# GENGLAHOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy Volumen 25 número 147 enero - febrero 2016 Ejemplar en la Argentina \$80

Energía en la Argentina

Reservorios no convencionales de gas y petróleo

Biocombustibles

Almacenamiento de electricidad

Energía solar

Uso racional y eficiente

Energía eólica

# INNOVACIÓN Y DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA LA INDUSTRIA ENERGÉTICA

**CAMPOS MADUROS** 

RECURSOS NO CONVENCIONALES

REFINERÍA Y PETROQUÍMICA

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

NUEVAS ENERGÍAS

CADENA DE VALOR

GAS



# **CIENCIAHOY**

Fundada en 1988

# Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

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

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

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

# Consejo científico

**Coordinadora:** Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), Jorge Crisci (FCNYM, UNLP), Roberto Fernández Prini (FCEN, UBA), Stella Maris González Cappa (FMED, UBA), Francis Korn (Instituto y Universidad Di Tella), Juan A Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo Míguez (IEHS, UNCPBA), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), Marcelo Montserrat (Academia Nacional de Ciencias), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Jacques Parraud (UVT, INTA), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP), Eduardo H Rapoport (Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, UNLP)

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

# Representante en Bariloche

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

### Representante en Mar del Plata

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

# Editores responsables

# Federico Coluccio Leskow

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

### **Omar Coso**

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

## Alejandro Curino

Instituto de Investigaciones Bioquímicas Bahía Blanca, UNS-Conicet

### Cristina Damborenea

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

# Ingrid de Jong

Instituto de Ciencias Antropológicas, UBA-Conicet

### María Luz Endere

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

# Alejandro Gangui

Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

### Corresponsal en Río de Janeiro

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

### Suscripciones

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

# Costo de envío

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

### Distribución

# En ciudad de Buenos Aires y Gran Buenos Aires

Rubbo SA

Río Limay 1600 (C1278ABH) Ciudad Autónoma de Buenos Aires Teléfono: (011) 4303-6283/85

# En el resto de la Argentina

Distribuidora Interplazas SA Pte. Luis Sáenz Peña 1836 (C1135ABN) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISSN 0327-1218

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

### Aníbal Gattone

UNSAM

# José X Martini

Asociación Ciencia Hoy

### Paulina E Nabel

Asociación Ciencia Hoy

### Pablo E Penchaszadeh

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

# Roberto R Pujana

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

### María Semmartin

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

### Susana Villavicencio

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

# 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, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).





www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Ciencia Hoy agradece el apoyo del Conicet y del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. El segundo contribuyó, además, a incrementar la cantidad de páginas del presente número. 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



# Enero - febrero 2016

Volumen 25 - número 147

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

**6** Volumen 2 - número 8

Junio - agosto 1990

**EDITORIAL** 

8 Energía

**10** GRAGEAS

**ARTÍCULO** 

# **13** La energía hou

Salvador Gil y Gautam Dutt

Tanto la población de mundo como el consumo de energía por habitante tuvieron un drástico incremento a partir de la Revolución Industrial. ¿Dispondrá la humanidad de recursos energéticos suficientes para sostener ese crecimiento? Un análisis de las fuentes convencionales no renovables indica que muy probablemente se podría abastecer con ellas la demanda proyectada hasta fines del siglo XXI. Sin embargo, el aprovechamiento de esos recursos puede tener costos sociales, económicos y ambientales muy elevados debido a los riesgos del calentamiento global. Por ello, el debate energético actual versa sobre los recursos renovables y las medidas necesarias para incrementar la eficiencia energética.

# **19** Uso racional y eficiente de la energía

Salvador Gil y Gautam Dutt

Desde 2006, la Argentina es un país importador neto de energía. Actualmente, la importación y los subsidios energéticos tienen una importante repercusión en la balanza comercial y en las cuentas públicas. Si se hiciera uso racional y eficiente de la energía por lo menos en viviendas, comercios y oficinas (es decir, sin contar la industria, la generación eléctrica y el transporte), se podrían lograr ahorros comparables a un nuevo gran yacimiento de gas, o semejantes a lo que se importa de ese combustible. El artículo discute los ahorros significativos que pueden realizar los usuarios de los edificios del tipo mencionado.

**ARTÍCULO** 

# **25** Transiciones energéticas en la Argentina

Silvina Carrizo, Miguel A Núñez Cortés y Salvador Gil

A lo largo de la historia, las fuentes de energía empleadas por la humanidad variaron en forma lenta pero inequívoca. Hasta mediados del siglo XIX predominó la leña, luego se impuso el carbón mineral, más tarde lo hizo el petróleo y en la actualidad se presencia una marcha hacia la preponderancia del gas natural y se está haciendo un esfuerzo por impulsar las energías renovables. El pasaje de una forma dominante de energía a otra se llama una transición energética. En la Argentina, a comienzos de la década de 1950, se construyeron los primeros gasoductos, los cuales, asociados con una activa política estatal, iniciaron una transición al gas.

# 31 Vaca Muerta y algo más Reservorios no convencionales de petróleo y gas

Pablo J Pazos

Las perspectivas energéticas globales cambiaron en forma drástica en los últimos años con la puesta en explotación de reservorios de petróleo y sobre todo de gas que suelen aparecer en la literatura técnica y hasta la prensa general con los nombres de *shale oil* y *shale gas*. Los términos se refieren al tipo de roca que contiene los hidrocarburos, cuya baja permeabilidad lleva a recurrir a técnicas especiales de extracción, como el *fracking* o hidrofracturación. En la Argentina, Vaca Muerta se ha convertido en sinónimo de este tipo de yacimientos.

# 37 Energía solar térmica

Judith Franco, Martín Altamirano y Karina Escalante

Los rayos solares calientan. Este fenómeno, que todo el mundo conoce, da lugar a que, mediante una gran variedad de dispositivos y técnicas, se capture y aproveche el calor que llega del Sol para propósitos como calentar agua de uso doméstico, calefaccionar edificios o generar electricidad. Hablamos así de energía solar térmica y la diferenciamos de la energía solar fotovoltaica de la que trata el siguiente artículo y consiste en producir electricidad de modo directo con luz solar, sin pasar por calor.

# 43 Energía solar fotovoltaica

Julio C Durán, Juan Pla, Marcelo Álvarez y Roque Pedace

Los generadores fotovoltaicos convierten la energía de la radiación solar en electricidad por un proceso fisicoquímico que tiene lugar en dispositivos semiconductores llamados celdas solares o fotovoltaicas. Pueden estar desconectados de la red eléctrica pública, típicamente en áreas rurales sin acceso a ella, o conectados a dicha red; los segundos se pueden instalar formando centrales que entregan energía a la red de media o alta tensión, o diseminados en techos y muros de edificios y abastecer la red de baja tensión. En la Argentina, la generación eléctrica fotovoltaica es incipiente.

# 49 Energía eólica en la Argentina

Erico Spinadel

Desde antiguo la humanidad aprovechó la energía del viento, entre otras cosas para impulsar navíos y moler granos. En la Argentina los molinos de viento son parte constitutiva del paisaje pampeano desde el siglo XIX y en algún momento molinetes eólicos proporcionaron a la población rural electricidad de bajo voltaje para escuchar radio y tener un poco de luz eléctrica doméstica. Hoy, con turbinas modernas, la generación de electricidad eólica tiene importantes ventajas ambientales.

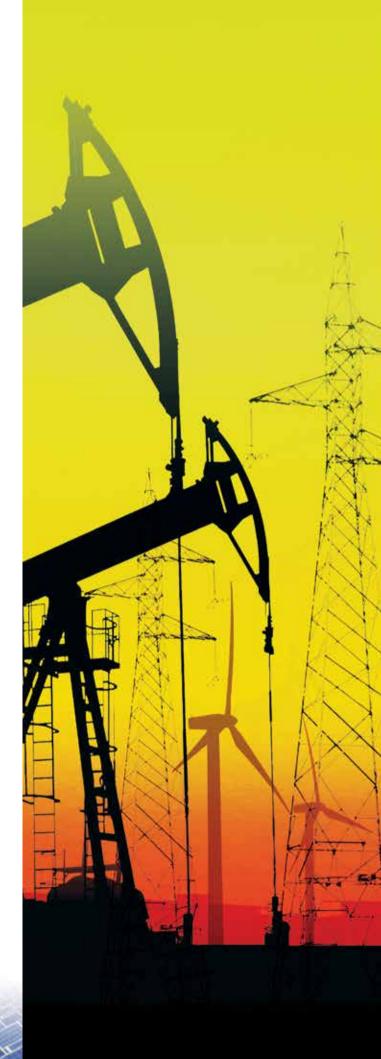
# 53 Sistemas de almacenamiento de electricidad

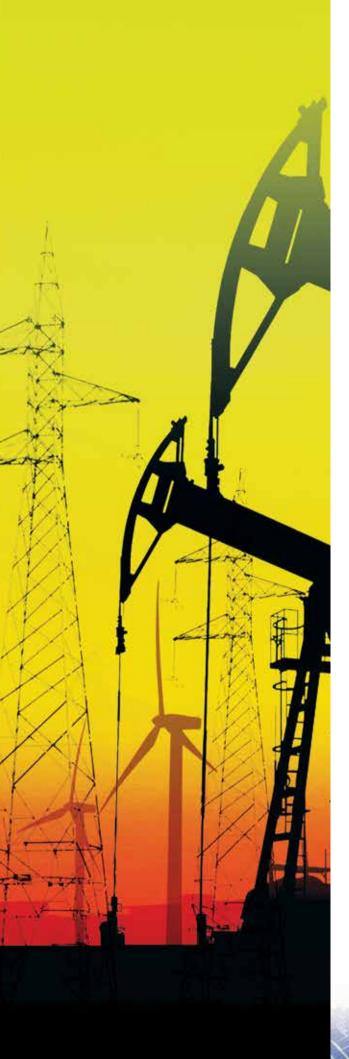
Jorge E Thomas

A lo largo de las horas del día, de los días de la semana y de los meses del año varía la cantidad de electricidad que requieren los consumidores en viviendas, oficinas, comercios e industrias. Por razones técnicas y económicas, no se puede producir en cada momento exactamente lo demandado, por lo que normalmente se genera de más, pero a veces se produce de menos y acaecen los molestos apagones. Los efectos de esas características estructurales del sistema eléctrico podrían morigerarse con dispositivos que permitieran almacenar electricidad cuando sobra y recurrir a ella cuando falta.

**ESPACIO INSTITUCIONAL** 

**60** CONICET dialoga





# Sumario

# Enero - febrero 2016 Volumen 25 - número 147



# **65** Dispositivos electroquímicos de conversión y almacenamiento de energía

Federico A Viva

Ante el desafío de controlar el efecto invernadero producido por el CO2 atmosférico, se han ideado métodos electroquímicos para extraerlo del aire y para evitar que llegue a la atmósfera cuando es emitido por industrias. También se busca cómo disponer del CO2 usándolo para producir compuestos hidrogenados como metanol o ácido fórmico que normalmente se fabrican con petróleo. Son procedimientos que están todavía en etapa de laboratorio o de planta piloto y sus productos son más costosos que los similares obtenidos usando combustibles fósiles, pero eso puede cambiar en el futuro.

# 69 Biocombustibles

Fernando Daniel Ramos, María Soledad Díaz y Marcelo Armando Villar

Los biocombustibles tienen una composición química similar a los combustibles fósiles, pues ambos provienen de materia orgánica, pero mientras la que produjo los segundos fue transformada por procesos geológicos acaecidos hace millones de años, la que origina los primeros es el resultado de procesos biológicos actuales. Sus formas más conocidas son el etanol y el biodiésel, que en la Argentina se mezclan respectivamente con la nafta y el gasoil en proporción del 10%.

# **74** La tierra como acondicionador térmico de viviendas

Leila Iannelli y Jorge Fiora

El acondicionamiento térmico de los ambientes en que la gente habita y trabaja demanda cerca del 20% de la energía que se consume en la Argentina. La temperatura del suelo a unos pocos metros de la superficie es bastante estable a lo largo del año y, en la zona central del país, donde vive la mayoría de la población, coincide aproximadamente con la zona de confort de las personas. ¿Se puede aprovechar ese reservorio térmico natural para calentar o enfriar aire y luego inyectarlo en los edificios? ¿Qué ventajas tendría el sistema? ¿Conviene económicamente?

# 77 Glosario

CIENCIA Y SOCIEDAD

80 Conservación de energía en la cocina

Mariana Koppmann



Investigadores del CONICET ganan el primer premio, la primera y la segunda mención de los PREMIOS UBA por los trabajos publicados en la revista CIENCIA HOY

El rector Alberto Barbieri presidió el acto de entrega de los Premios UBA 2015, realizado el 3 de diciembre de 2015, en la sala Batato Berea del Centro Cultural Rector Ricardo Rojas, acompañado por los integrantes del jurado, integrado por Magdalena Ruiz Guiñazú, Carlos Campolongo y profesores de distintas unidades académicas de la UBA. Además, se hizo entrega del premio a la trayectoria periodística para Laura Hojman, responsable, por 25 años, de la sección Educación en la agencia DyN, conductora radial y colaboradora en varios medios gráficos. Los trabajos presentados fueron evaluados por un doble jurado integrado por reconocidos especialistas en materia de educación y periodismo. Las categorías producciones gráficas, radiofónicas, televisivas, digitales o agencia de noticias fueron analizadas por los periodistas Carlos Campolongo, de América 2, y Magdalena Ruiz Guiñazú, columnistas de Radio Mitre; junto con los profesores Grisel El Jaber de la Facultad de Ciencias Sociales, Luis Campos de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo y Alejandro Spiegel, de la Facultad de Filosofía y Letras, mientras que la evaluación de la categoría 'Blogs educativos' estuvo a cargo de las profesores Jésica Báez de la Facultad de Filosofía y Letras, Paula Camarda de la Facultad de Ciencias Sociales y Vanesa Maciel de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.

# RUBRO DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

1º premio

'La plataforma submarina
y la costa atlántica
argentina durante los
últimos 20.000 años'

Juan Federico Ponce
y Jorge Rabassa
CIENCIA HOY

1º mención

'Vida en los fondos

profundos del mar'

Guido Pastorino, Daniel

Lauretta, Mariano Martínez,

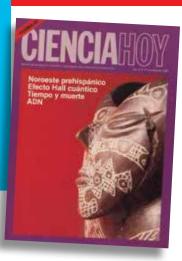
Martín Brogger

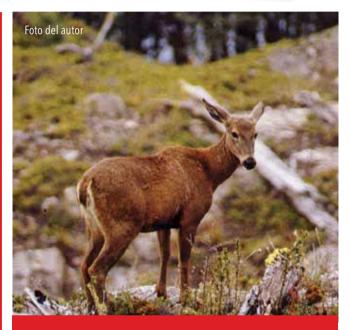
y Pablo Penchaszadeh

CIENCIA HOY

2º mención 'Tiempos de desborde' Marcelo Rubinstein CIENCIA HOY







# **EN BUSCA DEL HUEMUL PATAGÓNICO**

**ALEJANDRO SERRET** 

Cuando la colonización amenaza la existencia de especies animales en la Argentina, un grupo de conservacionistas encara estudios que tienden a evitar la desaparición del huemul, un ciervo andino.

# **ADN: UNA MOLÉCULA MARAVILLOSA NÉSTOR O BIANCHI**

El estudio actual de las formas del ácido desoxirribonucleico (ADN) permite prever un tiempo no lejano en el que se logre una acabada comprensión de su arquitectura y topología, así como de la manera en la que los microcambios moleculares causan macrocambios en el funcionamiento génico.

# EL EFECTO HALL CUÁNTICO

FRANCISCO CLARO

Utilizado actualmente para fundamentar un nuevo patrón de resistencia eléctrica, el efecto Hall cuántico se pone en evidencia mediante simples mediciones de corrientes y voltajes. Su interpretación teórica, sin embargo, ofrece dificultades aún no superadas.



# **ENTRE PIRÁMIDES Y JAGUARES**

**INÉS GORDILLO** 

Trabajos realizados en el sitio arqueológico La Rinconada, en la provincia de Catamarca, revelan valiosa información para profundizar en el conocimiento de nuestro pasado precolombino.

Las investigaciones en La Rinconada siguen en curso, ampliándose significativamente su conocimiento a partir de una multiplicidad de líneas de análisis (espacialidad, producción artefactual, cronología, arqueofauna, antracología, iconografía, bioarqueología, isótopos, etcétera). Esto ha permitido reformular su caracterización general y su rol dentro de los procesos sociales prehispánicos. Hoy se postulan nuevas hipótesis sobre su trayectoria temporal, construcción y uso de los espacios, distribución de recursos, dieta, modos de abandono y despoblamiento, así como las prácticas sociales concretas y modos de vida que allí tuvieron lugar.



# SUPERNOVAS DE TIPO I Y II

OMAR G BENVENUTO Y JORGE E HORVATH

Las diferentes situaciones astrofísicas que caracterizan a las supernovas de tipo I y de tipo II explican por qué las reacciones nucleares que acontecen en ellas originan productos distintos a partir de un mismo elemento, el carbono.

Después de 25 años podemos decir que hubo novedades muy importantes en el campo de las supernovas. Las supernovas tipo I (más específicamente, la) fueron el pilar del anuncio de la expansión acelerada del universo, ya que después de estandarizar su brillo, fueron identificadas en galaxias lejanas y se verificó que eran progresivamente menos brillantes de lo que sería de esperar. De esta manera se piensa que el propio universo se ha venido expandiendo cada vez más rápidamente, impulsado por una forma de energía desconocida y no convencional, entre otras posibilidades. Por otro lado, existen fuertes evidencias para pensar que las supernovas la pueden ser provocadas por la fusión de dos enanas blancas y no solamente por una enana blanca acretando materia de una compañera normal. Finalmente, las supernovas tipo II (y las llamadas Ib y Ic, también producidas por colapsos gravitacionales) forman un conjunto heterogéneo junto con otros colapsos que producen hipernovas con energías diez veces mayores que lo normal. Los mecanismos de explosión de esta clase siquen sin ser claros, pero los teóricos trabajan actualmente con simulaciones relativistas en tres dimensiones, y por eso se esperan novedades dentro de pocos años más.

# LA MUERTE Y SUS VENTAJAS

FANNY BLANCK-CEREIJIDO Y MARCELINO CEREIJIDO

Biología, psicoanálisis y medicina confluyen en este análisis que intenta dar una visión objetiva de uno de los procesos más conflictivos del ser humano: el envejecimiento y la muerte.



# LA QUIMERA INMUNOLÓGICA RATÓN-HOMBRE

CHRISTIANE DOSNE PASQUALINI

La investigación con ratones en los que se hicieron desarrollar células humanas abre un importantísimo campo de estudio para enfermedades que afectan el sistema inmunológico.

# LA EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA

**ROBERTO FERNÁNDEZ PRINI** 

Una nueva técnica de separación y purificación, la extracción supercrítica, carece de los inconvenientes provocados por el uso de solventes tradicionales. Existen ya interesantes aplicaciones de ella.



# Energía

ace unos meses, CIENCIA HOY se propuso reunir en un volumen temático los artículos sobre energía que publicó desde sus inicios, de la misma manera que lo hizo, por ejemplo, con las ciencias del mar. Advirtió entonces que la mayoría de esas notas, aparecidas a lo largo de veintiséis años, tenía un interés más histórico que actual, por lo que los editores resolvieron tomar otro camino: promover la preparación de un conjunto de nuevos artículos, a ser dado a conocer en una de las entregas habituales de la revista.

Este número es el producto de esa decisión. Sus once artículos resultaron del esfuerzo de veintiún autores y una docena de evaluadores, todos especialistas en la materia, entre los cuales tuvo una labor destacada Salvador Gil, coautor de tres de las notas y responsable de seleccionar los temas y convocar a los autores, por lo que actuó como editor asociado. A pesar del positivo éxito de la convocatoria—que obligó a incrementar en 30% la cantidad de páginas del número—, quedaron temas afuera (energías de fuente nuclear, geotérmica o mareomotriz, centrales térmicas, etcétera), que se procurarán cubrir en un futuro próximo.

No obstante la célebre afirmación de Keynes, según la cual 'en el largo plazo estamos todos muertos', el conjunto fue escrito, precisamente, bajo los efectos de la preocupación por el largo plazo, es decir, por la situación en que se encontrará el mundo hacia fines del siglo XXI. Porque, así como en la década de 1970, cuando se difundió el informe del Club de Roma, esa preocupación estaba presente en la forma del temor por el agotamiento de los recursos para atender a una población en crecimiento, hoy por diversos motivos la angustia de la insuficiencia de los recursos se ha disipado (aunque no desapareció por completo), y en su lugar se yerguen las amenazas del deterioro ambiental, en particular las del cambio climático. La forma actual de este cambio es el calentamiento global que se viene registrando desde el comienzo de la Revolución Industrial (véase el editorial del número anterior, 'Actualidad del cambio climático').

El calentamiento global no es tema de los artículos de este número, pero es un telón de fondo inevitablemente presente en la mente de editores y autores, como sin duda lo estará en la de los lectores, pues controlarlo constituye uno de los más serios desafíos que hoy enfrenta la humanidad. El mayor o menor éxito que esta tenga en tal tarea será decisivo para el bienestar de las futuras generaciones.

Esa omnipresencia del calentamiento global cuando se habla de energía se debe a que su origen es el significativo incremento de los gases de efecto invernadero contenidos en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Abundante evidencia indica que ese incremento se debe a la actividad humana, la cual provoca la emisión de los mencionados gases por diversos caminos, entre los que sobresale la combustión de hidrocarburos fósiles, causante del 65% de ella. Queda así bien establecida una relación directa entre energía y calentamiento global.

Los artículos del número exploran varias facetas del pensamiento y la praxis actuales en torno a la energía, los que en primera aproximación están dominados por un contrapunto entre las fuentes tradicionales (leña, carbón, petróleo, gas) y las no tradicionales (radiación solar, viento, fisión nuclear). Es fácil formarse la imagen simplista de que deberíamos sustituir las primeras por las segundas para eliminar (o por lo menos disminuir) las alteraciones ambientales y, sobre todo, combatir el calentamiento global, pero las cosas no son tan sencillas, entre otras razones porque las consecuencias ambientales del uso de la energía van más allá del calentamiento global. Así, la energía nuclear no origina emisiones de gases de efecto invernadero pero produce residuos que permanecerán radiactivos por miles de años y para cuyo destino final seguro no se ha encontrado solución satisfactoria. Tampoco la generación de hidroelectricidad da lugar a esas emisiones, pero los embalses ocasionan alteraciones mayores del medio que pueden traer aparejados altos costos ambientales.

La distinción entre fuentes tradicionales y no tradicionales se ve adicionalmente desdibujada por el hecho de que el límite entre ambas es a veces difícil de precisar: conceptualmente los cervantinos molinos de la Mancha y los que bombean agua a los tanques australianos de la llanura pampeana se pueden clasificar en la misma categoría que las modernas turbinas eólicas, pues todos son mecanismos para aprovechar la energía del viento. Tanto leña y carbón vegetal como alconafta y biodiésel provienen de organismos que, comparados con los hidrocarburos fósiles, vivieron en tiempos recientes (o pertenecientes al actual ciclo de cambio climático), por lo cual su combustión devuelve a la atmósfera el CO<sub>2</sub> que en su momento las plantas retiraron de ella para crecer, con un resultado neto final nulo en el balance de gases de efecto invernadero.

Al mismo tiempo, ciertos cambios tecnológicos hicieron más eficientes antiguas formas de aprovechamiento de fuentes tradicionales, y por ello –como sucede con las centrales termoeléctricas de ciclo combinado– producen energía con menos combustible y emiten así menos CO<sub>2</sub> por kWh generado. En parecido orden de cosas está el uso racional y eficiente de la energía, al que va dedicado un artículo del número, sobre el cual una entidad estadounidense, el American Council for an Energy-Efficient Economy, afirmó en 2013 que 'es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla', una conclusión que parece también válida para el resto del mundo.

Las decisiones en materia de energía tienen repercusiones económicas y sociales que se deben tener en cuenta, las que se materializan, igual que las consecuencias ambientales, todo a lo largo de la vida de cada proyecto, pues —ya se trate de explotar un nuevo yacimiento petrolífero o gasífero, instalar un parque eólico o fotoeléctrico, construir un dique con su central hidroeléctrica, una central nuclear o una más prosaica central térmica— se trata típicamente de operaciones que duran décadas.

Por estas razones, un juicio responsable sobre la conveniencia o inconveniencia de un programa, plan o inversión en energía requiere un análisis de sus posibles costos y beneficios (económicos, sociales y ambientales) en todas las etapas de su duración, incluido el destino final de las instalaciones concluida su vida útil. Esto excluye las soluciones doctrinarias o dogmáticas, incapaces de distinguir la infinidad de matices favorables y desfavorables que coexisten en cada forma aprovechable de energía. Y además están los contextos políticos en que se deben tomar las decisiones, los cuales marcan los límites de lo posible, a menudo distintos de lo técnicamente más conveniente.

La última frase del párrafo anterior indica una de las dimensiones cruciales de la situación en que se encuentra el mundo a la hora de tomar decisiones en materia energética que tendrán profundas y muy posiblemente irreversibles consecuencias para su futuro en el largo plazo comentado al inicio. Esas decisiones, en última instancia, no son de índole técnica sino política: no corresponden a los especialistas sino a los ciudadanos, los que, en las democracias modernas, aspiran a tomarlas en un marco de imperio de la ley y por el libre juego de las instituciones que canalizan su voluntad.

Es con esto en mente que los editores procuraron confeccionar el actual número de la revista. Pidieron a los autores que se esforzaran por explicar de manera sencilla pero rigurosa las bases técnicas de las cuestiones en juego, para que el lector pueda reflexionar y sacar sus propias conclusiones. Esta, en definitiva, es la razón de la existencia de Ciencia Hoy: ayudar a que la ciudadanía adquiera la ilustración científica necesaria para pronunciarse sobre cuestiones difíciles como las fuentes y los usos futuros más convenientes de energía.

Los artículos de este número fueron escritos durante los últimos meses de 2015. Concluidas las labores de edición y escrito el editorial, se acentuó la caída de los precios internacionales del petróleo y fue electo un nuevo gobierno en la Argentina, el que anunció importantes cambios en las tarifas internas de la energía. Tener presentes estas circunstancias permitirá al lector poner en perspectiva las conclusiones de los textos.



# **CÁNCER**

# La paradoja de Peto y el cáncer en elefantes

L epidemiólogo Richard Peto afirmó, en 1970, que no hay una correlación entre el tamaño corporal y la incidencia de cáncer. Sus observaciones sugerían que la incidencia de cáncer en humanos era mayor que en grandes animales, como elefantes o ballenas azules. Sin embargo, como la probabilidad de sufrir una transformación maligna es igual para todas las células de mamíferos, un animal grande debería tener más tumores que uno pequeño. Esta controversia se conoce como la paradoja de Peto y estudios recientes nos muestran una solución a ella.

Peto sugirió que los elefantes, y los animales de gran tamaño en general, deben tener mecanismos que eviten la transformación maligna de sus células, que es el puntapié inicial del proceso tumoral.

Lo cierto es que al estudiar los registros de elefantes en cautiverio solo se observa que el 3% de los animales desarrollan algún tipo de tumor. Este dato no es menor si tenemos en cuenta que un elefante tiene casi cien veces más células que una persona.

Dos estudios recientemente publicados muestran que los elefantes tienen veinte copias del gen que regula la proteína p53. Esta proteína es un supresor tumoral conocido como 'el guardián del genoma', cuya función es frenar la división e inducir la muerte de las células que presenten daños en su ADN. A su vez, la actividad de p53 es regular el encendido de otros genes, lo que también se conoce como factor de transcripción. Los factores de transcripción son genes maestro, ya que pueden

prender o apagar una batería de genes y así dar lugar a una respuesta celular concertada, como es la división o la inducción del programa de muerte.

Los mamíferos en general tenemos una sola copia de p53 y se sabe que en humanos esta proteína está mutada en casi la mitad de los tumores. Lo sorprendente es que del análisis genético de material fósil de mamuts se pudo establecer que tenían una docena de copias de este gen. Por otro lado, solo hay una copia de p53 en manatíes, los parientes vivientes más cercanos de los elefantes. Esto permitió concluir que el número de copias de p53 se correlaciona con el aumento del tamaño corporal del linaje de los elefantes durante los últimos 15 millones de años.

Las múltiples copias de p53 sugieren que los elefantes adquirieron durante su evolución un mecanismo robusto para inducir la muerte de aquellas células que presenten daños en su ADN en lugar de intentar repararlo, como sucede en el resto de los mamíferos. Este mecanismo supondría un gasto energético que solo un animal de gran tamaño podría afrontar, y les permitiría eliminar todas las células defectuosas y evitar así la aparición de tumores. Una manera elegante de resolver la paradoja de Peto.

### Más información:

Abegglen LM *et al.*, 2015, 'Potential Mechanisms for Cancer Resistance in Elephants and Comparative Cellular Response to DNA Damage in Humans', *J. Am. Med. Assoc.*, 314, 17: 1850-1860.

Sulak M et al., 2015, 'TP53 copy number expansion correlates with the evolution of increased body size and an enhanced DNA damage response in elephants', bioRxiv, doi: http://dx.doi./10.1101/028522.

**Federico Coluccio Leskow** federico@cienciahoy.org.ar



# **CÁNCER**

# El resurgimiento de RAS

In 1911 un granjero advirtió un gran tumor en los músculos pectorales de una de sus gallinas. Con la esperanza de que pudiera ser eliminado, se contactó con el patólogo Francis Peyton Rous (1879-1970), quien no pudo curar la preciada ave pero descubrió que la causa del tumor era un virus que, con el tiempo, se denominó virus del sarcoma de Rous. En 1966, ya anciano, Rous recibió el premio Nobel de medicina por su labor.

