# CIENCIA HOY

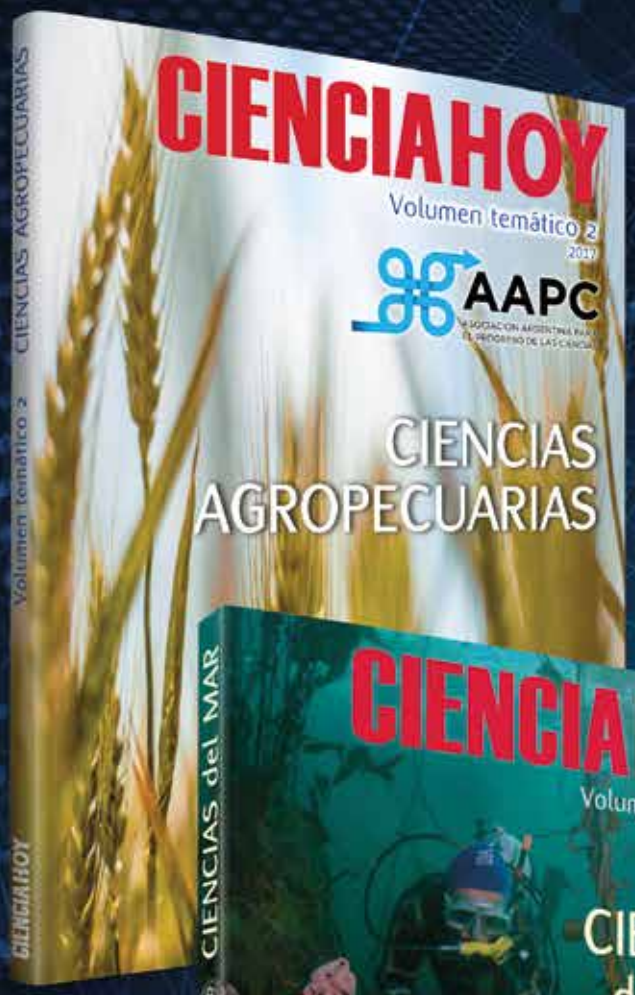
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy
Volumen 30 número 175 abril - mayo 2021
Ejemplar en la Argentina $400

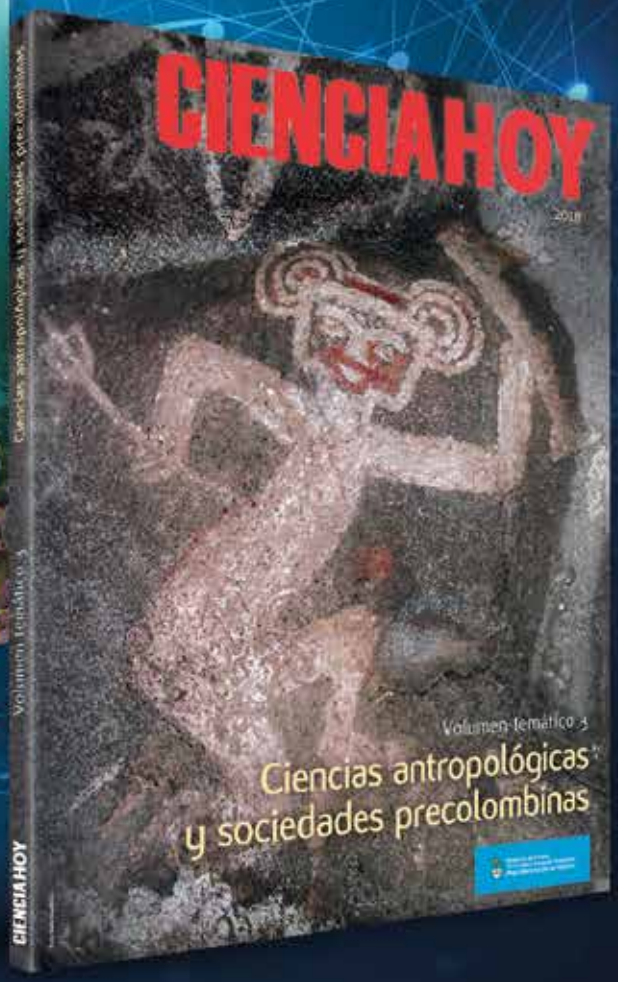
# Mundos africanos

¿Qué es el envejecimiento demográfico?

Origen de las formas biológicas

Mamíferos centinela






CIENCIA HOY

CONTINÚA CON SUS VOLÚMENES TEMÁTICOS

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

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

# CIENCIA HOY

Fundada en 1988

**Propietario:** ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

**Director:** Aníbal Gattone



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



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

***cienciahoy.org.ar***



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

## Editores responsables

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

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

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

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

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

**Aníbal Gattone**
Universidad Nacional de San Martín

**Karina V Mariño**
Instituto de Biología y Medicina Experimental, Conicet

**Mariano I Martinez**
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

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

**Santiago Francisco Peña**
Instituto de Historia Antigua y Medieval. UBA-Conicet

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

**Roberto R Pujana**
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

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

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

## Consejo científico

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

**Secretaría del comité editorial**
Paula Blanco

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

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



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

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

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

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

ISSN 0327-1218
N° de registro DNDA 75312285

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

**Corrección**
Mónica Urrestarazu

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


## ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

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


## COMISIÓN DIRECTIVA

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



MECENAZGO

*www.facebook.com/RevistaCienciaHoy*

*@revistacienciahoy*

*@CienciaHoyOK*

*Ciencia Hoy agradece el apoyo del Conicet y del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Esta revista aparece merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe –ni ha recibido en toda su historia– remuneración económica.*

# Sumario

**Abril - mayo 2021**
Volumen 30 - número 175

EDITORIAL

**4** Debates sobre la exención de patentes de invención en pandemia

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

**6** Volumen 6, número 33 - 1996

**8** GRAGEAS

ARTÍCULO

**10** Tortugas y arcosaurios en los inicios del Mesozoico

Julia B Desojo, Juliana Sterli y Lucas Fiorelli

Durante el Triásico, además de los dinosaurios, vivieron tortugas y arcosaurios basales en el actual territorio argentino. En la cuenca geológica Ischigualasto-Villa Unión se encontró una gran diversidad de varios de ellos en excelente estado de preservación. Estos grupos de reptiles no voladores se desarrollaban principalmente en ambientes terrestres y de agua dulce y solo algunos de sus descendientes llegaron a la actualidad, como las tortugas y los cocodrilos.

ESPACIO INSTITUCIONAL DEL CONICET

**16** Ciencia en tu vida

ENTREVISTA

**20** 'Es posible pensar la historia desde África'

Entrevista con François-Xavier Fauvelle (Colegio de Francia)

Fauvelle explica los progresos que ha habido en las últimas décadas respecto del estudio de la historia africana a partir de sus propias fuentes, tradiciones orales y restos materiales.

ARTÍCULO

**25** Parásitos en el intermareal: una potencial zoonosis

Florencia Cremonte, Carmen Gilardoni y Nuria Vázquez

El ambiente intermareal alberga un gran número de especies parásitas. En el artículo se presenta el ciclo de vida de una especie de trematode que involucra tres hospedadores para completarse. El estudio de este ciclo, conocer a los hospedadores donde se desarrollan los diferentes estadios larvales y el ambiente en el que viven nos previenen sobre potenciales enfermedades zoonóticas.

ARTÍCULO

**31** Sonic Hedgehog y el origen de las formas biológicas

Nara Guisoni, Paula Bergero y Luis Diambra

El desarrollo de formas y patrones espaciales durante la embriogénesis está controlado por proteínas, llamadas morfógenos, distribuidas en el espacio y el tiempo en una manera muy precisa. Sonic Hedgehog es una de las proteínas más importantes de la morfogénesis en el reino

ASTRONOMÍA

## Guía del cielo nocturno, N.° 49 julio-diciembre 2021

Jaime García

Accedé a la guía online con este link:
cienciahoy.org.ar/guia-del-cielo-nocturno-numero-49-julio-diciembre-2021/
o usando el código QR

animal ya que está involucrada en procesos como la organización del cerebro, la formación de las estructuras rostrales o el crecimiento de las extremidades y falanges. Las malformaciones congénitas nos dan pistas acerca del funcionamiento de estos genes durante el desarrollo y nos permiten estudiar procesos biológicos básicos.

ARTÍCULO

39 **Entre pirámides y obeliscos de población: nuevas miradas al envejecimiento en la población**

Alfredo E Lattes

¿Envejece una población? ¿Cuándo? El enfoque demográfico convencional consiste en fijar una edad arbitraria de comienzo de la vejez y medir la fracción de esta población respecto de la total. Sin embargo, una población con una expectativa de vida mucho más alta que otra ¿puede llamarse más vieja? ¿Puede tomarse a una población como un organismo y asignarle el rótulo de ´vieja´?

ARTÍCULO

45 **Los mamíferos marinos como centinelas de la salud del océano**

Iris Cáceres-Saez y Humberto Luis Cappozzo

La contaminación de los océanos, especialmente en las áreas costeras, está creando trastornos cada vez mayores en prácticamente todo el mundo. Su análisis y medición constituye un desafío para los investigadores de los fenómenos marinos que constatan, por diversos métodos, los efectos de los contaminantes en los organismos que viven en aguas dulces o de mar, entre ellos la tonina overa, estudiada por biólogos del Museo Bernardino Rivadavia.

ARTÍCULO

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

Gabriela Facciuto y Verónica Bugallo

Por mejoramiento genético se generan nuevas variedades de plantas buscando determinadas características. En el caso de *Alstroemeria*, un género de plantas ornamentales, se realizan cruzamientos de variedades comerciales con especies nativas de la Argentina. Se cultivan *in vitro* y el público selecciona las variedades de mayor interés ornamental para la industria florícola.

ARTÍCULO

56 **Enfriando con el calor del sol**

Ernesto Cyrulies y Andrés Sartarelli

Las heladeras solares no son cosas nuevas. Sin embargo, sabemos poco de ellas y de cómo funcionan. Los tecnólogos que trabajan en la UNGS nos adelantan el estado y las perspectivas de la tecnología de 'enfriar con el Sol'.

MATEMÁTICA, ILUSIONES Y HUMOR

60 ***Crossfit* cerebral N.° 7**

**Imagen de tapa:** mapa de África inspirado en Ptolomeo, por Sebastian Münster, 1554. Wikimedia Commons.

# Debates sobre la exención de patentes de invención en pandemia

*Los editores convocaron para este número a Vanesa Lowenstein, investigadora y docente del Centro de Estudios Interdisciplinarios de Derecho Industrial y Económico de la Facultad de Derecho de la UBA, y de la FLACSO Argentina. El editorial se basa en un trabajo publicado por la autora en el sitio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en colaboración con Elisa Herrera y Nicolás Hermida.*

**Introducción: derecho a la salud, emergencia sanitaria y patentes**

En una comunicación del 2 de octubre de 2020, India y Sudáfrica propusieron a los miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC) que 'aúnen esfuerzos para que los derechos de propiedad intelectual (DPI) como las patentes, los dibujos y modelos industriales, el derecho de autor y la protección de la información no divulgada, no obstaculicen el acceso a productos médicos asequibles, como vacunas y medicamentos, ni la intensificación de las actividades de investigación, desarrollo, fabricación y suministro de productos médicos esenciales para luchar contra la COVID-19'. En concreto, el documento propone una exención 'a las obligaciones respecto de ciertos derechos de propiedad intelectual que debe continuar hasta que se aplique la vacunación generalizada a nivel mundial, y la mayoría de la población del mundo haya desarrollado inmunidad'.

Con esta base, el 25 de mayo de 2021, varios países propusieron un texto donde se establece una vigencia de al menos tres años para hacer efectiva la exención. 'Se eximirá a los Miembros de la obligación de ejecutar o aplicar las secciones 1, 4, 5 y 7 de la Parte II del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC), o de hacer cumplir esas secciones en virtud de la Parte III del Acuerdo sobre los ADPIC, en relación con los productos y tecnologías de la salud, incluidos los medios de diagnóstico, los tratamientos, las vacunas, los dispositivos médicos, el equipo de protección personal, sus materiales o componentes y sus métodos y medios de fabricación, destinados a la prevención, el tratamiento o la contención de la COVID-19'.

Esta no es la primera vez que, a nivel mundial, se desafía al sistema multilateral de propiedad intelectual. Ya en noviembre de 2001 los gobiernos miembros de la OMC adoptaron por consenso la declaración relativa al acuerdo sobre los ADPIC y la salud pública (Declaración de Doha). La Declaración expresaba que el Acuerdo no debía impedir que los gobiernos miembros de la OMC adoptasen medidas para proteger la salud pública. Asimismo, reafirmaba el derecho de aquellos de utilizar al máximo las disposiciones que preveían flexibilidad, y disponía que el Acuerdo debía ser interpretado y aplicado de manera que apoyase el derecho de los miembros de la OMC de proteger la salud pública y, en particular, de promover el acceso a los medicamentos para todos. La Declaración de Doha establecía, además, que cada miembro tenía el derecho de determinar lo que constituyera una emergencia nacional u otras circunstancias de extrema urgencia, y que las crisis que afectaban a la salud pública, como el VIH/sida, la tuberculosis, el paludismo y otras epidemias, pudieran considerarse situaciones de esa naturaleza.

**Diferencia entre exención (*waiver*) y licencia**

Respecto del derecho de patentes, existen actualmente dos tipos de licencias permitidas en los tratados internacionales y en la legislación de la mayoría de los países, incluida la Argentina. Las licencias voluntarias, que operan cuando el titular de una patente de invención autoriza voluntariamente a un tercero a utilizar su invento y negocia libremente los términos y las condiciones de uso del desarrollo; y las licencias obligatorias, que ocurren en situaciones de emergencia nacional o extrema urgencia (también hay otros usos permitidos como falta de explotación, prácticas anticompetitivas, dependencia de patentes, uso público no comercial o razones de interés o utilidad pública) cuando el Estado (Administración Pública) autoriza el uso del invento a un tercero por razones de salud o utilidad pública y se le abona una remuneración adecuada.

Estas situaciones ya están previstas en los acuerdos multilaterales, en los tratados de libre comercio y en la legislación nacional. Sin embargo, las licencias obligatorias se utilizaron pocas veces, no tanto por razones legales sino por cuestiones políticas –el país con una empresa perjudicada amenaza con aplicar sanciones comerciales– o bien por falta de capacidad científico-tecnológica o bien por interdependencia en cuanto a insumos para fabricar la totalidad de los medicamentos o vacunas. Además, los países deben analizar y regular cada licencia individualmente, y solo operan respecto del derecho de patente sin alcanzar a las otras categorías de propiedad intelectual.

Una exención, en cambio, opera de manera automática y es para todos los países en simultáneo y para todos los derechos de propiedad intelectual. Asimismo, valida

políticamente a quien la quiera implementar y suspende la aplicación del Acuerdo sobre los ADPIC en relación con los derechos de propiedad intelectual que involucren componentes, medicamentos, tecnologías médicas, vacunas y todo otro invento o dispositivo asociado al tratamiento de la COVID-19. Dentro de este contexto, el análisis de esta propuesta y el margen de maniobra que brinda a los Estados para resguardar y garantizar el derecho a la salud de la población se torna esencial.

Cabe aclarar que este tipo de acuerdos internacionales obliga a los Estados (países) y no a las empresas. Es decir, de prosperar la exención, los Estados deberían suspender localmente los efectos de patentes y otros DPI para todos los medicamentos, tecnologías y vacunas asociadas a la pandemia. Esto podría derivar, en principio, en una escalada de litigios respecto de si la tecnología se vincula o no con la COVID y si se enmarca dentro del alcance de la exención. Se podría cuestionar el alcance de la medida y la posible expropiación, entre otras cosas. Sin embargo, esta opción parece ser mucho más eficaz que las licencias obligatorias, que operan caso por caso, y podría permitir que varios actores ingresaran como oferentes de vacunas y tecnologías facilitando el acceso a mayor cantidad de personas, a precios asequibles.

**Receta, ingredientes y brecha tecnológica**

Levantar las patentes o cualquier otro DPI que dificulte el acceso y la disponibilidad de vacunas a la mayor parte del mundo puede parecer necesario, pero no suficiente. Existen otras limitaciones que impiden que las vacunas y los productos médicos sean más accesibles: barreras científico-tecnológicas, legales (marcos regulatorios), económicas, técnicas, de estándares sanitarios y hasta dificultades en conseguir compuestos e insumos necesarios para fabricar el producto final.

Al principio de la pandemia se creó la expectativa de cooperación entre países y empresas sin pujas desiguales, un movimiento hacia la apertura del comercio y el conocimiento utilizando sistemas abiertos de innovación –donde se comparten datos, información y conocimiento– en vez de utilizar la exclusividad por patentes y otros DPI que excluyen a terceros del uso del conocimiento. Compartir en vez de competir. Esto, sin embargo, encontró limitaciones. Levantar las patentes puede asimilarse a la provisión de la lista de ingredientes para la preparación de un plato sin divulgar la receta. Hay países –como el nuestro– que tienen las capacidades científico-tecnológicas necesarias para desarrollar su propio *know how* y elaborar pero, al igual que la mayoría, aún somos interdependientes en cuanto ciertos insumos, ya que todos los Estados y las empresas demandan los mismos principios activos en simultáneo.

Poner a punto una fábrica, cumplir con los estándares regulatorios de ANMAT, obtener o producir los insumos y llegar hasta el producto final, sea para esta vacuna o cualquier otra tecnología médica, requiere no solo el levantamiento de los DPI sino capacidades tecnológicas, conocimiento, recursos humanos y financieros suficientes. En otras palabras, se requiere acortar la brecha tecnológica. Todo el proceso lleva tiempo y recursos, y es por eso que en el corto plazo también se requiere de la solidaridad y cooperación entre países para superar la pandemia. Dadas estas circunstancias, se impone la pregunta: ¿actúan los DPI en general –y las patentes en particular– como instrumentos que amplían o acotan la brecha tecnológica? Si, en vez de promover la innovación, los DPI y las patentes se utilizaran de manera abusiva o como reaseguro a la inversión, ¿acaso el eje debería focalizarse en la transferencia tecnológica y el acceso y no en el registro de los DPI? La pregunta es más urgente en los países donde la I+D es mayormente pública, como el nuestro y la mayoría de los países en desarrollo.

**Consideraciones finales: geopolítica y acceso**

Mejorar el acceso, la competencia y la tasa de innovación a través de sistemas abiertos que permitan compartir datos e información en tiempo real, y habiliten a los diferentes laboratorios y grupos de investigación a utilizar y basarse en conocimiento generado por otros, podría promover el acceso a vacunas y a la vez permitiría dar respuesta a diferentes cepas más rápidamente. La velocidad de reacción de una empresa o laboratorio, por más recursos que tenga, difícilmente pueda acercarse a la de miles de personas que suman conocimiento y datos en busca de respuestas a la COVID-19.

Frente a las dificultades que presentan los DPI como mecanismo para generar innovación en tiempos de pandemia y brindar acceso a las vacunas, y por lo tanto a la salud pública de las poblaciones, parece legítimo plantear los siguientes interrogantes:

¿Cómo hacer para que funcione con mayor eficiencia el mecanismo COVAX de colaboración mundial para acelerar el desarrollo, la producción de pruebas, tratamientos y vacunas contra la COVID-19 y para garantizar el acceso equitativo a ellos?

¿Cómo promover la cooperación científico-tecnológica y los sistemas abiertos de innovación?

¿Qué marcos regulatorios promueven la innovación y cuáles la transferencia de tecnología?

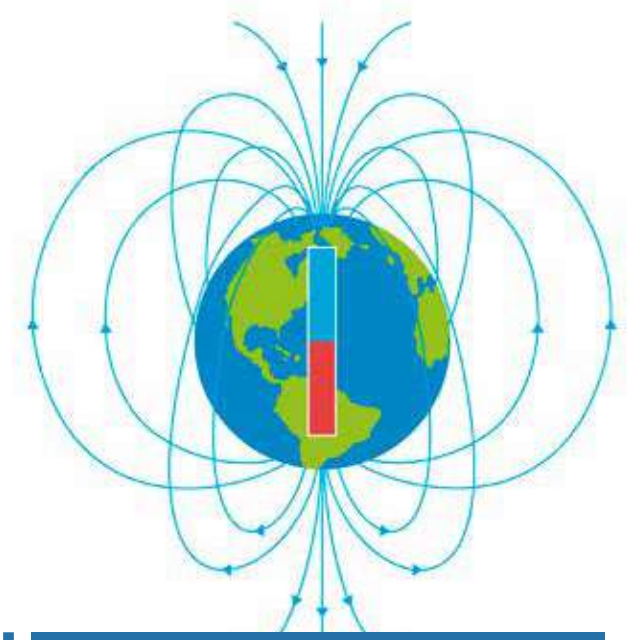
¿Se requiere la intervención de Estados activos y emprendedores que guíen el proceso?

¿En qué foro internacional deberían debatirse y regularse estos temas? ¿Cuál es el límite de los acuerdos comerciales y los derechos de propiedad intelectual?

¿Hay un solo sistema que dé respuesta a países y situaciones tan desiguales y diferentes? CH

*Los documentos de la Organización Mundial de Comercio pueden encontrarse en docs.wto.org/dol2fe/Pages/FE_Search/FE_S_S005.aspx*

# HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY



## EL ENIGMA DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

DIEGO HURTADO DE MENDOZA

Evidencias recientes ponen en duda la teoría más difundida sobre el magnetismo terrestre, pero no parecen existir explicaciones alternativas satisfactorias.

## LÁSERES DE RAYOS X

MARIO MARCONI

Recientes experimentos permiten suponer que pronto será posible contar con emisores de láser que se valgan de radiación electromagnética de longitud de onda muy inferior a la de la luz visible, con importantes ventajas para diversas ramas de la ciencia y la tecnología

## ÉTICA E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Discusión de las normas de la investigación científica y su aplicación a las condiciones vigentes en la Argentina.

## FÁRMACOS NATURALES

Novedosas formas de cooperación entre la ciencia y la industria permitirían un mejor y más rápido aprovechamiento de los productos naturales obtenidos de seres vivos y, simultáneamente, generar recursos que servirían tanto para financiar los estudios como para proteger la biodiversidad.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

## JUGOS DE FRUTA SIN METANOL

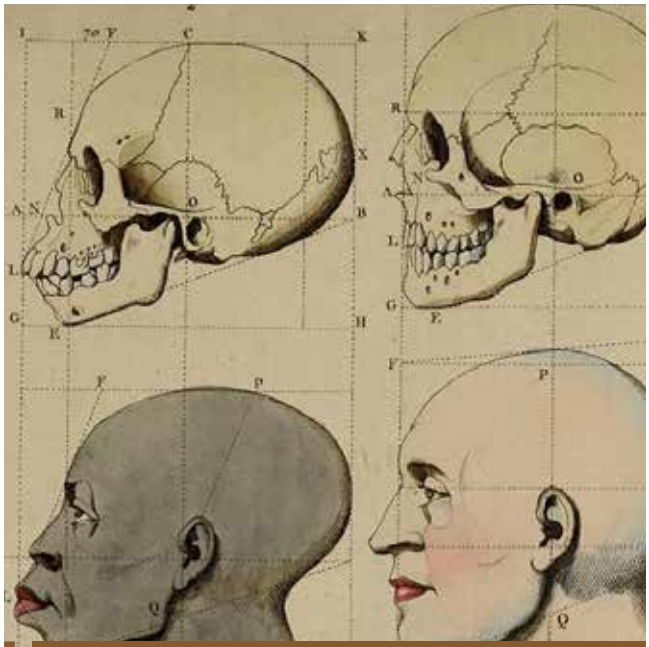
SILVIA A CAMPERI, AGUSTÍN NAVARRO DEL CAÑIZO, ROQUE A HOURS, RUTH M AUDAY, MARÍA V MIRANDA Y OSVALDO CASCONE

Los jugos de frutas que se encuentran en las estanterías de los supermercados se suelen tratar con pectinasas, enzimas que plantean ciertos problemas biotecnológicos. Algunas de ellas, además, producen alcohol metílico, que contamina el zumo y puede ser dañino para la salud.

## FÍSICA MÉDICA Y BIOINGENIERÍA

VERÓNICA GRÜNFELD

Panorama general de los avances mundiales en un campo científico y tecnológico en rápido crecimiento.



## CIENCIA, RAZA Y RACISMO EN EL SIGLO XVIII

EDUARDO BITLLOCH

Las raíces dieciochescas de las ideas racistas.

El nacimiento de taxonomías raciales se remonta al siglo XVIII, básicamente por la expansión masiva de plantaciones esclavas en el Caribe. El rasgo singular del concepto de raza de la Ilustración es la consideración de la identidad racial como algo fijo alrededor de una característica superficial fenotípica: el color de piel. En el Caribe holandés, británico y francés las plantaciones comenzaron a organizarse como empresas de economía de escala, con división del trabajo, gangas dedicadas a un solo tipo de movimiento y función. Este tipo de empresa demandaba violencia y supervisión, tarea de la cual también se ocupaban los blancos más pobres, hasta entonces muchos de ellos sirvientes. La diferencia entre blancos y negros se hizo más profunda y más difícil de franquear. Esclavos que solían ser de diversos colores y orígenes étnicos ahora tendían a ser exclusivamente población negra africana. En muchas de estas colonias, la posibilidad de ser negro y a la vez libre se volvió progresivamente inviable. Por otra parte, la expansión del consumo de azúcar, índigo o café en los mercados internos del Viejo Mundo reforzó el desarrollo de la plantación capitalista esclava y alimentó la propensión europea a crear taxonomías raciales donde el blanco europeo apareciera en la cúspide y el negro africano en la base.

# Creando soles en la Tierra

En noviembre de 2020 los medios periodísticos del mundo se hicieron eco de la información distribuida por los responsables científicos del experimento surcoreano KSTAR, también conocida como el sol artificial coreano. Se había conseguido mantener el *plasma* producido en su interior a una temperatura de 100 millones de grados centígrados durante 20 segundos. Esto que parece un tiempo muy corto es, en realidad, un récord y constituye un paso más en el desarrollo de la fusión nuclear controlada como fuente de energía abundante, limpia y segura. Es importante aclarar que los resultados todavía no han sido evaluados por expertos independientes y publicados en revistas internacionales dedicadas al tema.

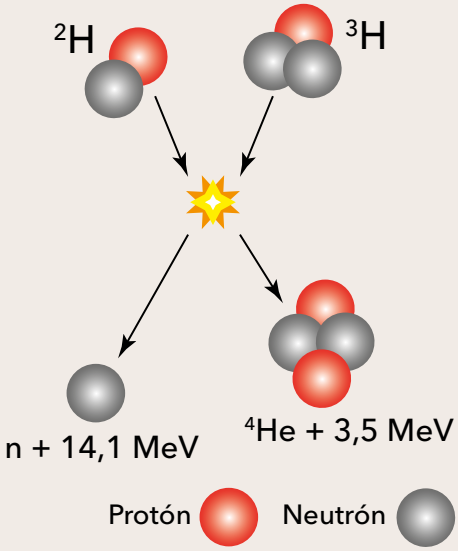
La fusión nuclear es el proceso responsable de la producción de energía en las estrellas, incluyendo nuestro Sol. En ella se unen –fusionan– dos núcleos de átomos livianos para producir uno más pesado y otras partículas. Durante este proceso una pequeña cantidad de materia se transforma en energía cinética de los productos de la reacción, que adquieren altas velocidades. Parte de esa energía se deposita en el combustible, evitando que se enfríe, y el resto puede ser utilizada para producir electricidad. La fusión nuclear no debe confundirse con la fisión nuclear, que es el proceso utilizado en las centrales nucleares actualmente en operación en la Argentina, como Atucha y Embalse. En la fisión, el núcleo de un átomo pesado se rompe –fisiona– en varios fragmentos y se produce la transformación de una pequeña cantidad de materia en energía.

El interés en desarrollar la fusión nuclear controlada como fuente de energía se debe a la existencia de cantidades prácticamente ilimitadas de combustible y a las ventajas que esta posee respecto de la fisión en lo referente a seguridad y producción de desechos radiactivos. Los productos de las reacciones de fusión consideradas para la producción de energía eléctrica no pueden utilizarse para fabricar armas nucleares y no deben ser enterrados durante miles de años. Eligiendo adecuadamente los materiales con que se construye el reactor también es posible evitar que los neutrones generados en las reacciones de fusión produzcan residuos que permanezcan radiactivos durante mucho tiempo.

En las reacciones de fusión participan dos fuerzas, la eléctrica y la nuclear. La fuerza eléctrica actúa hasta grandes distancias y hace que los núcleos, que tienen carga positiva, se repelan. La fuerza nuclear solo actúa a distancias extremadamente cortas y hace que los núcleos se fusionen. Por lo tanto, para que se produzcan reacciones de fusión es necesario vencer la repulsión eléctrica y acercar los núcleos lo suficiente como para que la fuerza nuclear pueda actuar. Esto se consigue haciendo 'chocar' los núcleos a gran velocidad. Una forma de conseguir estas velocidades es calentar el combustible a muy altas temperaturas.

A estas temperaturas –millones de grados centígrados– los choques hacen que los átomos se rompan (ionicen), separándose en iones (carga positiva) y electrones (carga negativa). Por lo tanto, el medio en el que se producen las reacciones de fusión es una mezcla de iones y electrones a muy alta temperatura. A esto se lo denomina un 'plasma' –cuarto estado de la materia–, que no debe confundirse con el plasma sanguíneo. Para evitar que el plasma de alta temperatura toque las paredes del reactor se utilizan campos magnéticos de gran intensidad producidos por corrientes eléctricas.

La reacción de fusión más fácil de producir, la que requiere menor temperatura, es la fusión de un núcleo de deuterio (D) con uno de tritio (T). Esta produce un neutrón y un núcleo de helio (partícula alfa). Tanto el D como el T son isótopos del hidrógeno (H). El D es muy abundante ya que puede extraerse del agua de mar. El T prácticamente no existe en estado natural y deberá ser producido dentro del reactor a partir de litio (Li). Hay muchas otras reacciones de fusión posibles. Por ejemplo, la energía de las estrellas se produce generalmente mediante ciclos de reacciones (varias reacciones encadenadas), siendo el más conocido el del hidrógeno.




Fusión de un núcleo de deuterio con uno de tritio para crear un núcleo de helio-4, liberar un neutrón y entregar una energía cinética de estos productos de 17,6 MeV (1 MeV, megaelectronvoltio, es una medida de energía equivalente a unas 2 veces la masa del electrón, usando la relación $E = mc^2$).

El objetivo de las investigaciones realizadas en Corea del Sur, y en muchos otros países, es desarrollar un reactor que produzca electricidad a partir de la energía liberada en las reacciones de fusión. Para que las reacciones de fusión produzcan suficiente cantidad

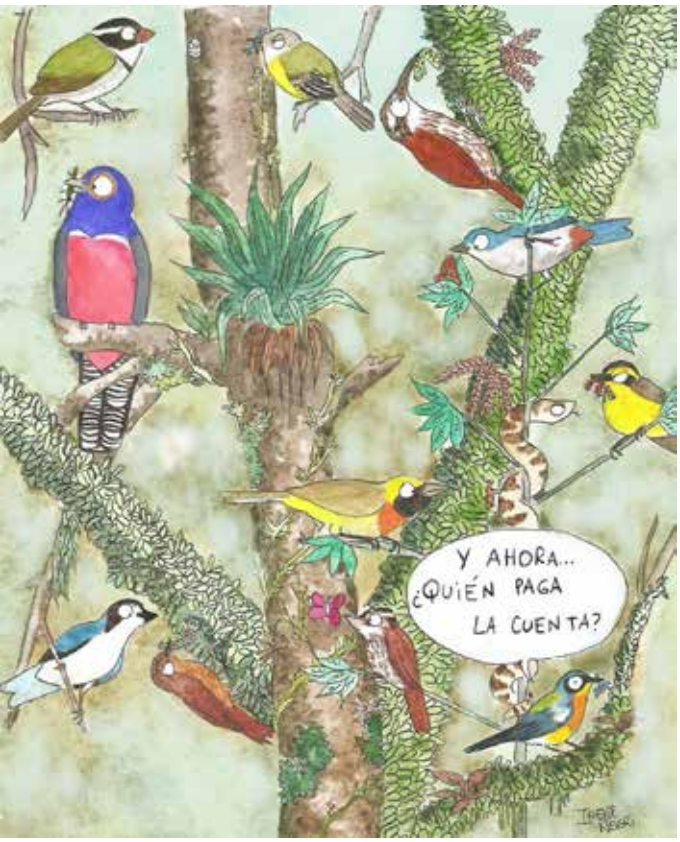
de energía, mucha más que la utilizada para calentar el combustible, es necesario que se cumplan varias condiciones. Una de ellas es que la temperatura del combustible se mantenga entre 100 y 200 millones de grados centígrados. Las otras se relacionan con la densidad del plasma (cuyo valor en KSTAR no fue informado) y con la tasa de pérdida de energía del plasma, que depende fundamentalmente del tamaño del dispositivo. Otros experimentos de fusión han alcanzado temperaturas de 100 millones de grados y aún superiores, pero no han podido sostenerlas durante tanto tiempo como KSTAR.

