptadas para explicar el origen del cáncer.

¿Qué factores pueden causar mutaciones?

Existen al menos tres factores que pueden dar origen a mutaciones somáticas en el genoma de una célula normal. El primer factor es intrínseco a la división celular, y se conoce como factor replicativo. Cuando una célula se divide también necesita duplicar su ácido desoxirribonucleico (ADN) o material genético. Las enzimas encar-

MUTACIONES, CÁNCER Y DIETA

El cáncer se origina como consecuencia de una acumulación gradual de mutaciones en células normales, las cuales van adquiriendo nuevas capacidades y aumentando su velocidad de duplicación hasta convertirse en células cancerosas. Estas mutaciones pueden originarse por fallas durante la duplicación del ADN, como consecuencia de defectos hereditarios, y por la exposición a factores y compuestos ambientales que pueden dañar el ADN. Una dieta saludable puede ayudar a reducir la toxicidad de compuestos cancerígenos presentes en el ambiente, reduciendo la probabilidad de que las células normales adquieran mutaciones que den origen a un cáncer.

gadas de copiar el ADN tienen una tasa de error estimada de 1 base cada 100.000 nucleótidos. La gran mayoría de estos errores son corregidos antes de que la célula complete su ciclo de división. Sin embargo, se estima que por cada división celular se originan entre una y dos nuevas mutaciones. Estas mutaciones pueden conferir propiedades nuevas a las células normales favoreciendo que se transformen en células cancerosas.

El segundo factor que puede contribuir a la aparición de mutaciones en células normales es el factor hereditario. En algunas personas existen mutaciones que se transmiten de generación en generación: están presentes en la línea germinal y en todas nuestras células al nacer. Estas mutaciones hereditarias suelen afectar el funcionamiento de proteínas que reparan el daño en el ADN. De esta manera, algunas mutaciones hereditarias pueden causar un aumento de la probabilidad de que una célula normal adquiera mutaciones somáticas, y por ende nuevas capacidades que lleven al desarrollo de un tumor. Uno de los primeros ejemplos descritos fue la presencia de mutaciones hereditarias en el gen MSH2. A partir de este gen se produce una proteína que participa en la reparación de errores cometidos durante la duplicación del ADN. Mutaciones en MSH2 pueden desencadenar el desarrollo temprano de un tipo de cáncer colorrectal. Otro ejemplo es la transmisión hereditaria de mutaciones en los genes BRCA1 o BRCA2, que también codifican proteínas encargadas de reparar el ADN cuando está dañado. Estas mutaciones aumentan significativamente el riesgo de contraer cáncer de mama y ovario. Por ejemplo, mujeres que heredaron mutaciones en BRCA2 tendrán 69% de probabilidad de contraer cáncer de mama a lo largo de su vida. A pesar de este aumento considerable en el riesgo de contraer cáncer, la presencia de mutaciones hereditarias puede no ser suficiente para originar un tumor.

Por último, encontramos el factor que se denomina ambiental y que incluye a todos los componentes medioambientales que pueden dañar directa o indirectamente el ADN, sean elementos que acceden a nuestras células mediante la respiración, mediante la ingesta

de líquidos y alimentos, o incluso por la exposición de nuestro cuerpo a la radiación solar (figura 1). Entre los ejemplos más comunes encontramos el humo del cigarrillo. El humo contiene toxinas como los benzopirenos que pueden dañar el ADN de las células en nuestros pulmones, incrementando significativamente la probabilidad de padecer algún tipo de cáncer de pulmón.

Nuestra alimentación también puede ser una fuente de numerosos compuestos cancerígenos. Entre estas moléculas nocivas encontramos los aldehídos. El más conocido es el acetaldehído que se origina a partir del consumo de alcohol. Un estudio publicado en la revista *Lancet Oncology* sugiere que el 4,1% de todos los nuevos casos de cáncer en el mundo son atribuibles al consumo de alcohol, siendo los de mayor incidencia los cánceres de esófago, hígado y mama. Otro aldehído presente en el ambiente y que se puede originar a partir de nuestra dieta es el formaldehído, también conocido como formol. El formaldehído se utiliza masivamente en industrias químicas, está presente en el humo de cigarrillo, es muy utilizado en las peluquerías para alisar el pelo, y se puede originar en nuestro cuerpo a partir del consumo de endulzantes artificiales y de la ingesta accidental de metanol. La OMS ha clasificado al formaldehído como un carcinógeno humano, basada en estudios que evidencian una mayor probabilidad de contraer leucemias mieloides en personas expuestas a altos niveles. Recientemente, describimos que el formaldehído además de dañar de manera directa el ADN puede reaccionar rápidamente con uno de los antioxidantes celulares más abundantes, el glutatión. Para contrarrestar este efecto, la célula dispone de una maquinaria que restaura la capacidad antioxidante del glutatión, y convierte el formaldehído en un compuesto menos tóxico denominado formiato. Cuando esta maquinaria falla, el formaldehído puede causar una acumulación de especies reactivas del oxígeno, lo que se conoce como estrés oxidativo. Por lo tanto, el formaldehído puede dañar el material genético directamente atacando el ADN, y también indirectamente mediante la generación de estrés oxidativo.

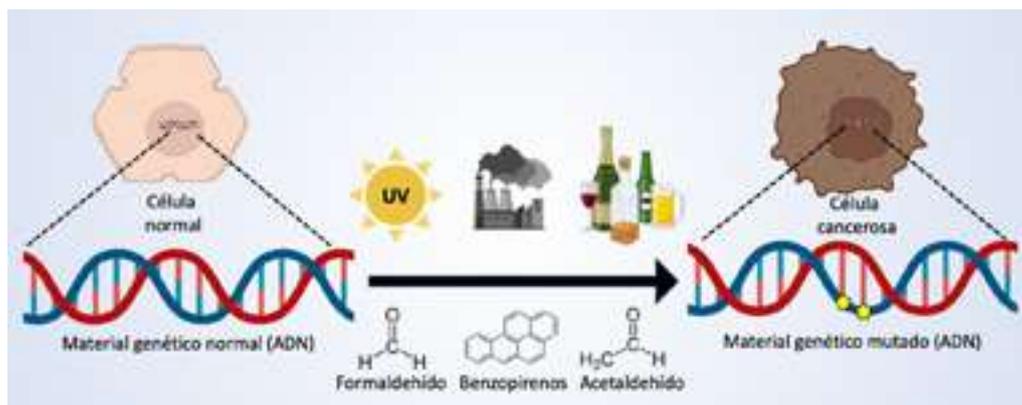
El rol de los antioxidantes en la prevención del cáncer

Para reducir parte de los efectos nocivos de los compuestos cancerígenos nuestras células disponen de moléculas antioxidantes tales como el glutatión. Por definición, un antioxidante es un compuesto que puede contrarrestar directa o indirectamente ciertas moléculas oxidantes muy reactivas denominadas especies reactivas del oxígeno o del nitrógeno. Esta propiedad les permite a los antioxidantes mantener o restaurar el equilibrio óxido-reducción necesario para que las células procesen los nutrientes y generen energía, además de limitar la acumulación de especies reactivas oxidantes que podrían dañar el material genético. Además del glutatión, en la naturaleza también encontramos otras moléculas con capacidad antioxidante tales como los derivados de la vitamina C, E y los carotenos.

En nuestra dieta están presentes numerosas frutas y verduras muy ricas en antioxidantes naturales (figura 2). Más aún, los vegetales verdes como espárragos, palta, espinaca, brócoli y pepinos son muy ricos en glutatión. La propiedad del glutatión de limitar la aparición de especies reactivas del oxígeno, sumada a su capacidad de reaccionar directamente con el formaldehído, nos sugiere que un consumo periódico de alimentos ricos en glutatión podría limitar los efectos cancerígenos del formaldehído. Aumentar el consumo de alimentos ricos en antioxidantes y en glutatión no garantiza evitar la aparición de algunos tipos de cánceres, pero podría bajar la probabilidad de que una célula normal adquiera mutaciones que la puedan transformar en una célula cancerosa.