En 1975, los biólogos Harold Varmus y Michael Bishop, de la Universidad de California en San Francisco, también ganadores del Nobel de medicina en 1989, hicieron el sorprendente descubrimiento de que el genoma de dicho virus contenía un gen proveniente de las células de las gallinas que parasitaba, incorporado accidentalmente al realizar el parásito su ciclo vital. En otras palabras, el virus había 'raptado' un gen de una de las células de su hospedador. Ese gen recibió el nombre de SRC (se pronuncia 'sarc' y deriva del nombre del tipo de tumor que produce: un sarcoma).

Desde entonces, cada vez que el virus parasita una célula, el gen SRC anormalmente activado causa que esta última se divida sin control y forme un sarcoma. Varmus y Bishop llamaron protooncogén SRC a su forma normal, que se encuentra en las células de gallina, y oncogén SRC al incorporado al genoma del virus. Generalizando su descubrimiento, postularon que las células normales poseen genes relacionados con el control de la división celular, o protooncogenes, que pueden mutar sin necesidad de la acción de un virus para transformarse directamente en genes que producen tumores, es decir, oncogenes. Desde entonces se

han descubierto numerosos oncogenes.

Obviamente, el objetivo de descubrir los mecanismos que causan el cáncer es encontrar formas de tratarlo. Como es sabido, la mayoría de los genes codifican o regulan proteínas a través de las cuales realizan su función.

Cuando un protooncogén muta y se transforma en un oncogén, este último codifica una proteína defectuosa denominada oncoproteína que contribuye a la proliferación descontrolada de las células. En años recientes se han ideado varias terapias que apuntan a inhibir la acción de oncoproteínas. Un ejemplo es el anticuerpo monoclonal trastuzumab (comercializada como Herceptin) que se une a la oncoproteína producida por el oncogén HER2, inhibiéndola. Este anticuerpo se utiliza para tratar aproximadamente el 30% de los cánceres de mama.

Algunas oncoproteínas importantes, sin embargo, han resistido los intentos de inhibir su acción. Se las llama oncoproteínas indrogables y entre ellas se encuentra la denominada RAS, que contribuye a la formación de una alta proporción de tumores humanos. Hace más de treinta años que se la conoce, pero no se ha logrado encontrar una droga que inhiba su acción y se estableció la idea que era muy difícil, tal vez imposible, hacerlo, al punto que los investigadores dejaron de intentarlo por más de una década.

Sin embargo, con el conocimiento acumulado en estos últimos años, varios grupos de investigación están volvien-



do a la carga y, según parece, podrían tener éxito. Una de las mutaciones más comunes por las que el protooncogén RAS se transforma en un oncogén conduce a la sustitución, en la proteína que codifica, del aminoácido glicina por otro llamado cisteína (los aminoácidos son las estructuras químicas que forman a las proteínas). Esta sustitución causa la activación permanente de la oncoproteína RAS conduciendo a una división celular descontrolada. Recientemente, el bioquímico Kevan Shokat y su grupo de la Universidad de California en San Francisco han desarrollado un compuesto que se une irreversiblemente al aminoácido cisteína inhibiendo la acción descontrolada de esta oncoproteína.

Se necesita realizar más ajustes a esta y otras drogas que se están desarrollando antes de que puedan administrarse a pacientes, pero si se lograra -y hay razones para ser optimista- sería un gran avance en el tratamiento de varias de las formas del cáncer.

Más información en Ledford H, 2015, 'The Ras Reniassance', *Nature*, 520, 7547: 278-280.

Alejandro Curino acurino (a) criba. edu. ar



# Salvador Gil y Gautam Dutt

Universidad Nacional de San Martín

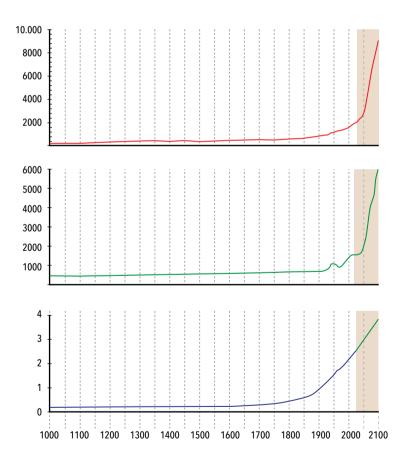
# La energía hoy

# Población, nivel de vida y energía

La energía es fundamental para el desarrollo social y económico de cualquier sociedad. Pero disponer de energía no constituye un fin en sí mismo, sino un medio para satisfacer las necesidades vitales y de confort de los seres humanos.

La Revolución Industrial, iniciada en la segunda mitad del siglo XVIII, produjo un importante crecimiento de la riqueza, acompañado por un marcado aumento de la población y del consumo de energía, como se aprecia en la figura 1, en la que se advierte, considerando el extremo derecho de las curvas roja y verde, que en los últimos dos siglos la población del mundo aumentó 10 veces y el ingreso per cápita se multiplicó por 16.

Figura 1. Paralelismo entre el crecimiento de la población mundial (curva roja), el producto bruto per cápita (curva verde) y el consumo promedio de energía por habitante (curva azul) durante el último milenio. Son cifras mayormente estimadas en, respectivamente, millones de habitantes, dólares actuales por habitante y kW por persona. Los tramos finales de las curvas (sobre el sombreado), entre el presente y el año 2100, son proyecciones realizadas suponiendo que las tendencias actuales se mantengan invariables en las próximas décadas.



# ¿DE QUÉ SE TRATA?

Un panorama general del debate de este momento en torno a la energía.

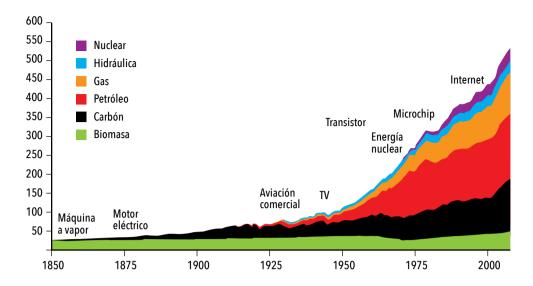


Figura 2. Evolución del uso de recursos energéticos y algunas tecnologías que marcan las épocas. La leña fue el combustible dominante antes de la Revolución Industrial, cuya primera fase fue impulsada por la hulla o carbón mineral. La segunda etapa de dicha revolución estuvo dominada por el petróleo, y en la etapa que estamos viviendo el gas natural se insinúa como el combustible preferido por aquellos con acceso a él, que lo usan mayormente para producir electricidad, la energía propia de las nuevas tecnologías. Las cifras del eje vertical indican consumo anual en exajoules (EJ). Un EJ equivale a la energía contenida en unas 24 millones de toneladas de petróleo.

La leña fue el primer combustible usado por la humanidad. Las antiguas civilizaciones descubrieron la posibilidad de aprovechar el viento para impulsar embarcaciones y mover molinos. Con la Revolución Industrial, advino la era de los combustibles fósiles: primero el carbón mineral, luego el petróleo y más recientemente el gas natural.

La figura 2 muestra la evolución de la matriz energética mundial, es decir, la contribución de las diferentes fuentes primarias de energía para satisfacer la demanda. Fuentes primarias son productos que se obtienen directamente de la naturaleza (leña, carbón, petróleo, gas, etcétera) o fenómenos naturales de los que se extrae energía (fisión nuclear, caídas de agua, radiación solar, viento y otros). En esa figura, biomasa incluye la leña tradicional y nuevos productos como los biocombustibles (véase 'Biocombustibles' en este mismo número), que en la actualidad proporcionan la cuarta parte de ese grupo.

# La evolución de la población y el consumo de energía

En los últimos sesenta años la tasa de crecimiento de la población mundial muestra una tendencia decreciente. Ha bajado en casi todo el mundo y es cercana a cero en varios países de Europa. Esto indicaría que el número total de habitantes del planeta se estabilizará en las próximas décadas. Algunos países, como Alemania,

España, Italia y otros, ya estarían alcanzando ese punto. China haría lo propio hacia el final de esta década y la India y África, hacia el final del siglo. Así, es posible que la población de la Tierra se estabilice entre la sexta o la séptima década de este siglo en una cifra cercana a los 9 o 10 mil millones de habitantes, un incremento del orden del 25% por encima de los valores actuales.

Sobre la base de estimaciones de la evolución del consumo energético per cápita y de la población mundial, podemos proyectar la evolución del consumo energético global, suponiendo que el consumo per cápita crezca según la tendencia actual, hipótesis tomada en la figura 1.

Otra hipótesis sobre la evolución del consumo parte de suponer que en alguna fecha del futuro cercano,

con medidas estrictas de eficiencia energética (véase 'Uso racional y eficiente de la energía' en este mismo número), el consumo per cápita deje de aumentar, lo que llevaría a fines del siglo XXI a un consumo menor que el indicado en la figura. Se puede estimar que para esa fecha, siguiendo las tendencias actuales (supuesto que en la literatura en inglés aparece como business as usual), el consumo mundial rondaría los 25.700 quads anuales (un quad es aproximadamente igual a un exajoule), mientras que si se tomaran dichas medidas de incremento de la eficiencia se ubicaría en torno a 24.000 quads (7% menos).

¿Disponemos de los recursos necesarios para afrontar esta demanda? Cuando nos referimos a combustibles fósiles, hablamos de reservas si se trata de depósitos conocidos que se pueden explotar con la tecnología actual y a precios de mercado, y hablamos de recursos energéticos si se trata de combustibles de depósitos conocidos que no se pueden extraer en condiciones económicamente competitivas, o cuyo real volumen no se ha esclarecido totalmente. Se estima que se dispone de unos 70.000 quads en recursos fósiles de reservorios convencionales, mientras que habría 1 millón de quads en los no convencionales. (Sobre esta distinción, ver en este mismo número el artículo 'Vaca Muerta y algo más. Reservorios no convencionales de petróleo'.) Por extensión, hablamos de combustibles convencionales para designar principalmente al carbón (que ascendería al 47% del total de los convencionales), al petróleo (19%), a la fisión nuclear (18%) y al gas (16%); los no convencionales están dominados por el gas (97%).

En otras palabras, parece existir suficiente cantidad de recursos fósiles para abastecer la demanda de energía hasta fines del presente siglo. Pero esta conclusión debe ponerse en perspectiva por dos razones. La primera es la consecuencia ambiental del uso de esos combustibles. La segunda, no menos importante, es la distribución geográfica de los recursos fósiles, que se encuentran en pocos países. Así, aunque todos necesiten energía, no todos

tienen los medios necesarios para adquirirla. En ese sentido, ciertas fuentes de energía renovable (es decir, cuyo uso no disminuye su futura disponibilidad), como la solar o la eólica, están mejor distribuidas geográficamente, si bien su intermitencia no deja de ser una importante dificultad. Y, desde luego, el incremento de la eficiencia es un camino accesible por todos.

# Otras fuentes de energía

La figura 3 muestra la evolución de la potencia eléctrica instalada en el mundo en centrales basadas en energía geotérmica, hídrica y nuclear, mientras que la figura 4 lo hace para centrales impulsadas por energía eólica y solar fotovoltaica.

A pesar de que el aprovechamiento de energías renovables tiene gran crecimiento, la visión prevalente actual es que para 2035 los combustibles fósiles seguirán dominando la generación eléctrica mundial, en parte por el carácter intermitente del viento y el sol, que mantendrá las energías térmica y nuclear como generadoras de base, y en parte porque la capacidad de generación hoy instalada seguirá funcionando entonces. Se ha estimado que si no cambian las tendencias actuales para dicho año el consumo eléctrico mundial sería satisfecho en el 38% por energía de combustibles fósiles, el 25% por energía eólica, el 16% por hidroelectricidad y otras fuentes renovables, el 15% por energía solar y el 6% por energía nuclear.

La figura 5 muestra la estructura por fuente del consumo per cápita de energía en los dos últimos siglos y la posible evolución del consumo mundial con la hipótesis de que no cambien las tendencias actuales, las que llevan a prever que los combustibles fósiles continuarán predominando en las próximas décadas. Esta situación solo se modificaría si se hace un esfuerzo internacional importante. Se advierte que se espera un marcado decrecimiento de la participación relativa de los países más ricos (miembros de la OCDE) en el consumo mundial de energía.

# Calentamiento global

Hay abundantes evidencias que indican un incremento de la temperatura de la Tierra (véase Vicente Barros, 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', CIENCIA Hoy, 146: 27-30, y el editorial del mismo número, 'Actualidad del cambio climático'). En varios informes, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático –un

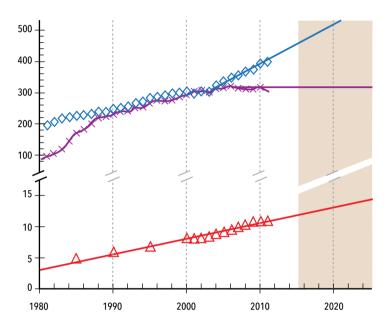


Figura 3. Evolución de la potencia de generación eléctrica instalada en el mundo con tres formas de energía: hidráulica (curva azul), nuclear (curva violácea) y geotérmica (curva roja). En las dos primeras, las rectas representan la proyección hacia la derecha del comportamiento de los últimos 10 años, que difiere de los 20 que les precedieron; en la tercera ese quiebre no se produjo, pero se trata de una forma muy poco difundida de energía. Adviértase que la escala vertical de la parte superior de la figura es 20 veces más comprimida que la de la parte inferior. De haberse representado el aprovechamiento de la energía geotérmica en la escala superior, su pendiente de crecimiento hubiese resultado imperceptible.

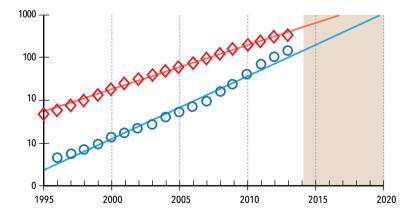


Figura 4. Evolución de la potencia de generación eléctrica con energía eólica (curva roja) y solar fotovoltaica (curva azul). Las unidades son GW pero, a diferencia de la figura anterior, la escala en esta figura es logarítmica, lo que indica un crecimiento exponencial, con tasas anuales acumulativas para los últimos quince años que superan el 30% para la energía solar y el 20% para la eólica.

cuerpo intergubernamental con la misión de evaluar los riesgos de ese cambio para la vida humana— señaló que dicho incremento es en gran medida consecuencia de la excesiva acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), etcétera, debida a emisiones de actividades humanas. Es decir, el cambio climático que se registra es antropogénico.

El efecto invernadero también opera naturalmente en la atmósfera terrestre, pues los gases que lo producen son parte natural de ella. Son transparentes con respecto a la luz visible pero no dejan pasar la radiación infrarroja emitida por cuerpos con temperaturas inferiores a 100°C. También las nubes y los aerosoles (partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire) producen efecto invernadero. Así, la radiación solar penetra la atmósfera y es absorbida por la Tierra, la cual, como consecuencia, emite radiación infrarroja que solo escapa parcialmente al espacio y, en buena medida, vuelve a la superficie de

caliente que lo que sería en ausencia de ellos.

El balance energético de la Tierra es muy delicado y la actividad humana lo está afectando notablemente, según las evidencias mencionadas. La proporción de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha crecido en forma sensible en el último siglo, en el que pasó de 290 a 400 partes por millón y tomó valores no alcanzados durante un tiempo prolongado en los últimos 500.000 años. Se estima que el 65% de las emisiones de dichos gases es

nuestro planeta. Se puede decir que dichos gases hacen

las veces del vidrio de los invernaderos o que son una frazada que envuelve la Tierra, la que es unos 33°C más

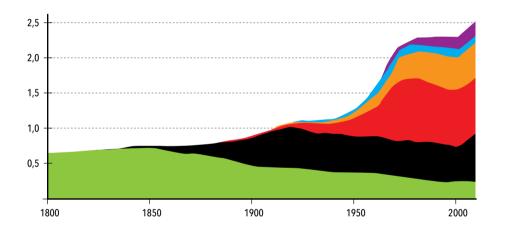
proporción alcance unas 450ppm. Un documento de origen británico, el informe Stern sobre la economía del cambio climático (Stern Review on the Economics of Climate Change), evalúa las consecuen-

consecuencia del uso de combustibles fósiles. Con la tasa

de emisión creciente que estamos observando en la ac-

tualidad, es posible que en veinte o veinticinco años esa

cias del calentamiento global sobre la economía del mundo. Sus principales conclusiones indican que se necesitaría una inversión equivalente al 1% del PBI mundial para mitigar sus efectos, y que de no hacerse dicha inversión quedaríamos expuestos a una recesión que podría alcanzar el 20% del PBI global. El informe también sugiere la imposición de ecotasas para que el precio de los combustibles refleje mejor su costo social y hace ver que la continuación de las tendencias actuales crea para la humanidad riesgos que esta no debería aceptar.



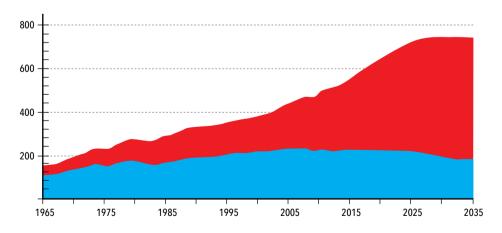
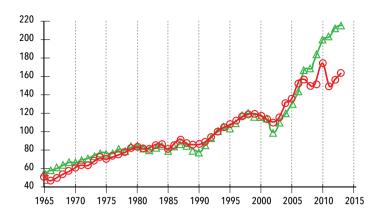


Figura 5. Arriba. Consumo per cápita de energía en el mundo a lo largo de los últimos dos siglos (expresado en kW) y su composición según sus fuentes, que son, de abajo hacia arriba, leña, carbón mineral, petróleo, gas natural, fuerza hidráulica y fisión nuclear. Abajo. Evolución del consumo global de energía en quads por año desde 1965 y su proyección hasta 2035 sobre la base de que se mantengan las tendencias actuales. La franja azul corresponde a los países miembros de la OCDE; la roja, a los demás. Se prevé que hacia 2035 entre el 60% y el 70% del consumo energético global provendrá de los segundos.

# Hacia un futuro sostenible

El uso racional y eficiente de la energía y el aprovechamiento de las energías renovables, que se tratan específicamente en otros artículos de este número, son componentes importantes en la búsqueda de soluciones a los desafíos energéticos del presente y del futuro. Son en cierto modo dos caras de una misma moneda, ya que se complementan adecuadamente.

La figura 6 muestra la variación del PBI y del consumo de energía desde 1965 hasta hoy en la Argentina y en los



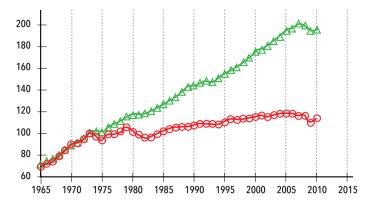


Figura 6. Variación del PBI (verde) y del consumo final de energía (rojo) entre 1965 y el presente en la Argentina (izquierda) y en los países integrantes de la OCDE (derecha). Las unidades son índices cuyas bases 100 son los valores de 1993 para la primera y de 1973 para los segundos. La curva del consumo energético argentino coincide (por lo menos hasta 2008) con la curva de evolución del PBI. Los países de la OCDE exhiben similar comportamiento hasta 1974; después de esa fecha, en coincidencia con la sanción de medidas para fomentar el uso eficiente de la energía, el PBI siguió creciendo en forma sostenida, pero el consumo de energía no varió significativamente.

países desarrollados que integran la OCDE. Se observa que la curva del consumo de energético argentino coincide (por lo menos hasta 2008) con la curva de evolución del PBI. Los países de la OCDE exhiben similar comportamiento hasta 1974; después de esa fecha, en coincidencia con la sanción de medidas para fomentar el uso eficiente de la energía, el PBI siguió creciendo en forma sostenida, pero el consumo de energía no varió significativamente.

La comparación de ambos gráficos hace ver la conveniencia de usar eficientemente la energía pues, aparte de los efectos ambientales, la experiencia internacional indica que por lo general es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla.

# LECTURAS SUGERIDAS



BRITISH PETROLEUM, 2015, Statistical Review of World Energy, Londres.

Accesible en http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/
statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf.

EXXON MOBIL CORPORATION, 2015, The Outlook for Energy through 2040,
Irving, Texas. Accesible en http://cdn.exxonmobil.com/~/media/Global/Files/
Outlook-for-Energy/2015-Outlook-for-Energy\_print-resolution.pdf.

GOLDEMBERG J et al., 1985, 'Basic Needs and Much More with One Kilowatt
per Capita', Ambio, 14, 4-5: 190-200. Accesible en http://www.princeton.edu/
pei/energy/ publications/texts/Goldemberg\_85\_Kilowatt\_Per\_Capita.pdf.

INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS (ed.), 2012, Global Energy
Assessment. Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2014, Climate
Change 2014, Ginebra.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (OCDE), 2014, World Energy Outlook, París. JONES PD et al., 2005, 'Global and hemispheric temperature anomalies. Land and marine instrumental records', en A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge Tenn. Accesible en http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html.

**RUBBIA C**, 2000, *The Future of Energy*. Accesible en http://fire.pppl.gov/rubbia\_iaea\_2000.pdf.

**STERN N**, 2006, Stern Review on the Economics of Climate Change. Accesible en http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview\_report\_complete.pdf.

**US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION**, 2015, *Annual Energy Outlook* 2015, Washington DC. Accesible en *http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2015).pdf*.



# Salvador Gil

Doctor (PhD) en física, Universidad de Washington, Seattle. Profesor asociado, UNSAM. Director de la carrera de ingeniería en energía, UNSAM. sgil@unsam.edu.ar



# **Gautam Dutt**

Doctor (PhD) en ingeniería, Princeton University.
Profesor vistante, UNSAM.
Vicepresidente de ciencia y tecnología, MGM Innova.



Lámpara led (diodo emisor de luz), cuya vida útil y eficiencia energética son considerablemente mayores que las de las usuales lámparas fluorescentes compactas, pero también es sensiblemente más alto su costo inicial.

Salvador Gil y Gautam Dutt

Universidad Nacional de San Martín

# Uso racional y eficiente de la energía

# Energía y eficiencia

En la Argentina hay una fuerte tendencia a reducir la problemática energética a una simple cuestión de oferta. Es decir, a la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento que satisfagan la demanda a medida que ella crece. Este enfoque omite un aspecto fundamental del problema: la naturaleza y el comportamiento de la demanda.

Durante la última década, la producción interna de energía no logró satisfacer una demanda ascendente y el país dependió en forma cada vez mayor de importaciones, en particular de gas natural, que es el componente principal de su matriz energética. En 2014 las importaciones de gas fueron el 23% del consumo interno de ese combustible, y su costo tuvo una repercusión significativa en la balanza comercial.

En ese escenario, la alternativa de emplear más eficientemente los recursos energéticos resulta crucial. La eficiencia consiste en usar los mínimos recursos posibles para lograr las prestaciones y el nivel de confort deseados, lo cual tiene sentido tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Al utilizar menos combustibles para hacer las mismas actividades reducimos las emisiones de gases de efecto invernadero, preservamos

# - ¿DEQUÉSETRATA? -

Por qué es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla, y cómo hacerlo.

nuestros recursos y disminuimos los gastos en energía de los usuarios. Además, al consumir menos energía para lograr los mismos servicios o prestaciones, los recursos ahorrados quedan disponibles para otros usos.

Este artículo analiza cómo lograr ahorros significativos de energía en viviendas, comercios y oficinas (incluidas las de la administración pública), que tienen la primera prioridad en la distribución de gas. En la industria, la generación eléctrica y el transporte también hay importantes oportunidades de ahorro, que no se tratan en lo que sigue. Se puede estimar que, solo en gas natural y en los tres tipos de edificios nombrados, los ahorros potenciales tendrían un efecto comparable a descubrir un gran yacimiento de gas y equivaldrían al volumen de gas que se importa.

# El consumo de gas en edificios

El gas natural satisface más del 50% de la demanda energética argentina. En estos momentos, aproximadamente el 78% de ese gas es de producción interna; el resto se importa, sea por gasoducto desde Bolivia o licuado por barco. El uso del gas, tomando las cifras de 2014, es:

USO DEL GAS NATURAL EN LA ARGENTINA	%
Generación eléctrica	34,0
Viviendas, comercios y oficinas	30,5
Industria	29,0
Transporte (gas natural comprimido)	6,5
TOTAL	100,0

El 34% del gas consumido se utiliza para generación eléctrica en centrales que –incluso las de ciclo combinado, las más eficientes que existen– aprovechan el 55% de la energía del combustible en el proceso de transformar el calor en electricidad. El 30% del gas se emplea en viviendas, comercios y oficinas (incluidos edificios públicos) para:

USO DEL GAS EN VIVIENDAS, COMERCIOS Y OFICINAS	%
Calefacción	50,0
Cocinar	12,5
Agua caliente	25,0
Pilotos	12,5
TOTAL	100,0

Los equipos de calefacción de edificios aprovechan alrededor del 60% de la energía del combustible, porque el calor que generan se disipa por paredes, techo, ventanas, rendijas, etcétera. Usando tecnologías más eficientes, disponibles en el país, sería posible evitar casi la mitad de esas pérdidas, lo que significaría el 22% de consumo actual, equivalente a la fracción de gas que se importa.

Una ventaja adicional del uso racional y eficiente de la energía es que no exige realizar de inmediato las erogaciones que suelen ser necesarias cuando se descubre una nueva reserva de gas, pues para explotarla se requiere invertir en extraerlo, transportarlo a los centros de consumo y distribuirlo a los consumidores. El ahorro por incremento de la eficiencia significa que el consumo de quienes lo consiguieron disminuye para obtener los mismos servicios o prestaciones, con la consiguiente disminución del costo que pagan y de las emisiones de gases de efecto invernadero que ocasionan (salvo que decidan mantener igual su gasto y aumentar los servicios consumidos).

La figura 1 muestra la variación del consumo medio diario de gas por vivienda en el centro y norte de la Argentina entre 1993 y 2014 en función de la temperatura. Como se aprecia, cuando hace más de 20°C, el uso de gas se mantiene relativamente constante aunque suba la temperatura ambiente. La razón es que cuando hace calor el gas solo se emplea para cocinar y calentar agua. Ese consumo se denomina consumo base. A medida que la temperatura baja de los 18°C, se encienden los calefactores, por lo que el consumo aumenta, y cuando todos están encendidos el consumo alcanza un valor de saturación, lo que sucede a temperaturas inferiores a 5°C.

La figura 2 ilustra el mismo fenómeno a lo largo de un año. Muestra el consumo medio diario de gas por todas las viviendas, comercios y oficinas del país en 2014. La calefacción ocasiona aproximadamente el 59% del consumo total.

# Uso racional y eficiente de la energía

Existen diversos caminos para aprovechar mejor la energía que se usa en edificios. La posibilidad de emprenderlos depende no solo de factores técnicos sino, también, como casi todas las decisiones relacionadas con la energía, de circunstancias económicas y de las políticas fiscales y regulatorias aplicadas por las autoridades. Comentaremos algunas de las más importantes.

# Mejoramiento de la aislación de los edificios

Es posible reducir considerablemente el consumo energético de edificios para la calefacción mejorando la aislación térmica de paredes exteriores y techos, lo mismo que colocando ventanas con vidrios dobles separados por un espacio con aire o un gas con baja conductividad térmica (como argón) y reflectores de la radiación infrarroja. Técnicamente, lo anterior se llama disminuir la transmitancia térmica. Además, un diseño que tiene en cuenta la latitud y las características climáticas para, por ejemplo, la orientación de las ventanas y la inclusión de aleros y parasoles permite aprovechar mejor la radiación solar y evitar sus inconvenientes. Esto es conocido desde hace mucho.

Las normas IRAM de la serie 11.600 se refieren a la eficiencia térmica de las viviendas. Cumpliendo con la número 11.605 en el nivel menos exigente, se obtendrían ahorros superiores al 50% en el consumo de gas para la calefacción y refrigeración, respecto de la construcción tradicional, con un incremento del costo de esta del orden del 5%.

En 1996, una comisión de la que participó uno de los autores propuso a la entonces Subsecretaría de Vivienda unas normas sobre el uso racional de energía eléctrica, gas y agua en construcciones residenciales. Comprendía una escala de calidad de cinco posiciones (A hasta E), similar a la usada para calificar para los consumidores la eficiencia energética de artefactos domésticos, hoy bien conocida localmente, originada en la Unión Europea, que también aprobó directivas para calificar esa eficiencia en edificios (figura 3). La norma IRAM 11.900, que existe desde 2010, se refiere, precisamente, al etiquetado en eficiencia energética de edificios.

Esa clase de etiquetado permitiría a los usuarios, a la hora de comprar o alquilar una casa, conocer el nivel de gastos en calefacción y refrigeración, lo que llevaría a demandar viviendas más eficientes y estimularía a los constructores a ofrecerlas, en un círculo virtuoso que redundaría en sucesivas mejoras de eficiencia.

# Uso de artefactos más eficientes

Uno de los primeros pasos para promover el uso racional de la energía (cumplido en buena parte en la Argentina a partir del decreto 140 de 2007) es informar al público sobre la eficiencia de los artefactos que puede adquirir en el mercado. Es crucial que los usuarios hagan suya la necesidad de racionalizar el uso de la energía y tomen sus decisiones de compra sobre la base de consideraciones que vayan más allá de la estética, el desembolso inicial y la seguridad. Un aspecto importante de las actuales normas sobre artefactos del Ente Nacional Regulador del Gas es que requieren la indicación en las etiquetas de todo uso de energía, incluyendo posibles pérdidas por consumos pasivos, como los de pilotos.