El KSTAR es uno de los pocos dispositivos en operación que utiliza bobinas fabricadas con cables superconductores para producir el campo magnético. Esto permite sostener las altas corrientes necesarias durante mucho más tiempo sin que se recalienten los cables. Los materiales utilizados en los cables de KSTAR requieren temperaturas extremadamente bajas (-269°C) para comportarse como superconductores y no pueden utilizarse para producir campos magnéticos demasiado intensos. Esto complica y encarece el diseño y la operación de un reactor que utilice estos materiales.

El KSTAR y los demás experimentos actualmente en operación son demasiado pequeños para alcanzar todas las condiciones necesarias para producir grandes cantidades de energía por fusión. Por ello, se constituyó un consorcio internacional en el que participan 35 países para construir un dispositivo mucho más grande, conocido como ITER (Reactor Termonuclear Experimental Internacional). En ITER participan la Unión Europea (incluyendo Suiza y el Reino Unido), Japón, Rusia, China, Estados Unidos, Corea del Sur e India. El objetivo de ITER, cuya construcción ya superó el 50%, es producir 500 megavatios (MW) de potencia y mantener las reacciones de fusión durante al menos una hora (eventualmente en forma continua). En ITER se probarán todos los componentes necesarios para un reactor comercial y se producirá al menos diez veces más potencia que la empleada para calentar el combustible. El paso siguiente sería un reactor comercial de demostración.

En ITER se utilizarán cables superconductores del mismo tipo que los empleados en KSTAR. Recientemente se ha conseguido producir cables utilizando materiales que son superconductores a temperaturas más altas (entre 20 y 70°C mayores) y pueden soportar campos magnéticos más intensos. Esto abre la posibilidad de desarrollar reactores más compactos y económicos. CH

**Ricardo Farengo**
farengo@cab.cnea.gov.ar




## BANDADA MIXTA

Si te gustan las aves, al caminar por un bosque o una selva, una de las cosas más lindas que te pueden pasar es cruzarte con una bandada mixta. Una bandada mixta (abreviada como bmx) es un grupo de varias especies de aves desplazándose juntas y alimentándose. Por convención, para ser bmx, debe cumplir las siguientes condiciones: un mínimo de tres individuos de al menos dos especies distintas, moviéndose juntas por al menos cinco minutos y con una distancia no mayor a diez metros entre cada individuo. Además, el alimento no debe provenir de una única fuente (por ejemplo, chingolos, palomas y torcazas comiendo migas no serían una bmx).

Además del motivo fundamental de que salir a comer con amigos siempre es divertido, pertenecer a una bmx favorecería a sus integrantes porque, al volar juntos, van haciendo volar bichitos a su paso, de los cuales se alimentan. Otra ventaja es que dentro del grupo existen pájaros-alarma, que avisan cuando aparecen depredadores, y que, entre todos los integrantes, pueden hacerle *mobbing* (una especie de *bullying* entre animales).

Las bmx son muy interesantes por varios motivos, por ejemplo:

- Hay especies líderes que dirigen a la bmx. Al parecer, uno de los más comunes, en las bmx de las yungas, es el pitiayumi.
- Algunas de las especies que funcionan como vigías a veces mienten y asustan a los demás para quedarse con la mejor comida.
- En Amazonia anillaron a una bmx y descubrieron que sus individuos pasaron juntos aproximadamente diez años.

En el dibujo, se ve una bmx típica de las yungas con las siguientes especies de aves: saí celeste (*Conirostrum speciosum*), frutero cabeza negra (*Nemosia pileata*), sairá dorado (*Hemithraupis guira*), pitiayumi (*Setophaga pitiayumi*), picolezna rojizo (*Xenops rutilans*), tarefero (*Sittasomus griseicapillus*), cerquero de collar (*Arremon flavirostris*), cerquero amarillo (*Atlapetes citrinellus*), surucuá aurora (*Trogon curucui*), chinchero chico (*Lepidocolaptes angustirostris*) y picochato grande (*Tolmomyias sulphurescens*).

**Irene Negri**
*irenitanegrix@gmail.com*

**Julia B Desojo**
Museo de La Plata, UNLP

**Juliana Sterli**
Museo Paleontológico Egidio Feruglio

**Lucas Fiorelli**
CRILAR-Conicet

# Tortugas y arcosaurios en los inicios del Mesozoico

## Introducción

A la Era Mesozoica, entre 252 y 66 millones de años atrás (Ma), se la conoce comúnmente como la 'edad de los reptiles', ya que estos vertebrados eran muy diversos, abundantes y dominaban en todo el planeta Tierra. Sin duda, los reptiles más conocidos de la Era Mesozoica son los dinosaurios. Sin embargo, durante el Mesozoico existieron numerosos grupos de reptiles que conquistaron diferentes ambientes. En los mares, estaban representados por los placodontes, plesiosaurios, ictiosaurios, mosasaurios, cocodrilos y tortugas, mientras que en la tierra convivían dinosaurios, lagartos, tuataras, serpientes, cocodrilos y tortugas, y el nicho aéreo había sido conquistado por reptiles voladores como pterosaurios y aves. En el ambiente acuático de agua dulce (lagos, ríos, deltas) los reptiles dominantes eran las tortugas y los cocodrilos.

El Triásico (252-200Ma) marca el comienzo de la Era Mesozoica. Este período es trascendental para la biota porque documenta el origen y la diversificación de muchos grupos de organismos, sobre todo de ambientes continentales (terrestres o de agua dulce). Fue un período de diversificación de las floras y faunas de todo el mundo. La Argentina es particularmente un lugar privilegiado para estudiar el Triásico continental ya que es uno de los pocos lugares en el hemisferio sur donde se han preservado rocas de esa edad que portan una gran diversidad de vertebrados fósiles. Es entonces el objetivo de este artículo dar

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Durante el Triásico (252-200 millones de años atrás) vivieron en el actual territorio argentino diversos reptiles además de los dinosaurios. Estos reptiles no voladores se desarrollaban principalmente en ambientes continentales (terrestres y de agua dulce).

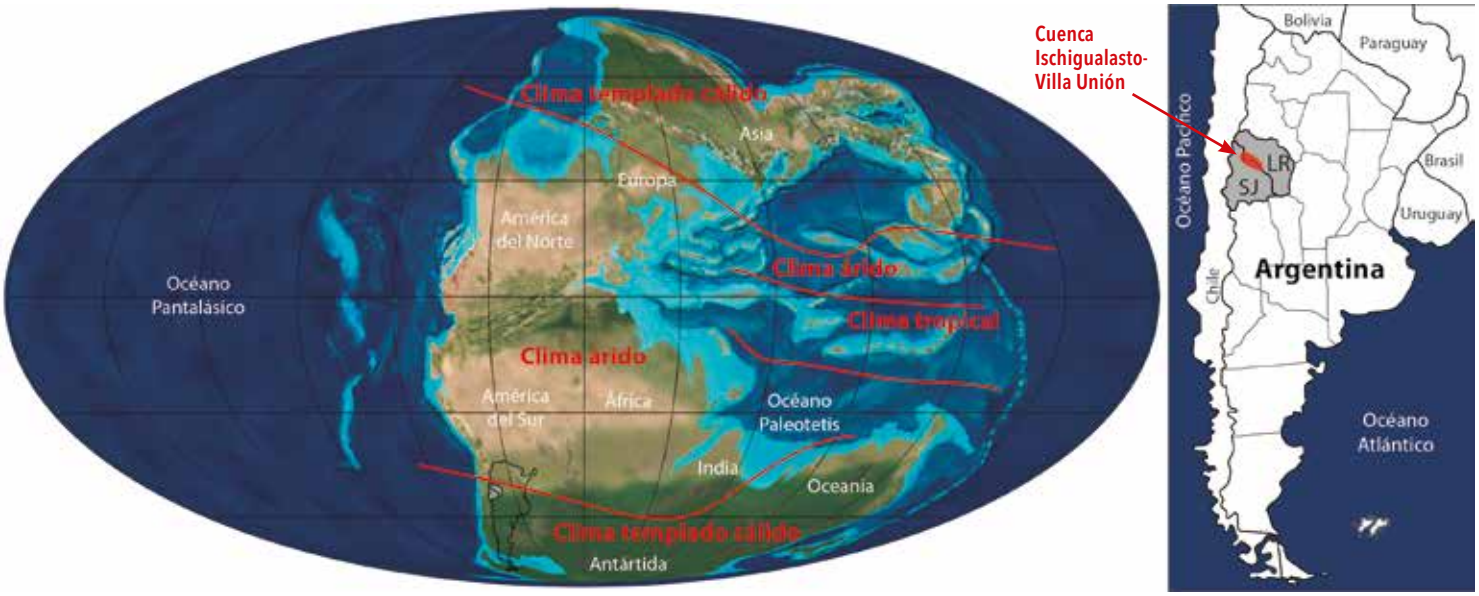
a conocer la diversidad de reptiles encontrados en el Triásico de la Argentina y su aporte al conocimiento global del grupo, haciendo foco en grupos poco conocidos de reptiles continentales no voladores y no dinosaurianos.

## El Triásico continental de Argentina

A comienzos del Período Triásico, todos los continentes estaban unidos en el supercontinente denominado Pangea, que luego comenzó a fragmentarse. El clima global era principalmente cálido y monzónico (con estaciones alternadas de lluvias y de sequías).

Ese período fue muy importante para la evolución de los reptiles ya que se documenta en él una gran diversidad de grupos extinguidos, tales como los diferentes linajes de arcosaurios basales (parientes lejanos de los cocodrilos y dinosaurios), como también los primeros representantes de linajes de reptiles que reconocemos actualmente como cocodrilos, tuataras (esfenodontes) y tortugas, entre otros.

A diferencia de los afloramientos triásicos marinos, los cuales son muy abundantes en Europa, las rocas triásicas continentales son muy abundantes en América del Norte y América del Sur, en especial Brasil y Argentina. El registro fósil del Triásico de Sudamérica ha sido crucial para dilucidar esta historia evolutiva y comprender el establecimiento de los ecosistemas terrestres actuales. A diferencia de otras cuencas triásicas mundialmente conocidas (por ejemplo, Norteamérica, Sudáfrica, Rusia), las cuencas de Sudamérica, en particular las cuencas de rift del oeste de la Argentina, son muy famosas. Estas son la cuenca de Cuyo, la de Marayes y la de Ischigualasto-Villa Unión. Estructuralmente se trata de cuencas extensionales de gran espesor, algunas de las cuales superan los 4.000 metros de rocas. De notable importancia es la cuenca Ischigualasto-Villa Unión, que se extiende ampliamente entre las provincias de San Juan y La Rioja, abarcando un lapso temporal desde el Pérmico Tardío (~250Ma) al Triásico Tardío (~210Ma). El relleno sedimentario inicial comenzó con el rompimiento de Pangea, durante el límite Pérmico-Triásico, ejemplificado por las rocas de la formación geológica llamada Talampaya y representada por sedimentos rojizos mayormente aluviales y fluviales. Sobre Talampaya se encuentra la formación geológica Tarjados (de edad triásica temprana a triásica media) ampliamente extendida en la región y caracterizada por rocas rojas-violáceas, evidencias de ríos y lagos en esa zona. Tarjados solo presenta importantes restos fósiles de vegetales, algunas trazas y huellas de animales, e indicios de vertebrados terrestres muy fragmentarios. Continúan sobre Tarjados las cuatro unidades de rocas del grupo Agua de la Peña, de edad triásica media-tardía (las formaciones Chañares, Los Rastros, Ischigualasto y Los Colorados). Estas se caracterizan por representar una gran variedad de ambientes, desde sistemas aluviales, lacustres, deltaicos y fluviales, pero con importante aporte volcánico. Durante el Triásico Tardío, la región estuvo dominada por un clima templado (con veranos secos e inviernos húmedos), pero con marcadas variaciones de templado húmedo a semidesértico durante todo el período. En este contexto, estas formaciones son mundialmente reconocidas por las asociaciones de vertebrados muy bien preservadas que incluyen a los temnospóndilos (anfibios primitivos) y diversos terápsidos (amniotas que incluyen a los mamíferos), numerosos arcosaurios y otros reptiles.




Mapa de Pangea con las franjas climáticas y mapa de la Argentina mostrando la ubicación de la cuenca Ischigualasto-Villa Unión en las provincias de San Juan y La Rioja.

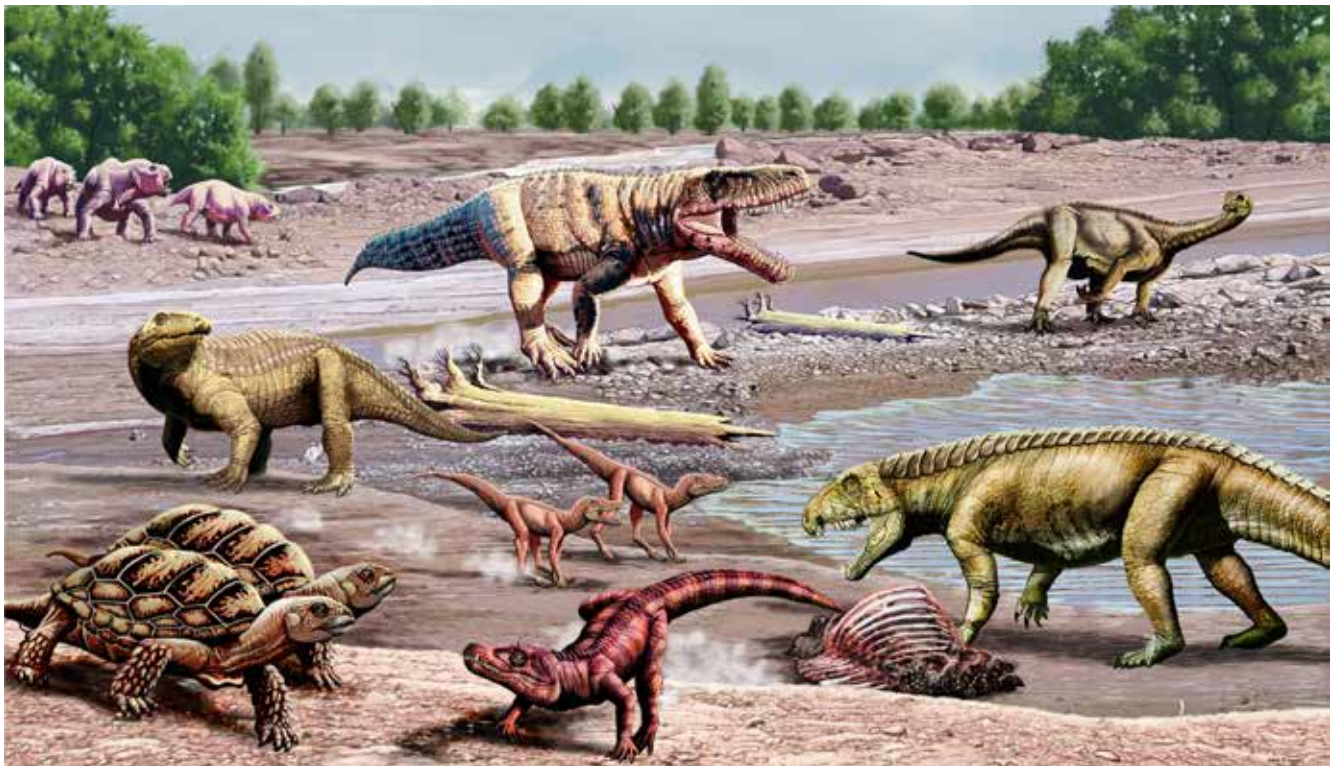
# Los reptiles del Triásico de Argentina

El Triásico de la Argentina es importante a nivel mundial porque en él se registra una gran diversidad de reptiles y, en muchos casos, también se hallan los primeros representantes de varios linajes de esos amniotas. La diversidad de reptiles del Triásico argentino consiste en pterosaurios (reptiles voladores), esfenodontes (parientes lejanos del tuatara actual), dinosaurios, arcosaurios basales (emparentados con los dinosaurios y cocodrilos actuales) y tortugas. En este artículo nos enfocaremos en estos dos últimos grupos.

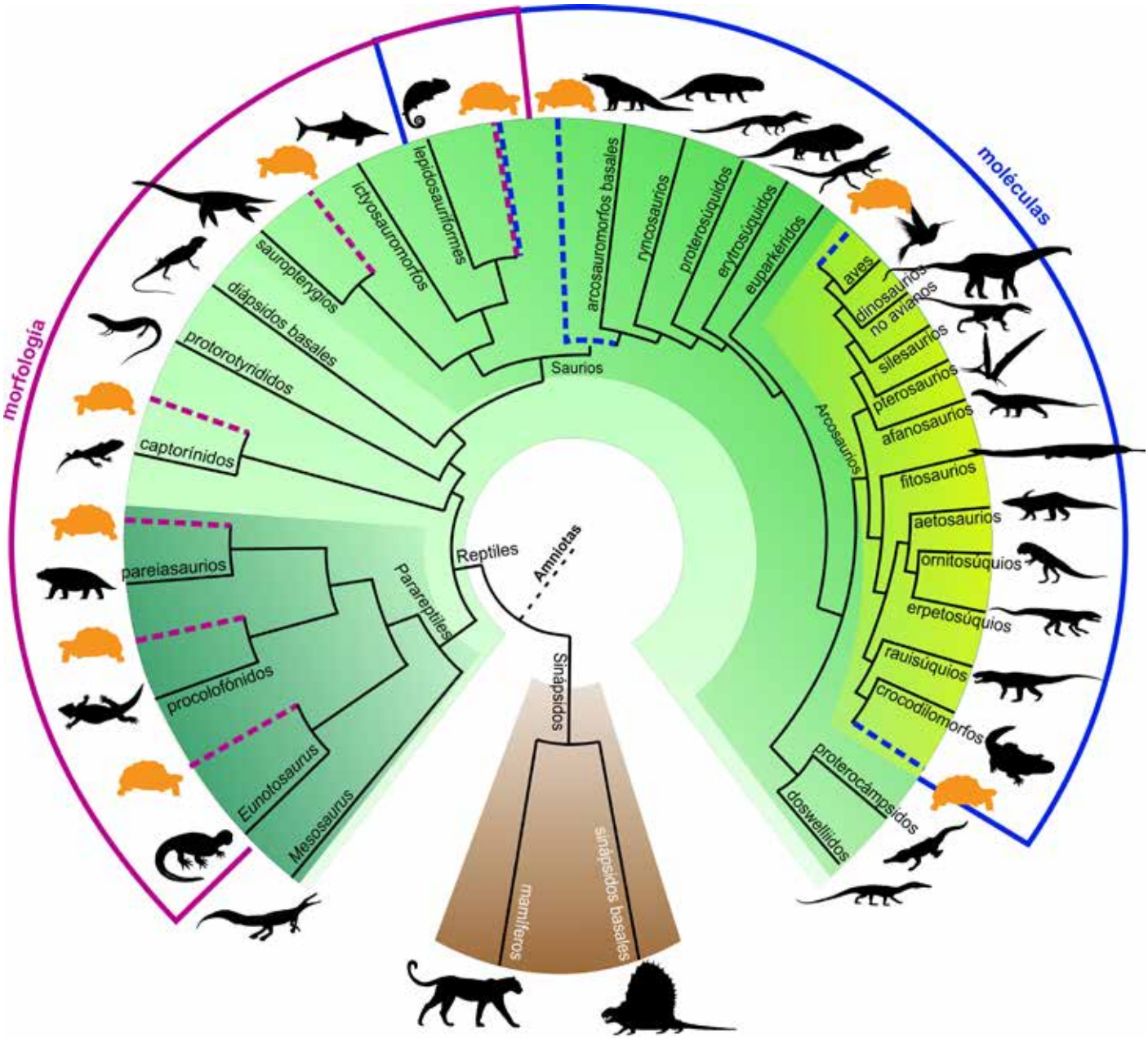
Los arcosaurios son un grupo muy diverso de reptiles que incluye, entre otros, a los cocodrilos, a los dinosaurios (y por ende a las aves) y a los pterosaurios. Durante el Triásico se registran los primeros representantes de los arcosaurios, denominados informalmente arcosaurios basales, a los que se conocía antiguamente como 'tecodontes'. Hace unos 235Ma, los arcosaurios basales eran muy diversos e incluían una gran variedad de formas tales como animales cuadrúpedos con corazas dorsales y ventrales (por ejemplo, los aetosaurios y erpetosúquios que medían de 1-6m), grandes carnívoros con una hilera de placas dorsales articuladas (por ejemplo, los rauisúquidos que medían de 3-8m), predadores de pequeño y mediano tamaño con placas dorsales (por ejemplo, los gracilisúquidos que medían de 0,5-1,5m), formas bípedas facultativas/opcionales, con quijadas cortas y raras (por ejemplo, los ornitosúquidos) y grandes cuadrúpedos semiacuáticos con hocicos largos y placas articuladas dorsales y ventrales (por ejemplo, los fitosaurios). La mayoría de los arcosaurios basales eran formas carnívoras, y solo los aetosaurios eran formas herbívoras u omnívoras.

A pesar de su diversidad y abundancia durante el Triásico, todos los grupos de arcosaurios basales (excepto los ancestros de los cocodrilos actuales) solo vivieron durante unos 50Ma, y se extinguieron a fines del Triásico. Hasta el momento, las razones de su desaparición no son claras, aunque algunos paleontólogos señalan que la probable competencia con los dinosaurios más antiguos por los nichos ecológicos, los cambios climáticos de finales del Triásico, o ambos, podrían haber causado la extinción de estos grupos en uno o dos eventos consecutivos. En este sentido, análisis paleobiológicos de las diversas especies de arcosaurios basales, que están siendo llevados a cabo por paleontólogos y paleontólogas de la Argentina y de otros países, tienen como objetivo conocer más sobre los roles ecológicos de estos reptiles (por ejemplo, ¿qué comían?, ¿cómo se desplazaban?, ¿cómo crecían?, ¿tenían cuidados parentales?, entre otros) y de esta forma poder explicar ciertas incertidumbres como la de su extinción.

El otro grupo de reptiles continentales en que haremos foco son las tortugas. Estos reptiles son un grupo muy peculiar de amniotas reconocidos fácilmente por



Reconstrucción de la Formación Los Colorados con su diversa fauna de arcosaurios basales, tortugas, dinosaurios prosaurópodos y dicinodontes.

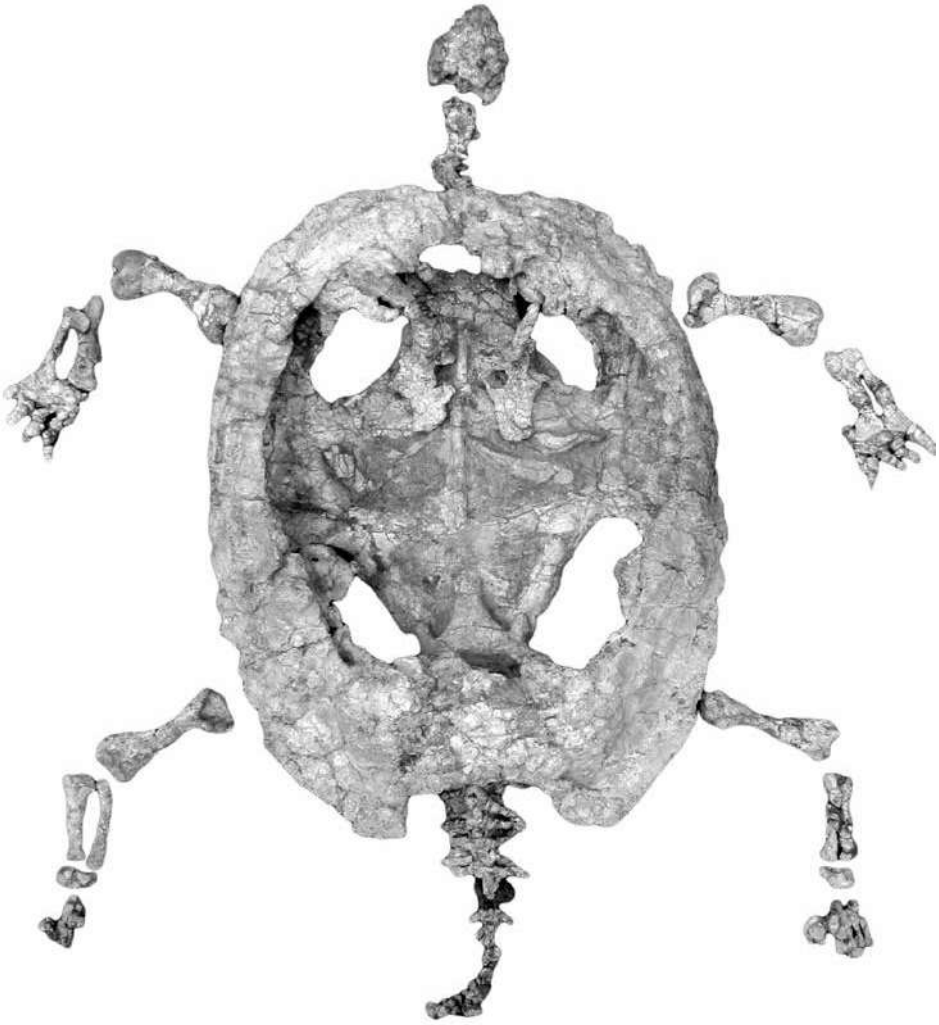



Filogenia con las probables posiciones de las tortugas (siluetas anaranjadas) en base a caracteres moleculares (líneas azules) o morfológicos (líneas magenta).

poseer un caparazón dorsal y un plastrón ventral que protege las vísceras. Las tortugas más antiguas se remontan al Triásico Tardío (210Ma) y eran de hábitos terrestres. No bien aparecen en el registro fósil, las tortugas se encuentran en diferentes regiones remotas de lo que era en aquel entonces el supercontinente Pangea. Se encontraron en lo que hoy es Alemania, Polonia, Estados Unidos, Groenlandia, Tailandia y Argentina. En la Argentina se conocen dos especies de tortugas del Triásico, las únicas de esa edad encontradas en el actual hemisferio sur.

Debido a la presencia del caparazón, que implica cambios notorios en su anatomía general y que enmascara sus relaciones de parentesco con otros grupos de amniotas, el origen de las tortugas es uno de los temas más controvertido en la evolución de los amniotas. Se las ha vinculado con casi todos los principales linajes de reptiles, tanto extinguidos como vivientes. Por características anatómicas tales como la presencia de cráneos sin fenestras (ventanas) temporales, se ha relacionado a las tortugas con grupos extinguidos de reptiles como procolofónidos, pareiasaurios y captorínidos. Por otro lado, otras filogenias morfológicas han vinculado a las tortugas con distintos grupos extinguidos de reptiles como los sauropterígios o *Eunotosaurus*. Con el advenimiento de las filogenias moleculares, también surgieron diversas hipótesis. Entre las más frecuentes se encuentran aquellas que sugieren que las tortugas estarían relacionadas con los arcosaurios basales (como los cocodrilos) y con los lepidosaurios (grupo que incluye a los lagartos, serpientes, tuataras, entre otros actuales, y a los mosasaurios del

Cráneo del arcosaurio pseudosuquio *Riojasuchus tenuisceps*. Formación Los Colorados, La Rioja.



Tortuga *Palaeochersis talampayensis.* Formación Los Colorados, La Rioja.

Cretácico). Lo cierto es que, hasta el momento, no existe consenso sobre el origen de las tortugas y sus relaciones. Por lo tanto, el estudio de las tortugas y otros reptiles del Triásico puede proveer en un futuro información clave para comprender con mayor certeza el origen de este grupo tan peculiar de amniotas.

Los arcosaurios basales más antiguos de la Argentina fueron hallados en la formación geológica Chañares, la cual tiene una antigüedad de al menos unos 236Ma. Por el contrario, las tortugas más antiguas del país provienen de la formación geológica Los Colorados (210Ma), donde también convivían con diversos grupos de arcosaurios basales, entre otros reptiles. Pero una gran diferencia entre los arcosaurios basales (excepto el linaje que conduce a los cocodrilos) y las tortugas es que estas no se extinguen a fines del Triásico, sino que su linaje se diversificó durante el Mesozoico, tanto en el número de especies como también en los diferentes ambientes que conquis-

taron (terrestre, agua dulce y marino), llegando hasta la actualidad.

## Las extinciones masivas y las tortugas y arcosaurios basales

La historia de la vida en la Tierra fue marcada e influida por las extinciones en masa (que afectan a numerosos tipos diferentes de organismos en diferentes ecosistemas en un corto período de tiempo). Se reconocen cinco grandes extinciones: la del límite Ordovícico-Silúrico (440Ma), la del Devónico (365Ma), la del límite Permo-Triásico (250Ma), la del límite Triásico-Jurásico (200Ma) y la del Cretácico-Paleógeno (66Ma) (ver Ros-Franch S, Echevarría J, Damborenea S y Manceñido M, 2021, 'De extinción en extinción', Ciencia Hoy, 29, 171: 39-44). La historia evolutiva de los reptiles no escapa a la influencia de estas grandes extinciones. La extinción masiva del Pérmico-Triásico fue la más grande que se registró en el planeta, e involucró a aproximadamente el 95% de la vida marina. Esta extinción dejó numerosos nichos ecológicos en el continente que explotaron los arcosaurios basales, que como lo hemos visto, se diversificaron. A su vez, la extinción ocurrida a fines del Triásico diezmó a los arcosaurios basales, dejando nichos ecológicos vacíos, que en este caso explotaron principalmente los dinosaurios. Por su lado, la extinción del Cretácico-Paleógeno afectó enormemente a dinosaurios no avianos, reptiles marinos y reptiles voladores, y produjo su desaparición. Por lo tanto, de la gran diversidad de reptiles presentes en el Triásico continental sobreviven hasta la actualidad solo los cocodrilos, las tortugas, los escamosos (lagartos y serpientes) y un particular grupo de dinosaurios, las aves. Todos estos grupos son los grandes sobrevivientes de las dos grandes extinciones, la del Triásico-Jurásico y la del Cretácico-Paleógeno. Sin embargo, en el presente numerosas especies de estos reptiles están enfrentando nuevos peligros de extinción. Por ejemplo, 333 especies de estos reptiles se encuentran en peligro crítico, 577 especies están en peligro y 548 especies son vulnerables, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por su sigla en inglés). Es en este contexto que algunos investigadores sostienen que estamos en presencia de la sexta gran extinción masiva del Fanerozoico (Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico), influenciada por la acción directa e indirecta del hombre. CH

### LECTURAS SUGERIDAS


**BENEDETTO JL,** 2019, 'El sistema Triásico y el inicio de la ruptura de Pangea', en *El continente de Gondwana a través del tiempo*, Córdoba, Academia Nacional de las Ciencias, pp. 317-345.

**DESOJO JB & EZCURRA MD**, 2016, 'Triassic pseudosuchian archosaurs of South America', *Contribuciones del MACN*, 6: 57-66.

**DESOJO JB, VON BACZKO MB, TABORDA JRA y BONA P**, 2018, 'Paleontología virtual: un viaje tridimensional al pasado de los cocodrilos', *Museo*, 30: 67-74.

**JOYCE WG**, 2017, 'A review of the fossil record of basal Mesozoic turtles', *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History,* 58: 65-113.

**STERLI J, DE LA FUENTE MS & ROUGIER GW**, 2007, 'Anatomy and relationships of *Palaeochersis talampayensis*, a Late Triassic turtle from Argentina', *Palaeontographica Abteilung* A, 281: 1-61.

**Julia B Desojo**
Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Jefa de trabajos prácticos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Investigadora principal del Conicet en el Museo de La Plata.
Vicepresidenta de la Asociación Paleontológica Argentina.
*julideso@fcnym.unlp.edu.ar*

**Juliana Sterli**
Doctora en ciencias naturales, UNLP.
Investigadora independiente del Conicet en el Museo Paleontológico Egidio Feruglio de Trelew.
Presidenta de la Asociación Paleontológica Argentina.
*jsterli@mef.org.ar*

**Lucas Fiorelli**
Doctor en ciencias geológicas, UNC.
Investigador adjunto del Conicet.
*lucasfiorelli@gmail.com*

NOTICIAS INSTITUCIONALES

# Comisión de la Memoria

**Se firmó la resolución de creación de la Comisión de la Memoria del CONICET. Con el objeto de recordar y reparar a las víctimas de la última Dictadura cívico militar.**

La presidenta del CONICET, Ana Franchi, firmó hace pocos días la resolución que puso en marcha la Comisión de la Memoria. De este modo se oficializa la labor de un grupo de miembros del Consejo que, desde hace meses, se planteó homenajear y reparar a las víctimas del terrorismo de Estado durante la última Dictadura cívico militar.

Si bien el organismo ya había realizado en el pasado actos que recordaban a los desaparecidos y la persecución que tuvo la actividad científica entre 1976 y 1983, en esta oportunidad el objetivo va más allá. Se trata no sólo de recordar a aquellas personas que fueron asesinadas o desaparecidas, sino también de subsanar otros daños e injusticias de las que fueron también víctimas nuestros trabajadores/as e investigadores/as en el sentido amplio del término.

Quienes fueron despedidas/os, cesanteadas/os o exoneradas/os, quienes fueron encarceladas/os o tuvieron que partir al exilio interno o externo, quienes a causa de esa persecución no pudieron reunir los requisitos administrativos para obtener su jubilación, quienes no pudieron completar sus becas, proyectos o tareas; en fin, todas/os aquellas/os que se vieron perjudicadas/os y maltratadas/os por la violencia estatal.

