CIENCIA HOY

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

Ejemplar en la Argentina $80

Volumen 25 número 149 mayo - junio 2016

Cambio climático

Bicentenario de la independencia

Ondas gravitacionales

Guía del cielo nocturno

ISSN 0327-1218

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, 5º 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
Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján

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

Roy Hora
Universidad Nacional de Quilmes-Conicet

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

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
Guillermo Abramson (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, $ 520 (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
Nº 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
Latingráfica SRL
Rocamora 4161
(C1184ABC) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

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

COMISIÓN DIRECTIVA

Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek –en uso de licencia–, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

MECENAZGO CULTURAL
Buenos Aires Ciudad

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

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

Sumario

Mayo - junio 2016
Volumen 25 - número 149

EDITORIAL

4 Labrar el Antropoceno
A propósito del cambio climático

6 GRAGEAS

CIENCIA EN EL MUNDO

7 Las ondas gravitacionales
Un triunfo del ingenio humano
Carlos Kozameh

Con la teoría de la relatividad general, Einstein cambió la manera de la ciencia de concebir el fenómeno natural que llamamos gravedad. En lugar de tratarla, según Newton lo había hecho a fines del siglo XVII, como una fuerza por la que los cuerpos con masa interactúan a distancia, la presentó como una alteración del espacio causada por esos cuerpos. Así logró explicar ciertos fenómenos que habían sido observados para los que la teoría de Newton no tenía explicación, e incluso sugerir la existencia de otros que no habían sido observados. También predijo la existencia de ondas gravitacionales que se propagan a la velocidad de la luz. Esto último se comprobó experimentalmente hace poco.

ARTÍCULO

12 Reflexiones sobre la declaración de la independencia
Qué significaba en 1816 constituir una nación libre e independiente
Marcela Ternavasio

A menudo se oye afirmar que en 1816 el Congreso Constituyente de Tucumán proclamó la independencia de la Argentina. Pero, en realidad, se refirió a las Provincias Unidas de Sudamérica (en otros casos llamadas Provincias Unidas del Río de la Plata), pues el concepto de Nación o República Argentina solo cobró realidad jurídica y vigencia lingüística en la década de 1860. ¿Nació una nueva nación en 1816? La respuesta depende del significado que se dé al antiguo concepto de nación, el que fue cambiando a lo largo de los siglos, en especial en el siglo XIX, cuando tomó preeminencia el sentido de Estado nacional soberano, en contraposición con el tradicional de grupo étnico y lingüístico.

ESPACIO INSTITUCIONAL

23 CONICET dialoga

SECCIÓN TEMÁTICA

29 Cambio climático

31 Tendencias del clima en la Argentina
Carolina Vera

Los científicos procuran determinar la magnitud y las consecuencias del cambio climático global que, según la mejor evidencia disponible, enfrenta la humanidad. Para ello analizan las tendencias observadas del clima durante el último siglo sobre la base de datos de la red mundial de registros meteorológicos, y emplean complejos modelos matemáticos, que requieren gran capacidad de procesamiento por computadora, con los que anticipar las tendencias probables en las décadas próximas. Investigadores locales hacen esos estudios para el caso particular del territorio argentino.

36 La Argentina y el acuerdo internacional sobre cambio climático
Vicente Barros

Las negociaciones entre países en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que vienen teniendo lugar desde 1990, permitieron arribar a un acuerdo legalmente vinculante entre prácticamente todas las naciones del mundo. Ello aconteció en la 21ª Conferencia de las Partes celebrada en París a comienzos de diciembre de 2015. Los países desarrollados se comprometieron a reducir sus emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero con relación a las de algún año pasado. Por ejemplo, la Comunidad Europea se comprometió a disminuirlas en 40% con respecto a 1990, y los Estados Unidos, con mucha menor ambición, en 27% para 2025 con respecto a 2005. Los países en desarrollo tomaron por lo general el compromiso de que, en algún momento futuro, por lo común, 2030, sus emisiones sean entre 15% y 40% menos de lo que serían entonces si no tomaran medidas.

SECCIÓN TEMÁTICA

42 **Energía y cambio climático**

Hernán Carlino, Daniel Perczyk y Gerardo Rabinovich

La relación entre uso de energía y cambio climático está bien establecida. La mayor parte del consumo energético mundial se debe a la generación eléctrica y al transporte, que principalmente emplean como fuentes de energía a hidrocarburos fósiles (petróleo, gas y carbón), cuya combustión libera a la atmósfera los gases –en especial, CO_2– causantes del efecto invernadero y, por ende, del calentamiento global. ¿Qué caminos hay para limitar e incluso disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, satisfacer las demanda de energía de un mundo cuya población crece y accede a mejores niveles de vida y consumo?

49 **Cambio climático y recursos hídricos**
El caso de las tierras secas del oeste argentino

Ricardo Villalba, José A Boninsegna, Mariano H Masiokas, Leandro Cara, Mario Salomón y José Pozzoli

Al pie de los Andes centrales, en las provincias de Mendoza y San Juan, más del 95% de la población se concentra en áreas irrigadas que ocupan alrededor del 4% de su territorio, dado que el resto se compone de tierras áridas. El agua de riego proviene de ríos y arroyos que bajan de la cordillera, alimentados principalmente por el deshielo de las nieves que caen sobre la montaña en invierno. Pero la cantidad de nieve varía marcadamente de año en año, y a esto se agregan los efectos del cambio climático que, según estiman los meteorólogos, incluirán una disminución de las precipitaciones invernales en la alta montaña y un aumento de las lluvias de verano en el área seca hacia el este. ¿Qué hacer para enfrentar la situación?

56 **Economía del cambio climático**

Sebastián Galiani

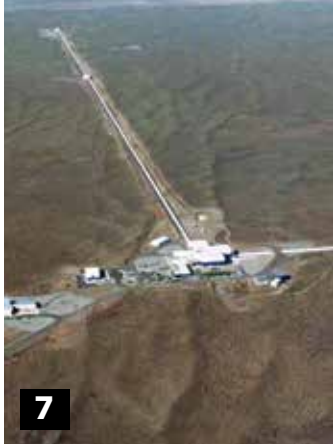
Los individuos, las empresas o las naciones que emiten a la atmósfera gases de efecto invernadero u otros contaminantes ocasionan cambios en esta cuyas consecuencias no son los únicos en soportar, pues afectan a todos los demás. En otras palabras, quienes contaminan no pagan todos los costos de la contaminación y, en consecuencia, contaminan más de lo que lo harían si tuvieran que pagarlos en su totalidad. De la misma manera, quienes disminuyen la contaminación no cosechan todos los beneficios de su esfuerzo. ¿Qué dice la ciencia económica al respecto?

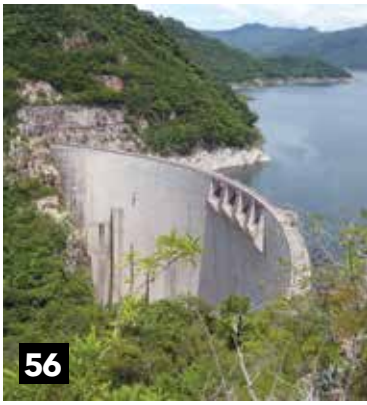
ASTRONOMÍA

61 **Guía del cielo nocturno**

Número 39, julio-diciembre de 2016

Jaime García





Labrar el Antropoceno
A propósito del cambio climático

La historia de la vida sobre la Tierra es un relato de cambios en cuyo centro está la evolución. Las evidencias del proceso evolutivo no siempre fueron interpretadas de manera única ni tampoco hubo un único criterio en la explicación de los mecanismos evolutivos. Por otro lado, no solo cambiaron los seres vivos: hubo cambios geológicos, en los mares y en la atmósfera. Algunos de esos cambios fueron graduales, como el movimiento de las placas de la corteza terrestre o la modificación de los gases que componen la atmósfera, mientras que otros fueron abruptos, como los desencadenados por sucesos catastróficos del tipo de impactos de meteoritos o gigantescas erupciones volcánicas.

A fines del siglo XVIII y principios del XIX comenzó a tomar fuerza una idea, resistida en sus inicios y hoy ampliamente aceptada sobre la base de abundante evidencia fósil (más algunos ejemplos contemporáneos relacionados con la actividad humana). Nos referimos a la extinción masiva de especies, enfocada al principio en animales y luego ampliada a otras formas de vida. Se comprende que tardara en aceptarse, pues implicaba un cambio abrupto del modo de pensar, no compatible con las concepciones de la época, tanto las evolucionistas como las que no aceptaban la evolución.

El registro fósil da cuenta de numerosas extinciones, cinco de las cuales fueron grandes extinciones en masa que marcan límites en las divisiones del tiempo geológico y ayudan a interpretar la historia de la vida sobre la Tierra. La primera extinción en masa, según las investigaciones paleontológicas, ocurrió hace unos 444 millones de años (en el límite Ordovíceo-Silúrico), la segunda tuvo lugar hace 359 millones de años (Devónico-Carbonífero), la tercera hace 252 millones de años (Pérmico-Triásico), la cuarta hace 210 millones de años (Triásico-Jurásico) y la última, la más conocida por el público debido a la desaparición de gran número de enormes reptiles, entre ellos dinosaurios, ocurrió hace 66 millones de años (Cretácico-Paleoceno). Algunas de estas extinciones se relacionan con cambios graduales y otras con eventos catastróficos, y se discuten los posibles escenarios en los que ocurrió cada una. En todas se evidencia la reducción de una gran cantidad de las especies vivientes y la desaparición completa de grupos taxonómicos.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	COMIENZO
Cenozoica	Cuaternario	¿Antropoceno?	siglo XX
		Holoceno	0,012
		Pleistoceno	2,6
	Neógeno	Plioceno	5,3
		Mioceno	23,0
	Paleógeno	Oligoceno	33,9
		Eoceno	56,0
		Paleoceno	66,0
Mesozoica	Cretácico		145,0
	Jurásico		201,3
	Triásico		252,2
Paleozoica	Pérmico		298,9
	Carbonífero		358,9
	Devónico		419,2
	Silúrico		443,8
	Ordovíceo		485,4
	Cámbrico		541,0

Eras, períodos y épocas geológicas. Las cifras de inicio de cada etapa están en millones de años antes del presente. El valor mayor marca el inicio del Paleozoico, posterior en más de 3000 millones de años al comienzo estimado de la vida en la Tierra. Comisión Internacional de Estratigrafía.

El estado actual de nuestros conocimientos deja muchas dudas sobre la forma en que acaeció cada extinción, y todas ellas son objeto de discusión y de hipótesis alternativas. Aun sobre la causa principal de la extinción masiva más cercana, posiblemente aquella de la que más se sepa, se barajan tres hipótesis: que haya sido producto de la caída de un gigantesco meteorito en lo que hoy es la península de Yucatán (más aceptada), o que la hayan desencadenado enormes erupciones volcánicas en lo que es la actual India, continuadas por miles de años, o que hayan operado ambas causas. De la misma manera, no está claro el tiempo que tardó cada proceso en desenvolverse, pero para todas las extinciones existen sólidas evidencias.

Si bien todo organismo vivo afecta y modifica el ambiente en el que vive, ninguna extinción masiva de las mencionadas puede ser atribuida a la actividad de una especie o a un grupo particular. Algunos organismos, sin embargo, modificaron la vida en la Tierra, como ocurrió con los que adquirieron la capacidad de realizar fotosíntesis y provocaron la progresiva acumulación de oxígeno en la atmósfera. Otros modifican su entorno local, como es el caso de los corales con la formación de arrecifes. Sin embargo, ningún organismo puede ser consciente de los cambios ambientales que produce, ni de sus efectos a mediano y largo plazo sobre la supervivencia de su propio grupo. Ninguno, salvo nosotros.

Los ejemplos de especies extinguidas a lo largo de los siglos por la actividad humana son numerosos, como lo son las que hoy están en peligro. Esta realidad generó una conciencia colectiva y forjó preceptos morales sobre nuestro deber en cuanto a la preservación de la vida. La humanidad desembocó, en consecuencia, en el concepto de que es necesario tomar medidas para proteger los sistemas naturales, y ha puesto en marcha en las últimas décadas un número importante de acciones encaminadas a limitar o excluir la actividad humana en ciertas áreas terrestres o marinas, reglamentar y vedar el uso de determinadas sustancias, prohibir y hasta criminalizar la caza de algunos animales y el comercio de los productos obtenidos de ellos. Con estas iniciativas se ha logrado detener alguna degradación y hasta recuperar ciertos ecosistemas, y se ha evitado la desaparición de determinadas especies.

Al mismo tiempo que aconteció lo anterior, también hemos tomado conciencia del cambio climático al que están dedicados varios artículos de este número, sobre cuya existencia, así como su origen principalmente antrópico, existen evidencias abundantes y robustas, que han sido aceptadas por la mayoría de los científicos, y crecientemente por la opinión pública. Se oyen, sin embargo, voces escépticas, que ponen énfasis en el margen de incertidumbre existente acerca de los efectos del fenómeno en el mediano y el largo plazo, las que se difunden reforzadas por las de los intereses a los cuales afectan las medidas preventivas o paliativas ya en proceso de aplicación. Para dar un solo ejemplo de dichas evidencias, hemos advertido indicios de que hoy se estaría produciendo una acidificación de los océanos como resultado del incremento del contenido de CO_2 en la atmósfera. Ese cambio de pH del agua caracterizó a dos de las cinco grandes extinciones precedentes y es una alteración que hace desaparecer a organismos biocalcificantes como los corales, incapaces de vivir en un medio más ácido, produce la pérdida del equilibrio ecológico de los ambientes marinos y la consecuente reducción drástica del número de especies que los integran.

Como consecuencia de lo expuesto, en las últimas décadas se discute en los círculos académicos si estaremos ante una sexta extinción masiva. Y si, por consiguiente, estaríamos pasando del Holoceno (última época del Cuaternario, comenzada hace unos 12.000 años) a una nueva época, labrada por la especie humana, que recibió el nombre de Antropoceno.

Hay varias versiones sobre cómo y quién originó el término. Entre los responsables que se mencionan están científicos soviéticos de la década de 1960 y el biólogo estadounidense Eugene Stoermer (1934-2012), profesor de la Universidad de Michigan, que lo habría utilizado hacia 1980. Su popularización comenzó con su empleo en 2000 por el químico holandés Paul Curtzen, ganador en 1995 del premio Nobel por sus trabajos sobre la formación y descomposición del ozono atmosférico.

En concordancia con lo anterior, un artículo aparecido en *Science* en enero de este año (Colin Waters *et al.*, 'The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene', 351, 6269: aad2622, doi *10.1126/science.aad2622*) examinó los rastros de la actividad humana en sedimentos y glaciares, los cuales –concluyó– llevan a pensar que desde mediados del siglo XX sería adecuado hablar de una nueva época geológica en reemplazo del actual Holoceno.

Hoy nos enfrentamos con una realidad de la que no tenemos escapatoria: somos los responsables de nuestro destino inmediato y, con él, del de la vida en la Tierra. Inevitablemente labraremos el Antropoceno que, a diferencia de otros períodos, se caracterizará por la posibilidad de que podamos prever las consecuencias de los cambios y permitir que quienes sean responsables de dirigir las naciones tomen medidas. Como divulgadores científicos nos corresponde presentar las evidencias de forma rigurosa y al alcance de todos, para poder reflexionar y planificar conscientemente un futuro sustentable. CH

LECTURA SUGERIDA

KOLBERT E, 2014, *The Sixth Extinction: An unnatural history*, Henry Holt & Co, Nueva York.

¿Una vacuna universal contra la gripe?

Las epidemias anuales de gripe enferman gravemente en el mundo a entre 3 y 5 millones de personas y causan entre 250.000 y 500.000 muertes. La gripe, también conocida como influenza, es ocasionada por un virus de la familia *Orthomyxoviridae*. Se transmite por las gotitas exhaladas al toser o estornudar, o mediante contacto con otro material contaminado, y se caracteriza, como muchos habremos experimentado, por fiebre alta, tos, intenso malestar, abundante secreción nasal y dolores musculares, articulares, de cabeza y de garganta, que aparecen rápidamente y suelen desaparecer en la mayoría de los casos en una semana, sin necesidad de atención médica.

Sin embargo, niños pequeños, personas de edad avanzada y quienes padecen de afecciones crónicas como asma, EPOC o fibrosis pueden tener complicaciones graves, entre ellas neumonía, e incluso la muerte. Por ello la Organización Mundial de la Salud recomienda la vacunación anual de esas personas.

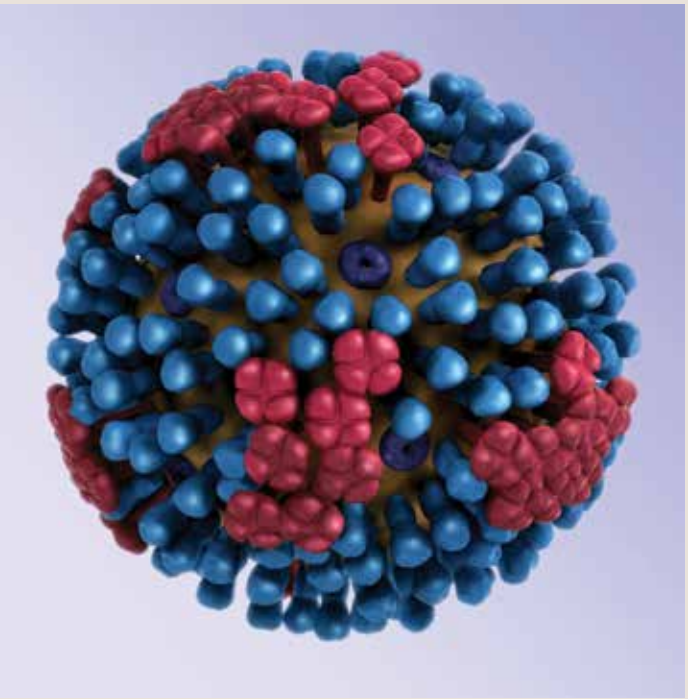
Hace más de sesenta años se vienen utilizando vacunas seguras y eficaces contra la enfermedad, que proporcionan protección razonable a adultos sanos. La vacuna habitual consiste en proteínas purificadas de los virus de las tres cepas que, según se anticipa, serán las más comunes en la siguiente epidemia. El efecto de la vacuna es preparar al sistema inmune para reaccionar contra los virus. Pero estos experimentan frecuentes y rápidas mutaciones –que son cambios en sus proteínas– y varía el predominio de una cepa sobre otras, por lo que la vacuna elaborada un año puede no ser eficaz al siguiente. Uno de los problemas que presenta elaborar la vacuna, justamente, es que las necesarias predicciones acerca de qué cepas del virus serán más frecuentes cada año, para producir con ellas las vacunas de ese período, pueden no resultar acertadas.

Recientemente, un equipo liderado por Ted M Ross creó en la Universidad de Georgia nueve prototipos experimentales de vacunas utilizando una técnica llamada COBRA (*Computationally Optimized Broadly Reactive Antigen*), mediante la cual se analizan computacionalmente secuencias genéticas de múltiples cepas de virus. De hecho, las vacunas fueron diseñadas para estimular al sistema inmune a reconocer virus aislados en los últimos cien años, pero pueden producir inmunidad contra virus de cepas no descubiertas.

Aparte de superar la necesidad de la vacunación anual y de predecir cada año qué cepas resultarán más frecuentes, este avance también permitiría fabricar vacunas en cualquier momento, ya que no sería necesario esperar el inicio de la epidemia anual para identificar las mutaciones y determinar las posibles cepas prevalentes.

Para más información: CARTER DM *et al.*, 2016, 'Design and characterization of a COBRA HA vaccine for H1N1 influenza viruses', *Journal of Virology*, 90, 9: 4720-4734, doi *10.1128/JVI.03152-15*.

Joaquín M Pellegrini
joaquinmpellegrini@gmail.com



Modelo de un virus de gripe, que en la realidad puede medir alrededor de 100 nanómetros (una fila de 10.000 virus como el ilustrado mediría 1mm). En amarillo, la superficie del virus, que está cubierta por proteínas como hemaglutinina (azul) y neuraminidasa (rojo). Estas se adhieren a estructuras de las membranas celulares llamadas receptores, por las cuales el virus ingresa en las células y causa la enfermedad. Cybercobra / Wikimedia Commons

Carlos Kozameh
Instituto de Física Enrique Gaviola,
Universidad Nacional de Córdoba

Las ondas gravitacionales

Un triunfo del ingenio humano

La formulación de la teoría de la relatividad general por parte de Albert Einstein en 1915 representó un cambio conceptual mayor en nuestra manera de explicar la interacción gravitacional. En lugar de concebirla, según Newton lo había hecho a fines del siglo XVII, como una fuerza por la que los cuerpos con masa interactúan a distancia, recurrió para explicarla a la idea de que el espacio y el tiempo podrían considerarse distintos de lo que indica el sentido común, que era también parte de la ciencia occidental desde Euclides. El espacio, así, tendría una geometría variable y dinámica, de suerte que se vería alterado en las proximidades de cualquier cuerpo astronómico, con la consecuencia de que las trayectorias de los rayos de luz (llamadas las *geodésicas* de la luz) se verían curvadas por la presencia de la materia. Algo similar ocurriría con el fluir del tiempo, el que no sería homogéneo para cualquier observador, sino que dependería de la presencia y magnitud de cuerpos astronómicos en su cercanía. Por eso los relojes internos de los satélites del

¿DE QUÉ SE TRATA?

Primero la predicción y luego la detección de las ondas gravitacionales fue una labor que combinó la matemática, la física y la ingeniería. Puede considerarse un triunfo del ingenio humano que comenzó en 1915 con la visión de una mente brillante y culminó un siglo después.

Vistas aéreas de los observatorios LIGO en Harnford, Washington (derecha) y en Livingston, Louisiana. Cada uno tiene dos brazos perpendiculares que se extienden por 4km.

sistema GPS que orbitan la Tierra a más de 20.200km de la superficie de esta (o más de 26.600km del centro del planeta), registran tiempos distintos de los medidos por los relojes terrestres, pues unos y otros están a diferentes distancias del centro de la gravitación terrestre.

Las elucubraciones teóricas de Einstein, hechas con el solo auxilio de lápiz y papel, parecieron poder explicar ciertos fenómenos que habían sido observados para los que la teoría de Newton no tenía explicación, e incluso sugirieron la existencia de otros que no habían sido observados, como dicho desvío de la luz. Con el correr de los años, se logró medir experimentalmente algunos de esos fenómenos, en ciertos casos con asombrosa precisión.

Hoy los científicos analizan la interacción gravitacional (o el *campo gravitacional*) mediante modelos matemáticos de un espacio abstracto de cuatro dimensiones (las tres habituales más el tiempo) que llaman el *espacio-tiempo*. La variación de la geometría del espacio-tiempo explica la gravitación: la ley que dicta su comportamiento está dada justamente por las ecuaciones de Einstein. Un ejemplo simple: si los planetas orbitan alrededor del Sol no es como consecuencia de una fuerza emanada de este que los mantiene en sus órbitas, sino debido a que la pre-

sencia del Sol, que posee el 99% de la masa de todo el sistema solar, modifica el espacio a su alrededor, como cuando hundimos con el dedo una membrana plana deformable. Los planetas, en consecuencia, se trasladan por un espacio que no es plano sino curvo, a semejanza del sector hundido de dicha membrana.

