CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy

Ejemplar en la Argentina $60

Volumen 25 número 146 noviembre - diciembre 2015

El perro en América

Acuerdo Internacional sobre cambio climático

Premios Nobel

Guía del cielo nocturno

ISSN 0327-1218

00146

INNOVACIÓN Y DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA LA INDUSTRIA ENERGÉTICA

- CAMPOS MADUROS
- RECURSOS NO CONVENCIONALES
- REFINERÍA Y PETROQUÍMICA
- SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL
- NUEVAS ENERGÍAS
- CADENA DE VALOR
- GAS

Y-TEC
YPF TECNOLOGÍA

www.ypftecnologia.com

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

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/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330
Correo electrónico: *contacto@cienciahoy.org.ar*
http://www.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

Federico Coluccio Leskow
Instituto de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA-Conicet

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

Alejandro Curino
Instituto de Investigaciones Bioquímicas Bahía Blanca, UNS-Conicet

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

Ingrid de Jong
Instituto de Ciencias Antropológicas, UBA-Conicet

María Luz Endere
Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Conicet

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

Aníbal Gattone
UNSAM

José X Martini
Asociación Ciencia Hoy

Paulina E Nabel
Asociación Ciencia Hoy

Pablo E Penchaszadeh
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

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

María Semmartin
Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Susana Villavicencio
Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, UBA

Consejo científico

Coordinadora: Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), 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 (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo Míguez (IEHS, UNCPBA), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), Marcelo Montserrat (Academia Nacional de Ciencias), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Jacques Parraud (UVT, INTA), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP), Eduardo H Rapoport (Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, UNLP)

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

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

Representante en Mar del Plata
Raúl Fernández (Facultad de Ciencias de la Salud y Servicio Social, UNMDP)
Saavedra 3969 (7600) Mar del Plata,
Buenos Aires. Tel: (0223)474-7332
Correo electrónico: *raferna@mdp.edu.ar*

Corresponsal en Río de Janeiro
Revista Ciência Hoje
Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27,
CEP 22290-140, Río de Janeiro - RJ - Brasil
Teléfonos: (5521) 2109-8999 y 2109-8973
Correo electrónico: *cienciahoje@cienciahoje.org.br*

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $ 400 (incluye envío)
EXTRANJERO: 6 números, US$ 40 + envío

Costo de envío
PAÍSES LIMÍTROFES DE LA ARGENTINA: US$ 33
RESTO DE AMÉRICA: US$ 54
RESTO DEL MUNDO: US$ 60
(American Express - Visa)

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: 5245141

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Callao 132, E.P. (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4372-0117
Correo electrónico: *estudiomassolo@fibertel.com.ar*

Corrección
Mónica Urrestarazu

Impresión
FP Compañía Impresora
Antonio Beruti 1560
(1604) Florida Oeste, 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
Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

Ciencia Hoy agradece los apoyos recibidos –en especial el del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y del Conicet– para la publicación de la revista. Esta se produce merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe –ni ha recibido en toda nuestra historia– remuneración económica. Fundada en 1988.

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Noviembre - diciembre 2015
Volumen 25 - número 146

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

4 Volumen 2 - número 7
Abril - mayo 1990

EDITORIAL

6 Actualidad del cambio climático

8 GRAGEAS

ARTÍCULO

13 Acuerdo internacional sobre cambio climático

Vicente Barros

En el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, un tratado internacional firmado a la fecha por 196 países que entró en vigencia en 1994, tienen lugar conferencias anuales de los signatarios de las que, a comienzos de diciembre del corriente año 2015, tendrá lugar la número 21 en las afueras de París. Se espera que en ella los países tomen compromisos voluntarios de reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero y que ratifiquen la meta de no exceder los 2°C de calentamiento global con relación a los tiempos preindustriales.

ARTÍCULO

17 Las plantas como biorreactores
Un camino atractivo para producir proteínas recombinantes

Federico Gabriel Mirkin y María Eugenia Segretin

Desde antiguo, la humanidad utiliza sustancias extraídas de plantas y animales como medicinas y para propósitos del tipo de teñir telas o pintar. En el siglo XIX se logró producir muchas de esas sustancias en laboratorios y, luego, en instalaciones industriales. Hoy importantes ramas de la industria, como la farmacéutica, siguen esas actividades, pero con el advenimiento de la biología molecular y su aplicación a la ingeniería genética se abrió una posibilidad que se vislumbra como promisoria: modificar genéticamente plantas para que generen las moléculas de las sustancias que necesitamos con el fin de producir medicamentos o para otros propósitos. Es decir, usar las plantas como biorreactores.

ARTÍCULO

23 El ser más inteligente de la Tierra

Julio Buonfigli

El ser humano tiene alrededor de 100.000 millones de neuronas en su cerebro, más de diez veces el total de la población humana actual de la Tierra. Se puede comparar ese número con las 30.000 millones de neuronas del chimpancé, las 300 millones del gato y las 340.000 de una mosca. El gusano *Caenorhabditis elegans*, que es ciego, sordo y mide un milímetro de largo, se las arregla para controlar sus funciones internas, buscar y seleccionar alimento, escapar de predadores y conseguir pareja con solo 302 neuronas. Si definiéramos la inteligencia como la eficiencia con la que un animal usa sus neuronas, *C. elegans* sería el más inteligente de la Tierra.

ESPACIO INSTITUCIONAL

26 CONICET dialoga

ARTÍCULO

31 Cómo estudiar poblaciones de mamíferos silvestres

Mario S Di Bitetti

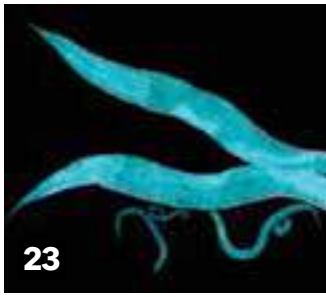
Es sumamente difícil estudiar las poblaciones de mamíferos silvestres para conocer, entre otras cosas, sus hábitos, abundancia, densidad poblacional y área de distribución, en especial si se trata de especies solitarias, raras, mayormente nocturnas, esquivas y que viven en ambientes con baja visibilidad como los selváticos. Una técnica útil para hacerlo es la radiotelemetría. Desde la década de 1980 ha sido complementada por el fototrampeo, que posee ventajas sobre la anterior para cierto tipo de estudios.

ARTÍCULO

39 Una historia de perros
Mitos y certezas sobre su origen y dispersión en América

Mónica Berón, Luciano Prates y Francisco Prevosti

Los estudios de ADN han proporcionado a los zoólogos la evidencia de que los perros son el resultado de la domesticación de lobos grises euroasiáticos (*Canis lupus*). Hay, sin embargo, alguna controversia sobre el lugar, el momento y la forma en que aconteció esa domesticación, pero una corriente significativa de pensamiento la ubica en Europa central hace unos 18.000 años, lo que convierte al perro en el primer animal domesticado. Los perros llegaron a América acompañando a



grupos humanos: hay abundantes pruebas de que estaban en Norteamérica miles de años antes de Colón. Sobre la aparición de perros en Sudamérica, en cambio, se sabe mucho menos, pero estudios recientes comienzan a esclarecer el asunto.

ARTÍCULO

47 **Arqueología ambiental**

La relación entre las culturas pretéritas y los cambios ambientales

Marilén Fernández y Lorena Grana

Los cambios de las condiciones ambientales tuvieron repercusión en los modos de vida de los grupos humanos a lo largo de los siglos y milenios. La arqueología ambiental estudia las relaciones entre cultura y ambiente en las comunidades prehistóricas, tarea que tiene dimensiones sociales, económicas y ecológicas, y se vale tanto de técnicas provenientes de la arqueología como de las ciencias naturales, sobre todo de la biología y la geología. Las reconstrucciones paleoambientales que realiza permiten correlacionar los cambiantes fenómenos naturales con la dinámica de los grupos humanos, aunque en las respuestas de estos a tales cambios participan también condicionantes de tipo social y cultural.

CIENCIA EN EL MUNDO

53 **Los premios Nobel 2015**

Javier Alejo, Esteban Roulet, Vanesa Gottifredi y Rubén Daniel Tanzola

Como todos los años desde 1901, la Fundación Nobel anunció en Estocolmo el otorgamiento de los premios Nobel de, según sus denominaciones tradicionales, medicina o fisiología, física, química, literatura y paz. A ese grupo se agregó la economía en 1968, con el premio Banco de Suecia en memoria de Alfred Nobel, que ha pasado a considerarse equivalente a los otros tres en ciencias. Los cuatro se comentan en este número en un momento en que, tanto en la Argentina como en el resto del mundo, la ciencia está dando pasos para explicar a la sociedad de manera clara y sencilla sus avances y descubrimientos. En gran parte por ello los premios Nobel acaparan cada vez más la atención en los medios de comunicación.

ASTRONOMÍA

61 **Guía del cielo nocturno**

Número 38, enero-junio de 2016

Jaime García

HACE 25 AÑOS en CIENCIA HOY

HACIA UNA CIENCIA DE LO EXCEPCIONAL

ANTONIO BATTRO

El desarrollo de una ciencia capaz de abordar el estudio del talento excepcional requiere precisar categorías tales como 'precoz', 'superdotado', 'prodigio' y 'genio', y reconocer la existencia de niveles de creatividad susceptibles de análisis científico.

LOS PUEBLOS INDÍGENAS

RODOLFO M CASAMIQUELA

Cuando se considera la interacción de los diversos pueblos indígenas históricos de la Patagonia entre sí y con su medio, a partir de los tipos raciales originarios, se descubre un variado mosaico de grupos con hábitos, sociedades y características físicas disímiles.

En las últimas tres décadas la etnohistoria de pampa y Patagonia ha renovado sustancialmente sus enfoques. Abandonó las clasificaciones raciales y la descripción de rasgos culturales en favor de analizar el dinamismo histórico de las poblaciones indígenas de estas regiones, la incorporación de bienes europeos, la formación de nuevos grupos étnico-políticos y la activa participación en redes de comercio y diplomacia fronteriza.

UNA HISTORIA DE 500 MILLONES DE AÑOS

GUSTAVO GONZÁLEZ BONORINO

La apariencia presente del paisaje de la Patagonia es el resultado de una historia geológica muy compleja. En ciertas épocas la región ofrecía un aspecto similar al de las actuales costas tropicales de América, mientras que en otras estuvo cubierta por los hielos.

EL PASTOREO OVINO

ALBERTO SORIANO Y JOSÉ M PARUELO

La explotación de los campos de pastoreo, históricamente basada en el método de prueba y error, cuenta hoy con importantes aportes teóricos de una de las ramas de desarrollo más reciente del tronco de las ciencias biológicas: la ecología. Una experiencia llevada a cabo en el ámbito patagónico certifica el valor de tales aportes.

Durante las últimas décadas, en la estepa patagónica se ha difundido exitosamente un sistema de manejo que ajusta la intensidad de pastoreo en función del forraje disponible. Este sistema está basado en marcos conceptuales de la ecología: la noción de capacidad de carga de los ecosistemas y la comprensión de los factores que gobiernan la dinámica de la vegetación.

Visita nuestros archivos en www.cienciahoy.org.ar

Parque eólico, Comodoro Rivadavia, Chubut.
Foto *www.viajeros.com* / rodoluca

POLÍTICA ENERGÉTICA

CARLOS E SUÁREZ

Diversificar las fuentes de abastecimiento energético con el fin de disminuir la dependencia del petróleo fue un claro objetivo nacional que quedó registrado, a partir de mediados de la década del 60, en los diversos planes energéticos. Cabe esperar que, con la especial participación de la Patagonia, toda nueva estrategia sea diseñada con visión de futuro, trascendiendo meras especulaciones coyunturales.

HÁBITAT Y ENERGÍA: EL CASO DE RÍO TURBIO

ELÍAS ROSENFELD Y OLGA RAVELLA

La crisis energética tiene múltiples emergentes. En íntima relación con la situación nacional, aunque, por supuesto, con características muy particulares, los desequilibrios energético-ambientales que sufre Río Turbio surgen de un estudio realizado a instancias de la Dirección Nacional de Conservación y Nuevas Fuentes de Energía.

Lago Lácar desde Mirador Arrayán.
Foto *www.flickr.com* / Miguel Vieira

LA POTENCIALIDAD DEL AGUA

BRUNO V FERRARI BONO

Conocer y valorar los recursos naturales de un país es obligación de sus gobernantes. También lo es, por supuesto, utilizarlos en bien de la comunidad. La Patagonia espera todavía una política decidida y audaz que permita aprovechar sus ingentes recursos, por ejemplo, su singular riqueza hídrica.

BALLENAS FRANCAS AUSTRALES

GUILLERMO HARRIS Y CARLOS O GARCÍA

El riesgo de extinción de la ballena franca se debe principalmente a la caza indiscriminada de la que ha sido víctima hasta bien pasada la segunda mitad del siglo XX. Para conocer el estado actual de la evolución de su población se han realizado estudios en una zona muy frecuentada por estos cetáceos, península Valdés.

En 2010 se estimó que unas 3400 ballenas francas llegan anualmente a Valdés, y que nacen allí unos 450 ballenatos, de los que casi una cuarta parte muere por diversos factores, entre ellos heridas en el lomo por picoteo de gaviotas.

PARA REFLEXIONAR SOBRE LOS DERECHOS HUMANOS

MARÍA L LACROIX

El tratamiento introductorio de una serie de artículos al análisis de ciertos derechos particulares conduce, sin embargo, a una consistente visión global del fundamental tema de los derechos humanos.

Actualidad del cambio climático

En el momento de enviar la presente entrega de Ciencia Hoy a imprenta está por iniciarse en las afueras de París la 21ª Conferencia de las Partes (designada por la sigla COP21) prevista por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El artículo 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', escrito por el destacado especialista Vicente Barros para este número, proporciona detalles sobre la conferencia.

Por *cambio climático* se entiende una modificación estadísticamente significativa de los parámetros climáticos de la Tierra en períodos largos, que abarcan décadas, siglos, milenios e incluso millones de años (oscilaciones cortas, como El Niño, no están incluidas en el concepto). Esa modificación se puede originar en procesos relacionados con la vida vegetal o la animal, modificaciones periódicas de la órbita terrestre, cambios en la radiación solar, movimientos de las placas tectónicas que alteran la geometría de continentes y mares, erupciones volcánicas, etcétera. Las tendencias más recientes de cambio climático, también llamadas *calentamiento global*, cuya existencia ha sido documentada por considerable cantidad de datos recogidos en estudios rigurosos e independientes, se atribuyen a un aumento significativo del contenido atmosférico de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO_2).

Esos gases actúan como los vidrios de un invernadero o una ventana: dejan pasar la radiación solar que calienta la Tierra pero no dejan escapar el calor que esta emite en forma de radiación infrarroja y, como consecuencia, impulsan hacia arriba la temperatura media del planeta. El CO_2 fue, precisamente, un factor crucial para que pudiese haber vida como la conocemos en la Tierra, ya que si la atmósfera no lo hubiese contenido, esa temperatura media hubiese estado por debajo del punto de congelamiento del agua.

Por otra parte, hay un ciclo natural del CO_2, por el que ciertos procesos geológicos, químicos y biológicos lo emiten a la atmósfera y otros lo extraen de ella, con la consecuencia de que su cantidad en esta experimenta variaciones, aunque son poco significativas en los lapsos en que transcurre la vida humana.

Sin embargo, y de acuerdo con datos de múltiples fuentes, a lo largo del siglo XIX y, sobre todo, del XX, la cantidad de CO_2 atmosférico fue aumentando de modo marcado. La razón principal de ese aumento fue la actividad humana desencadenada por la Revolución Industrial (por eso se habla de *cambio climático antropogénico*). Si bien existen algunas voces disidentes sobre lo último, la opinión científica mayoritaria concuerda en que esa actividad ocasionó alteraciones en el ciclo del CO_2 por las que la cantidad del gas ingresado en la atmósfera superó crecientemente a la cantidad extraída de esta, con el consiguiente incremento del efecto invernadero y, por ende, de la mencionada temperatura media de la Tierra, es decir, causó el calentamiento global. Se ha estimado que desde el inicio de la Revolución Industrial el aumento de la temperatura media terrestre fue de 0,8°C.

Las alteraciones en cuestión consisten principalmente en un aumento de la cantidad de CO_2 que llega a la atmósfera. Su causa central reside en el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas, formados hace millones de años), principalmente por la industria, para generar electricidad y para propulsar vehículos. A esto se

adicionan otras situaciones, como la quema de bosques o campos o emisiones de metano de diversos orígenes, cuya contribución es menor.

En paralelo con lo explicado, se han constatado modificaciones del medio natural, tanto terrestre como marino, que muchos estudios científicos atribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero y al calentamiento global, entre ellas, una distinta distribución de vegetación, la recesión de los hielos en Groenlandia, las costas antárticas y la alta montaña, con la consecuente suba del nivel del mar por el derretimiento de los primeros, y la acidificación de los océanos. Esos estudios también llevan a pensar que dichas modificaciones aumentarán y tendrán consecuencias sociales y económicas severas con el avance del calentamiento por encima de los mencionados 0,8°C. Al mismo tiempo se constata que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero continúan expandiéndose, con pocas perspectivas de que se logre contenerlas.

Esta situación, de la que cada vez tienen más conciencia la opinión pública y los medios periodísticos, viene creando desde hace un par de décadas una preocupación generalizada en todos los ámbitos e intensos debates políticos sobre qué medidas tomar. Es el contexto en que se celebrará la conferencia de París, cuyo propósito es acordar tales medidas.

La Argentina, como todos los demás países, contribuye a las causas del calentamiento y sufre sus consecuencias. Si bien es responsable del 0,9% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, entre 1990 y 2010 las que emite el país aumentaron 90%, mientras el total mundial lo hizo 31%. Este es un estado de cosas que merece ser tomado seriamente en cuenta y sobre el que los editores de Ciencia Hoy desean llamar la atención de sus lectores con este editorial y con el artículo mencionado al comienzo. Con el mismo propósito, han comenzado a trabajar en la preparación de un número de la revista dedicado principalmente al tema, a ser publicado en 2016. CH

Imagen satelital de la costa suroeste de Groenlandia. Una de las consecuencias del calentamiento global es el derretimiento de los glaciares groenlandeses, cuyo progreso llevaría a importantes subas del nivel del mar y la inundación de vastas zonas costeras densamente pobladas en todo el mundo. La desaparición del hielo de los innumerable fiordos y caletas deja en descubierto un limo finamente pulverizado por la acción del glaciar, que tiñe las aguas de marrón y azul verdoso. Foto NASA

El gen altruista

Al cabo de todos los siglos transcurridos desde que la humanidad hace ciencia, nos hemos percatado de que aplicar la perspectiva humana a la problemática biológica suele conducir a severos errores conceptuales. Términos como *finalidad*, *justicia* o *inmolación*, que tienen sentido para describir la conducta de las personas, no lo tienen para entender el comportamiento de organismos biológicos no humanos. ¿O sí?

Por décadas los biólogos han especulado sobre la justificación evolutiva del altruismo, empezando por el mismo Charles Darwin. Desde la publicación de *El origen de las especies* sabemos que los rasgos o comportamientos que incrementen las posibilidades de sobrevivir o dejar descendencia prevalecerán por sobre aquellos que no tengan ese efecto. Ello se debe a una cuestión meramente lógica: los individuos con genes que les confieren esos rasgos tendrán más descendencia y, por ende, se incrementará la proporción de sus genes en la población. Pero, entonces, ¿cómo explicar que no haya desaparecido el altruismo, ya que este pone en jaque la propia supervivencia y capacidad de dejar descendencia en pos de mejorar las de otro?

Por lo general se busca responder a esta pregunta indicando que el altruismo suele apuntar sobre todo a quienes tienen algún grado de parentesco con quien adopta esa conducta, que puede hasta sacrificar su vida para salvar la de su pariente y, en consecuencia, facilitar la transmisión de los genes de este.

Pero los genes de nuestros parientes son también los nuestros: cada uno de nuestros hijos lleva copias exactas de la mitad de nuestros genes, y –en promedio– hay un número similar de copias en cada uno de nuestros hermanos. Asimismo, compartimos el 25% de nuestros genes con nuestros tíos, y la mitad de ese valor con nuestros primos. En las palabras del genetista británico John BS Haldane (1892-1964), *daríamos la vida por dos hermanos u ocho primos* (en ambos casos se alcanza el 100% de nuestro acervo genético). Estas simples relaciones matemáticas explicarían actos de altruismo entre parientes, incluso el caso extremo de la inmolación de las abejas, capaces de sacrificar su vida en aras de la seguridad de la colmena. Técnicamente, cada abeja que se inmola está salvando a miles de hermanas, con las que –igual que otros insectos gregarios, como avispas u hormigas– comparte el 75% de sus genes, por lo que de esta manera salvará buena parte de su acervo genético.

Pero ¿cómo entender el altruismo entre individuos no emparentados, como se suele dar en nuestra especie? Los humanos forjamos intensos lazos de amistad y no faltan ejemplos de situaciones en las que ponemos en riesgo nuestro cuello para favorecer las perspectivas de supervivencia de nuestros amigos.

Una investigación de Nicholas Christakis (de la Universidad de Yale) y James Fowler (de la Universidad de California en San Diego), que comentamos en una gragea anterior (Ciencia Hoy, 145: 16), analizó casi 500.000 genes en cerca de 2000 individuos, tanto amigos como desconocidos, y concluyó que los amigos compartían en promedio más genes entre ellos que con cualquier persona tomada al azar de la misma población. Esto sugiere que existiría cierto egoísmo escondido en los cimientos de muchos comportamientos altruistas, pues al inmolarnos por nuestros amigos estamos beneficiando la proporción de nuestros genes que ellos también llevan en sus células.

Posiblemente esto no esclarezca las múltiples formas de altruismo observadas en nuestra especie, para muchas de las cuales preferimos explicaciones de tipo psicológico o moral. Pero quizá convenga tener en cuenta, al lado de esta clase de explicaciones, que los estudios de Christakis y Fowler han llevado a que se desdibujen hasta cierto punto los límites que separan la familia biológica de la comunidad. En otras palabras, el altruismo fuera de la familia podría considerarse un comportamiento hasta cierto punto troyano, pues la inmolación propia en beneficio de alguien ajeno a la familia de sangre pero que comparte buena parte de nuestro genoma lleva escondida la salvación de esa buena parte de nuestros genes.

El debate sigue abierto dado que todavía resta mucho por investigar para llegar a una comprensión biológica profunda del curioso fenómeno de dar. Mientras tanto, simplemente sigamos disfrutándolo. CH

Leandro Martínez Tosar
lmartinezt@fbmc.fcen.uba.ar

Más información en CHRISTAKIS N & FOWLER J, 2014, 'Friendship and natural selection', *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 111, 3: 10796-10801, accesible en *http://www.pnas.org/content/111/Supplement_3/10796.full.pdf*

La extinción de los dinosaurios: ¿meteorito o volcán?

Los dinosaurios aparecieron en la evolución de la vida hace bastante más de 200 millones de años, pero entre esa fecha, que marca el comienzo del período geológico Jurásico, y el fin del Cretácico (hace 66 millones de años) fueron los vertebrados terrestres dominantes. Hacia la última fecha se extinguieron, junto con muchos otros grupos de animales, como amonites, plesiosaurios, pterosaurios y muchos mamíferos, aunque no las aves, descendientes de los dinosaurios, cuyo linaje por ello sigue presente hoy en la Tierra. En las últimas décadas hubo creciente acuerdo entre los paleontólogos sobre la causa principal (pero no única) de la extinción: se habría debido a las consecuencias de la caída de un gigantesco meteorito, un asteroide que habría chocado con nuestro planeta en ese momento.

La hipótesis del impacto del meteorito fue formulada en 1980 por el físico y premio Nobel norteamericano Luis Álvarez junto con su hijo geólogo Walter. En 1981 los geofísicos Glenn Penfield y Antonio Camargo, que trabajaban para Pemex, descubrieron el posible lugar de impacto de ese gran meteorito, en Chicxulub, Yucatán. En 1992 lo estudió el geólogo holandés Jan Smit y lo describió como un cráter de 300km de diámetro dejado por la colisión de un asteroide de 10km de largo. Los efectos de ese choque, que habrían causado dicha gran extinción, habrían sido tanto un violento aumento de la temperatura, dado el calor disipado por el impacto, como un drástico enfriamiento posterior debido al reflejo de los rayos solares por las nubes de polvo levantadas.

Foto surfzone, *Flickr.com*

Por otro lado, se sabe que hace 66 millones de años, en la meseta del Decán, que cubre buena parte del centro y sur de la actual India, tuvo lugar uno de los episodios volcánicos más intensos de la historia del planeta. Se estima que duró 750.000 años y que el magma que produjo cubrió una superficie de cerca de tres veces la de Francia. También se piensa que lanzó a la atmósfera suficiente CO_2 como para que su efecto invernadero calentara significativamente la Tierra, lo mismo que emanaciones de azufre que acidificaron los océanos. Ambas cosas podrían haber causado, a lo largo de ese período y en contraste con lo instantáneo del choque del meteorito, la muerte del 75% de las formas de vida terrestre, entre ellas los dinosaurios. Esta hipótesis podría explicar el hecho de que muchas formas vivientes se habían extinguido o declinado bastante antes de la caída del asteroide en Chicxulub.

Hace unos meses la geocronóloga Gerta Keller, de la Universidad de Princeton, que cuestiona la hipótesis de los Álvarez, halló con su equipo de colaboradores suficiente evidencia en el basalto del Decán (en cristales de circón con átomos de uranio atrapados) como para datar la erupción volcánica principal unos 250.000 años antes del momento en el que los dinosaurios y otros animales desaparecieron de la superficie terrestre, lo que es argumento a favor de la hipótesis volcánica. Y la discusión sigue... CH

Más información en SCHOENE B *et al.*, 2015, 'U-Pb chronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction', *Science*, 347:182-184; KELLER G y SMIT J, 2004, 'Le cratère de la discorde', *La Recherche*, 379: 29, y STONE R, 2014, 'Back from the dead', *Science*, 346: 1281-1283.

CÁNCER

Pelear sin frenos contra el cáncer

La inmunoterapia como tratamiento del futuro

Nuestro sistema inmunológico (es decir, la defensa natural del cuerpo contra las infecciones) no siempre reconoce las células cancerosas como nocivas. En los últimos treinta años se ha desarrollado la inmunoterapia, un tipo de tratamiento que ayuda a 'liberar' a las células del sistema inmunológico para luchar contra el cáncer. El pionero en este campo, James Allison, recibió en septiembre de este año el prestigioso premio Lasker, considerado como el Nobel americano.

En 2013 los editores de la revista *Science* eligieron la inmunoterapia del cáncer como el logro científico del año argumentando que estaban frente a un nuevo paradigma que había consolidado su potencial y persuadido a los escépticos (*http://www.sciencemag.org/content/342/6165/1432.full*). Y también porque encontraron aquí una lección a ser aprendida en el proceso de transformar conocimiento biológico en drogas que salvan vidas: el éxito de esta terapia surgió de una cuidadosa decodificación de la base biológica, que llevó años.

Allison dio los primeros pasos al encontrar, en la superficie de un tipo de glóbulo blanco llamado células T, una molécula que actuaba como freno impidiendo la reacción de defensa del cuerpo. 'Bloquear lo que bloquea' fue la consigna a comprobar. En una serie de estudios en modelos preclínicos, Allison demostró que bloqueando la molécula que cumple una función inhibitoria (llamada CTLA-4) con anticuerpos terapéuticos se podía liberar al sistema inmune para que destruyera el cáncer.