El reemplazo de los artefactos hoy en uso por los modelos más eficientes (de la categoría A) podría aportar ahorros del orden del 10% del gas consumido en cale-

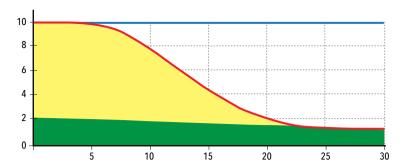


Figura 1. Consumo medio diario de gas por vivienda en el centro y norte de la Argentina entre 1993 y 2014 y su relación con la temperatura. La curva roja constituye un ajuste de los valores medios diarios. El área verde refleja el consumo base, que se mantiene cuando la temperatura hace innecesaria la calefacción; el área amarilla indica el consumo de gas para calefacción, mayor cuanto menor la temperatura. La línea superior azul marca el valor de saturación del consumo. Las unidades del eje vertical indican metros cúbicos de gas por día; las del eje horizontal, grados centígrados.

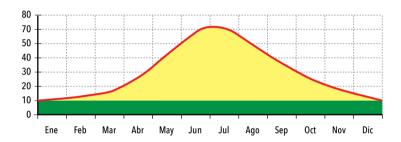


Figura 2. Consumo medio diario de gas por todas las viviendas, comercios y oficinas en 2014. Los consumos de los meses de verano definen el consumo base (verde). El consumo adicional de los meses fríos (amarillo) se puede atribuir a la calefacción, que ocasiona el 59% del consumo total. Los datos corresponden a todo el país y las unidades del eje vertical son millones de metros cúbicos de gas por día.

factores y termotanques, y hasta del 25% en calefones con encendido electrónico en lugar del piloto habitual.

# Bombas de calor

El consumo de gas en que incurren las viviendas para calefacción puede reducirse reemplazando calefactores de tiro balanceado por equipos de aire acondicionado frío-calor, llamados técnicamente bombas de calor.

Se trata de dispositivos que trasladan energía térmica, es decir calor, en dirección opuesta de la natural, pues lo hacen de un sitio más frío a uno más caliente. Cuando los acondicionadores de aire se usan para enfriar, mueven calor del interior del edificio al exterior; cuando se usan para calefaccionar, lo hacen en sentido contrario, del exterior al interior, pero siempre el calor va de un ámbito más frío a uno más caliente.

Esta manera de calentar el aire es entre tres y cuatro veces más eficiente que hacerlo directamente con resistencias como las que tienen las estufas eléctricas. Con las bombas de calor más eficientes hoy vendidas en la Argentina se logra un rendimiento aproximadamente

tres veces superior al de un calefactor de tiro balanceado. Para el usuario, sin embargo, elegir un tipo u otro de artefacto depende críticamente de los precios relativos del gas y la electricidad, si bien con una relación de precios que refleje el costo económico de producción de ambos, la bomba de calor es más conveniente.

# Sistemas híbridos de calentamiento de agua

Son sistemas que utilizan energía térmica solar combinada con algún combustible como gas natural, gas licuado de petróleo o electricidad. En especial en regiones que no tienen acceso a las redes de gas natural, esta alternativa contribuiría a lograr significativos ahorros en el presupuesto que las familias destinan a la compra de gas en tubos o garrafas o de electricidad.

DATOS DEL EDIFICIO			
Normativa vigente construcción / retrabilitación	Tipo de edificio		
	Dirección Municipio		
Referencia/s catastral/es	CP.		
Period St. Cara Consoliar Co	C. Autónoma		
ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		Consumo de energia kw h / m² año	Emisiones kg CO <sub>2</sub> / m² aflo
A más eficiente			
В			
C			
D			
E			
F			
<b>G</b> menos efficiente			
REGISTRO		RESIANCEDER	RESTANCECER
		2000	to hasta dd/mm/aasa

Figura 3. Etiqueta que sigue las normas de la Unión Europea (versión usada en España) para calificar la eficiencia energética de una vivienda. Requiere que se indique en forma explícita el consumo energético expresado en unidades de energía (kWh) por m² cubierto y por año, así como las emisiones de efecto invernadero, expresadas en kg de  $CO_2$  por  $m^2$  y por año. En la Argentina, la norma IRAM 11.900 se ajusta a los mismos lineamientos.

# Ahorro de gas en el calentamiento de agua

El consumo de energía para obtener agua caliente en viviendas, comercios y oficinas equivale al 65% de las importaciones de gas. Los pilotos de calefones y termotanques consumen al ritmo de 250W durante el tiempo en que están encendidos. Así, un piloto encendido de modo continuo durante 365 días consume 2,19MWh. Dado que en la Argentina hay unos once millones de usuarios de gas (ocho millones de gas natural y tres millones de gas envasado), si cada uno tuviera un artefacto de gas con piloto, la energía desperdiciada por el consumo de esos pilotos ascendería a unos 2,7GW multiplicados por el tiempo de encendido. Podemos estimar que los pilotos malgastan una cantidad de energía similar a la necesaria para producir la electricidad que entregan las centrales nucleares argentinas, o equivalente al 50% del gas natural licuado que se importa y llega en barcos.

Un plan de cambio de artefactos de calentamiento de agua podría mejorar esta situación considerablemente si incluyera: (i) el reemplazo por los más eficientes en el mercado, con etiqueta A; (ii) la incorporación de dispositivos economizadores de agua, que reducen el consumo de esta entre 35% y 50%, y (iii) el agregado de calentadores solares de agua en el 25% de los casos. Con esos supuestos disminuirían el 30% las actuales importaciones de gas.

# Regulación de los termostatos

Un modo simple de lograr importantes ahorros tanto de gas como de electricidad –usados respectivamente para calefacción y refrigeración– consiste en regular en valores adecuados las temperaturas de los termostatos. En las zonas centrales del país, bajar 1°C la temperatura interior en invierno puede ahorrar el 20% del consumo de energía usada para calefacción, mientras que aumentarla en igual cantidad en verano puede generar un ahorro de energía aun mayor en aire acondicionado. Esos porcentajes aumentan para la calefacción en zonas más cálidas y el aire acondicionado en zonas frías.

# El consumo en el sur del país

El consumo de gas en el sur de la Argentina proporciona un buen ejemplo de la influencia que tienen los precios en el comportamiento de la demanda de energía, lo mismo que de la necesidad de no subsidiar el consumo, pues hacerlo desestimula el uso racional y eficiente de la energía. La figura 4 muestra la variación con la temperatura del consumo residencial de gas por usuario en esa zona del país, comparada con la que se registra en el centro y en el norte. Se observa que ambas curvas son similares, pero para cada temperatura el

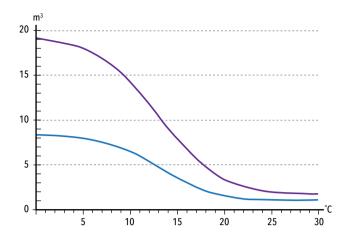


Figura 4. Comparación del cambio del consumo diario de gas residencial con los cambios de temperatura en el sur de la Argentina (curva superior) con el registrado en el centro y norte del país. El eje vertical mide, en metros cúbicos, el consumo por unidad residencial; el horizontal, la temperatura media mensual en grados centígrados.

consumo austral es prácticamente el doble que el del resto del territorio. Ese patrón de consumo lleva a que el 5% de los usuarios que viven en la Patagonia consuman el 20% del gas.

Si bien podría haber alguna otra razón en juego, la explicación ineludible de la diferencia está en que el precio del gas natural en el sur es prácticamente la mitad del que rige en resto del territorio (situación agravada por otros subsidios). El hecho de que en el sur las temperaturas medias sean más bajas explica que los días fríos sean más frecuentes que en el norte, pero no hay razón climática para que, a la misma temperatura, los consumos difieran. Estas conclusiones se ven reforzadas por el hecho de que ciudades muy cercanas (es decir, con el mismo clima), pero ubicadas en distinta zona tarifaria, consumen según la tarifa que pagan.

# A modo de conclusión

La experiencia internacional, tanto de los países más desarrollados como de algunos de Iberoamérica, indica que por regla general es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla. Por ello, los ahorros por mayor eficiencia energética pueden ser considerados una fuente más de energía, que a su bajo costo comparativo agrega la virtud de no contaminar. Los avances registrados en la materia en México, Brasil y Chile son ejemplos relevantes. Existe un gran consenso en que la eficiencia es el fruto más bajo y más accesible del árbol energético local y mundial.

Los autores agradecen a Amanda Schwint, Silvina Carrizo y Leila Iannelli su atenta lectura del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

### LECTURAS SUGERIDAS



GONZÁLEZ AD, CRIVELLI E y GORTARI E, 2006, 'Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche', Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 10, 7: 1-8. Accesible en http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t007-a001.pdf



### Salvador Gil

Doctor (PhD) en física, Universidad de Washington, Seattle. Profesor asociado, UNSAM. Director de la carrera de ingeniería en energía, UNSAM. sgil@unsam.edu.ar



## **Gautam Dutt**

Doctor (PhD) en ingeniería, Princeton University. Profesor vistante, UNSAM. Vicepresidente de ciencia y tecnología, MGM Innova.



Silvina Carrizo
Centro de estudios sobre América latina, UNICEN

Miguel A Núñez Cortés Salvador Gil Universidad Nacional de San Martín

# Transiciones energéticas en la Argentina

e llama transición energética a un cambio estructural en el sistema de provisión y utilización de la energía. Se trata de un fenómeno que tiene consecuencias profundas allí donde acontece, y que afecta a la sociedad en el largo plazo. A veces es la consecuencia de transformaciones tecnológicas y económicas, pero otras es producto de decisiones políticas, como viene ocurriendo en Alemania a partir del programa gubernamental llamado Energiewende.

A pesar de que la disponibilidad de energía es fundamental para el desarrollo social y económico, el 17% de la población mundial no tiene acceso a electricidad, mientras que el 41% usa leña para cocinar y calefaccionar sus viviendas, según la Agencia Internacional de la Energía, un organismo internacional que integran veintinueve países miembros de la OCDE. Por otro lado, se estima que el consumo de energía en el mundo se incrementará entre el 25% y el 70% en los próximos treinta años, dependiendo de cuánto mejore la eficiencia energética que discute el artículo anterior ('Uso racional y eficiente de la energía').

Hasta hace pocos años, el debate energético mundial

estuvo centrado sobre el agotamiento de los recursos energéticos, particularmente de los combustibles fósiles. Pero recientes innovaciones en las técnicas de extracción de hidrocarburos como el gas y el petróleo de pelitas (shale gas y shale oil) han alejado el temor de la escasez y llevado a focalizar el debate en torno al calentamiento global que está experimentando la Tierra, producto del uso de combustibles fósiles según lo indican fuertes evidencias. El reciente acuerdo alcanzado en la conferencia COP21 de París sobre el actual cambio climático (véase el editorial y el artículo 'Acuerdo internacional sobre cambio climático', en el número anterior de Ciencia Hoy) muestra el grado de preocupación mundial y el consenso internacional sobre este problema. Es posible entonces que, a pesar de disponer de importantes reservas de esos combustibles, la humanidad se resista a extraerlos por razones ambientales.

Hoy el debate energético tiene lugar en torno al concepto de desarrollo sostenible, que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas. Así, las Naciones Unidas y el Banco Mundial lanzaron la iniciati-

# – ¿DE QUÉ SE TRATA? –

Razones, ventajas y dificultades de pasar de una forma predominante a otra de proveernos y usar la energía.

va Energía sostenible para todos, que incluye lograr acceso universal a la energía, mejorar la eficiencia energética y aumentar el uso de energías renovables. Para la Argentina, estas iniciativas —así como los acuerdos de la conferencia COP21— pueden proporcionar buenas oportunidades.

Tradicionalmente, las fuentes de energía se clasifican en primarias y secundarias. Las primarias son los combustibles que se extraen directamente de la naturaleza, como leña, carbón, petróleo o gas, o son fenómenos naturales de los que se obtiene energía, por ejemplo, la fisión nuclear, las caídas de agua, la radiación solar o el viento. Las fuentes secundarias son los productos energéticos derivados de las fuentes primarias, como la electricidad, el gasoil, la nafta, el kerosén, el gas licuado, etcétera.

La Argentina depende fuertemente de los combustibles fósiles: petróleo y gas proporcionan casi el 90% de la energía primaria consumida, mientras el gas natural aporta más

70 60 50 40 30 20 10 1970 1980 1990 2000 2010 1960 Petróleo Hidroelectricidad Fisión nuclear Otros (incluye carbón, leña, bagazo, energía eólica, etcétera)

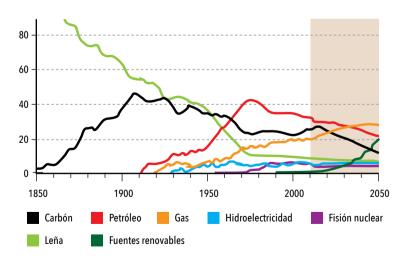


Figura 1 (arriba). Evolución del consumo de energía primaria en la Argentina entre 1960 y 2013. Los valores del eje vertical son porcentajes. Se aprecia que el gas natural se convirtió en la fuente dominante a partir de 1999. Datos de la Secretaría de Energía de la Nación. Figura 2 (abajo). Evolución del consumo de energía primaria en el mundo entre 1850 y 2010, con una estimación hasta 2050. Datos de la Agencia Internacional de la Energía.

de la mitad de ella. Análogamente, el mundo depende en 87% de los combustibles fósiles, pero con mayor participación del carbón mineral, que localmente no alcanza el 0,3%.

Las figuras 1 y 2 muestran respectivamente la evolución en el tiempo de las matrices energéticas argentina (desde 1960) y mundial (desde 1850). Comparándolas, se aprecia que la Argentina a veces acompaña y otras se adelanta a las tendencias globales, particularmente para el caso del gas natural, cuyo consumo se ha venido incrementando en el país a una tasa cercana al 3,3% anual, que duplica dicho consumo cada veinte años. Se espera que esa tendencia también se registre en el consumo mundial para mediados de la próxima década. Desde el punto de vista ambiental, esto es positivo, ya que de todos los combustibles fósiles el gas natural es el que menos de CO<sub>2</sub> dispersa en la atmósfera, como ilustra la figura 3.

# Tiempos largos y desafíos apremiantes

Los cambios en la canasta energética toman varias décadas en consolidarse. Ochenta años transcurrieron desde 1830, cuando la contribución del carbón mineral a la energía mundial superó el 10%, hasta que alcanzó su pico de cerca del 45% hacia 1910. Cincuenta y cinco años pasaron desde que, durante la Primera Guerra Mundial, el petróleo figuraba con el 10% en la matriz energética, hasta que llegó a su máxima participación con poco más del 40% en la década de 1970. Sesenta y cinco años separan 1950, momento en que el gas alcanzó el 10% de aporte energético, y el momento en que, según se estima, será el combustible dominante. En la Argentina, la transición del petróleo al gas llevó unos cincuenta años.

Estos largos tiempos de las transiciones energéticas se deben a que la industria de la energía es capital-intensiva. Requiere inversiones de miles de millones de dólares. Diseñar, asegurar la financiación y construir una represa hidroeléctrica o una central nuclear, lo mismo que poner en explotación un yacimiento de gas o de petróleo, toma por lo menos una década. Además del costo y del tiempo asociado con la generación eléctrica o la producción de combustibles, es necesario realizar las obras de transporte y distribución. Una vez concluidas las instalaciones y construidas todas las obras, lleva tres o más décadas amortizar su costo. Así, estos proyectos tienen un horizonte de treinta a cincuenta años. Los petroleros sostienen que los efectos de dejar de invertir se sienten entre siete y diez años después.

Además, en las transiciones energéticas es necesario reemplazar gran cantidad de equipos de uso final de la energía. Cuando se pasó de la leña al kerosén, hubo que modificar las cocinas, lo mismo que al pasar del kerosén al

gas, y así sucesivamente. De manera análoga, un vehículo fabricado para nafta no funciona con gasoil o con electricidad. Las transformaciones, además del costo monetario, tienen que franquear pautas culturales arraigadas.

Estos prolongados tiempos hacen necesario buscar acuerdos políticos amplios y con continuidad, ya que ejecutar cualquier programa energético excede por mucho la duración de un gobierno. La historia enseña que para lograr resultados fructíferos se necesitan políticas de Estado (que trasciendan las políticas de cada gobierno) sostenidas en el tiempo, con reglas claras y estables.

En estos momentos, hay creciente acuerdo en que los cambios necesarios para mitigar las consecuencias de la emisión de gases de efecto de invernadero se han hecho apremiantes, algo que no solo piensa una mayoría de los científicos y tecnólogos, sino también una buena proporción de dirigentes políticos y de votantes. Pero la historia nos indica que no podemos esperar un cambio rápido en la materia, lo que enfatiza la conveniencia de adoptar sin demora prácticas de uso racional y eficiente de la energía, sobre cuyos resultados tenemos favorables experiencias, por ejemplo, en la Unión Europea y en California.

En 2006 se aprobó en la Argentina la ley 26.190, destinada a promover la producción de electricidad con energía renovable. Se estableció como objetivo que, en diez años, el país alcance el 8% de su generación eléctrica usando esa clase de fuentes. Sin embargo, en 2015 apenas logró alcanzar el 2%, valor que la presente caída de los precios del petróleo no facilita superar. Más allá de las buenas intenciones, el peso de la historia se revela como más importante de lo que suponemos.

# La transición al gas

Las ventajas del gas natural sobre los demás combustibles fósiles son importantes. Además de ser el que menos CO<sub>2</sub> emite por unidad de energía producida, tiene un costo menor que el petróleo y sus derivados, es relativamente simple de transportar y puede sustituir con relativa facilidad a otros combustibles. Su empleo en la generación eléctrica tiene grandes ventajas, ya que las centrales de ciclo combinado son casi dos veces más eficientes que las tradicionales turbinas a vapor, lo que reduce el costo de la electricidad y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los menores tiempos y costos de construcción de las centrales eléctricas de gas, combinados con la relativa abundancia de gas natural, favorecen en todo el mundo la expansión de su consumo.

Durante el siglo XIX y los comienzos del siglo XX, el carbón y el petróleo resultaban más fáciles de transportar a grandes distancias que el gas natural; esta razón contribuyó a que dominaran el mercado energético hasta la década de 1950. Cuando comenzaron a construirse grandes gasoduc-

tos se abrió la oportunidad del gas. En la Argentina, el primero en llegar a Buenos Aires (desde Comodoro Rivadavia) data de 1949 y marcó el inicio del uso masivo del combustible.

El gas se utilizaba en Buenos Aires y algunas otras ciudades del país desde el siglo XIX, primero para alumbrado

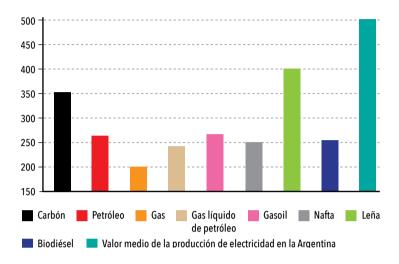


Figura 3. Emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera por distintas fuentes de energía. Los valores del eje vertical son gramos de  $CO_2$  por kWh de energía producida. La altura de la barra de la derecha es función del combustible primario empleado y de la eficiencia de la conversión de la energía de ese combustible en electricidad, que en este caso es inferior al 60%, lo que explica que sean altas las emisiones. El gas natural se destaca entre los combustibles fósiles por ser el que menos  $CO_2$  genera. Datos de la Secretaría de Energía de la Nación.



Gasómetro sobre la avenida General Paz a la altura de Constituyentes, del lado de la provincia. Antes de la construcción de gasoductos y de redes de distribución de gas natural, se fabricaba gas con carbón mineral y se lo almacenaba en voluminosos recipientes cilíndricos denominados gasómetros, ubicados en puntos estratégicos de las ciudades. Se lo llamaba gas manufacturado (en inglés *town gas*) y llegaba a los usuarios por tubería. Contenía monóxido de carbono, que el gas natural no contiene.

# LOS INICIOS DEL GAS EN LA ARGENTINA

Para las fiestas patrias de 1824, el ingeniero inglés Santiago Bevans —abuelo del presidente Carlos Pellegrini— iluminó la Pirámide de Mayo con farolas de gas que él mismo manufacturó en la esquina de las actuales calles Rivadavia y Reconquista. El 1 de mayo de 1855 la Compañía Primitiva de Gas, de capital británico, colocó la piedra fundamental de la primera planta productora de gas manufacturado (en inglés, town gas), ubicada en la costa del Río de la Plata, aproximadamente donde hoy está la torre de los Ingleses. La materia prima usada para fabricar el gas era hulla o carbón mineral, que se traía de Inglaterra y se pasaba a chatas que la llevaban a un muelle de tosca frente a la planta.

A esa primera planta, unida a un gran cilindro de almacenamiento llamado gasómetro, siguieron varias otras. En 1874, la instalada en la esquina de las actuales Patricios y Magallanes, en Barracas, era la mayor de América del Sur, con la capacidad de almacenar 14.200m<sup>3</sup>. El gas se destinaba al alumbrado

público: solo se empezó a usar en viviendas, para cocinar, en 1919, y tardó en difundirse.

Con la llegada por gasoducto de gas natural, en 1949, cañerías de distribución, medidores, reguladores y quemadores de cocinas, calefones y estufas empezaron a cambiar sustancialmente. La conversión de gas manufacturado a gas natural se extendió hasta 1961, período en que hubo áreas atendidas por el antiguo servicio industrial de gas de carbón y otras áreas por el nuevo de gas natural. En ciudades como Rosario, La Plata, San Nicolás o Bahía Blanca sucedió algo semejante.

Por sus características, los nuevos gasoductos podían almacenar bajo presión grandes volúmenes de gas natural. Con la disminución de la demanda de gas manufacturado, los gasómetros fueron siendo desactivados. Ya sin uso, aún hoy puede verse alguno, como el que está sobre la avenida General Paz, a la altura de Constituyentes, del lado de la provincia.

Publicidad del uso doméstico de gas en la época del gas manufacturado, aparecida en dos publicaciones de entonces, *El Hogar*, 1930 (arriba) y *Revista de Arquitectura*, 1939. En 1928, la Compañía Primitiva de Gas de Buenos Aires enroló a un equipo de ecónomas en esa tarea, una de las cuales, Petrona C de Gandulfo, conocida por Doña Petrona, se convirtió en la primera cocinera mediática del país y, con la llegada del gas natural, siguió promoviendo la transición al gas como empleada de Gas del Estado.





y desde 1919, para uso doméstico. Pero no era gas natural sino gas manufacturado, producido industrialmente a partir de hulla o de coque. Lo fabricaban diversas empresas privadas, por lo general de capital británico, las que lo almacenaban en tanques llamados gasómetros y distribuían en áreas cercanas a estos por tuberías. El sistema de gas manufacturado fue nacionalizado en 1945.

Si bien los gasoductos abrieron la posibilidad de abastecer con gas a zonas alejadas de los yacimientos, no son adecuados para el transporte interoceánico, por lo que el comercio de ultramar del combustible solo comenzó hacia 1960, con el transporte de gas natural licuado, a unos 162°C bajo cero y a presión atmosférica, en barcos criogénicos, lo que convirtió potencialmente al combustible en otro producto primario que se comercia en los mercados (en inglés, una nueva commodity). Desde 2008, aproximadamente la mitad del gas importado por la Argentina llega por mar y se inyecta en la red de gasoductos en Bahía Blanca y Escobar.

En 1946 se creó en el país la empresa Gas del Estado, desprendida de YPF y encargada inicialmente de fraccionar y comercializar el gas licuado de petróleo producido por la segunda, pero luego pasó a ser el brazo ejecutivo de las políticas estatales de promoción de gas natural. Este está compuesto principalmente de metano, una sustancia gaseosa que no se licua por simple compresión. En cambio, el gas que se obtiene en los procesos de refinamiento de petróleo es principalmente una mezcla de propano y butano, que son vapores de compuestos que toman la forma líquida a unas pocas atmósferas de presión. Ello hace posible su transporte en garrafas o tubos.

Uno de los mayores logros iniciales de Gas del Estado fue la construcción de los gasoductos troncales que vinculan las cuencas de hidrocarburos con los grandes centros de consumo, y que también abastecen localidades intermedias. Antes, el gas natural que emergía de los pozos petroleros usualmente se venteaba a la atmósfera, lo que comenzó a cambiar en 1949 con la inauguración del mencionado gasoducto de Comodoro Rivadavia a Buenos Aires, de 1600km de longitud, extendido en 1950 hasta Cañadón Seco en Santa Cruz.



Con la llegada del gas a Buenos Aires y a otras ciudades, y la construcción en ellas de redes de distribución domiciliaria, se difundió el uso del gas natural, que tiene ventajas en seguridad, comodidad, economía y acceso social o equidad. La difusión, además, se vio fuertemente favorecida por la política de precios de los combustibles, fijada por el Estado. Al mismo tiempo Gas del Estado promovió el uso de gas licuado de petróleo en localidades a las que no llegaba la red de gas natural. Lo envasaba en Boulogne, en las afueras de Buenos Aires, y lo almacenaba en más de veinte plantas en todo el país. En 1970, había más de 250 plantas privadas de fraccionamiento de gas licuado distribuidas en todo el territorio nacional, abastecidas a granel por camión-tanque o por ductos especiales de Gas del Estado.

En 1972 el sistema de gasoductos argentino fue conectado con la red boliviana, y en 1977 se descubrió un importante yacimiento gasífero: Loma de la Lata, en Neuquén. Ambos hechos dieron renovado impulso a la industria del gas. A principios de la década de 1980 se lanzó un plan nacional de sustitución de combustibles líquidos, que promovió, entre otras iniciativas, el uso de gas natural comprimido como combustible vehicular. Hoy la Argentina está en el tercer puesto en la lista

de países con mayor cantidad de vehículos así propulsados, cuya operación tiene ventajas económicas y ambientales.

En la década de 1990, como parte de la reforma estatal de entonces, YPF y Gas del Estado pasaron a manos privadas y el sector energético fue desregulado. Se creó el Ente Nacional Regulador del Gas (Enargas), con competencia sobre el transporte y la distribución. Gas del Estado fue sustituida por once sociedades privadas: nueve de distribución y dos de transporte por gasoductos. Como resultado, la producción creció y las empresas nombradas procuraron ampliar los mercados internos y externos, extendieron los gasoductos y construyeron algunos para exportar gas a Chile, Brasil y Uruguay.

En 1995 comenzó a funcionar en General Rodríguez una planta de almacenamiento criogénico de la empresa Gas Natural Fenosa, destinada a almacenar reservas con las que atender los picos de consumo que se producen sobre todo en invierno. Tiene la capacidad de acopiar unos 43.500m³ de gas licuado. Esta clase de instalaciones (llamadas en inglés de peak shaving), de las que hay unas cien en el mundo, protegen el abastecimiento de viviendas, comercios y oficinas, cuya interrupción ocasiona serias penurias a la gente.

Los autores agradecen a Amanda Schwint la atenta lectura del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

# LECTURAS SUGERIDAS

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2015, World Energy Outlook 2015.

Accesible en http://www.iea.org/bookshop/700-World\_Energy\_Outlook\_2015.

SMIL V, 2010, Energy Transitions. History, requirements, prospects, Praeger, Santa Bárbara, Ca.

**TARTARINI J** *et al.*, s.f., *Doña Petrona, la cocina y el gas*, Fundación Metrogas, Buenos Aires. Accesible en *http://www.metrogas.me/donapetronayelgas/*.



# Silvina Carrizo

Arquitecta, UNLP.

Doctora en geografía, urbanismo y ordenamiento territorial, Universidad de París 3.

Investigadora independiente del Conicet. scarrizo@conicet.gov.ar



# Miguel A Núñez Cortés

Licenciado en ciencias geográficas y filosofía, Universidad del Salvador.



# Salvador Gil

Doctor (PhD) en física, Universidad de Washington, Seattle. Profesor asociado, UNSAM.

Director de la carrera de ingeniería en energía, UNSAM. sgil@unsam.edu.ar



Pablo J Pazos

Instituto de Estudios Andinos, UBA-Conicet

# Vaca Muerta y algo más Reservorios no convencionales de petróleo y gas

n el último lustro, una de las novedades del sector energético que capturaron la atención de los medios y, por extensión, del público fue la constatación de que existen muy importantes reservorios no convencionales de petróleo y gas en Neuquén, y más concretamente en la formación geológica Vaca Muerta. Esto llevó a un sinfín de especulaciones políticas y económicas sobre las consecuencias que se derivarían, no solo para el mercado interno de energía —en el que la demanda supera la producción interna y desde 2006 el país es importador neto— sino, también, para la región, para la economía nacional e incluso para el lugar que ocupa la Argentina entre los productores mundiales de petróleo y gas.

Para entender qué es y qué importancia tiene la noticia sobre Vaca Muerta, conviene aclarar algunos conceptos geológicos y explicar ciertos términos de jerga, empezando por la distinción entre hidrocarburos convencionales y no convencionales, dado que lo novedoso es la existencia y la magnitud de estos últimos en una cuenca comprobadamente rica en los primeros.

# Conceptos geológicos y terminología

El concepto de no convencional se define por la negativa: es simplemente un reservorio que no cumple

# – ¿DE QUÉ SE TRATA? —

¿Qué es un yacimiento no convencional de petróleo y gas, comparado con uno convencional? ¿Qué particularidades tiene el yacimiento Vaca Muerta?

con los requisitos de los reservorios convencionales, los cuales se conciben como un sistema petrolero con varias partes que permiten la acumulación del hidrocarburo. La denominación genérica es reservorio; yacimientos son una clase particular de reservorios: aquellos que se pueden explotar económicamente con las tecnologías disponibles y a los precios vigentes del producto, lo que depende de la calidad del reservorio, sus dimensiones, los tipos de hidrocarburos que contenga y las condiciones económicas locales e internacionales. Los reservorios son recursos; los yacimientos, reservas.