La norma dictada, se basa en el Decreto 1199/2012 que insta a las entidades descentralizadas de la Administración Pública a la reparación documental como acto de desagravio hacia todos aquellos empleados a los que se les consignó "erróneamente la causal de cese de sus funciones cuando en realidad fueron víctimas de gravísimas violaciones a los derechos humanos cometidas durante el terrorismo de Estado".

Esta comisión tendrá carácter permanente y requerirá la colaboración de todos los miembros del Consejo y de quienes puedan aportar datos e información sobre víctimas de la Dictadura militar en el período citado. En tal sentido, se habilita en principio un correo: comisiondelamemoria@conicet.gov.ar para que puedan acercar documentación o informes sobre estos temas. En unas semanas también se colocará un enlace en la página oficial del organismo para conocer los avances en el trabajo que lleve a cabo la Comisión.

La Comisión de la Memoria está formada hasta el presente por representantes de distintas áreas del organismo, de recursos humanos, legales, miembros del Directorio, investigadoras/es y becarias/os, representantes sindicales: Mario Pecheny, Roberto Rivarola, Miguel Laborde, Santiago Garaño, Fabiana Bekerman, María José Sarrabayrouse Oliveira, Antonio Ambrosini, Mario Rentería, Isabel MacDonald, Liliana Sacco, Alan Temiño, Gabriela Borreda, María Elena Borro, María Isabel Zontella y Leandro Lora. ■

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

# Extinción de la megafauna: los seres humanos tendrían mucha más responsabilidad de lo que se creía hasta ahora

**Es la hipótesis que postulan dos investigadores del CONICET en base a más de quinientos registros fósiles y puntas de lanzas. El estudio se publicó hoy en *Nature Communications*.**

"Creemos que los seres humanos son los principales responsables de la extinción de la megafauna en Sudamérica", sentencian Luciano Prates e Ivan Perez, investigadores del CONICET en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP) y autores de un estudio científico al respecto que se publica hoy en revista Nature communications. En base a una amplia cantidad de datos de registros fósiles y arqueológicos de todo el subcontinente, el trabajo asocia la actividad de caza de los primeros grupos de personas con la caída demográfica y posterior desaparición de todas las especies de grandes mamíferos sucedida a finales del Pleistoceno, entre 13 y 11 mil años atrás.

De esta manera, el estudio viene a contradecir a la hipótesis más aceptada hasta el momento para la arqueología sudamericana, según la cual estos animales de gran porte desaparecieron como consecuencia de los cambios ambientales como el aumento de la temperatura y

las alteraciones en la vegetación ocurridos luego de la última glaciación hace unos 18 mil años, que generaron las condiciones para una extinción masiva. En cambio, la nueva investigación pone el foco en las coincidencias temporales y geográficas existentes entre las evidencias de megafauna y las de una punta de lanza muy particular conocida como "cola de pescado", similar a otra denominada "Clovis" que existió solamente en América del Norte y está muy asociada a la caza de mamuts.

"En ambos casos se trata de herramientas grandes y anchas con una tecnología muy sofisticada", describe Prates, y continúa: "Su período de existencia es muy breve: aparecen con una antigüedad de entre 13 y 11 mil años y posteriormente no se las vuelve a encontrar nunca más". Sumado a esto, los científicos observaron que, en el mismo lapso, la curva demográfica de los seres humanos comenzaba a decrecer, momento que a su vez también coincidía con la última etapa de extinción de la megafauna. Estas evidencias fueron producto del cruce de 51 registros temporales de punta de cola de pescado y 269 fósiles de diez especies de la megafauna –entre ellas el caballo americano y el megaterio o perezoso gigante–, todos fechados por la técnica de radiocarbono que determina la edad de materiales que contienen carbono.

"Lo que encontramos primero es que la megafauna crecía a tasa alta hasta que en un momento, hace 12.900 años, empezó a decrecer bruscamente. Esto coincide exactamente con el momento de aparición de las puntas cola de pescado, entonces suponemos que cuando los seres humanos obtuvieron esa nueva tecnología comenzaron a cazar a estos mamíferos, y de ahí el descenso de esas poblaciones", explica Perez. "Esa situación se extiende durante 2 mil años y finaliza con la desaparición simultánea de los animales y las puntas de lanzas, lo cual nos demuestra que estaban íntimamente ligados", añade Prates. En este escenario, la baja en la curva demográfica humana mencionada más arriba se explica porque la misma depredación de la fauna que provocó su paulatina mengua tuvo un efecto sobre los grupos humanos, cuyas poblaciones también fueron disminuyendo debido a la desaparición de uno de sus principales recursos de subsistencia.

En paralelo, la investigación publicada incluye un análisis geográfico que comprende 156 registros espaciales de puntas cola de pescado y otros 204 correspondientes a ejemplares de la megafauna, junto con 1660 sitios arqueológicos de entre 15 y 7 mil años de antigüedad a lo largo de todo el territorio sudamericano. Los resultados también abonan la idea de los autores: la megafauna se distribuye en los mismos lugares en los que aparecen las armas, "lo que significa que la gente que cazaba con esta tecnología se ubicaba en las regiones donde vivían esos animales, que principalmente eran las estepas abiertas de las pampas de Uruguay, sur de Brasil y Argentina, y de la Patagonia", señala Prates.

"Sobre toda esta base de información, producto de la combinación de evidencia paleontológica y arqueológica, nuestro trabajo postula que el ser humano fue el principal responsable de la extinción de la megafauna pero no por haber arremetido compulsivamente contra todas las especies como asegura una hipótesis clásica planteada hace más de 40 años por el paleontólogo norteamericano Paul Martin", expresa Perez, y continúa: "En este caso suponemos que las personas solo se dedicaron a cazar a unas pocas especies, pero que de todos modos se generó un desequilibrio en la red ecológica tan profundo que eventualmente, y sumado a los cambios climáticos, desencadenó un colapso general de toda la comunidad de grandes mamíferos". ■

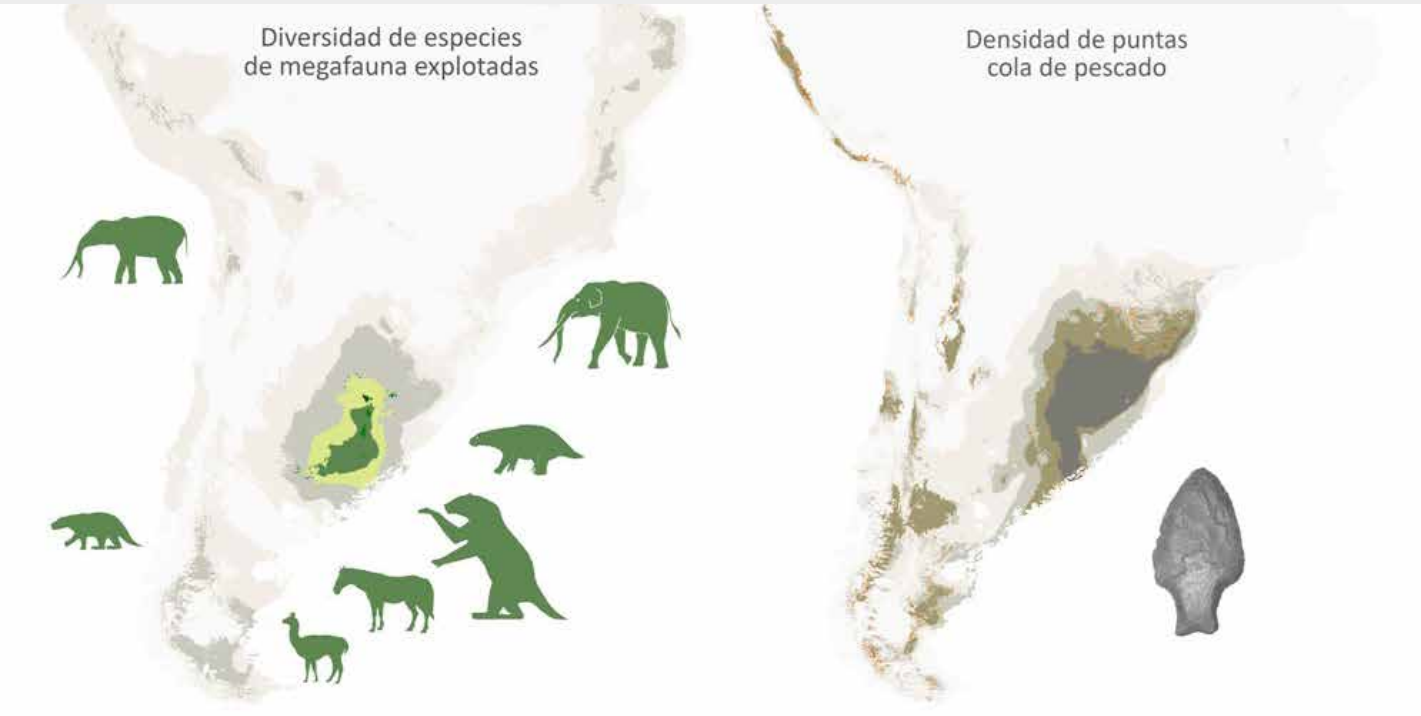



Figura representativa de la distribución de la megafauna y las puntas de cola de pescado en Sudamérica. FOTOS Gentileza investigadores.

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

# El hallazgo de un nuevo dinosaurio herbívoro de Patagonia allana el camino sobre el origen de los titanosaurios

**El estudio fue liderado por el investigador del CONICET Pablo Gallina y se publicó en la revista de paleontología *Ameghiniana*.**

Los dinosaurios saurópodos fueron grandes herbívoros de cuello y cola larga que habitaron todos los continentes durante más de 145 millones años, en la era Mesozoica (desde finales del Triásico, hace 210 millones de años atrás, hasta fines del Cretácico, unos 65 millones de años atrás). Particularmente, un grupo de saurópodos conocidos como los titanosaurios, está bien representado por numerosos hallazgos realizados en nuestro país desde fines del siglo XIX, e incluye a las especies de mayor tamaño que hayan pisado la Tierra. Ejemplos de este tipo de dinsaurios son el *Argentinosaurus*, hallado en Neuquén, el *Patagotitan* de la provincia de Chubut, o el *Notocolossus* proveniente de Mendoza.

Si bien se sabe bastante sobre la diversidad del grupo en cuanto a formas y tamaños, riqueza de especies (que año tras año se va incrementando con nuevos hallazgos) y distribución geográfica de acuerdo al lugar de los hallazgos y las ubicación de los continentes para su época, poco se sabía hasta ahora de su origen. Es decir: dónde y cuándo los titanosaurios se separaron de otros grupos de saurópodos y pasaron a ser un linaje independiente. El hallazgo de *Ninjatitan zapatai*, que son los restos más antiguos del grupo de los titanosaurios, permite por primera vez dar sustento a las ideas que se tenían de un origen sudamericano para este grupo par-

*Llukalkan aliocranianus*. Ilustración: Jorge Blanco.

Al noroeste de la Patagonia (Provincia de Neuquén) a unos 50 kilómetros al sur de la localidad de Rincón de los Sauces, se localiza el área conocida como La invernada. Allí es donde se encontraron los restos de *Llukalkan aliocranianus* y uno de los lugares con mayor abundancia de abelisáuridos en el mundo. Hasta el momento se han encontrado cinco especímenes diferentes en un radio menor a un kilómetro cuadrado. El paleontólogo, Leonardo Filippi, del Museo Municipal "Argentino Urquiza" de Rincón de los Sauces, cuenta: "fuimos por primera vez al sitio en el año 2012 para realizar un relevamiento de impacto paleontológico para una empresa petrolera, y debido a la importancia paleontológica registrada por la abundancia de fósiles, iniciamos proyectos de investigación con campañas que se continúan hasta el presente, a las cuales se sumaron varios colegas, algunos de los cuales forman parte de este trabajo".

ticular de dinosaurios saurópodos a comienzos del Cretácico. El trabajo fue publicado en el último número de la revista científica de paleontología Ameghiniana; la revista científica mejor rankeada de nuestro país y segunda de paleontología en toda Latinoamérica.

"Este hallazgo nos permite reforzar la idea de que los titanosaurios aparecieron en Sudamerica. Se pensaba que podrían haber aparecido por primera vez ahí, pero no había evidencia real, con fósiles, para demostrarlo. Este hallazgo le da mayor sustento a esta teoría", señala Pablo Gallina, paleontólogo del CONICET del Área de Paleontología de la Fundación Azara y la Universidad Maimónides y primer autor del paper. "Al mismo tiempo –agrega- abre el panorama para el reestudio y reanálisis de la biogeografía del grupo de los titanosaurios. Nos permite abordar desde otra perspectiva el origen y las relaciones con sus parientes mas cercanos. Y cómo, luego, estos titanosaurios llegaron a otros continentes y partes del mundo".

Hasta el momento, todo el registro fósil que se tenía sobre los titanosaurios provenía de rocas cretácicas de diversos lugares del mundo, y principalmente de lo que se conoce como el Cretácico Superior (entre los 100 y los 65 millones de años antes del presente). Sólo unos pocos titanosaurios son más antiguos y están registrados en la última parte del Cretácico inferior (hace unos 110 millones de años atrás aproximadamente). Si bien existían algunos fósiles que muestran posibles afinidades con los titanosaurios aún más antiguos, o sea de la parte baja del Cretácico inferior, la información es bastante escasa y también discutida.

En los últimos años, distintos estudios han postulados que el origen de este grupo particular de saurópodos habría sido en los comienzos del Cretácico (aproximadamente hace 140 millones de años) y en algún lugar de Sudamérica. Sin embargo, hasta ahora, estas hipótesis no contaban con un sustento evidente en base a evidencia fósil, sino que eran resultados de estudios teóricos con modelos estadísticos.

Pues bien: sobre el valle medio del río Limay, en la Patagonia Norte, entre las localidades Picún Leufú y Piedra del Águila, se encuentran vastos afloramientos de la Formación geológica conocida como Bajada Colorada. Allí, desde el año 2010, Gallina y Juan Canale, investigador del CONICET en el Laboratorio de Investigación del Museo Municipal "Ernesto Bachmann", de Villa El Chocón, Neuquén, vienen trabajando, junto a sus equipos de trabajo, en diversos hallazgos que incluyen tanto dinosaurios herbívoros de cuello largo como carnívoros de diversos tamaños, que datan de principios del Cretácico, hace alrededor de 140 millones de años atrás.

En el año 2014, Jonatan Aroca, técnico del Museo Municipal "Ernesto Bachmann" encontró los primeros restos de un nuevo dinosaurio al pie de una barda rocosa. Allí se reconoció la escápula como primer hueso evidente, la cual se extrajo. Una vez extraídos los materiales y luego de ser preparados y limpiados técnicamente en el laboratorio del Museo choconense, pudo determinarse que se trataba de una nueva especie de saurópodo titanosaurio.

Los resultados del estudio de los restos indican que, efectivamente, se trata de una nueva especie, que fue nombrada como *Ninjatitan zapatai*. El nombre propuesto hace alusión a dos personas relacionadas al trabajo: el paleontólogo del CONICET Sebastián Apesteguía, cuyo sobrenombre es "ninja", y el técnico Rogelio Zapata, del Museo "Ernesto Bachmann" de Villa El Chocón.

"Este hallazgo tiene algo especial porque fue dedicado a dos personas muy especiales para mí –indica Gallina-. A Sebastián Apesteguía, porque fue quien pensó en ir a buscar a Bajada Colorada restos de vertebrados, en una edad del Cretácito Inferior del cual se desconocía mucho. Él siempre quería enfocarse en ese tiempo para analizar la evolución de los grupos que vivían allí, en el Cretácito inferior. Lideró las primeras campañas y luego siguió trabajando en otras localidades, pero gentilmente nos cedió el liderazgo de las investigaciones allí desde 2014. Y tambien, el caso de dedicárselo a Rogelio Zapata, surgió por su labor como técnico del Museo del Chocón, en donde se preparó este dinosaurio. Rogelio trabaja desde que se fundó ese museo, a mediados de los 90. A lo largo de estos años también estuvo en otros descubrimientos junto al equipo de paleontólogos, permanentemente trabaja en los trabajos de campo, en limpieza de los fósiles, y tiene amplia trayectoria en el trabajo como técnico".

El material analizado de este nuevo dinosaurio incluye tres vértebras (dos del lomo y una del comienzo de la cola), una escápula (omóplato), un fragmento del fémur y una fíbula (peroné).

En adelante, el trabajo de Gallina y su equipo continuará no solo en la línea de estudio de los titanosaurios: "En esta localidad hay una fauna muy interesante de dinosaurios saurópodos y terópodos, de distintos grupos. En el Cretácito Inferior había una fauna de dinosaurios que recién estamos empezando a conocer, y que poco se sabe acá y en otras partes del mundo. Esta localidad es muy importante en este sentido, y seguiremos trabajando para conocer más sobre esa fauna tan diversa", concluyó Gallina. ■

**Referencia bibliográfica**

Gallina, P. A., Canale, J. I., & Carballido, J. L. (2021). 'The earliest known titanosaur sauropod dinosaur'. *Ameghiniana*, 58(1), 35–51.

# ‘Es posible pensar la historia desde África’

El Colegio de Francia ha creado recientemente una cátedra permanente llamada Historia y Arqueología de los Mundos Africanos. Es la primera cátedra dedicada a la historia de África de la institución, y una buena oportunidad para que su titular, el reconocido especialista François-Xavier Fauvelle, recupere la historicidad que se le ha negado tradicionalmente a este continente.

***La Recherche*. ¿Por qué el Colegio de Francia ha esperado tanto tiempo en abrir una cátedra permanente sobre la historia de África?**

**François-Xavier Fauvelle.** De alguna manera, África había ya había entrado en el Colegio de Francia por diversas ventanas. ¡Pero no por la puerta! En el siglo XX, las cátedras sobre África fueron financiadas por las gobernaciones coloniales, pero eran políticamente dudosas. Además, no se ocupaban de la historia de África, sino de la geografía tropical. Sin embargo, desde 1996, el Colegio de Francia había invitado a un investigador marfileño, Harris Memel-Fotê, a ocupar una cátedra anual sobre la antropología y la historia de la esclavitud en el seno de las sociedades de linaje de Costa de Marfil. Poco después se creó la cátedra permanente de la antropóloga Françoise Héritier, especialista de los sistemas de parentesco, sobre el estudio comparado de las sociedades africanas. En 2015-2016, una cátedra anual de creación artística fue confiada al escritor franco-congolés Alain Mabanckou. Otras cátedras se interesaron por África, de una manera más indirecta. El egiptólogo Jean Leclant, por ejemplo, estaba apasionado con el África subsahariana. Pero es cierto que esta cátedra –consagrada a África, toda África y solo a África, y a su historia antigua– es efectivamente la primera.

**¿Qué temas serán allí abordados por usted?**

Este año [2019-2020], mi curso estará basado en los mundos africanos medievales, un período que se extiende de los siglos VIII a XV. Aspiro a mostrar la diversidad de estos mundos, la variedad de fuentes que nos permiten contar sus historias, y también plantear grandes hitos cronológicos, temáticos, metodológicos. En los próximos años mi foco podrá restringirse o ampliarse. No descarto dar un curso sobre Mali, o bien sobre aque-

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Fauvelle explica los progresos que ha habido en las últimas décadas en los estudios de historia africana a través de sus propias fuentes, tradiciones orales y restos materiales.

lla ciudad perdida que a menudo buscamos y que era, durante la Edad Media, la capital del país. Incluso sobre Etiopía, donde he descubierto junto a otros investigadores la ciudad de Ifat, cuyo califato fue, en el siglo XV, el principal Estado islámico de la región. Además, en mayo de 2020 organizaré un seminario sobre el oro africano, para poner en conjunto las disciplinas y los saberes de todos los países [el seminario fue finalmente reprogramado para mayo de 2021. N. del E.]. Este oro, a partir del siglo VIII, era exportado por los países africanos hacia el mundo islámico.

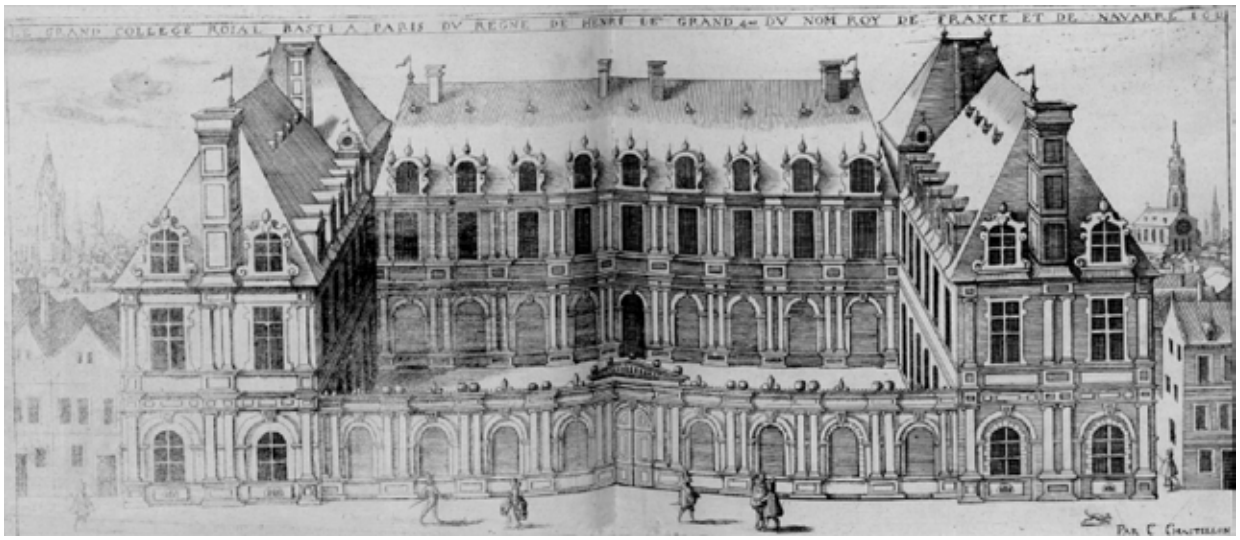
**Usted ha declarado al diario *Le Monde* que esta cátedra es 'una gran responsabilidad frente a la historia de África. Uno de los desafíos es desmentir los equívocos, los clichés que confunden'. ¿Cuáles son estos clichés?**

Veo al menos dos. Ante todo, existe en nuestras sociedades contemporáneas una resistencia a la idea de que África tiene una o varias historias. Es la fórmula desafortunada de Nicolas Sarkozy en Dakar: 'El hombre africano no ha entrado lo suficiente en la historia'. Otra idea recibida: la historia de África no sería accesible, por la falta de fuentes. También se ha sostenido que África no tendría sino una historia relativamente lenta, incluso inmóvil; una historia puramente étnica, en pocas palabras. Esta idea falsa es aún sostenida por los museos de etnografía. Los visitamos paseándonos de etnia en etnia, cada una de ellas siendo supuestamente homogénea y fija, reducida a objetos emblemáticos. Este modo de conocimiento está muy ligado a la historia colonial, que ha utilizado el concepto de etnia para conocer y para dominar. Incluso los reportajes actuales sobre África conservan un enfoque muy victimario o naturalista. ¡Como si el África auténtica fuera un África de parques naturales, y no de sociedades! Como si ese continente permaneciera fuera del curso de una

François-Xavier Fauvelle. Foto Magali Delporte/Signatures pour Sciences et Avenir.

## EL COLEGIO DE FRANCIA

El Colegio de Francia tiene su origen en la decisión del rey Francisco I (1515-1547) de designar seis 'lectores reales' en 1530 para que enseñaran griego, hebreo y matemáticas. El objetivo era, bajo patrocinio directo de la Corona, ofrecer cursos abiertos por fuera del control de la Universidad de París. Poco tiempo después, se reunió a estos 'lectores' en un 'colegio', el cual fue paulatinamente enriquecido con la formación de nuevas cátedras: filosofía, medicina, latín, lenguas orientales. Su actual lema *Docet omnia* ('enseña todo'), el cual resume sus aspiraciones, se remonta al siglo XVII. Durante su historia centenaria, fue también conocido como 'Colegio de las Tres Lenguas', 'Colegio Nacional' y 'Colegio Imperial' hasta adoptar oficialmente su nombre actual en 1870, con el establecimiento de la III República. Al día de hoy, el Colegio cuenta con cuarenta y cinco cátedras permanentes, incluyendo tanto ciencias humanas como naturales y exactas. Todos sus cursos son abiertos al público y gratuitos, como en sus orígenes. La cátedra de Historia y Arqueología de los Mundos Africanos es su cátedra más reciente en el área de humanidades y, por este motivo, François-Xavier Fauvelle estuvo a cargo de la conferencia inaugural del año lectivo 2019-2020.



*Le Collège Royal*, Claude Chastillon (1612). En *Topographie françoise ou representations de plusieurs villes, bourgs, chasteaux, plans, forteresses, vestiges d'antiquité, maisons modernes et autres du royaume de France*, Boisseau, París, 1655.

historia que transforma a las sociedades. Ahora bien, las sociedades africanas han sido siempre agentes de sus transformaciones. Han estado siempre en conversación entre ellas y con el resto del mundo. De ahí el título de mi cátedra, que afirma la coexistencia de estos diversos 'mundos africanos'.

*Atlas de cartes marines richement illustrées, ca.* 1375 (detalle). Biblioteca Nacional de Francia, Departamento de Manuscritos, 'Espagnol 30'. Se puede acceder a la versión completa con el código QR al final del artículo.

**¿Cómo definiría a la 'Edad Media africana'?**

Si bien la noción de Edad Media es de origen europeo, no pertenece a Europa. El término fue inventado durante el Renacimiento por eruditos europeos, para marcar la idea de una renovación inspirada en una Antigüedad gloriosa. Pero se puede ver la Edad Media como una noción más global. Para mí, ese período es una fase de la historia del mundo, entre los siglos VII y XV, marcado por un cierto tipo de intercambios. Mercancías circulan de un punto al otro de un muy largo circuito, sin que los hombres mismos circulen sobre la totalidad de aquel. La porcelana de China llega así hasta el África del Sur y Zimbabue, perlas fabricadas en Indonesia se encuentran en el Mediterráneo, oro extraído del subsuelo de Guinea llega hasta el mundo islámico, donde es convertido en monedas de oro que circulan hasta en Europa. Pero los viajeros mismos no siguen la totalidad de estos caminos. Estos intercambios difieren radicalmente de la mundialización de la época moderna que se inicia en el siglo XV.

**Usted aspira a 'reencantar la historia medieval del mundo, restituyéndole el rol importante del continente africano'. ¿Cómo procederá?**

Yo abogo por que concibamos un mundo medieval como un mundo de provincias, en conversación unas con otras. Y por devolver su voz a los diferentes mundos africanos medievales: los reinos de Sahel, la Etiopía cristiana y musulmana, la Nubia cristiana, etc. ¡Es posible pensar la historia desde África! Lo que me interesa, entonces, es mostrar cómo las sociedades de esta Edad Media africana llevaron a cabo 'conversaciones' con otras regiones del mundo. Estas conversaciones pueden ser de naturaleza religiosa: numerosos soberanos o elites se convirtieron al islam, sin que nadie los forzara. Pueden ser arquitectónicas: nuevas formas de construcción fueron adoptadas o adaptadas. Pueden ser comerciales: las sociedades africanas medievales vendieron y compraron productos negociando los términos de estos intercambios y según su gusto. Estas conversaciones pueden ser incluso intelectuales. Describir una Edad Media común, a la escala del mundo entonces conocido –Eurasia y África–, es hacer justicia a estas conversaciones desconocidas y a estas sociedades.

**Su obra *El rinoceronte de oro* (Alma, 2013) revive el África subsahariana de esta época medieval. ¿En qué aspecto testimonia estos 'siglos de oro' para África?**

Ese libro extrae su título de un pequeño animal cubierto de hojas de oro encontrado en excavaciones clandestinas, en el extremo norte de la actual Sudáfrica, en el sitio de Mapungubwe ('la colina del chacal'). Estamos en 1932. Jóvenes estudiantes blancos escucharon hablar de un tesoro. Escalan la colina, excavan por todas partes, destruyen las tumbas, saquean objetos preciosos. Uno de

Diferentes objetos de oro del reino de Mapungubwe ('la colina del chacal', ca. 1075–1220), en la frontera de los actuales Sudáfrica, Zimbabue y Mozambique.

ellos, con cierto escrúpulo, le escribe a su antiguo profesor de historia, un afrikáner liberal, quien compra la propiedad en nombre del Estado y lleva a cabo verdaderas excavaciones. El sitio es hoy en día clasificado como patrimonio mundial de la humanidad. Testimonia la emergencia de un poder que, en los siglos XII o XIII, comerciaba con mundos lejanos. En esta pequeña sociedad del reino de Mapungubwe, las elites fueron enterradas en lo alto de una colina, con objetos de oro, porcelanas chinas, perlas indopacíficas. Las excavaciones revelaron también el establecimiento de aldeas, talleres de producción de objetos en marfil y osamentas de felinos. Esto nos permite reconstituir un proceso de complejización social progresiva. Esta sociedad, que vivía bastante lejos de la costa, estaba conectada por diversos intermediarios con otros mundos. Comerciaba con los mercaderes y los habitantes de las ciudades-estado swahilis de las costas de África oriental. A través de ellos, estaba conectada con mundos del océano Índico; más lejos aún, con Indonesia, India y China. Sin embargo, jamás un chino llegó hasta allí; tampoco un habitante del sur de África llegó nunca a China.

**¿No hay testimonios de encuentros entre chinos y sociedades africanas en la época medieval?**

Hay, en efecto, mapas y escritos chinos sobre los periplos de un gran almirante chino, Zheng He. Durante la dinastía Ming, en el siglo XV, dirigió grandes expediciones al sur del mar de la China y al norte del océano Índico. Estas expediciones servían para impresionar a los poderes extranjeros, pero también para 'hacer *shopping*' para la corte y el harén del emperador. En dos ocasiones, el almirante llegó a las costas africanas, nos indican los documentos. Zheng He desembarca así en las costas de Somalia, de la cual hace una descripción muy sucinta: ¡son las 'cartas postales' de la época! Es fascinante, porque está allí el vértigo del encuentro de dos mundos. Pero es también extremadamente frustrante, porque dice muy poco: 'Las personas habitan casas de dos pisos, sus pozos son accionados por poleas, comen pescado'. Y eso es más o menos todo lo que tenemos. ¡Pero son las únicas relaciones confirmadas entre China y África de esta época!

**¿Qué fuentes registran la historia de los mundos africanos medievales?**

Las mismas que en cualquier otro lado. Los documentos escritos, ante todo. Hay sociedades letradas en el África medieval. Etiopía, por ejemplo, produjo decenas de miles de manuscritos desde la llegada del cristianismo, en el siglo IV de nuestra era. Fueron escritos en la corte real o en monasterios, y la mayoría son accesibles a los investigadores. Luego están las fuentes externas escritas. Las fuentes griegas y latinas, primero: por ejemplo,

hay un manual griego de navegación anónima, *El periplo del mar de Eritrea*, fechado alrededor del año 40 de nuestra era. Además, durante un milenio, escritos árabes han descripto las sociedades de África del Este, de Sahel o de las sabanas del oeste, con las cuales árabes y bereberes comercian. A partir del siglo XV, numerosas fuentes escritas europeas (portuguesas, holandesas, francesas, inglesas) han retratado a los países africanos de las costas atlántica e indooceánica. La arqueología es otro precioso registro de fuentes. Así, las excavaciones de sitios mineros nos enseñan mucho sobre las técnicas inventadas o adaptadas por las sociedades africanas para extraer metales, y sus recursos.

**¿Cuál es el lugar de las tradiciones orales?**

Es una fuente extendida en África, incluso si solo se limita a algunas sociedades. Esta transmisión oral de los saberes está confiada a especialistas, como a los griots en África occidental, que son 'letrados de la oralidad' de alguna manera. Y luego están todas las otras fuentes. La epigrafía es una forma de escritura reservada a usos conmemorativos o dedicatorias. La numismática es también esclarecedora. Por ejemplo, las ciudades-estado swahilis de la actual Tanzania forjaron monedas de oro en la Edad Media. Es también el caso de sociedades medievales del Magreb, con el oro venido del África subsahariana. Otra fuente de interés es la genética comparada, que ayuda a rastrear una historia de las poblaciones, de las plantas o de los animales. La lingüística comparada, aplicada a numerosas lenguas habladas de África, nos permite remontarnos a muchos milenios atrás. El examen de técnicas de fabricación de la cerámica, de trabajo de la piedra o de los metales, o incluso el arte rupestre, son para el historiador, en definitiva, preciosas pistas del pasado.

**¿Estas diferentes fuentes son siempre coherentes?**

Sucede que no son fáciles de conciliar. En el siglo XIV, por ejemplo, un relato de Ibn Battuta (1304-1368/77), viajero musulmán, nos cuenta con mucha precisión sobre el desarrollo de dos días de fiesta en la corte del rey de Mali. ¿Pero dónde se encuentra la capital de este reino? ¡Los sitios arqueológicos no lo han revelado aún! ¿Y cuál era la economía de esta sociedad? Las excavaciones han revelado cerámicas, granos de plantas consumidas, osamentas de animales. Se puede así reconstituir la economía doméstica o alimentaria de este reino. Pero otros aspectos se nos escapan: ¿cómo se organizaban los vínculos sociales, la vida campesina, la administración o la corte de este reino?