Pero hacer esto lleva tiempo. La molécula CTLA-4 fue descubierta en 1987. En 1996 Allison demostró que la aplicación de anticuerpos contra las moléculas de CTLA-4 eliminaba tumores en ratones. En 2010 la compañía biofarmacéutica que había adquirido los derechos para producir el anticuerpo reportó que pacientes con melanoma metastásico vivían un promedio de diez meses tras la aplicación del anticuerpo, contra seis meses para quienes no lo habían recibido. En 2011 la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) aprobó el tratamiento anti CTLA-4 para el melanoma metastásico. En 2012 se dieron a conocer resultados para una nueva terapia con anticuerpos llamada anti-PD-1 en cerca de trescientos pacientes. En diciembre de 2014 el anti-PD-1 fue aprobado por la FDA para pacientes con melanoma avanzado.

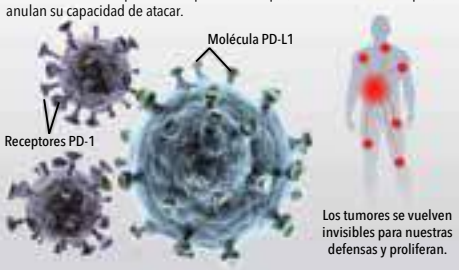
El desarrollo de nuevas terapias para ayudar al sistema inmunológico a eliminar las células cancerosas empezó con los inspirados estudios de Allison en el bloqueo de la CTLA-4 en modelos de ratones. Expandir el potencial de la inmunoterapia dependerá de la posibilidad de acceso de los pacientes a las drogas y de los resultados a largo plazo.

José Antonio Peñas, www.agenciasinc.es

Así funciona la nueva inmunoterapia contra el cáncer

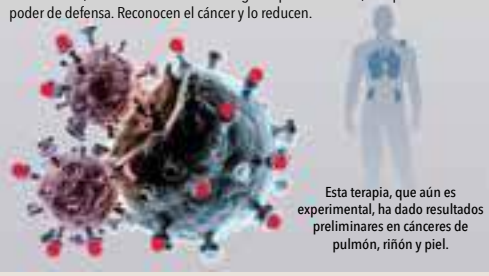
1. Trabajo normal del sistema inmunitario
Los linfocitos T son las células del sistema inmunitario encargadas de identificar como extrañas a las células tumorales y destruirlas.

2. Camuflaje de las células tumorales
Algunas células tumorales se arman con un escudo de moléculas llamadas PD-L1. Los linfocitos poseen receptores PD-1 que, al unirse a esas trampas, anulan su capacidad de atacar.



3. Acción de los nuevos fármacos inhibidores
Los nuevos fármacos basados en anticuerpos bloquean los PD-1 de las células del sistema inmunitario o los PD-L1 de las tumorales para impedir su unión fatal.

4. Resultado de la inmunoterapia
Los linfocitos, una vez liberados de su ceguera por el fármaco, recuperan su poder de defensa. Reconocen el cáncer y lo reducen.



Más información en 'Releasing the brakes on cancer immunotherapy', *The New England Journal of Medicine, doi: 10.1056/NEJMp1510079*

Julio Gervasoni
jgervasoni@dc.uba.ar

CÁNCER

Linfocitos a control remoto

En los últimos años, ha existido una creciente esperanza en el uso de células modificadas genéticamente como agentes terapéuticos, en especial para enfermedades como diabetes y cáncer. En este último, muchos esfuerzos se han focalizado en las inmunoterapias, que se basan en utilizar las armas del sistema inmune para reconocer a las células cancerígenas como 'extrañas' y eliminarlas.

Una de estas estrategias consiste en extraer de la sangre del paciente un tipo de célula inmune, los linfocitos T, y modificarlo genéticamente de manera tal de que posea en su superficie sensores específicos (llamados CARs). Los CARs son receptores que se unen específicamente a moléculas que se encuentran mayoritariamente en el tumor. Así, una vez que se reinsertan en la sangre estos linfocitos T modificados, pueden encontrar al tumor y activarse, desarrollando respuestas para eliminarlo.

Esta práctica ya demostró eficacia en estudios clínicos de fase I, especialmente contra leucemias. Sin embargo, los efectos secundarios pueden ser muy serios, relacionados tanto con efectos tóxicos cuando algún tejido sano presenta esa misma molécula blanco, como con respuestas inflamatorias excesivas.

En este sentido, se dio a conocer recientemente un novedoso desarrollo que podría ayudar a atenuar estos efectos adversos. Este sistema se basa en una modificación adicional en estas células T que les permite llegar y contactarse con las células tumorales, como en la estrategia convencional, pero no pone en marcha ningún mecanismo de eliminación, a menos que se administre una droga especial que las activa.

De esta forma mostraron, con videos muy ilustrativos, que solo cuando esta sustancia llega a las células modificadas se convierten a un estado *on*, y cuando la droga ya no está presente se revierten a su posición *off*. Sin dudas, este *control remoto* ayudará a regular los efectos secundarios de las terapias actuales.

Más información en *http://www.sciencemag.org/content/early/2015/09/23/science.aab4077.abstract*

Joaquín M Pellegrini
joaquinmpellegrini@gmail.com

Generación eléctrica con carbón en Datteln, Alemania. Foto Arnold Paul, Wikimedia Commons.

Vicente Barros

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Acuerdo internacional sobre cambio climático

A comienzos de diciembre del presente año se celebrará en París la 21ª Conferencia de las Partes (designada por la sigla COP21) en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Se trata de una reunión anual de 196 países que procuran tomar acción en esa materia. Se espera que en ella culmine un largo proceso de negociación y se arribe a un acuerdo para combatir dicho cambio.

El eje central del esperado acuerdo está dado por compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, si bien podría incluir otras cuestiones, como financiamiento y transferencia de tecnología. El punto de partida son las reducciones voluntarias ofrecidas por cada país, único camino viable que se encontró para armonizar las distintas circunstancias y los intereses de todos ellos, aunque es probable que este procedimiento resulte insuficiente para enfrentar con éxito los riesgos del cambio climático.

Desde 1990 el mayor crecimiento en las emisiones de gases de efecto invernadero se produjo en los países emergentes, los cuales, sin embargo, emiten considerablemente menos por habitante que los de más alta renta. Además, tienen una gran limitación para reducir el ritmo de expansión de sus emisiones porque, en la etapa de desarrollo en que se encuentran, requieren aumentar su consumo de energía, lo que incrementa dichas emisiones. Esas limitaciones pueden conducir a que no se logre cumplir con el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de 2°C con respecto al período preindustrial, meta explicada a continuación.

Meta de calentamiento

La Convención sobre el Cambio Climático acordó dicha meta en 2009 y la ratificó en posteriores conferencias de las partes; incluso se discute una meta más ambiciosa: 1,5°C. Actualmente se ha alcanzado un incremento 0,8°C por sobre dicho nivel.

Aunque no hay un único umbral de temperatura global a partir del cual todos los sistemas físicos, biológicos

¿DE QUÉ SE TRATA?

Qué es y qué se espera de la próxima conferencia internacional sobre cambio climático.

y humanos sufrirían severas secuelas, se estima que exceder los 2°C por encima de la temperatura global del período preindustrial tendría serias consecuencias desfavorables. Se entraría en un mundo desconocido, ya que ese nivel de temperatura media global no habría sido alcanzado por la Tierra durante un tiempo prolongado en los últimos 500.000 años.

A partir de ese nivel de calentamiento se podrían iniciar procesos autosostenidos de cambios que generarían mayor calentamiento y podrían llevar al punto en que el conjunto de seres vivos (o biosfera) deje de acumular carbono y se convierta en fuente de emisiones a la atmósfera. En particular, la selva amazónica estaría en peligro de convertirse en sabana, con mucho menor almacenamiento de carbono que la selva actual, cosa que podría ocurrir también en bosques de las latitudes altas por la sustitución de especies. También el derretimiento del manto de hielo de Groenlandia tendría características irreversibles, lo que daría lugar a un aumento del nivel medio del mar de unos 7 metros en este milenio, y se acentuarían tanto los riesgos de pérdida de ecosistemas únicos como la mayor frecuencia de olas de calor extremas y de inundaciones ocasionadas por lluvias intensas.

Emisiones acumuladas de dióxido de carbono

Como se advierte en la tabla 1, el dióxido de carbono (CO_2) emitido por la quema de combustibles fósiles, principalmente para uso energético, es la principal fuente de gases de efecto invernadero y el origen de casi todo el crecimiento de esas emisiones entre 1990 y 2010. Si a ello se suman las emisiones de CO_2 por deforestación, este gas explica alrededor de la tres cuartas partes de las emisiones antropogénicas del período.

Mientras el metano perdura en la atmosfera por unas pocas décadas, casi el 50% del CO_2 persiste por más de cien años, es decir, se va acumulando a lo largo de un siglo. Otro 50% es absorbido, por lo menos hasta ahora, por el océano y la biosfera. El porcentaje de los otros gases que perduran en la atmosfera tanto o más que el CO_2 es apenas del 4%. De esta forma, para un horizonte temporal del orden de un siglo es una buena aproximación considerar que las concentraciones de gases de efecto invernadero están básicamente determinadas por las emisiones acumuladas de CO_2 y, por lo tanto, que estas determinan aproximadamente la temperatura media global. En este análisis se descartan otras posibles causas de cambio climático global, por ser irrelevantes en plazos de hasta unos pocos siglos.

La correspondencia entre temperatura global y emisiones acumuladas de CO_2 permite establecer un cupo admisible de emisiones de este gas para cada nivel de incremento de esa temperatura. Así, conociendo el monto acumulado de emisiones hasta el presente, se puede determinar cuántas emisiones serían posibles en el futuro sin superar la temperatura que se elija como tope.

La meta de no superar los 2°C de calentamiento con respecto al período preindustrial implica que las emisiones acumuladas no deben exceder unas 2900 millones de toneladas (o megatoneladas) de CO_2, casi dos tercios de las cuales, es decir, 1860Mt, ya habían sido emitidas en 2010. Por ende, para no superar dicha meta de 2°C de calentamiento global, solo quedaría disponible un cupo de 1040Mt de CO_2 para emitir en el futuro.

En el hipotético y optimista caso de que las emisiones de CO_2 quedaran congeladas en los niveles actuales, es probable que el cupo de emisiones compatible con no superar los 2°C se agote antes de treinta años, lo que explica la urgencia de un acuerdo universal como el que se intenta concretar este año en París.

Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero

Hasta hace unas pocas décadas, la mayor parte de esas emisiones eran generadas por los países desarrollados o de alta renta por habitante. Esa responsabilidad histórica fue reconocida por la Convención, lo mismo que el principio de que todos los países comparten la responsabilidad de la lucha contra el cambio climático, pero de modos diferenciados según su contribución a este y su

Tabla 1. Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero clasificadas por tipo de gas. Para poder sumar y comparar se ha tomado para los otros gases cantidades equivalentes de CO_2. Las unidades son gigatoneladas (10^9t) anuales de CO_2 equivalente.

GASES DE EFECTO INVERNADERO	1970		1990		2010	
	Gt	%	Gt	%	Gt	%
CO_2 por combustión de hidrocarburos fósiles	15,2	55,2	22,2	58,7	32,0	64,8
CO_2 por deforestación	4,7	17,2	6,0	15,9	5,4	10,9
Metano	5,2	19,0	6,7	17,7	7,9	16,0
Óxido nitroso	2,2	8,0	2,7	7,1	3,1	6,3
Gases fluorados	0,1	0,4	0,2	0,5	1.0	2,0
TOTAL	**27,4**	**100,0**	**37,8**	**100,0**	**49,4**	**100,0**

capacidad para afrontarlo. Esto, sin embargo, ya no es tan cierto como antes de 1990.

Lo más relevante de los últimos treinta años es la creciente participación de los países emergentes o de renta media alta en las emisiones. Como lo indica la tabla 2, en 2010 sus emisiones prácticamente habían igualado las de los países desarrollados. Las emisiones del conjunto de los países en desarrollo alcanzaban el 60% del total. El aumento en los países emergentes se produjo fundamentalmente por su mayor uso de energía y por la expansión del transporte y la industria, reflejo de su vigoroso crecimiento económico. Ese fenómeno fue muy importante en China, pero también en otros países asiáticos y de América Latina. Las emisiones causadas por la deforestación y la agricultura no sufrieron cambios importantes desde 1970 en ninguno de los grupos de países.

Es discutible si corresponde asignar las emisiones para producir bienes transables internacionalmente a los países productores o a los consumidores. La tabla 2 las atribuye a donde se produce la emisión, habitualmente los productores. Si se optara por el otro criterio, el peso relativo de los países de renta alta aumentaría, pero no tanto como para cambiar el hecho de que las actuales emisiones de estos han sido superadas por las del resto del mundo, y que los países emergentes son el mayor origen del actual aumento de las emisiones globales.

Dos factores explican esta situación: el menor crecimiento de los países de alta renta comparado con el del mundo (cuyas economías se han expandido a tasas que superan el doble de las de los países desarrollados) y la diferente demanda energética en los estadios más bajos de desarrollo. En las economías desarrolladas el mayor crecimiento se produce hoy en los sectores terciarios, como la salud, la educación, la cultura, las comunicaciones, las finanzas y la informática, y solo en menor medida en la industria y el transporte, sectores que demandan mucha energía. En los países en desarrollo, en cambio, el crecimiento tiene una fuerte componente de estos últimos sectores.

Así, en los países de la OCDE, el PBI per cápita se duplicó entre 1970 y 2010, pero el uso de energía per cápita solo aumentó 10%. En los ex países socialistas de Europa oriental sucedió algo similar. Distinto fue el caso de regiones menos desarrolladas en las que un fuerte crecimiento del PBI estuvo acompañado de un también fuerte crecimiento del consumo de energía. Mientras el PBI per cápita de Asia entre esos mismos años se multiplicó por diez, su demanda de energía per cápita lo hizo por cinco. En América Latina, el PBI y el uso de energía per cápita se duplicaron en el mismo lapso.

Para cumplir con las metas de control del cambio climático, el crecimiento económico de los países en desarrollo no debería basarse en los hidrocarburos, como

Tabla 2. Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero clasificadas por el nivel de renta de los países emisores. Las unidades son gigatoneladas (10^9t) anuales de CO_2 equivalente.

GRUPO DE PAÍSES POR RENTA	1970	1990	2010
Alta	14,4	18,3	18,7
Media alta	5,9	9,8	18,3
Media baja	3,4	5,6	7,9
Baja	3,2	3,5	3,4
Transporte internacional	0,5	0,6	1,1
TOTAL	**27,4**	**37,8**	**49,4**

sucedió en los países desarrollados. Ello hace necesaria una sustancial revolución tecnológica y económica global que haga competitivas las fuentes de energía que no contribuyen a incrementar los gases atmosféricos de efecto invernadero. Ello permitiría, asimismo, reducir las emisiones de los países desarrollados. De no ser así, será muy difícil frenar el aumento del consumo de energía fósil, y consecuentemente las emisiones, y que se cumplan dichas metas.

La equidad

Las responsabilidades por las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero son muy diferentes entre países: los desarrollados emiten mucho más por habitante que los que están en vía de desarrollo. Además, han sido los principales emisores en el pasado y, por consiguiente, los mayores responsables de los cambios climáticos ya acaecidos y de sus consecuencias. Por esto, el cambio climático plantea la cuestión de la equidad entre países que han provocado y provocan emisiones muy diferentes, tanto totales como per cápita. Las diferencias económicas y la distinta responsabilidad sobre el cambio climático existen también entre los distintos grupos sociales de cada país.

Otra dimensión de la equidad se plantea por el hecho de que la respuesta climática a las emisiones antrópicas tiene consecuencias locales y regionales que no son proporcionales a las emisiones de las respectivas localidades o regiones. Además, la debilidad institucional que caracteriza a las sociedades menos desarrolladas y su falta de recursos humanos y materiales para afrontar las consecuencias del cambio climático las hace más vulnerables a este. Sucede así que algunos de los que tienen menor responsabilidad por el cambio climático pueden ser los que más se perjudiquen por el fenómeno.

También suscita cuestiones de equidad el hecho de que las economías en desarrollo necesiten hacer uso cre-

ciente de energía y, por lo tanto, emitir más gases de efecto invernadero para lograr su crecimiento, mientras que ese ya no es el caso de las economías desarrolladas. Ello implica que las restricciones en materia de energía para enfrentar el cambio climático condicionarían mucho más el crecimiento de los países en desarrollo que el de los más ricos.

¿Qué se espera de la conferencia de París?

En primer lugar, llegar a un acuerdo vinculante entre los países por el cual cada uno reduzca sus emisiones en el período 2020-2030 de manera voluntaria. Y, en segundo lugar, reiterar la meta establecida en anteriores conferencias de mantener el calentamiento global por debajo de 2°C con respecto al período preindustrial. ¿Resultará compatible el cumplimiento de esa meta con la suma las propuestas nacionales?

Los países desarrollados se están comprometiendo a reducir sus emisiones. La Unión Europea ofrece disminuirlas 40% con respecto a 1990. La propuesta de los Estados Unidos es menos ambiciosa: en 2025 emitir 27% menos que en 2005, año en que sus emisiones alcanzaron el máximo. Pero aun ese menor compromiso genera gran resistencia interna, particularmente en el Partido Republicano.

Los países en desarrollo, incluidos los emergentes, no se comprometen a reducir sus emisiones con respecto a algún nivel alcanzado en años recientes, sino a hacerlo con relación a los niveles que alcanzarían en algún momento de la próxima década. Esas propuestas varían desde el 20% al 40% y no son, en realidad, reducciones netas de las emisiones presentes, pues estas seguirán aumentando, aunque con menor rapidez. China ofrece que sus emisiones lleguen a un máximo en 2030, pero no especifica cuánto será ese máximo. Los ofrecimientos de los países en desarrollo se basan en el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas formulado en la Convención sobre Cambio Climático y, en última instancia, en su imposibilidad de realizar reducciones efectivas en sus circunstancias actuales.

Con estos compromisos, entre 2010 y 2030 los países en desarrollo (sin incluir a China) agregarían emisiones cercanas a 300Mt de CO_2 y los desarrollados, otras 200Mt. Se estima que China, que encontrará muy difícil revertir el enorme crecimiento de sus emisiones, haría un aporte no menor a 250Mt, lo que llevaría el total agregado a 750Mt.

En resumen, de las 1040Mt de CO_2 que se podrían emitir sin superar la meta de un calentamiento que no exceda 2°C, solo quedarían a partir de 2030 unas 290Mt. Esto indica que con las propuestas voluntarias no se lograría dicha meta a menos que se generara un nuevo acuerdo más exigente, que posiblemente se concrete en la próxima década si los perjuicios del cambio climático se tornan manifiestamente graves. Este nuevo acuerdo podría contener restricciones más fuertes a las emisiones de los países emergentes y, por consiguiente, afectaría seriamente a la Argentina si no planifica desde ahora el futuro de sus emisiones.

Las emisiones de gases de efecto invernadero en la Argentina

En 2012 esas emisiones alcanzaron el 0,9% del total mundial. Los Estados Unidos emiten el 16% de ese total, pero muchos países desarrollados, entre ellos Dinamarca, Bélgica, Holanda, Grecia, Portugal, Finlandia y Suecia, son menos emisores que la Argentina, mientras las emisiones de Italia y Francia rondan el 1% del total mundial y España no emite mucho más que la Argentina. En el ranking mundial de emisiones, la Argentina ocupa la posición 19.

En el mismo año, las emisiones argentinas per cápita fueron 10,1t de CO_2 equivalente, por encima del promedio mundial de alrededor de 7t, y también por encima de varios países desarrollados, como Francia e Italia, pero por debajo del promedio de los países de la OECD que alcanzó las 15t. Entre 1990 y 2010, las emisiones argentinas aumentaron el 90%, casi el triple del promedio mundial, el cual ascendió al 31%. Esta tendencia es compartida por muchos países emergentes y probablemente se mantendrá en las próximas décadas.

En síntesis, carece de fundamento la afirmación de que las emisiones argentinas no son importantes y que, por ello, el país no está obligado a compartir el esfuerzo mundial por morigerar el cambio climático. Esa actitud aislacionista tendría costos de todo tipo, muy superiores a los que se evitarían con ella. Solo si la opinión pública comprende la real situación de la Argentina con respecto al cambio climático, será posible que se logre diseñar y aplicar las políticas públicas necesarias para que el país asuma su responsabilidad en la lucha contra el cambio climático. CH

Vicente Barros
Doctor en meteorología, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor emérito, UBA.
barros@cima.fcen.uba.ar

Federico Gabriel Mirkin
María Eugenia Segretin
Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular Héctor Torres, Conicet

Las plantas como biorreactores

Un camino atractivo para producir proteínas recombinantes

La creciente demanda de compuestos con acción terapéutica para uso médico y veterinario impulsó durante los últimos años el desarrollo de nuevas tecnologías para su producción. A partir de la década de 1980, la ingeniería genética –que engloba métodos y herramientas para aislar, modificar y transferir material genético– permitió elaborar el primer producto aprobado para uso clínico en humanos derivado de la manipulación de ADN: insulina obtenida de la bacteria *Escherichia coli*. Así, proteínas que inicialmente se extraían de una fuente que los genera de modo natural (la insulina provenía de páncreas de cerdos), hoy se pueden producir en sistemas (llamados *heterólogos*) distintos de tal fuente, como bacterias, levaduras, cultivo de células, o animales y plantas transgénicos. Las proteínas obtenidas de esa manera se llaman *proteínas recombinantes*.

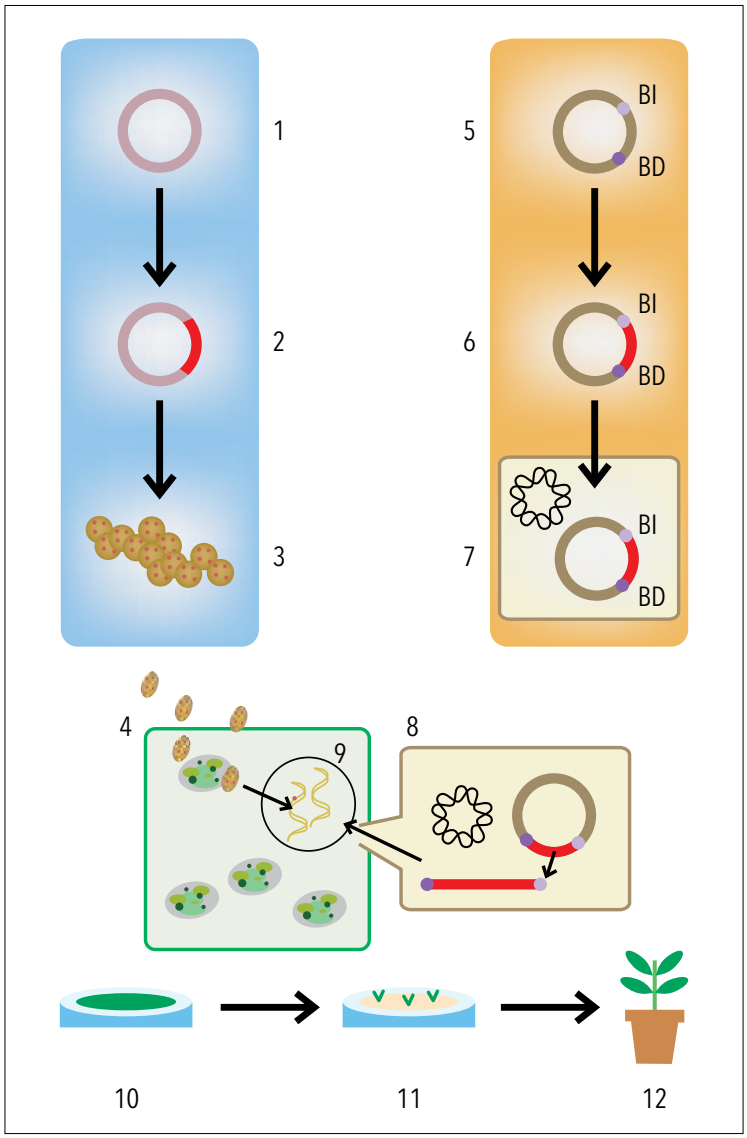
Las plantas presentan características muy atractivas para ser utilizadas en la producción de proteínas recombinantes, entre otras, fácil cultivo, bajo costo, aumento fácil de la escala de producción por extensión de la superficie cultivada si crece la demanda. Además, la posi-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un biorreactor es un dispositivo en el que tienen lugar reacciones bioquímicas controladas, puestas en marcha con diferentes propósitos, entre ellos la producción de alimentos o la síntesis de proteínas para uso medicinal o industrial. Varias de dichas proteínas pueden ser producidas en plantas transgénicas, método que presenta numerosas ventajas, pues son las mismas células vegetales las que lleven adelante las reacciones necesarias para producir las proteínas, a las que se da el nombre de recombinantes.

bilidad de almacenar establemente las proteínas recombinantes en semillas y tubérculos facilita su transporte, almacenamiento y distribución. En 1983 se obtuvo la primera planta transgénica a partir del tabaco y quedaron establecidas las bases para la producción de cultivos genéticamente modificados de importancia económica.

Figura 1. Esquema simplificado de dos métodos usados para modificar genéticamente una planta. La columna celeste indica la transformación por biobalística: en un vector o plásmido (1) se introduce, como primer paso (2), el fragmento de ADN deseado (en rojo); luego el plásmido se precipita sobre micropartículas de oro o tungsteno (3) y se bombardea el tejido vegetal (4). La columna ocre indica la transformación por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*: el procedimiento parte de incorporar el fragmento de ADN de interés en un plásmido que posee los elementos necesarios (BI y BD) que son reconocidos por la maquinaria de transferencia de dicha bacteria (5, 6). Ese plásmido es luego introducido en la bacteria (7), la cual puede transferir el ADN de interés al interior de las células de las plantas que infecta (8). El resultado de ambos métodos es la integración del fragmento de ADN de interés al genoma nuclear de la planta (9). Como siguiente paso, el tejido vegetal genéticamente modificado se coloca en un medio con hormonas vegetales y un agente selector (10), en el que sólo sobreviven las células transformadas, las cuales originan brotes (11) que permiten obtener una planta transgénica.



¿Cómo se obtiene una planta transgénica?

Para generar una planta transgénica (u organismo vegetal genéticamente modificado) se necesita disponer tanto de un método adecuado para introducir ADN ajeno en las células vegetales, como de un procedimiento o protocolo para poder regenerar una planta completa a partir de las pocas células que incorporaron exitosamente ese ADN.

En la actualidad existen múltiples maneras de introducir ADN en células vegetales, basadas en principios químicos, físicos y biológicos. La elección de una técnica particular depende de la especie que se desea modificar genéticamente. El propósito de todas es que el gen ajeno o transgén ingrese en las células de la planta en cuestión y se integre establemente a su genoma.

La primera técnica desarrollada –y aún la de uso más frecuente– recurrió a una bacteria del suelo, *Agrobacterium tumefaciens*, que infecta naturalmente plantas y les transfiere un fragmento específico de su material genético. Para poder valerse de ella, los investigadores introdujeron algunas modificaciones genéticas en dicha bacteria, con el fin de eliminar ciertos efectos indeseados que le provocaría a la planta de interés, y lograr que transfiera a esta los fragmentos de ADN con los que se quiere transformarla genéticamente. Pero para que pueda hacer lo segundo debe comenzarse por introducir esos genes en la bacteria, la que luego los transferirá a las células vegetales.

Otro método utilizado con frecuencia para introducir material genético en células vegetales es la *biobalística*. Consiste en depositar moléculas de ADN sobre micropartículas de oro o tungsteno, las que luego son disparadas mediante un gas a presión contra tejidos vegetales. Por la velocidad con que llegan, logran atravesar la pared de las células con su carga de ADN, que puede así incorporarse al genoma de la planta. Ambos caminos se muestran esquemáticamente en la figura 1.

Cualquiera sea la vía elegida, se comienza en el laboratorio introduciendo en células de la planta que se desea transformar genéticamente el fragmento de ADN que contiene los genes de interés. Ello se hace en una porción (denominada *explanto*) de hoja, tallo o raíz. A partir de las pocas células transformadas del explanto luego es necesario regenerar una planta transgénica completa, lo que se realiza en condiciones de esterilidad colocando los explantos en un medio de cultivo dotado de hormonas y otros compuestos reguladores del crecimiento vegetal.