En la actualidad hay numerosos suplementos dietéticos que se pueden adquirir en farmacias y que se anuncian como antioxidantes. ¿Existe evidencia científica que avale el uso masivo de preparados antioxidantes concentrados para retrasar la aparición de un proceso cancerígeno? Según el Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos (NIH, por su sigla en inglés) hasta el momento se han llevado a cabo nueve ensayos clínicos controlados suplementando

Figura 1. El factor medioambiental como causante de mutaciones. **Izquierda.** Una célula normal en la que se representa el material genético sin mutaciones. **Derecha.** Una célula cancerosa que acumuló mutaciones (pentágonos amarillos) como consecuencia de la exposición a factores ambientales cancerígenos. En la parte central se muestran las estructuras químicas del formaldehído, el acetaldehído y el benzopireno. En la parte superior de la flecha se encuentran representadas algunas fuentes ambientales de los compuestos cancerígenos descritos en el texto. Imágenes obtenidas de Biorender.



dietas con betacarotenos, vitaminas C o E. Estos estudios clínicos no mostraron evidencias de que suplementos dietéticos con dichos antioxidantes fuesen beneficiosos para prevenir algún tipo de cáncer. Ese mismo artículo del NIH discute posibles efectos nocivos del consumo de preparados concentrados de antioxidantes, lo que contrasta con los beneficios de consumir alimentos naturales que contienen una mezcla equilibrada de antioxidantes, vitaminas y minerales. En cuanto a la suplementación de la dieta con glutatión o con el precursor de glutatión N-acetil cisteína, aún no hay estudios controlados y aleatorizados que exploren su efecto en la aparición de nuevos tumores. Por otra parte, en modelos animales de cáncer de pulmón y melanoma se observó un aumento en la agresividad de los tumores cuando los antioxidantes se administraron luego de iniciado el desarrollo del tumor. Esta observación sugiere que las células cancerosas también pueden beneficiarse del consumo de suplementos dietéticos con antioxidantes. Por lo tanto, la utilización de estos productos concentrados por parte de personas con historia clínica de cáncer debería realizarse solo bajo indicación médica.

La charla de café continuó, y creo recordar que hasta el café se había enfriado. Entonces, la respuesta a esa pregunta 'hay mucho cáncer en el pueblo, ¿será lo que estamos comiendo?' estaba en entender que el cáncer ocurre principalmente por la acumulación gradual de mutaciones que llevan a un cambio en la identidad y en la velocidad de división de una célula normal. Lo que consumimos y respiramos impacta en la aparición de mutaciones y en las chances de que una célula normal se transforme en cancerosa, pero el inicio de un cáncer difícilmente pueda atribuirse a un único factor. Para reducir la probabilidad de desarrollar un tumor podríamos evitar la exposición a compuestos cancerígenos. Por ejemplo, evitar la exposición

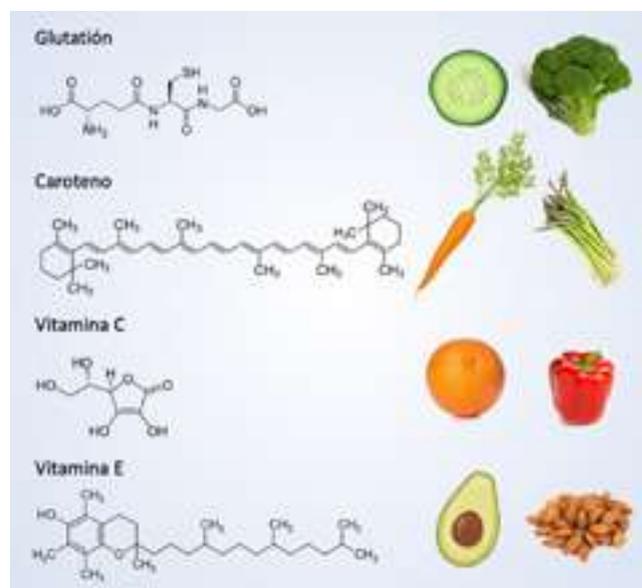


Figura 2. Antioxidantes naturales. **Izquierda.** Estructura química de los cuatro antioxidantes naturales descritos en el texto. **Derecha.** Algunos ejemplos de alimentos que contienen los antioxidantes expresados en la parte izquierda. Imágenes obtenidas de Biorender.

a luz solar sin protección adecuada, eludir respirar aire contaminado y reducir la ingesta de alcohol. Simultáneamente, incorporar alimentos más saludables en nuestra dieta que puedan limitar la toxicidad de compuestos cancerígenos, y así retrasar la aparición de mutaciones y de un proceso tumoral. **[H]**

Agradecimiento

El autor agradece a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT-PRH 2017-4688). También al proyecto PCI2021-122045-2B, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

LECTURAS SUGERIDAS

- LE GAL K, IBRAHIM MX, WIEL C, SAYIN VI, AKULA MK, KARLSSON C, DALIN MG, AKYÜREK LM, LINDAHL P, NILSSON J Y BERGO MO,** 2015, 'Antioxidants can increase melanoma metastasis in mice', *Science Translation Medicine*, 7 (308): 308re8.
- PRAY L,** 2008, 'DNA replication and causes of mutations', *Nature Education*, 1 (1): 214.
- RUMGAY H, SHIELD K, CHARVAT H, FERRARI P, SORNPAISARN B, OBOT I, ISLAMI F, LEMMENS VEPP, REHM J & SOERJOMATARAM I,** 2021, 'Global burden of cancer in 2020 attributable to alcohol consumption: A population-based study', *Lancet Oncology*, 22 (8): 1071-1080.
- TOMASETTI C, LI LY VOGELSTEIN B,** 2017, 'Stem cell divisions, somatic mutations, cancer etiology, and cancer prevention', *Science*, 355 (6331): 1330-1334.
- UMANSKY C, MORELLATO AE, RIECKHER M, SCHEIDEGGER MA, MARTINEFSKI MR, FERNÁNDEZ GA, PAK O, KOLESNIKOVA K, REINGRUBER H, BOLLINI M, CROSSAN GP, SOMMER N, MONGE ME, SCHUMACHER B Y PONTEL LB,** 2022, 'Endogenous formaldehyde scavenges cellular glutathione resulting in redox disruption and cytotoxicity', *Nature Communications*, 13(1): 745.



Lucas B Pontel

Doctor en ciencias biológicas, Universidad Nacional de Rosario (UNR). Jefe del grupo de investigación Metabolismo del Cáncer en IBioBA-MPSP. Investigador adjunto en el Conicet. Investigador asociado en el Instituto de Investigación contra la Leucemia Josep Carreras, España.
lpontel@ibioba-mpsp-conicet.gov.ar
@LucPontel

Probióticos y abejas: aliados en la apicultura

¿Qué es un probiótico?

La Organización para la Agricultura y la Ganadería (FAO) junto con la Organización Mundial de la Salud (OMS) definen a los probióticos como ‘microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren beneficios en la salud del hospedador’. Existe una serie de criterios mínimos que el microorganismo debe cumplir para ser considerado como un probiótico. Los criterios, propuestos por la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (ISAPP, 2018) incluyen: 1) el probiótico debe ser caracterizado de manera tal que pueda ser identificado a nivel de género, es-

pecie y cepa; 2) debe ser nombrado de acuerdo con la nomenclatura científica válida; 3) debe ser un microorganismo seguro para la salud y el ambiente, conocido con las siglas GRAS (del inglés *Generally Recognized As Safe*); 4) la cepa probiótica debe ser depositada en una colección de cultivos internacional; 5) el probiótico debe presentar un beneficio para la salud demostrado en al menos un estudio con humanos, y 6) los productos que utilicen probióticos deben proporcionar hasta el final de su vida útil un nivel suficiente de microorganismos vivos de manera tal que confieran un beneficio para la salud.

Para comenzar, se debe obtener un cultivo puro. Con esto nos referimos a una población de microorganismos-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Son conocidos los beneficios de incorporar probióticos en nuestra dieta diaria. De la misma forma estos beneficios alcanzan a distintos animales, entre ellos a las abejas. Microorganismos aislados del kéfir son propuestos como probióticos para abejas.

mos crecidos a partir de una colonia en placas de Petri, sobre un medio de cultivo apropiado al que se le agrega agar-agar para solidificarlo (ver 'Propóleos: su uso como biofungicida agrícola', CIENCIA HOY, 26 (155): 59). De dichos cultivos puros se procede a realizar una serie de pruebas que ponen en evidencia las distintas características del microorganismo.

Las pruebas más comúnmente realizadas para que un microorganismo sea considerado como un probiótico para humanos son las siguientes: resistencia al ácido gástrico y al ácido biliar, adherencia al mucus o a células epiteliales humanas, actividad antimicrobiana contra posibles patógenos, habilidad para reducir la adhesión de patógenos a superficies, efecto contra posibles patógenos y actividad hidrolítica sobre sales biliares. Dichas pruebas analizan la habilidad del microorganismo para sobrevivir bajo condiciones similares a las que se encontraría en el tracto digestivo humano, conviviendo con otros microorganismos naturalmente presentes en la microbiota intestinal. Finalmente, los candidatos no deben tener efectos patogénicos. Para ello se realizan distintos análisis, como por ejemplo la prueba de hidrólisis de sangre, siendo un resultado positivo una característica típica de patógenos.

¿Por qué pensar en probióticos para abejas?