Podríamos también perturbar la superficie de la membrana (con un golpe, por ejemplo), en cuyo caso apreciaríamos cómo se generan vibraciones, que no son otra cosa que modificaciones de la geometría de la membrana. Así, el espacio matemático cuadridimensional que representa nuestro universo puede verse afectado por algún acontecimiento astronómico en el cual intervengan cuerpos muy masivos (la danza gravitacional de un par de agujero negros, por ejemplo), que dé origen a vibraciones en la geometría del espacio-tiempo.

Este carácter dinámico del espacio-tiempo es una de las grandes predicciones de la relatividad general einsteniana. Su corolario inmediato es que una perturbación de la geometría del espacio-tiempo debería propagarse como una onda. El mismo Einstein demostró este corolario en 1916, unos meses después de la formulación de su teoría. Dedujo que la pequeña perturbación de un espacio plano (es decir, desprovisto de materia masiva) que constituye el campo gravitacional se propaga en forma ondulatoria. Eso es lo que hoy llamamos *ondas gravitacionales*, que se desplazan con la velocidad de la luz.

Lo último era particularmente importante para Einstein, que en 1905, en su teoría de la relatividad restringida (la cual no incorporaba la gravitación), había postulado que las ondas electromagnéticas se propagan con velocidad constante en un espacio plano. Para la coherencia de ambas teorías era crucial que la perturbación gravitacional fuera también una onda (o sea, que verificara la llamada *ecuación de onda*), y que se propagara con la misma velocidad, es decir, lo que llamamos la velocidad de la luz.

Este hallazgo matemático de hace exactamente cien años constituyó el primer peldaño de una larga escalera de deducciones y descubrimientos que desembocó en la reciente detección directa de las tan buscadas ondas gravitacionales. Ello se realizó en dos observatorios construidos para tal fin en los Estados Unidos (respectivamente en Livingston, Louisiana, y Hanford, Washington) como parte de un proyecto internacional llamado LIGO (*Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory*, es decir observatorio de ondas gravitacionales por interferometría láser).

La construcción teórica, sin embargo, no estaba terminada en 1916: durante los siguientes dos años, Einstein continuó concentrado en sus novedosas ecuaciones. En 1918 publicó un par de resultados que también se revelaron cruciales para la reciente detección de LIGO. En primer lugar, calculó la llamada *fórmula cuadripolar*, una expresión matemática que vincula la forma de las ondas gravitacionales con las características de un sistema gravitacional aislado, como podría ser la fusión (o *coalescencia*) de un par de estrellas de un grupo binario, una supernova, etcétera. En segundo lugar, dedujo la relación que vincula la pérdida de masa de un sistema gravitacional con la energía transportada fuera del sistema por la onda saliente.

Estos resultados permitieron a los investigadores estudiar la dinámica de las fuentes astrofísicas que emiten las ondas gravitacionales ya que, una vez emitidas, dichas ondas no son alteradas en su viaje por el espacio-tiempo y llegan al observador con las características con que se originaron.

La pregunta que se podrá hacer el lector después de lo explicado es cómo se detectan las ondas gravitacionales. La respuesta proviene de la misma teoría de la relatividad general: si el campo gravitacional es una curvatura del espacio-tiempo que se propaga a la velocidad de la luz, basta con medir esa curvatura para detectar dichas las ondas.

Para hacerlo, una posibilidad es emplear detectores que no estén sometidos a ningún tipo de fuerza. Esos detectores describen las mencionadas trayectorias geodésicas en el espacio-tiempo, de las que son ejemplos los satélites que orbitan la Tierra, o también los astronautas cuando no están sujetos a su nave y se desplazan libres de fuerzas en el espacio. La teoría de Einstein permite demostrar que la aceleración relativa entre geodésicas vecinas es proporcional a la curvatura del espacio y a la distancia entre dichas geodésicas. En consecuencia, la medición de esta aceleración nos permite obtener la curvatura.

En este principio se basaron los físicos Ronald Drever (de origen escocés y profesor emérito del California Institute of Technology), y los estadounidenses Kip Thorne (también profesor emérito del Caltech) y Rainer Weiss (profesor emérito del Massachusetts Institute of Technology) para idear un método de detección de las ondas gravitacionales sin necesidad de abandonar la superficie de nuestro planeta. Consiste en montar un sistema interferométrico láser con brazos perpendiculares de varios kilómetros de longitud en cuyos extremos haya espejos muy sensibles aislados de toda interacción. El sistema permite detectar la aceleración relativa de unos espejos con relación a los otros, producida por ondas gravitacionales llegadas en forma perpendicular a los brazos del detector. Para aplicar el método, derivado de manera directa de la concepción geométrica del espacio-tiempo, nació el proyecto LIGO en 1988.

El esfuerzo tecnológico que demandó alcanzar los niveles adecuados de precisión fue tan grande que hasta septiembre de 2015 algunos miembros de LIGO (además de muchos físicos e ingenieros) dudaban de que las ondas gravitacionales llegasen alguna vez a ser medidas.

Ronald Drever

Kip Thorne

Rainer Weiss

Fue posible hacerlo usando una versión refinada de la mencionada fórmula cuadripolar, que data de 2015 y fue producto del trabajo pionero del matemático británico de origen austríaco Hermann Bondi (1919-2005) y de sus colaboradores en la década de 1960, perfeccionada en la década siguiente con los aportes de otros dos británicos, Roger Penrose y Stephen Hawking. Por esa vía fue posible definir matemáticamente con precisión los conceptos de agujero negro, masa y momento de una fuente aislada, así como la radiación gravitacional, y sobre la base de ellos obtener fórmulas exactas para la pérdida de masa y la variación del momento lineal de las fuentes a partir de la radiación gravitacional que emiten.

Por otra parte, el avance de los métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones de Einstein permitió en 2009 cómo se produce la coalescencia de dos agujeros negros. Esos resultados estaban listos en el momento de la detección de LIGO y fueron usados para determinar las masas y los espines de los agujeros negros iniciales, la masa y el espín final del agujero negro remanente y la radiación emitida. Esto se hizo mediante un refinado ajuste de los parámetros de la simulación con la señal observada.

Resulta difícil dar una estimación certera de la inmensa cantidad de personas que contribuyeron a lo largo de décadas para que esta detección de LIGO fuese posible. Sin duda, se trató de un notable triunfo de un esfuerzo de investigación científica que comenzó hace 100 años. Quizá la satisfacción más grande que un físico teórico puede tener es enterarse de la comprobación experimental de su teoría: de estar entre nosotros, Einstein habría recibido la noticia con una enorme sonrisa.

La detección de las ondas gravitacionales confirma que la gravitación es una interacción de la materia completamente diferente de las demás conocidas. Hoy los físicos no razonamos más sobre una fuerza gravitatoria como la imaginara Newton. Científicamente no concebimos más al espacio y al tiempo como aspectos separados del mundo material, sino como una única entidad: el espacio-tiempo. Y asignamos a este una geometría dinámica, en cuyo marco la materia curva el espacio y las perturbaciones que causa en el tejido espacio-temporal se propagan como ondas a la velocidad de la luz.

Podemos ahora soñar con los nuevos descubrimientos que LIGO y los futuros observatorios de ondas gravitacionales nos tienen reservados para el futuro, en contradicción con quienes se pronunciaron inicialmente contra el financiamiento de LIGO con el argumento de que solo serviría para comprobar la teoría de Einstein. Hoy advertimos que con estos observatorios podremos seguir de cerca la complicada dinámica de los agujeros negros y recopilar información observacional que colaborará a mejorar nuestra comprensión de la evolución estelar. ¡Bienvenidos a la era de la astronomía gravitacional! CH

LECTURAS SUGERIDAS

'Introducción a LIGO y a las ondas gravitacionales', en *http://www.ligo.org/sp/science/overview.php.*

GANGUI A (ed.), 2007, *El universo de Einstein*, Eudeba, Buenos Aires.

Los capítulos 'Olas espaciotemporales' escrito por Diego Harari y 'Gravitomagnetismo' escrito por el autor de este artículo se refieren al tema tratado acá.

Carlos Kozameh

Doctor (PhD) en física, Universidad de Pittsburgh.

Investigador principal del Conicet en el Instituto de Física Enrique Gaviola, UNC.

Profesor titular, UNC.

La CIENCIA en los CUENTOS 2016

El Instituto de Astronomía y Física del Espacio, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Asociación Civil Ciencia Hoy, con el auspicio del Programa de Promoción de la Lectura del Ministerio de Educación de la Argentina, el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (FCEYN-UBA) y el Área de Ciencias del Centro Cultural Borges, convocan a un concurso de cuentos cortos sobre temas científicos, con el objetivo de promover el interés de los jóvenes por la ciencia y por la literatura.

Se seleccionarán los tres mejores cuentos. El premio consistirá en la publicación en forma de libro de estos junto a los cuentos de otros siete participantes, quienes recibirán menciones especiales. Se entregará además una suscripción anual gratuita a la revista CIENCIA HOY a cada uno de los autores de los tres cuentos ganadores.

El jurado está compuesto por los siguientes expertos:

Lic Mariano Ducros, profesor de literatura, Universidad de Palermo, ex director del Departamento de Extensión Cultural del Centro Cultural Borges

Dr Daniel Salomón, investigador principal del Conicet, primer premio en los concursos Julio Cortázar, Eduardo Bocco y Attilio Betti

Dra Ana María Vara, profesora de la Escuela de Humanidades, UNSAM, diploma al mérito 1997 de la Fundación Konex

Los autores deberán tener entre dieciséis y dieciocho años al cierre de la convocatoria y ser de nacionalidad argentina o bien extranjeros residentes en la Argentina.

El plazo de presentación de las obras se cerrará irrevocablemente el día

30 de septiembre de 2016

Serán coordinadores del concurso
Viviana Bianchi y Alejandro Gangui

Bases del concurso en:
http://cms.iafe.uba.ar/gangui/difusion/concurso/16/

Informes o consultas:

Dirección de Relaciones Institucionales Conicet
Tel.: +54 11 4899-5400
www.conicet.gov.ar
vocar@conicet.gov.ar

Asociación Civil Ciencia Hoy
Tel: +54 11 4961-1824 o 4962-1330
contacto@cienciahoy.org.ar

ACTA DE INDEPENDENCIA
DE LAS
PROVINCIAS UNIDAS EN SUD-AMÉRICA

En la benemérita y muy digna ciudad de San Miguel del Tucuman á nueve dias del mes de Julio de mil ochocientos diez y seis, terminada la sesion ordinaria, el Congreso de las Provincias Unidas continuó sus anteriores discusiones sobre el grande, augusto y sagrado objeto de la independencia de los Pueblos que lo forman. Era universal, constante é decidido el clamor del territorio entero por su emancipacion solemne del poder despótico de los reyes de España; los Representantes sin embargo consagraron á tan árduo asunto toda la profundidad de sus talentos, la rectitud de sus intenciones é interes que demanda la sancion de la suerte suya, Pueblos representados y posteridad: á su término fueron preguntados: – ¿Si querian que las Provincias de la Union fueren una Nacion libre é independiente de los reyes de España y su metropoli? – Aclamaron primero llenos del santo ardor de la justicia, y uno á uno reiteraron sucesivamente su unánime y espontáneo decidido voto por la independencia del Pais, fijando en su virtud la determinacion siguiente: –

Nos los Representantes de las Provincias Unidas en Sud-América, reunidos en Congreso General, invocando al Eterno que preside al Universo, en el nombre y por la autoridad de los Pueblos que representamos, protestando al Cielo, á las naciones y hombres todos del globo la justicia que regla nuestros votos: declaramos solemnemente á la faz de la tierra, que es voluntad unánime é indubitable de estas Provincias romper los violentos vínculos que las ligaban á los reyes de España, recuperar los derechos de que fueron despojadas, é investirse del alto carácter de una nacion libre e independiente del rey Fernando VII, sus sucesores y metrópoli. Quedan en consecuencia de hecho y de derecho con amplio poder para darse las formas que exija la justicia, é impere el cúmulo de sus actuales circunstancias. Todas y cada una de ellas así lo publican, declaran y ratifican, comprometiéndose por nuestro medio al cumplimiento y sosten de esta su voluntad, bajo del seguro y garantia de sus vidas, haberes y fama. – Comuníquese á quienes corresponda para su publicacion, y en obsequio del respeto que se debe á las naciones, detállense en un manifiesto los gravisimos fundamentos impulsivos de esta solemne declaracion. – Dada en la Sala de Sesiones. Firmada de nuestra mano, sellada con el sello del Congreso y refrendada otros Diputados Secretarios.

Hoja impresa con el texto del acta de la independencia y las firmas litografiadas de los congresales. No tiene pie de imprenta ni indica lugar y fecha de impresión. Posiblemente se imprimió en Buenos Aires en los primeros años de la década de 1830 y el litógrafo fue el suizo César Hipólito Bacle (1790-1875). El acta manuscrita con las firmas originales se perdió.

Marcela Ternavasio
Universidad Nacional de Rosario

Reflexiones sobre la declaración de la independencia

Qué significaba en 1816 constituir una nación libre e independiente

El 9 de julio de 1816, los diputados reunidos en congreso constituyente en la ciudad de Tucumán declararon *solemnemente a la faz de la Tierra que es voluntad unánime e indudable de estas Provincias romper los violentos vínculos que las ligaban a los Reyes de España, recuperar los derechos que fueron despojadas, e investirse del alto carácter de una Nación libre e independiente del Rey Fernando VII sus sucesores y Metrópoli*. A los pocos días, el acta de declaración de la independencia sufrió una modificación al elaborarse el acta de juramento y agregársele que la independencia se declaraba también frente *a toda otra dominación extranjera*. Quedaba así consagrado el documento fundacional de nuestra historia.

Pero ¿qué significaba para la época ser una nación libre e independiente? La difusión de esos conceptos a lo largo de los dos siglos transcurridos desde entonces impide a veces comprender las dimensiones y los contextos en los que se produjo el acontecimiento tantas veces celebrado. Al convertirse las naciones en componentes centrales del orden estatal moderno, las declara-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Hablar de República o Nación Argentina solo tiene sentido a partir de 1860. ¿Qué país independiente hubo en estas tierras entre 1816 y esa fecha?

ciones de independencia se volvieron partes esenciales de las historias nacionales construidas a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, es bien conocido que no todos los Estados modernos surgieron del gesto rupturista que implicaba emanciparse del dominio soberano de una metrópoli, ni todos los que declararon su independencia –desde los Estados Unidos de América, pasando por Latinoamérica, los procesos de descolonización africano y asiático, hasta el más reciente caso de Kosovo– presentan los mismos derroteros. En todo caso, lo que tienen de común las declaraciones de independencia de principios de siglo XXI es que por lo general siguen el guión que se formuló en las Américas desde fines del siglo XVIII y comienzos del XIX. Ese guión incluye la promulgación ritual de la declaración, su presentación al mundo entero –a la *faz de la Tierra* en nuestro caso– y la invocación al pueblo soberano.

La renovación historiográfica producida en las últimas tres décadas sobre los procesos de independencia americanos se ha encargado de revisar los presupuestos en los que se fundaron las historias patrias. Los nuevos enfoques han cuestionado los conceptos de nación con los que se modelaron esas historias y redefinido las escalas de análisis. Los acontecimientos comenzaron a ser explorados en el marco de las propias categorías territoriales y políticas en las que nacieron –monarquías, imperios, metrópolis, colonias– y se despojaron de las que, muy tortuosamente, constituyeron varias décadas después el punto de llegada, es decir, los Estados nacionales modernos. En este sentido, existe amplio consenso en la comunidad académica de historiadores acerca de la necesidad de cuestionar las versiones canónicas que, aunque remozadas por ciertas perspectivas que se postularon como 'revisionistas', continúan teniendo vigencia en el sentido común de la ciudadanía.

El concepto de independencia en una torre de Babel

Si regresamos a la pregunta formulada al comienzo acerca de qué significaba en esa época ser una nación libre e independiente, necesitamos tener en cuenta los aportes realizados desde entonces tanto por la historia conceptual como por la historia política e intelectual. A

LOS CONGRESALES DE TUCUMÁN

Las catorce Provincias Unidas que se detallan en el cuadro enviaron treinta y tres diputados a Tucumán. Declinaron la invitación a participar Paraguay, que desde 1811 siguió su propio curso, y la Banda Oriental, Santa Fe, Entre Ríos y Corrientes que, conducidas por José Gervasio Artigas, se aglutinaban con el nombre de Liga de los Pueblos Libres.

Provincia	Diputados
Buenos Aires	Tomás Manuel de Anchorena José Darragueira Esteban Agustín Gascón Pedro Medrano Juan José Paso Cayetano José Rodríguez Antonio Sáenz
Catamarca	Manuel Antonio Acevedo José Eusebio Colombres
Córdoba	José Antonio Cabrera Miguel Calixto del Corro Eduardo Pérez Bulnes Jerónimo Salguero de Cabrera
Charcas (Chuquisaca)	José Severo Malabia Mariano Sánchez de Loria José Mariano Serrano

Provincia	Diputados
Chichas (Potosí)	José Andrés Pacheco de Melo Juan José Fernández Campero
Jujuy	Teodoro Sánchez de Bustamante
La Rioja	Pedro Ignacio de Castro Barros
Mendoza	Tomás Godoy Cruz Juan Agustín Maza
Mizque (Cochabamba)	Pedro Ignacio Rivera
Salta	Mariano Boedo José Ignacio de Gorriti José Moldes
San Juan	Francisco Narciso de Laprida Justo Santa María de Oro
San Luis	Juan Martín de Pueyrredón
Santiago del Estero	Pedro León Gallo Pedro Francisco de Uriarte
Tucumán	Pedro Miguel Aráoz José Ignacio Thames

Mapa de la región en 1816

- Territorio de las Provincias Unidas presentes en el Congreso de Tucumán
- Territorio de las Provincias Unidas que no estuvieron presentes en el Congreso de Tucumán, conocidas como *Liga de los Pueblos Libres*
- Paraguay
- Reino Unido de Brasil, Portugal y Algarve
- Chile y Alto Perú
- Virreinato del Perú
- Territorios indígenas
- Fronteras nacionales y provinciales en la actualidad

pesar de que uno de los puntos que conforman el guión de las declaraciones de independencia a lo largo de los dos últimos siglos es la invocación al pueblo soberano, no resultan obvios ni unívocos los significados que asumieron los conceptos de independencia y de soberanía entre 1776 y 1825, lapso que suele denominarse 'la era de las declaraciones'.

A fines del siglo XVIII irrumpió la novedad del lenguaje de la independencia para describir las relaciones entre Estados soberanos. El acta de nacimiento de esta transformación semántica fue la declaración de independencia de los Estados Unidos de América, el 4 de julio de 1776. Ella dotó de un nuevo significado al vocablo 'independencia', el de atributo determinante de un Estado o nación entre otros Estados y naciones. Si bien, de allí en más, el concepto comenzó a ser usado en los escritos jurídico-políticos con el significado que tiene hoy, a principios del siglo XIX la asociación del concepto de independencia con el principio de autodeterminación fundado en la soberanía popular seguía siendo circunstancial.

Esto es así porque el concepto de soberanía, que remitía al poder de mando o autoridad suprema en una comunidad política, también estaba experimentando profundas mutaciones. La soberanía de los reyes fundada en el principio teológico del derecho divino se vio enfrentada por una nueva ficción representativa: que el titular de la soberanía era el pueblo, y que su ejercicio se delegaba en un grupo de representantes. A su vez, la expansión del principio de soberanía popular habilitó reclamos de muy diversos sujetos territoriales que, en nombre de naciones, Estados, ciudades, pueblos o provincias, aspiraban a ejercer el poder político de manera independiente.

En el mundo hispánico, el uso del vocablo 'independencia' se hizo cada vez más frecuente a partir de 1808, pero estuvo inmerso en un contexto semántico muy móvil y polisémico. Las razones que explican sus variaciones no derivan solo de la novedad que impu-

so el caso norteamericano sino, también, de los avatares que experimentaron los procesos de independencia hispanoamericanos. Estos últimos no nacieron de proyectos largamente concebidos por grupos criollos dispuestos a romper con la dominación española –según la imagen forjada por las historias patrias tradicionales– sino de la profunda crisis que sufrió la monarquía a partir de 1808, la cual comenzó con la ocupación napoleónica de la península ibérica, la abdicación de los Borbones y la designación de José Bonaparte para ocupar el trono vacante.

Las abdicaciones pusieron en entredicho la cuestión de la soberanía. El cuerpo físico del rey no había muerto sino que estaba cautivo en Bayona, en poder de Napoleón, pero había renunciado al cuerpo político de la Corona. Se trataba de una situación inédita en la larga historia de las monarquías europeas y por tal razón no estaba contemplada en las leyes fundamentales que las regían. El vacío legal abrió diferentes alternativas a ambos lados del Atlántico. La disputa en torno a dónde debía recaer la soberanía enfrentó a los actores colectivos que, en las diversas regiones del orbe hispánico, encarnaron propuestas muy variadas.

En España se produjo inmediatamente la formación de juntas locales que denunciaron como ilegales las ab-

LA CASA DE LA INDEPENDENCIA

El Congreso Constituyente de 1816 sesionó en una vivienda perteneciente Francisca Bazán y su marido, el comerciante español Miguel Laguna. Se estima que habría sido construida en la década de 1760 y era una típica casa colonial con dos patios a los que daban habitaciones y galerías, y al fondo estaba la huerta. El frente estaba ornamentado por el conocido portal con columnas salomónicas.

El primer patio era el principal y lo rodeaban las habitaciones de la familia, la sala y el comedor; el segundo patio estaba cerrado hacia el fondo por los cuartos de la servidumbre. Después venía la huerta, con árboles frutales y el pozo de agua. Los muros eran de tierra apisonada o tapial y adobes; solo el portal –que abarcaba el ancho del zaguán de entrada y un local de portería a cada lado– había sido construido con ladrillos. Los muros estaban revocados con barro y cal. Los techos eran de tejas sobre un entramado de caña hueca y tierra, todo apoyado en tirantes y cerchas de madera, material del que también estaban hechas las columnas de las galerías.

En 1812, luego de la batalla de Tucumán, cuando el ejército permaneció en la ciudad y sus alrededores, la casa sirvió de cuartel y depósito militar, por lo que la familia no vivía en ella. En 1815 el Estado la alquiló para instalar la Aduana y otras dependencias, y realizó obras para repararla de los deterioros causados por su uso anterior.

En 1816, a falta de edificios públicos adecuados, se decidió que el Congreso Constituyente sesionara en la casa de los Laguna Bazán. Consecuentemente, el gobierno amplió la sala para usarla como salón de sesiones, reparó los techos y construyó letrinas. Pintó los muros de blanco, y las puertas y ventanas de azul. Mandó fabricar mesas, sillas, candelabros y todo lo necesario para el Congreso, que sesionó allí desde marzo de 1816 a febrero de 1817, cuando se trasladó a Buenos Aires. La casa continuó un tiempo alquilada por el ejército, hasta que en 1819 la familia propietaria la volvió a ocupar. Con los años se fue deteriorando y para 1869, fecha de la que se han conservado unas imágenes del primer patio y del frente, tomadas por el fotógrafo italiano Ángel Paganelli (1832-1928), estaba en estado ruinoso.