El objetivo de esa etapa es inducir cambios fisiológicos para que las células que incorporaron establemente

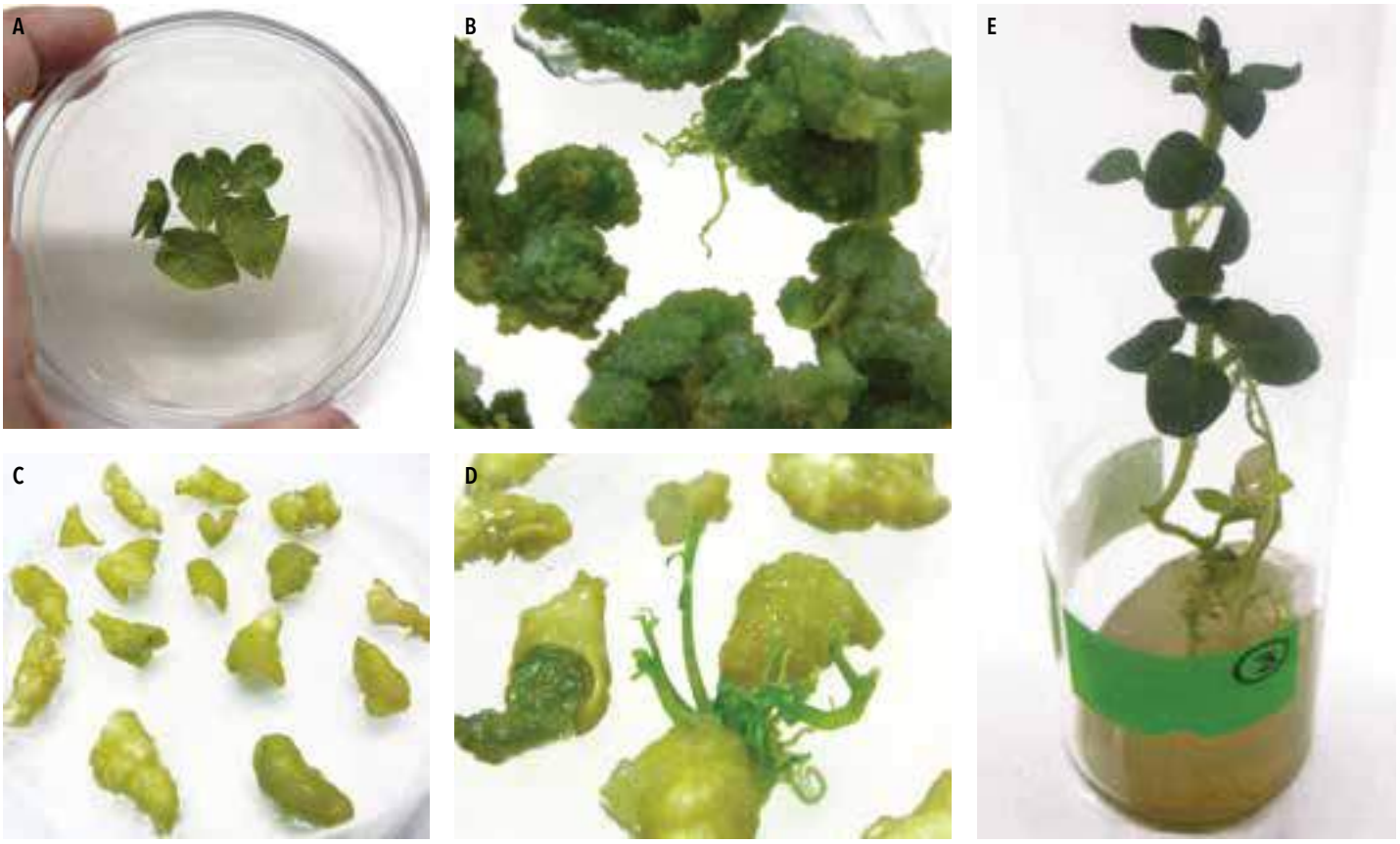


Figura 2. Pasos que llevan a la obtención de una planta transgénica de papa. **A:** hojas de papas en condiciones de esterilidad a ser utilizadas como explantos en la transformación genética por biobalística. Las hojas bombardeadas son luego cultivadas en un medio con reguladores de crecimiento adecuados, con o sin el agente selector que eliminará las células no modificadas genéticamente. En ausencia de ese agente, todas las células se multiplican y forman una masa indiferenciada o *callo* (**B**), a partir de la cual comienzan a regenerar brotes. En cambio, en presencia de ese agente, la mayor parte del tejido muere, y solo sobreviven las células transformadas (**C**) para luego multiplicarse, diferenciarse y generar brotes (**D**) que finalmente darán lugar a plantas transgénicas (**E**).

el ADN exógeno sobrevivan, se multipliquen y se diferencien hasta generar todos los tipos celulares de la planta. A veces ese proceso comienza por la formación de una masa de células indiferenciadas denominada *callo*, que en condiciones adecuadas es capaz de generar embriones somáticos (así llamados porque son similares a un embrión pero que no se originaron por unión de gametos). Otras veces las células transformadas forman directamente órganos vegetales (como raíces o tallos) sin pasar por la etapa del callo. Una vez que la planta desarrolló raíces y tallo se la pasa a tierra para que continúe su crecimiento.

Debido a que no todas las células del explanto resultan transformadas, las que no lo fueron –que son mucho más abundantes– deben ser eliminadas, para no regenerar plantas no transgénicas. Para hacerlo, se incorporan a las células del explanto, junto con los genes de interés, otros que confieren resistencia a antibióticos, herbicidas u otras drogas que se incluyen en el medio de cultivo. De esa manera, solo las células transformadas sobreviven y pueden regenerar una planta completa. La figura 2 ilustra el proceso.

Las proteínas recombinantes que se procura obtener también pueden lograrse de forma transitoria, sin la necesidad de producir plantas transgénicas. Entre los métodos utilizados, denominados *no integrativos*, está la *agroinfiltración*, que consiste en infiltrar el espacio intercelular de un tejido del vegetal (de una hoja, por ejemplo) con una suspensión que contenga la bacteria *A. tumefaciens* genéticamente modificada. Los genes de interés llegarán al interior de las células de la planta por la acción natural de la bacteria y al cabo de unos días se podrá constatar su expresión por diversos métodos cuya elección depende de la proteína recombinante, por ejemplo, si esta es fluorescente, iluminar la zona infiltrada con luz ultravioleta, según se puede apreciar en la figura 3.

Otros métodos recurren a virus o a micropartículas. Todos permiten una rápida producción de proteínas recombinantes pero, por no generar una planta transgénica completa, pierden con el tiempo su capacidad de hacerlo y es necesario repetir el procedimiento en forma regular. La elección de un método estable o uno transitorio depende, entre otros factores, del tipo y la cantidad de la proteína recombinante a producir.

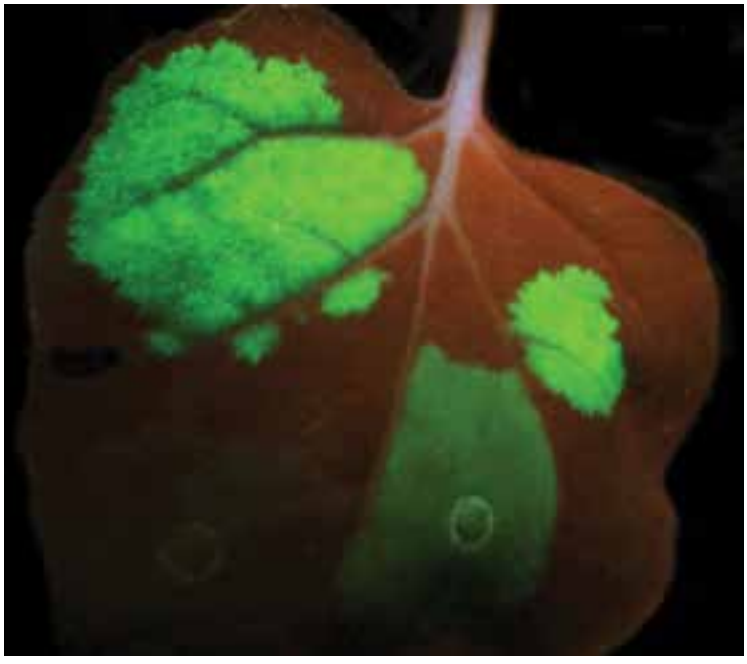
¿Por qué usar plantas?

El uso de plantas como biorreactores ha permitido producir plásticos biodegradables, proteínas recombinantes y fármacos, entre otras moléculas de interés. Proinsulina, citoquinas, factores de crecimiento, antígenos usados como vacunas contra la hepatitis B y cepas enterohemorrágicas de *Escherichia coli* son algunos ejemplos de proteínas recombinantes con acción terapéutica. Existen también desarrollos cuyo objetivo es producir en plantas comestibles antígenos para vacunas orales de uso humano o veterinario, lo que facilitaría obtener la vacuna y disminuiría notablemente sus costos de producción.

En 2012, la agencia Food and Drug Administration de los Estados Unidos, que regula los medicamentos en ese país, aprobó por primera vez la comercialización de una proteína recombinante de uso terapéutico producida en plantas, que se emplea para tratar la enfermedad de Gaucher, causada por una deficiencia hereditaria en la enzima glucocerebrosidasa. La droga aprobada contiene una variante de esa enzima producida en células de zanahoria.

Existen muchas herramientas moleculares que permiten optimizar la producción de proteínas en plantas, entre ellas, dirigir su localización a distintos compartimentos intracelulares para aumentar su estabilidad o facilitar su purificación, o promover su acumulación en distintos órganos de la planta, como hojas, tubérculos, frutos, semillas o raíces. A modo de ejemplo, se ha demostrado que es posible acumular proteínas recombinantes en el espacio intercelular que, en consecuencia, sean secretadas por sus raíces. También se ha encontrado la manera, en sistemas hidropónicos, de realizar la purificación de esas proteínas en el medio que rodea las raíces. La elección de las herramientas más adecuadas depende de las características de la molécula a producir, de la cantidad y calidad necesarias y de la especie vegetal utilizada. Cada proteína recombinante plantea un nuevo desafío y conduce al examen de métodos alternativos hasta encontrar el óptimo.

Figura 3. Expresión transitoria de la proteína recombinante llamada GFP (*green fluorescent protein*) en hojas de tabaco iluminadas con luz ultravioleta. El color rojo de fondo corresponde a la fluorescencia normal de la clorofila iluminada con esa luz, mientras que los parches verdes son producto de la fluorescencia emitida por dicha proteína, que se acumula en las regiones agroinfiltradas.



¿Qué se hace en la Argentina?

La producción de vacunas de uso veterinario es una de las aplicaciones del uso de plantas como biorreactores que más interés ha despertado en la comunidad científica y tecnológica local. Se puede encarar utilizando instalaciones y capacidades bien establecidas en un país en que la agricultura es una de las actividades de mayor desarrollo. Varios grupos de investigación están llevando a cabo proyectos en organismos públicos y privados en procura de obtener diversas proteínas recombinantes a partir de plantas, como se desprende de la tabla.

Algunos de esos intentos se vieron limitados al no alcanzarse los niveles de producción necesarios para pasar a una escala comercial. En ese contexto, se buscó superar determinadas restricciones asociadas con la introducción de transgenes en el ADN nuclear. En su lugar se eligió incorporarlos al genoma de los cloroplastos, unas estructuras propias de las células de plantas y algas que alojan la maquinaria de la fotosíntesis. Una de esas células puede contener hasta cien cloroplastos, cada uno de los cuales tiene múltiples copias de su genoma. En 1990 se demostró por primera vez la posibilidad de introducir genes en el genoma de cloroplastos de tabaco: se consiguieron plantas transgénicas denominadas *transplastómicas*. A partir de entonces, se ha logrado obtener numerosas proteínas heterólogas modificando genéticamente cloroplastos de plantas. Una ventaja importante de este método es que las mencionadas plantas transgénicas son ambientalmente más seguras, pues los genes de los cloroplastos no forman parte del polen de gran parte de las especies de interés agronómico, lo que dificulta su transferencia a plantas silvestres emparentadas.

Investigadores del Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular Héctor Torres, del Conicet, en el que se desempeñan los autores, modifican genéticamente el genoma de cloroplastos de plantas de

Ejemplos de desarrollos locales de utilización de plantas como biorreactores. Son trabajos en que participaron numerosos investigadores en instituciones como la FCEYN (UBA), el Ingebi (Conicet), INTA Castelar, el Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (INTA), el IIB-INTECH (Conicet), el ICT Milstein (Conicet) y otras. Cuadro basado en Rybicki EP *et al.*, 2013.

AGENTE PATÓGENO Y ENFERMEDAD QUE CAUSA	ORGANISMO QUE INFECTA	ANTÍGENO PARA SER USADO COMO VACUNA	PLANTA EN QUE SE PUEDE PRODUCIR EL ANTÍGENO	FORMA DE PRODUCCIÓN
Microbacterium tuberculosis	Humanos	Proteína ESAT-6	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Transitoria con virus X de la papa
Rotavirus bovino (diarrea neonatal)	Ganado bovino	Proteína VP8	*Nicotiana benthamiana*	Transitoria con virus del mosaico del tabaco
		Péptido de la proteína VP8 + β-glucoronidasa	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Proteína VP8	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Modificación genética de cloroplastos
Toxoplasma gondii (toxoplasmosis)	Varios mamíferos, incluso los humanos	Antígeno de superficie 1	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Proteína truncada del mismo patógeno	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
Virus de la diarrea bovina	Ganado bovino	Glicoproteína E2 truncada + molécula MHCII	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Glicoproteína E2 truncada	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Transitoria con *Agrobacterium tumefaciens*
Virus de la enfermedad de Newcastle	Aves	Proteína de fusión + hemaglutinina	Hojas de papa (*Solanum tuberosum*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Glicoproteína HN	*Nicotiana benthamiana*	Transitoria con *Agrobacterium tumefaciens*
Virus de la fiebre aftosa	Ganado bovino	Proteína VP1	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Péptido de la proteína VP1 + β-glucoronidasa	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Proteína VP1 + proteasa 3C	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Proteína VP1	Papa (*Solanum tuberosum*)	Estable con *Agrobacterium tumefaciens*
		Péptido de la proteína VP1 + β-glucoronidasa	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Modificación genética de cloroplastos
Virus del herpes bovino	Ganado bovino	Glicoproteína gD truncada	Alfalfa (*Medicago sativa*)	Transitoria con virus del mosaico del tabaco
Nanoanticuerpos de camélidos para diagnóstico y tratamiento		VHH + β-glucoronidasa	Tabaco (*Nicotiana tabacum*)	Modificación genética de cloroplastos

tabaco y de papa. A partir de 2004, el procedimiento fue empleado con éxito para producir distintas proteínas, entre ellas varias que podrían en el futuro ser usadas para desarrollar vacunas de interés veterinario, como son el antígeno P1 para vacunar contra la fiebre aftosa y la proteína VP8 contra el rotavirus bovino. Otras proteínas obtenidas de esas plantas incluyeron factores de crecimiento, anticuerpos de camélidos, una proteína antigénica del herpevirus humano, y proteínas de acción antifúngica y antibacteriana para crear en el futuro cultivos resistentes a patógenos de importancia agronómica. Estos resultados ejemplifican el potencial que la transformación del genoma del cloroplasto tiene para obtener proteínas recombinantes de plantas.

¿Cómo se regulan los organismos genéticamente modificados?

Igual que todos los medicamentos, las proteínas heterólogas de interés médico o veterinario, aunque sean

producidas mediante procedimientos de ingeniería genética aplicada a plantas, deben seguir estrictas normas de bioseguridad. Las plantas transgénicas de las cuales se extraen esas moléculas también se cultivan y mantienen siguiendo normas rigurosas.

El principio sobre el que se apoya la regulación de plantas transgénicas, válido en el ámbito nacional y promovido por las múltiples agencias internacionales que se ocupan de estos temas, es que los organismos genéticamente modificados deben ser por lo menos tan seguros como los no transgénicos de los que provienen. Las entidades regulatorias, en consecuencia, se basan en la comparación de las cualidades de plantas transgénicas con las de sus contrapartes no transgénicas. Analizan aspectos como seguridad para la alimentación humana y animal, alergenicidad, actividad biológica, aptitudes nutricionales, composición química y repercusiones ambientales, entre otros. Además, en el caso de las plantas transgénicas utilizadas como biorreactores, se tienen en cuenta aspectos adicionales de bioseguridad.

Desde 1991 la Argentina posee un marco regulatorio para evaluar aspectos de bioseguridad de esos organismos. Su objetivo es que sean seguros para los agroecosistemas e inocuos para el consumo humano y animal. Se basa en principios científicos y regula el desarrollo del producto caso por caso, desde las primeras liberaciones experimentales, y se anticipa a cualquier efecto no esperado que pudiera acontecer. La entidad gubernamental responsable es el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, que se basa en los informes técnicos que elaboran tres direcciones y sus comisiones asesoras. La Dirección de Biotecnología y la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (Conabia) evalúan los posibles riesgos de un cultivo transgénico para los agroecosistemas. El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa) y su Comité Técnico Asesor sobre uso de organismos genéticamente modificados evalúan los riesgos potenciales para la salud animal y la humana derivados de consumir un alimento transgénico o sus subproductos. Y la Dirección Nacional de Mercados Agrícolas determina la conveniencia de comercializar material genéticamente modificado para evitar potenciales consecuencias negativas para las exportaciones.

Si un organismo genéticamente modificado se considera seguro para el agroecosistema, inocuo para el consumo tanto humano como animal y no perjudicial para la economía nacional, queda en condiciones de que los órganos competentes del mencionado ministerio autoricen su cultivo, comercialización y consumo. Esos son los pasos que han seguido las aprobaciones de cultivos transgénicos como soja, maíz y algodón con nuevas características, como la resistencia a insectos y la tolerancia a herbicidas diversos. Por esta vía recibieron reciente aprobación para salir al mercado una papa resistente al virus PVY (*potato virus Y*) y una soja que tolera la sequía, primeros productos de un trabajo en cooperación de investigadores del Conicet y empresas locales. Las plantas transgénicas desarrolladas para producir proteínas de interés farmacéutico o industrial deben evaluarse siguiendo las mismas normas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BRAVO-ALMONACID F *et al.*, 2005, 'Las plantas como fábrica de proteínas terapéuticas', *Horizonte Agropecuario*, 68: 40-43. Disponible en *http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/BioHA9.pdf*

LEVITUS G *et al*. (eds.), 2010, *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*, INTA, Buenos Aires. Disponible en *http://intainforma.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2010/09/bio_WEB.pdf*

MAXMEN A, 2012, 'Drug-making plant blooms', *Nature*, 485: 160. Disponible en *http://www.nature. com/news/drug-making-plant-blooms-1.10604*

RYBICKI EP *et al.*, 2013, 'A developing country applications of molecular farming: Case studies in South Africa and Argentina', *Current Pharmaceutical Design*, 19: 5612-5621.

STOGER E *et al.*, 2014, 'Plant molecular pharming for the treatment of chronic and infectious diseases', *Annual Review of Plant Biology*, 65: 743-68. Resumen en *http://www.annualreviews.org/ doi/abs/10.1146/annurev-arplant-050213-035850*

Página de la Dirección de Biotecnología, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, *http://www.minagri.gob.ar/site/agregado_de_valor/biotecnologia/10-DIRECCION/index.php*

Federico Gabriel Mirkin

Estudiante de biología, FCEYN, UBA.
Auxiliar docente, FCEYN, UBA.

María Eugenia Segretin

Doctora en ciencias biológicas, UBA.
Investigadora asistente del Conicet en el Ingebi.
Auxiliar docente, FCEYN, UBA.
mariasegretin@gmail.com

Julio Buonfigli
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo

El ser más inteligente de la Tierra

De todas las características que diferencian a nuestra especie del resto del reino animal, la que más nos asombra y enorgullece es nuestra inteligencia. Es el resultado de la enorme cantidad de neuronas que posee nuestro cerebro: alrededor de 100.000 millones, un número comparable con la cantidad de estrellas de nuestra galaxia, o con la cantidad de granos de arena en la playa. Las neuronas cerebrales de cada persona ascienden a más de diez veces el total de la población humana actual de la Tierra.

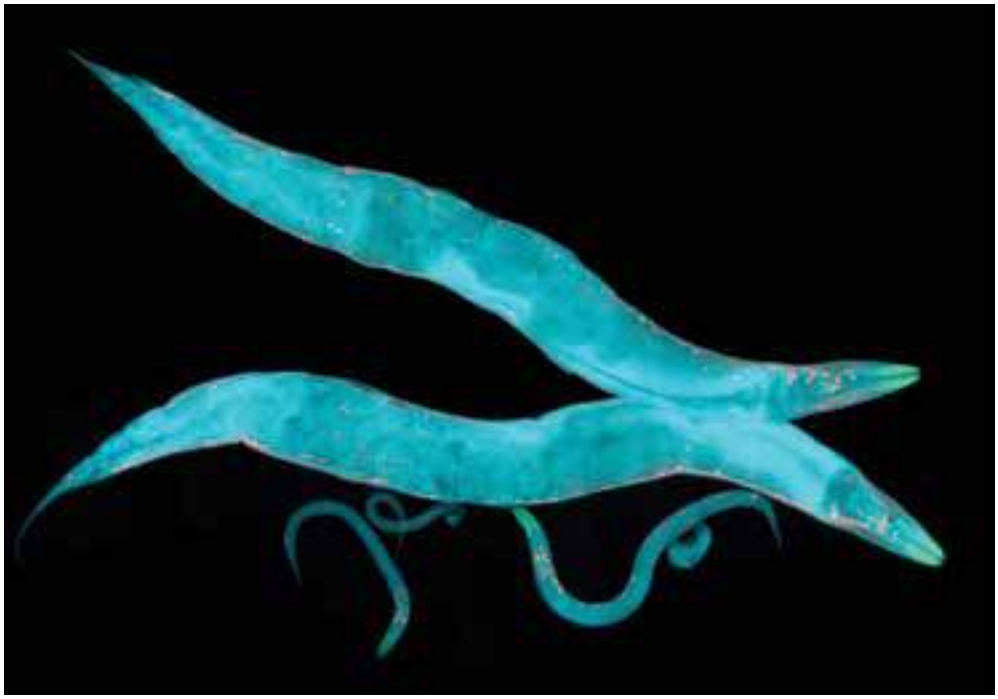
¿Qué es una neurona y cuál es su función? Digamos, ante todo, que es una célula y que, como tal, incluye la mayoría de las moléculas presentes en el resto de las células del cuerpo, tiene metabolismo propio y posee la totalidad de nuestra información genética.

Más allá de la complejidad propia de toda célula, la función que desempeña una neurona es simple: es un interruptor biológico que, como los interruptores eléctricos, puede estar encendido o apagado. Una neurona encendida descarga compuestos químicos llamados *neurotransmisores*; apagada, no los descarga. Los neurotransmisores contribuyen a encender o a apagar a otras neuronas. Diferentes combinaciones de neuronas cerebrales encendidas o apagadas componen nuestros pensamientos, de la misma manera que diferentes combinaciones de unos y ceros componen en lenguaje informático una foto o una canción.

Este carácter binario de la acción de las neuronas hace que se necesiten muchas de ellas hasta para desempeñar funciones simples, como respirar. Pero, ¿cuántas? ¿Cuántas neuronas requiere un animal para controlar todas

¿DE QUÉ SE TRATA?

Una reflexión irreverente sobre la inteligencia.



Dos gusanos adultos (miden aproximadamente 1mm), tres juveniles y un huevo magnificados unas 120 veces por microscopia de fluorescencia. Fotografía Biochemical Society UK

sus actividades? Con 100.000 millones en nuestro cerebro, los humanos somos capaces de hablar, leer, escribir, operar computadoras, conducir automóviles, construir edificios, tocar la guitarra, interpretar caritas hechas con signos de puntuación, etcétera. Un chimpancé, con la tercera parte de esas 100.000 millones, no es capaz de aprender ninguna lengua humana. Un gato, con 300 millones de neuronas cerebrales, es incapaz de reconocerse en un espejo, y las moscas, con alrededor de 340.000, no se cansan de chocar indefinidamente con el mismo vidrio. Animales sésiles como pólipos o almejas, o parásitos como tenias o garrapatas, que no tienen que escapar de predadores, ni buscar alimento, ni encontrar pareja necesitan por lo menos decenas de miles de neuronas simplemente para controlar sus funciones internas.

¿Cuántas neuronas necesita mínimamente un animal para desempeñar todas sus funciones vitales?, ¿300.000?, ¿100.000? A la luz de lo anterior, 10.000 seguramente nos parecerá un número demasiado pequeño. Pero, en biología, que existan excepciones a las reglas generales puede considerarse también una regla general. Y en materia de cerebros, la más notoria excepción a la regla es el cerebro de un pequeño invertebrado ciego y sordo de alrededor de 1mm de largo, el nematodo o gusano redondo cuyo nombre científico es *Caenorhabditis elegans*, capaz de controlar sus funciones internas, buscar y seleccionar alimento, escapar de predadores y conseguir pareja con solo 302 neuronas. Además, con ese número de neuronas logra aprender de sus experiencias, una habilidad que por mucho tiempo consideramos exclusiva de nuestra especie.

C. elegans es muy popular en los laboratorios de investigación biológica, pues posee ciertas características que hacen más fácil o más útil estudiar determinados aspectos de su biología que hacerlo en otros animales. Entre esas características están su bajo costo y la similitud de algunos de sus procesos biológicos con los de nuestra especie. Así, muchos microorganismos que causan enfermedades humanas son también patógenos para el gusano, por lo que se puede estudiar el proceso de infección en este y extender las conclusiones para entender cómo se produce la dolencia en las personas. Técnicamente se dice que *C. elegans* es un *animal modelo*, o un modelo experimental.

Para la neurología este modelo es particularmente útil por su simplicidad y predictibilidad: al llegar a adulto, siempre tiene la mencionada cantidad de neuronas. A diferencia de la gran mayoría de los animales, cuyas células nacen y mueren continuamente en todos los tejidos a tasas que nunca son exactamente iguales, *C. elegans* al llegar a adultos siempre tienen el mismo número, una característica llamada *eutelia*. Cada adulto tiene 959 células, de las que 20 conforman su sistema digestivo, 95 su sistema muscular, 5 su sistema secretor y 358 su sistema nervioso. De este, 56 son células gliales (células que alimentan y asisten a las neuronas), lo que deja las mencionadas 302 neuronas (282 del sistema nervioso central o cerebro y 20 del sistema nervioso periférico, o neuronas sensoriales que activan músculos y dan sensibilidad al tacto, olfato o temperatura).

Nuestro nematodo, además, es el único animal cuya red neuronal se ha diagramado completamente, es decir, se conocen con precisión las conexiones de cada neurona con otras y cuáles se activan ante determinado estímulo. Y siete tipos principales de neurotransmisores presentes en seres humanos –que actúan en distintas neuronas y producen diferentes respuestas fisiológicas en nuestro organismo– lo están también en *C. elegans*.

En su ambiente natural, el gusano se mueve entre materia vegetal en descomposición. Las mismas bacterias que degradan esa materia son alimento de *C. elegans*, que evita las patógenas gracias a su sentido del olfato. Elude a sus predadores –otros nematodos, insectos y hongos– principalmente por el tacto, sentido que le permite encontrar al otro sexo y copular.