Todo reservorio convencional consta de una roca madre madura que tuvo en tiempos geológicos pretéritos un contenido suficiente de materia orgánica como para que, por una serie de procesos que incluyeron su soterramiento y la elevación de su temperatura, se convirtiese en los hidrocarburos que hoy explotamos. Consta también de una roca reservorio, con buenas condiciones de permeabilidad, a la que fluyó el petróleo cuando fue ex-

pulsado de la roca madre; y de una roca sello, que detuvo el fluir de los hidrocarburos y los hizo permanecer en la roca reservorio. La ausencia en el momento adecuado de alguno de los componentes se traduce en falta o escasez de acumulación de hidrocarburos.

Los hidrocarburos son sustancias compuestas primordialmente por carbono e hidrógeno, más cantidades menores y variables de azufre, oxígeno y otros elementos, en estado sólido, líquido o gaseoso según la temperatura y presión a que estén. Esta composición se debe a su origen: restos de seres vivos, principalmente zooplancton y algas depositados hace millones de años en el fondo de mares o lagos, y luego soterrados y aislados por sucesivas capas de sedimentos. Por eso se habla de combustibles fósiles. Los aumentos de la temperatura de esos restos, provocados por los posteriores procesos geológicos, ocasionaron los cambios fisicoquímicos que dieron origen a los varios hidrocarburos que componen los combustibles fósiles.



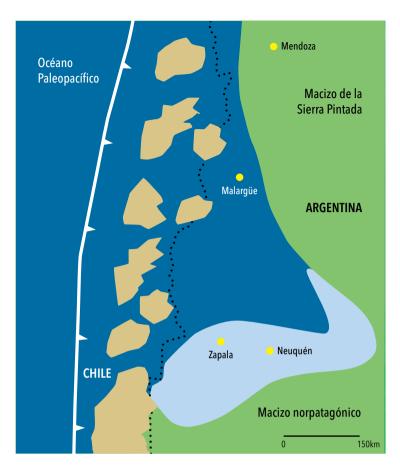
La sola presencia de hidrocarburos en las rocas, incluso en cantidades muy pequeñas, indica que hubo allí materia orgánica y que ella alcanzó, por lo menos, una temperatura de 60°C. Por otro lado, si la temperatura excede unos 175°C, el petróleo se transforma en gas. Si la temperatura de la roca madre fue inferior a la mínima se dice que es una roca inmadura; si excede el valor máximo, que es sobremadura o quemada. Pero no toda la materia orgánica termina convertida en hidrocarburos: una parte de ella es inerte y no los genera. La otra parte, que proviene de distintas clases de organismos, genera diferentes tipos de petróleo. En este proceso, uno de los pasos del cambio que lleva de la materia orgánica a los hidrocarburos es la constitución de una sustancia precursora llamada querógeno, cuyas características varían según los distintos tipos de materia orgánica de los que provenga y de los ambientes en que se encuentre.

Análisis de laboratorio de los petróleos de distintos yacimientos permiten identificar la roca madre de la que proceden. Así, en la cuenca neuquina, es posible diferenciar el petróleo obtenido en la formación rocosa Los Molles del extraído de Vaca Muerta. A su vez, la vinculación directa entre las características del petróleo y las de la materia orgánica de las que proviene es determinante para la prospección geológica de potenciales rocas madre, apoyada en una interpretación del paleoambiente en el que se acumuló dicha materia orgánica.

Para que se haya podido formar el petróleo fue importante que la materia orgánica de origen llegase con poca demora al fondo de los lagos o mares y fuese cubierta por sedimentos, para que quedara en un medio carente de oxígeno (o anóxico) y, en consecuencia, no entrara en descomposición. Por eso, la cantidad de materia orgánica que llegó en buenas condiciones al fondo fue menor en mares profundos que en mares o lagos someros, pues en los primeros tardó mucho tiempo en descender por la columna de agua, durante el cual se fue degradando. Además, la materia orgánica es más abundante en aguas someras y oxigenadas.

La roca madre que produce hidrocarburos es de grano fino y poco permeable. Los geólogos la llaman pelita, y en la jerga petrolera recibe el nombre de shale. No es adecuado llamarla esquisto, pues en esa clase de rocas los hidrocarburos no son estables. Pero no es la roca madre lo que determina que un reservorio sea convencional o no convencional: la roca madre de Vaca Muerta es la más importante de la cuenca neuquina para reservorios convencionales, además de albergar otros no convencionales.

En el proceso de expulsión de los hidrocarburos de la roca madre, remanentes importantes de ellos quedan retenidos en poros minúsculos o nanoporos. Esa expulsión es en sí misma compleja e imperfectamente com-

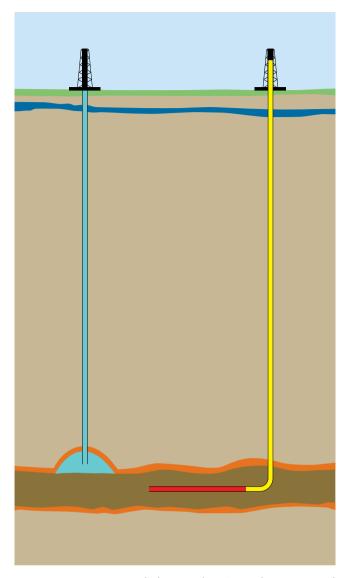


Esquema de la paleogeografía de la cuenca neuquina hace 150 millones de años, en la época en que se depositaron los organismos marinos que originaron el petróleo hoy en explotación. En azul el océano Paleopacífico, en un golfo del cual (azul claro) se produjo la precipitación de los carbonatos, los cuales soterraron la materia orgánica que originó el petróleo y el gas; la línea blanca marca el lugar de la subducción de la placa oceánica bajo la continental; los puntos negros señalan la actual frontera entre Chile y la Argentina, y las manchas ocres indican una alineación de volcanes al oeste del mencionado golfo en el que se formó la cuenca petrolera.

prendida. Incluye cambios de volumen del querógeno, la aparición de dichos poros en la roca y la formación de gotas que fluyen mezcladas con agua y con burbujas gaseosas —flujo llamado slug flow— y que son expulsadas por efectos de la presión imperante (por los miles de metros de columna de roca que tienen por encima).

Los hidrocarburos se desplazan por una roca transportadora (carrier) hasta encontrar una roca reservorio, que puede estar ubicada a kilómetros de distancia horizontal y a cientos de metros de distancia vertical. Mientras no encuentren una roca adecuada siguen viaje y puede ocurrir que nunca formen un reservorio. Muchas veces, atraviesan los acuíferos y alcanzan la superficie, como sucede en California y en Covunco (Neuquén), para solo citar dos ejemplos. Este afloramiento es un fenómeno natural, que bien puede acontecer sin interferencia humana.

En los reservorios no convencionales, como los del tipo Vaca Muerta, no hubo migración de los hidrocarbu-



Esquema comparativo sin escala de una explotación petrolera convencional (izquierda) y una no convencional por fractura hidráulica. La primera consiste en una perforación que desciende hasta el yacimiento de petróleo o gas natural contenido en una roca reservorio con buena permeabilidad, por ejemplo una arenisca (celeste), rodeada de una roca sello que le impide escapar (anaranjado). El hidrocarburo sube a la superficie impulsado por la presión a que se encuentra o por bombeo. La explotación no convencional por fracking procura extraer petróleo o gas de una roca de escasa permeabilidad en la que está atrapado, por ejemplo, una pelita o shale. Para liberarlo se recurre a la fractura hidráulica de la roca, que consiste en inyectarle agua con arena y algún otro agregado a gran presión por un tubo (amarillo) que, al llegar al yacimiento, toma en la mayoría de los casos la posición horizontal (rojo) y deja escapar por perforaciones el agua, la que resquebraja la roca y libera el hidrocarburo. Lo descripto tiene lugar a enormes profundidades, por ejemplo a 3km de la superficie, mientras los acuíferos (azul) que satisfacen las necesidades humanas están en los primeros centenares de metros.

ros fuera de la roca madre, la cual, por lo tanto, quedó también como roca reservorio. En dicha formación, esa roca, con sus poros nanométricos, tiene una permeabilidad extremadamente baja (inferior al 1%), mientras en un reservorio convencional, en el que la roca madre

tiene poros de escala micrométrica y hasta milimétrica, la permeabilidad puede alcanzar el 20%. Extraer hidrocarburos de nanoporos requiere técnicas que estimulen su expulsión (como la estimulación hidráulica o fracking, que se trata más adelante) por la vía de incrementar artificialmente dicha permeabilidad.

# Tipos de reservorios no convencionales

Los reservorios como Vaca Muerta no son los únicos no convencionales que existen. Esta denominación les cabe también a arenas mezcladas con petróleo o arenas bituminosas encontradas en la superficie (tar sands), como las que hay en Canadá, que son explotadas con técnicas semejantes a las de la minería. Otra clase de acumulación no convencional es la de metano en mantos de carbón por lo general superficiales (coal bed methane).

También son de tipo no convencional y de explotación similar a la aplicada para pelitas con gas y petróleo (shale gas o shale oil) los reservorios de gas en otras rocas de muy baja permeabilidad; en la literatura técnica ese gas se denomina tight gas (que a veces se traduce por gas de arenas compactas) y existe, por ejemplo, en la formación Las Lajas de la cuenca neuquina. Igualmente son reservorios no convencionales los de pelitas bituminosas (oil shale), que tienen petróleo obtenible por destilación, es decir por técnicas más cercanas a las empleadas para extraerlo de arenas bituminosas, muy diferentes de las empleadas en Vaca Muerta o Las Lajas.

Finalmente, cabe mencionar entre los reservorios no convencionales a los hidratos de gas (gas hydrates), que son estructuras cristalinas de moléculas de metano retenidas en agua congelada de fondos marinos. Su extracción es compleja pero está siendo considerada en Japón e Irlanda.

La explotación de los reservorios no convencionales de hidrocarburos normalmente es más costosa que la de los convencionales, con rendimientos que suelen decaer rápidamente. Son fuentes alternativas al progresivo agotamiento de los yacimientos convencionales, pero no son energías alternativas en el sentido ambiental, ya que las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes son similares para los combustibles de ambas clases de reservorios.

Las técnicas de explotación de los reservorios no convencionales se utilizan en muchos casos para estimular pozos convencionales en etapa madura de explotación, y numerosas empresas manejan en forma conjunta explotaciones convencionales y no convencionales, especialmente de tight gas.

#### La fractura hidráulica

La hidrofractura, fractura hidráulica o fracking es una técnica usada para extraer petróleo y gas contenido en rocas de baja permeabilidad. Consiste en causar la ruptura de la roca inyectándole un líquido con alta presión, principalmente agua que contiene arena en suspensión y otras sustancias. El agua a presión provoca fisuras en la roca, que actúan como conductos por los que pueden fluir el petróleo y el gas atrapados (y los granos de arena impiden que los conductos se cierren).

La fractura hidráulica se usa en los Estados Unidos desde hace unos 65 años y se ha extendido a muchos otros países. Si bien se aplica complementariamente para estimular la producción de yacimientos convencionales, es el procedimiento elegido en primera instancia, cuando no el único, para explotar muchos de los no convencionales.

Con la creciente preocupación por el deterioro ambiental y el también creciente activismo de organizaciones ambientalistas, la fractura hidráulica se ha convertido en muchos países en objeto de agitadas controversias por los efectos que se le atribuyen, entre ellos, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas y la posibilidad de que desencadene sismos.

En este sentido, no es lo mismo fracturar roca ubicada en profundidades relativamente bajas, por el riesgo de que los líquidos inyectados ingresen en los acuíferos de agua dulce, que hacerlo a grandes profundidades. Se considera que, más allá de unos 900 metros debajo de la superficie, los acuíferos son habitualmente salobres o salados y no aptos para consumo humano.

El estudio de las causas de ciertas contaminaciones del acuífero freático, por ejemplo con metano (por las que el agua de la canilla proveniente de esa napa emerge con gas), ha establecido fehacientemente que se produjeron por pérdidas o fugas de reservorios naturales del gas o pérdidas de las instalaciones que lo almacenan o transportan. Es decir, no existe evidencia de una vinculación directa entre la fractura hidráulica realizada en profundidades mayores que 900m y la contaminación del acuífero freático. En Vaca Muerta, las zonas en que es aplicable esta técnica están entre 2500m y 3000m de profundidad.

También se ha vinculado la extracción petrolera con algún aumento de la sismicidad de bajo grado, la que está en función de lo que se extrae y no de la técnica de extracción, de modo que sería un reparo genérico para toda la industria petrolera y no específico de la hidrofracturación. Lo mismo puede decirse de diversos riesgos de alteración ambiental relacionados, por ejem-



plo, con la demanda de agua (que la sustraería de otros usos) o -algo con lo que se debe tener cuidado- el destino del agua de retorno, comunes a buena parte de la minería y la industria.

En otras palabras, el fracking tiene riesgos ambientales, como los tienen la minería y el resto de la actividad petrolera, aunque su índole específica presente determinadas particularidades, lo cual, por otra parte, posiblemente se pueda decir de cada rama de la minería y la industria. Esto no significa que esos riesgos puedan desestimarse: significa que es necesario tomarlos seriamente en consideración en los estudios de factibilidad y en las operaciones, y que es también necesario hacer frente a los costos de las salvaguardas y precauciones.

#### Formaciones Vaca Muerta. Los Molles y Las Lajas

Las unidades fundamentales en los estudios geológicos son las formaciones. En la Argentina se definen siguiendo lo establecido por el Código Argentino de Nomenclatura Estratigráfica, formulado siguiendo criterios internacionales por la Asociación Geológica Argentina. La formación Vaca Muerta, conocida desde la década de 1930, es la principal roca madre de los hidrocarburos de la cuenca petrolera neuquina. Su origen es marino y, según observaciones recientes, se depositó en un mar no muy profundo, posiblemente un golfo del que podríamos llamar océano Paleopacífico. El depósito de materia orgánica del que provienen los hidrocarburos que hoy extraemos en Neuquén tuvo lugar hace unos 150 millones de años, hacia el final del período Jurásico y en la primera parte del Cretácico, cuando las condiciones climáticas y las profundidades -de unos 200m- de esa extensión marina eran óptimas para la producción de materia orgánica y su preservación en el fondo en condiciones anóxicas.

Como reservorio no convencional, Vaca Muerta tiene varias ventajas, entre ellas que su explotación no siempre requiere perforaciones horizontales, como sucede en la mayoría de los casos. El querógeno generador de los hidrocarburos era de muy buena calidad y alcanzó un excelente estado de maduración, lo que repercutió en que se formaran hidrocarburos también de alta calidad. Otro punto no menor a su favor es que está en una región con tradición petrolera, en la que coexisten explotaciones convencionales y no convencionales. Y, por último, la roca madre es también de buena calidad por su composición rica en cuarzo y pobre en arcillas, lo que facilita su fractura hidráulica.

Paradójicamente, dado que siempre fue la roca madre más importante de la cuenca neuquina, no ha sido estudiada en detalle, por lo cual no se conoce lo suficiente sobre la variación zonal de su composición mineralógica como para disponer de modelos matemáticos que permitan predecir su comportamiento.

Existe en la cuenca otra formación, más profunda y antigua, llamada Los Molles, con menor potencial porque la calidad de su querógeno es menor. Entre ambas se encuentra la formación Las Lajas, de tipo arenoso, una típica unidad productora de tight gas. Esta estructura geológica estratificada, compuesta por tres unidades potencialmente aptas para la explotación no convencional, incluye también reservorios convencionales, como la formación Agrio.

La cuenca neuquina, junto con la cuenca austral, proporcionan buenas perspectivas energéticas al país. Explotar esos recursos requiere cuantiosas inversiones, mucha investigación científica en varias disciplinas y miradas a largo plazo. Es el desafío que enfrentamos. 🖽

#### **LECTURAS SUGERIDAS**



AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 2012, Water and Hydraulic Fracking, disponible en http://www.awwa.org/Portals/0/files/legreg/ documents/AWWAFrackingReport.pdf.

BLANCO YBÁÑEZ AJ y VIVAS HOHL J, 2014, 'Introducción al tight gas', Petrotecnia, junio, pp. 14-24. Accesible en http://www.petrotecnia.com.ar/ junio14/Petro/Introduccion.pdf.

CABANILLAS L et al., 2013, 'Hidrocarburos convencionales y no convencionales' y 'Petróleo y gas en la Argentina: cuencas productivas', CIENCIA HOY, 23, 134: 40-51.



Pablo J Pazos

Doctor en geología, UBA. Investigador independiente del Conicet en el Instituto de Estudios Andinos. Profesor adjunto, FCEYN, UBA. pazos@gl.fcen.uba.ar

Contribución R-183 del IDEAN (UBA-Conicet).

#### **Judith Franco**

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales, Universidad Nacional de Salta-Conicet

> Martín Altamirano Karina Escalante

Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Salta

# Energía solar térmica

odos somos conscientes de que el Sol, además de luz, da calor. Tanto la luz como el calor son consecuencia de que emite radiación electromagnética, la mayor parte en la región de luz visible del espectro y el resto en el ultravioleta y el infrarrojo.

Existen diversas maneras de aprovechar la energía de la radiación solar. Las plantas se sirven de ella para la fotosíntesis; la humanidad produce electricidad por un proceso fisicoquímico llamado efecto fotovoltaico (véase el siguiente artículo, 'Energía solar fotovoltaica'), calefacciona viviendas y otras construcciones, calienta agua y deshidrata alimentos. Hace algunas de esas cosas desde hace siglos.

Esta nota se refiere al uso de la energía solar para producir calor, para lo cual se han ideado numerosos dispositivos que, en líneas generales, se pueden clasificar en dos grupos: los que concentran la radiación y los que no la concentran. Se habla entonces de energía solar térmica concentrada y no concentrada.

#### Energía térmica concentrada

Los dispositivos diseñados para aprovechar de esta manera la radiación solar incluyen espejos o lentes que hacen converger sobre un área pequeña los rayos que llegan a una gran superficie. Así se alcanzan altas temperaturas (superiores a 350°C), que pueden ser empleadas en procesos industriales o, sobre todo, en la generación de electricidad. Esta se produce principalmente aplicando el calor a originar vapor, con el que se impulsan turbinas conectadas a un generador. Los dispositivos

#### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Formas de transformar la energía de la radiación solar en calor.

concentradores de radiación más comunes son los parabólicos, los de torre central, los Fresnel lineales y los de disco parabólico con motor Stirling.

Los concentradores parabólicos son grandes espejos de metal pulido curvados como fragmentos de cilindros parabólicos, según se aprecia en las figuras 1 y 2. El perfil con forma geométrica de parábola hace que todos los rayos solares, que llegan de manera paralela, al ser reflejados por el espejo se concentren en el foco de la parábola e incidan sobre un tubo por el que circula un fluido (por lo común un aceite). Este adquiere alta temperatura y, a su vez, transfiere el calor a vapor de agua, el cual permite impulsar máquinas térmicas, por ejemplo, turbinas productoras de electricidad. De esta clase fueron los primeros concentradores que tuvieron uso comercial; su tipo sigue vigente, sobre todo porque el costo de los disposi-

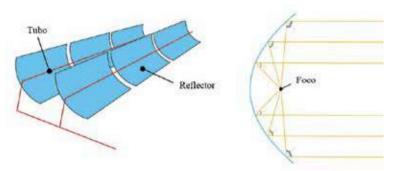


Figura 1. Esquema de un concentrador parabólico. Los rayos solares llegan paralelos a espejos metálicos (azul), cuyo perfil parabólico los refleja de modo que todos se concentran en el foco de la parábola. Esa reflexión sigue el conocido principio de la igualdad de los ángulos de los rayos incidente y reflejado con la normal al espejo. Por los puntos focales de las parábolas corre un tubo (rojo) con un fluido que transfiere el calor al vapor de una turbina generadora de electricidad.



Figura 2. Concentrador parabólico en Harper Lake, localidad del desierto Mojave, en el sur de California. Wikimedia Commons

tivos es relativamente bajo en comparación con diseños alternativos, y porque es una tecnología que se conoce bien. La producción eléctrica solar con concentradores parabólicos se inició en California, donde está en crecimiento, impulsada por una legislación que apunta a cubrir en 2016 el 25% de la demanda eléctrica del estado de fuentes renovables (y el 33% en 2020).

Los concentradores de torre central son probablemente los que más llaman la atención. Están formados por un grupo de espejos rectangulares móviles (para enfocarlos al Sol a medida que se mueve), llamados heliostatos, los cuales reflejan la radiación incidente a un colector ubicado en lo alto de una torre. El dispositivo permite alcanzar muy elevadas temperaturas (entre 500 y 1000°C) y tiene buena eficiencia comparado con el anterior, pero su costo es más elevado. La primeras plantas comerciales de este tipo, denominadas PS10 y PS20, están en Andalucía, y tienen una potencia de 11 y 20MW respectivamente (figuras 3 y 4).

De todos los métodos de concentración de la energía solar para producir electricidad, el de mayor eficiencia es el disco parabólico con motor Stirling. Consiste en un único reflector parabólico que concentra los rayos solares en un fluido colector cuya temperatura puede alcanzar entre unos 250 y 700°C y se emplea para generar electricidad con un motor Stirling. Este es un tipo de máquina térmica de combustión externa (como la máquina de vapor de la Revolución Industrial) inventada en 1816 por el clérigo escocés Robert Stirling (1790-1878). Opera por la compresión y expansión cíclica de aire u otro gas y tuvo su auge en la segunda mitad del siglo XIX. Luego cayó en desuso, pero ahora está experimentando un retorno precisamente para producir electricidad por este método. En pruebas realizadas en los Estados Unidos se registró una eficiencia del 31,25% en la conversión de energía solar en electricidad con esta clase de equipos. Otra ventaja del sistema es su carácter modular, que permite incrementar la potencia instalada por simple agregación de unidades, cada una de las cuales tiene una potencia del orden de los 25kW. Así, en California se programa instalar una potencia de 1750MW con esta tecnología, para lo que sería necesario montar 70.000 reflectores parabólicos con sus respectivos motores.

Uno de los sistemas más nuevos es el de los concentradores lineales Fresnel, que vienen adquiriendo importancia en el mercado por su bajo costo y menor necesidad de espacio para instalarlos. Utilizan espejos reflectores que siguen principios de diseño similares a los lentes Fresnel, así llamados por su inventor, el físico francés Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), que los creó para que se usaran en faros. Son equipos constituidos por líneas de espejos rectangulares apoyados en el suelo que reflejan la radiación en forma de que llegue concentrada a calentar un fluido que circula por un caño ubicado algunos metros por encima de ellos. La primera planta comercial que produce

electricidad por este método, llamada Puerto Errado 2, fue instalada entre 2010 y 2012 en Murcia por la empresa alemana Novatec. Tiene una potencia de 30MW. Actualmente, la empresa francesa Areva, dedicada a la energía nuclear y renovable, está construyendo una planta comercial de 100MW en la India. Por otra parte, en Salta, las dos instituciones a las que pertenecen los autores se encuentran trabajando en un equipo piloto de concentración lineal cuyos componentes fueron desarrollados en el país.

En líneas generales, los costos por kWh de la electricidad generada en sistemas térmicos con concentración aproximadamente duplican los de la producida en centrales de gas natural (sin dispositivos de captura de las emisiones de CO<sub>2</sub>). Que esa brecha se achique depende de la evolución de los precios de los combustibles fósiles y de los costos de fabricación de los equipos solares por mayor escala de producción y por mejoras tecnológicas.

#### Energía térmica no concentrada

Los colectores que no concentran la radiación se llaman también colectores planos y, como los concentradores, absorben energía solar en forma de calor, el cual transfieren a un fluido líquido o gaseoso que aumenta de temperatura y puede ser utilizado para calentar agua con el propósito de calefaccionar ambientes, climatizar piscinas, abastecer lavaderos o ser usada en procesos industriales de baja y media temperatura. Los sistemas que no concentran los rayos solares alcanzan temperaturas del orden de entre 60 y 150°C por encima de la del ambiente, mucho menores que las alcanzadas por los concentradores.

Existe gran variedad de colectores planos, adaptados a diferentes ambientes y aplicaciones. Los más usados



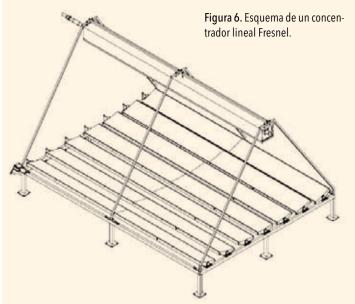
Figura 3. Concentrador de torre central PS10, en Sanlúcar la Mayor, a unos 20km de Sevilla. Tiene una potencia de 11MW y produce unos 23.400MWh anuales de electricidad con 624 grandes espejos móviles llamados heliostatos que concentran la energía en lo alto de la torre de 115m. El costo de construir el dispositivo entre 2004 y 2007 alcanzó los 46 millones de dólares. Foto afloresm. Flickr.



**Figura 4.** Centrales termoeléctricas PS10 (izquierda) y PS20. Wikimedia Commons

Figura 5. Lente Fresnel para un faro. Museo del faro de Punta Arena, California. Frank Schulenburg, Wikimedia Commons.





son los de placa plana sin cubierta, de placa plana con cubierta y los de tubos de vacío.

Los colectores de placa plana sin cubierta son los más sencillos y baratos del mercado. Consisten en un dispositivo de color oscuro por el cual circula el fluido que se calienta, sin cubierta transparente ni aislamiento adicional. El fluido se calienta como máximo unos 20°C con relación al medio, y son los colectores más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Se usan en piscinas al aire libre, lavaderos de automóviles y piscicultura. Permiten disponer de agua templada con una inversión modesta para, por ejemplo, ampliar el período de uso de piscinas, pero no extenderlo a todo el año, lo que requeriría medidas adicionales como cubrir el ambiente con lona o vidrio y calefaccionarlo.

Los colectores de placa plana con cubierta son los más populares para calentar agua de uso doméstico y para la calefacción de viviendas. Se componen de una caja metálica aislada con una cubierta de vidrio o de plástico, una placa oscura que absorbe la radiación solar y tubos dispuestos sobre esta por los que circula el fluido que transporta el calor adquirido.

Los colectores de tubos de vacío se componen de tubos de los que se evacuó el aire y a cada uno de los cuales se agregó un dispositivo, generalmente una plancha de metal de color negro, que absorbe la energía solar y la transfiere a un fluido. Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 80 a 180°C. Resultan particularmente apropiados para aplicaciones que requieren esas temperaturas y vienen ganando terreno en el mercado local, pues se venden a buen precio dado que se fabrican en serie y en gran escala en China.

#### Difusión de la energía solar térmica

Estas formas de aprovechar la energía radiante de Sol se han difundido en muchos países principalmente para atender los requerimientos de comunidades aisladas, de difícil cuando no imposible acceso a las redes de distribución eléctrica o de combustibles fósiles. En esos lugares proporcionan sobre todo agua caliente de uso doméstico y calefacción. En zonas urbanas con acceso a fuentes convencionales de energía, en cambio, este tipo de instalaciones no son frecuentes, salvo en países, como Alemania, que han implantado políticas estatales para fomentar su uso con el propósito de reducir el consumo de energía convencional. En tal caso, los colectores planos para calentar agua de uso sanitario o en instalaciones de calefacción por radiadores y losas radiantes aparecen tanto en viviendas urbanas como rurales.

Si bien la radiación solar proporciona energía renovable que, además, no emite gases de efecto invernadero y hasta se puede producir en el lugar de consumo, su difusión enfrenta algunas dificultades. La primera que salta a la vista es económica: en la mayoría de los países (incluidos los iberoamericanos y especialmente, hoy, la Argentina) es en líneas generales considerablemente más barato generar electricidad, calentar agua o calefaccionarse con gas natural que con dispositivos solares. Esta afirmación es susceptible de múltiples calificaciones particulares, pero vale como generalización.

Una de las razones de la desventaja económica es que tanto la tecnología como los mercados de los equipos descriptos han tenido poco tiempo de maduración. En materia tecnológica, algunos sistemas, como los concentradores parabólicos o los colectores de tubo de vacío, han avanzado



Figura 7. Concentrador lineal Fresnel instalado a título experimental en San Carlos, Salta, por el Instituto de Investigación en Energías No Convencionales y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial. El sistema consta de espejos de aluminio de 0,60 x 2,50m montados sobre el suelo de forma tal que su inclinación pueda regularse según el cambio estacional de la altura del Sol. Estos reflejan los rayos solares que les llegan paralelos de manera que se concentren en el dispositivo que absorbe y luego transporta el calor.

más; otros se encuentran en etapa de investigación y desarrollo. Para unos y otros, sin embargo, hay camino que recorrer en materia de adecuación a condiciones locales, climáticas u otras. En cuanto a los mercados de los equipos, su tamaño reducido, que no genera economías de escala, es otra importante causa de desventajas.

A estos factores económicos se agregan otros de tipo social o cultural, como sucede con los cambios en todos los ámbitos, que llevan a la necesidad de modificar los hábitos de la gente. Para tomar un ejemplo, ante el hecho de que los horarios en que se puede producir más energía solar (en torno al mediodía solar) no coinciden con los de mayor demanda de electricidad o agua caliente, el cambio de hora de ciertas actividades llevaría a un mejor aprovechamiento del Sol.

A este contexto hay que agregar el ingrediente político, como lo demuestra la experiencia de los países que más han avanzado en materia de energía solar. Opera en diversos niveles, desde la investigación científica y tecnológica, para la cual las políticas de Estado son cruciales, pasando por la educación académica y la capacitación profesional, el marco legal y regulatorio, hasta la eficiencia y capacidad de gestión de los entes oficiales.