En 1874 el Estado Nacional compró el inmueble para destinarlo a sucursal del Correo y a juzgado federal. Se demolió el cuerpo del frente, con el pórtico y sus columnas salomónicas, más dos

La casa en 1869. Foto de Ángel Paganelli

Página siguiente
Arriba. Galería del fondo del primer patio, al que daba el salón de la jura. Foto de Ángel Paganelli, 1869.
Abajo. Frente que reemplazó al de la casa colonial en 1875, cuando gran parte de ella fue demolida (sin afectar el salón de la jura) y en el predio se instaló el Correo. La foto data de alrededor de 1885.

Interior del salón de la jura hacia 1900. Foto Sociedad Fotográfica Argentina de Aficionados, AGN.

Exterior del salón de la jura hacia 1910, cuando era lo único que se conservaba de la casa original y lo protegía un edificio conocido por el templete, dentro del cual se tomó esta fotografía.

viejos cuartos del primer patio, pero no el salón de la jura. Una fotografía de alrededor de 1885 permite apreciar la nueva fachada levantada luego de esa demolición, obra de la oficina local del Departamento de Ingenieros a cargo del sueco Hjalmar Fredrick Stavelius (1842-1901).

En 1904 se resolvió demoler todo, excepto dicho salón, que quedó envuelto en un pabellón con techo de vidrio que solía llamarse el templete. En el atrio de acceso se emplazaron dos murales de bronce realizados en Italia por Lola Mora (1866-1936), una escultora tucumana.

En 1941 la casa fue declarada monumento nacional y se decidió darle nuevamente su aspecto colonial. Dirigió las obras el arquitecto Mario J Buschiazzo (1902-1970), integrante de la Dirección Nacional de Arquitectura, quien se guió por las fotografías de Paganelli y por unos planos que levantó en 1870 la Oficina Nacional de Ingenieros, más su propia visión de cómo habría sido la construcción original formada a la luz de los conceptos del momento sobre arquitectura histórica. Optó por hacer los muros de ladrillos y pintarlos de ocre amarillento, y por terminar las puertas de madera con aceite de linaza sin color. También incorporó a la obra elementos recuperados de casas coloniales, como tejas. La construcción se inició en 1942 y concluyó en 1943. Estrictamente, más que de una reconstrucción habría que hablar de una interpretación; el propio Buschiazzo la llamó en 1969 'una mentira piadosa'.

En 1996 la Dirección Nacional de Arquitectura restauró puertas, ventanas, rejas y faroles. A las primeras les restituyó el color azul, con el respaldo de documentación encontrada en el Archivo Histórico de Tucumán según la cual en 1816 el Estado provincial compró pintura azul para ese propósito, más verificaciones por cateos realizados en puertas del salón de la jura. También usó color blanco para los muros. CH

Arriba y centro. El templete visto desde afuera, ca. 1910.

Abajo. La casa de la independencia en plena labor de retrotraerla a su apariencia colonial, 1943.

Aspecto actual de lo que quizá convenga llamar más una interpretación que una reconstrucción.

dicaciones, desconocieron a José Bonaparte, declararon la guerra a Francia y juraron tutelar provisoriamente la soberanía real, que asumieron en 'depósito'. Esas juntas confluyeron en la formación de la Junta Central que procuró gobernar todo el Imperio en nombre del rey ausente, hasta que el avance de las tropas francesas la obligaron a disolverse y a formar el Consejo de Regencia, que terminó convocando a Cortes Constituyentes en septiembre de 1810 para resolver por la vía constitucional la crisis abierta en 1808.

En América, la generalizada lealtad al monarca y a la Junta Central comenzó a resquebrajarse en 1810, cuando arribaron las noticias del avance francés en Andalucía. A partir de allí comenzaron a formarse juntas en distintas ciudades para asumir el gobierno. En nombre del derecho de 'retroversión de la soberanía a los pueblos', esas primeras juntas americanas juraron fidelidad a Fernando VII, prometieron tutelar su soberanía real y desconocieron tanto al Consejo de Regencia como a los magistrados coloniales. Las autoridades peninsulares las declararon rebeldes y así dio comienzo un proceso revolucionario que dividió a América entre sectores leales a las autoridades metropolitanas y sectores insurgentes.

En ese comienzo plagado de proclamas, actas y petitorios que tuvo lugar en los distintos rincones de los dominios españoles –desde Nueva España hasta el Río de la Plata–, no hubo inmediatas declaraciones de independencia que rompieran los lazos con la metrópoli y con la monarquía. Las primeras de esas declaraciones se registraron en Venezuela y Cartagena en 1811, pero fueron la excepción y no la regla, y no pudieron establecer Estados independientes de manera definitiva hasta mucho más tarde, cuando las guerras desatadas entre las fuerzas patriotas y las realistas terminaron con el triunfo de las primeras.

En ese escenario de luchas y conflictos, la voz 'independencia' comenzó a circular profusamente con significados diversos en la medida en que su uso hacía referencia a proyectos también diversos. Como suele ocurrir durante los momentos de grandes cambios históricos, los desajustes entre las palabras y las cosas se deben a la

necesidad de utilizar las palabras disponibles para nominar procesos nuevos. En este caso, el vocablo 'independencia' podía referir a posiciones que oscilaban desde la sumisión total a la metrópoli –donde se defendía la independencia del yugo francés–, pasando por situaciones intermedias de reclamo de autogobierno sin pretender el uso pleno de la soberanía ni romper con la monarquía, hasta las más radicales que postularon la independencia definitiva siguiendo las huellas del caso norteamericano. A su vez, el concepto podía remitir al principio de reconocimiento de igualdad de derechos entre reinos o provincias de una misma monarquía o a la disputa desatada entre ciudades o provincias que buscaban emanciparse de sus antiguos centros de poder territorial. Esta variedad de situaciones se manifestó con distintos ritmos según la correlación de fuerzas de cada región del Imperio.

Del mito de los orígenes a los hechos

En medio de esa torre de Babel, el problema central no era meramente lingüístico o, en todo caso, expresaba los dilemas experimentados a partir de la crisis de 1808. La tarea del historiador consiste en detectar los sentidos que subyacen a los usos del lenguaje en los documentos del pasado y los cursos de acción que los actores postulan, desatan o intentan controlar con ellos.

Las actas fundacionales de las historias patrias presentan un problema adicional, porque a la dificultad para interpretar los idiomas hablados por los actores que protagonizaron los acontecimientos se suma la que deriva de los utilizados por los historiadores posteriores, empeñados en crear los mitos de origen de nuestras naciones modernas. Las imágenes que colocaron a las independencias como puntos de partida de las revoluciones borraron, pues, las ambigüedades que exhiben los complejos procesos cuya culminación fue la definitiva ruptura del Imperio español.

Puestas así las cosas, es oportuno regresar sobre la independencia proclamada el 9 de julio de 1816 en Tucumán para destacar tres cuestiones fundamentales. La primera es recordar un dato obvio: habían transcurrido seis años desde el acta del 25 de mayo de 1810, cuando se estableció la primera junta de gobierno autónoma en nombre de Fernando VII. ¿Por qué se esperó tanto tiempo para concretar el gesto definitivo de ruptura? Sencillamente porque quienes lo apoyaban eran minoritarios y no contaban con el poder suficiente para imponerlo en el juego de fuerzas políticas que intentaban gobernar el territorio del virreinato del Río de la Plata.

Durante ese lapso se discutieron distintas alternativas acerca de qué hacer frente a la metrópoli, y si bien la que propugnaba la independencia fue ganando terreno a partir de 1812, la restauración de Fernando VII al trono en 1814 congeló las posiciones más radicales por casi dos años. Mientras tanto la guerra seguía su curso y el general José de San Martín reclamaba la declaración de la independencia para que dicha guerra dejara de ser considerada una simple insurgencia y encuadrara en el marco jurídico del derecho natural y de gentes, que regulaba las relaciones internacionales de la época.

Así, la urgencia por concretar la declaración respondió más a razones bélicas que políticas, en un contexto continental en el que las revoluciones parecían definitivamente perdidas por el avance de los ejércitos realistas. Los refuerzos enviados desde la metrópoli a Venezuela y Nueva Granada en 1815, y la voluntad del monarca de restaurar el orden absolutista en sus dominios obligaban a reconducir la empresa bélica hacia una guerra reglada. En esa frágil situación era fundamental no solo la formal declaración sino su promulgación ritual y su presentación al mundo entero. Los diputados del Congreso admitieron que eran necesarias todas las exteriorizaciones posibles de adhesión a la independencia y por ello decidieron imprimir 3000 ejemplares del acta –1500 en castellano, 1000 en quichua y 500 en aimara– para *difundirla en todos los puntos del país* y exigir su juramento por parte de todas las corporaciones civiles y eclesiásticas de cada provincia.

La segunda cuestión remite a la pregunta acerca de cuál era la región que quedaba comprendida en el nuevo orden jurídico independiente. El acta de julio declaraba la independencia de las *Provincias Unidas de Sud América*. Esa grandilocuente expresión, a la vez que afirmaba una identidad americana, reflejaba las ambigüedades del momento y la profunda incertidumbre acerca de cuál sería la geografía que finalmente quedaría incluida en ella. El incierto contorno que habría de adquirir la nueva entidad política proclamada en 1816 no dependía solamente del futuro derrotero de la guerra de independencia sino, también, de la capacidad de negociación de las elites para alcanzar un acuerdo estable bajo una forma de gobierno consensuado con regiones disidentes que también afirmaban su derecho a la autonomía y al autogobierno. A esa altura, la disputa entre posiciones centralistas y confederacionistas, nacida poco después de 1810, había llegado a su culminación con el avance de las fuerzas federales de José Gervasio Artigas en las provincias del litoral que, por sus disidencias con el gobierno central con sede en Buenos Aires, no estaban representadas en el Congreso.

La tercera cuestión fundamental deriva de la anterior: el acta del 9 de julio no declaró la independencia de la Argentina sino de la de un conjunto de provincias que podía variar su composición y su número en el futuro. El concepto de nación que invocaba la declaración de 1816

se inscribió en el uso de la época, que remitía a una comunidad política regida por las mismas leyes. Las naciones podían por lo tanto conformarse según los pactos que contrajeran diversos cuerpos territoriales, y estos se consideraban libres de consentir dichas uniones o de no hacerlo. La nación de esta época no venía definida por el principio de nacionalidad –introducido más tarde por el romanticismo–, según el cual una comunidad caracterizada por ciertos rasgos étnicos podía reclamar sobre la base de ellos el derecho a ser un Estado independiente.

Así, pues, del virreinato del Río de la Plata con capital en Buenos Aires surgieron cuatro Estados-nación en circunstancias muy variadas. Bolivia se conformó como país en 1825 y su independencia significó romper los lazos no solo con España sino también con Buenos Aires. Algo similar ocurrió con Paraguay, cuya acta de independencia data de 1842. En ella se afirma que *nuestra emancipación e independencia es un hecho solemne e incontestable en el espacio de más de treinta años y que durante este largo tiempo y desde que la República del Paraguay se segregó con sus esfuerzos de la metrópoli española para siempre; también del mismo modo se separó de hecho de todo poder extranjero*. La categoría de poder extranjero incluía no solo a las potencias europeas sino, también, al gobierno establecido en 1810 en Buenos Aires.

En el Uruguay, la primera declaración formal de independencia es de 1825 y estuvo destinada a proclamar su emancipación del Imperio del Brasil y su unión con las Provincias Unidas del Río de la Plata. Solo tres años después, como producto del tratado de paz que puso fin a la guerra entre las provincias rioplatenses y el Brasil, se creó la República Oriental del Uruguay. Por su lado, la Argentina se conformó como un Estado unificado después de 1860, al concertarse la unión en una misma república de las catorce provincias que vivieron durante esas décadas una vida política autónoma reunidas bajo un laxo vínculo confederal.

Un debate siempre abierto

Al comienzo mencionamos el consenso más o menos general que existe actualmente entre los especialistas en los procesos de independencia hispanoamericanos en cuestionar las tradicionales interpretaciones modeladas sobre matrices nacionalistas. Sin embargo, esto no significa que dicho consenso incluya todas las dimensiones de la cuestión. Las disidencias forman parte de la comunidad académica de historiadores y se expresan en una diversidad de enfoques y perspectivas. Las periodizaciones del proceso son objeto de debate como lo son también los énfasis que se colocan al interpretar el origen de las revoluciones.

En esta dirección, algunas de las controversias giran en torno al papel que desempeñó la experiencia colonial en los cursos de acción posteriores a 1810. Por un lado están quienes sostienen que fue la peculiar naturaleza de la crisis monárquica española lo que desató el proceso de fragmentación de la monarquía y llevó a las independencias; por otro lado, otros consideran que el énfasis puesto en la crisis de 1808 devalúa el papel que tuvieron las experiencias de sometimiento y desigualdad impuestas por el régimen colonial. Como en toda controversia –y las historiográficas no son una excepción a la regla–, los grandes argumentos muchas veces generalizan, engloban posiciones y desestiman los matices. No obstante, el debate sigue abierto y su fertilidad reside en alimentar nuevas exploraciones y compulsas documentales, pero sobre todo en colocar nuevas preguntas en la agenda de investigación. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ARMITAGE D, 2007, *The Declaration of Independence: A global history*, Harvard University Press.

ÁVILA A, DYM J y PANI E (eds.), 2013, *Las declaraciones de independencia. Los textos fundamentales de las independencias americanas*, El Colegio de México.

CHIARAMONTE JC, 2010, *Fundamentos intelectuales y políticos de las independencias. Notas para una nueva historia intelectual de Iberoamérica*, Teseo, Buenos Aires.

GOLDMAN N (ed.), 2008, *Lenguaje y revolución. Conceptos políticos clave en el Río de la Plata 1780-1850*, Prometeo, Buenos Aires.

MARINSALDA JC, 1996, 'La casa histórica de la independencia de 1816 y la reconstrucción de Mario J. Buschiazzo', trabajo reproducido en *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas Mario J Buschiazzo*, 31-32,1999.

TERNAVASIO M, 2007, *Gobernar la revolución. Poderes en disputa en el Río de la Plata 1810-1816*, Siglo XXI, Buenos Aires.

WASSERMAN F, 2008, *Entre Clío y la polis. Conocimiento histórico y representaciones del pasado en el Río de la Plata 1830-1860*, Teseo, Buenos Aires.

Marcela Ternavasio

Doctora en historia, UBA.
Investigadora independiente del Conicet.
Profesora titular, Universidad Nacional de Rosario.
marcelaternavasio@gmail.com

¿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

El Dr. Ceccatto visitó el Centro Nacional Patagónico (CENPAT)

El presidente del Consejo inauguró las instalaciones de Vinculación Tecnológica y firmó un convenio de cooperación entre el CONICET y la Municipalidad de Puerto Madryn.

El presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dr. Alejandro Ceccatto, visitó la ciudad de Puerto Madryn, en la provincia de Chubut, y realizó diversos encuentros y charlas relacionadas con la actividad científica provincial. Junto al Vicepresidente de Asuntos Tecnológicos, Dr. Miguel Ángel Laborde, recorrió las instalaciones del Centro Nacional Patagónico (CENPAT) y participó de la inauguración de las nuevas Oficinas de Vinculación Tecnológica (OVT).

"Estamos enmarcados en una política que busca incentivar fuertemente la transferencia de ciencia y tecnología hacia la sociedad tratando de demostrar la mejora en la calidad de vida que implican los desarrollos que propicia el CONICET en aspectos vinculados a la inclusión social, a la salud y a todos los avances tecnológicos que permiten potenciar el sistema productivo", afirmó Ceccatto.

Refrendando estos conceptos, el presidente del Consejo, participó de la firma de un convenio con la Municipalidad de Puerto Madryn a la que asistieron autoridades municipales y provinciales, y cuyo objetivo es promover, complementar y fortalecer las acciones que permitan el desarrollo científico, tecnológico, educativo y turístico de la ciudad, teniendo en cuenta los aspectos sociales, culturales, ambientales y económicos.

Ceccatto destacó además dentro de este convenio, la promoción del turismo científico. "Es una experiencia que en el mundo viene ampliándose y que apuntala a la ciencia como un atractivo adicional para el visitante".

Luego, fueron inauguradas las nuevas oficinas de Vinculación Tecnológica, que se encuentran en la antigua estructura del que fuera el edificio fundacional en el que funcionó el CENPAT por primera vez durante la década del `70, antes de ser trasladado al predio actual.

Autoridades en el CENPAT. Fotos: gentileza CENPAT

Al respecto el Director del CENPAT, Rolando González-José, sostuvo que: "Poco a poco hemos ido acostumbrándonos al asesoramiento de quienes trabajan en vinculación tecnológica, por ejemplo, en materia de propiedad intelectual, en la orientación de cómo interactuar con una empresa o con una cooperativa. Estos vínculos se han afianzado fuertemente dentro de la comunidad científica y la creación de este nuevo espacio de trabajo es parte de un proceso de asimilación con estos actores tan necesarios para nuestro sistema científico".

En referencia a los cambios propiciados por el CENPAT, el Dr. Ceccatto hizo referencia a la conversión de la institución en un Centro Científico Tecnológico (CCT) compuesto por seis institutos: Instituto de Diversidad y Evolución Austral (IDEAus); Instituto de Biología de Organismos Marinos (IBIOMAR); Instituto Patagónico Para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC); Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas (IPCSH); Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR) y el Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (IPGP). "Es un proceso de transición que permite al CENPAT transformarse en un centro de gran magnitud como existen en todas las grandes capitales científicas del país, apuntando en un plazo breve de tiempo, a un funcionamiento cada vez más eficiente", declaró.

Cerrando la jornada el Dr. Ceccatto y el Dr. Laborde fueron recibidos en la Casa de Gobierno provincial, en Rawson, por el Ministro Coordinador de Gabinete, Victor Cisterna, el Ministro de Educación, Fernando Menchi y la Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Noelia Corvalán Carro.

Durante el encuentro, tanto el presidente del CONICET como las autoridades provinciales acordaron en que la labor científica del organismo en la provincia es muy positiva, y que puede potenciarse más aún a partir de mecanismos que faciliten la instalación de nuevos perfiles científicos en Chubut. Ceccatto y Cisterna repasaron la agenda de iniciativas en común ya en marcha, y exploraron nuevas vías de cooperación para impulsar los desarrollos tecnológicos de interés para Chubut en el campo de hidrocarburos, biotecnología, salud, alfabetización de la ciencia, entre otros.

El Dr. Rabinovich, nuevo miembro de la Academia Nacional de Ciencias de EE. UU.

Fue distinguido por sus aportes y logros en investigaciones originales en cáncer y enfermedades inmunológicas.

El Dr. Gabriel Rabinovich, investigador superior del CONICET en el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME, CONICET-FIBYME), fue recientemente nombrado Miembro Asociado Extranjero por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, una de las instituciones científicas más prestigiosas del mundo.

Según la Academia, sus miembros son incorporados en "reconocimiento a sus logros distinguidos y continuos en investigaciones originales y es uno de los mayores logros que puede tener un científico en su carrera". La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS) fue fundada el 3 de marzo de 1863 por Abraham Lincoln y reúne a los científicos más distinguidos. Actualmente nuclea a 2.291 investigadores estadounidenses y 465 investigadores asociados extranjeros.

El 3 de mayo de 2016 la NAS anunció la incorporación de 84 miembros nuevos y 21 miembros extranjeros asociados, entre los cuales se encuentra el Dr. Rabinovich, el único argentino del grupo.

"Es un gran honor que me llena de felicidad. Pero no es un logro individual, es un reconocimiento a todo el equipo de investigación y a todas las instituciones en las que se realizó este trabajo en el tiempo: la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba, el Hospital de Clínicas "José de San Martín" de la UBA y actualmente el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME) del CONICET, que nos cobija desde el 2007 y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA que me permite llevar adelante mi actividad docente. Fue una gran alegría recibir hoy a las 11 de la mañana la comunicación de la NAS, un día que jamás olvidaré en mi vida", cuenta el investigador.

El Dr. Gabriel Rabinovich. Foto: CONICET Fotografía.

El Dr. Rabinovich es investigador superior del CONICET y Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Dirige el Laboratorio de Inmunopatología del IBYME, institución de la cual es además Vicedirector.

A lo largo de su carrera publicó más de 200 trabajos en revistas especializadas de alto impacto y es miembro del comité editorial de 13 revistas científicas. Recibió múltiples galardones, entre ellos el Premio TWAS en Ciencias Médicas, el premio Fundación Bunge y Born, tanto a la trayectoria como el Estímulo a Jóvenes Investigadores; y también obtuvo la Beca John Simon Guggenheim, el Cancer Research Institute Award (New York), el Premio Bernardo Houssay Bicentenario a investigadores jóvenes y el Premio Konex de Platino 2013 en Ciencias Biomédicas Básicas, por nombrar algunos.

Se recibió de Licenciado en Bioquímica en la Universidad Nacional de Córdoba, donde también realizó su doctorado en Ciencias Químicas. Es un reconocido especialista en glicobiología, inmunología y biología tumoral, y a lo largo de su carrera identificó la función de Galectina-1, una proteína que ha demostrado tener un rol fundamental en los mecanismos inflamatorios y en patologías como cáncer, esclerosis múltiple y artritis reumatoidea.

Las ollas multifunción de hace 800 años

Restos de cerámica encontrados en la costa norpatagónica aportaron datos novedosos sobre el modo de vida de los pueblos originarios.

Cuando no existían el microondas, los hornos a gas ni eléctricos, ni el actual arsenal de utensilios y elementos de vajilla que hacen más práctica y rápida la cocina en los hogares, el ingenio de las mujeres y hombres que integraban grupos de cazadores recolectores de la costa noreste de Chubut se puso a prueba.

¿Cómo cocinaban los pueblos originarios que habitaban en un suelo semi-desértico, expuestos a fuertes vientos y bajas temperaturas? Siempre se supo que sustentaban su alimentación principalmente en la carne de guanaco asada, un recurso de gran disponibilidad en Patagonia.

Sin embargo, restos de cerámica hallados por la arqueóloga Verónica Schuster, becaria postdoctoral del CONICET en el Instituto de Diversidad y Evolución Austral del Centro Nacional Patagónico (IDEAus, CENPAT-CONICET), advirtieron que los pueblos originarios de la región supieron aprovechar la biodiversidad que ofrecían un mar y una estepa prácticamente vírgenes.

A partir de técnicas derivadas de la geología y de la medicina -como por ejemplo las radiografías y de estudios físico-químicos- realizadas en los restos de cerámica se pudieron revelar dos importantes aspectos que marcaron el modo de vida de estos pueblos: la elaboración local y artesanal de artefactos cerámicos y, de manera relacionada, la incorporación de otros tipos de alimentos que ampliaba la dieta basada en la carne de guanaco.

La cerámica encontrada fue fabricada por los grupos de cazadores recolectores de la zona, con arcillas que obtenían del suelo que mezclaban y amasaban para elaborar ollas que servían para varios propósitos domésticos en un contexto de movilidad territorial permanente o semi-permanente.

Este dato provocó diversos interrogantes a los estudios arqueológicos existentes sobre los pueblos originarios. ¿Por qué los cazadores recolectores, grupos altamente móviles acostumbrados a una dieta centrada en el guanaco, necesitaban una pieza cerámica?

Se hicieron estudios físico-químicos de ácidos grasos y de isótopos estables sobre la cerámica y se determinó que los residuos que estaban adheridos o absorbidos en las paredes de las piezas tenían restos de recursos vegetales asociados a carnes de especies terrestres y marinas. Esto quiere decir que los grupos basaban su dieta en función de la disponibilidad de recursos que había en la zona: peces y grasa de mamíferos marinos, vegetales autóctonos y carne.