Varias experiencias de laboratorio han demostrado de manera concluyente la capacidad de aprendizaje de *C. elegans*. Científicos del Instituto de Tecnología de California, en Pasadena, llevaron a cabo un experimento para descubrir si los animales relacionaban un estímulo térmico con la abundancia de alimento. Sembraron un grupo de gusanos en una placa rectangular con un gradiente de temperatura y alimento, es decir, que tenía en un extremo mucho alimento y una temperatura de 25°C, y en el otro extremo carecía de alimento y su temperatura era 15°C. Otro grupo fue sembrado en una placa con el mismo gradiente de temperatura pero con alimento distribuido uniformemente. Como era de esperar, los animales del primer grupo tendieron a concentrarse en el extremo con más alimento y temperatura, mientras que los del segundo grupo se distribuyeron uniformemente a pesar del gradiente térmico.

Después de repetir el ensayo por unos días con los animales del primer grupo, estos fueron traspasados a una placa con alimento distribuido uniformemente y el mismo gradiente de temperatura. Se constató que mantuvieron la tendencia a agruparse en el extremo caliente, lo que significa que aprendieron a relacionar la abundancia de alimento con la alta temperatura.

Este proceso de aprendizaje parece estar asociado con una única neurona sensorial sensible a la temperatura. En las neuronas sensoriales, el estímulo que las lleva a descargar neurotransmisores no proviene de otras neuronas sino de factores físicos o químicos como luz, sonido, presión o, en este caso, temperatura. Las neuronas termosensibles descargan sus neurotransmisores cuando la temperatura supera cierto umbral y permanecen inactivas si es menor. Cuando las condiciones en que se encuentran los animales –principalmente la temperatura– cambian, se producen modificaciones en dichas neuronas termosensibles que desplazan el umbral térmico en que se activan.

La temperatura umbral, que queda almacenada en esas neuronas, confiere a *C. elegans* la capacidad de aprender que a ciertas temperaturas el alimento es más abundante que a otras. Al activarse, dichas neuronas envían los estímulos que causan el desplazamiento del gusano en dirección a la zona cálida.

Mediante experimentos similares se ha comprobando que *C. elegans* también aprende a relacionar la abundancia de alimento con la concentración de sal en el medio e igualmente aprende a evitar alimentarse de bacterias potencialmente patogénicas.

Si bien no sabemos con precisión cuál característica fisiológica hace a nuestros cerebros superiores a los del resto de los animales, nunca hemos dudado de que seamos la especie más inteligente en la Tierra. Sin embargo, para cada uno de los índices que hemos inventado con el objeto de confirmar nuestra superioridad, como el tamaño y la complejidad estructural del cerebro, la cantidad de neuronas, la relación entre el cuerpo y el cerebro (llamada *cociente de cefalización*), existe algún animal que supera o por lo menos iguala al ser humano.

Así, casi todos los cetáceos, los elefantes y algunos otros mamíferos tienen cerebros más grandes que el nuestro y generalmente también más neuronas. Hay arañas, como las de la familia *Salticidae*, que tienen cocientes de cefalización mayores que el ser humano, lo mismo que determinados mamíferos marsupiales, como la musaraña. La complejidad estructural del cerebro de los primates es igual al del ser humano, pero el de este es más grande y como consecuencia tiene más neuronas. Los delfines nos superan en algunos índices (como el tamaño del cerebro) y nos igualan en otros (complejidad estructural) o casi igualan (cociente de cefalización). Pero el hecho de que un animal con 302 neuronas sea capaz de aprender sugiere que seamos más cautelosos al categorizar las capacidades de otros animales.

Si definiéramos la inteligencia como la eficiencia con la que un animal usa sus neuronas, deberíamos concluir que *C. elegans* es el animal más inteligente de la Tierra. Más inteligente que nosotros, que necesitamos 100.000 millones de neuronas para conseguir alimento y buscar pareja, algo que no siempre nos sale bien. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CLARK DA *et al.*, 2006, 'The AFD sensory neurons encode multiple functions underlying thermotactic behaviour in *Caenorhabditis elegans*', *Journal of Neuroscience*, 26: 7444-7451.

KIMATA T *et al.*, 2012, 'Thermotaxis of *C. elegans* as a model for temperature perception, neural information processing and neural plasticity', *Worm*, 1, 1: 31-41.

KIMURA KD *et al.*, 2004, 'The *C. elegans* thermosensory neuron AFD responds to warming', *Current Biology*, 14: 1291-1295.

MAGUIRE SM *et al.*, 2011, 'The *C. elegans* touch response facilitates escape from predacious fungi', *Current Biology*, 21, 15: 1326-1330.

Worm Book. 'An online review of *C. elegans* biology', accesible en *http://wormbook.org/*

Julio Buonfigli

Licenciado en ciencias básicas (orientación biología), UNCuyo. Becario doctoral del Conicet.

juliobuonfigli@yahoo.com.ar

CONVOCATORIA 2015

El CONICET incorporará 830 investigadores, un 11% más que el año anterior

El Directorio del organismo aprobó la selección de cargos para la Carrera del Investigador Científico y para el Desarrollo de Temas Estratégicos.

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) incorporará 830 investigadores a la Institución, cifra que comparada con el ingreso del año 2014, donde se asignaron 746 cargos, indica un incremento de un 11%, es decir, 84 cargos disponibles más que se sumaron a la convocatoria 2015.

Como todos los años esta convocatoria despertó gran interés, recibiendo 1611 postulaciones a la Carrera del Investigador Científico (CIC) provenientes de todo el país, de donde se seleccionaron 830 aspirantes. En tanto, de los postulantes no seleccionados hubo presentaciones de becarios del organismo (463) y también de aspirantes de otras instituciones (318).

Cabe destacar que de los 463 becarios del CONICET que se presentaron y no fueron seleccionados en esta convocatoria, 321 tienen becas vigentes para el período 2016 y 2017. A estos se suman otros 30 postulantes que se presentaron simultáneamente tanto a la Carrera del Investigador como a la Beca Postdoctoral.

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Una nueva revista del CONICET para despertar la vocación científica en los más jóvenes

"El futuro de la ciencia sos vos" ya puede descargarse y será distribuida a estudiantes de escuelas primarias y secundarias de todo el país a través del Programa VocAr.

El Programa de Promoción de Vocaciones Científicas (VocAr) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) lanzó su primer dossier para estudiantes de escuelas primarias y secundarias de todo el país, llamado "El futuro de la ciencia sos vos", que reúne contenidos científicos adaptados a un lenguaje accesible y didáctico, con un diseño colorido y juvenil, y contenidos audiovisuales incluidos para descargar por medio de un código QR.

El objetivo de la revista es mostrar que la ciencia es una actividad cotidiana y accesible. Se intenta transmitir a los jóvenes que el Estado, durante los últimos doce años, estableció políticas para impulsar la actividad científica, y que ellos también podrán ser parte del Consejo en el futuro si así lo desean. El dossier intenta, en síntesis, desmitificar la imagen del investigador confinado en su laboratorio.

Para ello, en las páginas del dossier se explica qué es el CONICET, quiénes lo componen, se cuenta la historia de vida de los "padres" de la ciencia –como Albert Einstein y Stephen Hawking-, y también se presenta información con anécdotas de algunos de los científicos del organismo que asiduamente dan charlas en las escuelas del país a través del Programa VocAr. Se explica asimismo, con ejemplos prácticos, cómo las investigaciones científicas llegan a la sociedad.

Además, en una sección especial de la publicación se recrea el clásico Juego de la Oca, para que los chicos jueguen y al mismo tiempo aprendan cómo es el recorrido profesional que debe realizar una persona para convertirse en becario o investigador del Consejo.

El dossier incluye un apartado con historietas que dan cuenta del proceso de investigación de diferentes equipos de trabajo del CONICET, perteneciente a cuatro disciplinas científicas distintas: Neurociencias, Ingeniería, Astronomía y Ciencias Sociales.

Los contenidos del dossier se entrelazan a través de la conversación de WhatsApp que mantienen a lo largo de sus páginas Nahuel y Sofía, dos personajes adolescentes que van descubriendo qué es la ciencia al mismo tiempo que el lector.

El dossier ya está disponible para su descarga gratuita en la página Web del Programa VocAr: http://www.conicet.gov.ar/vocar. Pronto estará impreso y será distribuido en las charlas que VocAr dará en escuelas de todo el país.

¿Qué es VocAr?

El Programa VocAr – Programa de Promoción de Vocaciones Científicas dependiente del CONICET- organiza desde 2013 charlas, talleres, visitas científicas, concursos y jornadas con docentes. Además, edita y publica libros de cuentos, manuales de capacitación para el aula y para la comunidad en general. Muchos investigadores participan de sus actividades a las que asisten alumnos, docentes y público diverso de todo el país. VocAr ya visitó desde Tierra del Fuego hasta Jujuy. A través de VocAr se intenta que los jóvenes conozcan investigadores de diferentes disciplinas y sepan cómo y por qué eligieron su profesión, qué actividades realizan, cómo trabajan, qué les preocupa y qué responsabilidades tienen, entre otras cuestiones.

NOTICIAS INSTITUCIONALES

El CONICET firmó un convenio marco de cooperación científica y tecnológica con Télam

La sinergia entre ambos organismos permitirá difundir la actividad que realiza el Consejo en todo el territorio nacional.

El presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dr. Roberto Salvarezza; y la máxima autoridad de la Agencia Nacional de Noticias Télam, Néstor Fabián Rodríguez; rubricaron en el día de hoy un convenio marco con el objetivo de establecer vínculos de divulgación científica y tecnológica.

Dicho acuerdo viene a nuclear al principal organismo dedicado a la promoción de la ciencia y la tecnología en la Argentina con una de las más grandes agencias de noticias a nivel regional.

Para el Dr. Salvarezza, el trabajo conjunto con Télam "aumenta la visibilidad que debe tener el sistema científico argentino. Tenemos la necesidad de contar con más investigadores, poder mostrar su labor y fomentar a que los jóvenes vean como una alternativa poder ser científico ya que hoy en día en la Argentina cualquiera puede serlo, tenemos la universidad pública, las becas de doctorado y la carrera del investigador".

A su vez agregó que la difusión de la actividad científica en los medios de comunicación es muy importante porque de esta forma "los ciudadanos pueden saber qué se hace con su dinero, que se destina al sistema científico y tecnológico en forma de impuestos".

Cabe destacar que una de las misiones centrales del Consejo es la promoción y difusión de las actividades científicas que realizan más de 10.000 becarios, 8.500 investigadores y 2.500 profesionales y técnicos a lo largo del territorio nacional.

Por su parte, Rodríguez sostuvo que a veces "el común de la gente no tiene presente que el CONICET es un organismo nacional, hay científicos prestigiosos en todo el país. Nosotros también tenemos presencia en todo el territorio nacional, a través de las 27 corresponsalías que se localizan en cada capital de provincia y en Rosario, Mar del Plata, Bariloche y Bahía Blanca".

El prestigio, acceso a fuentes oficiales, la cobertura en todo el país y corresponsalías en el exterior de Télam, y su responsabilidad en el tratamiento informativo, son características que la colocan como un referente periodístico confiable y creíble en el país y en el mundo.

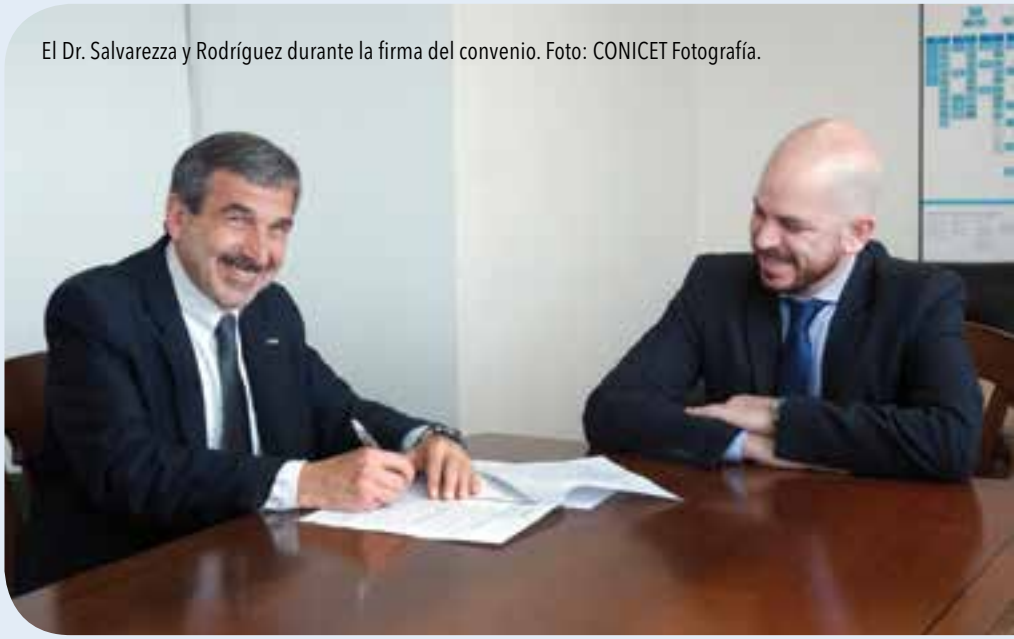
A su vez, se firmaron dos convenios específicos: uno de divulgación de contenidos científicos y tecnológicos relacionados con el trabajo que diariamente realiza el CONICET a través del espacio radial perteneciente a la agencia Télam -Tarde Télam-; y el otro, de exhibición y distribución de notas y micros audiovisuales producidos por la Dirección de Relaciones Institucionales del CONICET.

El espacio dedicado a la difusión de las actividades del Consejo en la radio, que se emite los días martes de 16.30 hs. a 17 hs., está a cargo del periodista Ignacio Jawtuschenko, quien semanalmente entrevista a destacados investigadores de todo el país.

En cuanto al contenido audiovisual, se trata de una serie de ocho micros denominada "Detrás de escena de la ciencia". Cada uno tiene como protagonista a un técnico o profesional del CONICET, y allí se relata la labor diaria en el instituto al que pertenece y la asistencia a los equipos de investigación. El Dr. Salvarezza destacó el trabajo de los miembros de la Carrera del Personal de Apoyo (CPA) que muchas veces no se visibiliza. "A través de estos relatos venimos a saldar una deuda con ellos", sostuvo.

También, se prevé poner en contacto a los 14 Centros Científicos Tecnológicos (CCT) del CONICET con las corresponsalías de la Agencia para dar difusión a la información local, que muchas veces no es visible. Según Rodríguez, "a veces los ciudadanos de las provincias no conocen a sus propios científicos, creen que la ciencia es algo de las grandes metrópolis".

La unión de ambos organismos permitirá difundir a nivel nacional los avances y desafíos del sistema científico y tecnológico argentino, con el fin de profundizar la democratización del conocimiento.



El Dr. Salvarezza y Rodríguez durante la firma del convenio. Foto: CONICET Fotografía.

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

El reloj biológico y la esclerosis múltiple

Científicos del CONICET, la Fundación FLENI y la Universidad de Harvard participaron de un estudio que describe por primera vez, los mecanismos por los cuales a mayores niveles de la hormona melatonina hay menor cantidad de episodios de la patología.

Desde hace años la melatonina es conocida por su rol en la regulación del ciclo sueño-vigilia y en el reloj biológico. En humanos es producida por una glándula cerebral, llamada epífisis o pineal, y desde la identificación de su rol en la regulación del ritmo circadiano ha sido utilizada para tratar este tipo de desórdenes y como regulador natural del sueño.

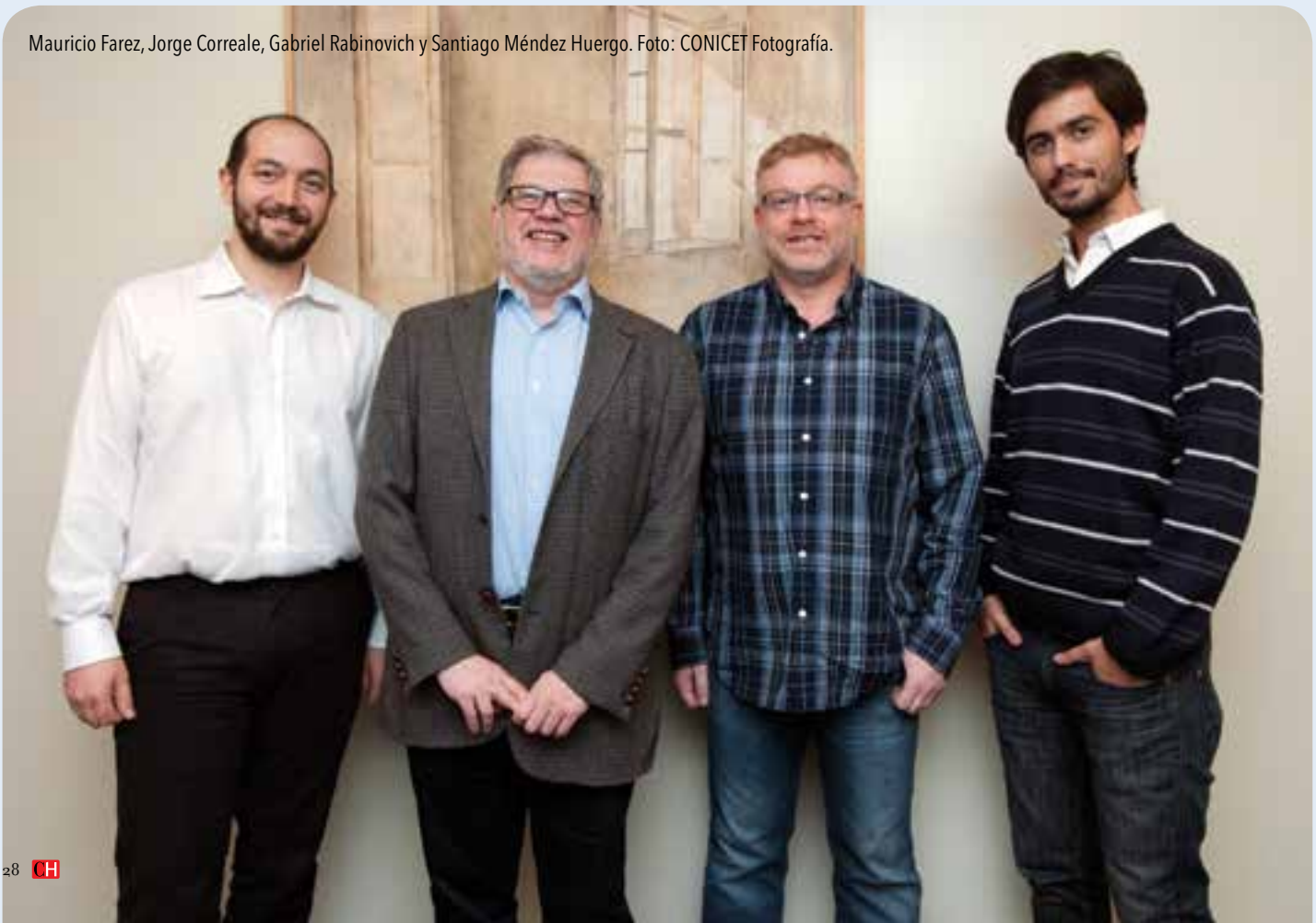
Investigadores de la Fundación para la Lucha contra Enfermedades Neurológicas de la Infancia (FLENI), del Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME, CONICET-FIBYME), del Hospital de Clínicas de la Universidad de Buenos Aires y de la Universidad de Harvard, identificaron por primera vez los mecanismos que median la interacción entre la melatonina y las células del sistema inmune que están involucradas en esta patología, que según la Organización Mundial de la Salud afecta en el continente americano a 8.3/100.000 habitantes.

Después de cinco años de investigación y con la participación de 139 pacientes, describieron los mecanismos a través de los cuales las concentraciones en sangre de melatonina están relacionadas con la ocurrencia de brotes de Esclerosis Múltiple (EM). El trabajo fue publicado en la prestigiosa revista científica *Cell*.

"Un brote es la exacerbación de un síntoma previo o la aparición de un nuevo síntoma, que dure más de 48 horas y que esté separado al menos 30 días del último episodio", explica Jorge Correale, jefe del Servicio de Neuroinmunología del FLENI y coordinador del trabajo.

En la EM algunas células del sistema inmune atacan a las vainas de mielina de protegen a los axones de las neuronas. Si bien aún no se conocen en profundidad los factores que conducen al desencadenamiento de esta enfermedad, se sabe que la dieta, el tabaquismo, el consumo de sal, el déficit de vitamina D y virales son factores que predisponen a los brotes.

La hipótesis apareció cuando los autores, durante una revisión de historias clínicas, notaron que en otoño e invierno disminuía la frecuencia en la aparición de los brotes. En un principio pensaron que estaba relacionado con las concentraciones de vitamina D, pero la evidencia terminó demostrando que no.



Mauricio Farez, Jorge Correale, Gabriel Rabinovich y Santiago Méndez Huergo. Foto: CONICET Fotografía.

"En ese punto nos encontramos con una *paradoja estacional*. Sabíamos, por estudios anteriores, que la vitamina D protege contra la enfermedad", explica Mauricio Farez, también investigador en el FLENI. Pero si así fuera, justamente en primavera y verano –cuando más vitamina D se produce, ya que su síntesis está relacionada con la exposición a la luz solar– debería haber un menor registro de brotes. Sin embargo era justamente al revés: en las temporadas más cálidas los pacientes registraban una mayor incidencia.

Fue así que se abocaron a buscar otro mediador que permita explicar la estacionalidad de los brotes y se toparon con la melatonina. Analizaron sus concentraciones en 139 pacientes y encontraron que durante esa misma época los niveles plasmáticos eran mayores que durante el resto del año.

"El fenómeno de que los niveles de melatonina eran mayores en invierno y menores en verano, y que los brotes se comportaban de manera inversa fue el punto de partida que impulsó el trabajo", dice Gabriel Rabinovich, investigador superior del CONICET en el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME, CONICET-FIBYME).

En este estudio el equipo de Rabinovich, del cual fue clave la participación del becario doctoral del CONICET Santiago Méndez Huergo, trabajó junto con los profesionales del FLENI realizando los estudios en modelos de trabajo animales que reproducen los síntomas de EM.

"Notamos que la melatonina tenia un rol protectivo en el modelo en ratón de Esclerosis Múltiple, y lo vimos reflejado en la sintomatología de los animales", cuenta Méndez Huergo y agrega: "Luego corroboramos que lo visto en ratones era extrapolable, en parte, a humanos".

Melatonina, el gran actor de este engranaje

Farez explica que en esta historia intervienen dos subgrupos de linfocitos – células del sistema inmune – que tienen acciones contrapuestas: los linfocitos Th17, que 'atacan' a las vainas de mielina, y los linfocitos Tr1, que 'mantienen a raya' a los Th17. En los primeros la molécula que media sus acciones es la Interleuquina 17 (IL-17) y en los segundos es la Interleuquina 10 (IL-10).

En pacientes con EM se observa que en general los linfocitos reguladores (por ejemplo Tr1) tienen menor capacidad de controlar a los linfocitos Th17, que atacan las vainas de mielina. Esto eventualmente genera las lesiones que se ven en las resonancias y los brotes clínicos que padecen estos pacientes.

Un mecanismo descubierto por los investigadores está en los receptores para melatonina. Uno de ellos está en la membrana plasmática y el segundo se ubica dentro de la célula. En los linfocitos Th17 la melatonina se une al receptor de membrana y en los linfocitos Tr1 se une tanto al de membrana como al receptor intracelular. En ambos casos desencadena una reacción intracelular que termina con la modificación del reloj molecular de la célula, que es el que indica –a grandes rasgos– en qué momento del día está el individuo.

¿El resultado? Los ratones tratados con melatonina no sólo dormían mejor, sino que además presentaban menor cantidad de brotes: tenían cerca de la mitad de la población de linfocitos Th17 y el doble de los Tr1. "Hallamos los primeros indicios de que su mecanismo de acción era tanto a través de la supresión de las células patogénicas Th17 como de la promoción de las células protectoras regulatorias Tr1", agrega Rabinovich.

La clave del trabajo reside en la identificación no sólo del efecto diferenciado de la melatonina sobre los diferentes receptores de los dos tipos celulares –Th17 y Tr1– sino en la identificación de los mecanismos que median este proceso.

"Vimos que la interacción melatonina-receptores actúa en la vía de diferenciación hacia este tipo de células. Es decir, partiendo de una célula más indiferenciada, como son los linfocitos T vírgenes –quienes al activarse y según el entorno y las señales que reciban se diferenciarán hacia un tipo celular u otro– la presencia de melatonina en ese microambiente inhibe las señales que llevan a ese linfocito T virgen a diferenciarse a un linfocito Th17, y a su vez promueve las señales que lo llevan a Tr1", describe Méndez Huergo.

Avances a futuro

A pesar de los resultados obtenidos, los investigadores son cautos a la hora de pensar en un tratamiento basado en el uso de melatonina para el tratamiento de la esclerosis múltiple. Si bien en animales de experimentación el efecto fue positivo, es largo el camino para llegar efectivamente a un tratamiento para pacientes con EM.

Trabajo colaborativo

Los equipos de Correale y Rabinovich trabajaron en conjunto a lo largo de este estudio, que resultó en el hallazgo de un mecanismo clave de control en la incidencia de los brotes de EM.

"Cuando comenzamos ya se sabía que los niveles de melatonina eran mayores en invierno y menores en verano, y que los brotes se comportaban de manera inversa. El desafío era encontrar sí esa correlación inversa era solo casualidad o existía un mecanismo molecular subyacente que los conectara, siendo una observación consecuencia de la otra", dice Méndez Huergo.

Para Rabinovich, el trabajo conjunto con Farez y Correale del FLENI, con su equipo en el IBYME y con el grupo de Quintana en Harvard, es un claro ejemplo de interacción positiva a los fines de resolver un problema basado en una observación en pacientes. "Cuentan con una experiencia clínica impresionante en pacientes con esclerosis múltiple y se acercaron a nuestro laboratorio con la idea de una colaboración que funcionó a la perfección, ya que logramos fusionar su experiencia en investigación clínica y nuestra experiencia en investigación básica en esta enfermedad", enfatiza.

Esclerosis múltiple

Según la Organización Mundial de la Salud se estima que en el continente americano la prevalencia media de la EM es de 8.3 cada cien mil habitantes, y en el mundo hay más de 2 millones de individuos afectados.

Los datos publicados en 2002 por el Ministerio de Salud de la Nación muestran que la incidencia calculada para Argentina es 2,24 personas cada 100 mil (Cristiano y col.). La esclerosis múltiple representa la segunda causa de discapacidad en adultos jóvenes (20-40 años) luego de los accidentes automovilísticos.

La enfermedad es más frecuente en las mujeres (3:1) y aproximadamente el 85 por ciento de los pacientes inician su cuadro con exacerbaciones y remisiones de diferentes síntomas neurológicos. Los más frecuentes son pérdida de la agudeza visual, visión doble, trastornos del equilibrio, entumecimiento de los miembros, problemas de coordinación y trastornos esfinterianos.

En pacientes sin tratamiento, el 50 por ciento avanza a una forma progresiva luego de 10-15 años de enfermedad, en la cual los síntomas avanzan en forma continua. En el 10-15 por ciento de los pacientes los síntomas son progresivos desde el inicio de la enfermedad. Esta forma se presenta con mayor frecuencia en hombres en edad un poco más avanzada, alrededor de los 45-55 años.

¿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

El servicio de información científica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Mario S Di Bitetti

Instituto de Biología Subtropical,
Universidad Nacional de Misiones-Conicet

Cómo estudiar poblaciones de mamíferos silvestres

¿Cuántos yaguaretés hay en el Parque Nacional Iguazú?