**El filósofo camerunés Achille Mbembe ha lamentado que esta cátedra, de la cual usted es titular, no recayera en un africano. ¿Qué piensa?**

Comprendo esta reacción. Pero no pienso que sea un buen argumento querer ligar una especialidad a un color de piel o a un origen. Si tal fuera el caso, habría que admitir también que la historia de Europa o de la Antigüedad no podría ser hecha sino por blancos. ¡Soy alérgico a esa idea! Ahora bien, hay en África especialistas en la Antigüedad o en la Francia moderna. Hay también, en Estados Unidos, especialistas blancos en historia de África y especialistas negros en la historia de Europa. El verdadero escándalo, para mí, es que no haya investigadores africanos o afrodescendientes en las universidades del norte, en todas las disciplinas, tanto en ciencias humanas como en ciencias duras. CH

*La presente entrevista fue realizada por Florence Rosier y salió publicada en el número 554 (diciembre de 2019) de* La Recherche. *Su traducción y adaptación estuvieron a cargo de Santiago Francisco Peña.*

## LECTURAS SUGERIDAS


**FAUVELLE FX**, 2013, *Le Rhinocéros d'or: histoires du Moyen Âge africain*, Alma, París.

**FAUVELLE FX**, 2020, *Leçons de l'histoire de l'Afrique*, Fayard, París.

**GENTILI AM**, 2012, *El león y el cazador: historia del África subsahariana*, Clacso, Buenos Aires.

**ILIFFE J**, 2013, *África: historia de un continente*, Akal, Madrid.

**WOLF E**, 1987, *Europa y la gente sin historia*, FCE, Ciudad de México.


Para acceder a la versión completa del *Atlas de cartes marines richement illustrées*, p. 22, escanee el código QR.

**Florencia Cremonte, Carmen Gilardoni y Nuria Vázquez**
Laboratorio de Parasitología, Instituto de Biología de Organismos Marinos,
CCT Conicet-CENPAT

# Parásitos en el intermareal: una potencial zoonosis

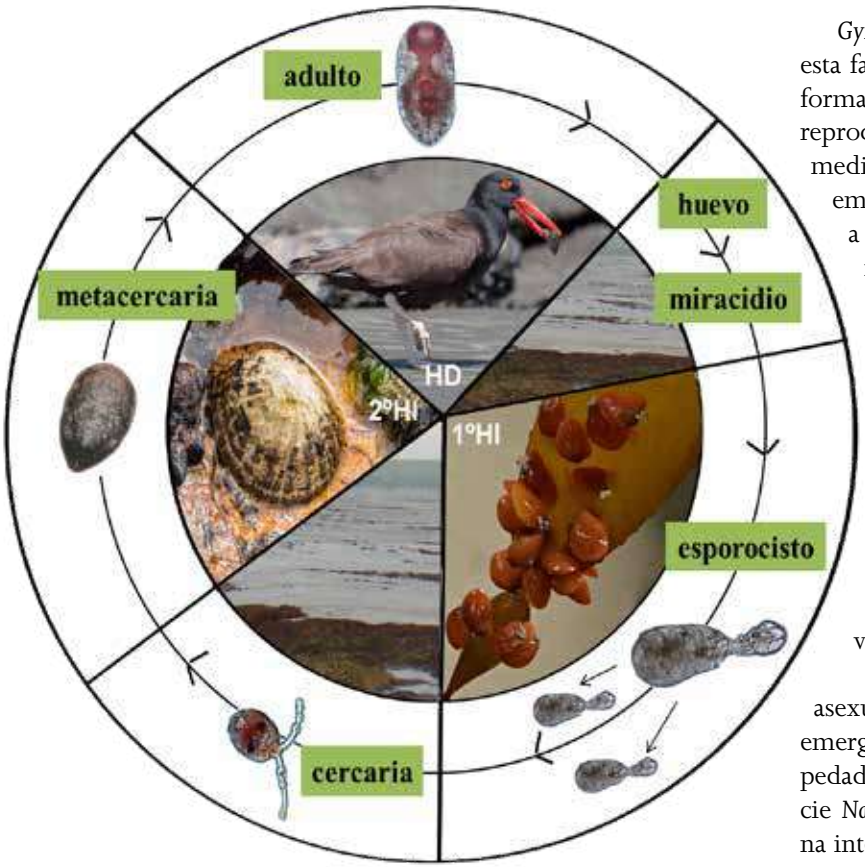
El parasitismo es una de las formas de vida más exitosas y se estima que más de la mitad de las especies son parásitas. Los parásitos no solo son componentes esenciales en los ecosistemas: son además necesarios para su equilibrio. De igual manera que los depredadores, afectan directamente los tamaños de las poblaciones a las que infectan, son piezas clave en la estructura de las comunidades a las cuales pertenecen y son parte importante de la biodiversidad de los ecosistemas. A pesar de esto, la palabra 'parásito' tiene una connotación negativa para los humanos ya que nadie querría albergar un parásito en su interior, que lo tenga su mascota, o que cause enfermedades en los animales que cría o en las plantas que cultiva.

Los ciclos de vida de muchos parásitos son complejos. La larva, contenida en el huevo, debe pasar por una serie de estadios antes de alcanzar el hábitat del adulto, sea este el interior o exterior de otro organismo. El organismo parasitado se denomina hospedador definitivo cuando alberga al parásito en su estado adulto y hospedador intermediario cuando alberga algún otro estadio. Algunos parásitos, como los trematodes (gusanos parientes de las planarias de vida libre y de las tenias parásitas de vertebrados), poseen ciclos de vida complejos, que involucran en general a tres hospedadores (uno definitivo que alberga al trematode adulto y dos intermediarios donde se desarrollan distintas larvas).

La presencia de un parásito en un ambiente determinado está estrechamente ligada a los hospedadores que intervienen en su ciclo de vida y a la capacidad de distintos estadios del parásito para transmitirse de un hospedador al siguiente. Estos gusanos están presentes en los ambientes saludables o poco contaminados. ¿Por qué? En ambientes perturbados por la acción del humano la

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Conocer la diversidad de vermes parásitos y sus ciclos de vida en el ambiente intermareal nos alerta sobre potenciales zoonosis.




Ciclo de vida del parásito trematode de la familia Gymnophallidae (especie *Gymnophalloides nacellae*) en las costas de la Patagonia, suroeste del océano Atlántico. HD: hospedador definitivo, 1° HI: primer hospedador intermediario, 2° HI: segundo hospedador intermediario.

presencia o abundancia de alguno de los hospedadores puede ser afectada y, entonces, el parásito no puede llevar a cabo su ciclo de vida. También, altos niveles de contaminación en el agua provocan que las larvas acuáticas no puedan sobrevivir. Por esto, algunos parásitos son indicadores de ambientes saludables o poco contaminados.

## Los trematodes parásitos de la familia Gymnophallidae

Los miembros de familia Gymnophallidae son de tamaño pequeño (en general miden menos de medio milímetro), son exclusivamente marinos y tienen como hospedadores intermediarios a moluscos, principalmente bivalvos, siendo por lo general altamente específicos para estos; es decir que una especie de parásito utiliza generalmente una única especie de molusco como primer hospedador intermediario. Los principales hospedadores definitivos son, en su mayoría, aves costeras que se alimentan de los moluscos parasitados en la zona intermareal (franja costera que se cubre y descubre por el mar en cada ciclo de la marea).

*Gymnophalloides nacellae* es una especie de trematode de esta familia que habita la costa atlántica suroccidental. Su forma adulta vive en el intestino del ostrero negro y allí se reproduce sexualmente. Cuando el ave elimina sus fecas al medio, también libera los huevos del parásito. Del huevo emerge una larva llamada *miracidio* que nada buscando a su primer hospedador intermediario, una pequeña almeja de la especie *Gaimardia trapesina* que vive en las frondas de las macroalgas conocidas como cachiyuyos (*Macrocystis pyrifera*). En la almeja, la larva miracidio se metamorfosea en otra larva llamada *esporocisto* y esta, mediante reproducción asexual, forma cientos de otros esporocistos que ocupan la gónada de la almeja y provocan su castración. La almeja, incapaz de reproducirse, deriva toda su energía para el parásito. De esta forma la almeja provee los nutrientes necesarios para la reproducción de los esporocistos, quienes los absorben a través de su pared corporal.

En el interior de los esporocistos, por reproducción asexual, se origina una nueva forma larval, la *cercaria*, que emerge de la almeja y nada en busca de su segundo hospedador intermediario, las lapas comestibles de la especie *Nacella magellanica* que viven principalmente en la zona intermareal rocosa. La cercaria, que encuentra a la lapa gracias a la percepción de sustancias químicas liberadas por esta, penetra en la lapa perforando el manto (tejido que cubre la superficie del molusco) y se aloja entre este y la valva, transformándose en *metacercaria*, alimentándose y creciendo. Cuando baja la marea, las lapas quedan al alcance del ostrero negro que se alimenta de ellas y, si están infectadas, las larvas metacercarias llegan al intestino del ostrero, maduran hasta adultos y allí se reproducen sexualmente poniendo huevos, los que luego serán liberados al medio ambiente en las fecas del ostrero. De esta manera se completa el ciclo. Este ciclo es el resultado de una larga evolución que permite al parásito transmitirse exitosamente entre un hospedador y el siguiente y dispersarse de un ambiente a otro.

## ¿Cómo se estudian los ciclos de vida de los parásitos?

Conocer el ciclo de vida de un parásito es complejo ya que las larvas no se asemejan a los adultos y además intervienen varios hospedadores. Entonces, ¿cómo saber si el parásito que se halló en el intestino de un ave es la misma especie que la larva que se encuentra en la gónada de un molusco? Además, al tratarse de un ambiente marino, hay muchas especies presentes (en general los ambientes marinos intermareales son más diversos que los de agua dulce) que podrían ser potenciales hospedadores, y esto dificulta la búsqueda.

Macroalgas conocidas como cachiyuyos (*Macrocystis pyrifera*) durante la bajamar en Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz. Los ejemplares de la almeja *Gaimardia trapesina* (flechas) se adhieren a las frondas mediante finos filamentos (biso). Esta almeja es el primer hospedador del parásito *Gymnophalloides nacellae*. La barra de la escala indica 10cm.

Lapas de la especie *Nacella magellanica* durante la bajamar en Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz, segundo hospedador del parásito *Gymnophalloides nacellae*. La barra de la escala indica 1cm.

Ostrero negro sudamericano (*Haematopus ater*), hospedador definitivo del parásito *Gymnophalloides nacellae*, con una lapa en su pico.

Lapa infectada a la que se le removió la valva. En la imagen de la izquierda se observa la masa visceral de la lapa con acúmulos de larvas de parásitos llamadas metacercarias (flechas) y a la derecha la vista interna de la valva donde se observa la alteración calcárea producida por los parásitos (flecha). Las barras indican 1cm.

En este caso, conocíamos las larvas presentes en la almeja *Gaimardia trapesina* gracias a un investigador que estudió su reproducción y que fue el primero en encontrar los parásitos en la almeja. Cuando se encuentra un hospedador parasitado, se necesitan "pistas" para saber cuál o cuáles son los otros hospedadores que intervienen en el ciclo. Por antecedentes bibliográficos reportados en otras partes del mundo, sabíamos que el segundo hospedador intermediario tenía que ser otro molusco, un bivalvo o un caracol. Entonces, colectamos y disecamos bajo lupa a los moluscos más abundantes presentes en ese mismo intermareal donde estaban las almejas infectadas con el parásito y resultó que solo las lapas fueron halladas parasitadas por esta especie. Para hallar al adulto, los antecedentes en la bibliografía específica nos indicaron qué especies de aves costeras se alimentan de las lapas y que pudieran entonces infectarse con el parásito alojado en estas. Así, examinamos los órganos internos de gaviotas y ostreros hallados muertos en la costa y encontramos las formas adultas del parásito en los ostreros.

Luego estudiamos los diferentes estadios del parásito localizados en los tres hospedadores (almejas, lapas y ostreros) con el auxilio del microscopio óptico –para ver las estructuras internas– y el microscopio electrónico de barrido –para ver la superficie y las estructuras externas con mayor detalle–. Sin embargo, para establecer la correspondencia entre los distintos estadios y su pertenencia a la misma especie se compararon las secuencias del ADN de un mismo gen en los tres estadios y resultaron idénticas. De esta manera, y luego de una ardua búsqueda y estudio, pudimos conocer el ciclo de vida de esta especie parásita. Las herramientas moleculares facilitan y agilizan este trabajo. Antiguamente, cuando los análisis de ADN no eran posibles, se realizaban experimentos de infección de hospedadores para conocer los ciclos de vida.

## ¿Cómo conocer su distribución geográfica?

Como mencionamos, la presencia de una especie de parásito en particular solo es posible si los hospedadores definitivos e intermediarios están presentes en un área determinada y si los estadios pueden transmitirse de un hospedador a otro. La distribución geográfica de *Gymnophalloides nacellae* está restringida a aquellos sitios donde la almeja, que vive sobre las frondas del alga gigante en el intermareal rocoso, comparte el hábitat con la lapa que vive adherida a las rocas y así la larva que emerge de la almeja puede alcanzar al siguiente hospedador. Para conocer su distribución geográfica, colectamos lapas en nueve sitios a lo largo de la costa patagónica, desde península Valdés hasta Ushuaia, y las disecamos buscando al parásito. Por antecedentes bibliográficos, se conoce que el ostrero y las lapas se distribuyen en toda la costa patagónica. Sin embargo, los cachiyuyos donde la almeja vive solo se acercan al intermareal desde Puerto Deseado hasta Ushuaia. Curiosamente, el parásito estuvo presente en el mismo rango que la almeja, es decir, en los sitios donde estaban presentes los tres hospedadores que intervienen en su ciclo de vida. La presencia de parásitos de ciclos de vida complejos, como el presentado aquí, solo es posible si coexisten los tres hospedadores.

## Posibles causantes de enfermedades en el humano

Las enfermedades zoonóticas son las transmitidas al hombre desde animales infectados, como por ejemplo las muy conocidas hidatidosis o triquinosis, entre las para-

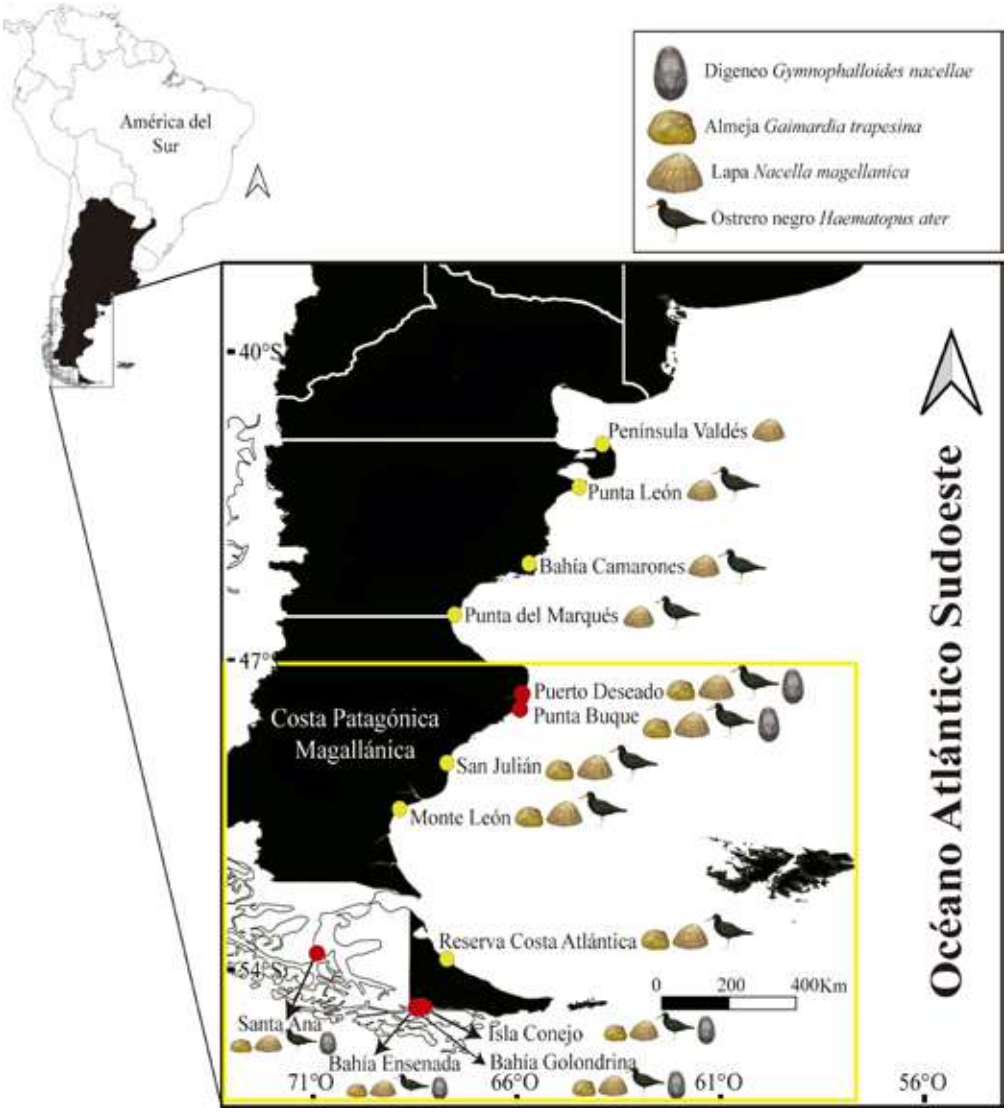
sitosis. En aquellas culturas donde es frecuente consumir productos de mar crudos o insuficientemente cocidos (por ejemplo, sushi y ceviche) son comunes las enfermedades causadas por parásitos. Una de las más comunes es la anisakidosis, causada por gusanos nematodes como *Anisakis* spp. y *Contracaecum* spp., presentes en el pescado.

Una especie cercana de la que estudiamos aquí (*Gymnophalloides seoi*) fue descripta a partir de parásitos en estadio adulto recolectados de una paciente coreana que consultó a los médicos por un cuadro de pancreatitis. La mujer se alimentaba con frecuencia de ostras crudas. Las metacercarias alojadas en este molusco crecieron, se desarrollaron en el intestino de la mujer y le causaron una enfermedad con síntomas semejantes a una pancreatitis. Luego de administrarle un antihelmíntico, eliminó los vermes adultos con sus heces. Actualmente se conoce que el hospedador definitivo natural de esta especie es el ostrero y el hombre actúa como un hospedador definitivo accidental al consumir las ostras crudas o poco cocidas. En la península de Corea este gusano trematode causa una enfermedad zoonótica y endémica, es decir, presente en una región determinada.

En la Argentina se conocen varias especies de esta familia de parásitos en moluscos de importancia comercial (por ejemplo, lapa, cholga, mejillón, almeja rayada, navajuela) que habitan los intermareales de distintas localidades de la costa atlántica. En general, la mayoría de los moluscos del intermareal se encuentran infectados por larvas metacercarias, en especial donde abundan las aves costeras que albergan al parásito y lo dispersan de una playa a otra. Asimismo, cada molusco puede transmitir cientos de estas larvas que, a pesar de su pequeño tamaño, pueden causar enfermedad en el humano al adherirse con sus ventosas a las microvellosidades del intestino. Los síntomas de la enfermedad son variables, dependiendo del paciente y de la cantidad de parásitos que alberga, pero en general son similares a los de una gastroenteritis. Si bien en la Argentina no se ha registrado la presencia de trematodes marinos adultos en humanos, *Gymnophalloides nacellae* se considera un potencial agente zoonótico. Por lo tanto, se aconseja, como medida para prevenir una eventual enfermedad, consumir a los moluscos bien cocinados o que hayan estado previamente congelados.

## Lapas infectadas y eventuales infecciones en humanos en nuestra región

*Nacella magellanica* es la lapa más abundante en la región magallánica. Se distribuye ampliamente a lo largo de la




Distribución geográfica del parásito trematode *Gymnophalloides nacellae* en las costas de la Patagonia (entre 47° y 55° de latitud sur). El recuadro amarillo señala la superposición de las áreas de distribución del primer hospedador intermediario (la almeja *Gaimardia trapesina*), del segundo hospedador intermediario (la lapa *Nacella magellanica*) y del hospedador definitivo (el ostrero negro *Haematopus ater*) en las zonas intermareales inferiores y submareales superiores y, por lo tanto, donde el parásito completa su ciclo de vida. Los puntos amarillos indican las localidades donde se analizaron hospedadores pero no se halló al parásito y los puntos rojos indican las localidades donde se halló al parásito.

Colecta en el intermareal de la ría de Puerto Deseado durante la bajamar. Se observan cachiyuyos flotando en el agua.

costa atlántica desde Río Negro (41°S, Argentina) hacia el sur, y la costa del Pacífico desde Valdivia (39°S, Chile) hacia el sur, incluidas las islas de los Estados y Malvinas. Al estudiar las patologías en los tejidos de las lapas, pudimos ver a los parásitos adheridos con sus ventosas al tejido del manto y alimentándose. El sistema inmune de las lapas reacciona a la presencia de los parásitos, por ejemplo, las células del epitelio del manto externo se estiran, se observa infiltración de hemocitos (células sanguíneas del molusco) y deposiciones calcáreas anormales en la superficie interna de la valva.

Este molusco fue recolectado y consumido en la antigüedad por los habitantes precolombinos y actualmente por pescadores artesanales en la costa patagónica. Como se mencionó, otra especie del mismo género causa una enfermedad zoonótica en la península de Corea, por lo que es importante dar a conocer la existencia de este parásito y concientizar a la población de los peligros del consumo inadecuado de moluscos. Con el objetivo de prevenir una posible enfermedad zoonótica, es de gran relevancia conocer si otros moluscos además de la lapa pueden ser segundos hospedadores intermediarios, la abundancia e intensidad de la infección, así como su rango de distribución. CH

*Este trabajo fue llevado a cabo con permisos proporcionados por el secretario de Vida Silvestre de la provincia de Santa Cruz (resolución 861/08).*

## LECTURAS SUGERIDAS

**CREMONTE F**, 2011, 'Enfermedades de moluscos bivalvos de interés comercial causadas por metazoos', en Figueras A y Novoa B (ed.), *Enfermedades de moluscos bivalvos de interés en Acuicultura*, Observatorio Español de Acuicultura, Madrid, pp. 331-385.

**CREMONTE F, PINA S, GILARDONI C, RODRIGUES P, CHAI J-Y & ITUARTE C**, 2013, 'A new species of gymnophallid (Digenea) and an amended diagnosis of the genus *Gymnophalloides* Fujita, 1925', *Journal of Parasitology*, 99 (1): 85-92.

**GILARDONI C, DI GIORGIO G, BAGNATO E, PINA S, RODRIGUES P & CREMONTE F**, 2020, 'Life cycle and geographical distribution of a potential zoonotic parasite, the digenean *Gymnophalloides nacellae* on Patagonian coast, Southwestern Atlantic Ocean", *Polar Biology*. DOI *10.1007/s00300-020-02674-7*

**Florencia Cremonte**
Doctora en ciencias naturales, UNMdP.
Investigadora principal en el IBIOMAR, CCT Conicet-CENPAT.
Directora del IBIOMAR.
*fcremont@cenpat-conicet.gob.ar*

**Carmen Gilardoni**
Doctora en ciencias naturales, UNMdP.
Investigadora asistente en el IBIOMAR, CCT Conicet-CENPAT
Jefa de trabajos prácticos, UNSJB, sede Puerto Madryn.
*gilardoni@cenpat-conicet.gob.ar*

**Nuria Vázquez**
Doctora en ciencias biológicas, UNCo.
Investigadora adjunta en el IBIOMAR, CCT Conicet-CENPAT.
*nuria@cenpat-conicet.gob.ar*

**Nara Guisoni y Paula Bergero**
INIFTA-UNLP, Conicet

**Luis Diambra**
CREG-UNLP, Conicet

# Sonic Hedgehog y el origen de las formas biológicas

## Morfogénesis: el origen de las formas

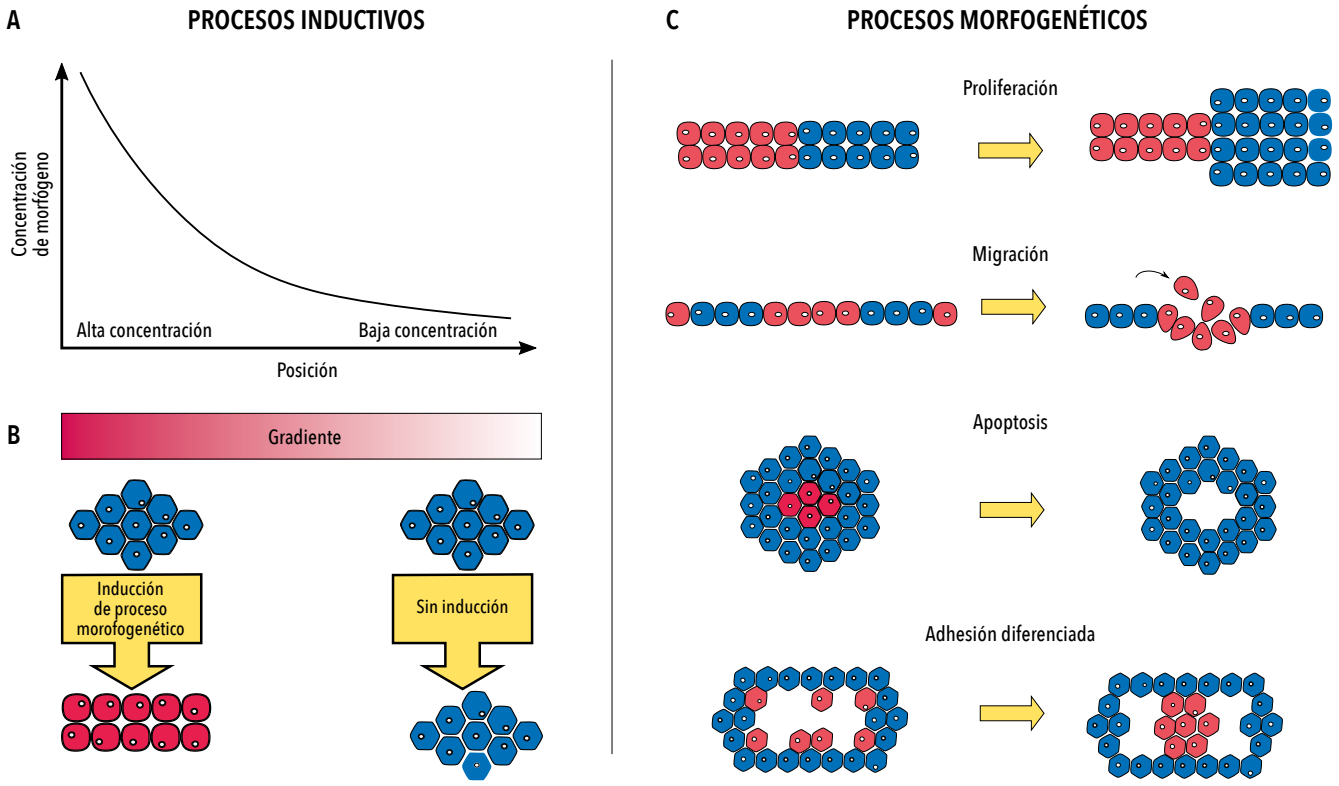
Sonic Hedgehog es una de las proteínas más importantes de la morfogénesis en el reino animal y toma su nombre de un popular erizo, protagonista de la serie de videojuegos de Sega *Sonic The Hedgehog*. El gen que codifica esta proteína fue descubierto por Christiane Nüsslein-Volhard y Eric Wieschaus en lo que se conoce como el 'screening de Heidelberg' y publicado en 1980 en la revista *Nature*. Este trabajo identificaba, en la mosca de la fruta, los genes cuyas mutaciones afectaban el número de segmentos y la polaridad de los embriones. La pérdida de función de Sonic Hedgehog ocasiona el reordenamiento de estructuras de su cutícula en forma de pequeñas 'espinas' (dentículos) hacia la zona media de su dorso, asemejándose a la cresta que posee el personaje del dibujo animado. Este hecho histórico le dio el nombre a la familia génica Hedgehog.

En animales vertebrados los Hedgehog forman una familia compuesta por tres genes que codifican tres proteínas: Sonic, Desert e Indian, que juntos son responsables de dar origen a numerosos órganos y extremidades. Así Nüsslein-Volhard y Wieschaus ganaron el premio Nobel en 1995 por contribuir con una respuesta a una de las preguntas más fundamentales de la biología del desarrollo: ¿cómo un óvulo fecundando de simetría simple y aparentemente homogéneo se desarrolla en un organismo diferenciado?

La morfogénesis es uno de los procesos más complejos que se pueda observar y es el área de estudio de la biología del desarrollo. El objetivo de esta disciplina es responder preguntas como cuáles son los mecanismos

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Un grupo de células de simetría simple puede dar lugar a formas y patrones, mediante el establecimiento de gradientes de moléculas difusibles, para dar origen a un individuo complejo.



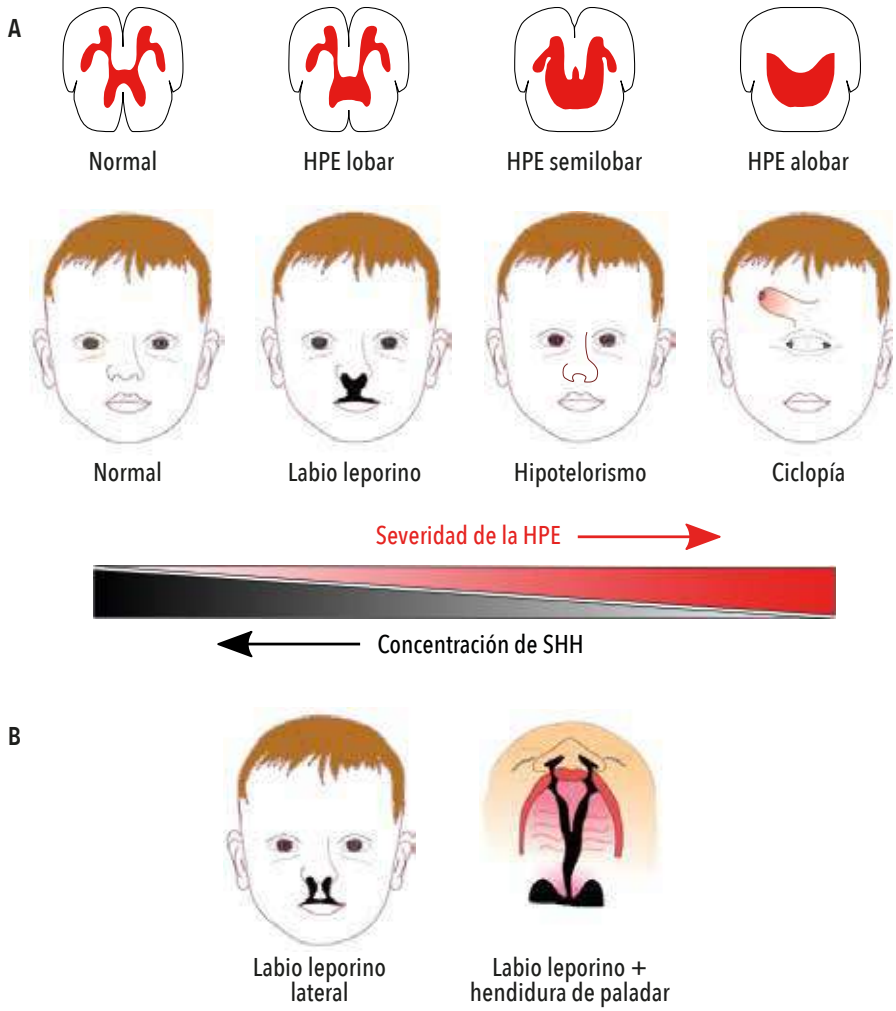

**La formación de patrones y los procesos morfogenéticos**
La morfogénesis se puede entender como la combinación de la formación de patrones espaciales de morfógenos y los procesos morfogéneticos. Los patrones espaciales de morfógenos se pueden formar por simple difusión, como el gradiente mostrado en A. También existen mecanismos más complejos de formación de patrones cuando dos o más morfógenos interactúan entre sí. El panel B ilustra como solo en regiones de alta concentración de morfógeno se induce la diferenciación celular (células azules ⟶ células rojas). Además de la diferenciación celular, existen diversos mecanismos que pueden contribuir a los procesos morfogenéticos, como la proliferación celular, la migración, la apoptosis y la adhesión diferenciada que dan lugar a cambios en las formas, como se ilustra en el panel C.

que dan origen a las formas biológicas o cuál es la relación entre los procesos de desarrollo y la información genética. Si bien en los últimos años se han dado varios pasos importantes, aún queda mucho por comprender. En este sentido, se han identificado dos mecanismos clave que contribuyen de manera orquestada a la morfogénesis: los procesos morfogenéticos y la formación de patrones espaciales. Los procesos morfogenéticos comprenden varios y diferentes fenómenos biológicos que van desde la multiplicación celular, pasando por la diferenciación, la migración, la adhesión diferenciada entre células y la *apoptosis*, que darán origen a la forma de un miembro, un órgano o un individuo completo a partir de una célula única. Cada uno de estos procesos está controlado por proteínas, llamadas morfógenos, distribuidas en el espacio y el tiempo en una forma muy precisa, y que conforman un patrón espacial inductivo. Los patrones espaciales de morfógenos pueden inducir, o no, procesos morfogenéticos dependiendo de la concentración local del morfógeno y de la capacidad de las células para ser sensibles a él. Como veremos más adelante, los patrones espaciales de proteínas se generan por la interacción entre genes y proteínas.