En estos momentos la difusión de la energía solar se enfrenta en la Argentina con un panorama de precios fuertemente subsidiados de los combustibles fósiles, que acentúa aún más la natural barrera

económica por razones de maduración tecnológica y de los mercados. No obstante, en algunos lugares se vislumbran cambios. En Salta, donde actúan los autores, el gobierno provincial puso en marcha en 2014 un plan de fomento de las energías renovables, que incluyó la sanción de dos leyes (números 7823 y 7824), la concesión de beneficios fiscales y la posibilidad de inyectar en la red y vender electricidad generada por los mismos consumidores.

#### LECTURAS SUGERIDAS



GIL S, PRIETO R Y IANNELLI L, 2014, Barreras para el desarrollo de la energía solar térmica en la Argentina, accesible en http://www.researchgate.net/publication/277021560\_Barreras\_para\_el\_Desarrollo\_de\_la\_Energa\_Solar\_Trmica\_en\_Argentina\_-Amortizacin\_de\_los\_equipos\_solares\_hbridos.

KOST C, 2013, Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Francfort. Accesible en http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf.

MILLS D & MORRISON G, 2000, 'Compact linear Fresnel reflector solar thermal powerplants', *Solar Energy*, 68, 3: 263-283.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015, *Annual Energy Outlook 2015*, Washington DC. Accesible en http://www.eia.gov/forecasts/aeo/

**US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION**, 2015, *Annual Energy Outlook 2015*, Washington DC. Accesible en http://www.eia.gov/forecasts/aeo, electricity\_generation.cfm.



**Judith Franco** 

Doctora en física, UNSA. Investigadora adjunta del Conicet. Profesora titular, UNSA. francojudita@gmail.com



Martín Altamirano

Doctor en ciencias, UNSA.



Karina Escalante

Ingeniera en recursos naturales y medioambiente, UNSA. Estudiante de doctorado, UNSA.



Julio C Durán Juan Pla

Departamento Energía Solar, CNEA

Marcelo Álvarez
Cámara Argentina de Energías Renovables

**Roque Pedace** Facultad de Ingeniería, UBA

# Energía solar fotovoltaica

l uso de fuentes renovables de energía continúa creciendo a un ritmo sostenido, aun en un contexto de fuerte descenso en los precios del petróleo. Se considera fuente de energía renovable a todo recurso natural inagotable en la escala humana o que se regenera más rápidamente de lo que se consume. Una de sus características es que es ambientalmente benigna ya que produce muy bajas emisiones de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Las fuentes renovables representaron alrededor del 59% de la nueva potencia instalada en 2014. A fin de dicho año, cubrían aproximadamente el 27,7% de la potencia total instalada en el mundo y generaban alrededor del 22,8% del consumo eléctrico global (compuesto por 16,6% de energía hidráulica, 3,1% eólica, 1,8% biocombustibles, 0,9% fotovoltaica y 0,4% de otras fuentes). Por otra parte, las renovables intermitentes están alcanzando un grado de penetración importante en los sistemas eléctricos en varios países, lo que hace necesarias transforma-

ciones en la infraestructura de transmisión y distribución, así como el manejo inteligente de las redes eléctricas.

En 2014 la potencia total instalada de origen renovable fue de 1712GW, 8,5% más que en 2013: 1055GW correspondieron a hidroelectricidad, con un crecimiento del 3,6% con respecto a 2013, y 657GW al resto de las renovables (incluidos 370GW eólicos y 177GW fotovoltaicos), con un crecimiento del 17,3%. La energía solar fotovoltaica es, en orden de importancia, la tercera fuente renovable en la matriz eléctrica global, después de la hidroeléctrica y la eólica.

En la Argentina, el avance de las energías renovables es aún incipiente: en 2014 aportó el 1,5% de la generación eléctrica. Existen, sin embargo, políticas nacionales y provinciales que apuntan a lograr una mayor participación de energías renovables en la matriz eléctrica. Cabe mencionar que las leyes 26.190 y 27.191 sobre energía de fuentes renovables no consideran en esa categoría a las centrales hidroeléctricas de potencia mayor a 30MW.

#### - ¿DE QUÉ SE TRATA?

Características y perspectivas de una forma de energía de fuente renovable.

Algunas fuentes renovables han alcanzado costos competitivos con las convencionales en varias regiones del mundo, pero su crecimiento se ve parcialmente frenado por subsidios a los combustibles fósiles y la energía nuclear, especialmente en países en vías de desarrollo. Varias alternativas renovables ya no necesitan incentivos económicos, pero en cambio sí requieren políticas de largo plazo que garanticen un mercado previsible y confiable.

#### Energía solar fotovoltaica en el mundo

Un generador fotovoltaico convierte la radiación solar directamente en electricidad en un dispositivo semiconductor denominado celda solar o fotovoltaica, que aprovecha un proceso denominado efecto fotovoltaico, descubierto por el físico francés Edmond Becquerel (1820-1891) en 1839. Dichas celdas se conectan en serie para formar módulos fotovoltaicos, cuya eficiencia en la conversión se encuentra por lo común entre el 10% y el 20%, dependiendo de la tecnología.

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en dos categorías: (i) sistemas aislados, típicamente ubicados en áreas rurales sin acceso al servicio eléctrico de red, y (ii) sistemas conectados a la red eléctrica pública, sea instalados sobre el suelo en forma concentrada, constituyendo centrales de potencia, o colocados en forma distribuida en techos o fachadas de edificios. El mercado fotovoltaico experimentó un importante crecimiento en los últimos años, como se aprecia en la figura 1, debido esencialmente a la instalación de numerosos sistemas conectados a red en diversos países desarrollados y en China, impulsado por activas políticas de promoción. En el período 2000-2014, la tasa media de crecimiento anual de la capacidad instalada fue superior al 40%, mucho mayor que la del resto de las energías renovables. Ese crecimiento explosivo dio lugar a una continua reducción de los costos de producción como consecuencia de economías de escala y avances tecnológicos.

En 2014, el mercado fotovoltaico global tuvo un crecimiento record, con cerca de 40GW<sub>p</sub> de potencia instalada en el año, lo que llevó la capacidad total instalada en el mundo a aproximadamente 177GW<sub>p</sub>. El subíndice p en las unidades –que en lo sucesivo omitiremos– indica que se trata de la potencia pico medida en condiciones normalizadas: radiación solar de 1kW/m² y temperatura de los módulos fotovoltaicos de 25°C. Hasta 2011, el fuerte crecimiento del mercado tuvo lugar sobre todo en países europeos (Alemania en forma ininterrumpida, España hasta 2008, Italia más recientemente). Actualmente, se observa una retracción en

los mercados europeos (con excepción del Reino Unido). El liderazgo del crecimiento, a partir de 2013, pasó a países asiáticos (esencialmente, China y Japón) y a los Estados Unidos, que probablemente dominarán el mercado global en los próximos años. La figura 2 muestra los diez países con mayor potencia fotovoltaica instalada a fines de 2014.

Ese año, el 1% de la generación eléctrica mundial fue de origen fotovoltaico. En diecinueve países la energía solar fotovoltaica proveyó por lo menos 1% del consumo eléctrico, y de ellos Italia (7,9%), Grecia (7,6%) y Alemania (7%) exhibieron la mayor participación de esa fuente en su matriz eléctrica.

En Latinoamérica, el mercado fotovoltaico está creciendo aceleradamente. Seis países instalaron durante 2014 más de 50MW de potencia fotovoltaica: Chile (308MW), México (97MW), Honduras (72MW), Ecuador (64MW), Uruguay (59MW) y Brasil (51MW).

Un tema a considerar en los casos de alta participación fotovoltaica en la matriz eléctrica es la variabilidad del recurso solar, el cual, sin embargo, es el más previsible de los recursos variables, lo que permite adecuar el sistema eléctrico a fluctuaciones indicadas por pronósticos meteorológicos de gran confiabilidad. Las fluctuaciones bruscas producidas, por ejemplo, por tormentas, pueden compensarse con redes inteligentes de transmisión y distribución, y mediante la capacidad de almacenamiento del sistema. La última puede estar en el medio urbano, asociada con sistemas de generación distribuida, una opción tecnológica que también permite optimizar el autoconsumo y disminuir las inversiones en el sistema de distribución.

Un componente importante de una política de fomento de la generación fotovoltaica distribuida es su incorporación a nuevas viviendas, por ejemplo en los planes de vivienda social, ya que su integración desde el inicio permite mejor planificación y disminución de los costos.

Asimismo, el uso de sistemas fotovoltaicos con acumulación o combinados con la generación solar térmica con almacenamiento (ver el artículo 'Sistemas de almacenamiento de electricidad' en este mismo número) permite aportar energía a la red eléctrica por períodos más prolongados que el de la radiación solar. También se ha planteado la conveniencia de asociar la generación fotovoltaica con represas hidroeléctricas para compensar las fluctuaciones del nivel del agua en estas y su caída en épocas de sequía. En el más largo plazo, la variación estacional de generación puede ser compensada con el manejo de demanda estacional, como ocurre con el riego, y con la obtención de agua potable por desalinización. Incluso, en países como Alemania, de irradiación solar media o baja, se comienzan a aprovechar los excedentes de energía solar fotovoltaica para producir hidrógeno y usarlo como combustible o para producir con él otros combustibles, entre ellos metano.

#### Energía fotovoltaica en la Argentina

Hasta 2009, la capacidad fotovoltaica instalada en la Argentina estaba mayormente ubicada en áreas rurales alejadas de las redes eléctricas. A partir de 2010, como consecuencia de políticas nacionales y provinciales de promoción que favorecieron la instalación de centrales de potencia basadas en fuentes renovables, esa capacidad creció sustancialmente. El primer hito en dicha dirección fue la puesta en operación en 2011 de una planta de 1,2MW de potencia en Ullum, San Juan, como parte del programa Solar San Juan de ese estado provincial. En el marco del programa de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de la Secretaría de Energía de la Nación, entre 2012 y 2013 se instalaron 7MW en Cañada Honda, también en San Juan. En 2014 se inauguró una planta de 1MW en San Luis, financiada por el gobierno provincial, y al momento de escribir el presente artículo se encuentra en construcción una central de 1MW en San Lorenzo, Santa Fe.

Las centrales fotovoltaicas operan desde hace años con un marco regulatorio que habilita su conexión al sistema interconectado nacional, y se ven favorecidas por políticas de promoción basadas en el pago de una tarifa subsidiada para la energía que entregan. Pero hasta 2013 no se disponía de un marco legal que permitiera la instalación de sistemas fotovoltaicos distribuidos conectados a las redes de baja tensión. En 2011 la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de San Martín decidieron impulsar un proyecto orientado a la interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos (ver recuadro 'El proyecto Iresud').

Los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos dependen fuertemente de la escala. Mientras los de las plantas de más de 10MW, montadas sobre el suelo, están por debajo de los 2 dólares por watt de potencia instalada, los de sistemas de menos de 5kW conectados a la red eléctrica de baja tensión ascienden a prácticamente

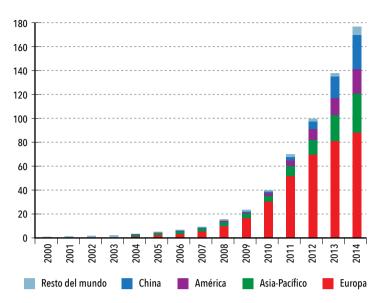


Figura 1. Crecimiento entre 2000 y 2014 de la capacidad fotovoltaica instalada en el mundo. Las unidades del eje vertical son gigawatts (GW).

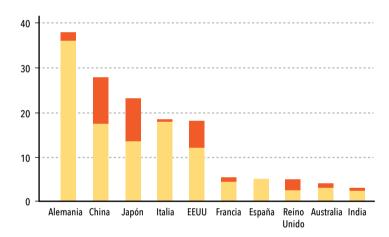


Figura 2. Los diez países con mayor capacidad fotovoltaica instalada a fines de 2014. La parte clara de las barras indica la situación a fines de 2013; la oscura, la porción agregada en 2014, año en que la capacidad fotovoltaica de los países creció como sigue: China 10,6%, Japón 9,7%, Estados Unidos 6,2%, Reino Unido 2,4%, Alemania 1,9%, Francia 0,9%, Australia 0,9%, India 0,7% e Italia 0,4%, mientras que la de España no creció ese año. Las unidades del eje vertical son gigawatts (GW).

#### EL PROYECTO IRESUD

Un consorcio público-privado formado por la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de San Martín más cinco empresas privadas trabaja desde principios de 2012 en la interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. El proyecto está parcialmente subsidiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (por los Fondos Argentinos Sectoriales) y tiene el apoyo del Ente Nacional Regulador de la Electricidad, la Secretaría de Energía de la Nación y organismos de diversas provincias; también participan varias universidades nacionales.

Su objetivo principal es impulsar la generación de electricidad con sistemas fotovoltaicos de baja potencia (entre 2 y 50kW) instalados en edificios y conectados a la red eléctrica de baja tensión. Entre otras actividades, impulsó el desarrollo de la normativa correspondiente y, al final del proyecto, habrá instalado alrededor de cincuenta sistemas piloto, con una potencia total cercana a 200kW, en Buenos Aires y en ciudades de quince provincias. Las fotografías de página 48 muestran, a modo de ejemplo, una pérgola de 5kW montada en el Centro Atómico Constituyentes de la CNEA y el sistema de 2kW instalado en la base antártica Vicecomodoro Marambio. Se puede obtener más información sobre el proyecto en http://iresud.com.ar/.

el doble, un costo que solo se reducirá con la constitución de un mercado consolidado.

En cuanto a la producción de módulos fotovoltaicos en el país, hasta principios de 2014 existía una única planta de ensamblado de módulos de baja potencia (hasta 100W) a partir de celdas solares importadas, en la provincia de La Rioja. En 2014 se puso en funcionamiento en San Luis la primera fábrica de ensamblado de módulos de las potencias típicas en sistemas de conexión a red (240W), y existen iniciativas similares en otras provincias. Por su parte, San Juan tiene en marcha un proyecto de instalación de una planta integrada, que incluye las etapas de fabricación de lingotes de silicio cristalino, celdas solares y módulos fotovoltaicos, con una capacidad de producción anual de 70MW. Las actividades de investigación y desarrollo en el tema son relativamente escasas y están centradas en unos pocos organismos del sistema científico-tecnológico nacional.

La Argentina tiene la mayor parte de su consumo eléctrico concentrado en los centros urbanos. Así, el área metropolitana de Buenos Aires utilizó en 2014 el 38% de la electricidad generada. Si a esto se suma la gran extensión territorial del país, se concluye que el empleo masivo de generación fotovoltaica distribuida en áreas urbanas y periurbanas contribuiría al uso eficiente de la energía por reducción de las pérdidas por transporte, además de la mengua en la emisión de gases de efecto

invernadero por menor quemado de combustibles fósiles en centrales térmicas.

Para lograr este propósito se requieren tanto políticas de promoción como un marco regulatorio eficiente que abarque los aspectos técnicos, comerciales, económicos, fiscales y administrativos. Errores en cualquiera de ellos retrasarían innecesariamente el proceso o lo harían insostenible, como sucedió en España (donde se subsidió de modo excesivo la tarifa), Canadá (donde los procesos de habilitación de las instalaciones fueron demasiado complejos) o los Estados Unidos (donde hubo protecciones redundantes que elevaron innecesariamente los costos).

En el orden nacional, la Secretaría de Energía y el Ente Nacional Regulador de la Electricidad están preparando normas que habiliten la conexión a la red eléctrica pública de sistemas de generación distribuida basados en fuentes renovables. Asimismo, se han presentado en el Congreso Nacional diversos proyectos de ley con el mismo fin, y la Asociación Electrotécnica Argentina ha establecido pautas técnicas para el diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión.

También varias provincias tienen en estudio normas que autoricen la generación distribuida de electricidad de fuentes renovables y su entrega a la red pública, mientras Santa Fe, Buenos Aires, Salta y Mendoza ya han promulgado leyes o emitido resoluciones que autorizan y reglamentan dichas actividades.

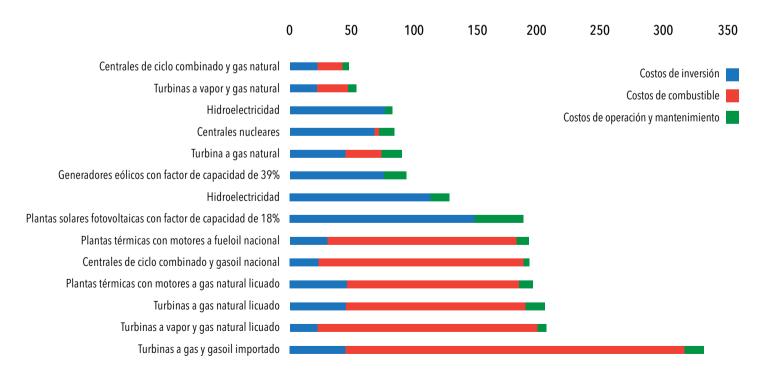


Figura 3. Costo de la electricidad en la Argentina según diferentes formas de generación, expresados en dólares por MWh. El gráfico se confeccionó con información publicada en el segundo semestre de 2015 por la Cámara Argentina de Energías Renovables. Las centrales hidroeléctricas figuran dos veces para reflejar la situación de aprovechamientos con diferentes factores de capacidad y costos de inversión inicial. El factor de capacidad indicado para los generadores eólicos y fotovoltaicos es la relación entre la energía efectivamente generada y la que hubiera producido si el dispositivo hubiese estado funcionando continuamente a su potencia nominal.



Central fotovoltaica Cañada Honda, situada a unos 60km de la ciudad de San Juan. Con 33.500 paneles fabricados en España, colocados en filas separadas por 10,5m e inclinados 28° con respecto a la horizontal para estar en la mejor posición de recibir el sol, tiene una potencia de generación de 7MW.

## Economía de la generación fotovoltaica

Los países pioneros en promover la generación fotovoltaica distribuida conectada a la red eléctrica pública -Alemania, España, Italia y Japón- adoptaron el pago de una tarifa más alta para la energía eléctrica de origen renovable entregada a la red que para la consumida de ella, sistema conocido como FIT (feed in tariff). Tal sistema tarifario, que requiere la instalación de dos medidores en cada unidad que sea a la vez productora y consumidora de electricidad, permite establecer, por ejemplo, diferencias tarifarias variables en función del tamaño o la tipología de los sistemas, y decrecientes en función del tiempo, de manera de reflejar la disminución de costos esperables de la generación distribuida por el crecimiento y la madurez del mercado. Asimismo, en diversos países se han dado mayores incentivos a las instalaciones realizadas en edificios o sobre techos. El sistema FIT permitió un crecimiento exponencial del mercado, que en algunos casos, como España o Italia, no resultó sostenible y, sumado a las crisis financieras de los últimos años, terminó creando perjuicios a las industrias y las empresas de servicios públicos.

El otro modelo tarifario utilizado es el conteo neto (net metering), consistente en medir la energía neta consumida de la red eléctrica, es decir, la diferencia entre la electricidad que una vivienda, industria o comercio toma de la red de distribución y la que entrega a ella generada por su propia instalación fotovoltaica. Este sistema, por el que un solo medidor registra el flujo de electricidad en ambos sentidos y arroja un resultado neto, no admite tarifas diferenciadas. Comenzó a ser utilizado en países como Uruguay, Chile y México, pero hasta el momento no ha dado lugar a un desarrollo significativo del mercado de generación distribuida.

En la Argentina, la medición neta, como se está proponiendo en diversas provincias y en proyectos de ley en el Congreso Nacional, no resultaba un incentivo en el contexto de tarifas fuertemente subsidiadas para la energía eléctrica convencional (vigente cuando se escribió esta nota). A fin de cuantificar la magnitud de los subsidios en danza, la figura 3 presenta valores estimados de los tres componentes del costo de generación eléctrica para diferentes fuentes de energía y tecnologías: costos de capital, de combustible y de operación y mantenimiento, según datos de la Cámara Argentina de Energías Renovables.

Tanto los precios del mercado eléctrico mayorista como las tarifas eléctricas cobradas al usuario por las em-



Paneles fotovoltaicos instalados en forma de alero en un edificio del Centro Atómico Constituyentes, de la CNEA.



Paneles fotovoltaicos instalados en el techo de un edificio de la base antártica Vicecomodoro Marambio, a 64° de latitud, a escasa distancia al norte del círculo polar.

#### LECTURAS SUGERIDAS



AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, 2014, Technology Roadmap. Solar Photovoltaic Energy, OCDE, París. Accesible en https://www.iea.org/publications/freepublications/  $publication/TechnologyRoad map Solar Photovoltaic Energy \_2014 edition.pdf.$ REN 21, 2015, The First Decade 2004-2014. 10 Years of Renewable Energy Progress, accesible en http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/Topical%20Reports/ REN21\_10yr.pdf.

presas distribuidoras son sustancialmente menores que los costos de generación con la mayoría de las fuentes de energía y la mayoría de las tecnologías. Las tarifas residenciales varían en un rango muy amplio, típicamente entre 9 y 70 dólares por MWh, dependiendo de la región del país y de los subsidios del Estado Nacional.

En otras palabras, la utilización de sistema de medición neta implicaría hacer competir la generación fotovoltaica, sin subsidio, con energía eléctrica convencional comercializada a precios muy inferiores a su costo de generación por los mencionados subsidios. Por ello una tarifa diferencial resultaría mucho más efectiva para el desarrollo del mercado de la generación fotovoltaica distribuida, un sistema que ya se utiliza en la generación concentrada a partir de fuentes renovables, de conformidad con la resolución 108/2011 de la Secretaría de Energía. El caso alemán es un buen modelo a seguir, teniendo en cuenta las características del mercado local y su desarrollo tecnológico.



Julio C Durán Doctor en física, Universidad Autónoma de Madrid. Investigador de la CNEA. Profesor asociado, UNSAM. duran@tandar.cnea.gov.ar



Juan Pla Doctor en física, UBA. Investigador independiente del Conicet. jpla@tandar.cnea.gov.ar



Marcelo Álvarez Presidente de la Cámara Argentina de Energías Renovables.



Roque Pedace Licenciado en biología, UBA. Magister en política y gestión de la ciencia y la tecnología, UBA. Profesor adjunto, UBA

Erico Spinadel

Asociación Argentina de Energía Eólica

# Energía eólica en la Argentina

a Argentina tiene una larga tradición en el uso de energía eólica. Los molinos tejanos multipala salieron a la venta en los Estados Unidos en 1868, y en 1873 comenzaron a instalarse en estas tierras, al sur del río Colorado. Junto con los tanques australianos, a los cuales bombeaban agua que extraían del subsuelo, proporcionaban aguadas para el ganado. Hacia fines del siglo XIX había más de 600.000 molinos en operación; hoy siguen en funcionamiento unos 200.000, imprescindibles para disponer de agua en zonas a las que no llega la red eléctrica. No nos podemos imaginar los campos de la llanura pampeana sin su presencia.

Esta tradición local hace asociar la palabra molino con la provisión de agua, cuando en otras tierras evoca primariamente la molienda de granos, que es su raíz etimológica. Ese era el propósito, por ejemplo, de los célebres molinos de la Mancha.

Los molinos funcionan porque aprovechan la energía del aire en movimiento o energía cinética. Son dispositivos que capturan esa energía y la transforman en energía mecánica, que permite bombear agua o moler granos, o en energía eléctrica. Para seguir con el ejemplo histórico de la llanura pampeana, la segunda aplicación de la energía eólica que se popularizó fue la de los molinetes, como solían ser llamados, que accionaban

#### ¿DE QUÉ SE TRATA? -

¿Hasta qué punto podemos satisfacer nuestras necesidades de energía con el viento? ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene ese modo de generación eléctrica?



Tradicional molino de viento de la llanura pampeana, de marca Aermotor, una de las más difundidas en el país. La foto pudo haber sido tomada en cualquier localidad argentina, del Chaco a la Patagonia, pero en realidad fue tomada en Texas, donde hacia fines de la década de 1880 había sido fundada la firma Aermotor, que luego estableció una sucursal en la Argentina.

dínamos semejantes a los de los automóviles y proporcionaban en pequeña escala corriente de 12V con la que se cargaban baterías. Así la población rural pudo tener una módica cantidad de luz eléctrica y consiguió acceso a la radio.

Dado que el propósito de un molino es extraer energía del viento, la aerodinámica es un aspecto importante del diseño de las palas, astas, velas o ruedas, según el nombre que se dé a los distintos tipos de superficies que el viento hace girar. Los progresos de la aerodinámica, en especial después de la Segunda Guerra Mundial, dieron lugar al diseño de molinos de viento con características muy distintas de las del tradicional molino texano-pampeano, al punto que los modernos molinos con los que se genera electricidad ya no llevan el nombre de molinos de viento sino el de turbinas eólicas.

La Argentina es un país privilegiado para la generación eléctrica con energía eólica. Se registran regularmente vientos de características adecuadas en el 70% de su territorio, y no solo en la Patagonia, que a ese respecto es el lugar que viene primero a la mente. El viento

patagónico es realmente extraordinario, pero sopla muy lejos de las áreas de demanda masiva de energía eléctrica, de modo que debería aprovecharse localmente, para evitar las pérdidas que se producen al llevar electricidad a cientos de kilómetros de distancia: Río Turbio está alejado de Zárate (que podría ser el baricentro de la demanda) lo mismo que Stuttgart de las islas Madeira.

En la costa atlántica bonaerense hay vientos similares a los de las costas del Báltico o del Mar del Norte. Cosechar su energía y utilizarla en los grandes centros de consumo significaría transportarla distancias mucho menores que traerla de la Patagonia. Lo mismo sucede con determinados emplazamientos de las zonas andinas y centrales.

El potencial eólico del país podría teóricamente abastecer toda la demanda interna y parte de la de países vecinos. En la práctica la cosa no es tal por muchas razones, entre ellas que el viento no sopla en forma constante, mientras que un servicio público de energía eléctrica debe estar a disposición de los usuarios en todo momento. Con los precios actuales de los combustibles



Turbinas del parque eólico Arauco, inaugurado en 2011, unos 100km al norte de la ciudad de La Rioja y gestionado por una empresa del gobierno de la provincia (75%) y de ENARSA (25%). Las torres miden unos 80m y cada pala unos 40m.

fósiles, las tarifas subsidiadas cobradas a los consumidores en la Argentina y el estado actual de la técnica, la energía eoloeléctrica solo puede ser considerada un complemento de la generada por métodos convencionales. El avance tecnológico, sin embargo, podría morigerar o eliminar algunas de las restricciones, lo mismo que cambios en la estructura tarifaria.

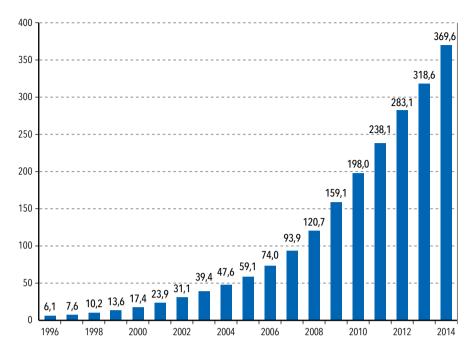
Si miramos la cuestión con más detalle, podríamos establecer las condiciones necesarias para que, en cualquier lugar del mundo, se pueda usar en forma masiva la energía eólica para la generación eléctrica. Son:

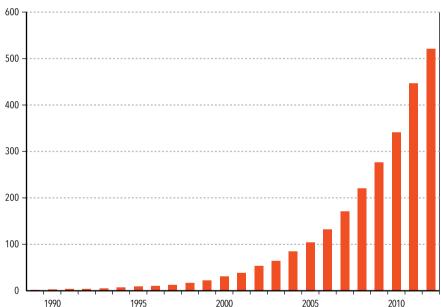
- Que haya viento adecuado.
- Que existan o se instalen redes de transmisión entre los sitios de producción y de consumo.
- Que se disponga de personal capacitado, tanto en el Estado como en el sector privado, para llevar adelante los estudios de factibilidad y de ingeniería, ejecutar las obras, operar las instalaciones y administrar el sistema.
- Que la legislación en materia energética sea adecuada para esta clase de energía.
- Que el sistema político y económico permita planear y ejecutar obras que se desenvuelven en plazos que no se miden en años sino en décadas, lo cual incluye seguridad jurídica, educación y capacitación profesional e investigación en todos los niveles, mecanismos confiables de financiación y continuidad en las políticas de Estado más allá de los cambios de gobierno.

El primer punto se cumple en la Argentina. En cuanto al segundo, existen redes de transmisión eléctrica, pero no son enteramente adecuadas: se requiere hacer más completa su trama y darles más puntos de

completa su trama y darles más puntos de acceso. En materia educativa, hay un buen punto de partida pero se advierten deficiencias, quizá más fáciles de solucionar en los aspectos tecnológicos que en los de gestión y regulación.

De ahí en adelante, posiblemente sea más lo que falta que lo que se tiene. El marco normativo no es claro ni favorable, y el sistema político tiene notorias dificultades en trazar y cumplir planes de largo plazo, que no se vean interrumpidos con la alternancia democrática de los gobiernos. Esto produce una economía errática que





Crecimiento de la generación eólica en el mundo desde 1989. Las barras azules indican potencia instalada medida en GW. Las barras rojas, energía generada, medida en TWh.

no favorece esta clase de inversiones. Estas cuestiones, sin embargo, exceden por mucho el marco del sistema energético y el tema de este artículo.