Las abejas se alimentan de néctar y polen, siendo el primero la principal fuente de hidratos de carbono y el segundo, fuente de proteínas y lípidos. Estos insectos sociales, considerados como los polinizadores por excelencia, almacenan reservas de alimento en forma de miel y fabrican otros productos apícolas como polen, propóleos y jalea real. La miel constituye un alimento importante desde el punto de vista nutricional y el ser humano ha aprendido a extraerla de los panales y a trabajar con las abejas desde hace miles de años.

Nuestro país es un gran productor y exportador de miel, posicionándose como el tercero con mayor producción a nivel mundial, después de China y Estados Unidos. A su vez, los datos indican que el 70% de la miel producida en el hemisferio sur del continente americano, el 25% de la producción de todo el continente y el 6% del total producido en el mundo corresponden a la Argentina. De manera que la apicultura constituye una importante actividad productiva, generadora de ingresos y de divisas.



Abeja recolectando polen en sus patas traseras.

Las prácticas intensivas de la agricultura moderna, caracterizadas por el monocultivo, así como la fragmentación del hábitat y la pérdida de zonas agrestes, provocan que las fuentes de recursos para las abejas sean escasas, impidiéndoles una óptima alimentación (ver editorial 'Abejas y cultivos de soja', CIENCIA HOY, 28 (166): 49-53). Puntualmente, el avance del área sembrada que experimentó la Argentina en los últimos años modificó los agroecosistemas, lo cual repercutió directamente sobre la actividad apícola. La reducción de la vegetación espontánea, muchas veces fuente de alimento para las abejas, provocó una merma en la variedad y en la calidad de las fuentes de néctar y polen. Este avance de la agricultura también ha ido acompañado por un aumento en el uso de agroquímicos. Además, dadas las expectativas de buenos precios para la venta de miel, algunos productores cosechan completamente sus colmenas, por lo que deben aplicar sustitutos de alimentos que permitan evitar futuros problemas nutricionales. Este conjunto de factores ha causado escasez en los recursos que necesitan las abejas para tener un estado de salud óptimo. Un panal cuyos integrantes no hayan cumplido con los requerimientos nutricionales adecuados presenta menor cantidad de abejas y menor producción de miel. De igual manera, una población que no logra obtener los nutrientes necesarios para un correcto desarrollo se ve más propensa al ataque de distintos patógenos.

En este contexto, el uso de probióticos en los suplementos alimentarios que el apicultor utiliza en las colmenas se presenta como una alternativa natural, amigable con el medio ambiente, fácil de aplicar y que no deja residuos contaminantes en la colmena ni tampoco en la miel.



Kéfir de agua: bebida fermentada junto a los gránulos que la conforman.

Probióticos para abejas

Existen múltiples y diversas fuentes naturales de probióticos. Una de ellas es el kéfir, un fermento tradicional y natural caracterizado por gránulos compuestos por una matriz de polisacáridos y proteínas que contienen en su interior un complejo sistema microbiológico en el cual se encuentran en asociación simbiótica bacterias lácticas y levaduras responsables de la fermentación.

El kéfir de agua es una bebida que el ser humano consume desde hace miles de años. Se obtiene a partir de la fermentación de una preparación de azúcar y fruta en presencia de estos gránulos. Una vez finalizado el proceso fermentativo, se filtra el preparado y los gránulos son reutilizados. Es así que estas comunidades de microorganismos sufrieron un largo proceso de selección durante el pasaje de preparación en preparación y existen tantos tipos de gránulos como familias que los conservan. Es un alimento funcional, lo que quiere decir que, además de su aporte nutricional, tiene un efecto positivo sobre el estado de salud del consumidor. Para el caso del kéfir de agua, su efecto sobre la salud puede provenir de compuestos bioactivos, productos del metabolismo de los microorganismos que lo componen y de su naturaleza como producto probiótico.

del metabolismo de los microorganismos que lo componen y de su naturaleza como producto probiótico.

A partir de preparaciones de kéfir de agua realizadas en el laboratorio, se aislaron y caracterizaron distintas cepas de bacterias y de levaduras. Partiendo de estos cultivos puros, se llevaron a cabo las distintas pruebas necesarias para determinar su potencial a fin de actuar como probiótico. En este caso, las pruebas seleccionadas tienen que ver con la fisiología de la abeja, ya que nuestro probiótico candidato será incorporado en un



Pruebas *in vitro* para caracterizar a los microorganismos que estudiamos como potenciales probióticos para abejas. **A.** Prueba de carbonato de calcio. **B.** Prueba de fermentación de glucosa.



Prueba de inhibición de *Ascosphaera apis*. **Izquierda.** Placa de Petri inoculada con cuatro candidatos a probióticos (B1, B2, B10 y B5) que muestran inhibición del hongo patógeno. **Derecha.** Placa de Petri inoculada con cuatro candidatos a probióticos que no presentan actividad antimicrobiana.

Prueba de inhibición *Paenibacillus larvae*. **Izquierda.** Cuatro candidatos a probióticos que inhiben su crecimiento (se observan halos de inhibición). **Derecha.** Placa de Petri con la bacteria patógena.

alimento destinado a mejorar su estado nutricional. Así, contamos con una colección de bacterias y levaduras aisladas a partir de kéfir de agua con potencial probiótico para ser utilizados en alimentación de abejas.

Para ahondar en el estudio de la capacidad de un microorganismo de actuar como probiótico, se hicieron pruebas que tienen que ver con la inhibición de patógenos de la colmena, es decir, que estudiamos su actividad antimicrobiana. Puntualmente, hemos trabajado con *Ascosphaera apis*, hongo causante de la enfermedad llamada 'cría yesificada', y con *Paenibacillus larvae*, bacteria causante de la enfermedad conocida como 'loque americana'. Ambos patógenos afectan a las larvas de abejas. Para estudiar la inhibición del hongo, se coloca un disco del micelio del hongo en el centro de la placa de Petri, se realizan cuatro pozos en el agar donde se colocan los cultivos de los potenciales probióticos y se espera observar que el microorganismo seleccionado impida el crecimiento del hongo. En el caso del patógeno bacteriano, primero se siembra *P. larvae* en toda la placa, luego se hacen los pozos donde se agregan los probióticos a estudiar y se espera observar halos de inhibición transparente alrededor del microorganismo seleccionado como potencial probiótico.

Finalmente, luego de someter la colección de potenciales probióticos a las pruebas *in vitro* contra estos patógenos larvales de abeja, se seleccionaron los que presen-

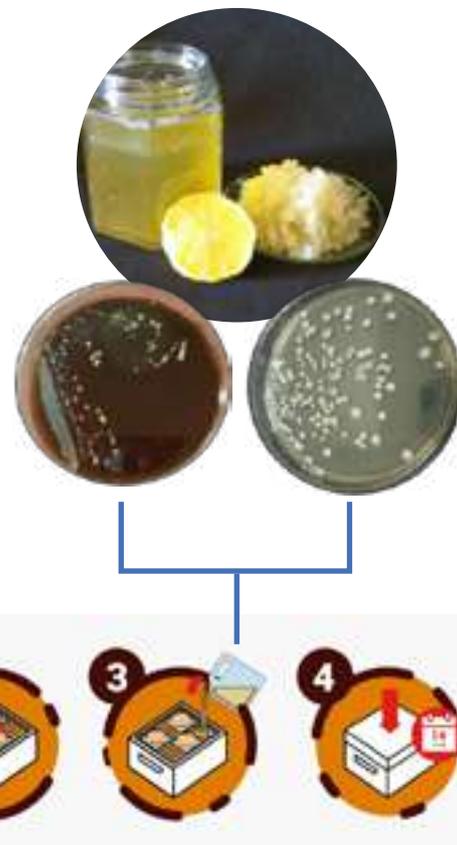
taron actividad antimicrobiana, para proceder luego a identificarlos genéticamente. La caracterización permite determinar el género y la especie del microorganismo candidato a probiótico. Esta información se compara con bases de datos, lo cual permite obtener la identidad del microorganismo (ver editorial 'La secuenciación del ADN y sus consecuencias, CIENCIA HOY, 27 (157): 4-5). Así, pudimos conocer la identidad de cada uno: las bacterias fueron identificadas como cepas de *Lentilactobacillus hilgardii* y *Lentilactobacillus buchneri*, ambas bacterias lácticas; y las levaduras fueron identificadas como *Saccharomyces cerevisiae*, la misma que el ser humano utiliza para levar masas y fabricar cerveza.

Los próximos pasos

Las investigaciones realizadas nos permitieron seleccionar microorganismos con potencial probiótico que podrían mejorar la producción apícola. Las próximas etapas requieren experimentos donde larvas de abejas alimentadas o no con los probióticos seleccionados sean expuestas a los patógenos en cuestión. Por el otro, nuestras investigaciones también continuarán en el campo junto a los productores apícolas para probar la funcionalidad de los probióticos seleccionados en el laborato-



Alimentación artificial de abejas en las colmenas.



rio. Para ello, los microorganismos se combinarán con alimentos artificiales que se encuentran en el mercado como insumo para los productores apícolas y serán aplicados directamente en las colmenas. 