Los mecanismos que guían el proceso de formación de un individuo desde su concepción están programados en su genoma. Fallas internas en este programa llevan a malformaciones, muchas de ellas con destino fatal aun antes del nacimiento. El programa morfogenético puede fallar debido a mutaciones, es decir, a cambios en la secuencia de *nucleótidos* que conforman el material genético, o sea, el ADN. Estos cambios o *mutaciones* pueden estar asociados, para bien o para mal, a alteraciones en el *fenotipo*, llevando a una mayor diversidad en la población o a formas patológicas. Por otro lado, las malformaciones también pueden tener su origen en la interacción del programa morfogenético con agentes *teratogénicos* ambientales, tales como sustancias o radiaciones nocivas. En el próximo apartado presentamos un ejemplo ilustrativo de malformaciones en el rostro y el cerebro asociadas con el gen Sonic Hedgehog, a quien se lo identifica con la sigla en itálica *Shh*, y con su producto, la proteína Sonic Hedgehog, Shh.

# La holoprosencefalia: del labio leporino a los cíclopes

¿Quién no conoce a una persona con labio leporino? Se trata de una alteración congénita que consiste en una división en el labio superior, que puede ser corregida en recién nacidos con cirugías para restaurar la apariencia y la función normal. El labio leporino es una de las alteraciones congénitas más frecuentes, representa alrededor del 15% de estas malformaciones, y muchas veces no tiene mayores consecuencias. Sin embargo, en algunos casos puede estar acompañado de otros trastornos congénitos más graves. Este defecto congénito está asociado a una serie de síndromes conocidos como holoprosencefalia (HPE), que afecta a 1 de cada 10.000 nacimientos. Sin embargo, es una de las malformaciones congénitas humanas más comunes y se estima que 1 de cada 200 abortos espontáneos son debido a formas graves de esta. La holoprosencefalia es una malformación cerebral congénita que resulta de una división incompleta del cerebro anterior o *prosencéfalo*. La división completa da origen a los dos hemisferios de nuestro cerebro y ocurre en el segundo mes de embarazo. La falla en este proceso de génesis del cerebro no solo afecta al cerebro anterior sino que también provoca anomalías faciales de diferente gravedad. De acuerdo con la grave-




**La holoprosencefalia**
La severidad de la holoprosencefalia varía según la concentración de la proteína Sonic Shh; a menor concentración mayor gravedad en las anomalías (A). Los defectos en la formación del rostro están acompañados por malformaciones en el cerebro, en el caso grave, conocido como holoprosencefalia alobar, no hay división de hemisferios cerebrales. El caso leve más común de la holoprosencefalia es el labio leporino, que suele estar asociado con hendiduras en el paladar (B).

## CÍCLOPES

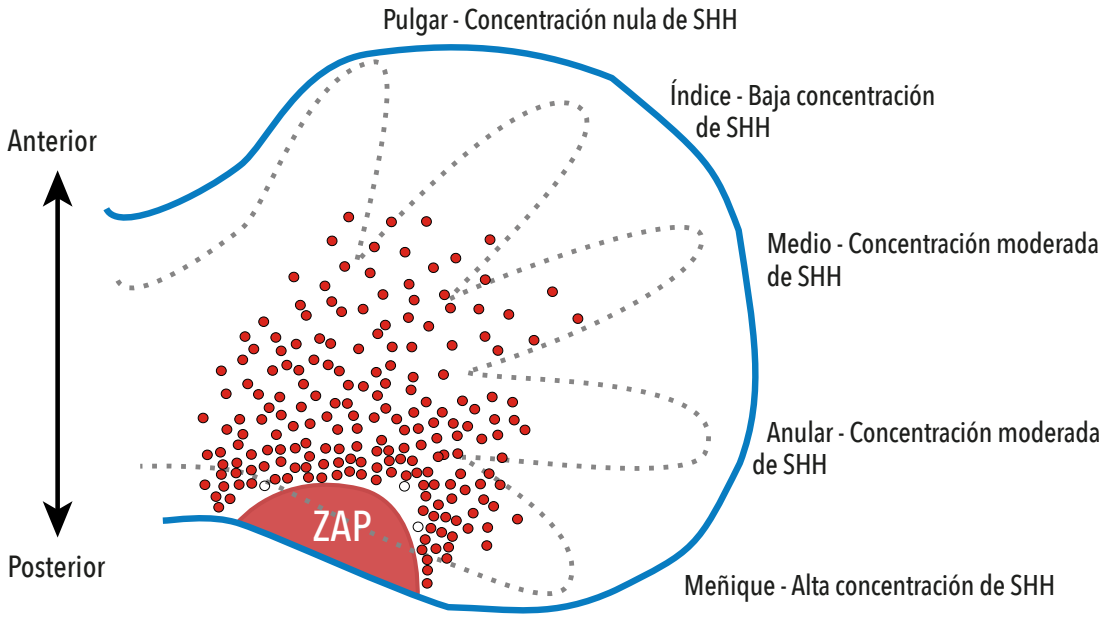
Según la mitología griega, los cíclopes eran gigantes con un solo ojo en la mitad de la frente, hijos de dioses. Estos seres mitológicos llegan hasta nosotros a través de un relato de Homero, en la *Odisea*. Allí los presenta como pastores primitivos, malvados y torpes. En su relato, el cíclope Polifemo, hijo de Poseidón y Toosa, devoró a seis de los hombres de Odiseo y mantuvo al resto de la tripulación encerrada en una cueva con el objetivo de devorarlos cuando tuviese hambre. Este personaje de Homero ha sido desde entonces el arquetipo de monstruos para muchos cuentos infantiles. Sin embargo, este ser mitológico pudo haber tenido su origen en la realidad; en observaciones de nacimientos inusuales o el descubrimiento de cráneos con un único orificio ocular. Pasaron miles de años para entender que esta mítica malformación puede ser generada por una mutación o por un agente teratogénico. En 1957 varios ganaderos de ovejas de Idaho, Estados Unidos, se contactaron con el Departamento de Agricultura de su país cuando vieron que sus ovejas daban a luz corderos muertos con ciclopía. Fue el paso inicial del descubrimiento de una singular sustancia. Durante años los investigadores estudiaron la flora local para dar con la causa y el misterio fue resuelto en 1967 cuando encontraron una planta silvestre, llamada lirio de maíz (*Veratrum californicum*), que recreaba la misma deformación en ratones. Se determinó que la planta contiene un alcaloide con propiedades teratogénicas y que era el responsable de los defectos en los embriones de oveja. Fue llamado ciclopamina y estudios posteriores demostraron que interrumpe la vía de señalización del Sonic Hedgehog durante el desarrollo embrionario. Hoy en día, la ciclopamina está siendo estudiada como una droga en el tratamiento del cáncer.

dad de la holoprosencefalia, esta se clasifica en tres tipos principales: alobar, semilobar y lobar. Las formas menos graves pueden incluir un diente incisivo único central, displasia retiniana, obstrucción nasal y labio leporino. El labio leporino se puede presentar como una fisura única en el labio superior o como dos fisuras bilaterales. Con frecuencia se manifiesta con hendidura en el paladar. En general, la severidad del defecto facial depende de la gravedad de la malformación cerebral: en las formas menos graves, el cerebro se encuentra parcialmente dividido. En la forma semilobar el cerebro se divide solamente en la parte de atrás, pero no en la parte frontal. En el rostro pueden manifestarse labio leporino, *hipotelorismo* y/o *microftalmia*. Las formas más graves suelen ser en ocasiones fatales. En estos casos el prosencéfalo no se divide, no existe cuerpo calloso y el cerebro es pequeño. La forma alobar de holoprosencefalia está acompañada de defectos severos en el rostro, como *ciclopía* y *proboscis*.

Se ha establecido que la holoprosencefalia es una enfermedad genética compleja, resultado de la interacción de varios genes. Hoy se sabe que el origen de las malformaciones mencionadas está asociado con diferentes mutaciones, que afectan a cuatro genes conocidos (*Shh*, *Zic2*, *Six3* y *Tgif*). Sin embargo, estudios genómicos más abarcativos realizados sobre grandes poblaciones de pacientes han identificado mutaciones adicionales en unos diez genes implicados en esta malformación. Una consecuencia común de las mutaciones asociadas a estos genes es la disminución de la expresión del gen *Shh*. Esto sugiere que el defecto en la región rostro-ventral del embrión asociado a la holoprosencefalia es consecuencia de la disminución en la tasa de síntesis de la proteína Sonic Hedgehog.

## Las mutaciones y las fallas en los programas morfogenéticos

Diversos estudios en biología del desarrollo muestran que existe una estrecha relación entre los procesos morfogenéticos y la información almacenada en el genoma de un organismo. Existen diferentes mecanismos moleculares por los cuales aun pequeños cambios en el genoma pueden causar una falla en el programa morfogenético. Sabemos que los genes guardan la información para que las células fabriquen las proteínas necesarias para realizar las funciones celulares. Para entender el efecto de tales cambios o mutaciones en el genoma, debemos repasar cómo es el procesamiento de esta información y cómo se realiza la síntesis proteica. La información está guardada en los *codones* del gen y es copiada en el núcleo de la célula a un *mensajero* en un proceso llamado transcripción. Luego, la información presente en la secuencia de nucleótidos del mensajero es usada para construir una cadena de aminoácidos en un proceso conocido como traducción del mensajero. Los encargados de identificar los codones y asignar el aminoácido son los *ribosomas* a través de un proceso altamente complejo. Paso a paso los ribosomas interpretan cada uno de los codones en el mensajero que está siendo traducido y van colocando el aminoácido que corresponde, según el código genético, en el extremo de la cadena de aminoácidos que se está construyendo, como si fueran cuentas en un collar. Esta cadena se va plegando sobre sí misma en una estructura tridimensional precisa, dando lugar a la proteína.




**Sonic Hedgehog en acción**
El gen Sonic Hedgehog codifica la información para sintetizar la proteína del mismo nombre. Durante el desarrollo de la mano, Sonic Hedgehog se produce en células ubicadas en la zona de actividad polarizante (ZAP). Desde allí difunden formando un gradiente y proporcionando información posicional a las células del tejido. Esto les otorga las identidades a los diferentes dígitos. Por ejemplo, el pulgar queda determinado por concentración nula de Sonic Hedgehog, mientras que el dedo meñique surge en la región de mayor concentración Sonic Hedgehog.

Entendiendo esto es posible imaginar cómo algunas mutaciones pueden ocasionar fallas en el programa morfogenético y llevar a la holoprosencefalia. Por ejemplo, puede existir una mutación de un único nucleótido en una región codificante de un gen que modifica el codón asociado. Si el nuevo codón, según el código genético, codifica para un aminoácido diferente, esta es llamada mutación con *cambio de sentido*. Pero si el codón resultante de la mutación codifica para el mismo aminoácido estamos ante una mutación sinónima, también llamada 'silenciosa' porque se espera que no tenga ningún efecto en la proteína. Hoy se conocen varias mutaciones con cambio de sentido en el gen *Six3* asociadas a la holoprosencefalia. Este gen codifica una proteína que tiene por función regular la expresión de *Shh*, es decir, controlar la tasa de síntesis de la proteína Shh. Estos resultados sugieren que la sustitución de aminoácido derivada de esta mutación disminuye la habilidad regulatoria de Six3 sobre el gen *Shh*. Por otro lado, mutaciones en las regiones que no codifican proteínas también pueden llevar a fallas del programa morfogenético. En este sentido, se ha identificado que una mutación distante a casi 500.000 nucleótidos del gen *Shh* reduce la habilidad con que la proteína asociada al gen *Six3* se une al sitio regulador de *Shh* en el ADN. La consecuencia de esta mutación es también una disminución de la proteína Shh y el desarrollo de holoprosencefalia leve.

En un estudio reciente se identificaron ocho nuevas mutaciones en el gen *Shh* asociadas con casos leves de holoprosencefalia. Lo interesante y novedoso en este caso es que estas mutaciones son del tipo 'silenciosas'. Resultan de la degeneración del código genético: dado que el código genético presenta 64 codones y solo 20 aminoácidos, existen diversos codones que corresponden al mismo aminoácido. Si una mutación resulta en un codón sinónimo, no habrá cambio en la cadena de aminoácidos y no es esperable que causen efectos en el fenotipo. ¿Por qué entonces una mutación sinónima, que no cambia la secuencia de la proteína, puede tener consecuencias? Después de todo, parece que estas mutaciones sinónimas no son tan silenciosas como se pensaba.

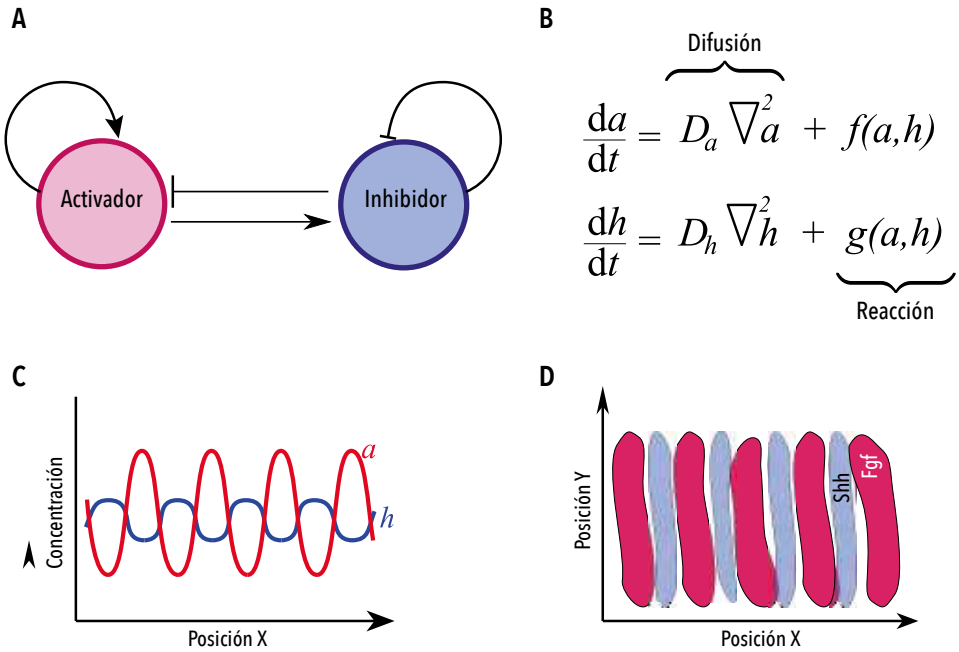
Una respuesta a esta pregunta considera que durante el proceso de síntesis de proteína esta se va plegando sobre sí misma y en este proceso es muy importante la velocidad con que los aminoácidos son agregados a la cadena de aminoácidos y con la que el ribosoma va liberando la proteína naciente. Parece que el ribosoma lo hace más rápido en algunos codones que en otros. Según una teoría reciente, esta velocidad está codificada en los pares de codones en una suerte de mensaje subliminal. Si bien las mutaciones sinónimas no alteran la secuencia de aminoácidos, estas pueden alterar el patrón de velocidad requerido para el plegamiento normal de la proteína. Las proteínas mal plegadas son degradadas. Esta disminución en la cantidad de proteínas puede llevar a diversos rasgos clínicos patológicos, como es el caso particular de la holoprosencefalia. Así, el hallazgo de las mutaciones silenciosas parece confirmar la teoría de que las mutaciones sinónimas tendrían un papel importante en la velocidad de síntesis y pueden llevar a un plegamiento incorrecto.

Los ejemplos mencionados ilustran algunos de los mecanismos por los cuales pequeñas variaciones en el ADN conducen a fallas en el programa morfogenético. También ilustran cómo los programas morfogenéticos están incrustados en el orden preciso de los nucleótidos que conforman el genoma.

## Morfógenos y patrones de Turing

El gen *Shh* juega un papel fundamental en el desarrollo de todos los *bilaterios*, dado que es uno de los genes claves para crear la polaridad, es decir las diferencias entre los extremos de un apéndice, de un órgano, o de un segmento del embrión. Como vimos, es clave en la formación del rostro y la división de los hemisferios cerebrales. Además, también participa en el desarrollo de las extremidades, donde influye en los destinos celulares a lo largo del eje anterior-posterior. Así, el pulgar se forma a partir de las células que han recibido una menor concentración de Shh, mientras que el dedo meñique surge en la región donde Shh es producida y por lo tanto está presente en una mayor concentración. Shh es producida por las células que están en una región y secretada al medio donde difunde. El proceso de *difusión* genera un *gradiente* de moléculas que brinda información posicional, capaz de inducir cambios celulares en zonas específicas. La capacidad de difundir y orientar espacialmente los procesos morfogenéticos define a los morfógenos y Shh es uno de los más estudiados de ellos. Curiosamente el término *morfógeno* fue acuñado por el matemático Alan Turing en 1952 en su trabajo *La base química de la morfogénesis*, quien formuló el primer mecanismo que permitiría responder la difícil pregunta enunciada anteriormente: ¿cómo un grupo de células de simetría simple puede dar lugar a un individuo complejo?

La pregunta acerca del mecanismo de formación de patrones más allá del simple gradiente tiene una larga tradición en los modelos matemáticos de la biología del desarrollo, y el modelo presentado por Turing es un capítulo importante de la historia. En su trabajo, Turing desarrolló la idea de que para que surjan patrones biológicos a partir de un estado inicialmente homogéneo debían existir dos o más morfógenos. Uno de ellos, el activador, debe aumentar la concentración de los morfó-




**Patrones de Turing**
Los patrones inductivos se pueden formar por un mecanismo de autoorganización propuesto por Turing en 1952. Él determinó en qué condiciones un sistema formado por dos morfógenos (A), un activador (círculo rojo) y un inhibidor (círculo azul) era capaz de formar patrones estables. Las concentraciones del activador ($a$) y del inhibidor ($h$) evolucionan en el tiempo y en el espacio según un sistema de ecuaciones diferenciales parciales llamadas de reacción-difusión (B), donde las funciones $f$ y $g$ representan la forma en que los morfógenos son activados e inhibidos. Si el morfógeno activador difunde más lentamente que el inhibidor ($D_a < D_h$), se producen bandas alternadas de activador e inhibidor (C). En el caso de las bandas observadas en las rugas palatinas (D) se determinó que el morfógeno activador (bandas rojas) es *Fgf* (factor de crecimiento de fibroblastos), mientras que el inhibidor es *Shh* (bandas azules).

genos, mientras que la acción del otro morfógeno, el inhibidor, impide la producción de ambos. Otra condición importante es que los dos morfógenos deben difundir con velocidades diferentes. Estos procesos de reacción y de difusión ocurren en simultáneo y se representan matemáticamente por medio de las llamadas ecuaciones de reacción-difusión. Turing mostró que la distribución espacial de los morfógenos no es uniforme, sino que presenta diferentes patrones, que fueron llamados patrones de Turing. Estos patrones, tales como bandas periódicas, puntos, espirales o incluso patrones más complejos, son observados en muchos ejemplos de la naturaleza. La idea de Turing de que la difusión de dos morfógenos lleva a la formación de patrones espaciales puede resultar contraintuitiva ya que la difusión, por sí sola, está asociada a la tendencia hacia una distribución espacial homogénea. Por lo tanto, pensar que la difusión puede generar un patrón a partir de algo inicialmente homogéneo es bastante original. Los patrones de Turing son un increíble ejemplo de autoorganización en los sistemas biológicos.

Un sistema experimental donde el gen *Shh* interviene a través del mecanismo de Turing es en la formación de las rugas palatinas. Estas rugas son estructuras en relieve que se encuentran en el paladar y que tienen funciones relacionadas a la masticación y a la percepción del sabor. En humanos, se forman durante las semanas 12.ª y 14.ª del embrión y permanecen estables durante toda la vida del individuo, por lo que se pueden usar como un identificador forense. Hay evidencias de que las rugas palatinas en mamíferos son formadas por un mecanismo de Turing donde el morfógeno conocido como Fgf actúa como morfógeno activador y Shh, como inhibidor. Así, mientras el paladar crece en tamaño, un patrón de bandas paralelas con alto contenido de Shh se forma y define la posición de las rugas.

El tamaño característico de los patrones de Turing depende de los parámetros cinéticos del sistema. En un trabajo reciente se mostró que el número de dígitos en una mano está bajo un control fino de la concentración de morfógenos. Las alteraciones en la regulación de los procesos donde intervienen estos morfógenos origina la aparición de *polidactilia*. Esto demuestra que una de las propiedades clave del mecanismo propuesto por Turing, es decir que el tamaño del patrón, o el número de dígitos observados, depende de las tasas de producción de los morfógenos. El hallazgo de sistemas experimentales como el desarrollo de las rugas del paladar o de las extremidades, que satisfacen el mecanismo de Turing, ha aumentado en gran medida la aceptación de este modelo en la comunidad de biología del desarrollo.

En conclusión, la liberación, difusión e interacción de los morfógenos permiten la formación de patrones complejos, algunos de los cuales están a la vista de todos y otros pueden ser observados experimentalmente. Estos patrones controlan de forma coordinada en el tiempo y el espacio procesos celulares que dan lugar a las formas. Por otro lado, las malformaciones congénitas nos dan pistas acerca de los actores principales involucrados en el desarrollo, que está programado en el genoma de cada organismo. CH

## GLOSARIO

**Apoptosis.** Es la muerte celular programada. La célula recibe una señal inductiva que desencadena una serie de procesos bioquímicos que conducen a la degradación de sus componentes para que sean reutilizados por el organismo. Es un mecanismo que permite eliminar células en exceso, sea para mantener la población celular controlada o para generar formas durante el desarrollo de los organismos. Además, es utilizado para destruir células dañadas.

**Bilaterios.** Son los animales cuyo cuerpo es simétrico respecto del plano sagital, por ende las dos mitades en que divide este plano resultan idénticas frente a una reflexión especular. Los humanos son bilaterios y por ello cada mano es la reflexión especular de la otra.

**Cambio de sentido.** Son las mutaciones en un único nucleótido que provocan la aparición de un codón que codifica para un aminoácido diferente, dando lugar a una modificación en la proteína resultante.

**Ciclopía.** Es una malformación congénita que da lugar a un individuo con un ojo único posicionado en el centro del rostro. Esto recuerda a los cíclopes de la mitología griega, de donde recibe su nombre. Esta alteración congénita ocurre en los casos graves de holoproencefalia alobar y es muy poco frecuente.

**Codón.** Es una secuencia de tres nucleótidos del ADN que codifica un aminoácido, según una relación que está determinada por el código genético. Las posibles combinaciones de los 4 nucleótidos (A, T, C y G) en cada una de las tres posiciones del triplete generan 64 codones distintos ($64 = 4 \times 4 \times 4$). Como existen solamente 20 aminoácidos, varios codones diferentes codifican para el mismo aminoácido, por lo cual decimos que el código genético es redundante o degenerado.

**Difusión.** Es un proceso debido al movimiento al azar de las partículas por el cual se establece un flujo de partículas desde una zona de alta concentración a otra de menor concentración.

**Fenotipo.** Conjunto de características observables que un individuo presenta como resultado de la interacción entre su genotipo y el medio (fenotipo = genotipo + ambiente). El genotipo está determinado por el ADN.

**Gradiente (de concentración).** Es una magnitud que describe la proporción y la dirección en la que se produce el mayor cambio en la concentración. Esta magnitud existe siempre que la concentración no sea uniforme en el espacio. La difusión ocurre en la dirección opuesta al gradiente.

**Hipotelorismo.** Es una malformación cráneo-facial congénita caracterizada por la disminución de la distancia entre los globos oculares.

**Mensajero.** También llamado ARN mensajero o ARNm. Es una copia de una parte de la secuencia de nucleótidos del ADN, generada durante el proceso de transcripción del gen. Contiene la información necesaria para que el ribosoma sintetice una proteína, funcionando como un intermediario entre el ADN y el ribosoma.

**Microftalmia.** Es un defecto cráneo-facial congénito que se manifiesta con globos oculares de tamaño menor que lo normal.

**Mutaciones.** Cualquier cambio en la secuencia de nucleótidos del ADN. Un ejemplo de mutación es el cambio al azar en un nucleótido dado, o la inserción de un nucleótido en la secuencia de ADN.

**Nucleótidos.** Son las moléculas que forman el ADN y el ARN. Los nucleótidos forman cadenas lineales y pueden ser miles o millones, dependiendo del organismo. También realizan funciones como moléculas libres en las células. Los nucleótidos que forman el ADN son identificados por su base nitrogenada, que puede ser adenina (A), timina (T), citosina (C) o guanina (G).

**Polidactilia.** Es una malformación congénita que se manifiesta por dedos supernumerarios en manos o pies, generalmente uno más que lo normal.

**Proboscis.** Es una estructura tubular de tejido sin orificio que resulta de una malformación nasal y que suele acompañar a la ciclopía en los casos graves de holoproencefalia alobar, situándose por encima del ojo único.

**Prosencéfalo.** Es la estructura embrionaria del sistema nervioso central que da origen al lóbulo fron-

## GLOSARIO

tal del cerebro del feto. También se lo conoce como cerebro primitivo anterior. La división del prosencéfalo durante la gestación da lugar a la formación de los nervios ópticos, los hemisferios cerebrales y otras estructuras, como el tálamo y el hipotálamo.

**Ribosoma.** Máquina molecular responsable por la síntesis de proteínas a partir de la información del mensajero, en un proceso conocido como traducción. La secuencia de nucleótidos del mensajero determina la secuencia de aminoácidos de la proteína. Los ribosomas están presentes en todas las células a excepción de los espermatozoides.

**Teratogénico.** La palabra proviene del griego *teratos*, que significa monstruo. Un agente teratogénico es capaz de provocar un defecto durante la gestación. Los agentes teratogénicos pueden provocar alteraciones morfológicas, retraso en el crecimiento, alteraciones funcionales y muerte embrionaria. Ejemplos de agentes teratogénicos son algunas sustancias químicas, algunos virus y las radiaciones, entre otros. La gravedad de las alteraciones depende de factores como la dosis del agente y la edad gestacional.

## LECTURAS SUGERIDAS


**ECONOMOU AD, OHAZAMA A, PORNTAVEETUS T, SHARPE PT, KONDO S, BASSON MA, GRITLI-LINDE A, COBOURNE MT & GREEN JB**, 2012, 'Periodic stripe formation by a Turing mechanism operating at growth zones in the mammalian palate', *Nature Genetics*, 44: 348-351.

**KIM A & cols.**, 2020, 'Synonymous variants in HPE alter codon usage and impact the Sonic Hedgehog protein', *Brain*, e/p, DOI *10.1093/brain/awaa152*

**KONDO S & MIURA T,** 2010, 'Reaction-diffusion model as a framework for understanding biological pattern formation', *Science*, 329: 1616-1620.

**MARCON L & SHARPE J,** 2012, 'Turing patterns in development: What about the horse part?', *Current Opinion in Genetics & Development*, 22: 578-584.

**SALAZAR-CIUDAD I, JERNVALL J & NEWMAN S**, 2003, 'Mechanisms of pattern formation in development and evolution', *Development,* 130: 2027-2037.

**YONGSU J & cols.,** 2008, 'Regulation of a remote Shh forebrain enhancer by the Six3 homeoprotein', *Nature Genetics*, 40: 1348-1353.

**Nara Guisoni**
Doctora en ciencias, Instituto de Física, Universidad de San Pablo (USP).
Investigadora adjunta del Conicet en el INIFTA, UNLP.
*naraguisoni@conicet.gov.ar*

**Paula Bergero**
Doctora en ciencias exactas, UNLP.
Jefe de trabajos prácticos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.
Investigadora adjunta del Conicet en el INIFTA, UNLP.
*Paula_b@inifta.unlp.edu.ar*

**Luis Diambra**
Doctor en física, UNLP.
Profesor adjunto, UNSAM.
Investigador independiente del Conicet en el CREG, UNLP.
*ldiambra@gmail.com*

**Alfredo E Lattes**
Centro de Estudios de Población-CENEP

# Entre pirámides y obeliscos demográficos

## Nuevas miradas al envejecimiento en la población

El interés por la composición por edad y sexo de las poblaciones se remonta a los inicios de la demografía, con las clásicas observaciones del inglés John Graunt (1620-1674) sobre los certificados de muertes de la ciudad de Londres. El análisis comparado de la población por sexo y edad, sin embargo, tuvo que esperar hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando varios países europeos levantaron censos modernos. Aquellos censos revelaron, además de las diferencias entre países, un cambio etario novedoso: disminuía la proporción de niños y aumentaba la de ancianos. En una Europa convulsionada por guerras y epidemias, y temerosa de la despoblación, las evidencias del cambio etario alimentaron las preocupaciones por el futuro de las naciones.

Estudiosos de la dinámica de las poblaciones, sobre todo el norteamericano Alfred Lotka (1880-1949), lograron en la primera mitad del siglo XX dar solidez teórica a las relaciones entre mortalidad, fecundidad y composición por edad. Paralelamente la demografía, que se consolidaba como disciplina científica, acuñaba la expresión 'envejecimiento demográfico' para nombrar a este cambio etario y se preguntaba qué efectos podría tener en las sociedades, en particular en los sistemas previsionales y de salud. A fines de la década de 1970, tras el auge del 'Estado de bienestar' como forma de gobierno, el envejecimiento demográfico recibió más atención de parte de políticos, de científicos y, especialmente, de la prensa y los medios de comunicación masiva. Simultáneamente, el enfoque comenzó a ser cuestionado por estos mismos actores y la demografía, con parsimonia, inició la revisión y el ajuste de los conceptos e indicadores que venía usando; profundizó el estudio de la mortalidad, especialmente en las edades avanzadas y, poco a poco y asociada con otras ciencias, se integró al campo de la investigación de las interrelaciones entre salud, morbilidad, discapacidad, mortalidad, envejecimiento y otras cuestiones afines.

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Del envejecimiento demográfico y de las críticas y alternativas al enfoque convencional.

## ¿Qué es el *envejecimiento demográfico*?

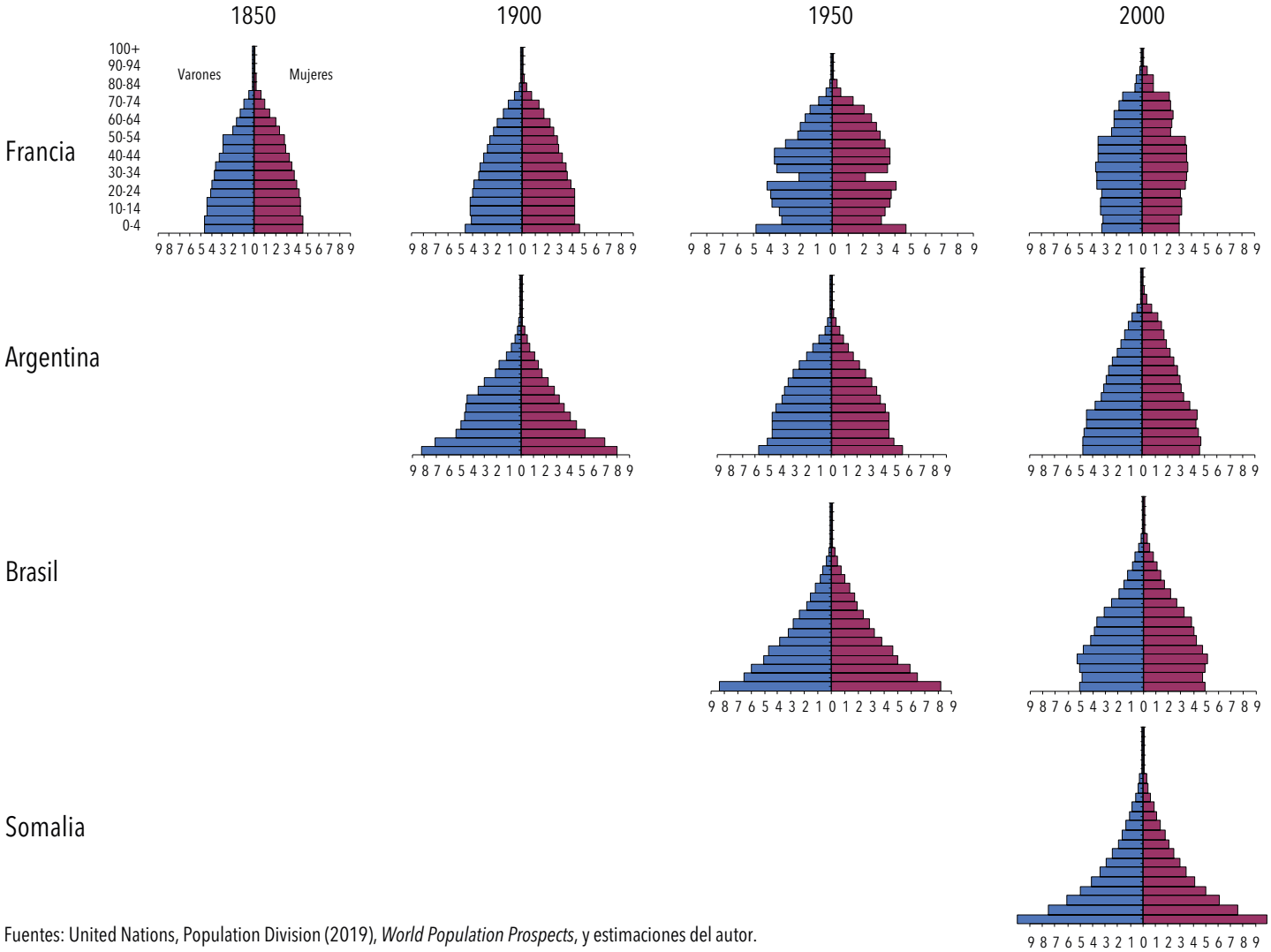
Para el enfoque demográfico convencional (EDC) una población humana envejece cuando aumenta su proporción de personas viejas. Como el término 'viejos/as' llega a ofender, el EDC sugirió usar eufemismos como 'mayores', 'adultos mayores' y 'personas en la tercera edad'. Pero ¿cómo identifica el EDC a esas personas? Simplemente, adopta una edad cronológica arbitraria como umbral de vejez y clasifica como viejas a todas las personas que la traspasan. Usualmente, los porcentajes de personas con 60 o 65 años o más (que denotaremos 60+ o 65+) son las medidas utilizadas para medir el envejecimiento demográfico.