La energía eólica contribuye con una fracción pequeña pero rápidamente creciente a satisfacer el consumo mundial de energía, generada por una capacidad instalada de turbinas igualmente creciente, como lo muestran los gráficos de esta página. Dichas turbinas suelen estar interconectadas por líneas de media tensión (34,5kV). Actualmente operan en el mundo más de 200.000 turbinas, con una potencia del orden de los 370GW. La canti-

PAÍS	EOLOELECTRICIDAD GENERADA (TWh)	%
Estados Unidos	140,9	26,4
China	118,1	22,1
España	49,1	9,2
Alemania	46,0	8,6
India	30,0	5,6
Reino Unido	19,6	3,7
Francia	14,9	2,8
Italia	13,4	2,5
Canadá	11,8	2,2
Dinamarca	10,3	1,9
Resto de mundo	80,2	15,0
Total mundial	534,3	100,0

Contribución de los principales países productores de eoloelectricidad a la producción mundial anual de esta (cifras de 2012).

dad de electricidad que se puede generar depende de la potencia instalada y de un factor de capacidad, que refleja las características del equipo y el comportamiento del viento, y suele oscilar entre 15% y 45%. Cerca de la mitad de la potencia instalada mundial está en la Unión Europea, y el resto, en cantidades similares en los Estados Unidos y China, con participación mucho menor de otros países. El viento generó aproximadamente el 4% de la electricidad mundial en 2014.

La contribución del viento a la producción eléctrica de cada país es variable. Para algunos de los grandes

productores de eoloelectricidad, en los últimos años esa contribución fue de: Estados Unidos 4,5%, Alemania 8%, Gran Bretaña 9,3%, España e Irlanda 16%, Portugal 19% y Dinamarca 39%.

La participación de las energías renovables en la matriz energética de los países depende de múltiples factores, entre los que se destacan en este momento —y más aún con el descenso de los precios del petróleo— los incentivos ofrecidos por los gobiernos. Para citar algunos, contratos de largo plazo con las empresas productoras que les permitan cubrir los costos de capital y operativos, financiación a largo plazo y con tasa moderada, tratamiento impositivo favorable.

En Sudamérica, con incentivos de ese tipo Brasil y Uruguay han instalado turbinas con una potencia total mayor que las puestas a funcionar en la Argentina. Ambos países pueden producir electricidad eólica a costos considerablemente menores que los argentinos, del orden de los 60 a 80 dólares por MWh, mientras que en la Argentina oscilan en torno a los 120 dólares.

Los argumentos más importantes en favor de la generación eólica son de tipo ambiental, y en particular se centran en el hecho de que su fuente de energía no es un combustible fósil. Ello significa que no hay emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por la operación de las turbinas. Toda producción de energía, sin embargo, lo mismo que cualquier otra actividad humana, tiene consecuencias ambientales si se considera todo su ciclo. Las de la generación eólica, comparada con otras energías no convencionales, están entre las más bajas. Se refieren principalmente a la alteración del paisaje por las turbinas y al ruido que ocasiona su funcionamiento, y dependen de la localización que se elija, por lo que, salvo situaciones particulares, su peso suele ser ínfimo.

#### LECTURAS SUGERIDAS



**NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY**, 2008, 20% Wind Energy by 2030, US Department of Energy, Washington DC. Accesible en http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/pdfs/20\_percent\_wind\_2.pdf.

PLATT R, FITCH-ROY O & GARDNER P, 2012, Beyond the bluster. Why wind power is an effective technology, Institute for Public Policy Research, Londres. Accesible en http://www.ippr.org/files/images/media/files/publication/2012/08/beyond-the-bluster\_Aug2012\_9564.pdf?noredirect=1

**REN 21**, 2015, *The First Decade 2004-2014. 10 Years of Renewable Energy Progress*, accesible en http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/ Topical%20Reports/REN21\_10yr.pdf.

**SPINADEL E**, 2015, Energía eólica: un enfoque sistémico multidisciplinario destinado a países en vía de desarrollo, Nueva Librería, Buenos Aires.



Erico Spinadel

Doctor en ingeniería, UBA. Presidente de la Asociación Argentina de Energía Eólica.

Jorge E Thomas

Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas, UNLP-Conicet

# Sistemas de almacenamiento de electricidad

ara entender la necesidad del almacenamiento de energía debe comprenderse que la generación y el consumo de electricidad no son constantes: varían a lo largo del día, de la semana y del año, como lo ilustra la figura 1. Hay plantas de generación de funcionamiento permanente, que proporcionan energía de modo continuo: se dice que suministran energía de base. Y hay plantas que se ponen en marcha para abastecer la red en momentos de alto consumo y luego se detienen: se dice que generan energía de pico. Unas y otras, sin embargo, necesitan salir periódicamente de servicio por razones de mantenimiento planificado, además de ser objeto de detenciones accidentales o de urgencia, lo que incrementa las fluctuaciones en la provisión de energía. Como consecuencia de estos desajustes entre producción y consumo, por momentos los generadores se han puesto a funcionar para producir más energía que la demandada, y hay mo-

mentos en que la cantidad de energía demandada excede la ofrecida y acaecen los conocidos apagones.

Cuando sucede lo primero, para evitar los problemas que causaría a la red el exceso de potencia debe disminuirse la generación, sea deteniendo las plantas que pueden pararse y volver a arrancar con relativa facilidad o reduciendo el número de turbinas en funcionamiento aun al costo de desperdiciar combustible (por ejemplo, por dejar sin uso el vapor producido) o agua (por hacerla fluir por un vertedero si no se puede retener en el embalse). Esto reduce la eficiencia general del sistema.

El objetivo de los consumidores es verse libres de apagones; el de los productores y los administradores del sistema eléctrico, generar de la manera más eficiente posible toda la electricidad que haga falta o pueda venderse, sin desperdiciar energía ni dejar demanda insatisfecha. Ante esta situación, es natural que los técnicos se hayan preguntado si existe alguna forma de conservar para otro

#### ¿DE QUÉ SETRATA? -

La electricidad no se puede almacenar como tal, pero se la puede transformar en formas de energía almacenable.

momento la electricidad que no se consuma de inmediato, es decir, si es posible almacenar energía eléctrica.

Una de las principales limitaciones de las fuentes renovables de energía, como la solar fotovoltaica, la solar térmica o la eólica, es su intrínseca intermitencia. El camino para que esas fuentes puedan sustituir eficazmente a las convencionales como los combustibles fósiles es, nuevamente, disponer de formas baratas y masivas de

21 500 20.500 19.500 18.500 17.500 16.500 15.500 14.500 13.500 12.500 11.500 10.500 9.500 8.500 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Figura 1. Potencia eléctrica (residencial más industrial) requerida para abastecer la demanda argentina en un día de alto consumo (curva superior) y en un día de consumo menor, según datos de 2013 de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA). Las unidades del eje vertical son MW; en el horizontal indican las horas del día.

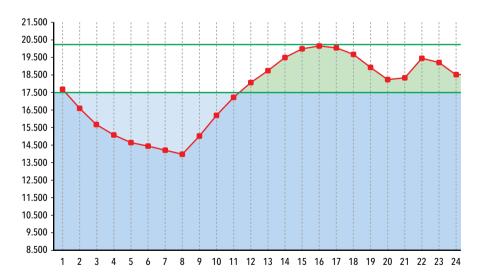


Figura 2. Potencia eléctrica necesaria. La curva roja es la superior de la figura 1 e indica la potencia instalada (en MW) requerida en cada momento para atender la demanda a lo largo de las horas de un día de alto consumo. La línea verde superior indica la potencia que corresponde a la demanda pico de ese día, unos 20.400MW. Si el sistema operara todo el día en su máxima potencia, la cantidad de electricidad producida sería la que indica el área rectangular entre dicha línea verde y el eje horizontal en la base del diagrama. Pero si se dispusiese de un sistema de almacenamiento capaz de acumular energía en la cantidad indicada por el área celeste clara, se la podría liberar para cubrir la representada por el área verdosa, lo que reduciría la potencia instalada necesaria al nivel de la segunda línea verde, unos 17.500MW, con el consiguiente ahorro.

almacenamiento de la energía que no se consume de inmediato. Con ellas, el sistema de generación y distribución de energía sería menos propenso a interrupciones durante los picos de consumo, y la capacidad necesaria de generación sería menor, como lo explica la figura 2.

En algunos países se han puesto en práctica iniciativas para morigerar el efecto de dichas características estructurales del sistema eléctrico, que no eliminan la conve-

> niencia del almacenamiento pero ayudan a reducir la cantidad de energía a almacenar. Entre esas iniciativas se cuenta permitir a los usuarios que producen electricidad solar con paneles instalados en sus techos que entreguen a la red la energía que no consumen y tomen energía de la red cuando su generación no les resulta suficiente. También se aplican esquemas tarifarios (semejantes a los telefónicos) que hacen más costosa la electricidad en las horas pico y más barata fuera de ellas, para fomentar, por ejemplo, que actividades domésticas como lavado de ropa o de vajilla se realicen cuando el consumo es menor.

> Desde hace décadas se ensayan diferentes formas de almacenamiento eléctrico que, en realidad, son formas de eludir el hecho de que la electricidad, como tal, no se puede almacenar. El principio común a todas esas formas es que transforman la energía eléctrica no almacenable en energía almacenable, que quede disponible para cuando se la necesite y permita invertir la transformación para volver a energía eléctrica. En todos los casos, se pierde energía por el camino, en cantidades que pueden en casos ser considerables. La relación entre la energía que se almacena y la que se recupera define la eficiencia del sistema.

#### Almacenamiento hidráulico por bombeo

Es una forma extensamente utilizada de almacenar electricidad, y una de las más económicas para hacerlo con grandes cantidades de ella. Consiste en emplear la electricidad excedente para bombear agua a un reservorio elevado, es decir, transformar la energía eléctrica en energía potencial, la que se vuelve al estado de energía eléctrica

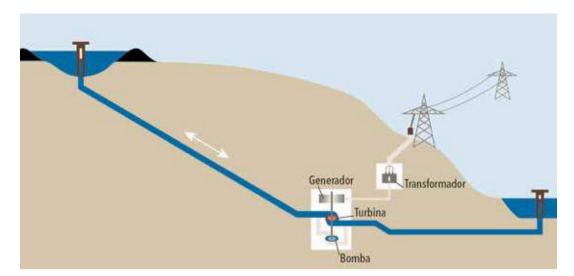


Figura 3. Esquema de una hipotética operación de almacenamiento por bombeo: cuando se genera más electricidad que la demandada, se emplea el sobrante para bombear agua del reservorio inferior (derecha) al superior; cuando se necesita más de lo que se produce, el agua antes elevada, que se deja caer por gravedad, genera electricidad que se vuelca a la red.

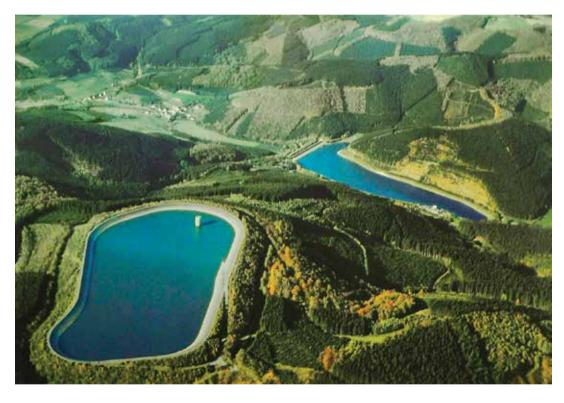


Figura 4. Vista aérea de reservorios de almacenamiento por bombeo en Rönkausen, Alemania, que datan de 1969. Tienen una diferencia de nivel de 270m; Ileno, cada uno almacena alrededor de 1 millón de m³ de agua y ocupa una superficie de 10ha. El superior (izquierda) puede acumular 140MW de energía potencial.

haciendo descender el agua por gravedad de su depósito elevado y, como en las centrales hidroeléctricas, accionar una turbina conectada con un generador. En adición al reservorio elevado, se puede necesitar otro que contenga el agua antes y después de almacenarla en altura. Ambos reservorios sirven, además, como depósitos de agua. Las figuras 3 y 4 ilustran el almacenamiento hidráulico por bombeo, algunas de cuyas instalaciones llegan a acumular en agua energía potencial por más de 1,5GW. El proceso prácticamente no genera contaminación ambiental durante su funcionamiento, pero el tamaño de las lagunas y de las centrales puede alterar el medio donde se instalen, lo que hace depender la posibilidad de usar el sistema de las condiciones topográficas, geológicas,

paisajísticas, económicas, poblacionales y otras de cada zona, pues no es apto para cualquier geografía. Su eficiencia puede variar entre el 65% y el 80%, según las características de las instalaciones.

## Almacenamiento por aire comprimido

Otro camino basado en aumentar la energía potencial de una sustancia recurre al aire comprimido. Consiste en almacenar aire a alta presión en grandes reservorios utilizando compresores eléctricos, y al liberarlo accionar con él turbinas que hagan girar generadores de electricidad. El aire a presión puede ser almacenado en contenedores metálicos, pero también se ha ensayado hacerlo en cavernas sin riesgo de fugas o de colapso en los ciclos de llenado y vaciado. El sistema es un poco más costoso que el bombeo hidráulico, pero puede entrar en funcionamiento más rápidamente y cubrir pequeños desbalances de potencia en la red, algo que el bombeo hidráulico hace con más dificultad. Su eficiencia generalmente ronda el 70%.

#### Almacenamiento por calor latente

Otra manera de almacenar energía se basa en calentar una sustancia (agua, sales, compuestos orgánicos, concreto, etcétera) y almacenarla en reservorios térmicamente aislados, para luego utilizar su calor. No necesariamente se debe calentar la sustancia con energía eléctrica: la mayor utilidad del método está en el almacenamiento de energía solar, con la que es factible calentar sales hasta temperaturas de 400°C o más, almacenarlas, y luego generar con ellas, mediante intercambiadores de

calor, vapor de agua a alta presión que se haga pasar por turbinas generadoras de electricidad. La figura 5 muestra una instalación de esta última clase. Partiendo de la radiación solar, la eficiencia puede rondar el 80%, dependiendo del diseño y tipo de instalaciones.

#### Almacenamiento electroquímico

También se puede almacenar energía en celdos electroquímicos, en las cuales ocurren reacciones químicas que generan de electricidad (véase en este mismo número la nota 'Dispositivos electroquímicos de conversión y almacenamiento de energía'). Una o más de tales celdas componen los dispositivos conocidos como pilas o baterías. Cada celda tiene un terminal positivo o cátodo y uno negativo o ánodo en contacto con una sustancia sólida o líquida llamada electrolito, que conduce los iones (átomos o moléculas con carga eléctrica). Las baterías primarias o descartables, por ejemplo las pilas alcalinas de linternas u otros adminículos portátiles, solo se usan una vez y no se recargan; las secundarias o recargables, como las de plomo-ácido de los automóviles o las de



Figura 5. Vista aérea de la planta eléctrica termosolar Andasol, ubicada a 1100m sobre el nivel de mar en la provincia de Granada, Andalucía. Ocupa unas 50ha, genera anualmente unos 182.000MWh de electricidad, tiene una potencia de generación de 49,9MW y una eficiencia de conversión de la radiación solar a electricidad (pasando por vapor de agua que acciona turbinas) del 16%. Se compone de 624 colectores de radiación con aceite como fluido transmisor de calor hasta la planta de producción de vapor, y su sistema de almacenamiento de energía térmica en sales fundidas tiene capacidad de 1010MWh, que permiten operar las turbinas por 7,5 horas.

ion-litio de dispositivos electrónicos, tanto acumulan como entregan electricidad, si bien dejan de operar después de cierto número de ciclos de carga y descarga. El almacenamiento electroquímico también incluye a los capacitores electrolíticos y los supercapacitores, en los que no hay reacción química sino otros procesos electroquímicos. Los segundos, por ejemplo, se utilizan para impulsar los tranvías de Sevilla cuando circulan por la zona histórica de la ciudad.

El almacenamiento de energía eléctrica en baterías es más eficiente que muchos otros, pues puede alcanzar y aún sobrepasar el 95%, y no necesita grandes instalaciones para realizar la conversión, ya que la batería misma transforma energía eléctrica en química (si es recargable), la almacena y la vuelve a transformar en electricidad. El costo de las baterías depende de la potencia que se necesite recuperar, de la cantidad de energía a almacenar y del tipo de batería.

Las baterías pueden cumplir muchas funciones en una red eléctrica, como cubrir demandas pico, actuar durante cortes de suministro o regular la potencia. Para cada necesidad existe una amplia variedad de baterías que pueden ser utilizadas, desde las mencionadas de plomo-ácido (figura 6) y de ion-litio hasta sistemas mucho más complejos, como las baterías de sodio-azufre que trabajan a temperaturas de unos 300°C pero pueden entregar muy altas potencias, o las que se tratan a continuación, con las que están realizando grandes avances.

#### Baterías de flujo

Se trata de baterías de tipo secundario en las que el anolito y el catolito están principalmente disueltos en líquidos almacenados en tanques externos, en vez de ser sólidos emplazados sobre los electrodos (figura 6). Con este diseño, electrodos y celdas son de tamaño fijo, y si se necesita aumentar la energía almacenada, se usan tanques de mayor capacidad, lo cual es mucho más barato que fabricar grandes baterías. El anolito y el catolito de los tanques están conectados por medio de bombas a la celda con los respectivos electrodos, de manera que en los ciclos de carga y descarga todo el volumen del líquido vaya adquiriendo o cediendo energía eléctrica de manera uniforme.

Existen diversas baterías de este tipo, que funcionan con diferentes compuestos electroactivos en los respec-



Figura 6. Banco de baterías de plomo-ácido instaladas en el centro de datos de Atlanta, Georgia, como parte del sistema de emergencia que opera en casos de corte de electricidad. Foto Tim Dorr, *Flickr*.

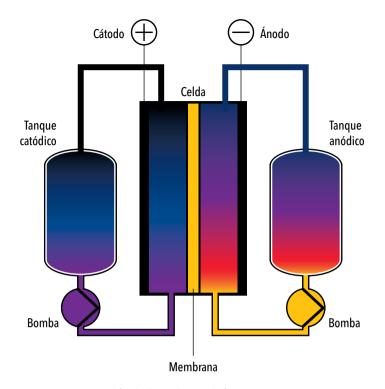


Figura 7. Esquema simplificado de una batería de flujo.

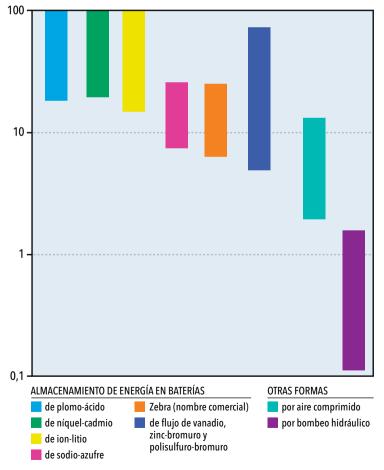


Figura 8. Costos comparativos de diferentes sistemas de almacenamiento eléctrico. Adviértase que la escala del eje vertical es logarítmica y que los costos más altos pueden ser casi mil veces mayores que los más bajos.

tivos reservorios: la más conocida es la celda redox de vanadio (vanadium redox battery o VRB), que puede llegar a almacenar hasta 10MWh de energía. El término 'redox' proviene de reducción-oxidación, es decir las reacciones que producen, respectivamente, ganancias y pérdidas de electrones. La mayoría de las celdas redox de vanadio se encuentran en centrales de generación eléctrica o forman parte de las redes de transmisión.

#### Volantes de inercia

Otra manera interesante de almacenar energía eléctrica es convertirla en energía cinética. Un motor eléctrico consume energía de la red para hacer girar su rotor; si este es pesado, una vez cortado el suministro eléctrico, sigue girando por unos segundos debido a su inercia, y el trabajo que produce durante el tiempo que tarda en frenar puede ser aprovechado para generar electricidad. Es el almacenamiento por volantes de inercia (flywheel energy storage). Hay sistemas que hacen girar un rotor a muy alta velocidad (del orden de las 50.000 revoluciones por minuto) y lo mantienen mientras gira levitando sobre rodamientos magnéticos y en el vacío para evitar su rozamiento con el aire. Si bien esos sistemas pueden entregar muy altas potencias, pueden hacerlo por muy corto tiempo, comparados con las baterías o el almacenamiento por bombeo. Una reciente aplicación de este método, llamada KERS (kinetic energy recovery system), se incorporó a los autos de carrera de la fórmula 1, que almacenan energía del frenado en un sistema de volantes de inercia (o en baterías de litio) y disponen así de una reserva de potencia que aprovechan cuando vuelven a acelerar.

#### Hidrógeno

Un combustible del que se suele afirmar que es muy amigable para el ambiente es el hidrógeno, que se puede producir por la electrólisis del agua con energía generada por molinos de viento. Puede ser almacenado como gas comprimido, licuado o sólido en aleaciones, y luego utilizado para producir energía eléctrica quemándolo en celdas combustible, que dan agua como subproducto. Esta manera de almacenar energía, si bien es ecológicamente inobjetable, no ha logrado resolver algunas cuestiones técnicas.

Si esas cuestiones se resolvieran, usar hidrógeno como combustible tendría sentido en un mundo en el que sobrase electricidad de origen renovable, algo que no sucede hoy, pues esta aporta solo el 2% del total producido. Por otro lado, el 90% del hidrógeno generado en el mundo proviene de metano, por un proceso cuya eficiencia es de entre el 30% y el 40% y, además, emite CO<sub>2</sub>, lo que hace al hidrógeno mucho menos amigable para el ambiente que el gas natural.

#### Otras maneras de almacenamiento

Un sistema aún en fase de investigación es el almacenamiento de energía magnética por superconducción. Se basa en bobinados de superconductores enfriados a temperaturas cercanas al cero absoluto que permiten el flujo sin resistencia de corriente eléctrica. Si esa corriente circula por una bobina que genera un campo magnético, este se puede mantener por tiempo indefinido a condición de que el equipo permanezca a la temperatura necesaria. Cuando se requiere recuperar la energía, el campo magnético la produce por inducción en las mismas bobinas. Pero los costos de fabricación de los equipos y el consumo de energía para refrigeración impiden por el momento el uso del sistema en gran escala.

Existen otras maneras de almacenar energía, que la investigación científica y tecnológica procura multiplicar y hacer comercialmente competitivas. En gran parte del territorio argentino, el uso de energía solar para generar electricidad es una posibilidad promisoria. En el sur del país y en la costa atlántica, lo son la energía eólica y la mareomotriz. Disponer de sistemas de almacenamiento ayudaría a que esas energías de fuentes renovables pudiesen abastecer la red, lo que permitiría ponerlas en explotación y daría más estabilidad al sistema de abastecimiento. La conveniencia de afrontar el costo de instalación de estos sistemas depende del uso que se dé a la energía y de la magnitud de los beneficios del servicio a

atender: no son los mismos por asegurar el suministro de energía eléctrica a un quirófano que a pantallas LED con publicidad en la vía pública.

La figura 6 proporciona indicaciones sobre el costo relativo de los equipos y las instalaciones de diferentes sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Se advierte, por ejemplo, que un sistema de baterías podría llegar a costar entre diez y cien veces más que uno de bombeo de agua de igual capacidad. La comparación no tiene en cuenta los costos de operación y mantenimiento, ni considera las diferencias de las necesidades para cuya satisfacción puede haberse diseñado cada uno. Conviene recordar, sin embargo, que la evaluación económica de las distintas opciones va más allá del costo de inversión, y aún del análisis de la rentabilidad financiera o de la eficiencia energética de cada sistema. Un sistema relativamente costoso, como un panel solar fotovoltaico de silicio multicristalino, por tomar un ejemplo, que tiene una eficiencia que ronda el 20% (de una energía que obtenemos gratis), puede proporcionar beneficios sociales suficientes (que se pueden cuantificar) para hacer rentable la inversión. Algo similar sucede con los sistemas de almacenamiento, que difieren enormemente en su costo inicial y su eficiencia, pero también en sus beneficios a lo largo de su vida útil.

Este concepto, que lleva a medir los costos y beneficios mediante lo que los economistas llaman precios sociales, va más allá de los sistemas de almacenamiento y resulta particularmente importante para analizar la conveniencia de las energías de fuente renovable en comparación con los combustibles fósiles, entre otras cosas porque en el mundo de la energía los precios están fuertemente distorsionados por impuestos y subsidios y, además, porque hay de por medio importantes efectos de tipo ambiental, como la emisión de CO<sub>2</sub>, que los precios de mercado no reflejan.

#### LECTURAS SUGERIDAS



**BOSSEL U**, 2006, 'Does a hydrogen economy make sense?', *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 94, 10. Doi: 10.1109/JPROC.2006.883715

**US DEPARTMENT OF ENERGY**, 2013, *Grid Energy Storage*, informe técnico accesible en *http://energy.gov/oe/downloads/grid-energy-storage-december-2013* 

**YANG Z** *et al.*, 2011, 'Electrochemical energy storage for green grid', *Chemical Reviews*, 111, 5: 3577-3613. Accesible en *http://energy.gov/oe/downloads/grid-energy-storage-december-2013.* 



Jorge E Thomas

Doctor en ingeniería, UNLP. Investigador asistente en el INIFTA, UNLP-Conicet. ing.thomasjorge@gmail.com



### **CONICET** dialoga

**Noticias institucionales** 

#### Investigadores del CONICET trabajarán junto a una empresa líder mundial del mercado cervecero

A través de un convenio de Investigación y Desarrollo, desarrollarán nuevas levaduras cerveceras para la empresa HEINEKEN.



n nuevo caso de transferencia de tecnología generada por investigadores del CONICET marca un hito en la historia de la institución. Se trata de la licencia de una cepa de levadura de la especie Saccharomyces eubayanus, recientemente descrita en la Patagonia Argentina, que incluye un convenio de I+D con la empresa Heineken Supply Chain que permitirá avanzar en nuevos desarrollos tecnológicos conjuntos y fortalecer las capacidades de un grupo de investigación.

El proyecto se presentó el 11 de noviembre y contó con la presencia del Presidente del Consejo, Dr. Roberto Salvarezza, y el Gerente de Productos y Procesos de Investigación de la empresa, Dr. Jan-Maarten Geertman; también participaron el Vicepresidente del Directorio de la Administración de Parques Nacionales, Sr. Daniel Ramos, representantes de la Universidad Nacional del Comahue (UNComa), como su Rector, Lic. Gustavo Víctor Crisafulli, su Secretario de Ciencia y Ténica, Dr. Enrique Mases, y su Delegado y Apoderado en la ciudad de Buenos Aires, Lic. Julio Lucatini. Por parte del Consejo estuvieron presentes el Vicepresidente de Asuntos Tecnológicos, Dr. Miguel Laborde, e integrantes de la Dirección de Vinculación Tecnológica.

"Esto constituye un modelo de cooperación para hacer ciencia; es una excelente muestra de que no estamos limitados a lo público y que no cerramos nuestras puertas al mundo, sino que nos integramos y somos capaces de buscar socios internacionales. Poder mostrar con este tipo de ejemplos que podemos hacer transferencia del conocimiento que se genera en los laboratorios es una justificación política válida de la inversión en ciencia en momentos en que no todo el mundo está dispuesto a hacerlo", manifestó el Dr. Salvarezza al tiempo que felicitó a las partes por tan importante acuerdo.

Uno de los investigadores que participó del descubrimiento de esta nueva levadura fue el Dr. Diego Libkind Frati, investigador independiente del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA, CONICET- UNComa) de la ciudad de San Carlos de Bariloche. La misma fue hallada en el fruto del hongo *Cyttaria hariotii* -co-

múnmente conocido como "Llao-Llao o "Pan de Indio"- que habita en los bosques nativos patagónicos como los que resguarda el Parque Nacional Nahuel Huapi. Esta especie de levadura representa uno de los parentales que dio origen a la levadura *Lager* con la cual se produce hoy ese tipo de cerveza, y es de suma importancia para la industria cervecera ya que se la utiliza para producir cerca del 95 por ciento a nivel mundial.

El Convenio I+D también permite que todas las cervecerías artesanales asentadas en Argentina con producción anual inferior a 40 mil hectolitros puedan usar las cepas licenciadas para el desarrollo de productos, hecho que fue resaltado por el Director de Vinculación Tecnológica del CONICET, Mg. Juan Soria. "No sólo estamos trabajando articuladamente con una empresa líder en el mercado que hoy ocupa la segunda posición en términos de producción global, sino que también este acuerdo nos permite trabajar con los productores artesanales que en la ciudad de Bariloche y alrededores son aproximadamente cincuenta". Soria también destacó que a partir del proyecto que se ejecutará en los próximos tres años, se fortalecerán las capacidades del laboratorio que dirige el Dr. Libkind, entre ellos el banco de levaduras, y se desarrollarán nuevas tecnologías de importancia para este sector productivo.

Por su parte, Libkind realizó una presentación detallada del trabajo que realiza junto a su equipo de trabajo en el Laboratorio de Microbiología Aplicada y Biotecnología en el IBIOMA y explicó paso por paso cómo llegaron a transferir el desarrollo tecnológico. "Esto es el resultado de un largo proceso que comenzó en el 2011 cuando publicamos un trabajo en una revista científica muy prestigiosa de Estados Unidos y de allí se desencadenó todo un ciclo inesperado que denominamos `efecto cerveza´", explicó Libkind.

"Al comienzo no teníamos la más mínima idea del impacto que esto iba a tener. Pronto, las empresas nos comenzaron a llamar para hacer cerveza con la nueva levadura y los medios, al enterarse, también nos buscaban. Así tuvimos que comenzar a establecer las condiciones para que un microrganismo se pudiera transferir", expresó. Ese proceso implicó que el equipo

de investigación tomara contacto con los productores artesanales para detectar las demandas tecnológicas del sector. "Nos dimos cuenta que estábamos en el lugar correcto, dado que Bariloche es un polo de cerveza artesanal, en el momento correcto, y con la levadura correcta", asegura el investigador.