Cuando a fines de la década de 1980 estudiaba biología en la Universidad Nacional de La Plata, una proverbial pregunta del examen final de Protección y Conservación de la Naturaleza solía ser cuántos yaguaretés hay en el Parque Nacional Iguazú. Tenía una respuesta precisa, que no recuerdo, pero me intrigaba cómo el profesor había llegado a un número, pues por entonces eso se desconocía. Existía un estudio sobre los mamíferos del Parque Nacional Iguazú realizado por Jorge Crespo, del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, que describía aspectos generales de la ecología y el comportamiento de los mamíferos de esa área protegida, pero no se había investigado sobre las poblaciones de yaguareté en la región y se carecía de estimaciones fundadas sobre la abundancia o densidad poblacional de especies que, como esa, son solitarias, raras, mayormente nocturnas, esquivas y viven en ambientes con baja visibilidad.

A comienzos de la década de 1990, el biólogo brasileño Peter Crawshaw inició en el Parque Nacional do Iguaçu, contiguo al homónimo argentino, un estudio con el objetivo de comparar la dieta, el comportamiento territorial y la densidad poblacional de dos especies de felinos silvestres, el yaguareté (*Panthera onca*) y el ocelote (*Leopardus pardalis*). Su principal método de trabajo consistió en capturar ejemplares –tarea nada fácil– y colocarles un collar con un emisor de una señal de radio que podía ser captada por receptores remotos. Con antenas direccionales ubicadas en tres puntos terrestres o sobre avionetas, podía establecerse por triangulación el sitio de proveniencia de la señal (como los lectores habrán visto en numerosas películas sobre la Segunda Guerra Mundial). La técnica era conocida con el nombre de *radiotelemetría*. Sucesivas localizaciones de un mismo emisor permitían conocer el tamaño y la forma del territo-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Técnicas y resultados del estudio de poblaciones de mamíferos silvestres raros o normalmente difíciles de ver.

Arriba: yaguareté, que puede medir 1,70m de largo, sin contar la cola de unos 0,80m. **Abajo:** ocelote o gato onza, que puede medir 0,75m de largo, sin contar la cola de unos 0,40m. Ambos animales fueron fotografiados por una cámara trampa con sensor y flash infrarrojo en la selva subtropical del norte de Misiones. En las franjas negras superior e inferior de las imágenes quedaron grabados datos de interés, como fecha, hora y temperatura de cada toma, además de la marca del fabricante del equipo, la firma Reconyx, de Holmen, Wisconsin. Por el patrón de sus manchas es fácil identificar individuos de ambas especies y estimar la densidad de sus poblaciones. Con más trabajo y paciencia también fue posible identificar a buena parte de los pumas fotografiados, que no tienen manchas.

rio del individuo que portaba el radiocollar. El grado de superposición de los territorios de distintos individuos indicaba, a su vez, el comportamiento social de la especie y la densidad de ejemplares en determinada área. Crawshaw estimó que había 3,7 yaguaretés por cada 100km^2 en el Parque Nacional do Iguaçu. Extrapolando a las 67.000 hectáreas del parque argentino, se podía inferir que allí habitarían 24 individuos. En otras palabras, se necesitaban unas 2800ha para mantener un ejemplar. Este cálculo, aunque importante, tenía la desventaja de estar basado en pocos individuos y de no incluir una estimación de su error estadístico.

Un avance tecnológico: las cámaras trampa

A mediados de la década de 1990, el ecólogo y conservacionista indio Ullas Karanth introdujo el uso cámaras trampa para estimar la población de tigres de Bengala (*Panthera tigris*) del Parque Nacional Nagarahole, en el estado sureño de Karnataka de su país.

En la década de 1920 se había comenzado a usar la fotografía automática de fauna silvestre con fines científicos. Frank Chapman, del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, la empleó para hacer un inventario de los mamíferos terrestres de la recientemente creada estación científica en la isla tropical de Barro Colorado, en Panamá. Con ella no solo estableció una lista de los animales que vivían allí: a partir de las fotografías pudo inferir algunos aspectos poco conocidos de su comportamiento. Demostró, además, que individuos de especies con marcas o manchas, como pumas y ocelotes, podían identificarse y en consecuencia contarse la población.

Con el tiempo mejoraron los equipos fotográficos, que incluyeron flashes reutilizables y pequeñas baterías de 6 voltios, de suerte que se logró trabajar con mayor autonomía y con varias cámaras a la vez. Además, se imaginaron ingeniosos mecanismos para que los animales dispararan su propia fotografía, como mejores cebos para atraerlos, sistemas activados por el peso de los que caminaban por un sendero o por la interrupción de haces de luz roja, o que se activaban cuando el animal levantaba un peso (huevos por depredadores de nidos de

aves) y otros. Todos, sin embargo, eran caros, pero hacia el año 2000 estuvieron disponibles equipos fotográficos menos costosos que recurrían a sensores infrarrojos diseñados específicamente para el monitoreo de fauna silvestre, lo que permitió su uso regular en la investigación científica. Paradójicamente, el mercado al que estuvieron inicialmente destinados y que produjo su abaratamiento no fue el de la ciencia sino el de la caza. Se usaban en los Estados Unidos para conocer dónde y en qué horarios encontrar presas como ciervos, alces, osos, coyotes, pavos y otras de valor cinegético.

Karanth utilizó modelos estadísticos para estimar la población total de tigres en su área de estudio a partir de la probabilidad de captura fotográfica de los animales y del grado de confianza o de error de la estimación. Para ello le fue necesario identificar sin ambigüedad a los individuos: si se trata de tigres, yaguaretés u ocelotes, que tienen marcas naturales, eso es relativamente sencillo de hacer sobre las fotos. Como se habla de capturas fotográficas, la técnica de estudio se conoce como *fototrampeo*.

Esta técnica representó un gran avance con relación a la radiotelemetría, pues brinda, con menor esfuerzo, estimaciones poblacionales más confiables. En los últimos años, los métodos de análisis se han seguido refinando, pero se basan en la misma idea de identificar individuos y usar métodos estadísticos que permiten estimar la población. También se han ideado métodos que posibilitan hacer estimaciones poblacionales sin necesidad de identificar individuos, que pueden usarse en especies sin marcas naturales.

La selva paranaense

En 2002, con los biólogos Agustín Paviolo y Carlos De Angelo iniciamos un estudio de la población de yaguaretés en la selva misionera o selva paranaense, con el apoyo de diversas instituciones científicas y de conservación, entre ellas el Conicet y la Fundación Vida Silvestre Argentina. Después de varios años de muestreo en tres grandes áreas del centro y el norte de la provincia de Misiones, los nombrados estimaron que la densidad poblacional del felino no era de 3,7 individuos cada 100km^2, como había determinado Crawshaw una década antes en el Parque Nacional brasileño, sino menos de uno cada 100km^2. Con esos datos, dedujimos que no habría más de seis o siete individuos en todo el Parque Nacional Iguazú, un número que, dado el alto grado de aislamiento de esa población, llevaba a considerarla críticamente amenazada. El estudio desembocó en que se formulara un plan de conservación del yaguareté en Misiones, que apoyaron tanto la Administración de Parques Nacionales como el gobierno de dicha provincia.

Como las cámaras trampa no son selectivas sino que registran a todos los animales terrestres que las activan, además de proporcionar información sobre el yaguareté, nuestra investigación ilustró acerca de las poblaciones de otros mamíferos, algunos amenazados o poco conocidos, como el puma (*Puma concolor*), el ocelote, el yaguarundí (*Puma yagouaroundi*), el margay (*Leopardus wiedii*), el tirica (*Leopardus tigrinus*), la corzuela colorada (*Mazama americana*), la corzuela enana (*Mazama nana*), el pecarí de collar (*Pecari tajacu*), el pecarí labiado (*Tayassu pecari*) y el tapir (*Tapirus terrestris*).

Pudimos estudiar sus patrones de actividad en el tiempo con los registros de la fecha y la hora de cada fotografía, y conocer cómo responden a la presencia de cazadores ilegales (más activos de día que de noche) o de sus competidores naturales. Por ejemplo, la corzuela colorada demostró ser sensible a la caza y, por ello, más abundante en áreas mejor protegidas. Además, se vuelve más diurna en áreas con menos cazadores, como el Parque Nacional Iguazú.

Cámara trampa montada en la selva subtropical.

La corzuela enana, en cambio, resultó ser más tolerante a la presencia de cazadores, quizá por ser menos codiciada por estos o porque puede evitar más fácilmente la persecución por perros de caza, a quienes deja atrás en los densos cañaverales y matorrales donde busca refugio. Lo curioso es que este pequeño ciervo, raro, vulnerable y restringido a un pequeño sector de la selva paranaense (técnicamente, endémico de ese sector), fue registrado con más frecuencia en las áreas de selva más degradadas y con menos protección. Quizá esto se deba a que en las áreas bien protegidas, si bien no debe enfrentar a los cazadores, enfrenta a su mayor competidor, la corzuela colorada. Un reciente estudio de la bióloga Paula Cruz muestra que el tapir, a pesar de ser también muy sensible a la caza, no cambia su patrón de actividad en función del grado de protección del bosque. Las corzuelas, pues, exhiben un comportamiento más flexible que el tapir.

Los felinos son un grupo de especies que comparten una dieta parecida (técnicamente forman un gremio trófico) y cumplen una función similar en el ecosistema, pues todos son predadores: casi la totalidad de su dieta proviene de carne de vertebrados que cazan. La principal diferencia en su alimentación está dada por el tamaño de sus presas. El yaguareté y el puma se alimentan de grandes vertebrados, incluso algunos más grandes que ellos. Los gatos pequeños, en cambio, se nutren principalmente de pequeños roedores, comadrejas y aves. Al ser morfológicamente muy parecidos, dos felinos de tamaño similar capturan presas similares y, por ello, tienen mayor probabilidad de competir fuertemente por el alimento. Para evitar esa competencia, la evolución ha tomado dos caminos en especies de tamaño similar que habitan la misma región: las ha llevado a evitar los mismos lugares o a no estar activas al mismo tiempo. Así, descubrimos que en la selva paranaense el margay y el yaguarundí, de parecida talla, difieren en su patrón de actividad diaria: el primero es estrictamente nocturno, el segundo estrictamente diurno.

Las cámaras trampa permitieron también documentar un cambio temporal en el uso de senderos y caminos por el ocelote, un animal principalmente nocturno cuya actividad se sujeta al ciclo lunar: lo registramos menos

Tapir, que puede medir 1,90m de largo y tener 1,20m de altura en la cruz, fotografiado en las mismas condiciones que las ilustraciones de la página 32.

Izquierda: pasaje para la fauna (o ecoducto) sobre la ruta nacional 101, que corre entre Bernardo de Yrigoyen y Puerto Iguazú, en el noreste de Misiones. Foto D Varela
Derecha: corzuela enana, un ciervo nativo de la selva misionera que puede medir 0,80m de largo y tener 0,40m de altura en la cruz, fotografiada por una cámara trampa cruzando el ecoducto.

con Luna llena que con Luna nueva. Este comportamiento había sido descripto por la investigadora norteamericana Louise Emmons en la Amazonia peruana. Solo podemos formular hipótesis sobre cómo la evolución lo condujo a tal comportamiento: quizá porque así es menor el riesgo de ser atacado por un yaguareté o un puma, o tal vez porque en noches de Luna llena es más fácilmente detectado por sus presas y tiene menos éxito de captura en sitios despejados.

La Reserva Natural del Iberá

En la Reserva Natural del Iberá, que contiene al estero homónimo, coexisten áreas destinadas a actividades productivas tradicionales con otras recientemente convertidas en reservas naturales de conservación estricta. En ambas estudiamos cómo responden los animales a las presiones humanas y a las de sus competidores. Comparamos cómo se comportan diferentes especies de mamíferos en áreas de protección estricta y en otras con ganado, cazadores y recurrentes incendios de campo. En particular, analizamos el comportamiento de dos especies de zorros muy similares en su tamaño y dieta: el zorro de monte (*Cerdocyon thous*) y el zorro pampeano (*Lycalopex gymnocercus*). El primero habita ambientes de bosque, matorrales, sabanas arboladas y pastizales densos; el segundo prefiere ambientes abiertos, aunque puede también hacer incursiones en bosques secos y matorrales. Ambos tienen una dieta omnívora que incluye pequeños vertebrados, frutos e invertebrados y, en áreas donde coexisten, pueden competir fuertemente por el alimento. En los ambientes del Iberá sus respuestas a la protección del ambiente resultaron muy diferentes. El zorro pampeano tiene mayor tolerancia que el de monte a la presencia de gente, perros, fuegos y ganado. Por ello es frecuente en áreas donde eso sucede, en las que es mayormente nocturno. En las áreas protegidas de protección estricta puede coexistir con el zorro de monte, pero se vuelve más diurno y, de esa manera, reduce la competencia directa con su principal contendiente, el zorro de monte, que es nocturno y menos tolerante a las presiones de origen humano.

La entidad conservacionista The Conservation Land Trust Argentina, promovida por los filántropos Kristine y Douglas Tomkins, que opera varias reservas naturales privadas en el Iberá y propugna la creación allí de un parque nacional, emprendió la reintroducción del oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) en el área, de la que había desaparecido (detalles en *www.proyectoibera.org*). Como parte de su tesis doctoral, el biólogo Yamil Di Blanco realizó el seguimiento de los osos recién liberados usando principalmente radiotelemetría para monitorearlos y conocer si se aclimataban a la vida silvestre, ya que muchos de ellos vivían en cautiverio o habían sido mascotas en casas de familia. Di Blanco tuvo que enfrentar el hecho de que varios animales lograron sacarse el arnés con el radiotransmisor y nada más pudo saberse de ellos a partir de ese momento. Se recurrió entonces a las cámaras trampa, sobre todo porque se necesitaba determinar si los animales liberados lograban reproducirse, ya que de ello dependía el éxito del proyecto de reintroducción. Así, Di Blanco pudo documentar que una hembra –que recibió el nombre de Ivoty Porá– tuvo regularmente una

cría por año a partir de 2009, cinco hasta ahora. Se trata de los primeros osos hormigueros nacidos en el medio silvestre en la provincia de Corrientes desde que la especie se extinguió allí hacia la década de 1950.

Las yungas pedemontanas

En el ecosistema de selva subtropical húmeda en las cercanías de Ledesma, en Jujuy, y como parte de un proyecto liderado por la Fundación ProYungas, usamos cámaras trampa para estudiar cómo distintas poblaciones de mamíferos responden a la transformación de la selva por plantaciones de cítricos y de caña de azúcar. En las áreas de selva así alteradas la población de mamíferos de las yungas se hace menos diversa e incorpora especies que no son selváticas, como el zorro pampeano o el gato montés (*Leopardus geoffroyi*), típicas de pastizales y matorrales arbustivos. En las plantaciones quedan angostos remanentes de selva bordeando ríos y arroyos, los que sirven de corredores biológicos que mantienen conectadas a las poblaciones de muchas especies de mamíferos. Las cámaras trampa permitieron documentar cómo esas franjas de selva de menos de 50m de ancho son utilizadas con frecuencia por animales nativos de las yungas, como el agutí rojizo (*Dasyprocta punctata*), el coatí (*Nasua nasua*) o el oso melero (*Tamandua tetradactyla*). Tres de las cinco especies de felinos selváticos registradas por el estudio, el ocelote, el yaguarundí y el tirica, también usaron frecuentemente dichos corredores. Las cámaras trampa permitieron mostrar que los paisajes productivos, bien manejados, pueden mantener, con poco costo y esfuerzo, buena parte de la diversidad de especies de la región. En este caso, desarrollo y conservación pueden coexistir.

Corzuela americana, que puede medir 1,20m de largo y tener 0,60m de altura en la cruz.

El chaco semiárido

Los estudios con cámaras trampa no siempre brindan buenas noticias. Como parte de su tesis doctoral, Verónica Quiroga estudió las poblaciones de yaguareté y puma en el chaco semiárido argentino, principalmente en el Parque Nacional Copo, situado en el ángulo noreste de Santiago del Estero, una reserva wichi del Chaco y en las cercanías del paraje El Cantor en Formosa. Sus resultados mostraron un panorama bastante desalentador para el primero. A pesar de haber logrado numerosas fotografías de pumas y de otros mamíferos, el yaguareté no fue registrado. Estos resultados sugieren que la especie está ecológicamente extinguida en esa región ecológica del país, es decir, si bien hay ocasionales registros de su presencia, su abundancia es tan baja que ha dejado de cumplir su cometido en el ecosistema.

Epílogo

Las cámaras trampa de última generación usan tecnología digital (en los primeros estudios que llevamos adelante hace poco más de una década usamos equipos analógicos, con rollos de 35mm). Además, incluyen un flash infrarrojo, que no perturba a la mayoría de los animales cuando se activa. Los equipos más recientes son pequeños, sacan numerosas fotos en lapsos muy breves y requieren poca energía; además, pueden ser alimentados con electricidad solar, lo que les da notable autonomía. Las fotos o las filmaciones, por último, pueden ser enviadas vía satélite a un servidor y vistas en tiempo real.

Iberoamérica tiene una riquísima fauna de vertebrados, con muchas especies amenazadas y otras poco conocidas. Las aplicaciones de las cámaras trampa para la investigación científica y la conservación de esta rica biodiversidad son innumerables, incluyendo, entre otros, estudios sobre depredación de nidos, funcionamiento de colonias de aves, consumo de frutos y dispersión de semillas por animales silvestres, frecuencia de visitas a flores por polinizadores diurnos y nocturnos, rango de distribución de especies y comparaciones de la estructura de las comunidades de mamíferos de distintas regiones. Sin habérselo propuesto, hubo investigadores que documentaron especies cuya presencia no se conocía en una región, o que se creían extintas o, incluso, eran desconocidas para la ciencia. También puede utilizarse la técnica para registrar la presencia de animales domésticos

Zorros de monte, que pueden medir 0,70m de largo, sin contar la cola de unos 0,35m. Adviértase la lata de atún entre las patas de un zorro (sujeta con una estaca de hierro para que los animales no la desplacen): es el cebo que los atrae al sitio al que apunta la cámara.

y cazadores en áreas naturales protegidas, lo mismo que para estudiar la efectividad de corredores o pasajes que permitan el desplazamiento seguro de la fauna silvestre entre áreas poco comunicadas. Las cámaras trampa están marcando una época y contribuyendo notablemente al avance de la ciencia y a la conservación. CH

Las fotos que ilustran esta nota provienen de varias investigaciones emprendidas por los grupos de trabajo que integra el autor, en particular, los proyectos Plantaciones Forestales de Misiones, Yaguareté, Iberá y Ecología de Rutas de Misiones. Fueron parte de esos proyectos Diego Varela, Yamil Di Blanco, María Eugenia Iezzi, Paula Cruz y Agustín Paviolo, entre otros.

LECTURAS SUGERIDAS

DI BITETTI MS *et al.*, 2010, 'Niche partitioning and species coexistence in a Neotropical felid assemblage', *Acta Oecologica,* 36: 403-412.

–, PAVIOLO A & DE ANGELO CD, 2014, 'Camera trap photographic rates on roads vs. off roads: location does matter', *Mastozoología Neotropical*, 21, 1: 37-46.

KARANTH KU, 1995, 'Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera trap data using capture-recapture models', *Biological Conservation*, 71: 333-338.

– *et al.*, 2006, 'Assessing tiger population dynamics using photographic capture-recapture sampling', *Ecology*, 87: 2925-2937.

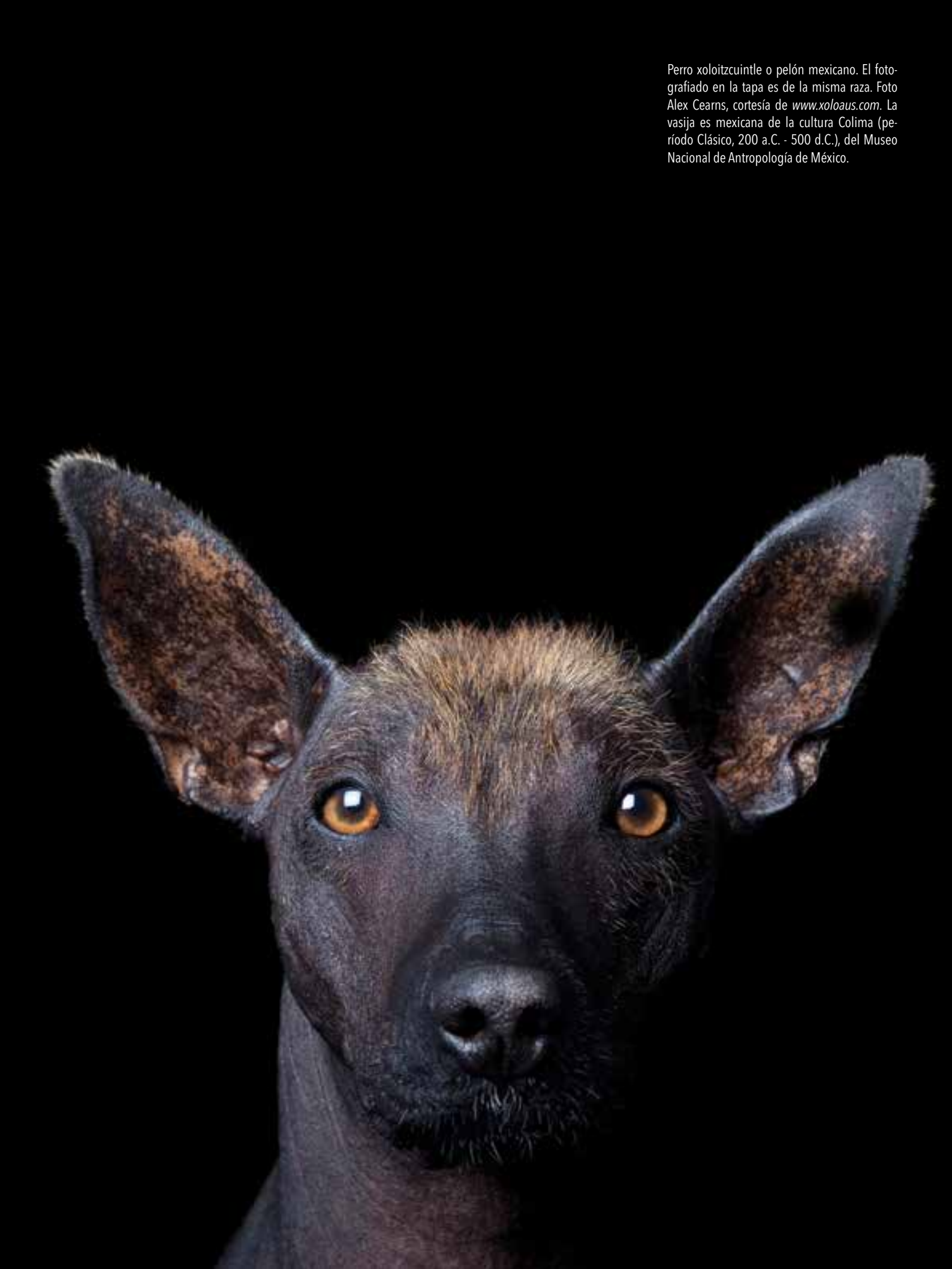
O'CONNELL AF, NICHOLS JD & KARANTH KU (eds.), 2011, *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and analyses*, Springer.

QUIROGA VA *et al.*, 2014, 'Critical population status of the jaguar in the Argentine Chaco: Camera trap surveys suggest recent collapse and imminent regional extinction', *Oryx*, 48, 1: 141-148.

Mario S Di Bitetti

Doctor en ecología y evolución, Universidad del Estado de Nueva York en Stony Brook. Investigador independiente del Conicet en el Instituto de Biología Subtropical. Profesor adjunto, UN de Misiones.
dibitetti@yahoo.com.ar

Perro xoloitzcuintle o pelón mexicano. El fotografiado en la tapa es de la misma raza. Foto Alex Cearns, cortesía de *www.xoloaus.com*. La vasija es mexicana de la cultura Colima (período Clásico, 200 a.C. - 500 d.C.), del Museo Nacional de Antropología de México.



Mónica Berón
Museo Etnográfico Juan B Ambrosetti, UBA
Luciano Prates
Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP
Francisco Prevosti
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de Anillaco, Conicet

Una historia de perros

Mitos y certezas sobre su origen y dispersión en América

Desde hace miles de años, seres humanos y cánidos –perros, lobos, zorros, coyotes, chacales y otros extinguidos– han mostrado una fuerte atracción recíproca y mantenido intensas interacciones con facetas económicas, sociales, religiosas e incluso afectivas. En algunos casos los cánidos fueron competidores o enemigos de los humanos, mientras que en otros trascendieron la animalidad para incorporarse de lleno en el tejido social e ideológico de las poblaciones humanas. Adquirieron ese estatus cuasihumano, tan frecuente en la sociedad moderna, hace miles de años, cuando la interacción entre los habitantes de la actual Europa y los cánidos silvestres dio origen al animal doméstico más antiguo y versátil: el perro. Ello marcó el nacimiento de la más estrecha y duradera relación entre humanos y animales jamás ocurrida, e inició una veloz expansión geográfica de los perros.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Una recorrida por la historia de los perros, desde su origen a partir de la domesticación del lobo hasta su dispersión por América en tiempos precolombinos.

Los primeros perros

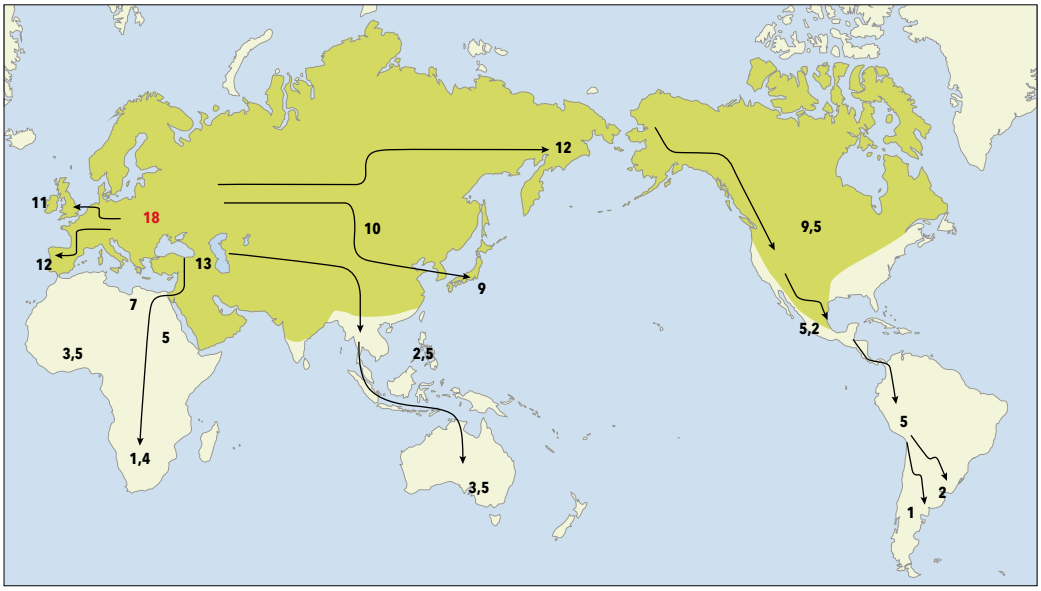
Como el resto de los animales domésticos, los perros se originaron por la manipulación de poblaciones silvestres. Aunque hasta hace algunas décadas se pensaba que el proceso había sido iniciado de modo intencional y unilateral por los humanos, con el objetivo de obtener un animal para defensa, un ayudante de caza o una mascota, hoy muchos científicos sostienen que el proceso fue más complejo, y que consistió en una coevolución de cánidos y humanos. Los mismos cánidos podrían haberlo desencadenado, posiblemente con el creciente acercamiento de jaurías silvestres en busca de alimento a los asentamientos y sitios de cacería de las bandas de humanos.

El comportamiento oportunista de los cánidos más curiosos habría facilitado una creciente familiarización con la gente, y favorecido la selección genética natural de los individuos más mansos y sociables. Al mismo tiempo, se habría despertado el interés por esos animales en los humanos y llevado a que estos procuraran acentuar la selección reproductiva de los cánidos más sociables y, posiblemente, dotados de otros rasgos deseables, tanto físicos como de conducta. Independientemente de que dicha selección haya sido intencional o accidental, sus efectos se acumularon con el transcurso del tiempo y las generaciones, y se fueron acentuando las diferencias de esos cánidos crecientemente domésticos con sus congéneres silvestres.