"Estos materiales estaban en los contextos arqueológicos pero se les negaba la posibilidad de que contaran su historia", dice Verónica Schuster.

Son piezas que no tenían morfologías particulares, como las que se elaboraban en el noroeste argentino para usos específicos. Son ollas de boca abierta, subglobulares, sin base, que servían para diversos fines como cocinar sobre el fuego, guardar alimentos y procesarlos. "Eran piezas funcionales al modo de vida de los grupos. Tampoco pesaban mucho, lo cual les permitía cargarlas en los viajes a otros campamentos", apunta Schuster.

"Nuestra hipótesis es que estas piezas podrían haber servido para maximizar o intensificar los recursos que ya estaban presentes en la dieta de estos cazadores, con la particularidad de que el uso de cerámica les permitía hacer preparaciones, como un puchero o un guiso, aprovechando los recursos vegetales que de otra manera eran más difíciles de digerir o de preparar. Esto sumaba valor nutritivo y condiciones de higiene a su dieta ya que hervir la carne era más saludable que comerla cruda o después de varios días sin condiciones adecuadas de conservación", explica la arqueóloga del CENPAT-CONICET.

Restos de cerámica en médanos de la costa norpatagónica. Foto: Gentileza Verónica Schuster (IDEAus, CENPAT-CONICET).

Arqueología contra viento y marea

"Los estudios arqueológicos sobre cerámica en la costa norpatagónica fueron relegados mucho tiempo por diversos motivos: se pensaba que había poco material en comparación con el lítico (de piedra), y que éste no se podía fechar correctamente debido a la perturbación de los sitios", afirma Schuster.

La cerámica en dicha región tiene un breve desarrollo dentro de las investigaciones y hay pocos sitios fechados. Los más recientes muestran que por lo menos hace mil años ya había una tecnología cerámica pero ésta tuvo poca permanencia porque apenas hubo contacto con los europeos se dejaron de usar completamente y se reemplazaron por otros materiales. En Península Valdés las dataciones más antiguas registradas indican que 880 años atrás ya existía esta tecnología.

Además, los materiales fueron hallados, en su mayoría, enclavados en médanos móviles, que varían a lo largo del tiempo por el movimiento de la arena. Este movimiento transportó los materiales que estaban enterrados y por ello en muchos casos resulta complejo fecharlos.

"Aparecen restos asociados a otros materiales y muy pocas veces tenemos la certeza de que han estado de manera contemporánea en el pasado. Por eso son estimaciones. Los sitios a veces no permiten la conservación de carbón adecuada que permita fechar la cerámica correctamente", explica Schuster.

Nuevas hipótesis

Muchos años atrás se creía que la costa de Patagonia era únicamente zona de paso de los grupos de cazadores recolectores; personas que venían del interior a buscar ciertos recursos, para luego volver a sus campamentos más estables en la meseta. Sin embargo, investigaciones llevadas adelante por Julieta Gómez Otero, investigadora independiente en el IDEAus, y su equipo- en el cual colabora Schuster-, pudieron corroborar que hubo poblaciones humanas asentadas en la costa.

"En los sitios arqueológicos hay indicios de que estos fueron ocupados por gente que estuvo comiendo animales terrestres y marinos en diferentes épocas del año; esto nos permite inferir que habían grupos que vivían en la costa, muy probablemente con distintos tipos de campamentos y que iban explotando diferentes ambientes en función de lo que necesitaban", infiere la arqueóloga.

Del mismo modo, la especialista señala que hacer cerámica implica un determinado tiempo de permanencia en el lugar por el proceso mismo que lleva fabricarla de manera artesanal.

"También hay sitios arqueológicos donde encontramos mucha cerámica. Esto nos permite suponer que dejaban equipados algunos lugares sabiendo que en algún momento volverían", apunta Schuster.

"Vicuñas": la ciencia, la tradición y el desarrollo sustentable van a la pantalla

La última producción audiovisual de la productora del CONICET muestra el trabajo de un grupo de investigadores y becarios en la comunidad jujeña de Santa Catalina.

Vicuñas, la última producción audiovisual de CONICET Documental, será emitida próximamente en la pantalla de TECtv, el canal del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. El unitario pone de manifiesto cómo es el trabajo en conjunto del grupo de investigación Vicuñas, Camélidos y Ambiente (VICAM) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en pos de concientizar sobre la conservación, valoración y uso sustentable de esta especie clave de la biodiversidad puneña. El mismo trabaja en educación ambiental en la comunidad de Santa Catalina en Jujuy.

El documental invita, en este sentido, a descubrir cómo en la actual Puna se rescata a la vicuña en su lugar privilegiado en la cosmovisión andina. La vicuña, cabe aclarar, es un animal de gran importancia biológica, ecológica, histórica y cultural en las comunidades del altiplano. Su fibra era muy valorada en el mundo andino. En la época de la conquista española se llevó a cabo una matanza indiscriminada de estos animales para obtener sus cueros y exportarlos al viejo continente. Al mismo tiempo que la vicuña sufría peligro de extinción, los saberes de los pobladores eran ignorados. Hoy en día y gracias al compromiso de las comunidades del altiplano y las autoridades de los países andinos, la vicuña fue recuperada, y puede pensarse en volver a utilizarla.

Por eso mismo, biólogos, arqueólogos, agrónomos y veterinarios del CONICET, trabajan en conjunto con la comunidad de Santa Catalina, para realizar un uso sustentable de la vicuña, a través de la revalorización del chaku: una técnica ancestral prehispánica de captura y esquila de vicuñas, donde las personas caminan con sogas con cintas de colores arreando a las vicuñas y al final se toman de las manos, formando un cerco humano y en un lento caminar encierran a estos animales en el corral.

La ejecución del chaku implica un trabajo conjunto entre los investigadores y los pobladores de la comunidad. Por un lado, se realizan talleres en la escuela polimodal y la escuela primaria y charlas abiertas a la comunidad con el objetivo de capacitar en la captura de los camélidos, y a la conservación de los ambientes andinos. Por el otro, los pobladores aportan sus saberes sobre las vicuñas a los investigadores.

De esta manera se intenta estrechar la relación entre la investigación científica, el "uso sustentable" de la fauna silvestre, la conservación del ambiente y el desarrollo de las comunidades originarias en el altiplano, en pos de que las nuevas generaciones aprovechen los recursos de la zona y permanezcan en la comunidad de Santa Catalina. Bibiana Vilá, bióloga del CONICET – VICAM sostiene que: "Nos basamos en asumir que el desarrollo local y la conservación ambiental no son opuestos y que apuntar a ambos no es una utopía sino un desafío en el marco de la ciencia ambiental".

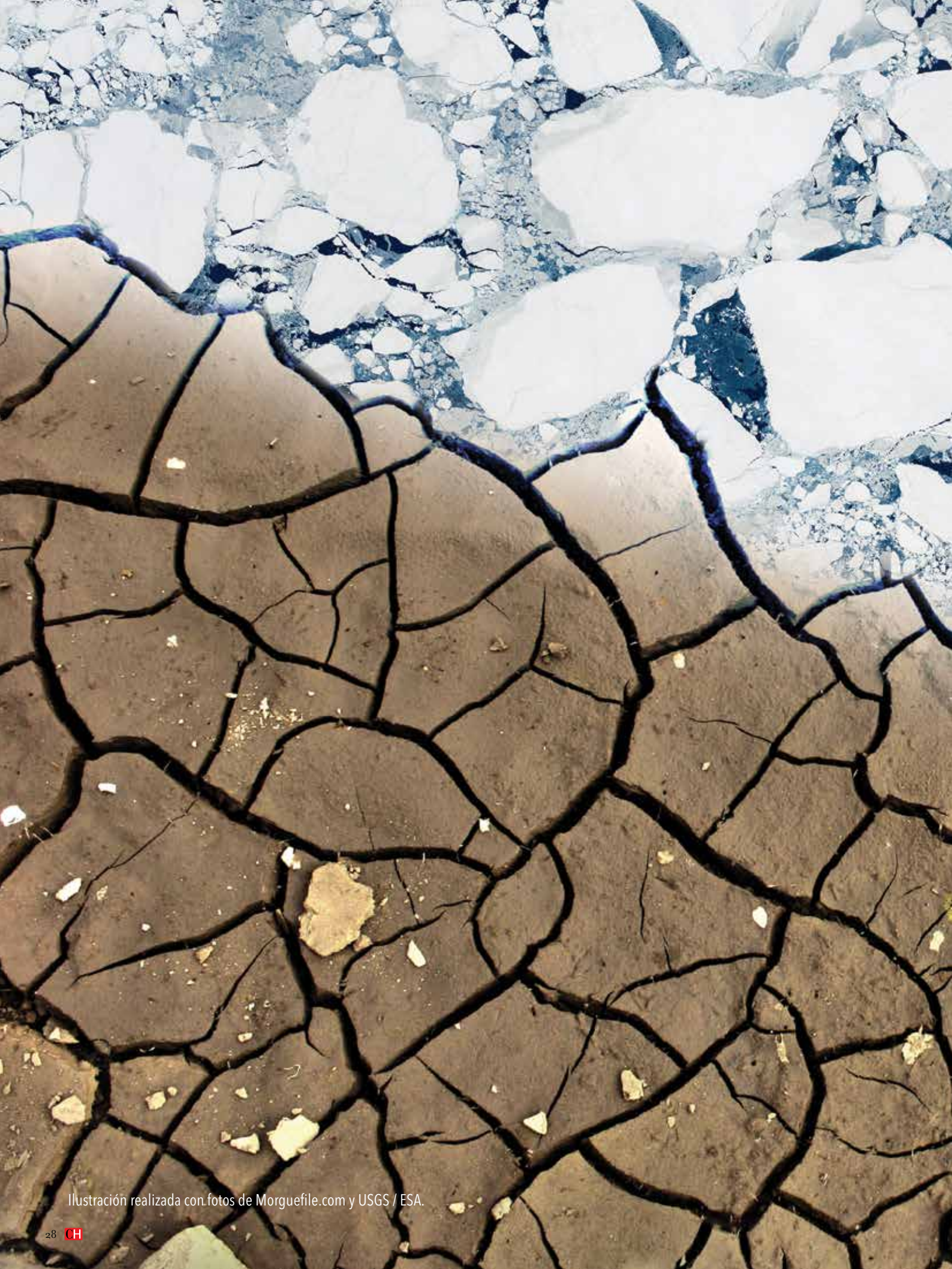


Ilustración realizada con fotos de Morguefile.com y USGS / ESA.

Cambio climático

A lo largo de su historia, y en particular en los últimos diez años, Ciencia Hoy volvió repetidamente sobre el cambio climático, en artículos y editoriales, como se aprecia por la lista de ellos indicada abajo.

Esta entrega de la revista trata nuevamente el tema. Incluye artículos que no procuran dar una visión sistemática de él sino enfocar algunos aspectos particulares de interés. La preparación del número fue posible por la eficiente ayuda de Carolina Vera para elegir dichos aspectos e identificar posibles autores, de suerte que actuó como editora asociada, además de autora de una de las notas. Quede registrado el reconocimiento del comité editorial a su labor.

BALDICERO MOLION LC, 1997, 'Los volcanes afectan el clima del planeta', 7, 38: 31-40.

BARROS V, 2006, 'Aspectos políticos y económicos del cambio climático', 16, 96: 22-33.

BARROS V, 2015, 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', 25, 146: 13-16.

CAMILLONI I, 2008, 'Cambio climático', 18, 103: 43-49.

DEPETRIS PJ, 2010, 'Las ciencias de la tierra y el cambio climático global', 20, 117: 24-32.

DUHAU S, 2011, 'Actividad solar y cambio climático', 21, 125: 9-14.

Editorial, 2006, 'Cambio climático global', 16, 96: 7-9.

Editorial, 2011, 'Calentamiento global, ciencia y política', 21, 125: 4-5.

Editorial, 2015, 'Actualidad del cambio climático', 25, 146: 6-7.

FERRERO ME y VILLALBA R, 2007, 'Cambios climáticos en el NOA: una perspectiva dendrocronológica', 17, 100: 51.

ISLA FI, 2010, 'El cambio climático global. Dos versiones del problema y una visión geológica', 20, 117: 46-51.

NÚÑEZ MN, 2006, 'El cambio climático. El calentamiento global', 16, 96: 10-15.

NÚÑEZ MN, 2006, 'El clima esperado para la Argentina hacia fines del siglo XXI', 16, 96: 16-21.

PONCE JF *et al.*, 2014, 'Las turberas de Tierra del Fuego y el clima del pasado', 23, 137: 10-17.

RABASSA J, 2007, 'Impacto del cambio climático en los glaciares patagónicos y fueguinos', 17, 97: 50-57.

SOLMAN SA, 2011, 'Actividad humana y cambio climático', 21, 125: 15-17.

SURIANO J, PERPOZZI L y **MARTÍNEZ D**, 1992, 'El cambio global. Tendencias climáticas en la Argentina y el mundo', 3, 18: 32-39.

TONNI E, CIONE A y **PASQUALI R**, 1998, 'Los climas del Cuaternario: causas y consecuencias', 8, 45: 52-60.

Selva tropical. Foto Christian Ziegler

Carolina Vera
Centro de Investigaciones del Mar
y la Atmósfera, UBA-Conicet

Tendencias del clima en la Argentina

Por sus características, el clima de nuestro planeta oscila a lo largo del tiempo. Así, no hay dos años ni dos veranos con el mismo clima. En las últimas décadas, sin embargo, esa variabilidad natural del clima se ha visto alterada por otro fenómeno, el calentamiento global, inducido –según la opinión científica mayoritaria– por el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero que causan diversas actividades humanas (véanse los artículos y editoriales publicados por Ciencia Hoy sobre el tema, detallados en la página 29). Ante esta situación, la comunidad científica internacional se ha concentrado en tratar de determinar las tendencias que experimentó el clima hasta el presente y en vislumbrar sus cambios futuros, conocimiento que resulta imprescindible para anticipar sus consecuencias y planear las formas de adaptarse a ellas.

En este marco, un equipo de investigadores del Conicet y de la Universidad de Buenos Aires, coordinados por la autora de este artículo y por Vicente Barros, realizó un estudio sobre el estado presente y la evolución futura del clima del país, que es el más actualizado disponible a la fecha. Sus resultados más importantes se resumen a continuación.

¿Cómo se establecen las tendencias del clima?

Cotidianamente se realiza un número importante de observaciones meteorológicas de la atmósfera, los océanos y las superficies continentales del globo. Ellas proporcionan datos numéricos obtenidos por diferentes conductos, como sondas, barcos, aviones, satélites y estaciones meteorológicas terrestres. Con la coordinación de la Organización Meteorológica Mundial, un organismo del sistema de las Naciones Unidas, los datos se reúnen mediante un sistema global de telecomunicaciones y permiten describir cuantitativamente el clima del planeta. La tarea se viene efectuando desde principios del siglo XX y constituye el fundamento empírico para determinar las tendencias climáticas del período al que corresponden los registros.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo evolucionó el clima del país en las últimas décadas y cómo lo hará en las próximas.

Para estimar cuáles serán las tendencias del clima futuro se utilizan modelos numéricos complejos, con ecuaciones que describen el comportamiento de diferentes componentes del sistema climático, entre ellos la atmósfera, los océanos, el suelo, la vegetación, los hielos, etcétera. Para procesar esos modelos se necesitan computadoras potentes. Actualmente, no más de quince países tienen la capacidad técnica necesaria para encarar tales simulaciones climáticas, lo que hace indispensable la colaboración internacional.

Es así como desde hace un par de décadas opera el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (conocido por WCRP, su sigla en inglés) que coordina la realización de dichas simulaciones climáticas globales por las instituciones dotadas de capacidad de procesamiento numérico de los modelos climáticos. Sus resultados quedan a disposición de la comunidad científica internacional, lo cual permite que innumerables científicos en el mundo los usen para sus investigaciones, con la consecuencia, entre otras, de un incremento significativo de los estudios y las publicaciones sobre el calentamiento global y sus consecuencias.

Sin embargo, las conclusiones que se pueden sacar tanto de las observaciones meteorológicas como de los resultados de las simulaciones efectuadas por los modelos numéricos no están libres de errores. Esos errores se deben tanto a las características de los sistemas de observación como a las limitaciones de los propios modelos matemáticos.

En adición, otra fuente de incertidumbre viene dada por la naturaleza caótica del clima del planeta, una característica puesta de relieve inicialmente por el meteorólogo estadounidense Edward Lorenz (1917-2008). Este mostró en la década de 1960 que los torbellinos y las perturbaciones generados en el interior de fluidos como la atmósfera y los océanos no son enteramente predecibles. En consecuencia, las simulaciones del clima futuro se ven limitadas por el conocimiento impreciso de cómo se comportarán esos componentes naturales del sistema climático.

Al mismo tiempo, tampoco se sabe de modo cierto cómo evolucionarán los factores de origen humano que influyen sobre el clima, en especial, la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero y otros como la deforestación (sobre las que el lector encontrará más en el próximo artículo de este número). Puede ocurrir que la sociedad tienda a adoptar formas de desarrollo global más cuidadosas con el ambiente, que morigeren los nive-

les actuales del deterioro sufrido por este, pero también puede suceder que no disminuya esos niveles o, incluso, que los incremente.

Dadas estas fuentes de incertidumbre, los estudios toman en cuenta diferentes conjuntos de observaciones, recurren a simulaciones realizadas con distintos modelos numéricos y consideran variados escenarios socioeconómicos y sus respectivos efectos en el clima. El grado de confiabilidad de las estimaciones se establece evaluando la coherencia de los resultados alternativos obtenidos.

Tendencias climáticas recientes y futuras en la Argentina

Una de las preguntas generalmente planteadas en materia de calentamiento global es cuánto cambió y cuánto cambiará la temperatura en cada una de las regiones del planeta. El último informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) muestra que el aumento de la temperatura media global desde el inicio de la era industrial ronda los 0,85°C. Lo sustancial de ese calentamiento ocurrió a partir de la década de 1960. El mencionado estudio sobre la Argentina estimó que entre 1960 y 2010 hubo en distintas regiones del país un aumento de la temperatura media anual de entre 0,5°C y 1°C aproximadamente, como se aprecia en la figura 1.

Ese aumento se asocia principalmente con un incremento de la temperatura mínima, característica también observada en otras regiones del mundo. En cambio, las subas de la temperatura máxima son en algunas regiones ínfimas o incluso hubo disminuciones de ella, como las registradas en el centro del país debido, en buena parte, a mayor nubosidad y a más lluvias. El cambio de la temperatura media estuvo a su vez sujeto a importantes variaciones naturales tanto año a año como por región, lo que resultó en un aumento de las olas de calor, principalmente en el norte y el este del territorio, así como en una reducción de las heladas en la mayor parte del país.

La estimación de las tendencias futuras consideró qué sucedería en el futuro cercano (entre 2015 y 2039) y en

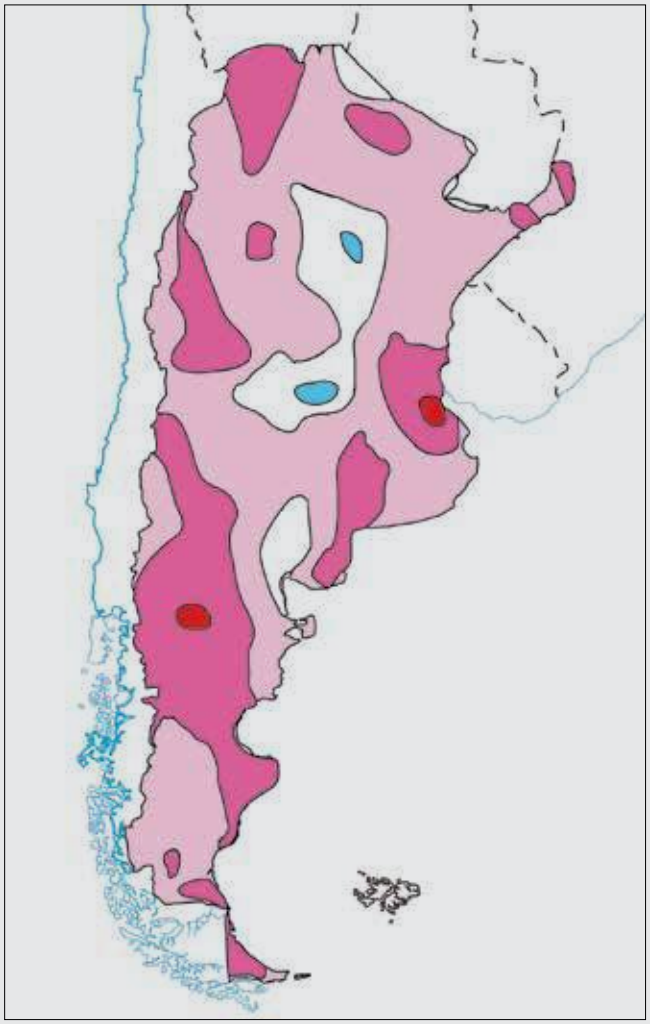


Figura 1. Cambio de la temperatura media anual en la Argentina entre 1960 y 2010. Los contornos indican cambios de 0,5°C. En rosado claro, zonas en que se registró un aumento de 0,5°C; en rosado oscuro, aumento de 1°C; en rojo, aumento de 1,5°C; en blanco, sin cambio; en azul, disminución menor que 0,5°C. Dada la escala del mapa, debe considerarse un esquema aproximado.

Hielos antárticos. Foto The Gacier Society

un futuro más lejano (entre 2075 y 2099) tanto con emisiones moderadas de gases de efecto invernadero (las que resultarían en un cambio de la temperatura media global de aproximadamente 2°C a fines del siglo XXI), como con emisiones mayores (las que resultarían en un cambio de la temperatura media global de aproximadamente 4°C a fines del siglo XXI).

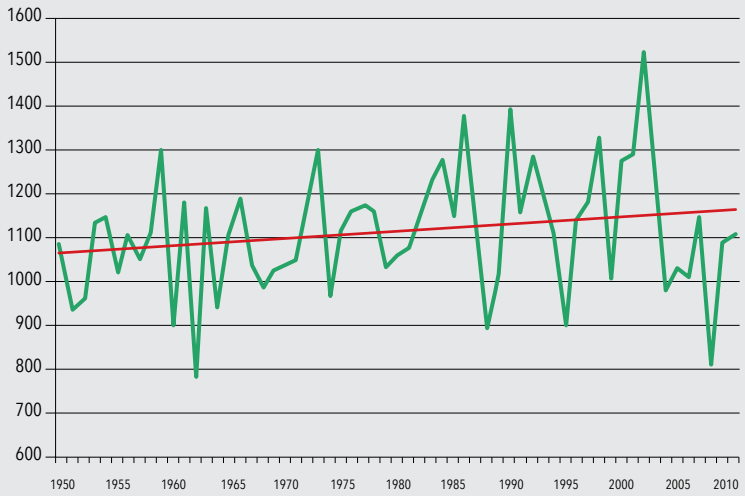


Figura 2. Evolución temporal de la lluvia media anual en la región húmeda (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes y Misiones) entre 1950 y 2010. Los valores del eje vertical son milímetros de precipitación. El trazado verde resulta de unir los puntos correspondientes a los registros de cada año; la recta roja indica la tendencia, que señala un incremento a pesar de las fuertes oscilaciones anuales.