Cabe destacar que la levadura nativa descubierta es salvaje, no está domesticada como las que se utilizan normalmente para hacer cerveza por ello, comentó el investigador, la interacción del grupo local con una empresa con la experiencia de HEINEKEN permitirá conocer mejor sus propiedades facilitando en el corto plazo la adopción e implementación de la misma por parte de micro-cervecerías artesanales argentinas.

Para la empresa HEINEKEN tampoco es un hecho menor poder trabajar en la conjunción de tres organismos estatales: el CONICET, la UNComa y la Administración de Parques Nacionales (APN). Su representante, Jan-Maarten Geertman, destacó esta comunión, la posibilidad única que ofrece Patagonia al albergar en su hábitat una especie de levadura tan importante a nivel mundial y contar con los recursos humanos especializados que la desarrollan. Geertman destacó que "trabajar con el equipo de Diego Libkind ha sido muy auspicioso; este acuerdo nos brinda la posibilidad no sólo de ofrecer nuevas experiencias a nuestros consumidores sino que, como contrapartida, nos permitirá fortalecer el laboratorio que dirige el Dr. Libkind y por ende el equipo humano especializado que trabaja con él y consolidar el banco de levaduras nativas para que se conserven de la mejor manera".

Este hecho está signado por varios aspectos que lo hacen emblemático. Una vez más se demuestra que la asociación pública-privada es posible y funciona. La ciencia pudo trascender el ámbito del laboratorio de la mano de un socio global integrando a un sector como el polo cervecero artesanal de Bariloche y generando mejores condiciones para que la ciencia de excelencia contribuya al desarrollo.





### **CONICET** dialoga

#### CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

#### Cuando la física cuestiona a un mutante de los X-Men

Un científico del Consejo explica las propiedades de los campos magnéticos a partir de un personaje de ficción.

as proezas de superhéroes y villanos suelen ser entretenidas, pero ¿alguna vez se preguntaron los aficionados de los comics si los poderes que tienen sus ídolos podrían corresponderse con los principios de la física? ¿Por qué Superman recarga sus energías con el Sol? ¿Por qué la armadura de Iron Man resiste los embates del martillo de Thor?, y así, se podría generar un interrogante distinto por cada personaje de ficción que se venga a la mente.

Pues bien, Germán Dima, becario doctoral del CONICET, hace algún tiempo tuvo varias de estas incertidumbres. Lo que él se cuestionó, en su carácter de físico, es: "¿Por qué el mutante de los X-men, Magneto, que puede controlar los campos magnéticos también puede volar, incluso estando desnudo y sin objetos metálicos a su alrededor?". Por supuesto que la respuesta "porque es un comic" está fuera de cuestión.

Antes de comenzar a desentrañar este misterio, y entendiendo que no todo el mundo acusa conocimiento de causa, es necesario saber quiénes son los Hombres X y quién es este Magneto. Fue en 1963 cuando el guionista y editor estadounidense, Stan Lee, se le ocurrió la genial idea de utilizar la genética para fundamentar la apa-



rición de seres con superpoderes: los mutantes. En el caso particular de Magneto, éste fue el villano por excelencia de la tira y es bien – o malconocido por ser el maestro del magnetismo. Su poder mutante consta, principalmente, en generar y manipular los campos magnéticos.

La inmediata analogía que Dima hace para entender cómo es que funcionan sus poderes es reemplazar al personaje por un imán gigantesco. Pero, ¿qué es exactamente un campo magnético? Sin entrar en mucho detalle –dice– es una propiedad del espacio en la cual las cargas en movimiento sienten una fuerza, conocida como fuerza de Lorentz. "Si acercamos un imán a un clip, los electrones –partículas cargadas que están en movimiento– que lo componen sientan una fuerza que antes no sentían", detalla.

El efecto neto del campo magnético sobre el clip se ve a simple vista: el clip se siente atraído por el imán. Pero no todo se imanta con todo: existen materiales que responden a estos campos, por ejemplo el cobalto o el níquel, y otros que lo hacen más débilmente, por ejemplo, el agua, el carbono, e incluso el ser humano puede entrar en esta categoría que se conoce como materiales diamagnéticos.

Entonces, la pregunta del millón sería: 'Si Magneto es un ser humano, diamagnético por definición, ¿qué es lo que hace que pueda volar si no tiene puesto un traje con alguna aleación que pueda estar imantándolo y por ende hacerlo "levitar"?'. Dima dice que "quizás si el mutante se concentrara e hiciera un campo magnético muy intenso que lo bañe, por ahí la cosa sería distinta. Llegaría un punto en el que él sentiría una fuerza que lo empujaría hacia arriba, en oposición a esa otra fuerza que hace que tengamos los pies sobre la Tierra: la fuerza gravitatoria", explica.

He aquí, entonces la batalla: de un lado del ring, tirando para abajo, está la fuerza de gravedad, y del otro lado del ring, haciendo exactamente lo inverso, se encuentra la fuerza magnética. La resolución dictada por la lógica será entonces que en el momento en que la segunda le gane a la primera, el mutante comenzará a volar.

#### **Haciendo** cuentas

Dado que la fuerza magnética depende de la intensidad del campo, es posible encontrar cuál es la mínima intensidad que tiene que generar Magneto para poder levantar su cuerpo del suelo. Ecuación de por medio se puede afirmar que el mutante necesita para lograr su cometido campos mayores a 69.14T (la unidad para medir intensidades de campos magnéticos es el Tesla "T").

El investigador explica que para poder entender más claramente la afirmación anterior es bueno saber que "el campo magnético terrestre es, en promedio, de O.OOOO5T. Los imanes que entregan las pizzerías para poner en la heladera tienen aproximadamente O.OO5T y, de hecho, el mayor campo magnético continuo creado en un laboratorio fue de 45T". De esta manera, queda en evidencia que hablar de campos magnéticos de 7OT es extralimitado, por lo que volar con este método – asegura Dima- queda descartado.

Además, es preciso decir que moverse dentro de campos tan intensos produce corrientes eléctricas, lo que podría decantar en que los músculos se contraigan y el personaje podría tranquilamente estar lleno de tics involuntarios. La lista de riesgos en la salud del personaje se extiende también a náuseas, pérdida del gusto y del equilibrio, problemas cardíacos, magnetofosfenos (sensación de ver luces de colores) y drástica pérdida de hierro en la sangre, entre otros males. Finalmente, expresa Dima: "queda la duda de por qué al empezar a levitar su casco no sale volando por los aires, ya que es un elemento ferromagnético y es perfectamente vulnerable a campos externos".

Aparentemente, el mutante vuela gracias a sus poderes magnéticos, pero él es inmune a las contraindicaciones que se generan al estar sometido a campos muy intensos. En conclusión, entonces, y atento a las leyes que la física viene demostrando hace centenares de años, lo único que puede volar, al menos en este mundo: es la imaginación.

Jimena Naser

#### CIENCIAS AGRARIAS, INGENIERÍA Y DE MATERIALES

### Al rescate de la plintita, un material con potencial para obras viales

La provincia de Misiones es la única en la que se encuentran yacimientos de la piedra, llamada Itacurú por los guaraníes. Investigadores del IMAM estudian alternativas para utilizarla en la construcción de caminos y restauración de ruinas.

Para construir las reducciones en las que desarrollaron sus misiones evangelizadoras, los jesuitas que se instalaron en el siglo XVII en el norte de Argentina utilizaron un recurso minero autóctono: la plintita. La piedra denominada itaquí o itacurú por los guaraníes se obtiene únicamente en yacimientos ubicados en la provincia de Misiones y está compuesta por una mezcla de arcilla, cuarzo y otros diluyentes, rica en hierro y pobre en humus, lo que la convierte en un material resistente y con capacidad de cementación.

Además de ser utilizada varios siglos atrás para edificaciones, existen antecedentes recientes de uso de plintita como base para rutas. Para aprovechar al potencial de este recurso, un equipo de investigadores del Instituto de Materiales de Misiones (IMAM, CONICET – UNAM), está trabajando en la localización y caracterización de los yacimientos, así como también en el análisis de las propiedades y efectos de los distintos ciclos de secado de la piedra.

El proyecto para el rescate y la valorización de la plintita fue encarado por un grupo de científicos que está coordinado por el investigador principal del CONICET y director del IMAM, Carlos Schvezov. "Es un recurso único, que solo se encuentra en la provincia de Misiones, donde existen canteras en zonas de lodo, cerca de arroyos, donde se produce la sedimentación por arrastre", explicó el doctor en física.

El aprovechamiento de este recurso minero tiene distintos antecedentes a lo largo de la historia. Fue uno de los materiales más utilizados para la construcción de las misiones jesuíticas guaraníes que se instalaron en el nordeste de Argentina y territorios aledaños de Paraguay y en Brasil, con el objetivo de evangelizar a los pobladores originarios. Además, en las últimas décadas, se utilizó plintita como base para la construcción de un tramo de 50 kilómetros de la Ruta Costera Provincial Nº 2.

Una de las principales ventajas de la itacurú –vocablo guaraní que podría traducirse como piedra granulada o manchada- es que posee la capacidad de cementación, a través de ci-



clos de humedecido y secado. "Tiene un endurecimiento natural, que no requiere energía. Cuando se la saca en estado húmedo, puede formarse, porque tiene una textura similar a la de un barro, pero cuando se seca, se endurece", explicó Schvezov.

Sin embargo, los procesos de endurecimiento pueden ser distintos y los investigadores buscan abordar esta variedad de alternativas a través de sus proyectos. En una de las evaluaciones, se incluyeron materiales obtenidos en siete yacimientos de la provincia de Misiones, que fueron sometidos durante seis meses a ensayos de granulometría para determinar su capacidad de cementación, entre otras características.

Para avanzar en las investigaciones acerca del potencial de la plintita, este año el CONICET firmó, a través del IMAM, un convenio con la Dirección Provincial de Vialidad de Misiones – coordinado por el Néstor Siviero, de ese organismo -, me-

diante el cual se está desarrollando un plan de trabajo que comprende cuatro etapas. En una primera instancia, se avanzó con el muestreo de los yacimientos. También está previsto el desarrollo de nuevos ensayos de laboratorio sobre las muestras, la caracterización de las propiedades y pruebas sobre testigos.

Además de su potencial para obras viales, las investigaciones que se desarrollan en torno a la plintita adquieren un valor histórico y patrimonial, ya que permitirán mejorar el conocimiento del material para emplearlo en la restauración y reconstrucción de algunas de las ruinas jesuíticas. "Si bien hay varias que fueron declaradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco y no pueden ser alteradas, hay otras que podrán ser restauradas mediante la reconstrucción de las mamposterías y los arcos", indicó Schvezov.

Cecilia Fernández Castañón



#### Federico A Viva

Comisión Nacional de Energía Atómica

# Dispositivos electroquímicos de conversión y almacenamiento de energía

ntre los desafíos que enfrentamos en materia de electricidad, no solo está cómo generarla causando bajo deterioro ambiental sino, también, cómo almacenarla y transportarla. Los dispositivos electroquímicos de conversión y almacenamiento de energía (que se suelen designar por la sigla DECAE) podrían desempeñar un papel clave en esto. Nos ocuparemos en esta nota de dos de los menos publicitados: la generación fotoelectroquímica de hidrógeno y la producción de metanol y otros compuestos a partir de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### Hidrógeno a partir de luz y agua

Ciertas fuentes renovables de energía producen electricidad en horas en que se la demanda poco: el sol brilla de día, que es también cuando suele soplar más el viento, pero necesitamos luz eléctrica de noche. Dado que la electricidad no consumida no puede almacenarse como tal (véase 'Sistemas de almacenamiento de electricidad' en este mismo número), se han ideado otras maneras de hacerlo, una de las cuales es transformar la energía eléctrica en energía química y acumularla en forma de hidrógeno. Un dispositivo que realiza esa conversión es el electrolizador, que a partir de agua y electricidad produce hidrógeno (H<sub>2</sub>) más oxigeno (O<sub>2</sub>), un proceso llamado hidrólisis o electrólisis. El hidrógeno puede almacenarse y en su momento reconvertirse en energía eléctrica, por ejemplo en una celda de combustible, o puede dársele otros usos energéticos, como impulsar motores de combustión interna.

Podemos concebir un combustible como un portador de energía (o vector de energía), cuya practicidad depende de cuánta energía contenga por unidad de peso o volumen, es decir, su densidad energética. El hidrógeno tomado como com-

#### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Dispositivos que apuntan a paliar o evitar las consecuencias ambientales de la emisión de  ${\rm CO_2}$  a la atmósfera por el uso de hidrocarburos fósiles.

bustible tiene algunos inconvenientes. Si bien su densidad energética es alta por unidad de peso, dado que es un gas y que su temperatura de ebullición es extremadamente baja -cercana al cero absoluto-, esa densidad es muy reducida por unidad de volumen. Además, es difícil de almacenar porque resulta capaz de permear muchos materiales.

Las celdas de combustible son dispositivos que generan electricidad en forma directa y sin que haya combustión, a partir de combustibles como hidrógeno o metanol, más oxígeno que se puede tomar del aire.

El electrolizador o celda electrolítica se conoce desde hace tiempo. El primero del que se tienen noticias fue construido en 1800 por los ingleses William Nicholson (1753-1815), químico, y Anthony Carlisle (1768-1840), médico. Es un dispositivo que consiste en dos compartimentos o reservorios con agua (u otro líquido, genéricamente llamado electrolito) separados por un tabique poroso o una membrana que permite el paso de iones (partículas cargadas) y evita la mezcla de los productos (H2 y O2). En cada compartimento hay una barra llamada electrodo. La circulación de una corriente eléctrica descompone el agua en hidrógeno y oxígeno. En la actualidad, el hidrógeno se genera para diversos usos, entre los cuales el almacenamiento de energía es minoritario, y proviene mayoritariamente del reformado de gas, dado su bajo costo. La electrólisis es una opción empleada para operaciones de pequeña escala o cuando conviene generarlo en el lugar de utilización. La mejora de la hidrólisis sigue siendo tema de investigación.

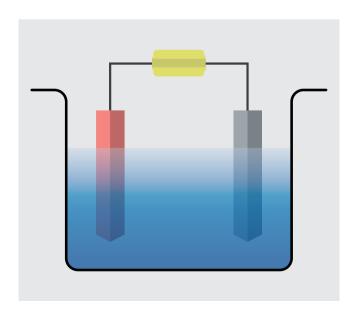


Figura 1. Esquema de una celda electrolítica. Está formada por dos compartimentos o reservorios con un líquido llamado electrolito separados por un tabique poroso o una membrana. En cada compartimento hay una barra llamada electrodo y respectivamente denominados ánodo (rojo) y cátodo (gris). La circulación de una corriente eléctrica proveniente de una fuente (amarillo) descompone el agua en hidrógeno y oxígeno.

En 1972 Akira Fujishima, que preparaba su tesis doctoral en la Universidad de Tokio dirigido por Kenichi Honda, encontró que si en uno de los electrodos se empleaba un material semiconductor, se lograba generar hidrógeno y oxígeno sin electricidad, solo con luz y agua, lo que se llama fotólisis de agua. Este descubrimiento abrió la posibilidad de convertir energía lumínica directamente en un combustible. En la mayoría de los semiconductores, sin embargo, la luz necesaria para que ello suceda es la ultravioleta, lo cual tiene el inconveniente de que el agua la absorbe y se convierte en una pantalla que baja la eficiencia del proceso. Con el fin de sortear esa limitación se procuró encontrar semiconductores que respondieran a la luz visible, pero en ese caso resulta necesario agregar electricidad. Esta forma de generar H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> con luz y electricidad (o fotoelectrólisis de H2 y O2 a partir de agua) se conoce en inglés como water splitting.

Hoy hay dos tipos de diseño aplicable a los dispositivos de fotoelectrólisis. Uno tiene un ánodo fotoactivo semiconductor que genera O2 y un cátodo metálico que produce H<sub>2</sub>; de este tipo es el de Fujishima y Honda. El otro combina semiconductores fotoactivos en ambos electrodos para generar hidrógeno y oxígeno en los dos; se lo denomina diodo tándem y tiene la ventaja de permitir un mayor aprovechamiento del espectro solar, pues absorbe más luz visible.

La producción de hidrógeno con luz y agua, sin aplicar electricidad, es sin duda un desafío sobre el que hay mucha investigación en curso, mientras que en materia de fotoelectrólisis se han realizado grandes avances en los últimos años con el advenimiento de técnicas para actuar sobre partículas del tamaño de nanómetros (o nanotecnología).

#### Obtención de combustibles de la atmósfera

El dióxido de carbono o CO2 es un gas que resulta de la combustión de cualquier compuesto orgánico en presencia de aire. Por eso, usar combustibles fósiles lo emite a la atmósfera, algo que la humanidad hizo y sigue haciendo en cantidades crecientes.

Ante este estado de cosas, dada no solo la relativa abundancia de CO2 sino, también, la conveniencia de disminuir el que hoy tiene la atmósfera (o por lo menos no aumentarlo) surgió la idea de reconvertir ese CO2 atmosférico en un compuesto con valor práctico, que pueda ser usado como combustible o sirva de punto de partida para producir otros compuestos. Producto de esa conversión se pueden obtener, entre otros, monóxido de carbono (CO), acido fórmico (HCO2H), metanol

(CH<sub>3</sub>OH) y metano (CH<sub>4</sub>). La amplia variedad posible de compuestos abre oportunidades para elegir el más adecuado para el uso que se desee. Si bien la fuente principal que se tuvo en mente fue el CO<sub>2</sub> atmosférico, también es posible y conveniente aplicar el procedimiento en puntos de alta generación de CO<sub>2</sub>, como las industrias del cemento, el hierro o el aluminio. La conversión puede realizarse de forma química o electroquímica.

En términos técnicos, esas conversiones se llaman reacciones de reducción-oxidación (o redox). Son las que tienen lugar cuando las moléculas o los átomos del compuesto original ganan o pierden electrones al pasar a integrar el compuesto resultante: reducción implica ganancia de electrones; oxidación, pérdida de ellos.

Entre los productos nombrados, consecuencia de reacciones de reducción de CO<sub>2</sub>, el metanol tiene amplio interés como insumo de la industria química, pues se emplea para fabricar formaldehído, metil terbutil éter (MTBE) y ácido acético. El formaldehído, a su vez, es utilizado para la producción de polímeros y resinas. En la actualidad, el metanol se obtiene principalmente de combustibles fósiles a partir de la reacción de gas de síntesis (syngas), el cual es una mezcla de dos partes de H<sub>2</sub> y una parte de CO. La reacción que produce metanol a partir de ese gas tiene lugar con catalizadores de cobre (Cu) y óxido de cinc (ZnO).

El químico de origen húngaro George A Olah, profesor de la Universidad del Sur de California y premio Nobel de la disciplina en 1994, propugnó el uso del metanol como vector de energía. Sugirió que en el futuro una economía del metanol podría reemplazar a la actual economía de hidrocarburos fósiles. Si bien su densidad energética es mucho menor que la del hidrógeno, es más sencillo de transportar y almacenar por mantenerse líquido a temperatura ambiente. Comparado con otros combustibles líquidos, su mayor octanaje y mejor coeficiente de compresión lo hace competitivo. A su vez, del metanol se obtiene dimetil éter (DME), un compuesto que puede emplearse en sustitución del gasoil y, como es gaseoso a temperatura ambiente, puede también reemplazar al gas licuado de petróleo y al gas natural comprimido.

Tanto el metanol como el DME, por ser sustancias y no mezclas como los otros combustibles líquidos, tienen una combustión mucho más limpia: no emiten óxidos de azufre o nitrógeno, los cuales también contribuyen a la contaminación ambiental. Otro motivo para elegir el metanol como producto de la reducción de CO<sub>2</sub> es la posibilidad de utilizarlo en las citadas celdas de combustible, para obtener energía eléctrica sin combustión. Al mismo tiempo, por un proceso llamado metanol a olefinas, de metanol y dimetil éter se obtienen etileno y propileno, y a partir de estos un sinnúmero de otros

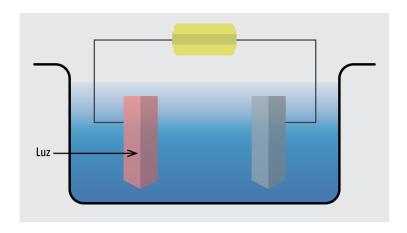


Figura 2. Esquema de funcionamiento de la celda fotoelectrolítica de Fujishima y Honda. El ánodo semiconductor (rosado) y el cátodo metálico (gris) están sumergidos en agua (azul). El semiconductor absorbe la energía de rayos ultravioletas (flecha) que inciden sobre él, lo que provoca en su interior la generación de una carga eléctrica positiva y una negativa. La primera produce en la superficie del ánodo una reacción (llamada de oxidación) por la cual se genera O2 a partir del agua; la segunda viaja por el cable conductor hasta el cátodo, donde provoca una reacción (llamada reducción) por la cual se genera H2 también a partir del agua. En ciertas condiciones, por razones que se mencionan en el texto, se procura usar luz visible en lugar de radiación ultravioleta, para lo que es necesario aplicar un voltaje extra. El rectángulo amarillo indica una fuente de tensión, la cual origina una corriente que circula en sentido contrario a las agujas del reloj.

compuestos que cubren prácticamente todos los actuales derivados del petróleo, comenzando por polietileno y polipropileno.

Como se advierte en la fórmula del metanol (CH<sub>3</sub>OH), este se compone de hidrógeno, además del carbono y el oxígeno del CO<sub>2</sub>. Para evitar que el proceso, que tiene el propósito de quitar CO<sub>2</sub> de la atmósfera, no esté causando que este se agregue a ella por otro lado, es necesario disponer de H<sub>2</sub> obtenido de fuentes que no generen CO<sub>2</sub>. En otras palabras, es necesario usar electricidad producida por energías que no emitan CO<sub>2</sub>.

En 2012 la empresa islandesa Carbon Recycling International abrió una planta de escala industrial de reducción de  $CO_2$  a metanol, a la que puso el nombre del citado George Olah. Puede producir unos 5 millones de litros anuales de metanol usando  $H_2$  obtenido por electrólisis con electricidad de la red pública, que proviene por completo de fuentes renovables: 70% energía hidroeléctrica y 30% geotérmica.

Reducir el CO<sub>2</sub> atmosférico por un procedimiento electroquímico tiene la ventaja de que, en términos generales, se realiza a temperatura ambiente y en medio acuoso, pero con la dificultad de la baja solubilidad del CO<sub>2</sub> en agua. Por ello se ha buscado utilizar solventes orgánicos, que no son óptimos para dispositivos de gran escala. Se ha estudiado una gran variedad de materiales para construir los electrodos con los que llevar a cabo electrorreducción del CO<sub>2</sub>, ya que el producto obtenido depende del material de los electrodos y de la compo-



Figura 3. Fotografía de la planta de reducción de CO2 de la firma Carbon Recycling International. Está en Islandia y se vale de electricidad generada con energía hidroeléctrica y geotérmica. Foto CRI

sición del líquido en que están sumergidos o electrolito, pero no todos los materiales analizados se adaptan a procesos llevados a la escala industrial.

El metanol es posiblemente el producto más deseado, pero el más difícil de obtener. Ciertos electrodos, como los de estaño (Sn), plomo (Pb) o indio (In), son adecuados para producir con eficiencia ácido fórmico, del que se puede obtener metanol. Con electrodos de oro (Au) se obtiene principalmente monóxido de carbono (CO). En todos los casos se forma también H2, que es un subproducto deseable. En 2010 la empresa Noruega DNV construyó una planta piloto móvil para electrorreducir CO<sub>2</sub> a ácido fórmico empleando electricidad generada por paneles solares fotovoltaicos.

La reducción de CO2 atmosférico proporciona un camino para generar productos que hoy se obtienen de los combustibles fósiles. Si bien el uso posterior de esos productos puede enviar CO2 a la atmósfera, no se produce un incremento neto del gas en ella, porque el emitido había provenido inicialmente de allí. Es decir, se genera un ciclo continuo de circulación del CO2, que repetidamente se toma de la atmósfera y se libera a ella.

#### Comentarios finales

En la actualidad las dos tecnologías descriptas se encuentran en una etapa de laboratorio o de planta piloto. Con ellas se puede apuntar a construir instalaciones de gran escala, capaces de generar grandes cantidades de H<sub>2</sub> y otros productos a partir de CO2, o de pequeña escala, con pequeños dispositivos que satisfagan en forma aislada los requerimientos de una casa, un edificio o una comunidad reducida. El requisito para que sean parte del esfuerzo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es que utilicen electricidad que no provenga de combustibles fósiles, sino que sea generada con energía eólica, solar, hidráulica o geotérmica. Sus perspectivas en la Argentina, pues, están atadas a las de estas formas de generación eléctrica, que están débilmente representadas en la matriz energética actual. A su vez, dichas formas dependen en mucha medida de la evolución de las tecnologías y los precios de los combustibles fósiles, en especial el gas natural.

Sea esto como fuere, las dos opciones tratadas de almacenar y convertir energía todavía requieren un amplio esfuerzo de investigación y desarrollo, que es aconsejable emprender con una mirada de largo plazo, para que puedan estar en mejores condiciones de competir con tecnologías bien establecidas y de bajo costo como las aplicadas para aprovechar el petróleo. 旺

El autor agradece a María Dolores Pérez sus comentarios sobre el manuscrito.

#### LECTURAS SUGERIDAS



CHEN Z, DINH H & MILLER E, 2013, Photoelectrochemical Water Splitting, Springer, Nueva York-Londres.

CORTI HR, 2007, 'Hidrógeno y celdas de combustible: sueños y realidades', CIENCIA Hoy, 17, 99: 34-45. OLAH GA, 2005, 'Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy', Angewandte Chemie, international edition, 44, 18: 2636-2639, doi: 10.1002/anie.200462121.

SRIDHAR N & HILL D, 2011, Carbon dioxide utilization. Electrochemical conversion of CO2. Opportunities and challenges, Det Norske Veritas, Høvik. Disponible en http://www.dnv.com/ binaries/DNV-position\_paper\_CO2\_Utilization\_tcm4-445820.pdf.

SULLIVA BP (ed.), 1993, Electrochemical and Electrocatalytic Reaction of Carbon Dioxide, Elsevier, Amsterdam.



#### Federico A Viva

Doctor (PhD) en guímica, Universidad del Sur de California, Los Ángeles. Investigador adjunto del Conicet. Investigador de la Comisión Nacional de Energía Atómica. viva@tandar.cnea.gov.ar

Fernando Daniel Ramos María Soledad Díaz Marcelo Armando Villar

Planta Piloto de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur-Conicet

# Biocombustibles

l uso de biocombustibles data de la época en la que la humanidad descubrió cómo hacer fuego y se valió de madera para cocinar o calentarse. Durante el siglo XVIII, las principales ciudades europeas y americanas se iluminaban utilizando grasas o aceites vegetales, entre estos, aceite de ballena. Eso cambió a partir de 1860, cuando el uso de kerosene se impuso para lámparas de casas y calles.

A principios del siglo XX, Rudolf Diesel (1858-1913), inventor del motor de combustión interna que lleva su nombre, desarrolló un prototipo de ese motor que funcionaba con aceite de maní. No mucho después, la mayor disponibilidad de petróleo, sumado a su bajo costo y a los mejores resultados que daban los hidrocarburos fósiles para el funcionamiento de motores diésel, convirtió a los últimos en los combustibles dominantes.

En la década de 1970, los biocombustibles cobraron nueva importancia debido a la crisis del mercado del petróleo, acaecida como consecuencia de los conflictos del Cercano Oriente, en especial la guerra entre Israel y los países árabes. Hacia finales del siglo XX, la preocupación mundial sobre el cambio climático, la disminución de los recursos fósiles y el propósito de asegurar sustentabilidad energética, entre otros factores, llevaron a volver la mirada a los biocombustibles, lo que condujo a impulsar de manera concreta su producción.

#### ¿DE QUÉ SE TRATA? -

¿Qué son los biocombustibles y qué lugar ocupan en el panorama energético argentino y mundial?

#### Tipos de biocombustibles

De las numerosas clasificaciones que se han propuesto, la más difundida agrupa los biocombustibles no por su composición química, que varía poco, sino en función del tipo de materia orgánica de la que provienen. Así, se habla de biocombustibles de primera generación para designar a los que se producen a partir de aceites o azúcares comestibles provenientes de plantas como maíz, caña de azúcar, girasol o soja. La forma de obtenerlos depende de la planta de origen: si tiene alto contenido de azúcares, se opta por convertirlos en alcoholes por fermentación, como sucede con la producción de etanol a partir de caña de azúcar. En cambio, si se parte de plantas ricas en grasas o aceites, se recurre a una reacción química llamada transesterificación, por la cual se combinan dichos aceites con un alcohol para generar ésteres grasos, como el biodiésel.

Los biocombustibles de segunda generación se obtienen con materias primas no aprovechables para alimentación humana, como residuos forestales y agrícolas, que tienen elevado contenido de celulosa y lignina, principales componentes de las paredes celulares de las plantas. El aceite reciclado de cocina se puede considerar materia prima de biocombustibles de segunda generación, pues ya no tiene uso alimentario.

Hay varias formas de producir biocombustibles de segunda generación, de las cuales la vía bioquímica y la termoquímica son las más conocidas. La primera emplea microorganismos para reducir a azúcares simples las complejas cadenas químicas de las moléculas de celulosa, y luego transforma los azúcares en biocombustible. La forma termoquímica se vale de alta presión y temperatura para pasar de una amplia variedad de tipos de biomasa a combustibles. Un camino posible es obtener gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ). Este gas se utiliza luego para producir energía en forma de calor. La otra forma termoquímica de conversión es la pirólisis, una reacción química que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y por



Planta de producción de biocombustibles en el medio oeste norteamericano. En primer plano, maíz que le sirve de materia prima.