Agradecemos la colaboración permanente de Liliana M Gallez (directora del LabEA), Marina L Díaz (CERZOS-Conicet) y Francisco J Reynaldi (CEMIBA-UNLP). Además, es muy importante mencionar que contamos con el apoyo de la Cooperativa de Trabajo Apícola Pampero (www.cooperativapampero.coop).

LABORATORIO DE ESTUDIOS APÍCOLAS

El Laboratorio de Estudios Apícolas (www.labea.criba.edu.ar) es un centro asociado a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (www.cic.gba.gob.ar/centros/laboratorio-de-estudios-apicolas-labea/) que funciona en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (www.uns.edu.ar) en la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. El laboratorio fue creado en 2009 sobre la base del Laboratorio de Calidad de Mieles que existía desde 1994 y hoy se abordan numerosas líneas de investigación en apicultura (www.labea.criba.edu.ar/idioma/es/invDes.html).

LECTURAS SUGERIDAS

AUDISIO MC, 2017, 'Microorganismos beneficiosos para la abeja melífera: metabolitos y probióticos', *Campo y Abejas Noticias*, septiembre: 11.

FINA BL, LOMBARTE M y RIGALLI A, 2013, 'Investigación de un fenómeno natural: ¿estudios *in vivo*, *in vitro* o *in silico*?', *Actualizaciones en Osteología*, 9 (3): 239-240.

GUTIÉRREZ RAMÍREZ LA, MONTOYA OI y VÉLEZ ZEA JM, 2013, 'Probióticos: una alternativa de producción limpia y de remplazo a los antibióticos promotores de crecimiento en la alimentación animal', *Producción + Limpia*, 8: 135-146.

SALAZAR BC y MONTOYA OI, 2003, 'Importancia de los probióticos y prebióticos en la salud humana'. *Vitae. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 10 (2): 20-26.



Thomas E Ibáñez Battiston

Estudiante de grado de Bioquímica, Universidad Nacional del Sur (UNS). Becario del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN).
ibanezbattiston@gmail.com



María Agustina Rodríguez

Estudiante de posgrado, doctorado en Agronomía en curso, UNS. Becaria de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC).
agustina.rodriguez@cyt.cic.gba.gob.ar



Leticia A Fernández

Doctora en biología, LabEA, Departamento de Agronomía, UNS. Investigadora adjunta de Conicet. Ayudante de Docencia, UNS.
lafeman@uns.edu.ar

Alejandro Cassini

Instituto de Filosofía Alejandro Korn, FFYL, UBA-Conicet

Ciencia y pseudociencia: ¿por qué todavía es importante distinguirlas?

Ciencia, pseudociencia y no ciencia

¿Deberían enseñarse en las universidades la homeopatía y la parapsicología? ¿Aceptaríamos que un maestro de escuela enseñe a sus estudiantes el creacionismo como alternativa a la teoría de la evolución? ¿O que la Tierra es plana? ¿Debería el Estado financiar con fondos públicos investigaciones en estos y otros pretendidos campos del saber? La respuesta habitual a estas preguntas, en la mayor parte del mundo, es negativa (al menos por ahora): estas disciplinas no deberían enseñarse ni financiarse porque son pseudocientíficas y solo la ciencia proporciona el conocimiento legítimo que debe ser promovido y comunicado. Esta respuesta, por plausible que parezca, presupone la solución a un problema sumamente difícil: el de cuál es el criterio o conjunto de criterios que permite distinguir las ciencias de las pseudo-

ciencias. Los filósofos de la ciencia llaman a esta cuestión el *problema de la demarcación*. Como veremos enseguida, este problema no admite ninguna solución simple y clara.

En la actualidad, y desde hace bastante tiempo, se acepta de manera generalizada que las mitologías, las religiones y las ideologías políticas no son ciencias ni pueden serlo. Tampoco pretenden ya presentarse como tales. Lo mismo puede decirse de las artes y las técnicas, desde la poesía y la pintura hasta la producción artesanal de instrumentos musicales. En tanto las ideologías religiosas o políticas, las artes y las técnicas no pretendan tener un carácter científico (cosa que en el pasado ocurrió en muchas ocasiones, como lo muestra el caso del supuesto 'socialismo científico'), no se produce conflicto alguno entre ellas y la ciencia. El caso de las llamadas pseudociencias, en cambio, es mucho más problemático porque, de una manera u otra, estas se posicionan en los márgenes de la ciencia y, de hecho, comparten algunos ras-

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Cómo se distingue la ciencia de la pseudociencia? ¿Dónde debe trazarse la frontera? El problema de la demarcación está lejos de ser simple y todavía no tiene una solución general satisfactoria.

gos de las prácticas científicas reconocidas, como ocurre por ejemplo con la medicina homeopática y las llamadas terapias alternativas. Además, reclaman para sus conocimientos y prácticas un carácter científico y, en algunos casos, pretenden reemplazar el conocimiento científico aceptado y ocupar un lugar en la enseñanza establecida y en los medios de comunicación.

La pseudociencia debe distinguirse a la vez de la ciencia y de la mala ciencia, lo cual complica, sin duda, el problema de trazar límites bien definidos entre estos dominios. La cuestión, además, debe plantearse en su contexto histórico, es decir, respecto del estado del conocimiento y las prácticas que en un momento dado se consideran parte de la ciencia. La noción misma de ciencia es de carácter histórico y no existe, tal como la entendemos hoy, hasta bien avanzada la Edad Moderna. De hecho, el propio término ‘ciencia’ no tiene un uso establecido en las lenguas europeas hasta comienzos del siglo XIX. Lo mismo ocurre con los nombres de las diferentes disciplinas que hoy consideramos científicas. Isaac Newton, por ejemplo, no se llamaba a sí mismo ni ‘científico’ ni ‘físico’ (ya que esos términos no existían en su época), sino ‘filósofo natural’. Por lo demás, tomaba muy en serio a la alquimia y realizó toda clase de experimentos en ese campo. En la antigüedad, la astrología era una disciplina reconocida como conocimiento genuino, como una aplicación aceptable de la astronomía. En la Edad Media, la teología se consideraba la forma superior de conocimiento y el título de doctor en teología era el máximo que concedían las universidades europeas. Todavía a comienzos del siglo XVII, Johannes Kepler no

solo realizaba horóscopos, sino que defendía con todo detalle el carácter científico de la astrología. Menos de un siglo después, la astrología no formaba parte de la competencia de los astrónomos profesionales, que ya no la tomaban en serio. Sin embargo, la astrología perdura hasta nuestros días, fuera de los márgenes de la ciencia, mientras que la teología todavía constituye una carrera en muchas universidades de Europa.

Ante todo, es necesario revisar el alcance que se concede al propio término ‘ciencia’. El núcleo duro al que se aplica lo constituyen las ciencias exactas y naturales, cuyo estatus científico raramente se cuestiona. De hecho, en lengua inglesa el término *science* tiene este significado estrecho. Luego se distinguen las ciencias sociales, cuyo rigor y científicidad han sido objeto de muchas controversias, y, finalmente, las humanidades (como la historia, la filosofía y los estudios literarios, entre otras), que frecuentemente no se consideran ciencias. En un sentido amplio, el que tiene el término alemán *Wissenschaft*, se llama ciencias a todas las anteriores. El problema de la demarcación debe plantearse sobre la base de este sentido amplio, ya que no sería razonable considerar pseudociencias a las ciencias sociales y a las humanidades. En todo caso, algunas podrían considerarse protociencias, es decir, ciencias todavía poco desarrolladas. Hasta comienzos del siglo XX, la cosmología, hoy una rama indiscutible de las ciencias físicas, era apenas una protociencia. La alquimia, hasta el siglo XVIII, también puede considerarse una protociencia, antecesora de la química científica.

Una vez delimitado el alcance del concepto de ciencia, la pseudociencia debe distinguirse de la mala ciencia.



Manuscrito de Isaac Newton sobre la preparación del mercurio [Sophick] para la piedra [filosofal]. Instituto de Historia de la Ciencia. Filadelfia. digital.sciencehistory.org/works/cf95jc09d.

Cuando se dice que la parapsicología es una pseudociencia, no quiere decirse que sea una mala psicología. Las prácticas científicas en disciplinas reconocidas, como la biología, están llenas de ejemplos de mala ciencia, como el fraude, el plagio o la trivialidad. Pero nada de eso se considera pseudociencia, sino, en todo caso, una mala praxis científica, que debe ser desenmascarada y castigada (como ocurre, por ejemplo, con la falsificación de datos). En algunos casos, la diferencia puede no estar clara: el psicoanálisis se ha presentado a veces como un ejemplo de mala ciencia y otras, como un paradigma de pseudociencia. En principio, sin embargo, una práctica que resulta metodológicamente inaceptable de manera sistemática debería considerarse como pseudociencia, no solo como mala ciencia. Una pseudociencia no es mala ciencia, sino una disciplina o práctica que se considera no científica pero que se presenta como si lo fuera. El problema es, entonces, cómo identificar a las disciplinas propiamente científicas.