El estudio concluyó que en el futuro cercano el aumento de la temperatura media en el país no depende mucho de las emisiones y sería de entre 0,5°C y 1°C. Esto implicaría una aceleración del calentamiento registrado en los últimos cincuenta años. En el futuro lejano, en cambio, el incremento de la temperatura media dependería de las emisiones y sería de entre 0,5°C y 3,5°C (o más en el noroeste argentino). También concluyó que, en promedio, aumentarán en la mayoría de las regiones las temperaturas altas extremas.

En particular, los cambios registrados en las temperaturas de la región andina contribuyen a explicar el retroceso de la mayoría de los glaciares de la cordillera, algo que continuaría en el futuro.

Otra de las variables frecuentemente analizadas en estudios de cambio climático regional es la lluvia, cuyas variaciones tienen obvias implicancias para actividades cruciales de la economía argentina, como la agropecuaria. En el período 1960-2010 las precipitaciones medias anuales aumentaron en todo el este del país –aunque también experimentaron importantes variaciones interanuales– principalmente en verano, como se aprecia en la figura 2. Esos aumentos fueron especialmente importantes en algunas zonas semiáridas, lo que junto con

factores no climáticos facilitó la expansión de la frontera agrícola. Asimismo, entre 1960 y 2010 en gran parte del país hubo precipitaciones extremas más frecuentes, es decir, aquellas lluvias que raramente ocurrían y que superan el umbral a partir del cual, en cada sitio, tienen importantes consecuencias.

Las lluvias anuales, en cambio, disminuyeron significativamente en ese período en los Andes, principalmente en su porción patagónica, pero también en los Andes cuyanos los registros de caudales de los ríos permitieron inferir esa tendencia negativa desde comienzos de siglo XX. Las tendencias decrecientes en las zonas cordilleranas coexistieron con las grandes variaciones entre períodos con incremento y períodos con disminución de las lluvias que se registraron en otras zonas (véase en este mismo número el artículo 'Cambio climático y recursos hídricos. El caso de las tierras secas del oeste argentino'). En el oeste y sobre todo en el norte del país el período seco invernal se hizo más prolongado, lo que puede redundar en menos agua para consumo de la población y para la producción agropecuaria, así como condiciones más favorables para los incendios de bosques y cultivos.

Los cambios de precipitación anual en todo el país estimados para el futuro cercano mediante los modelos climáticos no serían muy relevantes, pues no diferirían de los valores actuales por más del 10%, excepto en el futuro lejano para el escenario de mayores emisiones. Se estima que acaecería un descenso moderado de las lluvias en la franja occidental de la Patagonia norte y central, lo mismo que en la zona cordillerana de Mendoza. Por otra parte, los modelos predicen un aumento de las lluvias extremas en la mayoría de las regiones, lo que se asociaría con un mayor riesgo de inundaciones, principalmente en el este. Téngase en cuenta, sin embargo, que la incertidumbre sobre los resultados de las estimaciones de lluvia futura es relativamente grande, por las razones explicadas.

¿Cómo reducir el riesgo de desastres en un contexto de cambio climático?

El riesgo de desastres relacionados con el clima depende de la naturaleza y severidad de la amenaza climática, así como de las condiciones de vulnerabilidad y exposición de los sistemas naturales y humanos, incluyendo su habilidad para adaptarse. El aumento de olas de calor, una de cuyas manifestaciones más severas se produjo en diciembre de 2013, así como de la frecuencia de lluvias extraordinarias, del tipo de las que afectaron a las ciudades de Buenos Aires, La Plata y Santa Fe, entre otras, implican un llamado de atención de que podrían ocurrir otros desastres.

Para disminuir considerablemente las consecuencias negativas de los fenómenos climáticos extremos, todos los informes especializados recomiendan reducir la vulnerabilidad y la exposición, así como tomar medidas de adaptación al cambio. Reducen la vulnerabilidad morigerar la pobreza y la desigualdad socioeconómica, mejorar la educación y tomar conciencia de las amenazas climáticas. Reducen la exposición el reordenamiento territorial, la planificación energética y reglamentar la construcción, entre otras medidas. También es importante establecer sistemas de alerta temprana y tener listos planes de contingencia, lo mismo que emprender acciones en los ámbitos local, nacional e internacional para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, que ocasionan el calentamiento global.

El manejo del riesgo de desastres debidos a un clima cambiante se beneficia de proceder en forma iterativa, es decir, de aprender haciendo y encontrar sobre la marcha mejores adaptaciones. Para reducir los perjuicios causados por el cambio climático se requiere la cooperación interdisciplinaria e intersectorial, que abarque organismos científico-académicos, entidades públicas y privadas, y la sociedad civil en general. CH

LECTURAS SUGERIDAS

FIELD CB *et al.*, 2014, 'Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad', Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

Informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), en particular los accesibles en *http://ar5-syr.ipcc.ch/* y *http://ipcc-wg2.gov/SREX/*.

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE - CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL MAR Y LA ATMÓSFERA, 2014, *Cambio climático en la Argentina. Tendencias y proyecciones*, Buenos Aires.

Carolina Vera

Doctora en ciencias de la atmósfera, UBA.
Investigadora principal en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, UBA-Conicet.
Profesora titular, FCEYN, UBA.

Vicente Barros
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

La Argentina y el acuerdo internacional sobre cambio climático

En el número 146 de Ciencia Hoy, de noviembre-diciembre de 2015, publicamos un artículo con el título de 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', en el que discutimos el concepto, sus causas y sus alcances, y explicamos qué se trataría en la 21ª Conferencia de las Partes de la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático que estaba por celebrarse en París a comienzos de diciembre de ese año. En esta nota nos ocupamos de los resultados de esa conferencia. Quizá el lector poco familiarizado con el tema encuentre provechoso leer el artículo anterior antes que este.

Sintetizando, hay evidencia de que las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en actividades humanas han modificado el clima del planeta. Su causa principal es la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) para la producción de energía, lo que liberó dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Desde alrededor de 1880, en que se la empezó a medir en forma sistemática en gran parte del planeta, se constató que la temperatura media de la Tierra lleva un aumento de unos 0,85°C. Se estima que si se mantienen las tendencias y los modos de producción de energía, ese incremento llegará a 4° a fin del presente siglo. El aumento de la temperatura global está produciendo modificaciones de las precipitaciones pluviales y nivales, y un general incremento de fenómenos extremos como olas de calor, sequías extendidas, lluvias intensas y sus consecuentes inundaciones, etcétera.

Los riesgos de la intensificación de los episodios climáticos extremos y la pérdida irreversible de sistemas naturales y culturales únicos podrían ser altos con un calentamiento mayor que 2°C por encima del período preindustrial. Si se pretende no superar ese umbral, las emisiones acumuladas

¿DE QUÉ SE TRATA?

Compromisos formales asumidos por la Argentina y los demás países ante las amenazas del cambio climático

Manifestación ambientalista en la Place de la République, en París, en coincidencia con la reunión comentada en este artículo. Foto Vos Iz Neias

de CO_2 no deberían superar 2900 gigatoneladas (Gt), casi dos tercios de las cuales ya habían sido emitidas antes de 2010, por lo que solo quedaría disponible un cupo para emitir de alrededor de 1000Gt.

Cumplir esa meta plantea enormes desafíos tecnológicos, económicos, sociales e institucionales; las acciones para lograrlo serán cada vez más difíciles en la medida en que se retrasen en el tiempo.

El acuerdo de París

Dado el general acuerdo sobre la gravedad de las amenazas del cambio climático, desde la década de 1990 tuvieron lugar negociaciones en el marco de la mencionada convención de las Naciones Unidas. En diciembre de 2015 se arribó en París a un acuerdo legalmente vinculante entre prácticamente todos los países. Ante la imposibilidad de lograr consenso sobre una única fórmula universal de mitigación de emisiones, se acordó que cada país decidiera sus propias metas para el período 2020-2030.

En la mayoría de los casos, sin embargo, presentaron metas restringidas a este último año, pero como la desaceleración de las emisiones no puede ser brusca debido a la inercia del sistema socioeconómico, cumplir las metas para 2030 implica, de por sí, hacer reducciones desde mucho antes.

Los países desarrollados se comprometieron a reducir sus emisiones con respecto a algún año pasado. Por ejemplo, la Comunidad Europea se comprometió a disminuirlas en 40% con respecto a 1990, y los Estados Unidos, con mucho menos ambición, en 27% para 2025 con respecto a 2005.

En general, los países en desarrollo se comprometieron a que sus emisiones sean entre 15% y 40% menos en algún momento futuro, por lo común 2030, de lo que serían si no tomaran medidas. Unos pocos países optaron por una disminución de la intensidad de sus emisiones por unidad de producto bruto. En ambos casos los compromisos no implican necesariamente reducciones netas de las emisiones presentes, las que seguirían aumentando, pero con menor rapidez. Estos compromisos más laxos se amparan en el principio de que todos los países tienen obligaciones comunes, pero diferenciadas según su responsabilidad sobre el cambio climático y según su capacidad para mitigarlo.

El compromiso de China tiene tres partes: no exceder el nivel de emisiones que alcance en 2030 (sin especi-

ficar su magnitud), obtener para ese año el 20% de su energía de fuentes que no emitan gases de efecto invernadero, como nuclear, solar y eólica, y reducir la intensidad de emisiones por unidad de producto bruto interno entre 60% y 65% con respecto a 2005.

Los compromisos de los Estados Unidos y China, que juntos son responsables del 40% de las emisiones globales, son relativamente modestos, pero constituyen un paso muy positivo porque hasta hace pocos años ambos países habían sido renuentes a reducirlas.

De acuerdo con las obligaciones asumidas, de dicho cupo de 1000Gt solo quedarían sin emitir a partir de 2030 entre 150Gt y 450Gt. A la luz de esto, y ante la evidencia de que con esos compromisos voluntarios no se lograría mantener el calentamiento por debajo de los 2°C, se acordó que cada cinco años a partir de 2020 se revisarán las metas con la intención de mejorarlas. En cualquier otro momento, además, serán aceptadas mejoras voluntarias.

El compromiso argentino

El compromiso asumido por la Argentina es, como el de la mayoría de los países en desarrollo, una reducción porcentual de las emisiones respecto de lo que podría suceder en ausencia de políticas de mitigación de ellas y con un crecimiento económico estimado que no sea muy distinto del promedio de las últimas décadas. La meta se refiere al año 2030, aunque se sobrentiende que, por la mencionada inercia del sistema socioeconómico, se la alcanzará en forma paulatina. Aunque la magnitud de las emisiones del escenario base no se menciona en el documento de compromiso, la información presentada permite deducir que sería 670Gt de CO_2 equivalente, cifra sobre la cual el país se comprometió en forma incondicional a reducir el 15%, y en forma condicionada al apoyo financiero externo, el 30%.

La disminución de emisiones por medidas tomadas desde 2005, entre ellas la inclusión obligatoria de biodiésel y alconafta en los respectivos combustibles, iniciada en 2009, o el reemplazo de luminarias de filamento incandescente por otras de menor consumo, se computan como parte de ese 15%. En consecuencia, las reducciones adicionales requeridas rondarían entre el 6% y el 7%, lo que ya ha suscitado críticas (por ejemplo, el consorcio de ONG Climate Action Tracker ha calificado la propuesta de la Argentina de inadecuada; véase *hhttp://www.climateactiontracker.org/indcs.html*). Sin embargo, lo positivo es que con esta presentación la Argentina abandonó su posición contraria a adoptar esta clase de compromisos, a pesar de la indiferencia y en casos la oposición de algunos sectores privados e incluso del propio gobierno.

Cómo cumplir y mejorar el compromiso

Dado que la suma de todos los compromisos nacionales no alcanza para aventar las amenazas del cambio climático, se puede esperar que aumenten las presiones para que se mejoren sustancialmente. Las nuevas exigencias incluirían a los países emergentes que actualmente más aportan a la acumulación del CO_2 en la atmosfera. Ante este panorama, sería prudente que la Argentina planifique desde ahora el futuro de sus emisiones.

Los altos niveles de ineficiencia del transporte y del consumo de energía, más la abundancia de recursos naturales, ofrecen buenas oportunidades para mitigar las emisiones a costos relativamente bajos o incluso realizando ahorros. Las que se discuten a continuación parecen ser las más relevantes.

Solucionar la crisis energética

Las políticas y medidas de mediano y largo plazo que se necesitarían adoptar para resolver los problemas energéticos son acciones que también reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero. Como en otros países, el uso racional y eficiente de la energía permitiría una importante reducción de ellas y no demandaría grandes inversiones o innovaciones tecnológicas, porque las tarifas subsidiadas y los precios distorsionados de producción, distribución y consumo hacen que la energía sea tan barata que desalienta su uso racional (véase Salvador Gil y Gautam Dutt, 'Uso racional y eficiente de la energía', Ciencia Hoy, 25, 147: 31-36). Es muy probable que en el futuro cercano estos subsidios se reduzcan –como ha comenzado a suceder en momentos de escribir esta nota– y por lo tanto dejen de actuar como un incentivo al consumo y a que, por extensión, se produzcan mayores emisiones. El sinceramiento de las tarifas traería además otros beneficios, al facilitar inversiones no subsidiadas en las energías renovables.

Por otra parte, el transporte de carga se hace fundamentalmente por carretera y solo en menor medida por ferrocarril y por barco. Es una estructura inadecuada que no solo incrementa el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero sino, también, los costos. Hay un enorme potencial para reducir esas emisiones ampliando la participación del transporte fluvial y, especialmente, la del ferrocarril. La necesidad de mejorar la competitividad de exportaciones como los granos está alentando la expansión del uso del ferrocarril y ha dado lugar a que ya haya planes concretos para hacerlo.

El potencial hidroeléctrico no utilizado podría aumentar la capacidad total de generación eléctrica del país en alrededor de 40%. Algunos proyectos están entrando

a la etapa de ejecución. Como los embalses resultantes están en zonas de clima frío o son relativamente pequeños, las emisiones de metano que generen esos lagos no serían significativas.

Las reservas argentinas de hidrocarburos en reservorios no convencionales, como los de Vaca Muerta (véase Pablo J Pazos, 'Vaca muerta y algo más. Reservorios no convencionales de petróleo y gas', Ciencia Hoy, 25, 147: 31-36), en especial el *shale gas*, son enormes y posiblemente resultarán competitivas en el mercado interno en un plazo no muy lejano. Permitirán una mayor sustitución de petróleo por gas natural, cuya emisión de dióxido de carbono por unidad de energía es 25% menor que la de los derivados del petróleo. Ello redundará no solo en menores costos sino también en menores emisiones.

La insuficiencia de la oferta nacional de combustibles en el corto plazo puede ser una oportunidad para aumentar el porcentaje de biocombustibles en la nafta y el gasoil. La utilización de esos biocombustibles tiene un efecto neto nulo en las emisiones de dióxido de carbono, pues las plantas con las que se producen habían antes tomado ese gas de la atmósfera (véase Fernando Ramos, María Soledad Díaz y Marcelo Villar, 'Biocombustibles', Ciencia Hoy, 25, 147: 69-73).

La producción argentina de dichos biocombustibles –etanol y biodiésel– comenzó como industria exportadora, pero ahora también abastece el mercado interno, pues ambos deben incluirse en una proporción del 10% respectivamente en la nafta y el gasoil que se comercializan. En un futuro no muy lejano la innovación tecnológica haría competitiva la producción de etanol a partir de lignocelulosa, material presente en forma abundante en la biomasa vegetal proveniente, por ejemplo, de residuos agrícolas y forestales.

La energía eólica prácticamente no emite gases de efecto invernadero. Solo en Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, su potencial aprovechable con la actual tecnología es de 600.000MW, veinticinco veces la potencia de generación eléctrica instalada en el país. Además, los vientos de los que se obtendría soplan en promedio a alrededor de 30km por hora, lo que permite captar más energía con el mismo equipo que en la mayoría de las regiones del mundo donde se los utiliza (véase Erico Spinadel, 'Energía eólica en la Argentina', Ciencia Hoy, 25, 147: 49-52). En un mercado sin distorsiones, en algunas regiones de la Patagonia y de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, la energía eólica podría ser competitiva en la generación de electricidad en gran escala. La legislación argentina ya contempla que esta y otras fuentes de energías renovables abastezcan el 20% del consumo eléctrico hacia la mitad de la próxima década.

Otro posible uso de la electricidad generada por la energía del viento es la producción de hidrogeno in situ que luego sería transportado a los centros de consumo. Ya hay vehículos impulsados con hidrógeno en el mercado japonés y es muy posible que su precio se reduzca sustancialmente en la próxima década, lo que permitiría aprovechar el enorme potencial de energía eólica del país.

Resumiendo, en lo relativo a la oferta de energía, la Argentina tiene cuatro importantes caminos para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero: el incremento de la participación hídrica y eólica en la matriz de generación de electricidad, los biocombustibles, la sustitución de petróleo por gas natural y el hidrógeno producido por energía eólica.

Reducir la deforestación

La deforestación es causa del 14% de la contribución del país al incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo cual sucede por dos caminos: si se quema el bosque hay emisión de CO_2 y, en adición (o aunque no se queme), se pierde la capacidad de absorción del CO_2 atmosférico que tenía la masa forestal. Es el sector cuya contribución al efecto invernadero creció más rápidamente desde 1990, lo cual se debió a la expansión de la agricultura hacia áreas de bosque nativo, incentivada por el aumento de la demanda internacional de granos y por la consecuente mejora de los precios. Este proceso de deforestación tuvo principalmente lugar en el norte del país, a pesar de la ley dictada para contenerlo. Con solo aminorar el ritmo de deforestación se progresaría en la dirección del cumplimiento de los compromisos asumidos en París, pero la principal dificultad para hacerlo es la demanda de más tierras agrícolas. Para superarla, se requerirá una firme voluntad política y llegar a un acuerdo sobre las compensaciones a los estados provinciales y a los sectores privados establecidas por la ley para conservar el bosque nativo.

Capturar carbono por bosques implantados

La captura biológica del CO_2 atmosférico es una de las formas más económicas de atenuar el aumento de la concentración de ese gas en la atmósfera. Ello ocurre cuando aumenta el stock de madera en las plantaciones forestales, y por consiguiente el de carbono. Una vez alcanzada la etapa de la cosecha, si el bosque es renovado continuamente, ese stock de carbono se puede mantener constante por lo menos por varias décadas. Solo algunas regiones del mundo disponen de importantes superficies con aptitud forestal y condiciones para que los árboles crezcan en forma rápida. La Argentina es una de ellas; dispone de no menos de 10 millones de hectáreas de esas características, de las que solo utiliza en estos momentos algo más de 1 millón. Al respecto, es ilustrativo el caso del Uruguay donde, debido a la gran forestación realizada, se llegó a un estado de emisiones netas negativas de dióxido de carbono.

A modo de conclusión

Las formas de reducir el crecimiento de las emisiones argentinas de gases de efecto invernadero descriptas en este artículo no son todas las posibles, sino solo quizá las más importantes por el volumen de mitigación que permitirían alcanzar y por su bajo o nulo costo adicional. Bastarían sin embargo para exceder la meta comprometida por el país, incluso sin tomar en cuenta las muy posibles innovaciones tecnológicas que se esperan para la próxima década, en la cual la energía solar llegaría a ser ya competitiva para generación de electricidad (véase Judith Franco *et al.*, 'Energía solar térmica', Ciencia Hoy, 25, 147: 37-42, y Julio C Durán *et al.*, 'Energía solar fotovoltaica', Ciencia Hoy, 25, 147: 43-48). Podría también entonces arribarse a un uso comercial extendido del hidrógeno y a obtener biocombustibles de la celulosa a un costo competitivo.

Igualmente, sería posible ampliar sin mayores riesgos en 40% o aun más el compromiso asumido, porque se podría contar para ello con inversión externa en el contexto del monto global de 100.000 millones de dólares anuales a partir de 2020 fijado como meta en el acuerdo de París. Este es el monto acordado del flujo de inversiones que los países desarrollados harían en los países en desarrollo, fundamentalmente destinadas a financiar acciones de mitigación.

La principal razón de ese flujo de inversiones es que en la actualidad el mayor incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero se produce sobre todo en los países emergentes. En el caso argentino, dichas inversiones harían factible algunas de las alternativas de reducción de emisiones que de otra forma requerirían subsidios, como parte de las energías renovables, la forestación comercial o la conservación del bosque nativo.

La expansión de la agricultura es causa de deforestación, con lo que se pierde la capacidad del bosque de absorber CO_2 atmosférico.

Finalmente, es conveniente resaltar que las políticas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero son por lo general consistentes con otros objetivos de desarrollo económico y en muchos casos pueden ser oportunidades para generar inversiones, empleo y crecimiento económico. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BARROS V, 2006, *El cambio climático global*, Libros del Zorzal, Buenos Aires.

BARROS V, CLARKE R Y SILVA DIAS P (eds.), 2006, *El cambio climático en la cuenca del Plata*, CIMA, Buenos Aires.

LEARY N *et al.*, 2007, *Climate Change and Adaptation*, Earthscan, Londres.

Vicente Barros

Doctor en ciencias meteorológicas, UBA.
Investigador superior del Conicet.
Profesor emérito, UBA.

Hernán Carlino, Daniel Perczyk,
y Gerardo Rabinovich
Centro de Estudios en Cambio Climático Global,
Fundación Torcuato Di Tella

Energía y cambio climático

El sector energético ocasiona en estos momentos unas dos terceras partes de las emisiones globales de gases de efecto invernadero debidas a actividades humanas (o emisiones antropogénicas), que para la opinión académica mayoritaria constituyen la causa central del cambio climático actualmente en curso.

Los hidrocarburos fósiles son la principal fuente de abastecimiento energético del planeta. El petróleo (y sus derivados), el carbón y el gas natural abastecen el 82% del consumo energético mundial. El uso de esos combustibles –que se componen casi exclusivamente se carbono e hidrógeno– explica la mayor parte de las emisiones del principal de dichos gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono o CO_2, que se forma al producirse la combustión, pues el oxígeno del aire se combina con el carbono contenido en los hidrocarburos.

Las fuentes de energía que no producen emisiones o lo hacen en forma limitada tienen baja participación en la estructura del abastecimiento energético global. La energía atómica o nuclear aporta el 4,8% del total, la hidroelectricidad el 2,4% y las energías renovables no convencionales, como la solar, la eólica, la geotérmica y otras, el 1,1%. Los lectores que deseen mayor información sobre la energía en el contexto actual, particularmente en la Argentina, pueden consultar el número 147 de Ciencia Hoy, de enero-febrero de 2016, enteramente dedicado al tema. Esta nota retoma algunas cuestiones analizadas en los once artículos que contiene.

Entre las acciones capaces de reducir las emisiones de gases invernadero se pueden citar:

- Aumentar el uso de energías de fuente renovable en reemplazo de los combustibles fósiles, tanto para generar electricidad como calor.
- Aumentar el uso del gas natural en reemplazo del carbón y del petróleo, porque emite menos CO_2 que estos por unidad de energía proporcionada.

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Existe alguna forma de seguir consumiendo energía al ritmo requerido para satisfacer las necesidades de la población mundial y, al mismo tiempo, evitar que siga aumentando en la atmósfera el contenido de gases de efecto invernadero, que llevaría a niveles inaceptables el calentamiento de la Tierra?