Con la suposición adicional de que los mayores (65+) y los niños (0-14) dependen del grupo (15-64), el EDC creó cuatro indicadores del envejecimiento demográfico: la 'razón de dependencia total' (RDT) que es el número de personas entre 0-14 y 65+ por cada 100 personas del grupo 15-64 y sus dos componentes: 'razón de dependencia de mayores' (RDM) y 'razón de dependencia de niños' (RDN). A esto agregó el índice de envejecimiento o número de mayores por cada 100 niños.

## Panorámica histórica del *envejecimiento demográfico*

Los primeros censos modernos de seis naciones europeas revelaron, en 1850, porcentajes de 65+ entre 4,6 (Gran Bretaña) y 6,5 (Francia) con promedio de 5,3. Una década después, diez naciones con similar promedio mostraron un rango de variación entre 4,2 (Italia) a 6,9 (Francia).

**Histogramas de población de naciones seleccionadas, 1850 - 2100**

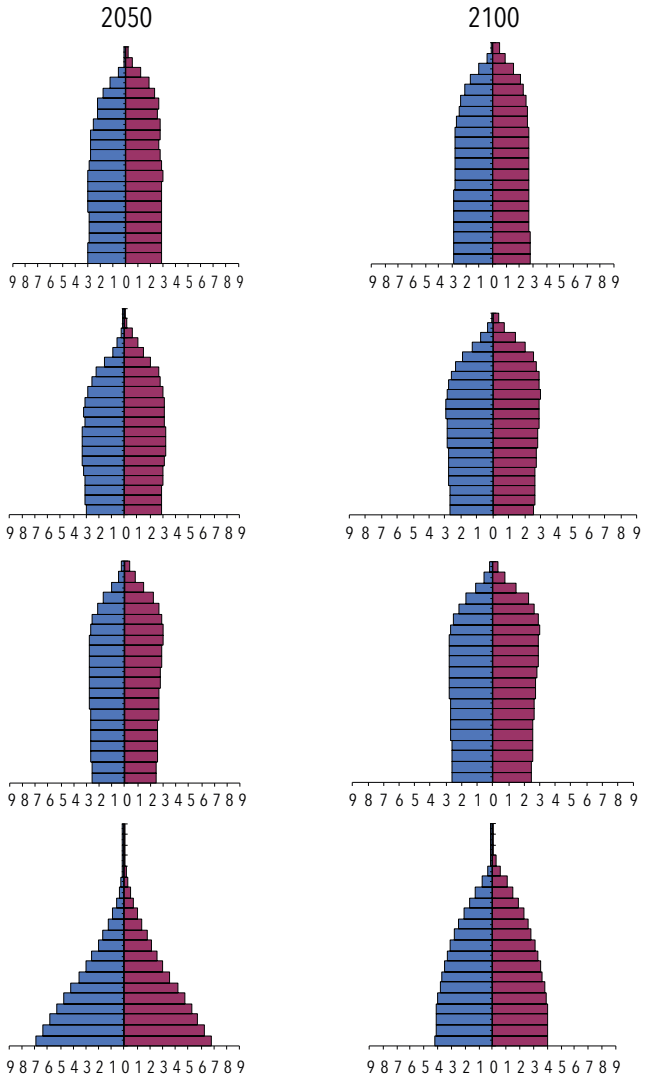



Fuentes: United Nations, Population Division (2019), *World Population Prospects*, y estimaciones del autor.

Al inicio del siglo XX trece naciones europeas promediaron un nivel de envejecimiento de 6,2%, lideradas por Suecia y Francia con 8,4 y 8,2 respectivamente. En otros continentes, Canadá, Estados Unidos y Nueva Zelanda mostraron entre 4 y 5%, y Argentina, Brasil e India (1910) rondaron el 2%.

En 1950, la División de Población de Naciones Unidas –que estima datos e indicadores demográficos nacionales desde esa fecha– informó que el porcentaje de 65+ global fue 5,1% –similar al europeo un siglo antes–, mientras Europa superaba el 10%, liderada por Francia con 11,4%.

En el año 2000 el nivel del envejecimiento mundial alcanzó el 6,8% y en 2020 el 9,3%, liderado por Japón con 28,4%. La proyección media de Naciones Unidas indica que a fines del siglo XXI el nivel mundial alcanzará el 22,6%, la enorme brecha entre naciones continuará y la Argentina, con 11,4% en 2020, llegará al 28,3% en 2100.




## ¿Cómo se explica el *envejecimiento demográfico*?

En principio, este envejecimiento se genera porque la subpoblación 65+ crece más rápidamente que la población total y el enfoque demográfico convencional lo 'explica' mediante la descomposición de los factores demográficos intervinientes, o sea, nacimientos, muertes por dos grandes grupos de edades (0-64 y 65+), personas que cumplen 65 años e inmigraciones y emigraciones por dos grandes grupos de edades (0-64 y 65+). Por esto, el EDC dice que el envejecimiento demográfico es una de las consecuencias de la transición demográfica (descensos de la mortalidad y la natalidad combinados) y las migraciones.

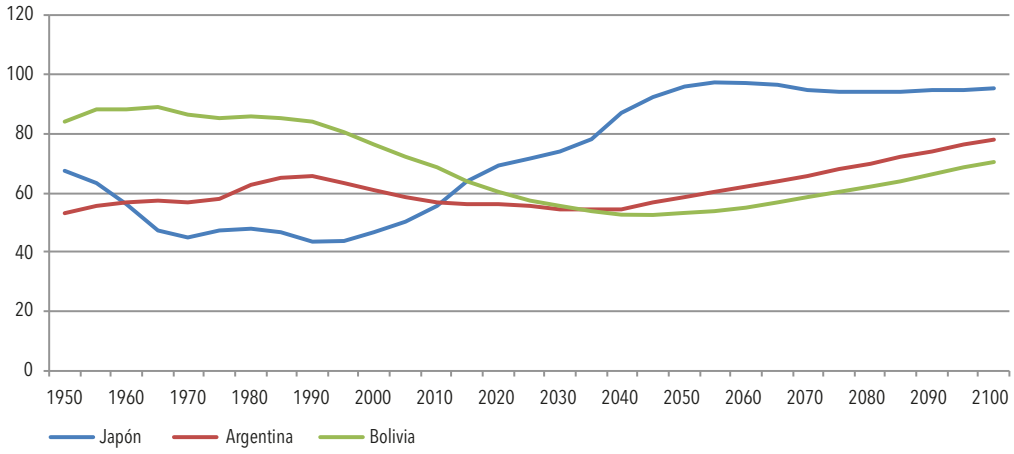
La transición demográfica, generalmente, comienza con el descenso de la mortalidad en la infancia, pero esa disminución no envejece a la población sino, paradójicamente, la rejuvenece; luego, la disminución de la mortalidad entre jóvenes y adultos aumenta ese efecto. Pero el rejuvenecimiento inicial pierde su velocidad a medida que crecientes proporciones de sobrevivientes del grupo 0-64 ingresan al grupo 65+ y envejecen a la población.

El descenso de la natalidad, que disminuye la proporción del grupo 0-64, envejece a la población. Sin embargo, cuando las disminuidas cohortes de nacimientos llegan a la edad de 65 años van compensando parte del envejecimiento inicial. La contribución directa del descenso de la natalidad fue, es y será el principal componente del envejecimiento demográfico pero, cuando completa su transición y se estabiliza, el cambio etario pasa a depender de la sobrevivencia de los mayores y, en ocasiones, de las migraciones que, en general, envejecen a las poblaciones de origen y rejuvenecen a las de destino aunque, más recientemente, las migraciones de jubilados generan un efecto contrario.

En síntesis, el envejecimiento demográfico es generado por interacciones y retroalimentaciones entre cambios de mortalidad, natalidad y migraciones, y de la propia composición por sexo y edad de la población. Hoy es imposible cuantificar la contribución de cada componente aunque, simplificando la realidad, se estiman sus contribuciones directas.

El envejecimiento demográfico suele ilustrarse con imágenes de la transformación que experimenta la tradicional pirámide de población por sexo y edad, hasta convertirse en un obelisco o pilar con cúspide piramidal. La figura ilustra este cambio en cuatro naciones seleccionadas y en la comparación destaca los dos siglos y medio que mediarían entre Francia (1850) y Somalia (2100) para un mismo nivel de envejecimiento (6,5%) y la desigual velocidad que mostró el envejecimiento en Francia y Brasil, con la Argentina entre ambos. Los valores en el eje horizontal indican % sobre población total.

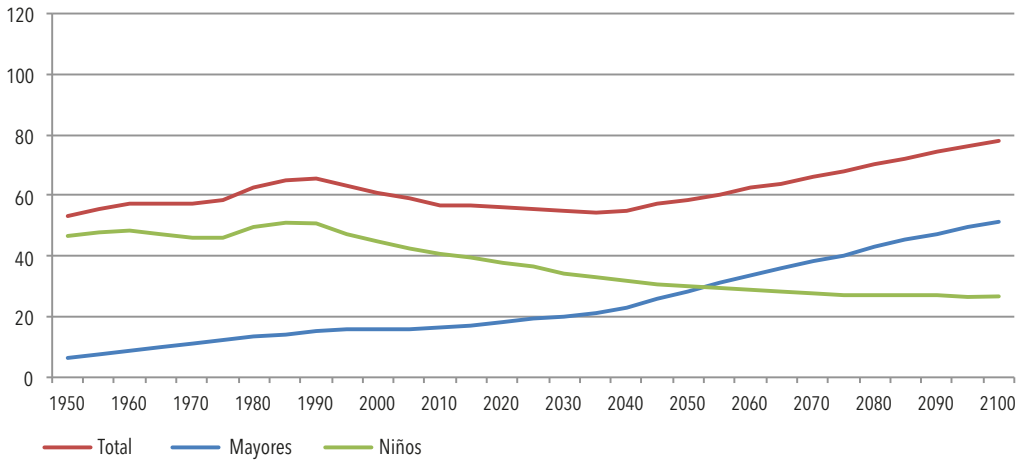
**Razón de dependencia demográfica total por quinquenios, 1950-2100. Japón, Argentina y Bolivia**




United Nations, Population Division (2019), *World Population Prospects*.

La figura muestra las `razón de dependencia total´ (RDT), número de personas entre 0-14 y 65+ por cada 100 personas entre 15-64, observadas y proyectadas entre 1950 y 2100, en tres países con diferentes estructuras etarias. La Argentina mantendría su RDT baja (menos de dos personas en edades 'pasivas' por cada tres en edades 'activas'), apreciada como un beneficio o bono demográfico a la economía, por dos décadas más, luego ascendería y finalizaría el siglo acercándose a una RDT alta (80 y más) y, supuestamente, negativa para su economía. Japón, que en 2010 mostró una RDT igual a la de Argentina, perdería rápidamente el supuesto beneficio demográfico y desde 2040 exhibiría una RDT muy alta. Bolivia, tras muchos años con RDT alta por su elevada proporción de niños, la reduciría rápidamente y la mantendría relativamente baja hasta 2100.

**Razón de dependencia demográfica total, de mayores y de niños por quinquenios, 1950-2100. Argentina**




United Nations, Population Division (2019), *World Population Prospects*.

La figura muestra la RDT de la Argentina y sus dos componentes: la `razón de dependencia de mayores´ (RDM) y la `razón de dependencia de niños´ (RDN), observadas y proyectadas entre 1950 y 2100. Se destaca el continuo aumento de la RDM, el descenso desde 1990 de la RDN y la igualación de sus valores alrededor de 2055.

## Críticas al *envejecimiento demográfico*

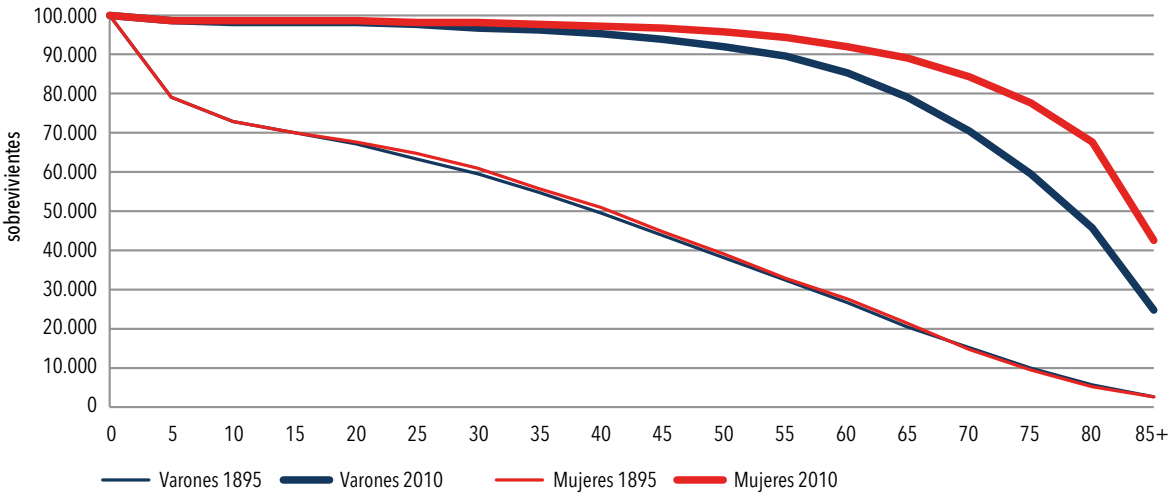
Aunque el *Diccionario demográfico plurilingüe* (1985) advierta que 'no debe confundirse el envejecimiento demográfico con el envejecimiento individual ni con la prolongación de la vida humana', la confusión está instalada y ha generado problemas, entre los cuales se halla una inhibición al estudio del envejecimiento en la demografía.

Si envejecimiento es, de acuerdo con la *Enciclopedia británica*, 'el cambio gradual e intrínseco en un organismo que conduce a un riesgo creciente de vulnerabilidad, pérdida de vigor, enfermedad y muerte [...] durante el período vital completo como adulto de cualquier ser vivo', ¿por qué llamar envejecimiento al cambio etario de la población? Aunque para algunos solo es una metáfora inocua o, simplemente, que al castellano le falta el verbo *edadar*, tomado del inglés *to age*, para otros es una falacia ontológica: la población no es un organismo, ergo, no nace, no envejece y no muere, aunque sea un sistema complejo con propiedades emergentes y pueda extinguirse.

Algunos críticos expresaron que comparar niveles de envejecimiento demográfico basados en una edad cronológica fija es como comparar salarios no deflactados por la inflación, y otros destacaron que implica morbilidad y mortalidad constantes. También se calificó a la RDT como una 'ficción estadística', dado que las edades en que se trabaja varían significativamente en el tiempo y en el territorio.

Los cortes transversales y estáticos (cohortes ficticias) de la población, típicos del EDC del envejecimiento, estimulan la falacia de atribuir al envejecimiento diferencias observadas entre personas de diferentes cohortes. Además, homogenizar a las personas mayores alimenta dos típicas discriminaciones a estas personas, el 'viejismo' y el 'edadismo'.

**Varones y mujeres sobrevivientes por sexo y edad exacta de las cohortes 1895-1899 y 2010-2014. Argentina**




Fuente: elaboración propia.

La figura muestra el aumento de la sobrevivencia por sexo y edad en la Argentina entre 1895-1899 y 2010-2014, un cambio denominado 'rectangularización de las curvas de sobrevivencia' o, también, 'democratización de la sobrevivencia'.

Se critica a la explicación anterior porque se limita a una simple descomposición macrodemográfica. Una explicación satisfactoria tendría que responder por qué y cómo los individuos, las familias y otros grupos sociales modifican sus comportamientos con relación a la migración, mortalidad y fecundidad. También tendría que determinar cómo los cambios macrodemográficos y otros cambios macrosociales (urbanización, creciente autonomía de la mujer, políticas demográficas, avances tecnológicos, etc.) afectan a los individuos y grupos sociales. Parafraseando a Mario Bunge, no se deben utilizar ni el enfoque macrodemográfico ni el enfoque individualista sino los dos a la vez, e integrados en un enfoque sistémico.

## Ampliando y mejorando el enfoque del *envejecimiento demográfico*

Las muchas y diversas críticas que se hicieron al EDC generaron avances conceptuales y cambios metodológicos diversos, como los siguientes: 1) la creciente diversidad de los mayores (65+) llevó a distinguir a los 85+ como muy mayores o cuarta edad y, dentro de ellos, a los centenarios y los supercentenarios (110+); 2) se modificaron los grupos etarios convencionales y hoy se calculan distintas versiones de la RDT; 3) se usan frecuentemente medidas estadísticas clásicas no basadas en edades arbitrarias y fijas, como mediana, quintiles y otras para resumir los cambios de las distribuciones etarias; 4) se analizan otras facetas de la composición etaria, por ejemplo, cómo las distribuciones etarias tienden a ser más homogéneas y estables, y 5) para robustecer un significado económico de la RDT se creó la relación de dependencia económica (RDE) que, en una versión, cuantifica a las personas que no trabajan (inactivas y desocupadas) por cada 100 personas que trabajan.

Hoy es común referirse al envejecimiento en la población (y no al envejecimiento demográfico) utilizando medidas de mortalidad, salud, discapacidad u otras. A mediados de la década de 1970 se planteó la necesidad de revisar conceptualmente la medición del envejecimiento demográfico y, entre otras sugerencias, se propuso utilizar la 'edad prospectiva' (tiempo medio que se viviría hasta morir) en lugar de la 'edad cronológica' (tiempo vivido desde el nacimiento). A continuación, un ejemplo de aplicación de aquella recomendación.

En la Argentina, entre 1900 y 2015 la proporción de varones 60+ aumentó, aproximadamente, del 4 al 15%, o sea, experimentó un envejecimiento demográfico significativo. Pero, si en lugar del porcentaje 60+ se utiliza, por ejemplo, una esperanza de vida de diez años o menos, la dimensión del envejecimiento es muy diferente. Una esperanza de vida de diez años correspondió, aproximadamente, a varones de 60+ en 1900 y a varones de 74+ en 2015; como esos dos grupos tuvieron similar peso relativo en la población (rondaron el 4%), la 'edad prospectiva' indica que no ocurrió envejecimiento alguno. Asimismo, indica que los varones 60+ en 1900 y los varones 60+ en 2015 eran grupos muy diferentes; a punto tal lo eran que los segundos vivirán, en promedio, nueve o diez años más. Utilizando la edad prospectiva, una investigación reciente de países de altos ingresos encontró que el envejecimiento demográfico se está desacelerando y que, probablemente, concluya hacia fines del siglo.

Un estudio del envejecimiento en Inglaterra entre 1951 y 2015, que utilizó probabilidades de morir como indicadores, encontró que la probabilidad de morir del

1% pasó de los 52 a los 63 años de edad en varones y de 58 a 68 años en mujeres, y que la probabilidad de morir del 10% pasó de los 77 a los 86 años en varones y de 80 a 88 años en mujeres.

Relacionando mortalidad y salud se creó una nueva medida: la esperanza de vida con salud o saludable. La OMS informa que en 2016 Japón fue el país líder tanto en la esperanza de vida (83,9 años) como en la esperanza de vida saludable (74,9 años), ambas medidas al nacimiento y para la población total.

En 2015, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona mayor es aquella cuya edad cronológica supera la esperanza de vida al nacimiento de la población de pertenencia. Esto implica que la medida del envejecimiento demográfico abandona su vínculo con una edad cronológica fija y pasa a relacionarse con la cambiante longevidad media. Con esta definición, en la Argentina actual, aproximadamente, son mayores los varones de 75+ y las mujeres de 81+.

En Estados Unidos, un estudio sobre discapacidad en el grupo etario 65-74 años halló que entre 1982 y 2005 la proporción de discapacitados disminuyó de 14,2 a 8,9% y que las nuevas cohortes vienen desplazando su incidencia hacia edades mayores. Otra investigación en ese país mostró que entre 1990 y 2010 el envejecimiento biológico disminuyó en el total de los varones y solo en las mujeres de 65+.

En general, se sabe que en los países con mayor longevidad y distribución etaria más homogénea la mortalidad disminuyó en todas las edades y, probablemente, lo siga haciendo en las edades avanzadas. No se logró mayor compresión de la morbilidad porque, en gran parte, la prevalencia de las enfermedades aumentó por la prolongación de la vida de los enfermos, pero sí se logró una compresión significativa de la prevalencia de la discapacidad. Algunos investigadores sostienen que la longevidad media no superará los 95 años, a menos que se consiga retrasar el envejecimiento de las personas, y otros hacen apuestas acerca de si la persona que vivirá 150 años ya ha nacido.

En suma, tanto en el nivel individual como en el nivel colectivo, el envejecimiento es un proceso complejo y multifacético; hoy, su investigación avanza con enfoques más abarcadores, multidisciplinarios y tratando de integrar las distintas dimensiones del fenómeno. Las discusiones sobre cómo conceptualizarlo, caracterizarlo y cuantificarlo son frecuentes y en conferencias internacionales recientes se analizan enfoques y medidas basados en salud, mortalidad, autopercepción individual, diversos biomarcadores, funcionamiento cognitivo, capacidad para trabajar y otros.

Sin abrir la discusión de las posibles consecuencias del envejecimiento demográfico en las sociedades y más allá de los que desde hace tiempo anuncian que las sociedades serán menos creativas, gobernadas por gerontocracias conservadoras y tensionadas por conflictos intergeneracionales, se ha instalado que el envejecimiento demográfico obstaculiza el desarrollo económico y social. Se piensa que el problema está en que, al mismo tiempo que el Estado aumenta sus gastos por jubilaciones, salud y cuidado de los mayores, disminuyen la proporción de trabajadores y la productividad y, agrega el FMI, el envejecimiento demográfico aumenta la probabilidad de default en las deudas soberanas. Sin embargo, muchos investigadores, instituciones y organismos internacionales con menos prensa evalúan positivamente el cambio etario, y refutan las hipótesis y los modelos que sustentan el pensamiento anterior, sin negar por ello que las sociedades deban adecuarse a este como a otros cambios de sus estructuras y entorno.

Concluyendo, la edad cronológica de las personas está desde hace mucho tiempo en el centro de los estudios del envejecimiento, tanto en individuos como en sociedades; sin embargo, varias contribuciones importantes y recientes sobre esta problemática envían otro mensaje: la edad cronológica, la variable independiente más utilizada, no es central para comprender el envejecimiento ni tampoco lo es para formular e implementar acciones conducentes al bienestar de personas y de poblaciones. CH

*Se agradece a la actuaria Gretel Andrada la realización de cálculos y gráficos.*

## LECTURAS SUGERIDAS

**BENGTSON VL & SETTERSTEN RA**, 2016, *Handbook of Theories of Aging*, Nueva York, Springer.

**CRIMIMINS EM**, 2015, 'Lifespan and health span: Past, present and promise', *The Gerontologist*, 55 (6): 901-911.

**SCHERBOV S & SANDERSON W**, 2019, 'Measuring population ageing: Bridging research and policy', Expert Group Meeting, Bangkok, 25-26 de febrero.

**Alfredo E Lattes**

MA en Demografía, Universidad de Pensilvania.

Analista en demografía del CELADE.

Investigador emérito del Centro de Estudios de Población (CENEP).

**Iris Cáceres-Saez y Humberto Luis Cappozzo**
Laboratorio de Ecología, Comportamiento y Mamíferos Marinos,
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

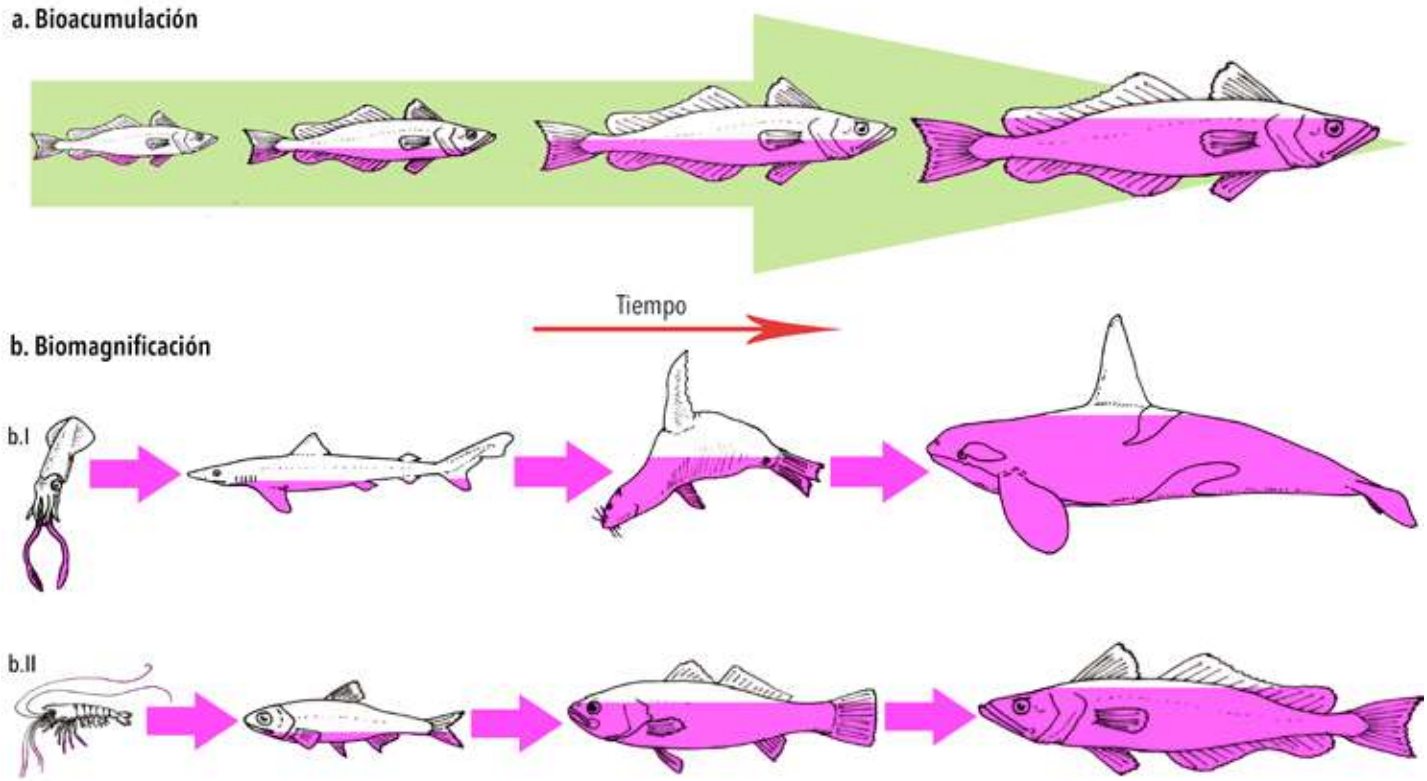
# Los mamíferos marinos como centinelas de la salud del océano

Los océanos cubren alrededor del 71% de la superficie de la Tierra, tienen una profundidad promedio de 3.800 metros y alcanzan profundidades máximas de más de 11.000 metros. Alrededor de 1.400 millones de $km^3$ de agua oceánica se distribuyen por la superficie del planeta. Dichas cifras sostuvieron la creencia, vigente en otros tiempos, de que el océano tenía una inagotable capacidad de dilución de toda clase de sustancias por lo cual podía servir como un gigantesco vertedero de los desechos producidos por la actividad humana. También llevaron a actuar como si los recursos del mar fuesen ilimitados. En el presente aún podríamos pensar y actuar de esa forma en materia de desechos si se diluyeran con rapidez, pero sucede que en el océano ciertos procesos físicos –como las corrientes y las mareas– y químicos –su composición, salinidad y pH– toman tiempo y a su vez son dinámicos, de manera que en algunas zonas esos desechos pueden concentrarse y, en consecuencia, modificar los ecosistemas, es decir, crear contaminación.

Un grupo internacional de expertos (Joint Group of Experts on the Scientifics of Marine Pollution) en 1972 definió la contaminación marina como la introducción, directa o indirecta, de sustancias o sus derivados en el ambiente marino, la cual termina por perjudicar los recursos vivos, altera las actividades marinas, la calidad del agua y pone en peligro a la salud humana. Dos conceptos tienen importancia cuando se habla de contaminación: 1) bioacumulación, que es la acumulación de contaminantes que ocurre a lo largo del tiempo en cada orga-

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Los mamíferos marinos, entre ellos la tonina overa, pueden advertirnos sobre la calidad ambiental del océano.




Procesos de (a) bioacumulación en los organismos a lo largo del tiempo, aumento del nivel de un contaminante en un organismo a medida que crece, ejemplo en una merluza (*Merluccius hubbsi*) y (b) biomagnificación en una cadena alimentaria marina. Las cadenas o redes alimentarias, por lo general, tienen entre dos a cinco eslabones tróficos. El nivel de contaminantes es bajo en los organismos productores y consumidores primarios y se magnifica en los siguientes niveles de la cadena. Ejemplos de cadenas alimentaria: (b.I) un calamarete (*Loligo sanpaulensis*), un cazón (*Galeorhinus galeus*), un león marino de América del Sur (*Otaria flavescens*, juvenil) y una orca (*Orcinus orca*). (b.II) un langostino (*Pleoticus muelleri*), una anchoíta (*Engraulis anchoita*), una pescadilla (*Cynoscion guatucupa*). Dibujos originales de especies del mar Argentino realizadas por Ezequiel Vera; adaptado de WWF.

nismo expuesto a ellos, y 2) biomagnificación, que es la propagación de los contaminantes a lo largo de los sucesivos eslabones de la cadena trófica (también llamada red alimentaria). Ambos fenómenos pueden actuar de manera conjunta y afectan en mayor medida a los eslabones superiores de la cadena trófica donde se potencian los efectos de la biomagnificación de cada uno de los eslabones inferiores.

En nuestros días, la contaminación marina es un problema grave que perjudica directamente a la vida silvestre y de manera indirecta a la salud humana. Los derrames de petróleo, los residuos tóxicos y los desechos plásticos, si bien están entre sus formas más visibles, son solo algunas de las numerosas fuentes de contaminación. A diferencia de los ecosistemas terrestres, los marinos no están compartimentados por urbanizaciones, vías de ferrocarril o rutas, por lo cual la capacidad de desplazamiento de los organismos es mayor y las redes alimentarias, más grandes y complejas. Para diagnosticar la calidad ambiental de los ecosistemas, la ciencia utiliza organismos indicadores, a los que llama especies centinelas.

Los mamíferos acuáticos y semiacuáticos conforman grupos diversos de animales que viven de manera permanente o intermitente en cuerpos de agua. Entre los acuáticos se cuentan los cetáceos, es decir ballenas, delfines, zifios, marsopas y otros; los semiacuáticos, que alternan entre el agua y los ambientes terrestres, que incluyen a especies como lobos o leones marinos, morsas, focas, nutrias marinas, manatíes o dugongos y osos polares, y a especies de agua dulce como nutrias, entre otros.

En general, los mamíferos marinos son animales con gran movilidad: la mayoría de las especies tienen hábitos migratorios o exhiben una amplia distribución regional o global. Son longevos y de reproducción tardía: los de algunas especies viven más de ochenta años, alcanzan la madurez sexual a los dos o tres años y se reproducen recién entre los ocho y los quince años, según la especie. Debido a estas características, son particularmente sensibles a la contaminación progresiva, las pesquerías y las colisiones con barcos. Por ello se requiere realizar esfuerzos regionales e incluso globales para asegurar su conservación y supervivencia. Al mismo tiempo les cabe desempeñar un papel clave en los ecosistemas, pues se encuentran en la cima

de las redes alimentarias oceánicas y por ello son reguladores de numerosas poblaciones de especies de las que se alimentan. Esas redes contribuyen a la movilización de nutrientes desde las profundidades hacia la superficie, lo que favorece el desarrollo de los ecosistemas marinos.

Por su posición en la cima de la pirámide o cadena trófica y su longevidad, los mamíferos marinos se encuentran expuestos a numerosos contaminantes que les llegan por el efecto tanto de la bioacumulación como de la biomagnificación, a través del alimento, la transferencia placentaria, la lactancia, la respiratoria pulmonar y, en menor medida, la ingesta del agua de mar y la absorción a través de la piel.