Las dificultades de la demarcación

La demarcación entre ciencia y pseudociencia, si bien tiene antecedentes que se remontan a la antigüedad, es un problema característico del siglo XX. Durante las primeras décadas de ese siglo, muchos filósofos de la ciencia consideraron que la demarcación entre el conocimiento científico y el no científico era un problema de la mayor importancia. Se trataba de encontrar un criterio preciso que permitiera distinguir a las ciencias empíricas de las formas de conocimiento no científico, como la metafísica, el mito, la religión y otras. El criterio debía proporcionar condiciones necesarias y suficientes de la científicidad, de modo que su aplicación no dejara zonas grises que separaran a la ciencia de la no ciencia. La empresa enseguida encontró dificultades hasta ahora insuperables.

La verificabilidad no puede ser el criterio buscado, ya que el conocimiento científico no es conocimiento verificable. Por razones puramente lógicas, las teorías científicas no pueden ser verificadas, esto es, ningún conjunto finito de datos puede probar que una teoría sea verdadera. Las teorías que contienen enunciados universales irrestrictos, como las leyes de la física, no son verificables. A lo sumo, toda la evidencia disponible en un momento dado puede confirmar una teoría dada, hacerla altamente probable o creíble, pero no verdadera. La teoría de la relatividad especial, por ejemplo, es una teoría altamente confirmada que ha pasado con éxito las pruebas experimentales más exigentes. Con todo, eso no demuestra que sea verdadera, ya que en el futuro podría resultar refutada por algún experimento todavía no ima-

ginado. Nunca podremos saber que esa, ni ninguna otra teoría, es verdadera.

Como es bien conocido, Karl Popper propuso la falsabilidad como criterio de demarcación que debían satisfacer las ciencias empíricas. Una teoría se consideraba falsable si resultaba incompatible con al menos alguna observación o experiencia o, dicho de modo más preciso, si prohibía la ocurrencia de algún evento físico (que, en caso de ocurrir, refutaría la teoría en cuestión). Las ciencias formales, como la matemática, quedaban exceptuadas del alcance de ese criterio, ya que se distinguían por el carácter analítico de sus enunciados. El criterio de Popper, de acuerdo con su autor, llevaba a la conclusión de que el psicoanálisis y el marxismo, sus ejemplos favoritos, no eran ciencias, ya que resultaban infalsables por principio. Pero el criterio parecía tener también consecuencias no deseadas porque declaraba no científicas a teorías muy exitosas como la teoría de la evolución de Charles Darwin y la mecánica cuántica, o cualquier teoría probabilista. Las teorías probabilistas son aquellas que no predicen la ocurrencia de un cierto tipo de evento en determinadas condiciones iniciales, sino solo la probabilidad de que dicho evento ocurra en tales condiciones. Los enunciados probabilistas de esta clase no tienen contraejemplos, por lo que no resultan refutables. Por otra parte, algunas pseudociencias, como la astrología o el terraplanismo, hacen afirmaciones que en principio son falsables (y muchos consideran de hecho falsadas), lo cual les concedería el estatus de ciencia. La falsabilidad, por sí sola, no puede ser ni una condición necesaria ni una condición suficiente de la científicidad. El criterio de falsabilidad todavía es muy popular entre muchos científicos, pero los epistemólogos y filósofos de la ciencia lo han descartado hace tiempo, al menos como criterio único de demarcación.

Otros criterios alternativos tampoco han tenido éxito en demarcar la ciencia de la pseudociencia. Por ejemplo, no es posible caracterizar a las pseudociencias como aquellas que hacen afirmaciones que son incompatibles con el conocimiento científico aceptado. En primer lugar, porque ese criterio ya supone la identificación del propio conocimiento científico. En segundo lugar, porque la ciencia no constituye un todo coherente y sistemático. En toda disciplina científica suelen coexistir teorías rivales que son mutuamente incompatibles, como las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz, las teorías lamarkiana y darwiniana de la evolución o la teoría del Big Bang y la del estado estable, para mencionar solo algunos ejemplos del pasado. Además, existen teorías que no son rivales, pero que se sabe que son incompatibles, como la teoría cuántica y la relatividad general, las cuales, sin embargo están muy bien confirmadas en sus respectivos dominios de aplicación.



Adobe Stock

Tampoco es posible caracterizar a las seudociencias como aquellas que emplean métodos de investigación no científicos. Nuevamente, ese criterio presupone que ya se han identificado los métodos científicos. Además, no parece que exista (o, al menos, todavía no se ha identificado) ningún método que sea común a todas las ciencias. Esto es evidente en el caso de la matemática, cuyos resultados no están sujetos a contrastación mediante observaciones o experimentos, como los de las ciencias naturales. Los métodos de la física teórica y de la psicología experimental difieren en gran medida. Por otra parte, en una misma disciplina científica se emplean métodos muy diferentes: un genetista de poblaciones que elabora modelos matemáticos o simulaciones computacionales sobre la frecuencia de un gen y un etólogo que realiza trabajos de campo observando la conducta de una comunidad de chimpancés hacen uso de métodos tan distintos que parecen tener poco en común. Sin duda, algunas seudociencias comparten aspectos metodológicos con algunas disciplinas científicas. El problema es, entonces, determinar cuántas y cuáles propiedades metodológicas son necesarias y/o suficientes como para que una disciplina sea considerada científica. La respuesta no es sencilla, ya que, dado que no todas las ciencias comparten los mismos métodos, cualquier lista de criterios metodológicos corre el riesgo de excluir algunas ciencias reconocidas o de incluir algunas seudociencias. Por lo demás, no hay todavía acuerdo entre los expertos acerca de tales criterios.

Podría decirse que todas las ciencias adoptan ciertas normas metodológicas generales como ‘seguir los dictados de la razón’ o ‘contrastar sus afirmaciones mediante la experiencia’. Pero esas normas son demasiado generales y vagas como para constituir un método que distinga a las ciencias de las seudociencias. Muchos seudocientíficos alegrarían que aceptan estas normas y que, de he-

cho, las aplican (y, en algunos casos, eso puede ser cierto). Por otra parte, ¿cuáles son los dictados de la razón que deberían seguirse? ¿Cómo deberían contrastarse las afirmaciones mediante la experiencia? Solo si se responden detalladamente estas preguntas puede decirse que se dispone de un método. Pero, lamentablemente, no hay consenso entre los especialistas acerca de ese punto y, por consiguiente, tampoco acerca de la existencia de un método que pudiera funcionar como criterio de demarcación único.

Tampoco la mera confirmación de las predicciones puede considerarse un criterio de demarcación adecuado. Muchas teorías científicas fueron aceptadas sin que sus principales predicciones novedosas hubieran sido confirmadas. La relatividad especial proporciona un buen ejemplo. La comunidad de los científicos de Alemania la aceptó tempranamente, hacia 1915, cuando ninguna de las principales predicciones originales de esa teoría había sido confirmada (en otros países, como Francia, la aceptación fue mucho más tardía). La evidencia experimental que confirmó el retardo de los relojes en movimiento, por ejemplo, recién se obtuvo en la década de 1960, mientras que la contracción de la longitud de un objeto macroscópico (como una varilla) en la dirección de su movimiento todavía no ha podido ser medida. La confirmación es una cuestión de grado: algunas teorías científicas están altamente confirmadas, mientras que otras lo están mucho menos. Resultaría, por tanto, muy arbitrario determinar un umbral de confirmación como criterio de científicidad, lo cual excluiría a una gran parte de la ciencia actual, sobre todo en la vanguardia de la investigación, cuando la evidencia confirmatoria todavía suele ser escasa. Por otra parte, algunas disciplinas consideradas seudocientíficas, como la astrología o la homeopatía, han hecho al menos algunas predicciones que resultaron confirmadas.

En la actualidad nadie cree que un único criterio pueda demarcar a las ciencias de las seudociencias, ya que no parece haber una propiedad característica que todas las ciencias, y solo ellas, tengan en común. Una estrategia alternativa sería apelar a una multiplicidad de criterios, que, en su forma más estricta, se presentarían mediante una lista en la que cada uno es una condición necesaria y todos juntos una condición suficiente de la científicidad. La dificultad con esta estrategia es que nadie ha encontrado ese conjunto de criterios. Si se lo intenta tomando como modelo una ciencia bien desarrollada, como la física, se corre el riesgo de obtener un criterio demasiado estrecho que excluya a buena parte de las ciencias, incluso de las naturales. Por ejemplo, si se considera que una condición necesaria de la científicidad es formular *leyes generales cuantitativas*, expresables mediante una ecuación o conjunto de ecuaciones, co-

mo, por ejemplo, las leyes de Newton para la mecánica o las leyes de Maxwell para la electrodinámica, entonces, ni la biología evolutiva ni la medicina o la psicología deberían ser consideradas ciencias, por no hablar de las ciencias sociales.