- Incrementar la eficiencia energética, es decir, obtener las prestaciones deseadas con menor cantidad de energía.
- Promover cambios de comportamiento en materia de consumo, transporte y hábitat que disminuyan la demanda de energía y por ende las emisiones de CO_2.
- Promover la captura y el almacenamiento de carbono, es decir, atrapar el CO_2 emitido por plantas industriales o usinas eléctricas, y almacenarlo de modo permanente y seguro (por ejemplo, en formaciones geológicas subterráneas) o transformarlo en otros compuestos de carbono. El procedimiento es hoy costoso y comenzó a aplicarse por primera vez en escala industrial en 2014.

Modificar significativamente la estructura del abastecimiento energético de un país es tarea de elevada complejidad. Implica superar desafíos tecnológicos y remover barreras económicas, así como alterar los comportamientos del consumidor y los modos de producción. En los últimos años, sin embargo, han tenido lugar algunos cambios en la buena dirección, pero no han logrado disminuir la preponderancia de los combustibles fósiles. El petróleo sigue siendo la fuente dominante en el mundo, si bien perdió participación en los últimos años, pues bajó de más del 40% a fines de la década de 1990 al 32% en la actualidad. Como contrapartida, el carbón incrementó su presencia y alcanzó el 29%, la más alta desde 1969.

Entre los cambios favorables ocurridos a lo largo de los mismos años se puede citar el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía renovable, como la solar fotovoltaica y la eólica (véase JC Durán *et al.*, 'Energía solar fotovoltaica', y E Spinadel, 'Energía eólica', Ciencia Hoy, 25, 147, enero-febrero de 2016), que creció en forma importante en las principales economías mundiales (figura 1), pero su incidencia en la oferta total de energía primaria continúa siendo menor. Así, la generación fotovoltaica creció con intensidad desde 2006, se duplicó de 2010 a 2011, y se expandió 56% en 2012, aunque todavía representa solo 2% de la estructura de producción de electricidad mundial de origen renovable. La generación eólica aumentó casi diecisiete veces desde 2000 (se duplicó de 2010 a 2012) y produce hoy el 11% de la electricidad de fuente renovable (figura 2). Sin embargo, entre ambas solo alcanzan a representar el 1,1% de la energía que consume el mundo, y el 12,7% de la electricidad producida por fuentes renovables. De todos modos, en 2014, la mitad del crecimiento de la capacidad instalada de generación eléctrica correspondió a fuentes renovables. Por su lado, la generación hidroeléctrica se incrementó 39% desde 2000, aunque su participación en el total de las

renovables se redujo del 91,3% al 76,8%, por el rápido crecimiento de las demás.

Otras fuentes de energía, como la geotérmica y la mareomotriz, están en estadio de desarrollo tecnológico incipiente, por lo cual no se prevé que alcancen una participación significativa en la matriz energética mundial en el corto o el mediano plazo. En cuanto a la biomasa en su forma tradicional –esencialmente leña–, la fuente a la que recurrió la humanidad desde los tiempos más remotos, sigue siendo relevante en algunas regiones. Globalmente, sin embargo, en la matriz energética mundial solo se puede vislumbrar una mayor incidencia de la biomasa en su forma moderna de biocombustibles, tanto bioetanol como biodiésel, aunque su empleo puede enfrentar limitaciones por la competencia con otros usos de la tierra, como la producción de alimentos (véase FD Ramos, MS Díaz y A Villar, 'Biocombustibles', Ciencia Hoy, 25, 147, enero-febrero de 2016).

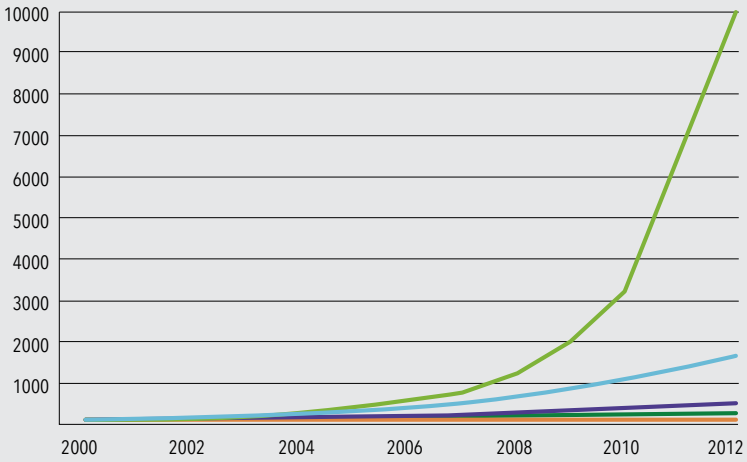


Figura 1. Crecimiento de la producción de electricidad en el mundo con energías renovables no convencionales entre 2000 y 2012 según datos de la Agencia Internacional de Energía. Las cifras del eje vertical son índices cuya base 100 corresponde al año 2000. Los colores de las curvas, de abajo a arriba, corresponden a energía geotérmica (ocre), biomasa (verde oscuro), biogases (violeta), energía eólica (celeste) y solar fotovoltaica (verde claro). Biomasa se refiere a leña, turba, bagazo de caña de azúcar, etcétera; biogases se refiere a emisiones de metano u otras de biodigestores o del tratamiento de residuos urbanos.

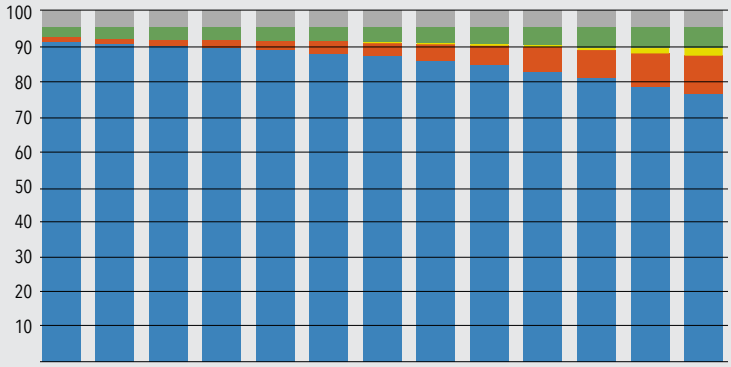


Figura 2. Participación relativa de los tipos de generación eléctrica de fuente renovable entre 2000 y 2012 según datos de la Agencia Internacional de Energía. Los valores del eje vertical son porcentajes del total de energía de fuente renovable generada en el mundo. Los colores corresponden a hidroelectricidad (azul), energía eólica (anaranjado), energía solar foto voltaica (amarillo) y biomasa (verde). La porción superior gris de las barras incluye fuentes varias (en 2012 rondó el 3,7%, compuesto así: residuos industriales y municipales 2%, energía geotérmica 1,4%,, biogases 1,3%, biocombustibles 0,1%,energía solar térmica 0,1%, energía marina de olas y mareas 0,1%). Biocombustibles son alconafta y biodiésel; biogases se refiere a emisiones de metano u otras de biodigestores o del tratamiento de residuos urbanos.

También en la Argentina, como en el resto del mundo, el abastecimiento energético muestra un predominio de los combustibles fósiles. El petróleo y el gas natural representan más del 85% de la oferta total de energía primaria, una relación que se mantuvo prácticamente inalterada en los últimos cincuenta años. Hasta mediados de la década de 1990 predominó el petróleo, pero desde entonces el gas natural tomó preeminencia, hasta llegar a representar aproximadamente el 50% de la oferta total de energía primaria del país en 2014.

Las emisiones de gases de efecto invernadero atribuibles a la producción, la transformación y el consumo de energía en el país crecieron de unas 100 millones de toneladas anuales de CO_2 equivalente en 1990 a poco más de 180 millones en 2012. (La expresión CO_2 equivalente significa que los valores incluyen las emisiones de otros gases convertidas a una cantidad equivalente de CO_2 en cuanto al efecto invernadero.) Su ritmo de crecimiento, que entre 1990 y 2012 fue del 2,8% anual, resultó mayor que el promedio mundial (2,2%). El mayor emisor en nuestro medio es el transporte (figura 3).

Las posibilidades de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la Argentina son significativas y solo han sido parcialmente exploradas. Técnicamente, entre las opciones a considerar están las siguientes:

- La generación eléctrica de fuente renovable realizada en forma concentrada y en escala suficiente como para entregarla a la red de alto voltaje del mercado mayorista. Las formas más promisorias son la hidroeléctrica, la eólica y la fotovoltaica.
- La generación eléctrica de fuente renovable realizada en forma distribuida conectada a la red domiciliaria de baja tensión por medio de paneles fotovoltaicos colocados en techos o muros de edificios.
- El uso de calefactores solares para calentar agua en edificios.
- La sustitución de calefones y termotanques con piloto a gas por otros con encendido electrónico.
- La sustitución de artefactos eléctricos domésticos por modelos con calificación A en cuanto a su consumo de electricidad.

Paneles solares fotovoltaicos instalados en el techo de una vivienda.

- El incremento del transporte por ferrocarril de personas y cargas en sustitución del transporte por carretera.
- La renovación del parque automotor para que se componga de vehículos más eficientes.

Las posibilidades reales de poner en práctica estas acciones, además de estar sujetas al grado de madurez de la respectiva tecnología, dependen de factores políticos, económicos y sociales que van más allá de la viabilidad técnica de la iniciativa.

En la situación presente, en que el mundo se ha propuesto hacer un esfuerzo para limitar las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (véase 'Actualidad del cambio climático', editorial del citado número 146 de Ciencia Hoy, y en ese número el artículo 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', de Vicente Barros, y del mismo autor en el presente número el artículo 'La Argentina y el acuerdo internacional sobre cambio climático'), los países se encuentran ante el dilema de que, al mismo tiempo, tienen como objetivo promover el creci-

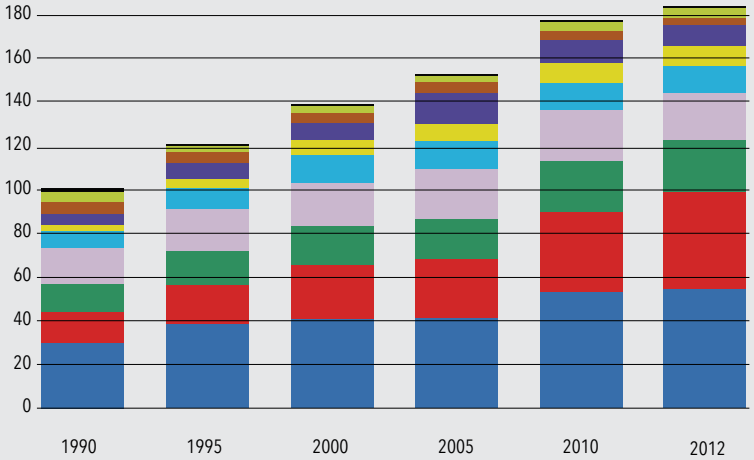


Figura 3. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Argentina clasificadas por actividad emisora. Las unidades del eje vertical son millones de toneladas de CO_2 equivalente (los valores incluyen el efecto equivalente de otros gases), según datos publicados por la Secretaría del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los colores de las barras corresponden a transporte (azul), generación eléctrica (rojo), consumo residencial (verde oscuro), industria y construcción (lila), extracción de petróleo y de gas natural (celeste), venteo de gas y producción de cemento (amarillo), producción agropecuaria, silvicultura y pesca (violeta), refino de petróleo (marrón), consumo de oficinas y comercios (verde claro) y fugas en gasoductos y redes de distribución de gas (línea negra superior).

miento de sus economías, garantizar la seguridad energética y proveer energía a quienes no tienen acceso a ella, que ascienden a unas 1500 millones de personas.

Para avanzar hacia avanzar la necesaria limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, estudios realizados en contextos académicos y en el ámbito de organismos como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y la Agencia Internacional de Energía han marcado un camino que permitiría hacerlo y a la vez cumplir con los mencionados objetivos mediante las tecnologías disponibles hoy. Ese camino se sostiene en tres pilares:

- El incremento de la eficiencia energética y de la conservación de energía.
- La generación de electricidad con emisiones reducidas de CO_2.
- El reemplazo de los combustibles más contaminantes por otros que contaminen menos.

Los mencionados avances en materia de la generación eléctrica con energía solar y eólica, que se produjeron con el incentivo de subsidios estatales, pueden debilitarse en la medida en que persista la caída de los precios internacionales del petróleo registrados desde mediados de 2014 y no cambie la perspectiva de que se mantengan bajos en el próximo quinquenio, pues los políticos encontrarán difícil justificar la asignación de dinero público a formas de generar electricidad que se obtendría a menor costo con las usinas térmicas tradicionales (en especial las más modernas, como las centrales de ciclo combinado alimentadas con gas natural). Ello a su vez empañará el interés de los empresarios por inversiones tecnológicamente innovadoras pero no competitivas en el corto ni, posiblemente, el mediano plazo. De todos modos, durante las próximas décadas, las inversiones globales en producción, distribución y uso de energía sumarán muchos millones de dólares, lo que pone en perspectiva la inversión adicional requerida para desplazar la oferta hacia energías más limpias, que será una fracción de ese monto.

En este contexto, la Argentina no hizo esfuerzos para modificar favorablemente su estructura de producción y consumo de energía. Hizo más bien lo contrario, al punto que en la última década se registró en el país prácticamente una duplicación de las emisiones de gases de efecto invernadero atribuibles al sector energético, a pesar de que la oferta total de energía primaria permaneció aproximadamente constante.

Las causas de lo anterior incluyeron una estructura de precios de la energía, de impuestos y de

subsidios que llevó a desvincular las decisiones de producción y consumo de los costos reales de los combustibles y la electricidad, lo que desembocó en fuertes distorsiones tanto de la oferta como de la demanda. A ello se sumó la discontinuidad y hasta inconsistencia de las políticas estatales en materia energética. Estas circunstancias crearon obstáculos serios a la inversión privada en energías renovables, y tampoco constituyeron un ambiente favorable a la inversión estatal, a pesar de lo cual algunos estados provinciales, como San Juan y San Luis, lograron modestos avances en la materia.

Estas líneas se escriben unas pocas semanas después de la renovación de las autoridades nacionales como consecuencia de las elecciones de fines de 2015. El nuevo gobierno anunció el cambio de las políticas energéticas y comenzó a ejecutarlo, por lo que las tendencias registradas en la última década podrían modificarse, pero en materia de emisiones y de generación eléctrica de fuente renovable se debe tener en cuenta que los efectos de nuevas políticas tardarán en ser percibidos, debido al tiempo necesario para el diseño y la ejecución de las inversiones. Esto significa que los proyectos sobre los que se tome decisión en los próximos meses no estarían en plena operación sino hacia mediados de la década de 2020.

Para revertir la tendencia en materia de reducción de emisiones (y también por otras razones que no tratamos aquí), el país necesita realizar un esfuerzo de reconstrucción de su mercado energético, reorientar las prioridades en materia de energías renovables y de eficiencia energética, y poner en juego una fuerte voluntad política de llevar adelante las acciones necesarias. Las oportunidades son importantes, pues la Argentina cuenta con abundantes recursos naturales. Su aprovechamiento le puede darle la oportunidad de transformarse en un pujante proveedor global de energías limpias. CH

La recopilación y elaboración de los datos usados en la nota estuvo a cargo de Luciano Caratori, cuya ayuda agradecen los autores.

LECTURAS SUGERIDAS

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA, 2015, *Energy Efficiency. Market Report 2015*, accesible en *https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-efficiency-market-report-2015-.html* (también en castellano).

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE, 2015, *Inventario y estudio de mitigación del sector de la energía*, 3ª Comunicación Nacional, accesible en *http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=13851*.

PANEL INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, 2011, *Informe especial sobre fuentes de energía renovable y mitigación del cambio climático*, accesible en *http://www.ipcc.ch/pdf/ special-reports/srren/srren_report_es.pdf*.

PANEL INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, 2014, *Mitigación del cambio climático*, quinto informe de evaluación, accesible en *https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/ index_es.shtml*.

Hernán Carlino
Licenciado en economía,
Universidad del Salvador.
Profesor, Universidad CAECE.
hcarl@itdt.edu

Daniel Perczyk
Ingeniero industrial, UBA.
Profesor, Universidad CAECE.
dp@itdt.edu

Gerardo Rabinovich
Ingeniero industrial, UBA.
Magíster en economía de la energía, Universidad de Grenoble.
Profesor, Universidad Nacional de Lanús.
grenerg@gmail.com

Imagen satelital obtenida por la NASA el 12 de septiembre de 2015. Muestra los Andes centrales y sus tierras adyacentes en la Argentina y Chile. La cordillera exhibe la abundante nieve acumulada durante el invierno.

Ricardo Villalba, José A Boninsegna, Mariano H Masiokas y Leandro Cara
Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Conicet

Mario Salomón
Departamento General de Irrigación de Mendoza

José Pozzoli
Universidad del Aconcagua, Mendoza

Cambio climático y recursos hídricos

El caso de las tierras secas del oeste argentino

El agua, recurso crucial

Por centro-oeste argentino aludimos al extenso territorio seco perteneciente a las provincias de San Juan y Mendoza que se extiende al pie de los Andes. En dichas provincias, más del 95% de la población se concentra en tierras irrigadas que ocupan respectivamente el 2,8% y el 3,4% de la extensión de ellas, y en esas tierras, también, se genera gran parte del producto bruto regional. Lo pequeño del área bajo riego con relación a los territorios provinciales refleja la escasez de agua, el recurso natural que regula el crecimiento socioeconómico de la región.

El agua de riego proviene de ríos y arroyos que se originan en la cordillera. Las enormes montañas de los Andes centrales, entre los 30° y los 37° de latitud sur, alcanzan alturas que superan los 5000m y desempeñan un papel hidrológico fundamental. Las masas de aire húmedo provenientes del Pacífico descargan su humedad en los sectores altos de la montaña, mayormente durante el invierno y en forma de nieve, la cual comienza a derretirse en primavera hasta alcanzar un máximo durante los meses más cálidos del verano.

Las fluctuaciones de la cantidad de nieve que se acumula cada año explican alrededor del 90% de las varia-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Mendoza y San Juan dependen del agua. ¿Cómo las afectará el cambio climático?

Estación nivométrica Estación de aforo

Mapa de la región de los Andes centrales entre los 30° y los 37° de latitud sur. Están marcadas las estaciones de medición de nieve y las de aforo de los caudales de los principales ríos. Los números corresponden a las siguientes estaciones nivométricas: 1. Quebrada Larga, 2. Portillo, 3. Toscas, 4. Laguna Negra, 5. Laguna del Diamante, 6. Valle Hermoso, 7. Lo Aguirre y 8. Volcán Chillán. Las letras, a las siguientes estaciones de aforo de los ríos indicados entre paréntesis: A. Km 47,3 (San Juan), B. Guido (Mendoza), C. Valle Uco (Tunuyán), D. La Jaula (Diamante), E. La Angostura (Atuel), F. Buta Ranquil (Colorado), G. Cuncumen (Choapa), H. Chacabuquito (Aconcagua), I. El Manzano (Maipo) y J. Los Briones (Tinguiririca).

ciones de caudal de los principales ríos de la región de un año a otro, o variación interanual. Por otra parte, las bajas temperaturas y las mayores precipitaciones en la alta montaña favorecen la formación de glaciares y otros cuerpos de hielo, que cumplen una importante función reguladora del agua que desciende hacia la llanura: en los años de poca nieve, al quedar los glaciares más expuestos a la fuerte radiación del sol de verano y comienzos del otoño, aportan una contribución adicional de agua a los ríos.

Los Andes centrales se caracterizan por una marcada variabilidad climática, que incluye las fluctuaciones de precipitación más extremas de América del Sur. Los registros desde comienzos de la década de 1950 muestran que la nieve acumulada en ese tramo de la cordillera puede oscilar de un año a otro entre 5% y 250% en torno de su valor medio. De 2010 a 2014 la acumulación de nieve en la alta cordillera estuvo por debajo de la media, lo que afectó el normal desenvolvimiento de la actividad agrícola y la generación de hidroelectricidad.

En los últimos tiempos, el enorme desafío de manejar en forma eficiente y sustentable los recursos hídricos en el oeste argentino se ha hecho más difícil por los cambios ambientales relacionados con el calentamiento global. Así, se ha documentado una marcada retracción de los glaciares andinos, proceso exacerbado por la ocurrencia de períodos prolongados con bajas precipitaciones. En este contexto, los gobiernos provinciales y las entidades científicas procuran establecer medidas que reduzcan las consecuencias desfavorables del cambio climático.

Las tendencias pasadas

Para poder establecer la existencia y la magnitud del cambio climático, considerado como una alteración que obedece a causas de origen humano, lo ideal sería poder caracterizar la variabilidad climática natural de la región antes de que operaran esas causas antropogénicas. Para ello, haría falta contar con datos de temperatura y precipitación que se extendieran hacia el pasado por mucho tiempo, incluso siglos. Pero en América del Sur, lo mismo que en muchas otras partes del mundo, los registros climáticos fehacientes raramente se prolongan por más de cien años hacia el pasado. Para los Andes centrales algunas series de mediciones de precipitación cubren los últimos cincuenta años, pero la mayoría no abarca más allá de los últimos veinte a treinta años. Además, la mencionada variabilidad de la precipitación dificulta identificar tendencias y cambios significativos.

Para salvar en alguna medida estas limitaciones, los científicos recurren a registros naturales diversos, por ejemplo, las variaciones interanuales de los anillos de crecimiento de los árboles, que pueden proporcionar información sobre la variabilidad climática a lo largo de siglos, incluso de milenios. Así, se ha podido reconstruir la historia de las precipitaciones en la vertiente oeste de los Andes centrales desde el año 1000 de nuestra era estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), lo cual proporcionó una visión de sus fluctuaciones muchos siglos antes de que se hiciese sentir la acción humana sobre el clima.

No solo se encontró una enorme variabilidad de las precipitaciones sino, también, largos períodos dominados por escasez o por abundancia de precipitaciones. Hubo lapsos húmedos en torno a los años 1120 y 1200,

desde 1340 a 1440 y desde 1650 a 1900. En particular, este último lapso se caracterizó por precipitaciones muy abundantes entre 1820 y 1860, el intervalo más húmedo de los últimos mil años. Los anillos de los árboles también dan cuenta de sequías prolongadas entre 1020 y 1100, 1260 y 1340, 1500 y 1640 con una pequeña interrupción en la década de 1590. A partir de comienzos del siglo XX se observa una tendencia hacia menores precipitaciones, que resulta marcada en las décadas de 1950 y 1960, y a partir de 2010.

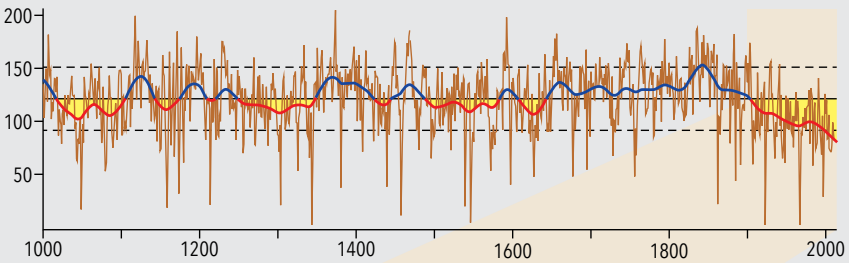
La mencionada tendencia decreciente en las precipitaciones no es estable, pues experimenta variaciones en respuesta a fenómenos como El Niño, que se asocia con un calentamiento en el océano Pacífico tropical y conlleva un incremento de las precipitaciones en los Andes, o La Niña, que puede producir el efecto contrario como consecuencia de enfriamientos del Pacífico tropical.