## La tonina overa, centinela de las aguas subantárticas

Entre los mamíferos marinos, el delfín conocido como tonina overa (*Cephalorhynchus commersonii* o delfín de Commerson) es una especie que habita exclusivamente en el hemisferio sur. La tonina overa tiene aletas con forma de remo, cuerpo fornido y cabeza redondeada, casi sin hocico. Puede medir entre 1,20 y 1,70m de largo y pesar entre 80 y 90kg. Es un animal llamativo por su piel blanca y negra, lo que explica su nombre común. Es el delfín más emblemático y hermoso de las frías aguas subantárticas, en las que es frecuente verlo cerca de la costa en zonas poco profundas (menos de 100m), como puertos, bahías, estuarios y hasta en la desembocadura de los ríos. Como cazador oportunista, se alimenta de merluzas, sardinas, pejerreyes, anchoas, crustáceos, cefalópodos, gusanos marinos y ocasionalmente algas.

La tonina overa es muy susceptible a las alteraciones ambientales ocasionadas por actividades humanas como la pesquería. Desde el inicio de la actividad de la pesca artesanal costera viene sufriendo frecuentes capturas accidentales que provocan su muerte por ahogamiento. Si bien este es el principal problema de conservación al que se enfrenta en el Atlántico suroccidental, también se encuentra particularmente expuesta a la contaminación debido a sus hábitos costeros, lo cual pone de manifiesto el impacto directo de la fuente de contaminación producida por la proximidad a las ciudades y los centros urbanos, respecto de los recursos marinos. En la actualidad, la especie está incluida en el CITES apéndice II, Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD) aprobada por ley 24.375. Existen a su vez otras leyes y regulaciones provinciales que establecen el acercamiento y protección a los mamíferos marinos (ley provincial 176/94 provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur; ley 2381/84 y modificatorias de la provincia del Chubut).

## Del campo al laboratorio

Los estudios sobre los contaminantes en los mamíferos marinos requieren la recolección de muestras en animales poco tiempo después de que hayan muerto, lo cual es costoso, ocasiona problemas logísticos y puede incluso ser

Toninas overas (*Cephalorhynchus commersonii*) en las costas atlánticas patagónicas. Foto Marisa Berzano.

Tonina overa muerta como consecuencia de su captura incidental en una red de pescadores artesanales. Foto de la autora.

**Arriba.** Paisaje de la costa atlántica fueguina en la zona del cabo San Pablo, situado a unos 50km al sureste de la ciudad de Río Grande. La vegetación corresponde a la franja de transición entre la estepa magallánica propia del norte de la isla Grande de Tierra del Fuego y los bosques del sur de ella.
**Izquierda.** Paisaje costero de la bahía de San Sebastián, ubicada sobre el Atlántico en el norte de la isla Grande de Tierra del Fuego a corta distancia de la boca del estrecho de Magallanes, área principal de muestreo de donde provienen los ejemplares de tonina overa utilizados en los estudios.
Fotos de la autora.

riesgoso. Dichas muestras suelen provenir de varamientos de animales en las costas y de capturas accidentales por haber quedado atrapados en las redes de pescadores artesanales. Los autores participan de un estudio de toninas overas muertas capturadas de forma incidental en redes de pesca de embarcaciones que operan alrededor de la isla Grande de Tierra del Fuego. Como también se está evaluando el análisis de muestras que proceden de animales vivos, en este caso se utilizan equipos especiales que permiten hacer biopsias sin poner en riego ni a los delfines ni a los investigadores. Las muestras obtenidas en esta clase de estudios, además de brindar información sobre el efecto de los contaminantes en los animales, son útiles para otros campos de investigación, como genética, ecolo-

gía trófica y fisiología y, en última instancia, contribuyen al diagnóstico de los organismos con el fin de la conservación de la especie.

Para cada tonina overa muerta, dichos estudios registran datos externos como medidas corporales y peso, pigmentación, sexo y toda otra característica importante para su posterior diagnóstico sanitario, por ejemplo, presencia de parásitos u otras patologías. Mediante disección o necropsia se toman muestras de diferentes tejidos y órganos, en especial de aquellos que forman barreras de distinta naturaleza entre el individuo y el ambiente, y los que permiten apreciar la fisiología del organismo. Se tiene en cuenta, por ejemplo, que el hígado es uno de los principales órganos responsable del reciclado y la desintoxicación de la sangre, que el riñón lo es de la filtración y eliminación de sustancias del cuerpo, que el tejido muscular tiene relevancia en caso de acumulación de elementos tóxicos como el mercurio, y que la piel es la principal barrera entre el organismo y el medio externo y colabora en la excreción.

Es importante manipular las muestras con instrumentos que no perjudiquen su calidad y evitar cualquier tipo de contaminación cruzada, es decir, el traslado de los contaminantes de un tejido a otro, que llevaría a registrar información errónea y a sacar conclusiones equivocadas. Como la recolección de muestras se realiza al aire libre, en la playa, el material recolectado debe ser refrigerado en el campo.

Registro de las medidas y preparativos para la necropsia de una tonina overa muerta por asfixia al quedar atrapada en una red de pesca artesanal en la costa atlántica de Tierra del Fuego. Fotos de la autora.

## Enseñanzas obtenidas de la tonina overa

En los estudios realizados sobre ejemplares de la tonina overa capturados en redes de pesca costera artesanal en Tierra del Fuego se encontró que las concentraciones de los elementos esenciales, como el magnesio (Mg), potasio (K) y cobalto (Co), presentaban por lo general poca variación entre los diferentes tejidos, y que los valores de esta fueron semejantes a los observados en otros cetáceos de distribución global. Además, como esos elementos intervienen en el metabolismo celular y en mantener el medio interno constante, también su concentración en los tejidos se mantiene constante.

En contraste, se constató una variación amplia de las concentraciones de metales tóxicos como cadmio (Cd), plata (Ag) y mercurio (Hg) en los distintos tejidos. Así, la concentración de Cd en riñón fue superior a la del hígado, mientras que este último fue el principal órgano de acumulación de Hg. Estos resultados también fueron observados en otros cetáceos y focas de distintas regiones marinas del mundo, y la del Hg resultó mayor con la edad y el tamaño de los individuos, lo cual indica bioacumulación. Igual que lo observado en dichos estudios de cetáceos, la piel de las toninas acumuló zinc (Zn) y selenio (Se), elementos que, como lo hacen en humanos, protegen las células epidérmicas de la radiación ultravioleta y facilitan la regeneración del colágeno celular en heridas o lesiones de la piel.

En conclusión, nuestros estudios indican que, como lo sugiere el título de esta nota, la tonina overa puede utilizarse como una especie centinela, indicadora de la salud del ecosistema subantártico en el océano Atlántico suroccidental. CH

## LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES MARINOS

Solemos distinguir dos grandes grupos de contaminantes de las aguas marinas: 1) compuestos orgánicos persistentes de origen industrial, como pesticidas y bifenilospoliclorados, que llegan con los residuos de la agricultura o la industria, y 2) componentes naturales de la corteza terrestre, en particular metales pesados, que circulan por el ambiente –tanto la litosfera como la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera–, al que son liberados por la actividad volcánica o la erosión (llamada también meteorización) de rocas, procesos que en ocasiones alteran la acción humana con el resultado de que aumenta su aporte de contaminantes al medio.

Los compuestos orgánicos persistentes son por lo general difíciles de degradar; por lo tanto, permanecen por mucho tiempo en el ambiente: pueden transcurrir, por ejemplo, varias décadas hasta que el 50% de una sustancia se degrade, es decir, se convierta en otra sustancia (ese tiempo se llama vida media). Entre estos compuestos, los organoclorados son inmunosupresores, hepatotóxicos, alteran el crecimiento y resultan cancerígenos; además, debido a la similitud estructural de sus moléculas con las hormonas reproductivas, pueden producir alteraciones en el desarrollo sexual y afectar negativamente a la reproducción (suelen denominarse *disruptores* endócrinos).

Se usan metales pesados –aquellos cuya densidad es cinco veces mayor que la del agua– en forma directa en la producción de numerosos bienes y servicios. Los más importantes son arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y zinc (Zn). Cd, Hg y Pb son considerados tóxicos aun en bajas concentraciones, persisten largo tiempo en el ambiente y son neurotóxicos, hepatotóxicos y supresores inmunológicos en vertebrados marinos. Cu, Cr y Zn, sin embargo, actúan como micronutrientes, lo mismo algunos metales ajenos al grupo de los pesados, como selenio (Se), manganeso (Mn) y hierro (Fe). Junto con los macronutrientes, como cloro (Cl), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) o molibdeno (Mo), los micronutrientes son todos indispensables para el crecimiento y normal desarrollo de los organismos, pues regulan numerosas funciones biológicas y constituyen componentes estructurales. Por ejemplo, son esenciales para los mamíferos y otros vertebrados el Co, Zn, Mo y Fe ya que forman parte de complejos enzimáticos y de metaloproteínas, como la hemoglobina, que colaboran en el intercambio de oxígeno. K, Cl y Na funcionan como electrolitos fundamentales en el equilibrio ácido-base y balance hídrico del cuerpo.

La respuesta fisiológica del organismo a la presencia de un elemento en el ambiente depende de la concentración de este. Concentraciones más altas que aquellas requeridas para provocar respuestas adecuadas podrían causar intoxicación, mientras que las más bajas, enfermedades.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a Cetacean Society International, Society for Marine Mammalogy, Conicet y FONCYT por la financiación recibida. Iris Cáceres-Saez agradece la gentileza e incondicional ayuda de Myriam Susana Saez Falcucci. También agradecen la generosidad y talento del Dr. Ezequiel Vera (MACN-Conicet) por la realización de la figura 1, en la que están representadas especies del mar Argentino, y a la fotógrafa Marisa Berzano por la imagen de las toninas overas vivas en su estado natural en aguas patagónicas. Dedican este artículo a la memoria de Rae Natalie Prosser de Goodall (1935-2015), que confió en los autores (aparece en segundo plano en las fotos de página 49).

## LECTURAS SUGERIDAS

**BASTIDA R *et al.***, 2007, *Mamíferos acuáticos de Sudamérica y Antártida*, Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires.

**BOWEN WD**, 1979, 'Role of marine mammals in aquatic ecosystem', *Mar Ecology Progress Series*, 158: 267-274.

**CAPPOZZO L**, 2006, *Agua salada y sangre caliente: historias de mamíferos marinos*, Siglo XXI, Buenos Aires.

**CAPPOZZO L**, 2007, *La sal de la vida*, Buenos Aires, Norma.

**PERRIN WF, WÜRSIG B & THEWISSEN JGM (EDS.)**, 2009, *Encyclopedia of Marine Mammals*, Londres, Academic Press.

**REIJNDERS PJH**, 1988, 'Ecotoxicological perspectives in marine mammalogy: Research principles and goals for a conservation policy', *Marine Mammal Science*, 4: 91-102.

**Iris Cáceres-Saez**

Doctora en biología, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue.
Investigadora asistente del Conicet.
*caceres.saez@gmail.com*

**Humberto Luis Cappozzo**

Doctor en biología, FCEyN, UBA y Universidad de Barcelona.
Investigador principal del Conicet.
*cappozzo@macn.gov.ar*

**Gabriela Facciuto y Verónica Bugallo**
Instituto de Floricultura, INTA

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

Mediante el mejoramiento genético se apunta a la generación de plantas noveles combinando individuos con determinadas características. La industria florícola global busca constantemente nuevas variedades y también el desarrollo de nuevos cultivos. El mejoramiento de plantas ornamentales a partir de especies nativas, en este caso de la Argentina, requiere realizar múltiples actividades, entre ellas la recolección de germoplasma en zonas de origen o distribución de las especies, su cultivo y caracterización, el mejoramiento genético propiamente dicho, la evaluación en distintas zonas agroecológicas y su producción comercial para ingresar en el mercado. Si uno de esos pasos no se da de manera adecuada, las posibilidades de éxito son escasas. Este es un proceso largo que incluye abordar múltiples disciplinas, como botánica, genética, fisiología, fitopatología, y también aspectos como la difusión y comercialización.

El Instituto de Floricultura del INTA tiene experiencia en esta área y ha obtenido más de veinte variedades de plantas herbáceas para uso en macetas y/o canteros de los géneros *Nierembergia*, *Calibrachoa*, *Mecardonia* y *Glandularia*. También se obtuvieron variedades de especies leñosas de los géneros *Tecoma* y *Handroanthus* (lapacho), con la particularidad de ser pequeños árboles mejorados para cultivo con floración en maceta.

Para la obtención de variedades se han aplicado herramientas del mejoramiento clásico tales como selección de los mejores parentales y cruzamientos dirigidos, ya sea entre individuos de la misma especie, o de distintas. En términos generales, el objetivo del mejoramiento en estas especies ha sido la obtención de plantas achaparradas (compactas), esto es, plantas muy ramificadas desde la base y con abundante floración. Una vez logradas estas ca-

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Cruzamientos, cultivos *in vitro* y selección de variedades de interés ornamental de plantas del género *Alstroemeria*.

Flor 'Fiesta de 15 INTA', primera variedad argentina de *Alstroemeria* desarrollada en el Instituto de Floricultura.

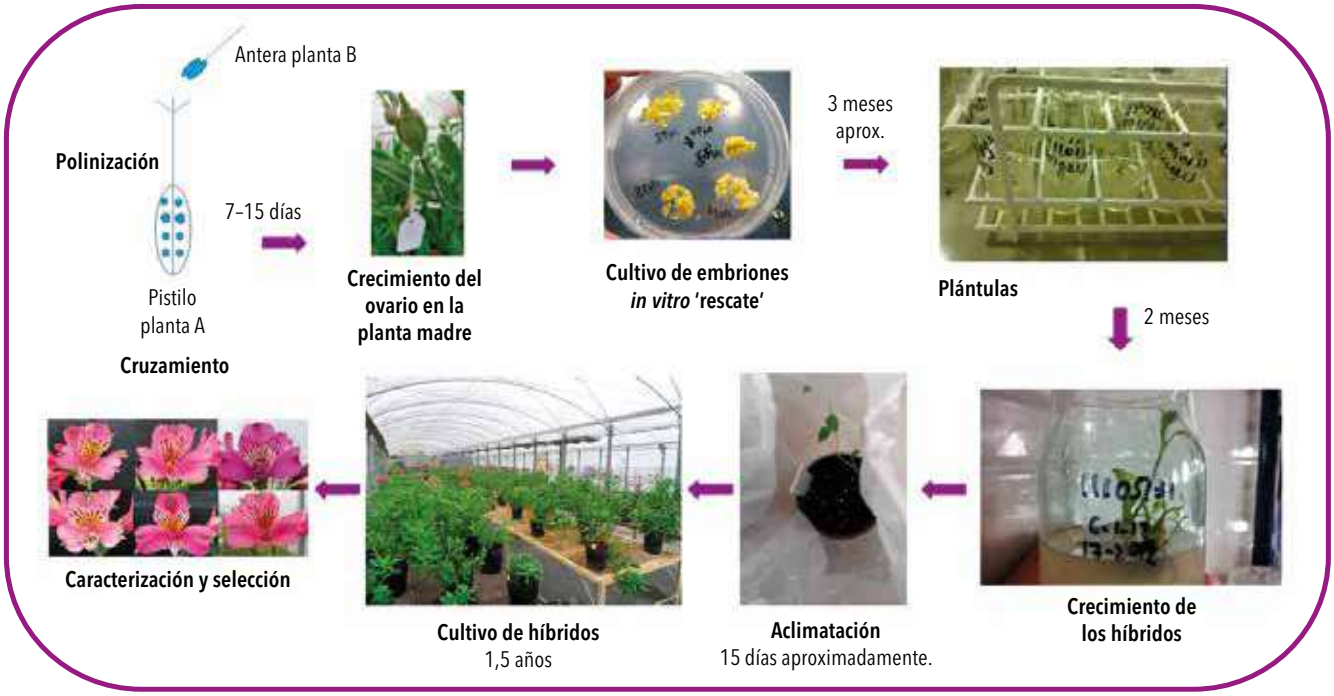
racterísticas se buscó variabilidad de colores, diversidad de formas y facilidad de cultivo, entre otras características.

## El género *Alstroemeria*

Las flores son un elemento decorativo que, además, dan bienestar a las personas. Las flores de plantas del género *Alstroemeria* se utilizan para este fin ya que poseen una amplia gama de colores y también una vida prolongada en el florero. *Alstroemeria* es un género de monocotiledónea originario de Sudamérica que posee más de noventa especies, diez de las cuales se distribuyen en la Argentina. Sin embargo, las variedades disponibles en el país pertenecen a empresas extranjeras y los productores argentinos deben pagar regalías para cultivarlas. Es un cultivo popular en el mundo y en la Argentina ocupa el séptimo lugar entre las especies más producidas de flores de corte en el área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires y el cuarto lugar en el mercado de la Cooperativa Argentina de Floricultores.

Los criterios de selección más usados por los mejoradores de *Alstroemeria* han sido la producción de flores, los colores, el tamaño y el número de flores por tallo, la calidad de las hojas y del tallo, la vida en florero, la resistencia a virus y el período de floración. El mejoramiento consistió en la realización de un plan de cruzamientos entre especies silvestres nativas de la Argentina y variedades comerciales. Para ello, a efectos de dirigir la polinización, se emascularon las flores, es decir, se eliminaron las anteras antes de que ocurra su apertura, y se eliminaron los pétalos para evitar la atracción de polinizadores. Cuando el estigma se encontró receptivo, hecho indicado al presentarse tripartito y con gotas de exudado, se procedió a la polinización manual que consistió en la colocación del polen de la planta elegida para ser usada como padre en el estigma de la planta madre. Y (entre los siete y los catorce días) después de realizada la polinización se realizó el rescate del ovario para cultivarlo *in vitro*. Durante la polinización ocurren una serie de eventos que culminan con la fecundación, por un lado, de la ovocélula para producir un embrión que dará lugar a la planta hija y, por otro, de los núcleos polares para la formación del endosperma (un tejido asociado a la nutrición del embrión durante la germinación de la semilla). En algunos cruzamientos, el endosperma no puede cumplir con su función debido a alguna falla o a su incompatibilidad con el embrión. El cultivo *in vitro* de óvulos y ovarios luego de ser polinizados consiste en la colocación de estos órganos en recipientes con medios especiales compuestos de agar, que contienen todos los nutrientes necesarios para el crecimiento del embrión en formación, así como también todas las condiciones necesarias para su desarrollo. Este procedimiento se realiza en *Alstroemeria* ya que está ampliamente descripto que el embrión muchas veces se forma pero, luego de unos días, aborta y no termina de desarrollarse. Por ello, fue necesario ajustar una metodología para su cultivo *in vitro*. Luego de la polinización, se desinfectan los ovarios y en condiciones asépticas se abren, se extraen los óvulos y se siembran en un medio de cultivo apropiado. Luego de aproximadamente tres meses de cultivo en una cámara a 25°C se comienzan a desarrollar las pequeñas plantas que pasarán por distintas etapas *in vitro* y luego en invernáculo para su aclimatación. Este último paso consiste en el ingreso paulatino al medio ambiente de una planta muy frágil que, poco a poco, debe empezar a regular por sí misma su nutrición y humedad. Cuando se extrae la planta de los tubos o frascos con medio de cultivo, se las coloca en macetas con sustrato húmedo y se las cubre con bolsas plásticas para que no se deshidraten. A medida que la planta se empieza a alimentar por su propia fotosíntesis y fortalece su mecanismo para regular la humedad, la bolsa plástica se puede ir abriendo, poco a poco, hasta que sea posible su completa eliminación.

A partir de estos trabajos, se obtuvieron numerosos híbridos que fueron propagados, cultivados y luego evaluados en aspectos relacionados con el color y la morfología de la flor, y al largo de la vara floral. Luego de una primera selección de los mejores híbridos, se evaluó también la vida en florero, aspecto de gran relevancia en las flores de corte.




## ¿Cómo seleccionar las mejores variedades ornamentales?

Cuando se le pregunta a cualquier consumidor por qué elige alguna flor en particular, seguramente hará referencia a su belleza. Según la Real Academia Española, 'bello' significa 'que por la perfección de sus formas complace a la vista o al oído y, por extensión, al espíritu'. Entonces, además de los aspectos técnicos, ¿cuál sería la forma de selección de lo bello más apropiada? No hay una respuesta absoluta para esta pregunta, ya que las personas tienen distinta percepción de la belleza. Por este motivo, la selección participativa del público podría ser una herramienta valiosa para la decisión de qué plantas se convertirán en la próxima variedad ornamental.

En cultivos agrícolas, se han comenzado a integrar la experiencia de los agricultores, las habilidades científicas y los conocimientos de los fitomejoradores para lograr un mejoramiento genético participativo. Existen varias experiencias en las que los productores hortícolas reciben variabilidad genética del mejorador para seleccionar aquellos materiales que satisfagan sus necesidades generando, de esta manera, una interacción muy activa con el programa de mejoramiento. También el Centro Internacional de la Papa ha adaptado metodologías para evaluar el rendimiento de clones avanzados de papa y para difundir nuevas variedades a ser liberadas.

En el caso de plantas ornamentales, casi no hay experiencias de este tipo. El mejoramiento genético lo realizan casi en su totalidad semilleras extranjeras y las metodologías que aplican suelen ser secretos empresariales. Desde el Instituto de Floricultura se realizan algunas acciones tendientes a generar interacción entre los productores y la comunidad científica a través de reuniones o en eventos abiertos al público del tipo 'tranqueras abiertas'. También hubo una experiencia muy interesante de selección en los establecimientos productivos *on farm* de heliconias realizada por investigadores de la Universidad de Pernambuco, Brasil. Los agricultores dieron sus puntos de vista en cuanto a las ventajas y desventajas de las veintiún especies/variedades que ellos cultivan como flores de corte, permitiendo así redireccionar las líneas de investigación.

En la Argentina no se han publicado aún experiencias de este tipo. Por lo tanto, sería interesante abordar la selección participativa a través del intercambio de conoci-

Cultivo de *Alstroemeria* 'Fiesta de 15 INTA'

## SELECCIÓN PARTICIPATIVA DE NUEVOS HÍBRIDOS POR EL PÚBLICO

En el caso del mejoramiento de *Alstroemeria*, fue generado, a través de cruzamientos, un gran número de plantas con potencial para ser seleccionadas como una nueva variedad. Ante la dificultad para seleccionar entre ellas, optamos por hacer una encuesta exploratoria para llegar a una decisión entre todas las personas en el Instituto de Floricultura, habituadas a la observación de variedades comerciales, así como también de plantas silvestres. Participaron profesionales, técnicos, personal de mantenimiento, administrativos y estudiantes, sumando un total de treinta personas. El método empleado consistió en la presentación de doce híbridos con diferencias de tamaño de flores, manchas en los tépalos y distintas tonalidades de rosa y violeta. Se les hizo elegir a partir de tres preguntas, haciendo hincapié en apelar a las sensaciones que les provocaban las flores y a elegir sin mucho análisis, es decir, considerando el primer impacto.

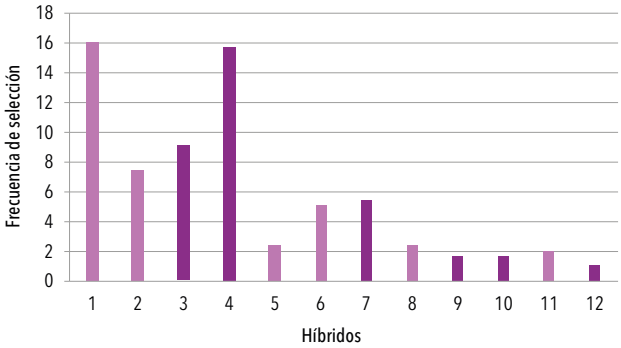
Las consignas fueron las siguientes:

1. Seleccionar las tres que más te gusten empezando desde la mejor y argumentando por qué. ¿Fue por el color, por el tamaño, por las manchas? La respuesta podía ser emocional, por ejemplo: '¡Porque me impacta!'.
2. De los tres ejemplares seleccionados, ¿cuáles son los dos más diferentes entre sí?
3. De tener que elegir una rosada y una violeta, ¿cuál sería?

Cabe destacar que la pregunta 3 fue sesgada respecto de elegir un híbrido de cada color, ya que el color es un factor importante en el mejoramiento de ornamentales y, con la participación de público, se buscaba también identificar la más valorada de cada color disponible.

La gente participó con mucha predisposición y completó anónimamente la encuesta.

En el gráfico se presenta la frecuencia de selección del público para cada una de las plantas participantes, considerando las tres preguntas de la encuesta. Entre las doce presentadas, las flores más elegidas fueron la 1 y la 4.




Frecuencia de la selección de doce híbridos de *Alstroemeria* obtenidos en el plan de mejoramiento.

Esta experiencia permitió seleccionar dos híbridos sobre la base de las preferencias del público participante, y ello será considerado en futuras actividades en el mejoramiento de esta especie. En este momento, los híbridos están siendo propagados junto con otros materiales para su evaluación en canteros, momento en el cual se presentarán a los productores florícolas para conocer también sus opiniones.

Selección participativa de híbridos a través de encuestas

Híbridos disponibles, las flores 1 y 4 fueron las más elegidas

mientos entre toda la cadena de valor o productiva (productores florícolas, fitomejoradores, mercados, viveros de atención al público y consumidores).

## Presentación de variedades a productores

La adopción de nuevas variedades por parte de los productores no es fácil; es un desafío debido a que el floricultor no sabe con precisión cómo se comportará la planta en las condiciones de su cultivo. Una posibilidad para colaborar en la resolución de esta situación fue generar parcelas experimentales en zonas de cultivo para que el productor pueda ver los materiales en todo su ciclo. Para el caso de *Alstroemeria*, se hizo una experiencia en el Centro Demostrativo Florícola de La Plata donde se cultivó una variedad generada por el INTA, 'Fiesta de 15 INTA', junto con otras variedades disponibles en el mercado. El público pudo observar sus características cultivada en las mismas condiciones que otras variedades. El asesor de la Cooperativa Argentina de Productores, Conrado Pakoca, pudo conversar acerca de ella con los potenciales usuarios y escuchar sus inquietudes y necesidades, que podrán ser volcadas en futuras acciones del plan de mejoramiento de la especie. Los productores destacaron su inflorescencia compacta, sus buenas características en florero y su productividad. Se observó también un cierto grado de resistencia a algunas enfermedades producidas por hongos ya que estas han aparecido más tarde y con menor intensidad que en otras variedades. Como aspectos negativos mencionaron la excesiva longitud del tallo a fin del verano. De esta manera se retroalimentó el sistema y se estableció una conexión entre el mejoramiento genético y la producción florícola. CH

### LECTURAS SUGERIDAS


**DE HAAN S, SALAS E, FONSECA C, GASTELO M, AMAYA N, BASTOS C, HUALLA V y BONIERBALE M**, 2017, *Selección participativa de variedades de papa (SPV) usando el diseño mamá y bebé: una guía para capacitadores con perspectiva de género*, Lima, Centro Internacional de la Papa, accesible en *www.rtb.cgiar.org/publications/seleccion-participativa-de-variedades-de-papa-spv-usando-el-diseno-mama-y-bebe-una-guia-para-capacitadores-con-perspectiva-de-genero/*

**FACCIUTO G, BOLOGNA P, BUGALLO V y RIVERA M**, 2019, 'Recursos genéticos ornamentales nativos de Argentina: de la colecta a la producción', *RG News*, 5 (1): 13-17.

**FACCIUTO G, PÉREZ DE LA TORRE M y PUERTA A**, 2016, 'Científicos industria argentina: floricultura, flores ornamentales', accesible en *www.youtube.com/watch?v=GOOz6F7KokE*

**LOGES V, TEXEIRA MCF, SILVA SSL, LAGO PGP, DA SILVA SACG, LIMA TL DE A & CASTRO ACR**, 2015, 'On farm heliconia cut flower selection in Pernambuco, Brazil', *Acta Horticulturae*, 1104: 455-462.

**SANSO AM**, 1996, 'El género *Alstroemeria* en Argentina', *Darwiniana*, 34: 349-382.

**Gabriela Facciuto**
Doctora en biología, FCEN-UBA.
Coordinadora académica, Maestría en Floricultura, UNLZ-INTA.
Investigadora en el Instituto de Floricultura, INTA.

**Verónica Bugallo**
Doctora en biología, FCEN-UBA.
Docente en la cátedra de Genética, FAUBA.
Investigadora en el Instituto de Floricultura INTA.

**Ernesto Cyrulies y Andrés Sartarelli**
Proyecto de investigación 'Estudio de procesos de adsorción física en el contexto de las energías alternativas', UNGS

# Enfriando con el calor del sol

La creciente demanda de energía de las últimas décadas, más allá de la debida al incremento poblacional, ha generado un impacto notable en el medio ambiente pues la generación se realiza mayormente a partir de combustibles fósiles con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero.

Este problema afecta a, prácticamente, toda la humanidad y no parece tener una solución a corto plazo ya que para eso se requieren cambios de consumo radicales y políticas de Estado complejas. La energía sostiene toda la actividad humana y es imprescindible para mantener nuestra actual calidad de vida. Permite que las industrias produzcan, moviliza todos los sistemas de transporte, posibilita las comunicaciones, y con ella logramos cocinar, calefaccionar y refrigerar. Sin embargo, su utilización para estos propósitos no está libre de consecuencias. El consumo de energía a partir de recursos fósiles arroja miles de millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera cada año y su acumulación aumenta la temperatura media del planeta con graves consecuencias.

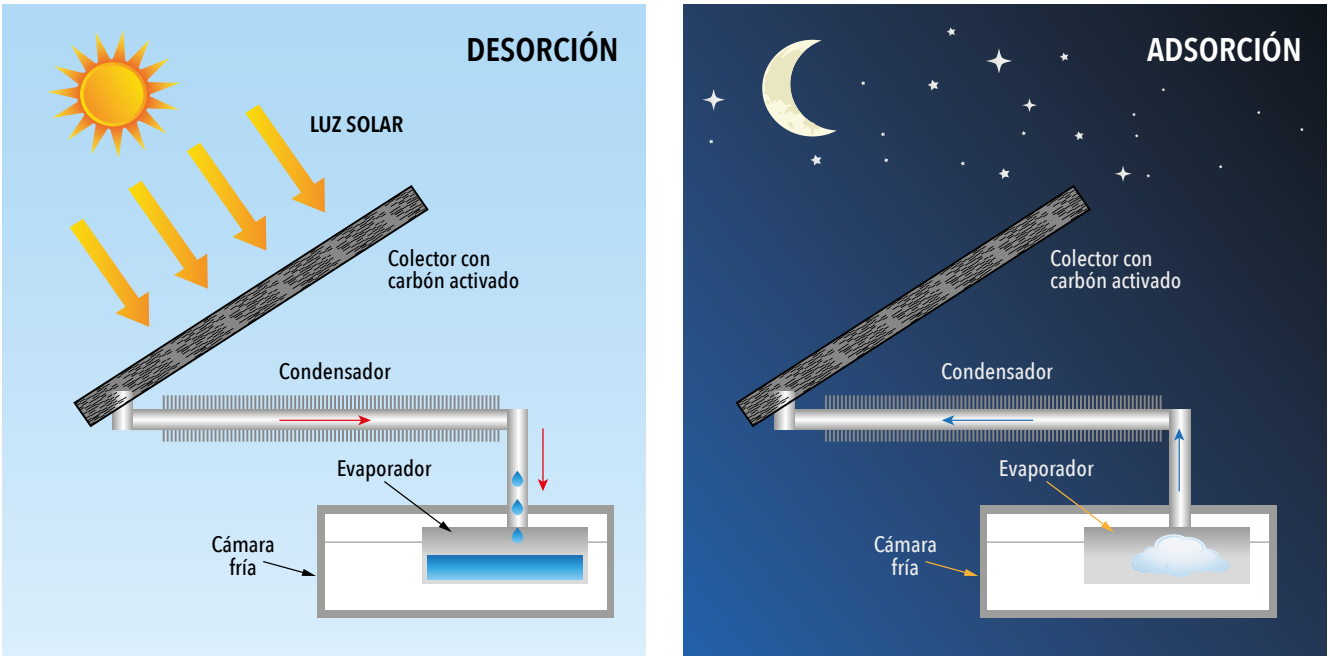
Según los datos suministrados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, desde los últimos años del siglo XIX la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado más de 0,6ºC particularmente en vinculación con la combustión de petróleo y carbón, la tala de bosques y la explotación agrícola. A nivel mundial, la matriz energética sigue siendo sostenida principalmente por la quema de combustibles fósiles (en la Argentina supera el 60% de la energía producida). Se está muy lejos, aún, de sustituir al petróleo y al carbón en la escala en que estos están presentes en el mundo.

## Refrigeración solar

Sin embargo, no todo son malas noticias. Existen avances en sistemas de producción de energía a gran escala, y a escalas más pequeñas, que hacen uso de fuentes más amigables con el ambiente. Un ejemplo de esto último es la refrigeración por energía solar. Teniendo en

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

¿Cómo es posible enfriar un recipiente usando el calor del Sol?