Muerte y resurrección del problema de la demarcación

El fracaso reiterado en la búsqueda de un criterio estricto de demarcación entre la ciencia y la pseudociencia llevó a muchos a adoptar una actitud escéptica respecto de la cuestión. Con el tiempo, los filósofos de la ciencia, sobre todo desde la década de 1960, abandonaron el problema de la demarcación e incluso algunos, como Larry Laudan, lo declararon muerto en la década de 1980. Ese diagnóstico, sin duda, resultó prematuro. El problema de la demarcación, sobre todo entre ciencias legítimas y pseudociencias, ha vuelto a resurgir con fuerza en el siglo XXI, no solo entre los filósofos, sino también entre los propios científicos. Hay varias razones importantes que explican esa resurrección.

En primer lugar, las creencias no científicas, como las mitologías religiosas, nunca han dejado de existir, pese a las ilusiones positivistas de muchos científicos y filósofos. Seguramente, las creencias metafísicas, místicas y religiosas seguirán coexistiendo con el conocimiento científico, ya que parecen satisfacer necesidades humanas profundas, como la de disponer de certezas acerca de nuestro origen y destino (algo que la ciencia, al menos en su estadio actual de desarrollo, no puede proporcionar). En la práctica, la mayor parte de la humanidad guía sus vidas mediante creencias no científicas de esta clase. En principio, tales creencias no constituyen un problema para la ciencia en tanto queden reservadas al dominio de la subjetividad de cada creyente. No obstante, se plantea un problema y una amenaza para la ciencia cuando ciertas hipótesis, basadas en creencias y doctrinas religiosas, pretenden erigirse en rivales genuinas de la ciencia, como ocurre con el creacionismo, apenas disimulado bajo el rótulo aparentemente más neutral de 'teoría del diseño inteligente'.

Otra razón la constituye la reciente proliferación de toda clase de movimientos y disciplinas organizadas que sostienen tesis contrarias o incompatibles con la ciencia vigente, como el terraplanismo o las terapias alternativas, que pretenden competir con el conocimiento científico establecido o incluso desplazarlo. Esas son las que se llaman con mayor propiedad pseudociencias. La persistencia de las pseudociencias plantea una diversidad de problemas prácticos y concretos, que están muy lejos de ser

cuestiones abstractas o teóricas reservadas a los filósofos o a las comunidades científicas. Uno de ellos es el de la financiación de la investigación, sobre todo en países de escasos recursos. ¿Deberíamos admitir que los organismos estatales y fundaciones científicas financien proyectos de investigación sobre disciplinas que se consideran pseudocientíficas? Otro problema, más importante aún, es el de la educación. ¿Aceptaríamos que las escuelas públicas enseñen esas disciplinas? ¿O que los medios de comunicación las difundan? Se trata de cuestiones de plena actualidad con profundas implicaciones políticas, económicas y sociales.

Una tercera razón, más interna a la ciencia, es la proliferación de teorías altamente especulativas que parecen, hasta el momento al menos, empíricamente incontrastables: las teorías de supercuerdas en espacios de más de tres dimensiones, la cosmología de los universos múltiples (*multiverse*) y la interpretación de los muchos mundos (*many worlds*) de la mecánica cuántica son los ejemplos más evidentes. Se trata de un problema relativamente nuevo, el de distinguir en el interior de la propia ciencia entre las teorías puramente especulativas y las teorías bien establecidas por la evidencia disponible. ¿Deberían estas teorías considerarse como proto-científicas, o incluso como ciencia marginal, hasta que se disponga de alguna evidencia nueva que las confirme? Si no se exige evidencia experimental para aceptar estas teorías especulativas, ¿por qué debería exigírsela a las pseudociencias?



Adobe Stock

¿Cómo debería defenderse la ciencia?

Un problema acuciante en la actualidad es el de la defensa de la ciencia frente a la proliferación de movimientos seudocientíficos y actitudes anticientíficas. ¿Cuál debería ser la estrategia más adecuada para defender a la ciencia de las pretensiones de legitimación de las seudociencias? Esta cuestión tiene particular importancia, ya que, de hecho, las estrategias puramente académicas parecen haber tenido escaso resultado; los numerosos libros eruditos y sofisticados escritos por científicos y filósofos contra el programa creacionista no parecen haber hecho mella alguna en las creencias de los creacionistas ni impedido la difusión organizada de la ‘teoría del diseño inteligente’. Los defensores de la ciencia, sin duda, deben replantearse sus estrategias. Insistir en el carácter evidentemente hipotético, provisorio e incierto del conocimiento científico, al que Bertrand Russell llamaba ‘un escepticismo organizado’, en ocasiones parece ser contraproducente e incluso alentar a los partidarios de las seudociencias. Pero tampoco se puede caracterizar, dogmáticamente, el conocimiento científico como un conjunto de verdades establecidas, ya que no solo no puede probarse la verdad de ninguna teoría científica, sino que tenemos abundantes ejemplos de teorías bien confirmadas en su momento que hoy han sido abandonadas o reemplazadas (como la astronomía geocéntrica de Ptolomeo). La estrategia de ignorar (o ‘cancelar’) las seudociencias tampoco es recomendable, ya que permite a sus defensores alegar que no han sido refutados y hasta defenderse afirmando que los científicos los ignoran porque en realidad no tienen argumentos que los refuten. Lo más efecti-

vo es someter las seudociencias a un examen epistemológico riguroso que haga explícitas sus fallas y debilidades empíricas, teóricas y metodológicas.

Conclusión

En general, puede decirse que en nuestros días tiende a aceptarse la idea de que los límites entre ciencia, seudociencia y no ciencia son a la vez borrosos y permeables. Si se comparan las prácticas científicas y las seudocientíficas, en vez de las normas de unas y las prácticas de las otras, la diferencia entre ciencia y seudociencia se vuelve más bien una cuestión de grado que de género. Entre las ciencias y las seudociencias existe una región que puede llamarse propiamente *ciencia marginal*. Dado el carácter abierto y dinámico de la ciencia, la búsqueda de condiciones necesarias y suficientes de la científicidad no parece en absoluto prometedora. Cualquier conjunto de criterios de esta clase probablemente quede obsoleto en poco tiempo a causa del propio desarrollo del conocimiento. No obstante, el hecho de que la frontera entre las ciencias y las seudociencias sea borrosa no implica la eliminación de la distinción entre ellas. La demarcación habrá cumplido su tarea si los dos conceptos son elucidados de manera suficientemente precisa como para identificar ejemplos incuestionables de ciencia y ejemplos incuestionables de seudociencia. En las fronteras habrá casos dudosos, donde será necesario apelar a decisiones convencionales, motivadas por la conveniencia en cada situación particular. Pero, en cualquier caso, la demarcación es indispensable para determinar qué debe investigarse, enseñarse y comunicarse a la sociedad. 

LECTURAS SUGERIDAS

HANSSON SO, 2020, ‘How not to defend science: A decalogue for science defenders’, *Disputatio. Philosophical Research Bulletin*, 9: 1-29.

MCINTYRE L, 2019, *The Scientific Attitude: Defending science from denial, fraud, and pseudoscience*, The MIT Press, Cambridge.

PIGLIUCCI M & BOUDRY M (eds.), 2013, *Philosophy of Pseudociencia: Reconsidering the demarcation problem*. The University of Chicago Press, Chicago.



Alejandro Cassini

Doctor en filosofía, UBA.

Investigador independiente del Conicet.

Profesor adjunto, FFYL, UBA.

alepfrac@yahoo.com.ar

Crossfit cerebral N.º 13

Ilusiones y juegos matemáticos

Enmendando reglas

¿Cuántas veces nos encontramos acertijos en los que se da una lista finita de números ordenados y se pregunta cuál debería ser el siguiente? Se espera que el lector encuentre una regla a la que se ajustan los números dados y que, a partir de ella, se infiera cuál debería ser el número siguiente.

Este fue el tema que abordamos en el número anterior de la revista y concluimos que *cualquier número puede ser el siguiente*. ¿Qué significa esto? Quiere decir que uno podría elegir el valor que se le ocurra como candidato a ser el siguiente número y, luego, siempre se puede construir una regla que se ajuste a todos ellos. Veremos una de las tantas formas de encontrar una regla así. Para ello vamos a retomar el mismo ejemplo que presentamos en la edición anterior, ilustrado en la siguiente imagen.