Si se analiza la serie de observaciones desde principios del siglo XX, se advierte que hubo también un período de bajas precipitaciones entre 1945 y 1976, coincidente con la fase fría de un fenómeno climático llamado la oscilación decenal del Pacífico, distinto de los dos anteriores. Se especula que el período continuo de cinco años con escasas nevadas en la cordillera que se inició en el invierno de 2010 podría estar asociado con una nueva fase fría de ese fenómeno. Este sería el lustro con menores precipitaciones desde 1951, año en que se comenzó a tomar datos de nieve en la alta montaña. Su consecuencia fue una disminución del caudal de los ríos andinos que llevó a los gobiernos provinciales a tomar serias medidas ante la emergencia hídrica.

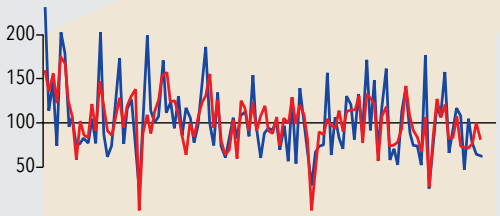
El retroceso de los glaciares

El retroceso de los glaciares en numerosas regiones montañosas del mundo es uno de los signos convincen-

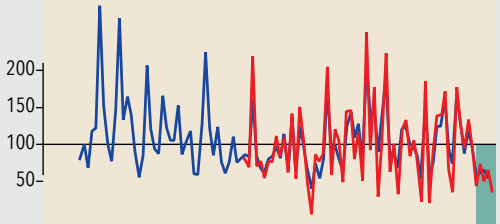
El río Atuel en la zona de El Sosneado, a unos 120km al suroeste de San Rafael, Mendoza. Foto Alejandra Cartamil



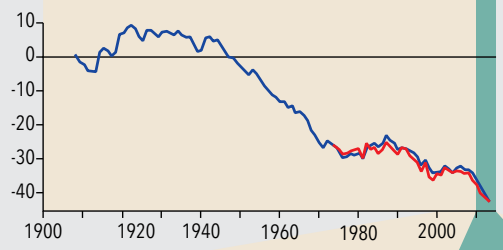
Variación de las precipitaciones en los Andes centrales durante el último milenio (líneas sepia), estimada estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*). Las cifras del eje de la izquierda indican diferencias porcentuales con relacion a la precipitación media del período 1925-2010. La línea azul y roja muestra las mismas variaciones en forma suavizada y diferencia los períodos húmedos (azul) de los secos (rojo). El sombreado amarillo destaca los segundos. Datos de estudios realizados en la Universidad Austral de Chile, Valdivia.



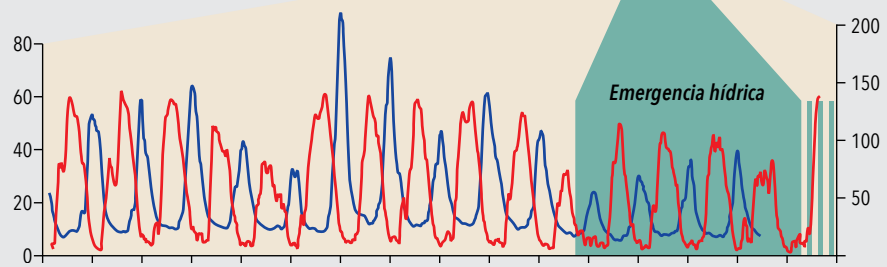
Detalle del período 1900-2010 del gráfico anterior. Las líneas rojas marcan las precipitaciones estimadas estudiando los anillos de crecimiento del ciprés de la cordillera, es decir, son las del gráfico precedente dibujadas en distinta escala temporal. Superpuestas en azul están dibujadas líneas que representan los datos meteorológicos tomados durante dicho período. Se advierte que existe razonable coincidencia de ambas series.



Variación anual entre julio de cada año y junio del siguiente de los caudales de diez ríos andinos (azul) y de la nieve caída en ocho sitios de alta montaña de los Andes centrales argentinos y chilenos (rojo). Las cifras del eje de la izquierda indican diferencias porcentuales con relacion a los valores medios del período 1951-2010.



Variaciones a lo largo de un siglo de la masa de hielo del glaciar Echauren norte, situado en los Andes chilenos a unos 50km al sureste de Santiago. La línea roja refleja las mediciones del glaciar realizadas a partir de 1972; la azul, estimaciones basadas en registros hidrometeorológicos. La tendencia de retroceso es similar a la observada en otros glaciares andinos. Las unidades del eje de la izquierda son porcentajes por encima y por debajo de la masa de hielo de dicho glaciar en 1906, que en el gráfico correspondería a la línea horizontal.



Variaciones del caudal del río Mendoza registradas en la estación de aforo Guido (azul) y cobertura de nieve en la cuenca superior del mismo río estimada con imágenes satelitales (rojo). Se advierte que entre 2011 y 2015 se registraron nevadas reducidas y bajos caudales, lo que dio lugar a la declaración del estado de emergencia hídrica en la provincia de Mendoza. Los valores del eje de la izquierda indican porcentajes de cobertura de nieve; los del eje de la derecha, caudal del río en m^3/s.

tes del calentamiento de la superficie terrestre acaecido en las últimas décadas. Los Andes centrales no son una excepción. Por décadas los científicos han documentado la retracción generalizada de los glaciares en los Andes y advertido una clara aceleración del proceso desde mediados del siglo XX. Por ejemplo, los glaciares de mayor extensión en la cuenca del río Las Vacas, un afluente del Mendoza, como los glaciares Las Vacas y Güssfeldt, han retrocedido alrededor de 3 y 5km respectivamente desde 1900. Retrocesos de similar magnitud han sido constatados para los glaciares Juncal, Beta y Gamma, en las nacientes del río Plomo, también tributario del Mendoza. Más al sur, en la cuenca del río Atuel, fotos históricas complementadas con otras evidencias han permitido establecer retracciones de más de 3 y 4km respectivamente para los glaciares La Laguna y Del Humo.

Hacia fines de la década de 1970 se empezaron a hacer en los Andes centrales estudios de balance de masa de glaciares, por ejemplo, en el glaciar Echaurren norte, ubicado en Chile a unos 50km al sureste de Santiago, en las nacientes del río Maipo. Tales estudios proporcionan una medida de los cambios de volumen de los cuerpos de hielo. Los que se vienen llevando a cabo en el lado argentino de los Andes centrales también muestran una disminución sostenida de los glaciares, consistente con los retrocesos señalados.

Los glaciares son componentes vitales de los sistemas hidrológicos de montaña y reservas de agua para las zonas bajas adyacentes (la ley nacional 26.639 de preservación de glaciares los llama 'reservas hídricas estratégicas'). Así, en 1968, cuando la cobertura de nieve en los Andes centrales solo alcanzó en promedio el 5% de sus valores medios históricos, el caudal de los ríos fue aproximadamente el 40% de su media histórica. Los cuerpos de hielo contribuyeron así a contrarrestar la falta de nieve, pues debido a un mayor derretimiento aportaron al caudal de los ríos y arroyos que descienden de los Andes. Situaciones similares se vivieron en otros años con sequías invernales, como 1996, 1998, 2004 y 2010, entre otros. La reducción de los cuerpos de hielo en la cordillera implica también una disminución de su capacidad reguladora de los caudales y, por consiguiente, un aumento en la vulnerabilidad de los oasis irrigados ante los cambios ambientales causados por el calentamiento global.

¿Hacia dónde vamos?

Para estimar cómo evolucionará la situación hídrica durante el resto del siglo XXI se han realizado diferentes simulaciones climáticas por computadora basadas en un rango de hipótesis sobre la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sus resultados llevan a pensar que en los Andes centrales y sus territorios aledaños las temperaturas se irán incrementando, con aumentos mayores en verano que en invierno, algo que ya se viene constatando, por ejemplo, en los registros tomados en los aeropuertos de San Juan de 1951 a 2014, Mendoza de 1954 a 2014 y San Rafael de 1961 a 2014, en los que se aprecian incrementos anuales de la temperatura de unos 0,20°C por década. Tanto los modelos climáticos como los escasos registros de alta montaña también muestran un aumento proporcionalmente mayor de la temperatura con la altura, más intenso a mayores elevaciones, con las consiguientes consecuencias en la pérdida de masa de los cuerpos de hielo.

Los modelos predicen una disminución de la caída de nieve en la alta cordillera pero un incremento de las lluvias estivales en las planicies adyacentes hacia el este. Si bien se ha documentado en la cordillera una leve y no significativa disminución de las lluvias desde comienzos del siglo XX, la enorme variabilidad interanual de las nevadas dificulta establecer una clara tendencia. Sin embargo, aun si las nevadas son menos frecuentes y me-

Cultivos bajo riego en Mendoza, al pie de los Andes centrales. Al fondo, nevado, el Cordón del Plata.

nos copiosas en el futuro, la precipitación en la cordillera seguirá dominada por la alta variabilidad asociada con El Niño, La Niña y la oscilación decenal del Pacífico.

En otras palabras, hacia fines del siglo XXI los ríos de la región tendrían períodos de bajos caudales interrumpidos por años con caudales regulares e incluso algunos con caudales abundantes. Los incrementos de temperatura en la alta montaña llevarían a un adelanto del momento de fusión de las nieves y, por consiguiente, del momento de mayor escorrentía. La agricultura irrigada dispondría así de más agua al comienzo de primavera, precisamente cuando la demanda de los cultivos tradicionales es mayor. Pero la contracara sería una disminución de los caudales de verano y sobre todo de otoño, que en la actualidad se emplean para recuperar, en los embalses, la gran demanda primaveral.

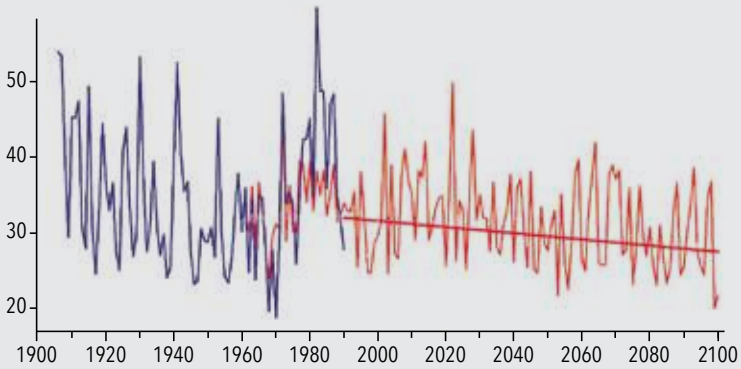
Mayor complejidad de manejo de los recursos hídricos

Las alteraciones en la escorrentía y en el ciclo hidrológico inducidas por el cambio climático se suman a la marcada variabilidad interanual de las precipitaciones que hemos recalcado, y agregan mayor complejidad al enorme desafío de manejar el agua, el recurso vital en las tierras secas del oeste argentino. Hay diversas acciones en curso para enfrentar ese desafío. Las autoridades nacionales y provinciales, junto con la comunidad científica, procuran efectuar una evaluación sistemática y continua del recurso hídrico, comenzando por la recopilación de los datos, para lo cual, con ayuda de financiamiento internacional, se ha resuelto aumentar la red de estaciones meteorológicas de altura, manejar en tiempo real y en forma coordinada los datos hidrometeorológicos, y fortalecer los equipos técnicos provinciales.

El Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales trabaja en el inventario nacional de glaciares que estableció la mencionada ley 26.639. En Mendoza, la provincia de la que los autores disponen de más información, el Departamento General del Irrigación de la provincia estudia la factibilidad de construir una red de pequeñas represas que puedan captar y almacenar el agua de las lluvias estivales que, según se indicó, se incrementarían al ritmo de la disminución de las nevadas en la cordillera. Con ello se reduciría el déficit de agua para riego en los años en que baja menos de ella de la montaña.

Con el objetivo de incrementar la eficiencia en el uso del agua de riego se procura mejorar las características de las fincas mediante medidas como la nivelación de las parcelas, la sistematización del riego, el desmalezado y el ajuste del agua entregada a los requerimientos de los cultivos. Para disponer de más agua en la cuenca del río Mendoza se ha puesto en marcha la construcción de reservorios de 1,5hm^3 de capacidad en la red primaria de canales, lo mismo que 10.000 compuertas para la regulación de caudales, y, con la participación de organizaciones de usuarios, el revestimiento y entubamiento de los canales.

El panorama descripto muestra la necesidad del trabajo conjunto de científicos, políticos, productores y organismos de la administración pública, así como la de establecer objetivos de largo plazo y políticas públicas que tengan continuidad, para ejecutar programas que permitan adaptar la actividad de la región a las futuras condiciones climáticas. Los especialistas coinciden, además, en la necesidad de formar recursos humanos capacitados para enfrentar los nuevos desafíos. La complejidad de los escenarios futuros lleva a concluir que se requiere dar alta prioridad a estas acciones para al desarrollo continuo y sustentable de la región. CH



Variaciones registradas en el caudal del río Atuel entre 1900 y el presente (líneas azules) y variaciones estimadas con ayuda de un modelo hidrológico hasta fines del siglo XXI (líneas rojas). Las proyecciones indican tanto la fuerte variabilidad interanual típica de los Andes centrales, como una tendencia general negativa a lo largo del siglo, marcada por la recta roja. Los valores del eje vertical son m^3/s.

Viñedos irrigados en Tamberías, San Juan. Wikimedia Commons

LECTURAS SUGERIDAS

BONINSEGNA JA, VILLALBA R y URRUTIA R, 2013, 'El cambio climático y los servicios del agua en la cordillera de los Andes', en LARA A *et al.* (eds.), *Servicios ecosistémicos hídricos. Estudios de caso en América Latina y el Caribe,* Red ProAgua CYTED, pp. 263-280.

MASIOKAS MH *et al.*, 2013, 'Recent and historic Andean snowpack and streamflow variations and vulnerability to water shortages in Central-Western Argentina', en PIELKE RA *et al.* (eds.), *Climate Vulnerability. Understanding and addressing threats to essential resources,* Elsevier, v. 5, pp. 213-227.

Ricardo Villalba
Doctor (PhD) en geografía, Universidad de Colorado en Boulder.
Investigador superior en el IANIGLA, Conicet.
ricardo@mendoza-conicet.gob.ar

Mariano H Masiokas
Doctor (PhD) en geografía, University of Western Ontario.
Investigador adjunto en el IANIGLA, Conicet.
mmasiokas@mendoza-conicet.gob.ar

Mario Salomón
Magíster en planificación y manejo de cuencas hídricas, Universidad Nacional del Comahue.
Profesor titular, Universidad Nacional de Cuyo.
Funcionario del Departamento General de Irrigación de Mendoza.
msalomon@agua.gob.ar

José A Boninsegna
Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de Cuyo.
Investigador superior en el IANIGLA, Conicet.
phonin@mendoza-conicet.gob.ar

Leandro Cara
Licenciado en ciencias geológicas, Universidad Nacional de San Juan.
Becario de la Conae en el IANIGLA, Conicet.
lcara@mendoza-conicet.gob.ar

José Pozzoli
Licenciado en ciencias sociales y Humanísticas, Universidad Nacional de Quilmes.
Profesor titular, Universidad del Aconcagua, Mendoza.
jcpozzoli@gmail.com

Sebastián Galiani
Universidad de Maryland

Economía del cambio climático

En el centro del debate sobre el cambio climático hay dos hechos indiscutibles. El primero es que ciertos gases de la atmósfera, que son transparentes a la luz visible, impiden el paso de la radiación infrarroja de onda más larga. Conocidos como gases de efecto invernadero, el más importante es el dióxido de carbono (CO_2), pero también tienen esas características el vapor de agua, el metano, el óxido nitroso y los clorofluorocarbonos. La radiación solar los atraviesa sin obstáculos y calienta la superficie de la Tierra, la cual entonces emite calor en forma de radiación infrarroja de onda larga. Si la atmósfera no poseyera gases de efecto invernadero, la mayor parte de esa energía escaparía hacia el espacio. El segundo hecho es que la presencia de gases de efecto invernadero ha ido aumentando en la atmósfera durante los últimos dos siglos.

Considerable incertidumbre científica hace difícil determinar con precisión cuánto calentamiento resulta del aumento de la concentración de dichos gases en la atmósfera y cómo afecta a las diferentes regiones y ecosistemas de nuestro planeta. A pesar de ello, como lo dice el último informa del IPCC, se puede afirmar que *el calentamiento en el sistema climático es inequívoco, y muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios*. En otros artículos publicados en este número, lo mismo que en los aparecidos en números anteriores citados en la página 29, encontrará el lector amplia información sobre este tema.

Anticipar qué sucederá en el futuro presenta también complicaciones, pues además de ser la consecuencia de los factores físicos que determinan el clima, la situación dependerá de cómo crezcan la población y la economía mundiales, igual que de las tendencias tecnológicas que determinen la eficiencia del uso de energía y de la proporción de fuentes de las que esta se obtenga que emitan gases de efecto invernadero con relación a las que no los emitan.

Estudios serios, como los realizados por William Nordhaus, de la Universidad de Yale, han estimado que

¿DE QUÉ SE TRATA?

El análisis económico ayuda a entender por qué se sigue emitiendo gases de efecto invernadero y qué caminos serían más viables para morigerar esas emisiones.

los daños económicos causados por el cambio climático alcanzarían al final del siglo XXI el orden del 2,5% de la producción mundial por año si nada se hiciera al respecto. Además, esos daños se concentrarían principalmente en regiones de bajos ingresos, como el África tropical y la India. Aunque algunos países podrían beneficiarse del cambio climático, es probable que haya significativos trastornos en muchos debidos a huracanes, inundaciones o sequías, lo mismo que en puertos y costas marinas y de ríos.

Análisis económico

En términos técnicos, se dice que las emisiones de gases de efecto invernadero generan *externalidades* negativas, porque quienes los emiten –sean individuos, empresas o naciones– no son los únicos que soportan las consecuencias de sus acciones. En otras palabras, las emisiones tienen un costo privado (que se llama el costo interno del emisor) y un costo social que incluye el costo externo, nombre que se da al que recae sobre otros. Como quien toma la decisión de emitir solo considera el primero, las emisiones colectivas, económicamente hablando, son mayores que lo socialmente óptimo.

Una situación similar se produce con los esfuerzos por mitigar las emisiones, que generan externalidades positivas, nuevamente porque quienes los hacen –sean individuos, empresas o naciones– no son los únicos que reciben sus consecuencias beneficiosas, pero sí los únicos en soportar sus costos. En consecuencia, se hacen menos esfuerzos de mitigación que los socialmente óptimos.

El remedio natural para lo anterior es incrementar el costo privado de las emisiones, de modo similar al incremento mediante impuestos del costo privado de los cigarrillos, cuyo consumo configura una situación semejante. De hecho, un aumento del costo privado sería triplemente beneficioso: induciría a los consumidores a reducir la demanda de bienes y servicios cuya producción genere grandes cantidades de emisiones, incentivaría a los productores a sustituir insumos fabricados por procesos que requieran grandes cantidades de emisiones por otros más limpios, e impulsaría la investigación y el desarrollo de nuevos productos y procesos que den lugar a menor cantidad de emisiones. El sistema de precios es el método más eficiente para transmitir esta información a los agentes económicos.

De la misma manera, el remedio natural para promover la mitigación es reducir el costo privado de hacerlo, de la misma manera que se subsidian consumos como vacunas o la educación mediante subsidios y hasta la provisión gratuita, porque sus beneficios exceden al individuo y se extienden al resto de la sociedad.

Si miramos la reducción de emisiones desde el punto de vista de los países, podremos advertir cómo opera lo anterior. Los beneficios de la mitigación son disfrutados por todos ellos, independientemente de los esfuerzos que pueden hacer por reducir las suyas. En cambio, los costos de esos esfuerzos recaen sobre las naciones que los emprenden y solo sobre ellas. Esto lleva a las circuns-

tancias conocidas en la teoría de juegos como el dilema del prisionero. En otras palabras, dado que en una primera aproximación cada país considera que solo le convendría reducir sus emisiones si los demás también lo hacen, ninguno comienza a hacerlo unilateralmente.

En concordancia con lo anterior, la solución propuesta al dilema por los economistas dedicados al estudio del cambio climático, como el mencionado Nordhaus o Richard Tol, de la Universidad de Sussex, es establecer un impuesto armonizado para todos los sectores y todos los países, cuya tasa fuera creciendo en el tiempo, junto con fuertes incentivos al desarrollo de nuevas tecnologías y procesos que produzcan menos emisiones.

Medidas de este tipo se han comenzado a tomar en forma restringida y parcial, porque hay escollos que entorpecen su aplicación generalizada, los que también obstaculizan realizar de modo coordinado y simultáneo un esfuerzo del que todos participen. En primer lugar, se prevé que los daños debidos al cambio climático no se distribuyan en forma homogénea alrededor del planeta. Incluso, un moderado aumento de la temperatura media de la Tierra (digamos, de entre 1 y 2°C) beneficiaría a algunos países, en los que, por ejemplo, tierras actualmente infértiles se volverían aptas para el cultivo. La mayoría de estos beneficios se concentrarían en países ricos como Canadá, Finlandia o Rusia, donde las emisiones per cápita son más elevadas que en los países de ingreso más bajo.

En segundo lugar, no es mucho lo que se ha avanzado en incentivar a los países a reducir sus emisiones. Si bien es cierto que no se puede obligarlos a hacerlo, hay antecedentes de la creación de mecanismos que les hacen costoso mantenerse al margen de participar, como lo muestran los acuerdos internacionales celebrados en la órbita de la Organización Mundial de Comercio. Pero esos mecanismos aún no se han puesto en marcha, aunque podría comenzarse a aplicarlos a partir de las resoluciones de la conferencia de París (véase en este mismo número la nota de Vicente Barros 'La Argentina y el acuerdo internacional sobre cambio climático'). El tratado de Kyoto, de 1992, no estableció sanciones para los países que no lo ratifiquen, ni beneficios para los que logren reducir sus emisiones. De hecho, países con elevados niveles de emisión de gases de efecto invernadero, como los Estados Unidos, no ratificaron el tratado ni alcanzaron las metas fijadas en él, y no sufrieron ninguna consecuencia por ello.

En adición, el volumen de emisiones y la cantidad de ellas por habitante difieren de país en país, lo mismo que la capacidad de reducirlas. Las naciones en desarrollo son las que menos gases de efecto invernadero emiten (aunque sus emisiones son las que más rápido crecen en estos momentos). China e India emiten cantidades considerables, pero sus emisiones per cápita son mucho menores que las de los países desarrollados. Y por último, las naciones en desarrollo consideran injusto no poder aprovechar los combustibles fósiles baratos para sacar de la pobreza a su población, como pudieron hacer en su momento los actuales países desarrollados.

El último punto se vincula con una falencia de las políticas señalada por Dieter Helm, de la Universidad de Oxford: el protocolo de Kyoto establece bajas en la producción de carbono, en lugar de reducciones en su consumo. Si este fuera el caso, la mayor responsabilidad en la reducción de gases de efecto invernadero recaería en los países industrializados, mientras que con el actual mecanismo estos podrían disminuir sus emisiones simplemente trasladando la producción de bienes a los países en desarrollo.