El tema sigue abierto a discusión, con una consecuencia importante. La opinión mayoritaria entre zoólogos, expresada en el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, no acepta como nombres científicos válidos los dados a animales 'creados' por selección bajo control humano. Ello significa rechazar los que a veces se aplican a los perros (*Canis familiaris* o *Canis lupus familiaris*). La hipótesis de la coevolución, sin embargo, podría debilitar ese rechazo y abrir la posibilidad de que los perros reciban como especie un nombre científico.

Otro tema de discusión es cuándo y en qué contexto aparecieron los primeros perros, y si todos se originaron en un único proceso de domesticación. Hasta principios del siglo XIX, la explicación dominante indicaba orígenes independientes en distintos lugares del mundo y a

Foto actual de un lobo gris euroasiático (*Canis lupus*), de cuyos ancestros descienden todos los perros. La gran variedad de estos es el resultado de milenios de cría selectiva por los seres humanos.



Cronología de la dispersión de los perros por el mundo. Las cifras indican miles de años antes del presente; todos los valores son aproximados y el que aparece en rojo señala lugar y momento probable más reciente en que habría tenido lugar su domesticación a partir del lobo (*Canis lupus*, arriba), cuya área natural de dispersión se indica coloreada. Si bien hay amplio acuerdo sobre el ancestro del perro, acerca del lugar, el momento y los detalles del proceso de domesticación hay diversidad de criterios. Wikimedia Commons

Esquimal o iniut acompañado por un perro, norte de Canadá, 1915. Foto KG Chipman, Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos.

partir de diversos cánidos silvestres, como el lobo gris (*Canis lupus*) y el chacal dorado (*Canis aureus*) en Europa, y el coyote (*Canis latrans*) en Norteamérica. Pero más recientes estudios anatómicos, de conducta y genéticos sugieren que el lobo gris es el único progenitor de todos los perros actuales e, incluso, que estos se habrían originado a partir de lobos europeos varias veces de manera independiente. Los estudios de ADN nuclear, que avalan ese único origen del perro, también sugieren que este se cruzó con el lobo durante el Holoceno (los últimos 12.000 años). Ambas cosas explicarían la diversidad que llevó a pensar en ancestros múltiples.

Los registros más tempranos de perros de los que hoy tenemos noticias tienen alrededor de 15.000 años y proceden de Europa central. Sin embargo, teniendo en cuenta que el proceso de domesticación fue largo y que difícilmente puedan hallarse evidencias de sus etapas iniciales, sería razonable pensar en un origen algo anterior a esa fecha, tal vez hacia los 18.000 años antes del presente.

Lo llamativo es que en ese momento los grupos humanos eran básicamente cazadores-recolectores, organizados en pequeñas bandas nómades de varias familias. No existían sociedades organizadas en aldeas más estables, en cuyo seno se originó el resto de los más de treinta animales domésticos. Esto da sentido a la idea de la coevolución de perros y humanos, porque explica mejor cómo el complejo proceso de la domesticación logró cristalizarse a pesar de que las sociedades en que acaeció no podían controlarlo estrictamente debido a su vida nómade.

Que los perros actuales desciendan de una única población ancestral de lobos no implica que no hayan ocurrido intentos fallidos de domesticación de otras poblaciones o especies. Hubo al parecer domesticaciones fallidas en Bélgica y Rusia hace más de 25.000 años. Incluso, recientes estudios de ADN sugieren que en Tierra del Fuego se pudo originar un supuesto perro fueguino entre los últimos pueblos canoeros, a partir de la domesticación de poblaciones locales de zorro colorado (*Lycalopex culpaeus*). Pero es una conclusión sacada de una única piel de cuya procedencia concreta se carece de datos fehacientes.

Todo parece indicar, entonces, que los perros actuales se originaron en lo que hoy es Europa central, y que desde allí se irradiaron con asombrosa velocidad por la mayor parte de Eurasia, el próximo Oriente, China y Siberia, cosa que no sucedió con ningún otro animal doméstico hasta tiempos mucho más recientes. Siguieron luego su itinerario expansivo y arribaron al Japón, África, el sudeste asiático, Australia y América, incluyendo el actual territorio argentino.

El perro en América

Cronistas y viajeros observaron –con cierta sorpresa– la presencia de perros entre los indígenas americanos en tiempos coloniales tempranos. Algunos sostuvieron que habían sido traídos por los europeos y adoptados por los

Mujer de etnia lakota, de las praderas norteamericanas, con un perro que arrastra el dispositivo llamado *travois*. Foto *ca.* 1900, State Historical Society of North Dakota, catálogo SHSND 1952-6303-2.

Perros en un campamento de cazadores-recolectores actuales de la etnia hoti, en la selva amazónica de Venezuela. Foto Gustavo Politis

indígenas, mientras que otros postularon su presencia anterior e incluso su domesticación local. Más allá de este desacuerdo inicial, la idea de que hubo perros en América en tiempos precolombinos se volvió dominante en el siglo XIX, si bien todavía persisten interrogantes sobre su antigüedad en las distintas regiones. Aparentemente los perros aparecieron primero en Norteamérica que en Sudamérica, lo cual es congruente con la idea de que el poblamiento humano también se realizó de norte a sur. Tampoco está claro el lugar que ocuparon los perros en las esferas económica, simbólica y religiosa de las sociedades americanas.

Es probable que los perros hayan ingresado en compañía de algunos de los inmigrantes llegados entre 16.000 y 11.500 años atrás, aunque los primeros registros arqueológicos, encontrados en el hemisferio norte, son más modernos (de entre hace 10.000 y 9000 años). Luego de varios milenios la presencia de perros se volvió común desde el actual territorio de Canadá hasta el de México, tanto entre los grupos de cazadores-pescadores del Ártico como en las complejas sociedades de la cuenca del Mississippi, México y América Central.

La arqueología y la etnohistoria han registrado muy diversos usos de los perros: eran alimento, se aprovechaban sus pieles, servían en la guerra, eran animales de defensa, caza, compa-

ñía y hasta carga, y cumplieron funciones rituales. La selección de rasgos deseables para distintos fines llevó a la aparición de varias razas, entre ellas los perros criados por su lana por los cazadores-pescadores de la actual Columbia Británica, los grandes perros empleados por los cazadores de bisontes de las planicies norteamericanas para carga y tiro en carros deslizantes llamados *travois*, los perros de los esquimales o inuit, utilizados para transporte y caza en el Ártico, y los perros xoloitzcuintle o pelones (sin pelo) y tlalchichi (antecesores de los actuales chihuahua) de México, que eran animales de compañía, alimento y ofrendas rituales.

Familia con perros, Tierra del Fuego, *ca.* 1900. Archivo de la Asociación de Investigaciones Antropológicas, Buenos Aires.

Para América del Sur, nuestro conocimiento sobre los perros precolombinos es bastante fragmentario. Son muy dudosas las pruebas de su presencia temprana. En la región andina, desde Ecuador hasta el norte de Chile, y especialmente en el Perú, las hay numerosas, pero no superan los 5000 años de antigüedad. Allí los perros fueron principalmente animales de compañía, posiblemente auxiliares de pastoreo y parte importante de ritos, ceremonias y acontecimientos funerarios, según datos que provienen casi exclusivamente de sociedades que practicaban la agricultura y el pastoreo de camélidos, y estaban organizadas en torno a jerarquías sociales hereditarias.

A la luz de lo anterior, de la poca antigüedad de los registros y de la existencia en el Perú de perros sin pelo similares a los pelones mexicanos, en investigaciones recientes (de las que da cuenta nuestro trabajo de 2010 citado en las lecturas sugeridas) hemos planteado que la generalización tardía de perros en Sudamérica pudo resultar de relaciones entre las sociedades agrícolas de México y los Andes.

Hay varios registros de la presencia de perros en el actual noroeste argentino, conocidos desde la publicación del trabajo clásico de Ángel Cabrera citado en las lecturas sugeridas. Los hallazgos provienen de distintos sitios arqueológicos de Jujuy, Salta y Catamarca (entre otros, Casabindo, Tilcara, Humahuaca, Tastil, Hualfín y Andalgalá), y corresponden principalmente a esqueletos y momias. Los perros fueron enterrados intencionalmente de un modo similar a los humanos y sus restos fueron datados en los siglos XV y XVI de nuestra era, en tiempos de la dominación inca; es decir, son más tardíos que los primeros registros similares en los Andes centrales y avalan la hipótesis de la dispersión de los animales de norte a sur entre las sociedades andinas.

Las evidencias más tempranas de perros en otras regiones sudamericanas provienen del actual Uruguay, donde también se encontraron restos enterrados intencionalmente hace más de 2000 años –la mayoría junto con cuerpos humanos– en unos montículos conocidos como cerritos de indios, de cazadores-recolectores que también cultivaban en pequeña escala. Algunos estudios de esos restos señalaron similitudes con los perros pelones del Perú, lo cual implicaría una conexión con la región andina, posiblemente contactos entre las sociedades que habitaban ambas regiones.

En el resto de Sudamérica son muy escasas las evidencias que validan la hipótesis de una presencia prehispánica de perros. Si bien en la cuenca del Amazonas no hubo hallazgos arqueológicos, hay abundante información etnohistórica (observaciones tempranas de perros) y lingüística (existencia de diversos vocablos de lenguas nativas para referirse a ellos) que sugiere una historia larga en la región.

Perros prehispánicos en la llanura pampeana y en la Patagonia

Tradicionalmente se pensaba que los indígenas pampeanos y patagónicos solo conocieron a los perros con la llegada de los europeos. Pero entre principios del siglo XX

y la década de 1980 pareció irse acumulando evidencia en favor de la hipótesis de que los primeros pobladores del extremo sur de América habían arribado –hace algo más de 10.000 años– acompañados por perros. Entre esas evidencias se puede mencionar los restos hallados en las cuevas Fell (de entre 10.700 y 8400 años atrás) y Eberhardt, en el sur de Chile; y los encontrados en los sitios Los Toldos (Santa Cruz) y Río Luján (provincia de Buenos Aires). Pero los que parecían ser restos de perros terminaron correspondiendo a cánidos silvestres, principalmente a *Dusicyon avus*, un zorro autóctono extinguido en la región hace menos de quinientos años. Algunos de sus rasgos anatómicos (gran tamaño, mandíbula robusta con grandes molares) eran similares a los del perro y explican la confusión.

Para fines de la década de 1980 no había quedado evidencia clara en pie y en su lugar existía una atmósfera de incertidumbre que mantuvo el tema fuera de debate por más de dos décadas. Esto cambió a partir de 2010, cuando se dieron a conocer nuevos hallazgos de perros en sitios arqueológicos prehistóricos en el valle del río Negro (Angostura 1), el Parque Nacional Lihuel Calel (Chenque 1) y el delta inferior del río Paraná (cerro Lutz), datados en torno a los 900 años antes del presente. En el primer sitio solo se encontraron algunas piezas dentales caninas entre desechos de comida de un campamento, y en el último se halló lo que fue interpretado como el entierro intencional de un perro, pero se difundió escasa información sobre su posición y sobre cómo se relaciona con restos humanos hallados en el mismo lugar.

El más interesante de estos hallazgos es Chenque 1: la tumba de un niño y un perro cuyo contexto sugiere que era un animal de compañía (era práctica común en pueblos prehistóricos sacrificar mascotas y enterrarlas con sus dueños). El niño posiblemente ocupaba una posición de jerarquía social, porque es el único infante de ese cementerio que fue sepultado con un valioso ajuar funerario, que incluye moluscos marinos y diversos adornos corporales. Por otro lado, la posición del niño y del perro, cuidadosamente colocados uno frente a otro, el segundo con sus cuatro patas sobre el primero, hace pensar en un ritual mortuorio que buscó perpetuar el vínculo entre ambos.

Síntesis

De este recorrido rápido por la historia de los perros resultan unas pocas certezas y varias preguntas. Pensamos hoy que aparecieron hace más de unos 18.000 años,

Mujeres selk'nam con perros en la costa fueguina, 1923. Foto Alberto María De Agostini, archivo Asociación de Investigaciones Antropológicas.

posiblemente en Europa central, luego de un proceso complejo de interacción entre seres humanos y jaurías de lobos. No solo fueron el primer animal doméstico: resultaron el único capaz de acompañar a los humanos a cada rincón habitable de la Tierra. Entraron en América con los seres humanos y adquirieron gran diversidad de características anatómicas y de conducta que les permitieron ejercer variadas funciones económicas, sociales y simbólicas, tanto entre grupos de cazadores-recolectores como en sociedades con organización más compleja.

En Sudamérica, a pesar de que la información es escasa y fragmentaria, se puede por lo menos provisoriamente pensar que su proceso de dispersión acaeció algunos milenios después que en Norteamérica, por los contactos entre las sociedades aldeanas mesoamericanas y las andinas no antes de unos 5000 años atrás. Es posible que los perros se hayan incorporado a los grupos de cazadores-recolectores pampeanos y patagónicos a partir de unos 1500 años antes del presente, cuando se intensificó la circulación de personas, bienes e ideas por largas distancias. Queda aún por responder por qué los perros aparecieron tan poco en el registro arqueológico del sur del continente, y si desempeñaron algún papel importante fuera de la esfera simbólica, por ejemplo, como perros de caza, defensa o ataque.

Más allá de los interrogantes aún abiertos, de la larga y compleja historia de relaciones entre cánidos y humanos emerge con claridad que la llegada de los perros cambió de manera formidable e irremediable el futuro de ambos. CH

Restos de niño (izquierda) enterrado con un perro hace alrededor de 900 años. Sitio arqueológico Chenque 1, Parque Nacional Lihuel Calel. La barra que da la escala mide 10cm.

LECTURAS SUGERIDAS

CABRERA AL, 1934, 'Los perros domésticos de los indígenas del territorio argentino', *Actas y Trabajos Científicos del XXV Congreso Internacional de Americanistas*, t. 1, pp. 81-93, Coni, Buenos Aires.

CROCKFORD SJ, 2000, *Dogs Through Time: An archaeological perspective*, Archaeopress, Oxford.

LARSON G *et al.*, 2012, 'Rethinking dog domestication by integrating genetics, archeology and biogeography', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1-8. *doi:10.1073/pnas.1203005109*.

MARTIN FM, 2013, *Tafonomía y paleoecología de la transición Pleistoceno-Holoceno en Fuego-Patagonia*, Ediciones de la Universidad de Magallanes, Punta Arenas.

PRATES L, PREVOSTI F y **BERÓN M**, 2010, 'Los perros prehispánicos del cono sur. Tendencias y nuevos registros', en Berón M *et al.*, *Mamül Mapu. Pasado y presente desde la arqueología pampeana*, pp. 215-228, Libros del Espinillo, Ayacucho. Accesible (agosto 2014) en *https://www.academia.edu/1455335/LOS_PERROS_PREHISP%C3%81NICOS_DEL_CONO_SUR._TENDENCIAS_Y_NUEVOS_REGISTROS*

Mónica Berón

Doctora en ciencias antropológicas, FFYL, UBA.
Investigadora independiente del Conicet.
Profesora asociada, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y profesora adjunta, UBA.
Directora del Museo Etnográfico Juan B Ambrosetti, UBA.
monberon@retina.ar

Luciano Prates

Doctor en ciencias naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
Investigador adjunto del Conicet en el Museo de La Plata.
Profesor adjunto, FCNYM, UNLP.
lprates@fcnym.unlp.edu.ar

Francisco Prevosti

Doctor en ciencias naturales, FCNYM, UNLP.
Investigador independiente, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de Anillaco, Conicet.
protocyon@hotmail.com

Cañadón del río Pinturas, Santa Cruz. Foto Oscar Casarini, Wikimedia Commons.

Marilén Fernández
Centro Austral de Investigaciones Científicas, Conicet

Lorena Grana
Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca, Conicet-UNCA

Arqueología ambiental

La relación entre las culturas pretéritas y los cambios ambientales

Una rama de la arqueología

La organización de los grupos humanos del pasado estaba ligada a las dimensiones y a la dinámica del entorno, así como a la disponibilidad de recursos, sobre todo agua. Por ello, para los arqueólogos que estudian las sociedades cazadoras-recolectoras y agropastoriles asentadas en muchas zonas del actual territorio argentino en los siglos y milenios anteriores a la llegada de los europeos, conocer el ambiente que habitaba cada una es claramente relevante para comprenderlas. Sin embargo, el ambiente no debe verse como un factor determinante de la organización social, sino como el marco en el cual las sociedades se establecen y actúan.

Este tema clave de la investigación arqueológica dio origen a una rama o subdisciplina conocida como *arqueología ambiental*, que se ocupa no solo de entender los cambios ambientales, sino también de analizar cómo las sociedades se adaptan a los ambientes en que viven. Estudia igualmente cómo los grupos humanos alteran los ambientes, dado que a veces sus actividades son un factor importante de modificación del entorno.

En otras palabras, el objetivo de la arqueología ambiental es determinar la relación entre cultura y ambiente, para lograr un entendimiento completo de la ecología humana de las comunidades prehistóricas. Esta tarea tiene dimensiones sociales, económicas y ecológicas, y se vale no solo de técnicas provenientes de la arqueología sino también de las ciencias naturales, sobre todo de la biología y la geología.

Por otro lado, la arqueología ambiental se relaciona con otras especializaciones. Una es la *bioarqueología*, que incluye la *arqueobotánica* y la *zooarqueología*, cuyos materiales de estudio son respectivamente los restos vegetales y animales dejados en sus actividades cotidianas por las culturas consideradas. Otra es la *geoarqueología*, que dirige

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un capítulo de la arqueología extiende su mirada a las relaciones entre cultura y medio natural para entender mejor las sociedades del pasado.

su mirada a los procesos geológicos acaecidos en sitios arqueológicos, lo que abarca la formación de estos, la estratigrafía, etcétera.

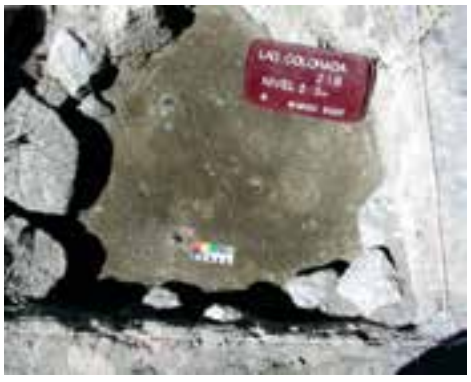
Para los arqueólogos, el objetivo de las reconstrucciones paleoambientales es comprender los cambios de los contextos físicos y biológicos de la existencia humana. Así, procuran describir los relacionados con la distribución espacial de las bandas de cazadores-recolectores y de las sociedades agrícolas. Dado que los recursos no se distribuyen homogéneamente en el territorio, su disposición ayuda a entender el modo de utilizar el espacio por los grupos humanos. De ahí que el conocimiento de dicha distribución sea un requerimiento básico para comprender las decisiones humanas y el cambio cultural.

Los análisis paleoambientales y paleoclimáticos se apoyan en tres pilares. El primero son los *archivos paleoambientales*, repositorios en los que queda registrada la historia del ambiente; contienen diversas evidencias indirectas o indicadores (conocidos en la literatura técnica como *proxy*) de tipo geológico (morenas, terrazas fluviales, antiguos niveles de lagos), químico (isótopos radiactivos de determinados elementos químicos, como carbono 14), biológicos (fitolitos, diatomeas, ostrácodos) o evidencias sociales (datos históricos y arqueológicos). El segundo pilar es el *razonamiento analógico*, muy usado por las ciencias que estudian el pasado; significa aceptar que lo observado en el presente permite comprender los fenómenos de otros tiempos (postulado conocido por *principio de uniformitarismo*). El tercer pilar es la posibilidad de estimar fechas y establecer qué acontecimientos fueron anteriores o posteriores a otros; para esto se emplean diversas técnicas, como las dataciones radiocarbónicas, la dendrocronología o las varvas.

La arqueología ambiental en la Argentina

Las interacciones de los humanos con su entorno han sido tema central de discusión de las disciplinas antropológicas y arqueológicas de los últimos setenta años. Hasta la década de 1970, predominaban en esa discusión los enfoques deterministas, que tendían a ver la conducta humana como el resultado directo de las características ambientales y la distribución de los recursos, y caían a veces en explicaciones cuasimecanicistas. Pero desde entonces el estudio del ambiente creció en complejidad y llevó a ver las condiciones climáticas y ecológicas no como la causa sino como el contexto de las decisiones humanas, y a considerar que existe constante interacción entre unas y otras, al punto de que ambas suelen ser

Sitio arqueológico Arturo 1, en una duna formada en la costa sur de la laguna Arturo, en la estepa fueguina del área de Río Grande. Es un sitio de superficie en el que se advierten huesos dispersos de varios animales, principalmente guanacos, desparramados por el viento, cuya acción terminó mezclando restos de distintas épocas.



Arriba: vista panorámica de la laguna Colorada en la puna de la provincia de Catamarca. **Abajo, izquierda y centro:** obtención de muestras de sedimentos para realizar reconstrucciones paleoambientales; **derecha:** excavación arqueológica en las terrazas aledañas, parte de un estudio orientado a evaluar la importancia de la laguna para las sociedades de los últimos 7000 años.

consideradas ineludibles para establecer hipótesis. Otros enfoques más antropológicos consideran que las formas de actuar en el ambiente no solo resultan de dicha interrelación entre las personas y el medio, sino también de significaciones puestas en juego en un tiempo y en un lugar específicos, lo que da lugar al concepto de *paisaje*, que es un espacio habitado, significado y vivido.

Los primeros impulsores de la arqueología ambiental en la Argentina fueron Alberto Rex González (1918-2012) y su discípulo Héctor D'Antoni, los cuales formaron en la mencionada década de 1970 el Laboratorio de Paleoecología en el Museo de La Plata. En aquella época se comenzaron a realizar estudios de palinología (análisis de restos de polen) en sitios arqueológicos del noroeste del país, para dar un contexto ambiental a las culturas andinas a partir del conocimiento de la vegetación y el clima del pasado. Además, por iniciativa del primero se investigaron con el mismo propósito restos faunísticos hallados en la gruta de Intihuasi (San Luis) y la cueva de Ongamira (Córdoba). Actualmente, cada vez más arqueólogos recurren a estos enfoques en estudios de diversas regiones del país.

La puna

Las condiciones ambientales del altiplano andino o puna, por ejemplo en el área de Antofagasta de la Sierra, Catamarca, corresponden a un desierto de altura, con extrema aridez, grandes cambios diarios de temperatura y baja presión atmosférica. Tanto los ríos que fluyen intermitentemente como algunas lagunas han desempeñado un papel esencial en los procesos sociales que hilvanaron la historia de las poblaciones precolombinas de la región. Esto se deduce de sitios arqueológicos asociados con esos cuerpos de agua, a pesar de que ellos experimentaron importantes cambios a lo largo del Holoceno. En esas lagunas y ríos se encuentran muchos archivos ambientales, como sedimentos, diatomeas y ostrácodos, cuyo análisis permitió deducir los contextos ambientales para relacionarlos con las ocupaciones humanas del pasado.

En la última década, Daniel Olivera, investigador del Conicet y profesor de la UBA, y su grupo interdisciplinario de investigación establecieron que, en los últimos 7000 años –un lapso relevante para la historia humana– hubo una sucesión de momentos áridos y húmedos, que produjeron ciclos de avance y retroceso de la extensión de las lagunas y humedales. Si bien hay diferencias entre las distintas cuencas hidrográficas de la región, en líneas generales el lapso entre unos 7000 y 3000 años atrás habría sido árido, y entre 3000 y 1600 años atrás habría sido un tiempo de mayor humedad.

Los materiales arqueológicos del más antiguo de esos lapsos revelan la presencia de sociedades cazadoras-recolectoras que generaron importantes cambios sociales y económicos y cuya relación con los camélidos desembocó con el tiempo en un proceso de domesticación;

Un humedal de altura de la puna catamarqueña, sobre el río Punilla, en el área de Antofagasta de la Sierra. En los humedales se concentran los recursos necesarios para la vida humana en ese ambiente árido e inhóspito.

los del más reciente, en cambio, indican que aparecieron sociedades agropastoriles y las primeras aldeas con población sedentaria.

Hacia 1600 años antes del presente retornaron las condiciones áridas y las sociedades agropastoriles buscaron formas de enfrentar momentos de extrema sequía, por ejemplo, mejorar las técnicas de riego para captar mayor cantidad de agua. Es evidente que los cambios en las condiciones ambientales tuvieron repercusión en la modalidad de aprovechamiento de los recursos por parte de los grupos humanos, pero las respuestas a esos cambios distaron de ser idénticas y estuvieron en íntima relación con la organización social de cada momento.

La Patagonia

La extensa región patagónica incluye una gran diversidad de ambientes –montañas, lagos, estepas, desiertos, costas, bosques– que fueron ocupados por grupos humanos en distintos momentos del pasado. Diversos equipos multidisciplinarios de varias universidades del país vienen estudiando desde la década de 1930 los paleoambientes patagónicos a partir del análisis de polen, de los restos de animales y de la variación de los niveles de los lagos tanto en ambientes de la cordillera como de la estepa. Ciertos espacios no siempre estuvieron disponibles para ser habitados, en función de la disponibilidad de agua, animales, reparo, materias primas para la confección de herramientas y otros recursos.

Un momento relevante fue la transición entre el Pleistoceno y el Holoceno, que marcó el fin del último ciclo glacial, ya que las condiciones climáticas cambiaron de modo significativo, lo que posibilitó la conformación de un nuevo entorno. Las estepas arbustivas avanzaron o retrocedieron según variaran las temperaturas y las precipitaciones, pero la tendencia general fue hacia la aridez, con algunos pulsos de humedad y determinadas catás-

trofes, como erupciones volcánicas, que habrían llevado al desplazamiento de las poblaciones humanas. Entre 11.500 y 9400 años antes del presente, esas poblaciones estaban en fase de colonización y subsistieron sobre la base de caza generalizada y oportunista, incluyendo la captura de grandes mamíferos. Entre los 9400 y 5100 años nos encontramos con una fase de consolidación territorial, con mayor densidad de ocupación de los espacios, favorecida por condiciones climáticas benignas y contactos entre grupos alejados.

Los más tempranos pobladores de la Patagonia se establecieron en cuevas y aleros, que les ofrecían reparo pero no siempre fueron habitables. En la meseta central de la actual provincia de Santa Cruz, por ejemplo, un estudio de diatomeas llevado a cabo por una de las coautoras en la cueva Maripe reveló que estuvo inundada por aguas someras en tiempos anteriores a los 9000 años atrás. Esto indicaría que tanto la cueva como el mallín que se ubica enfrente tuvieron una conformación diferente de la actual y, por lo tanto, distintas condiciones de habitabilidad.

En la meseta central de esa provincia, lagos hoy secos tuvieron gran cantidad de agua en el pasado y, por lo tanto, deben haber sido lugares de congregación de aves y guanacos, y para los humanos, un entorno ideal, en el cual se conjugaban muchos recursos, y uno primordial como lo es el agua.

Consideraciones finales

Los cambios ambientales y las sociedades humanas del pasado siempre estuvieron vinculados, ya que en distintos momentos de la historia las variaciones que se produjeron en el ambiente llevaron a las distintas sociedades a replantearse sus prácticas culturales. Por ello, el arqueólogo ambiental necesita la reconstrucción de los paleoambientes para comprender el contexto de los comportamientos humanos, y también para que lo ayuden a entender las posibles consecuencias del cambio cultural sobre los ecosistemas y el clima. Los estudios de arqueología ambiental adoptan una óptica diferente de la que caracteriza a las ciencias ambientales, ya que se plantean preguntas distintas.