En la mayoría de los casos en los que se plantea lo anterior se espera que la persona responda que el número siguiente en la lista es el 16, ya que en la posición de la misma se encuentra el número 2^n (equivalentemente, cada número que aparece es el doble del anterior). Así, la regla 2^n nos arroja la siguiente lista ordenada:

$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^4 = 16$
$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$

Pero vimos que esta no es la única regla que describe a los números dados por nuestro primer personaje de la escena, ya que también es cierto que en la posición n de la lista se encuentra el número $n^2 - n + 2$. Según esta regla, el número que ocupa el cuarto lugar es, tal como afirmó el segundo personaje, el 14:

$1^2 - 1 + 2 = 2$	$2^2 - 2 + 2 = 4$	$3^2 - 3 + 2 = 8$	$4^2 - 4 + 2 = 14$
$n = 1$ ✓	$n = 2$ ✓	$n = 3$ ✓	$n = 4$ ✓

Pero ¿de dónde salió la fórmula $n^2 - n + 2$? Más precisamente: dada una lista finita de números, ¿cómo podemos obtener una regla que se ajuste a todos? Por ejemplo, dada la lista 1, 3, 9, 27, 81, ¿cómo encuentro una regla para que el número siguiente sea 100, π , o lo que se me ocurra? Para explicarlo, volvamos a nuestro ejemplo.

Los números dados eran 2, 4 y 8 y, ahora, estamos agregando el 14 (porque quisimos, pero podría haber sido cualquier otro). Queremos, entonces, hallar una regla que se ajuste a estos cuatro valores ordenados así: 2, 4, 8, 14.

La forma de construir la regla que vamos a ver surge de los teoremas de interpolación polinómica. En cualquier texto sobre eso se pueden encontrar las fórmulas, pero quizá resultan medio complicadas a primera vista. En su lugar, construiremos recursivamente esta regla según la cantidad de datos a los que queremos ajustarla, y observaremos la idea que hay detrás para poder extenderla.

Supongamos, primero, que queremos obtener una regla de la que se infieran solo los dos primeros números: 2 y 4. Es fácil ver que la regla $2 + 2(n - 1)$ lo cumple, pero el tercer número, el 8, ya no se ajusta a ella:

$2 + 2(1 - 1) = 2$	$2 + 2(2 - 1) = 4$	$2 + 2(3 - 1) = 6$
$n = 1$ ✓	$n = 2$ ✓	$n = 3$ ✗

Pero ¿cómo y por qué elegimos esa regla inicial? ¿Qué 'forma' tiene? El primer término modela al primer valor, mientras que el segundo tiene dos características: una es que no 'arruina' el trabajo que ya hizo el primer término, pues se anula cuando n toma el valor 1 debido a la presencia del factor $(n - 1)$. Esto hace que el primer elemento de la lista tome el valor 2, que es el término izquierdo de la fórmula. Por eso planteamos la regla con la forma

$$2 + x(n - 1),$$

donde solo falta determinar x de modo que la expresión anterior valga 4 cuando $n = 2$. Es decir, queremos que $4 = 2 + x(2 - 1)$. Al resolver, se obtiene $x = 2$.

Así, hemos encontrado una regla que se ajusta bien a los dos primeros elementos de la lista pero vimos que, cuando

$n = 3$, ya no arroja el tercer valor deseado, que era 8. ¿Cómo corregimos esto sin arruinar lo que ya logramos para los dos primeros valores? Aplicando el mismo razonamiento que antes: a la regla que obtuvimos le sumamos un término (llamado *enmienda* o corrector) que tenga dos características:

Característica 1 de la enmienda: debe anularse cuando vale $n = 1$ y también cuando vale 2, para que no arruine el trabajo ya hecho para los dos primeros elementos. Esto lo logramos agregando los factores $(n - 1)$ y $(n - 2)$. Así, la nueva regla tendrá la forma siguiente:

$$\underbrace{2 + 2(n - 1)}_{\text{Regla anterior}} + \underbrace{x(n - 1)(n - 2)}_{\text{Enmienda}}$$

Característica 2 de la enmienda: que se ajuste al tercer elemento de la lista, es decir, que haga que la regla valga 8 cuando $n = 3$. Esto lo conseguimos eligiendo un valor adecuado para x . Al reemplazar esto en la regla, nos queda

$$8 = 2 + 2(3 - 1) + x(3 - 1)(3 - 2)$$

Resolviendo un poco esta ecuación tenemos que $8 = 6 + 2x$, lo que arroja $x = 1$. Por lo tanto nuestra regla, hasta el momento, es $2 + 2(n - 1) + (n - 1)(n - 2)$. Si operamos, podemos reescribirla como $n^2 - n + 2$. Así, esta regla modela de forma correcta los tres primeros elementos de la lista y, de casualidad, también al cuarto (con $n = 4$ se obtiene 14). Entonces no debemos hacer un nuevo ajuste, y podemos afirmar que el número 14 puede ser el siguiente número en la lista 2, 4, 8, y exhibir la regla que respalda esto.

¿Qué hubiera pasado si, por ejemplo, quisiéramos imponer al número 38 como cuarto término? Deberíamos repetir el razonamiento para enmendarla sin arruinar lo hecho, por

lo que en la enmienda agregamos los factores $(n - 1)(n - 2)(n - 3)$, para no arruinar ahora los tres primeros valores que ya logramos ajustar. Para eso planteamos una nueva regla de la forma:

$$\underbrace{2 + 2(n - 1) + (n - 1)(n - 2)}_{\text{Regla anterior}} + \underbrace{x(n - 1)(n - 2)(n - 3)}_{\text{Enmienda}}$$

y determinamos el valor de modo que la expresión valga 38 cuando $n = 4$, ajustando así la regla al cuarto valor de la lista:

$$38 = 2 + 2(4 - 1) + (4 - 1)(4 - 2) + x(4 - 1)(4 - 2)(4 - 3),$$

de lo que obtiene $x = 4$. Así, la regla sería:

$$2 + 2(n - 1) + (n - 1)(n - 2) + 4(n - 1)(n - 2)(n - 3),$$

lo que se puede operar y reescribir como $4n^3 - 23n^2 + 43n - 22$.

De esta forma se puede ir enmendando una regla de modo que coincida con una cantidad finita de números dados, y con cualquier otro que se nos ocurra agregar. Por supuesto que esta no es la única forma de construir una regla que cumpla con esto, pero es una de ellas.

Desafío: hallar la regla de modo que el número siguiente a la lista ordenada 2, 4, 8 sea 20.

Quisiera terminar mencionando que, seguramente, la respuesta 'natural' es que el número siguiente a la lista 2, 4, 8 sea el 16. Más 'natural' se vuelve la regla cuanto más larga es la lista que se muestra, si es que existe un consenso sobre lo 'natural'. El objetivo de este texto es, simplemente, usar respuestas 'no naturales' como excusa para contar métodos de interpolación, que tampoco son el único camino de construcción de tales respuestas.

No hace falta enmendar reglas

1. Hay dos preguntas que los matemáticos suelen responder inmediatamente, y casi todos de forma muy similar:

Pregunta 1. ¿Qué número debería jugar a la lotería?

Respuesta 1. ¡No deberías jugar a la lotería nunca porque la esperanza matemática es negativa!

Pregunta 2. ¿Qué número continúa esta sucesión (inserte aquí alguna lista de números, por ejemplo 1, 3, 4, 6, 4, 6...)?

Respuesta 2. ¡Cualquiera! No tiene sentido esa pregunta, se puede interpolar una función (de hecho, infinitas) que en los primeros naturales valga exactamente la lista de números dada, por ejemplo 1, 3, 4, 6, 4, 6... pero que el siguiente sea cualquiera.

Voy a dejar el análisis de la primera para otra oportunidad, que no es cuestión de pelearme de golpe con todos mis colegas. Y tampoco me convence el rechazo a la segunda pregunta, en especial cuando se describe a la matemática como una ciencia que busca patrones.

2. Decía Henri Poincaré que un científico actúa como un chico que recorre una playa y analiza las piedras que encuentra. Le llaman la atención las más raras, conoce rápido aquellas muy repetidas, veía la frecuencia con la que aparecen los distintos tipos... pero no haría nada si todas las piedras fuesen distintas: ninguna le llamaría la atención al ser todas únicas. Y no tendríamos ciencia.

Poincaré se apoya en Tolstói cuando habla de esto: si uno estudia los hechos, dado que hay infinitos hechos, lo importante es cuáles se seleccionan, y con qué criterios. Debe existir

una jerarquía, y algunos serán más importantes que otros. De paso, Tolstoi descreía de la jerarquización que hacen los científicos modernos: se basa en caprichos por curiosidades inútiles, o mero utilitarismo, decía. El texto de Tolstoi arranca con una expresión en griego que podríamos traducir como 'A cada argumento le podemos emparejar otro igual', buen punto de partida para nuestro problema de las secuencias numéricas.