Cambio tecnológico

El avance tecnológico puede contribuir a reducir la emisión de gases de efecto invernadero de dos formas. La primera es realizar mejoras de los procesos productivos o en las formas de consumo que permitan incrementar su eficiencia y así utilizar menos energía para producir y utilizar los bienes y servicios requeridos, que es el camino que en lo inmediato ofrece las mejores oportunidades; de hecho en la última década se han hecho considerables avances en esta materia. La segunda es el diseño de sistemas que permitan reemplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía que no emitan dichos gases.

El cambio a las fuentes energéticas alternativas presenta promesas en un plazo más largo, pero enfrenta varias dificultades. Ante todo, la energía producida aprovechando fuentes renovables —como la solar o la eólica (véanse los artículos sobre esas energías en el número 147 de Ciencia Hoy)— es actualmente mucho más costosa que la producida recurriendo a las fuentes tradicionales. Los incentivos económicos necesarios para compensar esa diferencia de costo significarían una carga demasiado alta para todos los países. Además, ninguna de las tecnologías usadas para aprovechar esas fuentes ha sido aún desplegada en gran escala y, de hecho, todavía no están dadas las condiciones para que ello suceda. Por otro lado, nuevas energías renovables con rasgos atractivos, como la solar o la eólica, tienen como gran inconveniente su intermitencia. La energía nuclear, que no es intermitente y se encuentra en un estado avanzado de desarrollo, es vista con temor por gran parte de la población de los países desarrollados, por lo que muchos de ellos han decidido frenar la construcción de nuevas centrales nucleares e incluso cerrar las existentes, lo cual limita las opciones viables.

Como se aprecia, se necesita avanzar en el desarrollo de tecnologías que permitan recurrir a fuentes de energía que no produzcan gases de efecto invernadero, y ello significa invertir dinero para hacerlo. Esas inversiones, como cualquier otra, obedecen a una lógica económica y enfrentan las externalidades que comentamos al inicio. En ausencia de mecanismos restrictivos o compensatorios, sus beneficios quedan a disposición de todos los que quieran usar la tecnología y no pagaron el costo de desarrollarla, es decir, proporcionan beneficios sociales por encima de los privados que motivan a quien realiza la inversión. Por otro lado, también en ausencia de incentivos o mecanismos compensatorios, el costo de emitir gases de efecto invernadero es menor que el costo social de esas emisiones, lo cual no induce a las empresas a buscar nuevas tecnologías, es decir, a innovar.

Se puede concluir de los párrafos anteriores que una manera de sortear estos problemas es disminuir el costo de la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias mediante subsidios, y aumentar el de las emisiones por impuestos, en coincidencia con las citadas ideas de Nordhaus y Tol. El economista Daron Acemoglu, de origen turco, profesor del Massachusetts Institute of Technology, publicó con tres colegas de otras universidades en la *American Economic Review*, en 2012, un estudio técnico citado entre las lecturas sugeridas que corrobora lo anterior. Se trata del análisis realizado mediante un modelo matemático de la producción de un bien para el que se requieren dos insumos, uno de los cuales daña el ambiente al ser utilizado. El modelo indica que la investigación se con-

centrará en el insumo con mayores ventajas por el tamaño de su mercado y por su precio, que en el mundo actual sería el insumo contaminante.

El mismo modelo muestra también que tanto los impuestos a las emisiones como los subsidios a la investigación son necesarios para dirigir la inversión hacia el sector que produce insumos con bajos efectos ambientales adversos, pero solo hasta el momento en que el retorno del capital invertido sea mayor que el de la inversión en el sector tradicional o ambientalmente sucio. Este resultado cobra mayor validez cuanto más sustituibles sean los insumos. Sin embargo, en simulaciones realizadas como parte del trabajo, los autores concluyen que aun si los insumos fueran altamente sustituibles, la transición hacia el uso casi exclusivo de insumos limpios demorará aproximadamente setenta años. Una conclusión clara, entonces, es que cualquier retraso en tomar medidas beneficia la inversión en el desarrollo de los sectores tradicionales, por lo que el costo de revertir la situación aumenta.

Mitigación y adaptación

La mitigación y la adaptación son los dos elementos básicos para lidiar con el cambio climático. La mitigación consiste en acciones que ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o a incrementar su captura de la atmósfera. Adaptación significa anticipar y compensar los efectos del cambio climático. Las medidas que cada país decida aplicar en la materia dependerán de sus costos y beneficios relativos en el contexto de la economía del país.

Reducir la tasa de aumento del CO_2 atmosférico sería un camino menos efectivo en Latinoamérica y el Caribe, pero más efectivo, por ejemplo, en los Estados Unidos. Esto sugiere que las estrategias óptimas pueden diferir entre países, y que los que más emisiones producen podrían optar por políticas distintas que aquellos que emiten menos.

El autor ha participado en estudios comparativos sobre el efecto de gastos en mitigación y adaptación en economías ambientalmente grandes, medianas y pequeñas. Los resultados obtenidos llevan a pensar que las economías pequeñas tenderán a concentrar los esfuerzos que puedan hacer en adaptación. A pesar de que las grandes podrían gastar tanto en mitigación como en adaptación, probablemente lo hagan más en la primera. Si las economías pequeñas no logran gastar lo suficiente en adaptación, aun menos lo podrían hacer en mitigación, salvo que reciban asistencia o sean de alguna forma incentivadas por los países ricos. CH

LECTURAS SUGERIDAS

ACEMOĞLU D *et al.*, 2012, 'The environment and directed technical change', *The American Economic Review*, 102, 1, 131. Accesible en *http://economics.mit.edu/ files/8076*.

CHISARI O y GALIANI S, 2010, *Climate Change: A research agenda for Latin America and the Caribbean*, Banco Interamericano de Desarrollo, TN-164.

CHISARI O, GALIANI S y MILLER S, 2015, 'Optimal climate change adaptation and mitigation expenditures in environmentally small economies'. Accessible en *http://www.cid.harvard.edu/Economia/Forthcoming%20papers/Climate%20Change%20in%20Small%20Economies%20(final).pdf*

HELM D & HEPBURN C, 2009, *The Economics and Politics of Climate Change*, Oxford University Press.

NORDHAUS W, 2008, *A Question of Balance: Weighing the options on global warming policies*, Yale University Press, New Haven CT. Accesible en *http://www.econ. yale.edu/~nordhaus/homepage/Balance_2nd_proofs.pdf*

TOL R, 2010, 'Carbon dioxide mitigation', en LOMBORG B, *Smart Solutions to Climate Change. Comparing costs and benefits*, Cambridge University Press.

Sebastián Galiani

Doctor (DPhil) en economía, Universidad de Oxford.
Profesor de economía, Universidad de Maryland.
Investigador asociado, National Bureau of Economic Research, Estados Unidos.

Jaime García NÚMERO 39, Julio-diciembre de 2016

GUÍA del cielo NOCTURNO

Sistema binario de estrellas rho Ophiuchi. Foto Rogelio Bernal Andreo

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/*. En la Guía N° 38 (Ciencia Hoy, 25, 146, p. 61, noviembre-diciembre 2015) incluimos un glosario para facilitar la comprensión de la terminología utilizada que puede consultarse ahí o en la versión en línea.
En la tabla de visibilidad de los planetas incluimos, para los planetas exteriores, la constelación donde se los 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.

2016	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mercurio	No visible	Crepúsculo vespertino	No visible	Crepúsculo matutino	No visible	Crepúsculo vespertino
Venus	No visible	Crepúsculo vespertino	Crepúsculo vespertino	Del anochecer a 22h	Del anochecer a 23h	Del anochecer a 23h
Marte	Del anochecer a 4h en Libra	Del anochecer a 3h en Scorpius	Del anochecer a 2h en Ophiuchus	Del anochecer a 1:30h en Sagittarius	Del anochecer a 1h en Capricornus	Del anochecer a 24h en Aquarius
Júpiter	Del anochecer a 22:30h en Leo	De anochecer a 21h en Virgo	No visible	Crepúsculo matutino en Virgo	De 4h al amanecer en Virgo	De 2h al amanecer en Virgo
Saturno	Del anochecer a 5h en Ophiuchus	Del anochecer a 3h en Ophiuchus	Del anochecer a 1h en Ophiuchus	Del anochecer a 23h en Ophiuchus	Crepúsculo vespertino en Ophiuchus	No visible
Urano	De 1h al amanecer en Pisces	De 23h al amanecer en Pisces	De 21h al amanecer en Pisces	Toda la noche en Pisces	Del anochecer a 4h en Pisces	Del anochecer a 2h en Pisces
Neptuno	De 22h al amanecer en Aquarius	Toda la noche en Aquarius	Del anochecer a 6:30h en Aquarius	Del anochecer a 4:30h en Aquarius	Del anochecer a 2:30h en Aquarius	Del anochecer a 0:30h en Aquarius

JULIO

DJ 2457571 (JULIO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida
(1) 8:01
(15) 7:58

Puesta
(1) 17:54
(15) 18:02

4 08:02 — **11** 21:53 — **19** 19:59 — **26** 20:01

2 Mercurio pasa por su perihelio a las 13h.

4 La Tierra pasa por su afelio: 152.103.770 kilómetros (1,0167509 UA), a las 13h 24m.

10 Venus pasa por su perihelio a las 20h.

14 Mercurio en conjunción superior con el Sol a las 0h.

28 Máximo de la lluvia de meteoros Piscis Austrínidas (PAU); activas entre 15/7 y 10/8; THZ de 5; radiante en la constelación del Pez Austral. La Luna no interfiere si se observa hacia el este antes de medianoche.

29 a 30 Máximo de la lluvia de meteoros Delta Acuáridas del Sur (DSA); activas entre 12/7 y 23/8; THZ de 16; radiante en la constelación de Aquarius, el aguador. La favorece la Luna por estar poco iluminada. Observar antes del crepúsculo matutino.

30 Máximo de la lluvia de meteoros Alfa Capricórnidas (CAP); activas entre 3/7 y 15/8; THZ de 5; radiante en la constelación de Capricornio. La Luna no interfiere si se observa hacia el este antes de medianoche.

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

Selección de constelaciones visibles en julio (1/7 a las 22h, 15/7 a las 21h, 30/7 a las 20h). Del cielo austral: la constelación de Lacaille Norma, la regla. **Del boreal:** Ophiuchus, el serpentario. **Objetos destacados:** en Norma podemos destacar varios cúmulos galácticos brillantes que se aprecian a partir del uso de un binocular 7 x 50, entre las estrellas iota1 y épsilon Normae, en el borde con Ara, como NGC 6067 (el más brillante), H1, 6134, 6152, 6167 (otro muy brillante), 5999, 5946, 6169 y 6087. Se aprecian muy bien con un refractor de 70 u 80mm de apertura y foco corto, o un reflector de 114mm a 40 aumentos. Ya en Ophiucchus se observa una enorme cantidad de cúmulos globulares en la región más austral, donde limita con Scorpius. Se destacan los catalogados por Messier: M9, M10, M12, M19, M62 y M107, aunque son notables también NGC 6304 y 6356. Para todos ellos es mejor utilizar un reflector de 114mm o un refractor de 70mm de relación focal larga a 90 aumentos, con los que se logrará resolver estrellas en los más brillantes. También tenemos disponible una nebulosa rodeando a rho Ophiuchi, que es una bella estrella doble próxima a Antares. Hay dos importantes y dispersos cúmulos galácticos IC 4665 y NGC 6633. Y finalmente una interesante nebulosa planetaria, NGC 6572, accesible a telescopios pequeños.

AGOSTO

DJ 2457602 (AGOSTO 1, 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 7:47 (14) 7:33

Puesta (1) 18:13 (14) 18:23

2 17:46 **10** 15:22 **18** 06:29 **25** 00:42

12a 13	Máximo de la lluvia de meteoros Perseidas (PER); activas entre 17/7 y 24/8; THZ de 150; radiante debajo del horizonte norte. La Luna creciente favorece pues se pone poco después de medianoche y es mejor observar cerca del amanecer mirando hacia el norte.
15	Mercurio pasa por su afelio a las 13h.
16	Mercurio en máxima elongación este (27,43°) a las 18h.
23a 24	Marte se aproximará a su rival en el cielo, la estrella Antares, a 1,8°.
20a 13	Danza de planetas al atardecer, participan Venus, Júpiter y Mercurio. Venus y Júpiter estarán muy juntos (0,1°) el 27 de agosto.

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

Selección de constelaciones visibles en agosto (1/8 a las 22h, 15/8 a las 21h, 30/8 a las 20h) Ara (el altar) y Scorpius (el escorpión).

Objetos destacados: en la constelación de Ara destaca un brillante cúmulo globular, NGC 63797, accesible a un binocular 7 x 50 y resoluble en estrellas con un refractor de 70mm o un reflector de 114mm a 40 aumentos. Con ese mismo equipo se pueden percibir, también, los cúmulos abiertos de la zona que limita con Norma, NGC 6204, 6200 y 6250 y el más débil IC 4651, localizado próximo a alfa Ara. Ya en Scorpius, por tratarse de una constelación extensa y localizada en la zona más brillante de la Vía Láctea, encontramos una diversidad de objetos. Dos cúmulos galácticos bellos y muy brillantes como son M6 y M7 se distinguen a simple vista en el aguijón. Próximos a tseta Scorpii, del otro lado de la curva de la cola, aparecen varios cúmulos galácticos notables asociados a nebulosidad, NGC 6231, Cr 316 y H12, entre otros. Tampoco faltan los cúmulos globulares: M4 muy notable y fácil de ubicar próximo a Antares; M80 y NGC 6388 ya algo más débiles, requieren un telescopio de 150mm a 60 aumentos. Todos los otros objetos son accesibles a binoculares 7 x 50 o telescopios refractores de 70mm o reflectores de 114mm de apertura a 40 aumentos. Resta una bella estrella doble bien separada con componentes con mucha diferencia de brillo, sigma Scorpii, que precisan del mismo instrumental pero unos 80 aumentos.

SEPTIEMBRE

DJ 2457633 (SEPTIEMBRE 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 07:13 (15) 06:52

Puesta (1) 18:35 (15) 18:45

1 06:05 **9** 08:50 **16** 16:06 **23** 06:57 **30** 21:13

1	Eclipse anular de Sol que no será visible en la Argentina, solo en África (06h09m).
2	El planeta Neptuno estará en oposición al Sol a las 12h.
12	Mercurio en conjunción inferior con el Sol a las 21h.
16	Eclipse penumbral de Luna, de magnitud = 0,89, a las 15h58m.
22	Equinoccio de primavera, en el hemisferio sur, de otoño en el norte, a las11h22m09s.
26	Júpiter en conjunción con el Sol a las 3h.
28	Mercurio pasa por su perihelio, a las 12h.
28	Mercurio en máxima elongación oeste: 17,87°, a las 16h

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 1/9 Y 30/9)

Selección de constelaciones visibles en septiembre (1/9 a las 22h, 15/9 a las 21h, 30/9 a las 20h). Del cielo austral: Sagittarius y Corona Australis. **Del boreal:** Aquila y Sagitta.

Objetos destacados: este mes tenemos disponible la región más brillante de la Vía Láctea. Allí se destacan los objetos nebulosos de Sagittarius: M8, la *nebulosa Laguna*; M20, la *nebulosa Trífida*; M17, la *nebulosa Omega* y M24. Además, los cúmulos galácticos M25, M18, M21, Cr546 y M23. Todos estos objetos accesibles a pequeños instrumentos (refractor de 70mm y reflector de 114mm) a 40 aumentos. Ya en cúmulos globulares tenemos otra variedad considerable. En Sagittarius, el notabilísimo M22 y aquellos que no le van en zaga: M54, M55, M69, M70 y M75. En Corona Australis NGC 6541, para ellos valen los mismos instrumentos pequeños pero a 80 aumentos. De la constelación boreal de Sagitta, la flecha, destacamos únicamente el cúmulo globular M71, débil y compacto, accesible a pequeños instrumentos pero con 80 aumentos. En Aquilae, el águila, se destaca un cúmulo abierto, NGC 6709, bastante brillante y fácil de localizar, así como la notable estrella doble 5 Aql, de componentes bien diferenciadas por brillo y color (amarilla y violácea) y bien separadas. Para separarla bastan 50mm de apertura a 25 aumentos.

OCTUBRE

DJ 2457663 (OCTUBRE 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida	Puesta
(1) 06:30	(1) 18:57
(15) 06:11	(15) 19:09

09	16	22	30
01:34	01:23	16:15	14:40

10	Máximo de la lluvia de meteoros Táuridas de sur (STA); activa entre 10/9 y 20/11; THZ de 5; radiante la porción más austral de Taurus, el toro, cerca de la cabeza de Cetus, la ballena. La Luna creciente interfiere poco.
15	El planeta Urano en oposición al Sol a las 7h.
24	El 24 de octubre se celebra el Día Nacional de la Astronomía en la Argentina. El 24 de octubre de 1871, el entonces presidente de la Nación, Domingo F Sarmiento, inauguró en Córdoba el Observatorio Nacional Argentino, con el objetivo de que el país participase del progreso y desarrollo de las ciencias naturales, permitiendo al pueblo argentino tener un contacto directo con la ciencia astronómica. Su primer director fue el astrónomo estadounidense Benjamin A. Gould (1824-1896), con quien Sarmiento había mantenido conversaciones en los Estados Unidos, en años anteriores. La Asociación Argentina de Astronomía, entidad que reúne a los astrónomos profesionales de nuestro país, hace algunos años resolvió fijar la fecha del 24 de octubre como Día Nacional de la Astronomía Argentina, rindiendo homenaje, de esta forma, a los visionarios que crearon la primera institución astronómica del país.
27	Mercurio en conjunción superior con el Sol a las 13h.
29	Marte pasa por su perihelio a las 9h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 30/10)

Selección de constelaciones visibles en octubre (1/10 a las 22h, 15/10 a las 21h, 30/10 a las 20h). Del cielo austral, del grupo de Lacaille: Telescopium y la zodiacal Capricornus; del boreal, Scutum y Serpens. **Objetos destacados:** en la pequeña constelación de Telescopium destaca un cúmulo globular, NGC 6584 que puede percibirse con un reflector de 114mm pero se necesita uno de 200mm a 80 aumentos para resolverlo en estrellas. En la constelación de Scutum, debida a Hevelius, apreciamos dos cúmulos abiertos: M11 (bello y compacto) y M26, accesibles a pequeños instrumentos (80mm y 114mm). En Serpens tenemos uno de los objetos más famosos del cielo: la *nebulosa del águila*, M16, bien conocida por la notable imagen del telescopio espacial Hubble 'los pilares de la creación', una zona de profusa formación de estrellas. Se trata de un objeto bastante débil, por lo que es necesario utilizar un reflector de 150mm a 80 aumentos para poder apreciarlo. Finalmente, en Capricornus solo se destaca el cúmulo globular M30, visible como una mancha con un refractor de 80mm a 40 aumentos. Para resolverlo en estrellas es necesario recurrir a un reflector de 200mm a 80 aumentos.

NOVIEMBRE DJ 2457694 (NOVIEMBRE 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 05:52 (15) 05:41

Puesta (1) 19:24 (15) 19:38

7 16:52 | **14** 10:54 | **21** 05:35 | **29** 09:20

5	Máximo de la lluvia de meteoros Oriónidas de noviembre (NOO); activa entre 14/11 y 6/12; THZ de 3; radiante 4° al norte de Betelgeuze, alfa Orionis. Favorecida por la Luna apenas creciente.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 29/11)

Selección de constelaciones visibles en noviembre (1/11 a las 23h, 15/11 a las 22h, 30/11 a las 21h) del grupo de Lacaille, Sculptor; mirando al norte Cetus y Aquarius.

Objetos destacados: en la constelación se destaca una bella galaxia espiral, NGC 253, conocida como la *moneda de plata*. Es accesible a cualquier pequeño telescopio, pero para que sea algo más que una mancha es necesario utilizar un refractor de 80mm o un reflector de 114mm a 60 aumentos. Ya con un telescopio de 200mm podemos apreciar otras galaxias del mismo cúmulo: NGC 55, 300 y 7793. Hay allí también un pequeño cúmulo globular: NGC 288. En Cetus, en cambio, podemos apreciar a M77, otra bella galaxia espiral aunque más débil que NGC 253, pero accesible al mismo tipo de instrumental. En esta gran constelación podemos apreciar, también, una débil nebulosa planetaria, NGC 246, accesible a un reflector de 150mm a 40 aumentos. Finalmente, la constelación zodiacal de Aquarius, el aguador, nos depara una serie de objetos interesantes. Dos cúmulos globulares: M2 (más destacado y de fácil localización) y M72, ambos observables con refractores de 80mm o reflectores de 114mm a 40 aumentos. Un cúmulo abierto asociado a nebulosidad, M73, accesible a los mismos telescopios pero con menor aumento. Y dos bellas nebulosas planetarias, la famosa *hélice* NGC 7293 bien visible con 200mm a 60 aumentos y la *saturno*, NGC 7009 accesible a un refractor de 80mm a 100 aumentos.

DICIEMBRE DJ 2457724 (DICIEMBRE 1 9:00 HORA LOCAL)

Salida (1) 05:34 (15) 05:36

Puesta (1) 19:53 (15) 20:03

7 06:04 | **13** 21:08 | **20** 22:57 | **29** 03:55

2	Máximo de la lluvia de meteoros Phoenícidas (PHO); activa entre 28/11 y 9/12; THZ variable; radiante en la constelación de Phoenix, el ave Fénix. Favorecida por la Luna nueva.
7	Máximo de la lluvia de meteoros Púppidas-Vélidas (PUP); activa entre 1 y 15/12; THZ de 7; radiante entre las constelaciones de Puppis y Vela. Favorecida por la Luna en cuarto creciente.
10	Saturno en conjunción con el Sol a las 8h.
11	Mercurio en máxima elongación este: 20,76°, a la 1h.
21	Solsticio de verano, en el hemisferio sur, de invierno en el norte, a las 7h45m28s.
25	Mercurio pasa por su perihelio a las 12h.
28	Mercurio en conjunción inferior con el Sol a las 16h.

PARA OBSERVAR EN LAS NOCHES OSCURAS (ALREDEDOR DEL 29/12)

Selección de constelaciones visibles en diciembre (1/12 a las 23h, 15/12 a las 22h, 30/12 a las 21h). Del cielo austral, del grupo de Lacaille: Horologium y Fornax. Cubriendo gran parte del cielo, Eridanus.

Objetos destacados: En Horologium sobresale el notable cúmulo globular NGC 1261, objeto que aparece en un binocular, pero para disfrutarlo mejor es necesario un reflector de 114mm a 40 aumentos. Fornax se destaca por contar con un importante número de galaxias, aunque débiles, accesibles a instrumentos de aficionado. Dos son bastante notables: NGC 1316 y 1365. Ambas espirales pero la segunda es una barrada de brazos abiertos, mientras que la primera es una galaxia peculiar (Fornax A) que recuerda a Centaurus A. Para apreciar la estructura es necesario acudir a un reflector de 200mm a unos 80 aumentos. Eridanus nos reserva una débil y concentrada nebulosa planetaria: NGC 1535. Para disfrutar de su imagen se precisará utilizar un equipo similar al necesario para las galaxias de Fornax.

La espiral NGC 1365, a alrededor de 61 millones de años luz de distancia en la constelación de Fornax. Foto: ESO / AIF / danés de 1,5 m / R Gendler, JE Ovaldsen, C Thöne y C Feron.

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

¡NUEVO NÚMERO!

CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

¡PEDILA!

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