Las complejidades del mundo natural y del accionar humano hacen que sea difícil determinar las relaciones entre sociedades humanas y ambiente, y que exista una alta diversidad de respuestas recíprocas a las modificaciones. Pero cuanto más sepamos sobre la vida cotidiana de los grupos humanos y sobre sus contextos ambientales, mejor podremos entender la compleja interacción entre ambos. CH

Las autoras agradecen las fotografías de la laguna Colorada facilitadas por C De Micco y Jennifer Grant.

Cueva ubicada en el cañadón La Primavera, Santa Cruz. Esa clase de sitios fue refugio de los primeros cazadores-recolectores de la Patagonia.

PEQUEÑO GLOSARIO

Cuaternario. Período geológico que comprende los últimos 2,6 millones de años. Los geólogos lo suelen dividir en dos épocas: el Pleistoceno, la más antigua, que se inició hace 2,6 millones de años y duró hasta hace 11.700 años, y la más reciente, el Holoceno, desde esta última fecha hasta el presente.

Datación radiocarbónica. Técnica empleada para fechar materiales de origen orgánico. Se basa en la medición del decaimiento por radiación del carbono 14 (^{14}C), un isótopo radiactivo del carbono que los seres vivos llevamos en los tejidos en proporción conocida, y que luego de la muerte desaparece a ritmo también conocido (cada 5400 años aproximadamente queda reducido a la mitad). El método arroja resultados aceptables para materiales cuya antigüedad no supere unos 40.000 años. El primero en usarlo en la Argentina para propósitos arqueológicos fue Alberto Rex González.

Dendrocronología. Es la determinación de la edad de un árbol analizando los anillos de crecimiento de su tronco.

Diatomeas. Grupo de algas microscópicas unicelulares, comunes mayormente en los cuerpos de agua, conocidas también como *Bacillariophyceae*. Su pared celular es de sílice, lo que las preserva en los sedimentos. Son muy buenas indicadoras de las características ambientales de los cuerpos de agua.

Fitolitos. Estructuras microscópicas rígidas formadas por la mineralización de tejidos vegetales con sílice o calcio. Constituyen un buen indicador para identificar comunidades vegetales y analizar sus cambios a lo largo del tiempo.

Holoceno. Período geológico que comprende los últimos 11.700 años.

Mallín. Argentinismo de origen mapuche usado principalmente en la Patagonia, sinónimo de ciénaga o humedal. Los mallines pueden ser permanentes o temporarios y tuvieron alta importancia económica para las sociedades prehistóricas.

Ostrácodos. Clase de crustáceos acuáticos muy pequeños (del orden de 1mm) con valvas que pueden ser blandas y orgánicas o calcificadas, tanto marinos como de agua dulce, y muy sensibles a los cambios ambientales.

Pleistoceno. Período geológico que se extiende entre unos 2,6 millones y 11.700 años atrás.

Polen. Polvo más o menos fino que, en condiciones adecuadas, libera los gametos masculinos de las plantas con semilla y es producido por estas como parte del proceso de reproducción. Su análisis permite inferir el tipo de vegetación de determinado lugar y establecer condiciones ambientales, como temperatura y precipitación.

Varvas. Laminaciones o capas anuales reconocidas en sedimentos lacustres.

LECTURAS SUGERIDAS

BORRERO L, 2001, *El poblamiento de la Patagonia. Toldos, milodones y volcanes*, Emecé, Buenos Aires.

DINCAUZE DF, 2000, *Environmental Archaeology: Principles and practice*, Cambridge University Press.

MONDINI M *et al.* (eds.), 2011, *Poblaciones humanas y ambientes en el noroeste argentino durante el Holoceno medio*, Taller de Arqueología, Córdoba.

SALEMME M & MIOTTI L, 2008, 'Archeological hunter-gatherer landscapes since the latest Pleistocene in Fuego-Patagonia', en Rabassa J (ed.), *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*, Elsevier, Amsterdam, pp. 437-483.

Marilén Fernández

Doctora en ciencias naturales (orientación arqueología), UNLP. Becaria posdoctoral del Conicet en el Cadic, Ushuaia.
shanamain@gmail.com

Lorena Grana

Doctora en arqueología, UBA. Becaria posdoctoral del Conicet en el CITCA, Catamarca.
grana.lorena@gmail.com

Los premios Nobel 2015

¿Cuáles son las contribuciones al conocimiento realizadas por los ganadores de premios que, a lo largo de más de un siglo, se convirtieron en uno de los mejores mecanismos del mundo para identificar avances cruciales de las ciencias?

FÍSICA

Esteban Roulet
Centro Atómico Bariloche

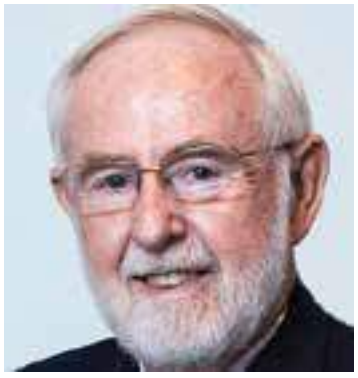
Las oscilaciones y la masa de los neutrinos

El premio Nobel de física de este año fue concedido a Takaaki Kajita, de la Universidad de Tokio, y a Arthur McDonald, de Queen's University en Canadá, por *el descubrimiento de las oscilaciones de los neutrinos, una indicación de que estos tienen masa*. Los neutrinos, que se denotan con la letra griega nu (ν), son partículas subatómicas que interactúan solo débilmente con la materia (ya que no tienen carga eléctrica ni sienten el efecto de la fuerza fuerte, que mantiene ligados a los protones y neutrones en los núcleos atómicos). Por ello son sumamente difíciles de detectar. Se producen, por ejemplo, en los decaimientos beta de la radiactividad natural, que son procesos en los que un núcleo atómico se convierte en otro más liviano emitiendo un electrón (la partícula beta) y un neutrino. De hecho, la existencia de los neutrinos fue postulada por Wolfgang Pauli (1900-1958, premio Nobel de física 1945) en 1930 justamente para explicar por qué el electrón se lleva solo una fracción de la energía disponible en dicho proceso; el resto se lo debe llevar una partícula neutra y liviana que no se observa directamente.

Con los años se descubrió que existían otras dos partículas similares al electrón, con idénticas interacciones pero bastante más pesadas: el muón (μ), que es unas 200 veces más pesado que el electrón, y el tau (τ), unas 3500 veces más pesado que el electrón. Cada una de estas partículas tiene asociado un neutrino distinto, de modo que se dice que los neutrinos vienen en tres 'sabores': el del electrón (ν_e), el del muón (ν_μ) y el del tau (ν_τ). El n_e, por ejemplo, se produce junto con el electrón en los decaimientos radiactivos y, cuando interactúa con la materia, se produce un electrón. En cambio, el ν_μ aparece junto con los muones generados en la desintegración de partículas más pesadas. Cuando se estudió la interacción de los ν_μ con la materia colocando detectores cerca del lugar en el que habían sido generados, se vio que producían muones pero no electrones, indicación de que son distintos de los ν_e. Algo similar sucede con los ν_τ, resultado, por ejemplo, de ciertos decaimientos de partículas muy pesadas en los que se producen partículas tau: al observar en un detector las interacciones de los ν_τ con la materia, se advierte que solo se producen taus pero no electrones ni muones.

Durante mucho tiempo se pensó que los neutrinos podían no tener masa y los varios intentos de determinarla solo resultaron en límites superiores. Hoy sabemos que sus masas son inferiores a una millonésima parte del valor de la masa del electrón, que es la partícula cargada más liviana que se conoce. Por qué los neutrinos son tanto más livianos que las demás partículas es una pregunta que aún no sabemos responder a ciencia cierta.

Takaaki Kajita



Arthur McDonald

Lo notable de los experimentos liderados por los dos físicos premiados es que lograron establecer que las masas de los neutrinos no son nulas. Estos experimentos fueron el Super-Kamiokande ubicado en Japón, liderado por Kajita, y el Subdury Neutrino Observatory ubicado en Canadá, liderado por McDonald. El experimento Super-Kamiokande consiste en un detector de 50.000 toneladas de agua más dispositivos que registran la luz producida cuando un neutrino interactúa con el líquido.

El experimento canadiense se compone de un detector más pequeño que contiene 1000 toneladas de agua pesada. El agua pesada (D_2O) se distingue del agua común (H_2O) porque en lugar de hidrógeno tiene deuterio, en cuyo núcleo, además de un protón, como el hidrógeno, hay un neutrón, lo que lo hace más pesado. Para poder detectar a los neutrinos sin interferencias debidas a rayos cósmicos u otro tipo de radiación, estos experimentos se realizan entre 1 y 2km bajo tierra, en el sitio de alguna mina profunda o debajo de una montaña.

Ambos experimentos mostraron que los neutrinos podían cambiar de identidad al propagarse en distancias grandes, y que lo hacían de manera oscilatoria: de ahí que se hable de oscilación de los neutrinos. El experimento Super-Kamiokande estudió cómo oscilaban los neutrinos del muón, producidos en la atmósfera terrestre por las colisiones de los rayos cósmicos, que son partículas que nos bombardean constantemente desde el espacio exterior. Se constató que al observar los neutrinos del muón provenientes desde arriba, que habían viajado típicamente una distancia de unos 20km desde su lugar de producción en la alta atmósfera, se detectaba la cantidad de ν_μ que se esperaba; en cambio, para los que provenían desde abajo, que habían sido producidos en las antípodas y habían viajado más de 10.000km atravesando la Tierra, casi la mitad de esos ν_μ se habían convertido en neutrinos del tau. En otras palabras, estos neutrinos atmosféricos de muón, con energías elevadas, cambian su sabor en distancias de algunos miles de kilómetros.

El experimento canadiense estudió en cambio los neutrinos producidos en las reacciones nucleares que son la fuente de la energía del Sol, de las que resultan cuantiosas cantidades de neutrinos de electrón de bajas energías. Varios experimentos anteriores habían observado un flujo de ν_e inferior al que predecían los modelos del Sol, pero no se sabía si esto era debido a alguna incerteza en estos cálculos o a algún efecto físico que afectaba a los neutrinos en su viaje. La gran ventaja del detector con el que trabajó McDonald es que podía determinar separadamente cuántos de los neutrinos que llegaban del Sol eran ν_e, y cuál era el flujo total de los tres sabores de neutrinos. El experimento estableció que solo alrededor de un tercio de los neutrinos producidos en el Sol llegaron con el sabor con el que fueron producidos, es decir como ν_e, mientras que el resto se había transformado en neutrinos de otro sabor, ya sea ν_μ o ν_τ.

Estos cambios de identidad de los neutrinos se pueden entender como consecuencia de que tienen masa, y lo crucial es que debe haber tres neutrinos con masas distintas. De este modo, cada uno de los tres sabores será una mezcla de los tres neutrinos con masa definida. El hecho de que los neutrinos con distintas masas se propagan de modo un poco distinto hace que durante el viaje pueda cambiar el sabor del neutrino, que es la propiedad que se puede detectar observando cuál es la partícula que producen al interactuar con la materia, sea un electrón, un muón o un tau.

Estos experimentos permitieron obtener información sobre la diferencia entre las masas de los distintos neutrinos y también de cómo se mezclan las componentes con distintas masas en cada estado de sabor definido. Esta información es esencial para la física de partículas ya que nos indica cómo debe ser la teoría que describe a los neutrinos y que explica el origen de sus masas. Es de destacar que la mezcla de neutrinos con distintas masas presente en cada estado de sabor definido es realmente una superposición cuántica de estados, de modo que las oscilaciones de sabor detectadas representan un efecto cuántico que se puede observar a escalas macroscópicas.

También es relevante saber el valor de las masas de los neutrinos porque estas pueden tener un impacto importante en la evolución del universo y en la forma en que se producen las grandes estructuras en la distribución de la materia, como las galaxias o los cúmulos de galaxias. De hecho, se predice que una enorme cantidad de neutrinos, unos 300 por cada centímetro cúbico, están presentes en todo el espacio. Estos fueron producidos en los primeros instantes posteriores al Big Bang, cuando el universo era muy denso y caliente, se desacoplaron del resto de la materia a los pocos segundos y sobrevivieron hasta el día de hoy. Si los neutrinos tienen masa, su contribución total al contenido de materia del universo se torna no despreciable y puede tener efectos dinámicos debido a las fuerzas gravitatorias que

producen, algo que termina afectando a la formación de las galaxias.

Los neutrinos también se producen copiosamente en las estrellas, especialmente en las muy masivas, y afectan su evolución. Cuando una estrella termina su vida en una explosión de supernova los neutrinos emitidos se llevan la mayor parte de la energía liberada.

El descubrimiento de las oscilaciones de los neutrinos por ambos experimentos, luego confirmado por otras varias observaciones, produjo un avance importante en el conocimiento de las propiedades de los componentes elementales de la materia. Quedan aún varias preguntas por responder relacionadas con los neutrinos, como la determinación del valor exacto de sus masas o si existen más sabores de neutrinos además de los tres que conocemos, que podrían ser más pesados o con interacciones aún más débiles. Este no es el primer premio Nobel otorgado que tiene relación con los neutrinos; quizá no sea el último.

Esteban Roulet
PhD, Escuela Internacional Superior de Estudios Avanzados, Trieste.
Investigador principal del Conicet en el Centro Atómico Bariloche.
roulet@cab.cnea.gov.ar

QUÍMICA

Vanesa Gottifredi
Fundación Instituto Leloir

La reparación del ADN

Este año el premio Nobel de química fue dividido en partes iguales entre el sueco Tomas Lindahl del Francis Crick Institute en Gran Bretaña, el estadounidense Paul Modrich de la Universidad Duke y el Howard Hughes Medical Institute, y el turco-norteamericano Aziz Sancar de la University of North Carolina, tres científicos que identificaron, cada uno por su lado, algunos de los mecanismos clave de la reparación del ADN.

El ADN, que tiene la conocida forma de doble hélice, consiste en una sucesión de nucleótidos que pueden estar formados por cuatro tipos de bases distintas: adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T). La secuencia de nucleótidos contiene la información genética; por esto se podría esperar que el ADN no cambie durante la vida de un organismo. Sin embargo, suceden cambios cuyo resultado es tanto ADN dañado como ADN mutado (diferencia que explicaremos más adelante). Esto trae importantes consecuencias, desde la evolución de las especies hasta enfermedades genéticas o incluso cáncer.

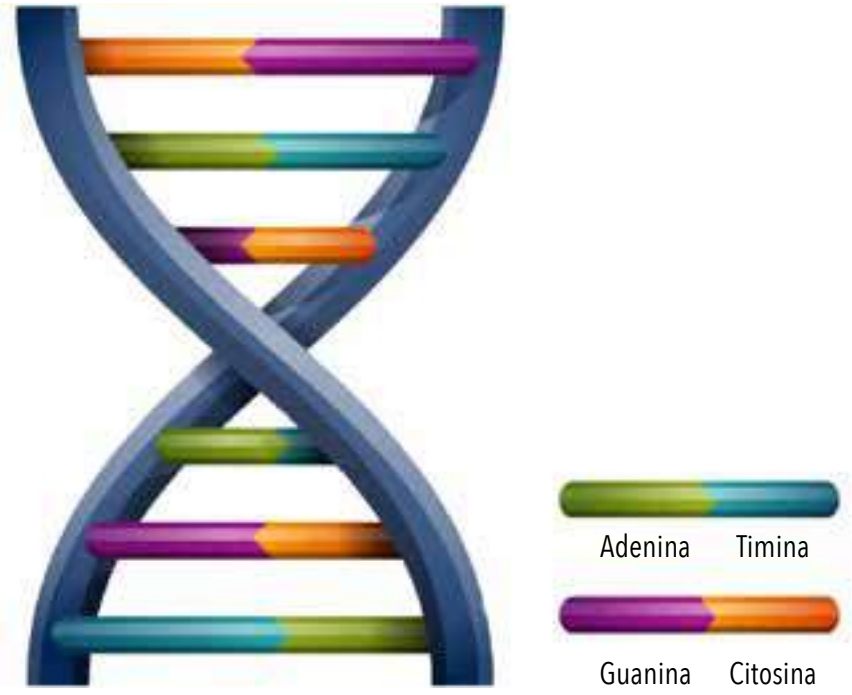
Sabiendo que la información genética debe transmitirse con alta fidelidad de una célula madre a las dos células hijas que resultan de una división celular, la predicción inicial fue que el ADN era una molécula muy estable, parecida a un cristal. De hecho, ciertas evidencias hacían pensar que no podía ser de otra manera. Por ejemplo, la duplicación del ADN es semiconservativa. Eso significa que la doble hélice se abre como un cierre relámpago y cada mitad sirve como molde para el copiado de una nueva mitad, por lo que, al generarse dos células hijas, cada doble hélice está formada por una hélice completamente nueva y una hélice heredada. Si cada uno de nosotros se desarrolló a partir de una sola célula formada por el óvulo materno y el espermatozoide paterno, es muy movilizante pensar que, independientemente de nuestra edad, en algunas células de nuestro organismo todavía podemos tener fragmentos del ADN original que nos dieron nuestros padres. Si tiene que durar tanto tiempo, es lógico entonces suponer que nuestro ADN debe ser muy estable.

Pero no es así. En realidad, es extremadamente inestable. Mientras usted lee esta nota, el ADN de su

Tomas Lindahl

Paul Modrich

Aziz Sancar



Estructura del ADN. Wikimedia Commons

cuerpo está sufriendo miles de alteraciones o daños que, si demora mucho su lectura, llegarán fácilmente al millón. Esto no se puede evitar ya que el origen de esos cambios químicos del ADN, por un lado, es el propio metabolismo que mantiene a nuestras células en funcionamiento y, por otro lado, una multitud de agentes externos que lo alteran, como la radiación ultravioleta. Así, una hora de exposición al sol incrementa el daño entre diez y veinte veces. Los mecanismos de reparación de ese daño –que reemplazan las secuencias alteradas o lesionadas por las originales sanas y nos permiten nacer y permanecer vivos– se conocen desde hace décadas gracias al trabajo de diversos investigadores, como Philip Hanawalt de la Universidad de Stanford.

¿Cuáles son esos mecanismos? Esa es la pregunta por cuyas respuestas los galardonados de este año recibieron el Nobel. Para comprender dichos mecanismos podemos imaginar que en el organismo están activos durante las veinticuatro horas del día y los siete días de la semana equipos de moléculas zurcidoras de ADN. Cada equipo tiene por lo menos tres grupos de trabajo. El primero, compuesto por moléculas de rastreo, revisa el ADN en busca de deformaciones o lesiones y, al encontrarlas, determina si el cambio químico puede ser reparado. En caso afirmativo, entra en funciones el segundo grupo, las tijeras, formado por moléculas llamadas *nucleasas* que cortan la hélice dañada con gran precisión a cada lado de la distorsión. Cumplido ese paso, entra a actuar el tercer equipo, las zurcidoras, que son polimerasas de ADN cuya tarea es rellenar la sección eliminada con el ADN sano que corresponde allí.

El procedimiento identificado por Lindahl se llama *reparación por escisión de bases*. Sancar descifró otro mecanismo: la *reparación por escisión de nucleótidos*. Modrich, por su lado, encontró cómo se produce la *reparación de bases mal apareadas*. El primer mecanismo elimina daños que afectan a una sola base; el segundo se encarga de lesiones que a veces fusionan dos bases adyacentes, mientras el tercero elimina bases no dañadas sino mal apareadas, y es capaz de determinar cuál de las dos es la equivocada.

¿Qué sucede con una lesión no reconocida por las moléculas rastreadoras, la cual, por ende, no es reparada? De por sí, es probable que no genere mayores alteraciones en el funcionamiento de la célula, pero obstruye el proceso de duplicación del ADN. Si las obstrucciones son muchas, la duplicación puede fallar y la célula muere, pero si no lo son, la célula se duplica y las lesiones provocan errores de copiado del ADN, es decir, mutaciones.

Como se aprecia, daño y mutación del ADN, si bien íntimamente relacionados, son hechos diferentes. La mutación no contiene ADN lesionado sino un cambio de la secuencia de bases que ocurre durante el proceso de copiado. Por ello los mecanismos de reparación no la advierten y, por lo tanto, resulta irreversible. En el siguiente evento de copiado, las mutaciones se consolidan como cambios heredables en la secuencia del ADN.

Como el ADN gobierna la producción de proteínas por el organismo, su alteración cambia la o las proteínas resultantes. Si esto modifica, por algún mecanismo, la influencia del entorno celular sobre la decisión de duplicación, el cambio puede causar que la célula se duplique sin referencia a esas necesidades y por su solo impulso, es decir, que se convierta en una célula cancerosa. Por esta razón, una falla de los mecanismos de reparación de ADN dañado puede abrir el camino al cáncer.

Existe una enfermedad hereditaria llamada xeroderma pigmentosa, por la que el mecanismo de reparación del ADN por escisión de nucleótidos no opera debido a la falta de ciertas proteínas. Quienes padecen esa enfermedad son extremadamente sensibles a los efectos de la radiación ultravioleta, pues su organismo no logra reparar los daños que provoca esta en el ADN. Como consecuencia, en ellos el cáncer de piel es frecuente y de evolución rápida, al punto que el 60% de esos pacientes muere antes de cumplir veinte años. Alteraciones en el mecanismo de reparación de bases mal apareadas, por

otro lado, se han asociado con una mayor propensión hereditaria al cáncer de colon, mientras que defectos en el mecanismo de reparación de escisión de bases causa la muerte de ratones al momento del nacimiento.

Para comprender el aparentemente caprichoso camino de la naturaleza que llevó a la inestabilidad del material genético, conviene recordar que, si bien durante el lapso de nuestra vida sería conveniente que nuestro ADN no sufriera mutaciones, no habríamos existido sin ellas. Un ADN inmutable, sencillamente, no hubiese dado lugar a la evolución y la aparición de variaciones exitosas en las formas de vida. En otras palabras, sin este balance entre frecuentes lesiones del ADN y su reparación seríamos organismos más sencillos que las bacterias.

Si la riesgosa imperfección del material genético es la base de la evolución, ¿podremos algún día controlarla? Miles de las investigaciones actuales, que hacen esfuerzos para mejorar las herramientas de diagnóstico y tratamiento, han alcanzado avances modestos pero significativos. En el contexto de los premios Nobel, que apuntan a reconocer el valor del conocimiento, este no puso en relieve un descubrimiento de aplicación inmediata sino un avance en la dilucidación de mecanismos bioquímicos básicos esenciales para comprender con mayor profundidad la vida y la evolución.

Vanesa Gottifredi

Doctora en biología, Universidad La Sapienza, Roma. Investigadora independiente del Conicet en la Fundación Instituto Leloir.

MEDICINA

Rubén Daniel Tanzola
Universidad Nacional del Sur

Lucha contra un enemigo invisible

El pasado 5 de octubre el Instituto Carolina de Suecia dio a conocer su decisión de otorgar el premio Nobel 2015 de fisiología o medicina de la siguiente manera: el 50% a la farmacéutica china Youyou Tu, de la Academia China de Medicina Tradicional, por *sus descubrimientos sobre una nueva terapia contra la malaria*; y el otro 50% por partes iguales al parasitólogo estadounidense de origen irlandés William Cecil Campbell, de Drew University, en Madison, Nueva Jersey, y al microbiólogo japonés Satoshi Ōmura, del Instituto Kitasato, de Tokyo, por *sus descubrimientos sobre una nueva terapia contra las infecciones causadas por parásitos nematodos*.

Disponemos de evidencia como para poder afirmar que los parásitos constituyen la biodiversidad oculta del planeta y que, como tales, son la forma de vida predominante en todos los ecosistemas. Prácticamente no hay especie viva que no albergue una o varias especies parásitas, incluyendo a millones de personas en el mundo actual, en las que causan enfermedades mortales o invalidantes.

Los parásitos que han venido combatiendo los galardonados tienen algo en un común: son transmitidos a las personas por la picadura de insectos hematófagos, como jejenes y mosquitos, y afectan en gran medida a las poblaciones más carenciadas del mundo. Más de 1200 millones de africanos están expuestos a ser picados por esos insectos, y anualmente muere de paludismo o malaria en el África subsahariana medio millón de enfermos, en un alto porcentaje menores de cinco años. En el mundo hay aproximadamente 280 millones de enfermos de malaria y se producen más de 600.000 muertes anuales.

Malaria o paludismo son los nombres vulgares de una parasitosis causada por varias especies de un protozoo del género *Plasmodium*, que infecta la sangre. Precisamente, el segundo Nobel de fisiología o medicina fue otorgado en 1902 al médico británico Ronald Ross (1857-1932) por su descubrimiento del ciclo de replicación del parásito *Plasmodium falciparum* (causante de la fiebre terciana maligna) en la hembra de mosquitos del género *Anopheles*, lo que abrió el camino para erradicar la enfermedad en extensos territorios del África occidental y otros continentes.

La biología de los plasmodios del paludismo es muy compleja. En el mosquito, el parásito, que es un organismo unicelular, se multiplica por un proceso de división llamado esporogonia y genera literalmente millones de organismos que se acumulan en las glándulas salivales del insecto y pasan al ser humano por las picaduras. Una parte obligada del ciclo de replicación del plasmodio ocurre en el hígado de las personas infectadas a los pocos días de sufrir la picadura. Luego el parásito infecta los glóbulos rojos, de los cuales se alimenta, degrada la hemoglobina y produce un pigmento oscuro y tóxico responsable de los recurrentes picos de fiebre del enfermo.

Youyou Tu

William Cecil Campbell

Satoshi Ōmura

El sistema inmune reconoce eficazmente la presencia del parásito, por ejemplo en el cerebro o el riñón, y lo ataca de manera descontrolada, lo que desencadena reacciones de hipersensibilidad que terminan destruyendo el propio tejido. Como resultado se generan complicaciones en órganos como los nombrados que los pueden comprometer gravemente. Por otro lado, la erradicación se enfrenta con la pertinaz resistencia de los mosquitos a los insecticidas, lo mismo que la capacidad que desarrollan los plasmodios de resistir las drogas antiparasitarias y de evadir el ataque del sistema inmune.

Hacia fines de la década de 1960, el gobierno chino puso en marcha un programa para hacer frente a la malaria, que cobraba más vidas en Vietnam que la guerra con los Estados Unidos. Como parte de ese programa Youyou Tu, consultando tratados médicos de hace 1600 años, ensayó extractos vegetales de más de 380 plantas en animales afectados de paludismo. Del ajenjo chino (*Artemisia annua*) aisló un compuesto, llamado *artemisinina*, que inhibía el desarrollo del plasmodio en el humano. Incluso experimentó la inocuidad de la droga en su propio cuerpo. Recién en 1979 se publicó en inglés la primera información sobre la droga pero, como era entonces habitual en China, sin dar el nombre de quien la había descubierto, por lo que la investigadora debió aguardar décadas para ser reconocida por la comunidad académica internacional. En la actualidad el tratamiento con artemisinina reduce en 30% la mortalidad infantil y hasta en 20% la de adultos, lo que significa más de cien mil vidas salvadas anualmente en regiones de alto endemismo de malaria.

Otra parasitosis humana transmitida por picaduras de insectos hematófagos, en este caso jejenes, es la oncocercosis u oncocerciasis, provocada por un nematodo o gusano redondo de la especie *Onchocerca volvulus*. Los gusanos adultos viven en el tejido subcutáneo y producen diversos trastornos como fibrosis, hiperqueratosis (engrosamiento de la piel), atrofia, alteraciones en la pigmentación y nódulos llamados oncocercomas. Las hembras fecundadas del gusano depositan en la circulación miles de larvas denominadas microfilarias que se distribuyen por todo el cuerpo aunque tienen tendencia a afectar la cámara anterior del ojo y producir daño irreversible en la membrana coroides. De ahí el nombre vulgar de la enfermedad –ceguera de los ríos–, pues en esos ambientes el ataque de los jejenes o mosquitas negras es más frecuente.