3. Tenemos una secuencia de números, nos preguntan cuál sigue, y podemos responder cualquiera. Hay infinitos números disponibles, y ninguno es preferible. Podríamos quedarnos inmóviles como el asno de Buridan, que enfrentado a dos fardos de pasto en direcciones opuestas muere de hambre al no decidirse por ninguno.

Jean Buridan, además de este dilema, nos dejó un gran consejo (ya que fue él quien formuló la navaja de Occam y no Occam): no multipliquemos los entes innecesariamente. En criollo, hacela fácil. Busquemos el patrón más sencillo que explique la secuencia. Y esa es la gracia de estos problemas: hallar la regla más simple que los explique.

El (infame) vestido

¿Es azul y negro? ¿O es blanco y dorado? Quien lo percibe de una forma, suele tener dificultad para concebir que alguien pueda verlo de la otra.

Pero ¿cómo es posible que una imagen estática genere una grieta en la opinión pública sobre algo tan básico como su color?

Este interrogante produjo una grieta análoga en la opinión científica, donde diferentes expertos proveyeron variadas explicaciones para este suceso. En breve abordaremos esta cuestión en detalle pero, antes, quien lea esto probablemente esté experimentando (al menos) dos dudas existenciales:

- Primero y principal, ¿cuál es el color real del vestido?
- Y segundo, si tras observar el vestido de un color, intentó visualizarlo de la otra forma, es probable que no lo haya conseguido; ¿cómo puede haber gente que lo vea, entonces, de otro color? Sobre todo, teniendo en cuenta que la imagen está constituida por píxeles de colores específicos, y que es esa la información que entra en nuestras retinas. ¿Qué está ocurriendo?

La respuesta al primer interrogante es muy sencilla: el vestido real es azul y negro. No obstante, tras la popularidad que tuvieron los diseñadores como resultado de la difusión de su imagen, decidieron producir una edición limitada, en blanco y dorado. De esta forma, y como ocurre con la imagen viral, en cierto sentido, ambas respuestas son correctas.

El segundo interrogante es mucho más interesante desde un punto de vista científico, ya que pone de manifiesto una característica fundamental de la percepción: lo que percibimos no es, pura y exclusivamente, la información que nos llega a

Pero si a uno realmente le molestan estos problemas, la mejor revancha es encontrar una segunda regla, todavía más simple que la de la solución oficial. Créanme que en más de un problema se puede. A cada argumento que explique la secuencia, traten de emparejarle otro igual.

5. Para terminar, a Adrián Paenza no le gustaban estos problemas. Sin embargo, creo que el problema más lindo que podemos encontrar en sus libros, notas o programas de televisión es descubrir el número tachado en la siguiente secuencia: 06, 68, 88, X, 98...

Decía Paenza que los chicos coreanos de primaria podían resolverlo. Y los adultos, profesionales de mil disciplinas incluyendo doctores en matemáticas, no.

6. Esto sigue brevemente en las soluciones, pero primero intente con estas dos secuencias:

- a) 06, 68, 88, X, 98... ¿cuál va en lugar de la X y por qué?
- b) 1, 3, 4, 6, 4, 6... ¿cuál es el próximo entero y por qué?

través de los sentidos, sino que el cerebro procesa esa información de diferentes formas, modificándola a partir de diversos factores (como la experiencia previa). Esto mismo se pone de manifiesto en todas las ilusiones de percepción, y es materia continua de estudio y debate en la comunidad científica.

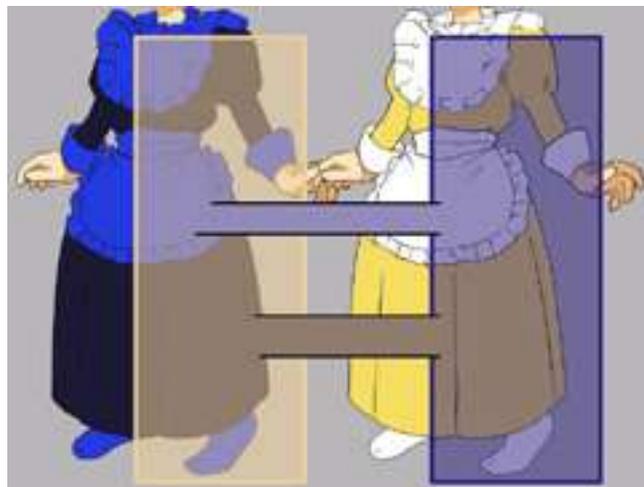
En este caso, tan solo tres meses transcurrirían desde la viralización del vestido hasta que fuera publicado un estudio científico que arrojaría 'algo de luz' sobre el extraño suceso: la iluminación que nuestro cerebro infiere al observar la imagen es clave para construir nuestra percepción de sus colores. Para ver esto, los autores decidieron modificar artificialmente esta iluminación, de modo de acentuar o bien una tonalidad más azulada (como un vestido que se observa bajo la luz natural del día), o bien una más amarillenta (como ocurriría con muchas luces artificiales presentes en hogares y negocios). El resultado fue claro: la gran mayoría de las personas percibió el vestido como blanco y dorado en el primer caso, y como azul y negro en el segundo.



Profundizando en este punto, otro estudio posterior mostró que aquellas personas que son 'alondras matutinas' (es decir, que se levantan y acuestan más temprano de forma natural) tienen más probabilidad de interpretar la imagen como un vestido blanco y dorado. En cambio, los 'búhos nocturnos' -personas que se levantan y acuestan bien tarde- lo perciben azul y negro, en concordancia con la iluminación artificial a la que están más acostumbrados.

Y si todavía tiene dificultad para creer que el vestido puede ser percibido de una forma totalmente diferente, la siguiente imagen puede que acabe por convencerlo. A la derecha, tenemos un vestido blanco y dorado, pero con una mitad bajo una sombra azulada; a la izquierda, el mismo vestido, esta vez azul y negro, con una mitad bajo una luz amarilla. Las líneas horizontales nos muestran que la tonalidad amarilla en sombra azulada es equivalente a la tonalidad negra en luz amarilla y, de igual forma, la tonalidad blanca en sombra azulada resulta idéntica a aquella azul en luz amarilla.

Esto pone de manifiesto cómo, con las mismas tonalidades, es posible tener dos interpretaciones totalmente diferentes, en función del contexto circundante. Más aún, si bien



uno puede estar completamente seguro de su forma de ver las cosas, puede acabar sorprendiéndose al descubrir que otras personas lo ven de una forma por demás diferente, y que, en muchos casos, ambas interpretaciones pueden ser acertadas.

Soluciones

Enmendando reglas

La regla es $n^3 - 5n^2 + 10n - 4$.

No hace falta enmendar reglas

a) Si rota la revista, verá los números: 86, X, 88, 89, 90, y ahora puede poner cualquiera de los infinitos números posibles en lugar de la X. Si se lo preguntan en un test psicológico, por ejemplo para renovar el carnet de conducir, le sugiero fuertemente que diga el 87.

b) Sigue el 4 (y luego un 6, otro 4, otro 6, indefinidamente). Esto siempre y cuando cada número indique la cantidad de letras del anterior. Pero no me extrañaría que alguien que se dedique a la estadística haga regresión lineal, redondee, y concluya que el 5 es el siguiente entero. Y si recalcula agregando ese valor, aparecerá otro 5, y así indefinidamente. Bueno, la recontra: 5 tiene cinco letras... la regla de la cantidad de letras del anterior se cumple con una única excepción, nada mal. Mucho peor es 'overfitear' interpolando. ¡Eso nunca!

Equipo de la sección 'Ilusiones y juegos matemáticos'

Federico Barrera Lemarchand

Físico, UTD, UBA-Conicet.
fedex192@dm.uba.ar

Marilina Carena

Matemática, UNL-Conicet.
marilcarena@gmail.com

Giulia Solange Clas

Bióloga, INEU, FLENI-Conicet.
clas.giulia.s@gmail.com

Nicolás Fernández Larrosa

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

Pablo Groisman

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

Matías López-Rosenfeld

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

Mariano I Martínez (coordinador)

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

Juan Pablo Pinasco

Matemático, UBA-Conicet.
jpinasco@gmail.com

Nicolás Pírez (coordinador)

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

Alfredo Sanzo

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

Nicolás Sirolli

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

Preguntas, comentarios
y sugerencias:

contacto@cienciahoy.org.ar

SUSCRIBITE A CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

¡NO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!



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

Tel (011) 4961 1824

chicos@cienciahoy.org.ar

 CHicosdeCienciaHoy

 @chicosdecienhoy



¿Cómo acercarte a la ciencia en tres pasos?



1 visitá

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

2 sumate

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



3 seguinos

por Twitter a través de [@nex_ciencia](https://twitter.com/nex_ciencia)

nexciencia.exactas.uba.ar