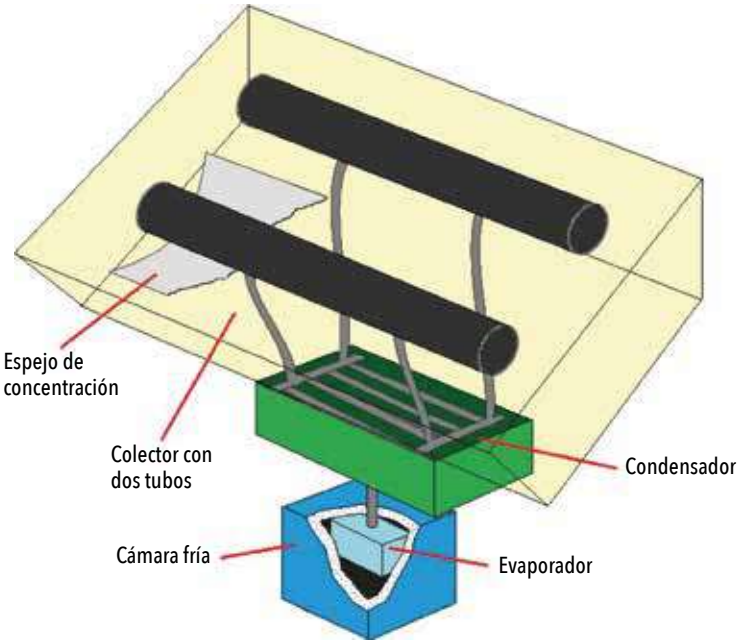

Ciclo diario de adsorción y desorción del metanol en carbón activado (CA). Durante el día el metanol se desprende del CA en forma de vapor debido a la radiación solar; condensa tomando calor de la cámara y se deposita como líquido. A la noche el enfriamiento del colector de CA provoca la evaporación del metanol líquido absorbiendo nuevamente calor.

cuenta que, según el informe del Instituto de Refrigeración de París de 2016, aproximadamente el 15% de la electricidad producida en todo el mundo es utilizada para procesos de refrigeración, resulta relevante desarrollar tecnologías de refrigeración alternativas que reduzcan tanto el consumo energético como los deterioros ambientales que provocan las tecnologías asociadas a la refrigeración común. Si bien estos sistemas aún se encuentran en fase de estudio, como en nuestro laboratorio de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS), su producción resultaría particularmente útil para zonas rurales o de campaña donde no se cuente con tendido eléctrico.

## Principio básico de funcionamiento de la heladera solar

Esta heladera hace uso de la adsorción, un fenómeno por el cual una sustancia es atraída y retenida molecularmente en la superficie de un cuerpo. La heladera que aquí describimos funciona con la energía proveniente del Sol y su mecanismo se basa en un ciclo diario de adsorción y desorción de metanol en carbón activado (la desorción es la liberación la sustancia previamente adsorbida) a presiones muy bajas. El carbón activado es un material granular con una estructura extremadamente porosa.

El prototipo de refrigerador consta de tres partes: el colector, el condensador y el evaporador, conformando un único sistema estanco. En el colector, ubicado en la parte superior y expuesto a la radiación solar, se hallan uno o varios tubos de hierro que contienen el carbón activado que retiene al metanol. Durante el día este colector, expuesto a la radiación solar, aumenta su temperatura y libera el metanol retenido en el carbón activado que, liberado, alcanza al condensador en forma de vapor, don-




Esquema de un prototipo de heladera solar construido en la UNGS.

de pasa al estado líquido. Allí intercambia el calor latente de condensación con el ambiente y desciende por gravedad al recipiente evaporador. Este recipiente se encuentra dentro de una cámara aislada térmicamente, en cuyo interior se ubican los productos que se desean refrigerar. De noche, cuando la temperatura del colector desciende, disminuye la presión del sistema, provocando la evaporación dentro del recipiente evaporador (técnicamente, dentro del sistema, se alcanza la presión de saturación de metanol correspondiente a una temperatura de unos -3ºC aproximadamente). Este último proceso, debido al intercambio de energía por calor, produce el descenso de temperatura en la cámara. Aprovechando esto, el diseño que resulta adecuado para una producción de frío sostenida consiste en sumergir al evaporador dentro de otro recipiente con cierto volumen de agua, la que terminará siendo congelada, probablemente a unos 3 o 4º C bajo cero. De este modo el hielo hace de 'reservorio de frío'. Cuando este proceso finaliza, el carbón habrá adsorbido y retendrá en su estructura todo el metanol del evaporador.

El proceso completo dura veinticuatro horas y el hielo se produce durante las horas de la madrugada. Las mayores ventajas de esta heladera residen en que no tiene costo operativo durante su vida útil (no posee partes móviles) y resulta muy adecuada para funcionar en zonas aisladas, sin acceso a electricidad o gas.

Prototipo construido en la UNGS.

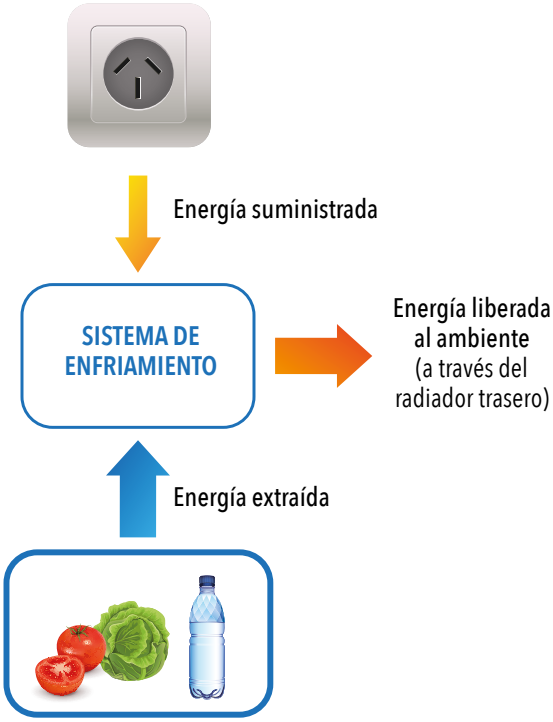
## Termodinámica del enfriamiento

Es interesante usar el caso de la heladera solar para un análisis termodinámico básico. En los cursos universitarios de física básica nos enseñan que por la segunda ley de la termodinámica el calor no se transfiere naturalmente de un cuerpo más frío a otro más caliente, si el sistema es cerrado. Sin embargo, la transferencia de calor desde un cuerpo a menor temperatura a otro de mayor temperatura tiene lugar en una heladera convencional y es lo que permite que el interior de esta (fuente fría) alcance temperaturas por debajo de la del ambiente (unos -20ºC en el freezer). Es decir que es posible transferir energía del interior más frío al ambiente más caliente que rodea a la heladera (fuente caliente). ¿Violamos la segunda ley? La respuesta es no, porque el sistema no es cerrado; hay un enchufe que le provee electricidad que proviene de fuera del sistema. ¿Qué pasa si la desenchufamos? Lentamente la temperatura del interior alcanzará la del ambiente, porque esa es la 'dirección' natural de la transferencia de energía. El proceso 'antinatural' que implica su funcionamiento solo es posible con el aporte de energía externa al sistema –por eso la enchufamos–.

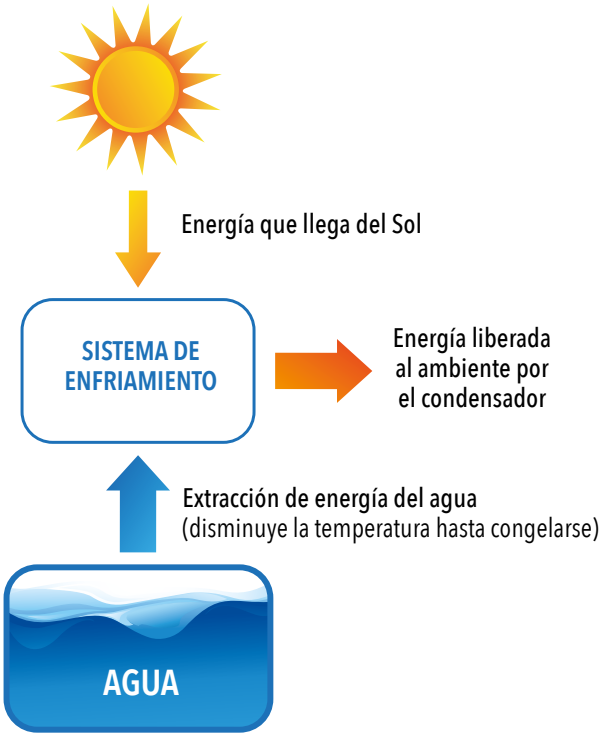
En las heladeras hogareñas se impuso masivamente un sistema de enfriamiento que hace uso de un compresor eléctrico que produce el mismo efecto que en nuestro refrigerador solar ocasiona el carbón activado: bajar la presión para conseguir un descenso de temperatura al evaporarse, en este caso, un fluido refrigerante específico.

¿Cuál será su análogo en la heladera solar, donde no hay partes móviles? Es conveniente para esto identificar una fuente intermedia, además de la fuente caliente y la fría.

El ingreso de la radiación solar aporta la energía al sistema y produce el calentamiento del colector, que juega un papel análogo al del compresor de una heladera convencional. Recordemos que el aporte de energía en esta última se daba por medio del trabajo que aportaba el compresor, en el equipo solar se da a través de la energía térmica aportada por el Sol. La fuente intermedia necesaria para este caso es el propio ambiente. Allí se libera el calor latente del metanol a través del condensador (en la práctica, el condensador está constituido por un entramado de tubos por




Funcionamiento de una heladera hogareña eléctrica




Funcionamiento de una heladera solar

donde circula el metanol, sumergidos en una cuba con agua que se enfría de forma natural con el aire).

## ¿Qué tan grande debe ser la heladera solar?

Cuando se trata de equipos de aprovechamiento solar, siempre se tendrá un límite en la cantidad de energía disponible en un determinado tiempo que está dada por la radiación del Sol que nos llega a la superficie de la Tierra. Supongamos que la heladera posee una eficiencia promedio del 10% y se espera que pueda congelar 2 litros de agua que están a 20°C en un día de verano aprovechando que la radiación se produce durante tres horas centradas en el mediodía. Con esto condicionamos la cantidad mínima de energía que debemos tomar del Sol. En este caso el cálculo arroja una superficie mínima de captación de aproximadamente $2m^2$. Como se ve, se trata de una superficie relativamente manejable para el exterior de los hogares.

## El futuro de las heladeras solares

Este tipo de dispositivos se encuentran aún en etapa de desarrollo, pero hay experiencia acumulada en el ámbito académico como para sostenerlos como una alternativa interesante en sistemas de enfriamiento. Son amigables con el medio ambiente, técnicamente simples y su disponibilidad podría resolver problemas donde el acceso a la energía esté dificultado. No obstante, no parece que sean una opción que reemplace fácilmente a las heladeras comerciales. A pesar de que consumen esa energía que compramos, al menos por ahora, estas ganaron su lugar en nuestras casas. CH

**Ernesto Cyrulies**
Magíster en enseñanza de ciencias exactas y naturales, Universidad del Comahue.
Profesor adjunto, UNGS.
*ecyrulie@campus.ungs.edu.ar*

**Andrés Sartarelli**
Doctor en ciencias físicas, UBA.
Profesor adjunto, UNGS.
*asartare@campus.ungs.edu.ar*

# *Crossfit* cerebral N.° 7

## Matemática, ilusiones y humor

### Cientificólogos

Quiero comenzar por felicitar a los/las autores y lectores de este medio, por tratarse de un tiempo especialmente interesante para los científicos (aunque no puedo dejar de recordar al historiador Eric Hobsbawm cuando señaló que hay una maldición china que dice 'ojalá te toquen vivir tiempos interesantes').

Sin duda es una época en la que el eje de la discusión, el debate, la polémica, la controversia y una larga lista de sinónimos que no tiene sentido nombrar (salvo que de la editorial me informen que debo alargar la nota) pasa por la ciencia.

Si no me creen, por favor, dejen por un momento de lado vuestros microscopios y acérquense a la macroscópica mediática. Verán entonces que políticos, periodistas, economistas, jueces, empresarios y hasta avatares inexistentes hacen gala de una ignorancia supina pero no por ello menos rimbombante de disciplinas científicas como lo son la biología, la microbiología, la epidemiología y varias logías más.

Por favor, comprueben, certifiquen y reaseguren con vuestros propios ojos, oídos e incluso narices lo que estoy, desde mi propia ignorancia, afirmando. Y si los que no saben absolutamente nada saben (o hacen como si supieran) tanto, no quiero ni pensar lo que deben saber los que sí se han preparado durante años para la situación.

Llamativamente, estos son mucho más cautos que los ignorantes y suelen hablar (y más que afirmar categóricamente, proponer humildemente) solamente cuando son convocados a tal efecto.

Si me permiten, a todos aquelles que no parecen saber nada sobre la ciencia pero sí sobre 'como parecer científico sin serlo' les concederé el gracioso nombre de 'cientificólogos/as', reservándome el de 'científicos' para quienes se limitan a ser, sin preocuparse demasiado por 'parecer'.

El problema de los cientificólogos es que primero hablan, afirman, concluyen, y recién después escuchan a quienes, consultados para confirmar lo dicho, no solamente no lo hacen, sino que lo ponen en duda, lo refutan y, peor aún, lo hacen con pruebas, datos, experiencia y documentos que podrían poner en duda la brillante y certera ignorancia de sus co-legos.

Quizá si invirtieran el orden y escucharan antes de hablar, las cosas serían de otro modo. Pero, esto ya lo sabemos, las cosas nunca son de otro modo. Y los cientificólogos tienen mucho menos espacio en los laboratorios y en los hospitales, pero mucho más en los medios y en los poderes varios.

Entonces, contra toda prueba, nos pueden decir que la vacuna rusa (Sputnik) nos puede alterar el ADN, corriendo el riesgo de que varios genetistas fallezcan de risa al escuchar semejante pavada, y de miedo al percatarse de que hay gente que la cree cierta. También pueden alertarnos de que la vacuna china puede provocarnos una tremenda propensión a comer arroz, y la cubana alterarnos el brazo izquierdo de manera que lo tengamos extendido hacia arriba y con el puño cerrado.

Todavía no se les ocurrió, pero no falta mucho para que nos digan que la vacuna inglesa nos cambiaría el habla y pondríamos los adjetivos antes de los sustantivos (¡una triste consecuencia, ¿no lo es?!), y que hablaríamos del clima día y noche. La japonesa nos haría sacar fotografías compulsivamente, como si fuéramos turistas en nuestra propia casa, o donde sea que cumplamos el aislamiento. La vacuna uruguaya nos volvería profundamente nostálgicos, la italiana nos convertiría en fogosos cineastas, la norteamericana nos llevarían a considerar de nuestra propiedad los departamentos de nuestros vecinos, y la suiza nos transformaría en seres voluptuosamente neutrales y apasionadamente puntuales.

Y por supuesto, habría una vacuna argentina. Mejor dicho, dos. Una más tranquila, con anticuerpos que primero duermen la siesta y después se ocupan del virus. La otra, ventajera, un tanto soberbia, que se autopercibe invencible, supone que el virus 'conmigo no se va a meter' y que sueña con triunfar en Europa.

Así estamos, queridos colegas

**Rudy**

# #TeRegaloUnTeorema

Mientras esperamos que el coronavirus afloje, #TeRegaloUnTeorema #TeRegalaUnModelo para intentar entender cómo se propaga una epidemia.

**El proceso de contacto**

En 1974, el gran TE Harris publicó el artículo 'Contact interactions on a Lattice' donde introdujo el hoy famoso 'Proceso de contacto'

*www.jstor.org/stable/pdf/2959099.pdf?refreqid=excelsior%3Add25654b7949ef4a31a90471c5a72e9f*

Este proceso es un modelo estocástico con estructura espacial para la evolución de una epidemia. 'Estructura espacial' quiere decir que no solo nos importa cuántas personas están infectadas o sanas sino también dónde están localizadas. Es posiblemente el modelo más simple en donde aparecen una serie de fenómenos que uno desea que aparezcan al modelar este tipo de problemas.

¿Se lo puede complejizar? Sí. Un montón. Pero acá vamos con la versión más simple y es a propósito. Uno de los leitmotivs de la matemática es tratar de encontrar lo esencial. En lugar de buscar un modelo que tenga en cuenta todas las complejidades del caso, buscamos uno que sea lo más simple posible, pero que refleje las propiedades cualitativas de lo que queremos estudiar. En este caso, la epidemia.

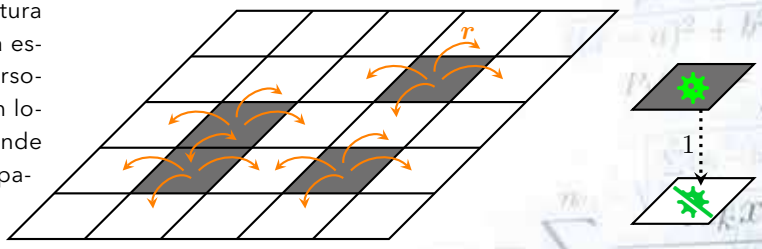
El modelo es superfamoso porque además se convirtió en una herramienta muy potente para hacer matemática. Para estudiar modelos más complicados, para desarrollar ideas más complejas, etcétera. Es como un ladrillo fundamental que permite construir cosas mucho más elaboradas.

Dice así. Empezamos con una grilla. Piensen en un tablero de ajedrez gigante. Cada cuadradito representa un individuo que puede estar sano o infectado (como estamos buscando el modelo más simple posible, consideramos solo esas dos posibilidades). Los individuos no se mueven. Se quedan en su casillero para siempre. El estado de cada persona va cambiando a medida que pasa el tiempo. Puede pasar de sano a infectado o de infectado a sano. Cada uno de los que está infectado puede volverse sano a cierta 'tasa' que normalizaremos en 1. Por otra parte, cada individuo infectado puede infectar a cada uno de sus vecinos a cierta 'tasa' que llamaremos *r* . Es decir que un individuo sano se puede infectar a 'tasa' r x (cantidad de vecinos infectados).

Más preciso. Cada individuo (casillero), si está infectado, se va a recuperar en un tiempo aleatorio pero que, en promedio, vale 1. Si está sano, se va infectar en un tiempo aleatorio pero que, en promedio, es proporcional a la cantidad de vecinos infectados que tiene. La constante de proporcionalidad es r. Podemos pensar a *r* y a 1 como la velocidad a la que ocurren esas transiciones.

Aclaraciones: los vecinos de un individuo son los cuatro individuos que están arriba/abajo/izquierda/derecha. Los individuos no se mueven. Usamos varias veces la palabra 'tasa'. La tasa a la que pasa algo significa que ese algo va a ocurrir en un tiempo aleatorio, ese tiempo es en promedio 1/tasa.

Si la tasa es grande, pasa rápido; si la tasa es chica, hay que esperar mucho para que pase. Si yo estoy sano y no tengo vecinos infectados, estoy tranca. Si tengo un vecino infectado, me voy a infectar a tasa *r*, si tengo dos, 2 × *r*; cuatro, 4 × *r*.




Harris demostró que si *r* es pequeño, la epidemia desaparece después de un tiempo. Pero si *r* es grande, hay probabilidad positiva de que la epidemia sobreviva para siempre y que el número de infectados crezca indefinidamente.

Da para pensar que la cuestión pasa por si *r* es mayor o menor que uno: $r > 1$ la epidemia se propaga, $r < 1$, la epidemia se extingue. Pero eso no es así debido a la estructura espacial que contempla el modelo. Y de hecho el valor crítico para *r* que divide aguas no se conoce. Se pueden obtener aproximaciones mediante simulaciones, pero nadie sabe calcularlo en forma exacta.

Para simulaciones, pueden ver una acá *mate.dm.uba.ar/~leorolla/simulations/* y jugar con el tamaño de la grilla y el valor de *r*.

Después de Harris, miles de artículos se escribieron para entender cada vez más a este proceso, para usarlo para entender otros procesos y también para entender cómo se propagan las epidemias.

Nuestra humilde contribución: con Leo Rolla, Franco Arrejoría, Enrique Andjel y François Ezanno probamos dos propiedades del proceso de contacto. Pueden verlas acá *projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.ejp/1465067138* y acá *arxiv.org/pdf/1908.04175.pdf*. En una próxima edición de #TeRegaloUnTeorema les cuento de qué se trata.

*#TeRegaloUnTeorema*

## Robando rondas

Supongamos que tenemos un juego Arcade, de los denominados 'fichines', al que quieren jugar Ana, Beto, Cami y Dani.

- *Ana llega a las 19.00 y quiere jugar 30'*
- *Beto llega a las 19.15 y quiere jugar 30'*
- *Cami llega a las 19.30 y quiere jugar 15'*
- *Dani llega a las 20.00 y quiere jugar 15'*

Una forma de ordenarse sería la directa: se ponen en fila y cada persona juega, a su turno, el tiempo completo que quiere jugar y luego deja a la siguiente. Imaginémonos entonces a Ana jugando sus minutos, luego llega Beto, espera a que Ana termine y se pone a jugar, y en ese momento llega Cami que espera a que termine Beto, y cuando le toca a Cami a las 20.00 llega justo Dani, que la espera terminar para jugar. De esa manera, la ultima persona termina de jugar a las 20.30.

Pero…

*¿Qué pasaría si el juego se jugara de a turnos de 15 minutos? (siempre privilegiando a quien todavía no haya jugado).*

De esa forma, cuando llega Beto a las 19.15, ahí Ana debería dejarlo jugar a él sus primeros 15 minutos.

Con este nuevo esquema:

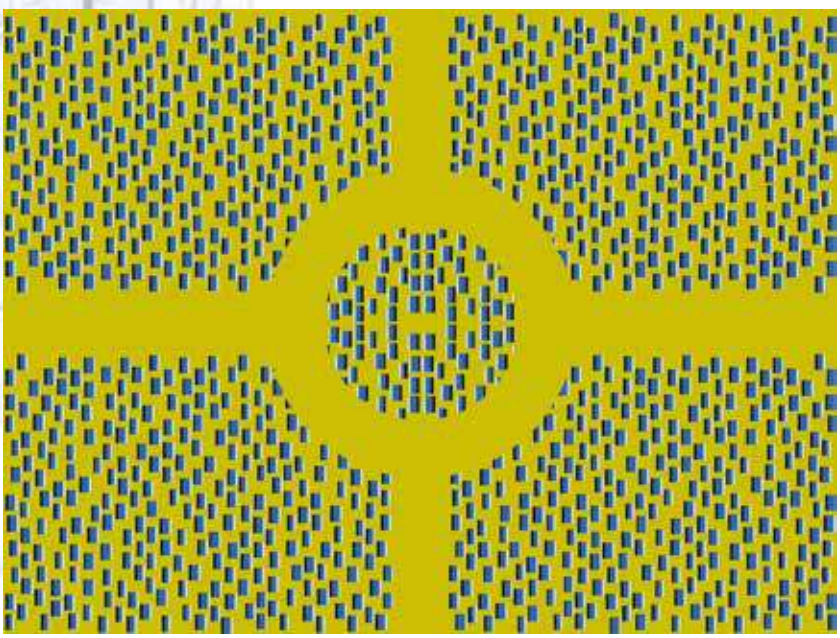
- ¿Terminarán todos de jugar para las 20.30? ¿O será antes?
- ¿Quién terminaría primero de jugar en este nuevo esquema?
- ¿Quién terminaría último de jugar?
- ¿Y qué sucedería si el turno es de 5 minutos? ¿Y de 1 minuto?

**Corolario**

Entre las tareas más importantes del sistema operativo de una computadora (por ejemplo, Linux o Windows) está la que se denomina *planificación de procesos*. Básicamente el sistema operativo tiene un problema interesante: ¿cómo hago para ejecutar cuatro programas a la vez en mi procesador (mi máquina Arcade)? Podemos pensar que Ana es el navegador de internet, Beto el procesador de texto, Cami el reproductor de video y Dani la calculadora, todos programas que compiten por el uso del procesador para poderse ejecutar.

La segunda estrategia, *jugar por turnos*, se denomina *round robin* (que no es un Robin redondo, sino más bien un 'robo por rondas'), donde cada proceso va 'robando' un poquito de tiempo de procesador, y esto sucede *muchísimas veces por segundo*, lo que produce la ilusión de que hay varios programas ejecutándose a la vez, cuando en realidad *es uno solo*.

## ¿Puede una imagen estática percibirse con movimiento?



Mirá al centro de la imagen, donde se encuentra el círculo. ¿Percibís movimiento en la vista periférica? ¿Hacia dónde? ¿Es esto posible?

En los años 60 surgió dentro del arte contemporáneo el arte óptico (*op art*), cuyo propósito consistía en crear la ilusión de movimiento por medio de imágenes estáticas. Esto sirvió de base para que varios científicos cognitivos estudiaran este fenómeno; dentro de los cuales se destacó el doctor Akiyoshi Kitaoka, psicólogo cognitivo de la Universidad de Tokio, quien ha desarrollado muchas ilusiones de movimiento, incluidas sus famosas 'serpientes giratorias'.

¿Por qué percibimos movimiento en una imagen estática?

Sabemos que existen neuronas complejas en las cortezas visuales que detectan movimiento. En realidad, solo detectan cambios de contrastes en una secuencia temporal. Si observan los pequeños rectángulos que forman la imagen, verán que tienen una secuencia de colores: negro, azul, blanco… embebido en un fondo amarillo. Pequeños movimientos de la retina (llamados microsacadas), que se realizan para escanear la imagen, hacen que estas neuronas complejas se 'confundan' y detecten estos cambios de contraste como movimiento. Si prestan atención a lo que experimentan, la sensación de movimiento se incrementa en la vista periférica. ¿Por qué? A medida que nos alejamos de la fóvea (el punto de la retina con el que hacemos foco y donde tenemos muchos conos, fotorreceptores responsables de la visión en color) hacia la periferia, disminuye la densidad de receptores visuales, de manera que la resolución de la imagen disminuye. Otra forma de decir esto es que finalmente cada neurona va a integrar la información de una mayor superficie del campo visual. Por ende, las neuronas complejas que incorporan información de la vista periférica son menos precisas y tienden a activarse más por estos cambios de contrastes de los rectángulos.

La imagen fue obtenida de Conway BR *et al.*, 'Neural basis for a powerful static motion illusion', *The Journal of Neuroscience*, 25 (23): 5651-5656.

## La dimensión desconocida

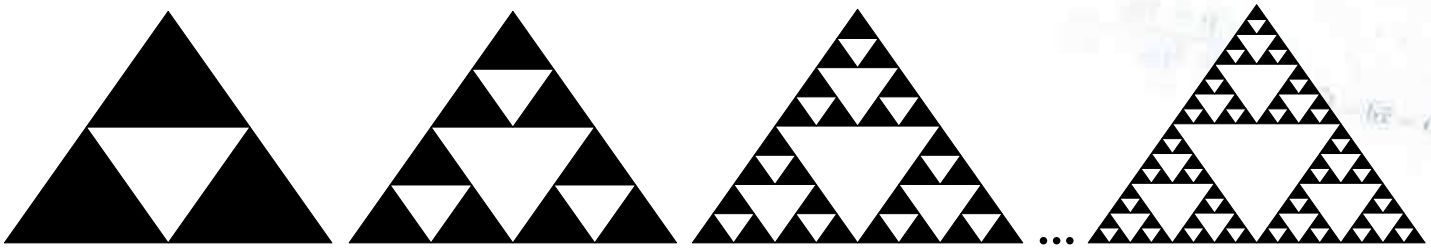
¿Cree usted en los rectángulos? ¿Alguna vez se encontró con uno en la vida real? Si su respuesta fue sí, entonces no tendrá problemas en creer en la existencia de los objetos de los que hablaremos a continuación: los *fractales*. Al igual que los rectángulos o los segmentos, estos son objetos matemáticos, y lo que vemos en la vida real son aproximaciones a ellos.

Una hoja de papel, por más fina que sea, no es un rectángulo. Un rectángulo, como objeto matemático, no tiene espesor. Así, si 'apilamos' muchos rectángulos el resultado no tendrá altura. Sin embargo, si apilamos muchas hojas de papel, como en el caso de una resma, el resultado tendrá cierta altura que dependerá de la cantidad de hojas utilizadas y su grosor. Algo similar ocurre con los segmentos: un trozo de hilo puede considerarse un segmento pero, si enrollamos mucho hilo, el resultado será como una pelota por lo que ocupará volumen en el espacio. Esto sucede porque todo en la vida real tiene tres dimensiones, a diferencia de un rectángulo verdadero que es bidimensional, o un segmento que es unidimensional. La hoja se considera un rectángulo cuando su espesor no importa, y un hilo se considera un segmento cuando solo nos interesa su longitud, pero no lo son. Lo mismo ocurre con los fractales: ciertas cosas en la naturaleza pueden considerarse fractales, aunque seguramente no lo sean.

Vamos a presentar un caso particular de fractales: los *autosemejantes* o con *autosimilitud exacta*. Estos son aquellos donde el total contiene una cantidad finita de copias de sí mismo a menor escala, sin ningún tipo de distorsión. Luego, si hacemos zoom para observar el objeto con mayor detalle, cualquiera sea el grado de precisión elegido, nos encontramos con el mismo patrón que rige el todo. En la vida real, por supuesto, esta autosimilitud es limitada, ya que desaparece a cierto nivel de ampliación, como el es caso del romanesco:

Como dijimos antes, los fractales son objetos matemáticos. Una forma de construir fractales autosemejantes es mediante un algoritmo recursivo, es decir, una instrucción que se repite infinitas veces. Por ejemplo, el triángulo de Sierpinski se construye de forma recursiva como sigue:

- Dibujar un triángulo equilátero.
- Marcar el punto medio de cada lado y conectarlos. Quedan así 4 triángulos.
- Eliminar el triángulo central y repetir el proceso en cada uno de los que quedan, infinitas veces.



¿Podemos determinar la dimensión del triángulo de Sierpinski? Existen distintas dimensiones que se usan en geometría fractal, pero vamos a considerar la *dimensión de homotecia*. Aunque no daremos una definición formal, la ilustraremos en el caso de nuestro triángulo. Para ello, veamos por qué decimos que un segmento tiene dimensión 1, que un cuadrado tiene dimensión 2, o que un cubo dimensión 3. Lo haremos de una manera poco formal en el sentido matemático, para ilustrar la idea.

Supongamos que llevo a una fotocopiadora una hoja con un segmento dibujado en ella y pido que me la amplíen, digamos al doble. ¿Cuántos segmentos como el original necesito para cubrir la imagen ampliada? Claramente, serán $2=2^1$. Pensemos ahora qué ocurre si en lugar de un segmento llevo un cuadrado. ¿Cuántos cuadrados como el original necesito para cubrir la imagen ampliada? Ahora serán $4=2^2$. Si pudiéramos hacer lo mismo con un cubo, digamos en una impresora 3D, cuántos cubos de lado *l* necesito para cubrir uno de lado 2*l*? En este caso necesito $8=2^3$. Estos exponentes son, precisamente, las dimensiones de estos objetos, respectivamente.

Así, la dimensión de homotecia *d* de un objeto autosemajente es el exponente que satisface $N=Z^d$, siendo *N* la cantidad de copias del objeto necesarias para cubrir el objeto 'ampliado por *Z*', en el sentido de arriba.

Con esta definición, ¿cuál es la dimensión del triángulo de Sierpinski?

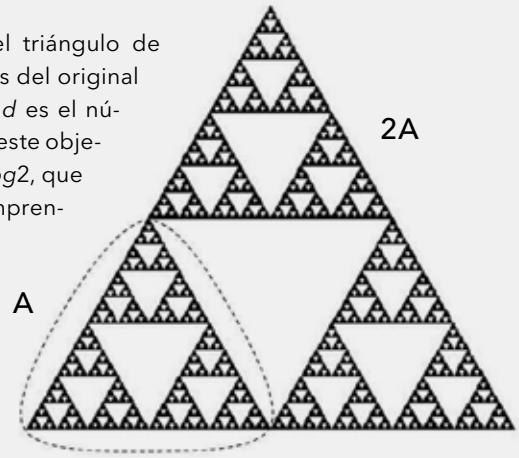
## Soluciones

### Robando rondas

El horario en que todxs terminaron de jugar es el mismo: las 20.30; acá termina primero Cami (porque a las 19.45 cuando llega la dejan jugar, y juega su turno entero), y quien terminaría último de jugar sería Beto, porque luego de dejar jugar a Dani termina Ana, y recién después termina Beto. Al bajar el tiempo del turno, lo que empieza a pasar es que, cuando llega Beto, él y Ana se empiezan a turnar hasta que llega Cami y se empiezan a turnar entre los 3, y ahí sí va terminando primero Ana nuevamente.

### La dimensión desconocida

Si duplicamos el tamaño del triángulo de Sierpinski necesitaremos 3 copias del original para cubrirlo. Así, su dimensión *d* es el número que satisface $3 = 2^d$ Luego, este objeto tiene dimensión igual a $log3/log2$, que resulta un número no entero comprendido entre 1 y 2.




## Equipo de la sección 'Matemática, ilusiones y humor'

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

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

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

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

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

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

**Rudy**
Humorista.
*marcelorudy10@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.chicosdecienciahoy.org.ar

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

CHicosdeCienciaHoy
@chicosdecienciahoy

# ¿Cómo acercarte a la ciencia en tres pasos?

## 1visitá

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

## 2sumate

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

## 3seguinos

por Twitter a través de @nex_ciencia

**nexciencia.exactas.uba.ar**