Los jejenes pican a una persona parasitada y succionan larvas del nematodo, que cumplen parte de su ciclo de vida en el insecto y se acumulan en sus glándulas salivales listas para ser inoculadas en otro ser humano cuando el jején se alimente de su sangre. Se calcula que hay en la actualidad más de cincuenta millones de enfermos en el mundo, en particular en África y en la Amazonia, con más de medio millón de ciegos. Merced a eficaces políticas sanitarias, la oncocercosis ha sido erradicada en varios países, como Guatemala (2013), Ecuador (2014) y México (2015), pero las malas condiciones sanitarias, socioeconómicas y culturales que persisten en algunos pueblos, sumadas a la resistencia a los insecticidas desarrollada por los jejenes y a los fármacos antiparasitarios por las filarias, son importantes factores de expansión de la enfermedad.

La filariosis linfática es otra de las enfermedades producidas por nematodos, principalmente de las especies *Wuchereria bancrofti* y *Brugia malayi*. Afecta a más de 120 millones de personas en el mundo y provoca severa incapacidad y postración en más de 40 millones. Los gusanos adultos suelen alcanzar una longitud de más de 10cm y tener 1mm de grosor. Se enroscan y encapsulan en nódulos, ganglios y vasos linfáticos de los seres humanos y producen millones de pequeñas microfilarias que viajan por el torrente circulatorio y son succionadas por mosquitos de los géneros *Culex*, *Anopheles* y *Aedes* cada vez que pican para alimentarse de sangre humana. De esta forma los insectos contagian a la población de extensas zonas tropicales del planeta.

Cuando los nematodos adultos mueren en los nódulos y vasos linfáticos humanos, se produce un enorme incremento del tamaño de los órganos afectados, en particular los miembros inferiores, la región inguinal, el escroto y las glándulas mamarias, que ha dado el nombre de elefantiasis a la enfermedad. Su erradicación también se ve obstaculizada por el creciente desarrollo de resistencia a los insecticidas por los mosquitos así cōmo a las drogas antiparasitarias por parte de los nematodos.

Según la información oficial del premio Nobel, Campbell y Ōmura *descubrieron una nueva droga, la* avermectina *cuyos derivados disminuyeron la incidencia de la ceguera de los ríos y de la filariosis linfática, además de ser eficaz contra un número creciente de otras enfermedades parasíticas*. El principio activo antiparasitario de la droga, de baja toxicidad para los mamíferos pero con efectos letales para muchas especies de parásitos, entre ellos las microfilarias, se llama *ivermectina*, y es también eficaz contra parásitos que afectan a animales domésticos y causan millonarios perjuicios económicos a la producción agropecuaria. La droga es un producto natural, pues resulta de la acción de una bacteria que vive en el suelo llamada *Streptomyces avermitilis*.

Rubén Daniel Tanzola
Doctor en biología, UNS.
Profesor adjunto, UNS.

ECONOMÍA

Javier Alejo
Universidad Nacional de La Plata

Consumo, pobreza y bienestar

El premio del Banco de Suecia en ciencias económicas en memoria de Alfred Nobel fue otorgado este año al economista británico-estadounidense Angus Deaton, de la Universidad de Princeton, por sus contribuciones al *análisis del consumo, la pobreza y el bienestar*. El premiado fue un pionero en estas tres grandes áreas de la economía, con aportes que no solo resultaron relevantes en el ámbito académico sino, también, en la forma en que se conciben hoy las políticas de desarrollo.

El eje central de sus investigaciones fue el comportamiento de los consumidores, cuyo estudio encaró con marcado énfasis en contrastar los marcos conceptuales con datos empíricos de la realidad. Los economistas recurren a dos grandes enfoques teóricos para analizar las elecciones de consumo. Uno considera las decisiones que toma cada individuo de asignar en un momento dado el ingreso del que dispone a la compra de los distintos bienes que puede adquirir; el otro analiza las decisiones intertemporales de consumo, es decir, toma en cuenta que las personas también ahorran y evalúan, en consecuencia, si les conviene postergar o adelantar determinados consumos. Deaton innovó en ambos enfoques, y los aplicó en forma concreta al análisis del desarrollo humano.

Sistemas de demanda

Se conoce como sistema de demanda al conjunto de decisiones que toma un agente racional para elegir una canasta de consumo en función de los precios de cada bien y de su ingreso; en otras palabras, cómo cada individuo sustituye o complementa bienes de consumo de acuerdo con sus preferencias y sus posibilidades económicas. Las primeras investigaciones de Deaton consideraron la validez de los axiomas sobre los que se apoyaba el análisis de los sistemas de demanda y llevaron a una expansión de ese análisis.

Conocer dichos sistemas es una herramienta fundamental no solo para verificar la validez de la teoría a la luz de los datos de la realidad sino, también, para definir de manera adecuada medidas de gobierno y políticas públicas. Por ejemplo, saber cómo reaccionan los consumidores ante variaciones de cada precio es un dato relevante para establecer impuestos y subsidios al consumo con el propósito de cambiar los precios de mercado, cuyo equilibrio en ausencia de esa acción puede llevar a una asignación ineficiente de los recursos de la economía.

Hacia 1980, Deaton desarrolló un método simple y flexible para estimar demandas en función de precios e ingresos individuales. Se lo conoce como *Almost Ideal Demand System*, y fue un avance no menor en materia de cuantificar el comportamiento de los consumidores. Con sus posteriores modificaciones es aún una herramienta estándar utilizada tanto en trabajos académicos como en informes técnicos sobre evaluaciones de políticas públicas y sus consecuencias sobre el consumo.

Angus Deaton

Ahorro, consumo y macroeconomía

Cuánto de su ingreso destinan los hogares al consumo y cuánto al ahorro es una cues-

tión de la que se ocupó la macroeconomía desde sus orígenes. Los principales avances en esa línea de investigación se deben a otros dos economistas galardonados con el Nobel: Milton Friedman (1912-2006), que lo obtuvo en 1975 por su hipótesis del ingreso permanente, y Franco Modigliani (1918-2003), ganador en 1985 por su modelo del ciclo de vida. Ambas teorías consideran el hecho de que el ahorro es la herramienta que permite a los hogares mantener el consumo relativamente estable a lo largo del tiempo, para evitar cambios bruscos en sus niveles de bienestar. De esta manera explicaron una constatación empírica de la macroeconomía: que el ingreso corriente tiene mayores variaciones en el tiempo que el consumo.

En trabajos que datan de alrededor de 1990, Deaton demostró que estas teorías, basadas en un agente representativo, podían llevar a ciertas contradicciones que no se advertían en la evidencia empírica. En particular, aun en el marco de la hipótesis del ingreso permanente era posible que el consumo excediese al ingreso corriente, algo que no era avalado por la regularidad de los datos empíricos macroeconómicos. Esto se conoció como la paradoja de Deaton. El foco central de su análisis fue que, tomándolos como agregados macroeconómicos, consumo e ingreso se comportan de manera que no se puede explicar como simple suma de las decisiones individuales. Ello se debe a que la heterogeneidad de las personas en cuanto a preferencias y restricciones de liquidez hace de la agregación un proceso extremadamente complicado. Deaton demostró que el análisis individual de los comportamientos de consumo es fundamental para entender la dinámica de los agregados.

Bienestar y pobreza

En décadas más recientes, su investigación se centró en cómo mejorar la medición de la pobreza y del bienestar, así como en analizar los factores determinantes de ambos. Notó que el consumo es una medida mucho más adecuada del bienestar de las personas que su ingreso, sobre todo en los países en desarrollo, en los que la variabilidad de los ingresos dificulta medir la pobreza de los hogares. Sobre la base de los avances que había realizado en materia de teoría del consumo, ideó formas de tomar como fuente fundamental de información los relevamientos de datos sobre comportamientos individuales.

Su libro *The Analysis of Household Surveys* es hoy lectura obligada en cualquier curso sobre desarrollo, desigualdad y pobreza. Abarca toda la serie de problemas que enfrenta un analista para medir la pobreza de una forma que permita no solo la comparación internacional sino, también, la comparación en el tiempo. Sus aportes metodológicos ayudan a resolver problemas prácticos de manera simple, pero basada en sólida teoría económica. Algunos ejemplos son sus análisis sobre las escalas de equivalencia entre distintos miembros de un hogar, la construcción adecuada de un índice de precios que permita comparaciones homogéneas en las estadísticas de pobreza y el uso de seudopaneles (un método que permite acoplar encuestas que no realizan seguimientos de los hogares en el tiempo) para estudiar la dinámica de fenómenos asociados con la pobreza en países en desarrollo.

Es posible destacar tres líneas fundamentales en los múltiples temas abordados por Deaton en esta etapa de su producción: la relación entre ingresos y nutrición, las trampas de la pobreza (es decir, el círculo vicioso alimentado por desnutrición y baja productividad laboral) y la discriminación de género en el hogar. Las dos primeras permiten entender las consecuencias de la desnutrición sobre la dinámica de los ingresos de los hogares y la efectividad de las políticas de ingresos para mejorar la nutrición familiar. La tercera línea intenta establecer si la forma en que los padres asignan los recursos del hogar es injusta por dar prioridad a los hijos varones.

Angus Deaton procuró acercar la teoría económica más abstracta a los datos de la realidad. El mayor acceso actual a todo tipo información hace que la investigación económica, tanto académica como dirigida a la acción, requiera en forma obligada fundamentar sus enfoques teóricos en datos empíricos. En esto, Deaton fue un gran pionero cuyas investigaciones ayudaron a transformar campos fundamentales de la microeconomía, la macroeconomía y, sobre todo, del análisis del desarrollo humano. CH

LECTURA SUGERIDA

DEATON A, 1997, *The Analysis of Household Surveys: A microeconometric approach to development policy*, Banco Mundial, Washington DC. Accesible en *http://documents. worldbank.org/ curated/en/1997/07/694690/analysis-household-surveys-microeconometric-approach-development-policy.*

Javier Alejo
Doctor en economía, UNLP.
Investigador asistente del Conicet en el Centro de Estudios Distributivos Laborales y Sociales, FCE, UNLP.
Profesor adjunto, UNLP.
javier.alejo@depeco.econo.unlp.edu.ar

Jaime García NÚMERO 38, Enero-junio de 2016

GUÍA del cielo NOCTURNO

Cómo utilizar esta nueva versión de la guía

El objetivo es que esta guía sea útil para toda la Argentina, de modo que las horas utilizadas están en hora legal argentina, correspondiente al huso horario -3; sin embargo, la salida, culminación y puesta del Sol y otros fenómenos como tránsitos y eclipses están calculados para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y por lo tanto deben realizarse las correcciones correspondientes. Hemos sido más concisos en la versión impresa de modo que si se desea una mayor explicación será necesario recurrir a la versión en línea *http://cienciahoy.org.ar/guia-del-cielo/*. A continuación, se ha incluido un glosario para facilitar la comprensión de la terminología utilizada. En la tabla de visibilidad de los planetas incluimos, para los planetas exteriores, la constelación donde se lo puede localizar a mediados del mes. Para cada mes, incluimos una lista de constelaciones seleccionadas, con sus respectivos objetos difusos destacados para observar en las noches oscuras del mes, próximas a la Luna nueva.

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA GUÍA

Planetas interiores: son los que tienen órbitas entre el Sol y la Tierra: Mercurio y Venus.

Planetas exteriores: son los que tienen órbitas más distantes al Sol que la de la Tierra: Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Conjunción: cuando es entre planetas o entre la Luna y planetas se trata de una aproximación aparente en el cielo que, generalmente, produce un fenómeno interesante para ser observado. La conjunción de un planeta interior con el Sol puede ser inferior, en ese caso el planeta está alineado entre el Sol y la Tierra, o superior, en cuyo caso el planeta se alinea con la Tierra y el Sol pero está por detrás de este.

Oposición: momento en la órbita de un planeta exterior en que se alinean el Sol, la Tierra y el planeta, lo que produce su momento más favorable de observación, ya que el planeta es visible toda la noche.

Perihelio: momento en la órbita de un planeta en que su distancia al Sol es mínima.

Afelio: momento en la órbita de un planeta en que su distancia al Sol es máxima.

Máxima elongación: momento en la órbita de un planeta interior en que se produce la mayor separación con el Sol observado desde la Tierra. Si fuere al este, el planeta será observado al anochecer; si fuere al oeste, durante el amanecer. Estos momentos son los más favorables para la observación de estos planetas.

Equinoccio: se produce cuando el Sol, en su trayectoria aparente en el cielo, llamada *eclíptica*, cruza el ecuador celeste, que es la proyección del plano ecuatorial de la Tierra en el cielo. En el equinoccio de otoño austral lo cruza de sur a norte, mientras que en el de primavera austral lo hace de norte a sur.

Solsticio: el de invierno se produce cuando el Sol alcanza la menor separación posible respecto del punto cardinal norte al mediodía solar que, por cierto, no coincide con la hora civil de las 12 del mediodía, sino con el momento cuando el Sol cruza el meridiano del lugar, que se determina uniendo los puntos cardinales norte y sur. En el de verano, por el contrario, el Sol alcanza la mayor separación posible respecto del punto cardinal norte, siempre al mediodía solar.

Lluvias de meteoros: un meteoro se produce por el ingreso de una partícula de polvo en la atmósfera de la Tierra. El meteoro puede ocurrir eventualmente o acompañado de otros. Cuando sucede de manera eventual se dice que es un *meteoro esporádico*. Cuando llega asociado a otros, se identifica como una *lluvia de meteoros.* Cuando se observa una de estas lluvias, por un efecto de perspectiva, los trazos parecen surgir de un punto específico de la bóveda celeste, al que se conoce como *radiante*. Este se identifica con el nombre latino de la constelación de donde parece surgir. En este sentido, un radiante de lluvia de meteoros cuya proyección sobre el fondo estrellado coincide con la constelación de Cetus (la Ballena) recibe el nombre de Cétidas. Las lluvias de meteoros están asociadas, generalmente, a la trayectoria orbital de algún asteroide o cometa y, por lo tanto, ocurren en diferentes épocas del año, cuando se dice que están *activas*. Esa actividad tiene un pico *máximo* que es la fecha en que se destaca la radiante en esta guía. La actividad máxima se establece a través de un valor llamado *tasa horaria cenital* (THZ), que indica el número aproximado de meteoros que puede ser visible por hora, en un cielo oscuro, pasando por el cenit.

Eclipses: en los eclipses están involucrados el Sol, la Luna y la Tierra. Un *eclipse de Sol* se produce cuando la Luna se interpone entre el Sol y la Tierra. Si lo cubre totalmente, será un *eclipse total*; si lo hace parcialmente, pero no completamente alineado, será un *eclipse parcial.* Si se alinean completamente pero el diámetro lunar no alcanza a cubrir todo el disco solar, será un *eclipse anular.* Un *eclipse lunar* ocurre cuando la Luna se sumerge en las sombras que proyecta la Tierra en el espacio que están compuestas por dos conos, uno convergente, llamado *umbra,* y otro divergente llamado *penumbra*. El eclipse lunar será *total* cuando la Luna se sumerja completamente en la umbra; será *parcial* cuando se sumerja parcialmente en la umbra y será *penumbral* cuando lo haga solo en la penumbra.

2016	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Mercurio	No visible	Crepúsculo matutino	No visible	Crepúsculo vespertino	No visible	Crepúsculo matutino
Venus	De 3:30h al amanecer	De 4h al amanecer	Crepúsculo matutino	No visible	No visible	No visible
Marte	De 1:30h al amanecer en Virgo	De 0:30h al amanecer en Libra	De 23h al amanecer en Libra	De 21:30h al amanecer en Scorpius	De 19:30h al amanecer en Scorpius	Toda la noche en Libra
Júpiter	De 0h al amanecer en Virgo	De 22h al amanecer en Leo	Toda la noche en Leo	Del anochecer a 4h en Leo	Del anochecer a 2h en Leo	Del anochecer a 0h en Leo
Saturno	De 4h al amanecer en Ophiuchus	De 2h al amanecer en Ophiuchus	De 0:30h al amanecer en Ophiuchus	De 22:30h al amanecer en Ophiuchus	De 20:30h al amanecer en Ophiuchus	Toda la noche en Ophiuchus
Urano	Del anochecer a 0:30h en Pisces	Del anochecer a 22:30h en Pisces	Crepúsculo vespertino en Pisces	No visible	De 6h al amanecer en Pisces	De 4h al amanecer en Pisces
Neptuno	Del anochecer a 23h en Aquarius	Crepúsculo vespertino en Aquarius	No visible	De 5h al amanecer en Aquarius	De 3h al amanecer en Aquarius	De 1h al amanecer en Aquarius

ENERO

DJ 2457389 (ENERO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 05:45 (15) 05:57

Puesta (1) 20:10 (15) 20:09

2 02:32	**9** 22:32	**16** 20:28	**23** 22:46

2	La Tierra pasa por su perihelio: 147.099.713 kilómetros (0,98330UA) a las 20h.
8	Mercurio pasa por su perihelio a las 15h.
9	Conjunción entre Venus y Saturno (separación: 5,1') a la 1h12m.
14	Mercurio en conjunción inferior con el Sol a las 11h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 9/1)

Selección de constelaciones visibles en enero (1/1 a las 23h, 15/1 a las 22h, 30/1 a las 21h) Del cielo austral: Dorado, Pictor, Mensa y Columba. **Del boreal:** Taurus.

Objetos destacados: en Dorado y Mensa, destaca la Nube Mayor de Magallanes, con su maravillosa nebulosa Tarántula (NGC 2070), una región accesible a un buen par de binoculares o a un pequeño telescopio (6 a 12,5cm de apertura). En Columba destaca un pequeño cúmulo globular NGC 1851, accesible a telescopios de 15cm o más. En Pictor encontramos la estrella doble iota Pictoris, bastante brillante y fácil de separar con pequeños instrumentos. Ya Taurus presenta varios objetos interesantes, partiendo por las Híades y las Pléyades (las famosas 7 cabritas o 7 hermanas), dos cúmulos galácticos visibles a ojo desnudo. A ellas se suma la nebulosa M1, remanente de supernova, que es un objeto desafiante para telescopios de entre 15 y 20cm de apertura.

FEBRERO

DJ 2457420 (FEBRERO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 06:14 (14) 06:27

Puesta (1) 20:00 (14) 19:49

1 00:29	**8** 11:40	**15** 04:48	**22** 15:22

6	Mercurio en máxima elongación oeste (25,55°), a las 22h.
8 a 9	Máximo de la lluvia de meteoros alfa Centauridas (ACE); activas entre 28/1 y 21/2; THZ entre 6 y 25; radiante entre alfa y beta Centauri. La favorece la Luna nueva.
28	Neptuno en conjunción con el Sol a las12h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 8/2)

Selección de constelaciones visibles en febrero (1/2 a las 23h, 15/2 a las 22h, 29/2 a las 21h) Orion, Monoceros, Canis Major y Lepus.

Objetos destacados: en el llamado 'puñal' de Orion, encima del asterismo de las 'Tres Marías', es posible encontrar a la gran nebulosa M42, envolviendo al joven grupo 'Trapecio' y junto a ella a M43, todo esto visible con un pequeño telescopio o, incluso, con binoculares (a partir de 7 x 50 – 7 aumentos y 50mm de apertura). En Canis Majoris encontramos el cúmulo galáctico M41. En Monoceros destacan dos nebulosas asociadas a cúmulos galácticos, Roseta (NGC2244), objeto desafiante para un telescopio de menos de 20cm de apertura y la del Cono (NGC2264), la muy famosa 'Pilares de la creación' del telescopio Hubble. En Lepus, señalamos el cúmulo globular M79.

Esta imagen a color de la región conocida como NGC 2264 –una sector del cielo que incluye los 'adornos' azul brillante del grupo de estrellas 'árbol de Navidad' fue creada con información capturado a través de cuatro filtros diferentes (B, V, R y H-alpha) con el Wide Field Imager del Observatorio Europeo del Sur en La Silla, a 2400m de altura en el desierto de Atacama, en Chile, a los pies de los Andes. La imagen muestra un sector del espacio de un ancho aproximada de 30MA. Wikimedia Commons

MARZO

DJ 2457449 (MARZO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 06:41
(15) 06:53

Puesta
(1) 19:31
(15) 19:12

1 20:12 | **8** 22:56 | **15** 14:04 | **23** 09:03 | **31** 12:18

8	Júpiter en oposición al Sol a las 7h.
8	Eclipse total de Sol que no será visible en Argentina, solo en Borneo y Sumatra (22h58m).
14	Máximo de la lluvia de meteoros gamma Nórmidas (GNO); activas entre 25/2 y 28/3; THZ 6; radiante próxima a gamma Normae. Favorecida por la Luna creciente.
20	Equinoccio de otoño, en el hemisferio sur, de primavera en el norte, a la1h31m17s.
23	Eclipse penumbral de Luna, de magnitud = 0,76, a las 8h47m.
23	Mercurio en conjunción superior con el Sol, a las 17h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 8/3)

Selección de constelaciones visibles en marzo (1/3 a las 23h, 15/3 a las 22h, 31/3 a las 21h). Del cielo austral: el grupo del navío Argos: Carina, Vela, Puppis. **Del boreal: Cancer.**

Objetos destacados: se destacan la región de eta Carina, con su bella nebulosa NGC 3372, y los cúmulos galácticos NGC 3293 y 3532, los más brillantes. Además, en el asterismo del Rombo, el muy notable cúmulo galáctico llamado 'Pléyades australes'. Todo esto accesible con binoculares o pequeños telescopios. En Vela se encuentra un bello y destacado cúmulo globular, NGC 3201. En Puppis destacamos los cúmulos galácticos M46 y M47. En cuanto a Cancer, lo más notable es el bello cúmulo M44, el 'Pesebre' o la 'Colmena', al que se percibe a simple vista.

ABRIL

DJ 2457480 (ABRIL 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 07:06
(15) 07:17

Puesta
(1) 18:49
(15) 18:30

07 08:25 | **14** 01:01 | **22** 02:25 | **30** 00:30

9	Urano en conjunción con el Sol, a las18h.
18	Mercurio en máxima elongación este (19,92°), a las 11h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 7/4)

Selección de constelaciones visibles en abril (1/4 a las 23h, 15/4 a las 22h, 30/4 a las 21h). Del cielo austral, del grupo de Keyser y Hountman: Pavo, Muscae, Triangulum Australe. **Del boreal:** Leo.

Objetos destacados: en Triangulum Australe, destaca NGC6025, un cúmulo estelar abierto brillante; Pavo, a su vez, posee a NGC6752, un hermoso y brillante cúmulo globular, ambos para pequeños telescopios. Ya en Muscae algunos cúmulos galácticos algo más débiles, para telescopios de 15cm de apertura o más: NGC4463 y 4815. En Leo nos encontraremos con una gran cantidad de galaxias, accesibles a instrumentos medianos (entre 114 y 150mm de apertura). Destacan las espirales M95, M96, NGC 3521 y el bello triplete formado por M65, M66 y NGC 3628. Por el lado de las galaxias elípticas, el sitial de honor lo lleva M105.

MAYO

DJ 2457510 (MAYO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 07:30 (15) 07:41

Puesta (1) 18:12 (15) 18:00

6 16:31 | **13** 14:04 | **21** 18:15 | **29** 09:13

5	Máximo de la lluvia de meteoros eta Aquaridas (ETA); activa entre 19/4 y 28/5; THZ entre 40 y 85; radiante próxima a eta Aquarii. Favorecida por la Luna nueva.
6 a 9	Star Party Valle Grande 12ª edición *http://institutocopernico.org/starparty.php*
9	Tránsito de Mercurio por el disco del Sol, comienza un poco después de las 8 y termina alrededor de las 15:40hs.
9	Mercurio en conjunción inferior con el Sol, a las 12h.
22	Marte en oposición al Sol, a las 8h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 6/5)

Selección de constelaciones visibles en mayo (1/5 a las 22h, 15/5 a las 21h, 30/5 a las 20h) Hydra y Corvus.

Objetos destacados: la extensa constelación de Hydra presenta la galaxia espiral quizá más bella del cielo austral, M83. Otro objeto notable de Hydra es la nebulosa planetaria 'Fantasma de Júpiter', NGC3242. Ambos son perfectos para un telescopio de 20cm de apertura. En Corvus destaca delta Corvi, una estrella doble muy accesible a pequeños telescopios, y el par de galaxias en colisión 'Antena', NGC4038/9, desafiante para telescopios de 20cm de apertura. En el límite con la constelación de Virgo reside una de las más notables galaxias espirales vistas de canto, la famosa *Galaxia del Sombrero*, M104.

JUNIO

DJ 2457541 (JUNIO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 07:52 (15) 07:59

Puesta (1) 17:51 (15) 17:50

5 00:01 | **12** 05:11 | **20** 08:03 | **27** 15:20

3	Saturno en oposición al Sol a las 3h.
5	Mercurio en máxima elongación oeste (24,18°), a las 6h.
6	Venus en conjunción superior con el Sol a las 19h.
20	Solsticio de invierno, en el hemisferio sur, verano en el norte, a las 19h35m23s.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 5/6)

Selección de constelaciones visibles en junio (1/6 a las 22h, 15/6 a las 21h, 30/6 a las 20h). Del cielo austral: Centaurus y Crux. **Del boreal:** Virgo. Objetos destacados: en Centaurus destacan el gigantesco cúmulo globular Omega Centauri y, muy próxima a él, la galaxia peculiar NGC5128. En Crux tenemos a alfa, una notable estrella doble, y al bello cúmulo galáctico kappa Crucis el 'Joyero'. En Virgo nos encontraremos con una gran cantidad de galaxias, accesibles a instrumentos medianos (entre 150 y 200mm de apertura), entre las espirales tenemos a M90, M58 y NGC 5068, entre las elípticas e irregulares están M87, M49 o M60.

Jaime García

Doctor en matemática aplicada, Universidad Federal de Minas Gerais.
Profesor del Instituto de Enseñanza Superior Dr Salvador Calafat, General Alvear, Mendoza.
Director del observatorio astronómico del Instituto Copérnico, Rama Caída, Mendoza.
jgarcia@institutocopernico.org

Esta imagen del telescopio espacial Hubble de las galaxias Antennae (NGC 4038 y 4039) es la mas nítida conocida hasta ahora de ese par de galaxias en fusión. En el transcurso de la colisión se formarán billones de estrellas. Las más brillantes y más compactas de estas regiones de formación de estrellas se denominan grupos de superestrellas.
Estas dos galaxias comenzaron a interactuar hace unos pocos cientos de millones de años, siendo estas galaxias Antennae uno de los ejemplos más recientes y cercanos de pares de galaxias en colisión. Casi la mitad de los objetos con menor brillo son grupos recientes que contienen decenas de miles de estrellas. Los objetos naranja a la derecha e izquierda del centro de la imagen son los dos núcleos de las galaxias originales y consisten principalmente en estrellas antiguas intersectadas por filamentos de polvo, que aparecen marrón en la imagen. Las dos galaxias están salpicadas por sectores de formación de estrellas azul brillante, rodeados por nubes de gas hidrógeno brillante, que se aprecian en color rosado. Wikimedia Commons.

LLEGÓ CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

chicos@cienciahoy.org.ar

CHicosdeCienciaHoy

www.cienciahoy.org.ar

Tel-fax (011) 4961 1824 y 4962 1330

Nicolás Bonadeo, Jefe del Departamento de Física Aplicada y Ensayos No Destructivos.

130 profesionales, 249.600 horas de investigación al año.

Desde el Centro de Investigación Industrial de Tenaris en Campana se mejoran los procesos en planta mientras se estudia e investiga el producto junto a usted. Para que pueda contar con la mejor respuesta de nuestros productos hasta en la más exigente de sus operaciones. Porque para que pueda llegar lejos, necesitamos estar más cerca.

Tecnología en el producto. **Innovación en el servicio.**

www.tenaris.com/argentina

Tenaris