Aviso de una estación de servicio de Sacramento, California, que ofrece explícitamente bioetanol y biodiésel. Los precios están en centavos de dólar por galón (3,8 litros). Adviértase que en ese momento (mayo de 2010) el etanol se vendía allí 18% más barato que la nafta común.

la cual materia orgánica sometida a altas temperaturas se descompone y genera una mezcla de carbón y alquitrán.

Los biocombustibles de tercera generación provienen de organismos que pueden producir su propio alimento a partir de energía solar y CO<sub>2</sub>, entre ellos algas, que se pueden cultivar en reactores fotoquímicos o en piletones al aire libre. Luego de secarlas, se extrae el aceite que contienen en sus células y se lo transforma en biocombustible por alguno de los métodos anteriores.

Los biocombustibles de cuarta generación se producen a partir de organismos genéticamente modificados para que capturen más dióxido de carbono del ambiente, con lo que tienen la doble característica de provenir de una fuente alternativa de energía y ser generados por procedimientos que disminuyen el contenido atmosférico de gases de efecto invernadero. Así se ha alterado por procedimientos de ingeniería genética árboles como el eucalipto para que almacenen hasta tres veces más CO<sub>2</sub> que los normales, y provean celulosa en mayores proporciones, lo cual se traduce en un incremento de biocombustible generado. Asimismo, algunas empresas recurren a microorganismos modificados genéticamente, como Algenol (fundada en 2006 y hoy con sedes en los Estados Unidos y Alemania), que produce bioetanol de manera directa.

## Panorama mundial

Los Estados Unidos son el mayor productor mundial de biocombustibles. En 2014 produjeron unos 4700 millones de litros de biodiésel y unos 54.300 millones de litros de bioetanol, principalmente a partir de soja, maíz y trigo. De ellos, unos 1900 millones de litros de biodiésel y unos 1300 millones de litros de bioetanol provinieron de material lignocelulósico, residuos industriales y algas. Los combustibles de este último tipo reciben el nombre de biocombustibles avanzados (advanced biofuels). Los objetivos del gobierno de ese país incluyen alcanzar en 2022 los 136.000 millones de litros anuales de combustibles de fuentes renovables, el 60% de los cuales generado con productos ajenos a la alimentación humana. Para cumplir con esa meta, el país ha establecido importantes incentivos fiscales.

América del Sur ocupa el segundo lugar en importancia como productor mundial de biocombustibles, ante todo por la acción del Brasil, que en 2014 produjo 25.600 millones de litros de bioetanol y 3500 millones de litros de biodiésel, principalmente a partir de caña de azúcar, soja y maíz. Exportó parte de esa producción (6,24% del bioetanol y 1,14% del biodiésel) a los Estados Unidos y a países europeos como Suecia y Holanda. El gobierno impulsó decididamente para uso en vehículos la producción de bioetanol de caña de azúcar, y Petrobras se convirtió en el principal comercializador de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles.

En la Argentina, el comienzo de la producción de biocombustibles es más reciente, no obstante lo cual se ha convertido en uno de los cinco mayores generadores de biodiésel del mundo, con una producción en 2014 de alrededor de 2900 millones de litros obtenidos procesando soja. Hoy el gasoil que se expende tiene el 10% de biodiésel, y desde el 1 de diciembre de 2014 las naftas deben contener por disposición oficial igual porcentaje de bioetanol. Estas medidas apuntan a aliviar la presión de la demanda sobre los combustibles fósiles, y por ende también su importación.

En la Unión Europea, Bélgica y Holanda tuvieron en 2014 una producción de biodiésel, principalmente con aceite de colza, que rondó los 11.500 millones de litros, y de bioetanol, generado a partir de trigo y de remolacha, de unos 5200 millones de litros (lo que marcó un incremento sobre 2013 del 9% y del 13% respectivamente).

## Desafíos que enfrentan los biocombustibles

La producción actual de biocombustibles está enmarcada en un contexto que le plantea múltiples desafíos de tipo económico y ambiental, así como una incógnita relacionada con la regularidad de provisión y sustentabilidad de sus materias primas.

Originalmente se pensaba que los biocombustibles, a diferencia de los hidrocarburos fósiles, podrían obtenerse de manera ilimitada, ya que los recursos necesarios para su producción son abundantes en nuestro planeta, aun teniendo en cuenta la importante cantidad de tierra requerida para generar la biomasa de la que se los obtiene.

Pero el crecimiento de la población mundial y su consecuente demanda de alimentos y otros bienes plantea un uso alternativo que la sociedad puede considerar igual o más importante de los mismos recursos, y nos pone ante la decisión de establecer la manera de asignarlos, la cual puede tomar ribetes dramáticos si se trata de optar entre el empleo de tierras para alimentación o para energía.

Puesto lo anterior en términos económicos, el incremento de demanda de tierra agrícola por la expansión del mercado de sus productos que genera la industria de los biocombustibles tiende a llevar (si los demás factores no cambian) a un aumento del precio de esa tierra y, por ende, de lo que produce, en particular de los alimentos. Esto constituye sin duda un trastorno en cualquier país, rico o pobre, con consecuencias más marcadas en el nivel de vida las poblaciones que deben destinar una alta fracción de sus ingresos a alimentarse. Es fácil advertir las repercusiones sociales y políticas de la situación.

Existen, sin embargo, situaciones en que para ciertos cultivos pueden complementarse el uso alimentario y la utilización como materia prima de biocombustibles. Así, si se produce biodiésel a partir de soja, se aprovecha el aceite del poroto y no su proteína. En esta, precisamente, reside el mayor valor alimenticio de la soja, cuyo aceite entra poco en la alimentación humana y debe eliminarse



Los biocombustibles pueden sustituir a los combustibles fósiles sin mayores restricciones, como lo muestra este Jumbo en Holanda.

o reducirse fuertemente en la alimentación animal. De hecho, solo el 6% del aceite de soja producido en la Argentina se destina a alimentación humana, mientras que el resto se transforma en biocombustible o se emplea para generar electricidad. Así, el biodiésel de soja puede concebirse en alguna medida como un subproducto de una agroindustria de proteínas vegetales.

El futuro de los biocombustibles depende de sus costos de producción y de la relación de estos con los de los combustibles fósiles y los de otras formas de energías de fuentes renovables. Dejando de lado las políticas estatales —por las que se aplican impuestos, se conceden subsidios y se controlan precios—, un elemento crucial en los últimos tiempos es la caída de los precios internacionales del petróleo y el gas, que ponen en franca desventaja en el corto y el mediano plazo a los combustibles que podrían aspirar a sustituir a los hidrocarburos fósiles.

Las decisiones de política energética, sin embargo, son típicamente de largo plazo y, en ese ámbito, hoy se considera de primordial importancia, tanto en medios académicos como políticos y de la opinión pública, tomar en cuenta sus consecuencias ambientales, en particular las emisiones de gases de efecto invernadero, como CO<sub>2</sub> y metano (CH<sub>4</sub>), o de óxido de nitrógeno. Si bien los biocombustibles emiten esos gases de la misma manera como lo hacen los combustibles fósiles, porque sus respectivas composiciones químicas son similares, sucede que si se considera su ciclo completo, el balance es en términos generales favorable para los biocombustibles, ya que su materia prima agrícola o forestal se formó principalmente con CO2 atmosférico y energía solar. En resumen, los biocombustibles reciclan el CO2 actual de la atmósfera mientras que los combustibles fósiles emiten a la atmósfera CO<sub>2</sub> que provino de ella hace millones de años, lo que implica un incremento neto del contenido atmosférico actual de ese gas.

Como toda afirmación de tipo general, es necesario calificar la anterior para los casos concretos, idealmente mediante un análisis cuantitativo de cada situación particular, pues se debe tener en cuenta los resultados ambientales de todas las etapas del proceso de los biocombustibles, que incluyen la producción agrícola o forestal, la transformación industrial, el transporte, la distribución y el consumo.

De todos modos, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés), que aplica la política de fomento de la producción de biocombustibles en ese país, los considera uno de los instrumentos por los que se puede alcanzar la meta de reducir para 2022 (con relación a 2005) en 60% la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de naftas. Eso equivaldría a retirar hoy de circulación 27 millones de vehículos.

## Una última reflexión

Los biocombustibles no son la solución definitiva de los problemas energéticos, económicos y ambientales que padece el planeta. Pero son una fuente alternativa de energía, complementaria de las tradicionales en el corto y en el mediano plazo, y con muchos rasgos promisorios cuando se mira el largo plazo, en el que la primera gran incógnita entre muchas es cómo evolucionarán los combustibles fósiles, que actualmente constituyen la base sobre la que se apoya la economía mundial.

## LECTURAS SUGERIDAS



**DUTTA K, DAVEREY A & LIN JG**, 2014, 'Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation', *Renewable Energy*, 69, 114-122.

**EGGEMAN T & ATIYEH C,** 2010, 'The role for biofuels', *Chemical Engineering Progress*, 106, 3: 36-38.



## Fernando Daniel Ramos

Ingeniero químico, UNS. Auxiliar docente, UNS. Becario doctoral del Conicet. fdramos@plapiqui.edu.ar



## María Soledad Díaz

Doctora en ingeniería química, UNS. Profesora asociada, UNS. Investigadora principal del Conicet. sdiaz@plapiqui.edu.ar



#### Marcelo Armando Villar

Doctor en ingeniería química, UNS. Profesor titular, UNS. Investigador principal del Conicet. mvillar@plapiqui.edu.ar

## La tierra como acondicionador térmico de viviendas

proximadamente el 34% de la energía consumida en la Argentina se usa en edificios. De esa fracción, más de la mitad corresponde a acondicionamiento de aire, calefacción y refrigeración. Es decir, cerca del 20% del consumo de energía del país se destina al acondicionamiento térmico de interiores.

Por su lado, la Tierra se comporta como un gran colector y almacenador de energía, debido a su capacidad de absorber calor y su baja conductividad térmica. Por esto último, la penetración del calor en el suelo es lenta, y también lento su enfriamiento. Es así como las cavernas parecen frescas en verano y cálidas en invierno, pues la temperatura en su interior se mantiene relativamente estable cerca de la media anual.

Las propiedades térmicas del suelo se han usado por

siglos en viviendas y depósitos de alimentos subterráneos. Nuestros antepasados sobrevivieron varios períodos de glaciaciones utilizando cavernas como refugios.

Las variaciones diarias de la temperatura del aire inciden en una capa superficial del suelo de unos 0,5m de espesor, por debajo de la cual su influencia desaparece y la temperatura es prácticamente constante todo el año con valores cercanos a la media anual en la superficie. En la zona central de la Argentina, esa temperatura media es del orden de los 20°C, semejante a la temperatura de confort a lo largo del año. Solo a profundidades mucho mayores la temperatura de la Tierra comienza a ascender.

Esto permite utilizar el suelo como sistema natural de acondicionamiento térmico, por ejemplo haciendo circular aire por tubos enterrados para tomar la tempe-

## – ; DE QUÉ SE TRATA? –

Una forma de energía geotérmica de generación descentralizada y potencialmente aplicable para disminuir el uso de combustibles fósiles.

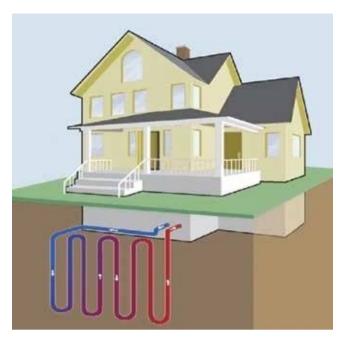


Figura 1. Esquema de una instalación geotérmica para calentar una casa en invierno y enfriarla en verano. Por el tubo, enterrado lo suficiente como para estar en una profundidad en la que la temperatura del suelo se mantiene razonablemente constante, circula agua que extrae o introduce calor en la casa según sea, respectivamente, verano o invierno.

ratura del suelo hondo antes de llegar al interior de edificios, con el consecuente ahorro de la energía necesaria para calentarlo o enfriarlo. También se puede recurrir a disposiciones por las que se hace circular agua por caños enterrados, como lo indica la figura 1.

Hay varias experiencias realizadas en el mundo utilizando esta tecnología. En Fort Polk, en el estado norteamericano de Luisiana, se instalaron cuatro mil viviendas familiares con el tipo de acondicionamiento térmico descripto. Un estudio realizado por el Oak Ridge National Laboratory concluyó que el costo de la energía en esas viviendas resultaba entre 25% y 50% más reducido que en similares

viviendas sin acondicionamiento geotérmico. Asimismo, la técnica de tubos enterrados dio buenos resultados en la India, en varias comunidades rurales de bajos recursos.

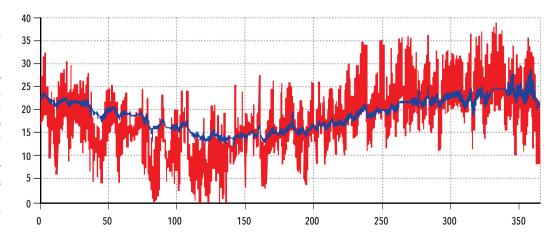
En la Argentina, un equipo en el que participaron los autores estudió durante un año en 2012-2013 el comportamiento de una instalación experimental de acondicionamiento geotérmico colocada en una casa en la localidad de Tortuguitas, en los suburbios de Buenos Aires. Dicha instalación tenía el propósito de mejorar la temperatura del aire de la casa, para lo cual se hacía entrar en ella aire que antes había pasado por un tubo de 20cm de diámetro y 75m de longitud enterrado a 2m de profundidad. El aire se hacía fluir a una velocidad de unos 5m/s, es decir, tardaba unos 15 segundos en recorrer el tubo.

La medición diaria de la temperatura a la entrada y a la salida del tubo arrojó los resultados que muestra la figura 2, los cuales indican que la temperatura con la que el aire se inyectó en la casa osciló considerablemente menos que la del aire exterior que se hizo circular por el tubo, y se mantuvo la mayor parte de los días dentro del rango de la zona de confort, que en la región central del país se ubica entre los 17 y los 26°C (si bien no está solo determinada por la temperatura, pues la humedad relativa tiene considerable influencia).

Para que este tipo de acondicionamiento del aire sea adecuado, es necesario que los ambientes tengan buena aislación térmica en paredes, ventanas y techos, algo que los materiales modernos y las actuales normas que rigen la construcción permiten lograr sin desmesurado gasto, sobre todo en edificios nuevos.

Para mantener los ambientes habitables en condiciones térmicas de confort, una vez llevados a la temperatura deseada es necesario agregar o quitar calor en la misma medida en que este se pierde o se gana del exterior. Esas pérdidas y ganancias se producen por paredes, techos, aberturas y pisos, más ventilaciones necesarias para renovar el aire. El asoleamiento es un factor impor-

Figura 2. Resultados de la medición diaria de la temperatura del aire a la entrada (en rojo) y salida (en azul) de un tubo de 20cm de diámetro y 75m de longitud enterrado a 2m de profundidad en Tortuguitas, en los suburbios de Buenos Aires. Los registros se obtuvieron en forma horaria a lo largo de 365 días a partir del 16 de marzo de 2012. Las unidades del eje vertical son °C; en el eje horizontal se indican los días.



TIPO DE VIVIENDA		CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL	AHORRO %
Con baja aislación térmica (H)	Sin tubos	9.958	2.628	12.586	0
	Con tubos	8.484	2.239	10.723	15
Con alta aislación térmica (C)	Sin tubos	5.020	1.325	6.345	50
	Con tubos	3.546	936	4.482	64

Energía (en kWh anuales) necesaria para mantener la temperatura de viviendas de la región central argentina en la zona de confort.

tante en el proceso. Las normas IRAM 11.605 y 11.900 proporcionan una buena orientación sobre las especificaciones aplicables al aislamiento de las construcciones.

El tipo de vivienda predominante en el país corresponde a una categoría que en dichas normas se llama H, con poca aislación térmica; mejor aislación tienen las construcciones clasificadas en la categoría C. La tabla proporciona una comparación del desempeño térmico de una vivienda de cada una de las categorías en la región central de la Argentina con y sin instalación adicional de acondicionamiento de aire por tubos enterrados. Los valores indican la cantidad de energía (en kWh por año) necesaria para calefaccionar y enfriar cada uno de los cuatro tipos de vivienda que quedan así determinados.

Se advierte que una vivienda con buena aislación térmica e instalación de tubos subterráneos para preacondicionar la temperatura del aire produce un ahorro de energía del 64% en comparación con una poco aislada y sin esa instalación. Las mediciones se realizaron sobre viviendas idénticas, salvo por las diferencias indicadas.

Los números de la tabla indican los resultados en unidades de energía. La conveniencia de aislar los edificios e instalar los tubos en cuestión tiene otra faceta: el resultado económico. El análisis de este tiene algunas complejidades, empezando por el hecho de definir con relación a quién es el resultado económico que se calcula. Son preguntas distintas averiguar la conveniencia de una inversión para el inversor (en este caso, el propietario de la vivienda) o para el conjunto de la sociedad. A este respec-

to los economistas hacen una distinción técnica entre precios sociales y de mercado, y han definido métodos refinados para distinguir entre ambas líneas de análisis, que están más allá del propósito de este artículo.

En la Argentina de hoy, con los precios de mercado de la energía marcadamente alejados de su posición de equilibrio por fuertes impuestos y subsidios, el costo inicial de aislar las viviendas e instalar los tubos requiere más de veinticinco años para ser amortizado con los ahorros del consumo mensual de energía. En otras palabras, en líneas generales (que pueden tener excepciones) la inversión carece de rentabilidad para el usuario de la vivienda. Esta conclusión, sin embargo, es de escaso valor, porque no es razonable pensar que las relaciones de precios se mantengan como están en el largo (o aun mediano) plazo, y porque la tecnología cambia y las buenas soluciones producen una dinámica de descenso de su costo.

Para el conjunto de la sociedad un factor de primera importancia en estos momentos, en que se consideran formas alternativas de energía, es la cuestión ambiental. Reemplazar el consumo de combustibles fósiles por energías que no emitan gases de efecto invernadero tiene un valor que excede en mucho la incidencia inmediata de la decisión en el bolsillo del particular o institución que la tomen. 🖽

## **LECTURAS SUGERIDAS**



EGG J & HOWARD BC, 2011, Geothermal HVAC. Green heating and cooling, McGraw-Hill, Nueva York.

IANNELLI L y GIL S, 2012, 'Ondas de calor. Determinación de temperaturas del pasado' y 'Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica', Revista Latinoamericana de Física Educativa, 6, 1: 82-88 y 99-105. Accesibles en http://www.lajpe.org/mar12/16\_LAJPE\_616\_Salvador\_ Gil\_preprint\_corr\_f.pdf y http://www.lajpe.org/mar12/18\_LAJPE\_617\_ Salvador\_Gil\_preprint\_corr\_f.pdf.

US DEPARTMENT OF ENERGY, 1998, 'Geothermal heat pumps'. Accesible en http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24782.pdf.



## Leila Iannelli

Licenciada en análisis ambiental, UNSAM. Investigadora, UNSAM. lmiannelli@enargas.gov.ar



#### Jorge Fiora

Licenciado en matemática, FCEYN, UBA. Director del área de Energía del Instituto Nacional de Tecnología Industrial. mingo@inti.gov.ar

## **GLOSARIO**

Ánodo. Es un electrodo que sufre una reacción de oxidación por perder electrones.

Anolito. Es el electrolito adyacente al ánodo.

Biocombustibles. Combustibles producidos por procesos biológicos actuales. Se distinguen de los combustibles fósiles, producidos de materia biológica por procesos geológicos acaecidos hace millones de años.

Biocombustibles avanzados. En inglés advanced biofuels, son los que provienen de material lignocelulósico, residuos industriales y algas.

Biocombustibles de primera generación. Son los producidos a partir de aceites o azúcares comestibles de plantas como maíz, caña de azúcar, colza, remolacha azucarera, girasol o soja.

Biocombustibles de segunda generación. Son los producidos con materias primas no aprovechables para alimentación humana, como residuos forestales y agrícolas. El aceite reciclado de cocina, que no tiene uso alimentario, pertenece a esta categoría.

Biocombustibles de tercera generación. Son los provenientes de organismos que pueden producir su propio alimento a partir de energía solar y CO<sub>2</sub>, entre ellos algas.

Biocombustibles de cuarta generación. Los que se producen a partir de organismos genéticamente modificados para que capturen  $\mathrm{CO}_2$  del ambiente en mayor cantidad que sus similares no modificados.

Biodiésel. Biocombustible producido con aceites o grasas vegetales de plantas oleaginosas como soja, girasol o colza. Si bien puede usarse puro para propulsar vehículos, normalmente se lo mezcla con gasoil.

Bioetanol. Alcohol producido por fermentación de azúcares u otros carbohidratos de cultivos como maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera o sorgo. Si bien puede usarse puro para propulsar vehículos, normalmente se lo mezcla con nafta.

Bomba de calor. Máquina que transfiere energía térmica de un sitio frío a otro más caliente. El nombre se aplica especialmente a los acondicionadores de aire llamados frío-calor.

British Thermal Unit. Unidad térmica británica (BTU). Equivale aproximadamente a 1kJ (1BTU = 1,055kJ).

Cátodo. Es un electrodo que sufre una reacción de reducción por ganar electrones.

Catolito. Es el electrolito adyacente al cátodo.

Celdas de combustible. Dispositivos que generan electricidad en forma directa y sin que haya combustión, a partir de oxígeno, que pueden tomar del aire y de combustibles como hidrógeno o metanol.

Central de ciclo combinado. Es una planta productora de electricidad que incluye una turbina de gas (u otro combustible) y una de vapor, es decir que combina dos ciclos termodinámicos. El vapor se obtiene de recuperar el calor de los gases de escape del primer ciclo, lo que puede incrementar el rendimiento de la planta hasta 50%.

Combustibles fósiles. También llamados hidrocarburos fósiles. Provienen de seres vivos, principalmente zooplancton y algas, depositados hace millones de años en el fondo de mares o lagos, y luego soterrados y aislados por sucesivas capas de sedimentos. Incluyen principalmente carbón mineral, petróleo y gas natural.

Consumo base. Consumo de gas destinado a cocinar y calentar agua.

Densidad energética. Cantidad de energía contenida en un combustible por unidad de peso o de volumen.

Desarrollo sostenible. Crecimiento económico y social que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas.

Eficiencia energética. Situación consistente en usar los mínimos recursos posibles para lograr las prestaciones y el nivel de confort deseados.

Electricidad fotovoltaica. Electricidad producida por generadores fotovoltaicos.

Electrolito. Es cualquier sustancia con iones libres que actúan como conductores eléctricos.

Energía renovable. La que proviene de una fuente renovable.

Etiqueta de eficiencia energética. Indicador de la eficiencia con que un equipo o artefacto utiliza la energía. Su uso es habitual en la Argentina para artefactos domésticos. En la Unión Europea el sistema se aplica a edificios. Posibilita que los consumidores opten por la variante más eficiente.

Exajoule. También llamado exajulio (EJ), es un múltiplo del joule usado para grandes cantidades de energía, como el consumo mundial (1EJ = 10<sup>18</sup>J). Representa la energía contenida en unas 24 millones de toneladas de petróleo.

Factor de capacidad. Relación entre la energía efectivamente producida por un generador en determinado período y la que hubiera producido si hubiese estado funcionando continuamente a su potencia nominal durante ese lapso. Es un indicador útil para analizar el desempeño de fuentes intermitentes como el sol o el viento.

Fracking. Hidrofractura o fractura hidráulica. Técnica usada para extraer petróleo y gas contenidos en rocas de baja permeabilidad.

Fuentes primarias de energía. Son productos que se obtienen directamente de la naturaleza (leña, carbón, petróleo, gas, etcétera) o fenómenos naturales de los que se extrae energía (fisión nuclear, caídas de agua, radiación solar, viento y otros).

Fuentes secundarias de energía. Son productos obtenidos de las fuentes primarias que proporcionan energía (electricidad, gasoil, nafta, kerosén, gas licuado de petróleo, etcétera).

Fuentes renovables de energía. Recursos naturales inagotables en la escala humana o que se regeneran más rápidamente de lo que se consumen.

Gas licuado de petróleo. Mezcla licuada de gases que forman parte del gas natural o están disueltos en el petróleo, principalmente propano y butano. Es el combustible que se distribuye envasado en garrafas o cilindros en lugares sin acceso a la red de gas natural.

Gas manufacturado. Término que habitualmente se refiere a gas de carbón o coque obtenido por un proceso fabril y distribuido en las ciudades por cañerías para uso doméstico y para alumbrado antes de la difusión de la electricidad. En inglés, town gas.

Gas natural. Mezcla de hidrocarburos gaseosos en los que domina ampliamente el metano que se extrae de yacimientos independientes o de petróleo.

Gas natural comprimido. Conocido por la sigla GNC, es gas natural almacenado a presión para usar como combustible en vehículos.

Gas natural licuado. Es gas natural acondicionado para su transporte en forma líquida a presión atmosférica y a una temperatura de -162°C.

Gas y petróleo de pelita. Traducción literal de los términos shale gas y shale oil, habituales en la industria petrolera (que suele mantenerlos en inglés). En medios académicos se prefiere hablar de gas y petróleo de yacimientos no convencionales, o gas y petróleo no convencionales.

Gases de efecto invernadero. Gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los más importantes son vapor de agua, CO<sub>2</sub>, metano, óxidos de nitrógeno, compuestos clorofluorocarbonos, etcétera.

Generadores fotovoltaicos. Instalaciones que convierten la energía de la radiación solar directamente en electricidad por un proceso fisicoquímico que tiene lugar en dispositivos semiconductores llamados celdas solares o fotovoltaicas.

Gigawatt (GW). 109 watts.

Gigawatt hora (GWh). 109 watts hora.

Hidrocarburos. Sustancias usadas como vectores de energía y compuestas primordialmente por carbono e hidrógeno, más cantidades menores y variables de azufre, oxígeno y otros elementos, en estado sólido, líquido o gaseoso según la temperatura y presión a que estén.

Hidrocarburos fósiles. Combustibles fósiles.

Joule. También llamado julio (J), es el trabajo necesario para producir un watt de potencia durante un segundo. 1J = 1Ws; 3600J = 1Wh.

Kilowatt (kW). 103 watts.

Kilowatt hora (kWh). 10<sup>3</sup> watts hora.

Matriz energética. Canasta de fuentes primarias de energía que abastecen a una región o un país.

Megawatt (MW). 106 watts.

Megawatt hora (MWh). 106 watts hora.

Octanaje. Es un indicador de la capacidad de un combustible de resistir la compresión sin encenderse.

Pelita. Término usado en geología para denominar las formaciones llamadas shale en el medio petrolero.

Pirólisis. Reacción química por la que se descompone materia orgánica sometida a elevada temperatura en ausencia de oxígeno.

Quad. Unidad usada para grandes cantidades de energía. Asciende a  $10^{15}$  BTU y equivale aproximadamente a 1 exajoule (más exactamente 1 quad = 1,055 EJ).

Querógeno. Sustancia precursora de los combustibles fósiles en el proceso que lleva de la materia orgánica a los hidrocarburos.

Recursos energéticos. Son sustancias o condiciones naturales de las cuales podemos obtener energía por diversos procesos.

Reformado de gas. Método que permite obtener hidrógeno a partir de gas natural.

Reservas de energía. Son cantidades cuantificables de recursos energéticos susceptibles de extraerse de un yacimiento que está en explotación con la tecnología y a los precios presentes.

Reservorio. Acumulación de recursos energéticos.

Tonelada equivalente de petróleo. Unidad usada para referirse a cantidades elevadas de energía, igual a la contenida en

una tonelada de petróleo y fijada convencionalmente en 11,63MWh o 41,87GJ.

Transesterificación. Reacción química por la cual con un éster y un alcohol se obtiene otro éster diferente y otro alcohol.

Transición energética. Cambio estructural del sistema de provisión y uso de la energía.

Transmitancia térmica. Es la cantidad de calor que atraviesa, por unidad de tiempo y superficie, un elemento o una parte de una construcción. Es el inverso de la resistencia térmica y se mide en watts por m² y Kelvin.

Uso racional y eficiente de la energía. Uso de los recursos estrictamente necesarios para lograr las prestaciones y el nivel de confort deseados.

Valor de saturación. Consumo de gas en viviendas comercios y oficinas cuando todos los calefactores están encendidos.

Vector de energía. Sustancia o dispositivo usado para almacenar energía con el propósito de usarla en otro momento, como los combustibles.

Watt. También llamado vatio (W), es la potencia necesaria para realizar un trabajo de 1 joule por segundo. 1W = 1J/s.

Watt hora (Wh). Es la energía consumida por un dispositivo de 1 watt de potencia activo durante 1 hora.

Yacimiento. Reservorio de magnitud conocida que se puede explotar económicamente con las tecnologías disponibles y a los precios vigentes del producto.



# Conservación de energía en la cocina

n una nota anterior ('Calor y cocción', CIENCIA Hoy, 24, 144: 44-46) analizamos cómo la temperatura del medio de cocción y las características de este afectan en el resultado de una preparación. Hoy retomamos el tema de calor para hablar de ahorro de energía.

El calor es energía y la temperatura es una medida de esa energía. Como escribe Alberto Rojo en La física en la vida cotidiana (Siglo XXI, Buenos Aires, 2015): Si fuéramos capaces (no lo somos) de achicarnos hasta el tamaño de los átomos y moléculas, el agua del vaso o el metal del martillo dejarían de parecernos sustancias continuas y veríamos su estructura granular, una muchedumbre de partículas que se mueven violentamente de un lado para otro. Ese movimiento irregular es lo que hoy llamamos 'movimiento térmico' y es el responsable del fenómeno del calor...

El calor es energía que fluye desde un cuerpo caliente

a uno frío, un flujo que continúa mientras las temperaturas de ambos cuerpos sean distintas y se interrumpe una vez que se igualan. El calor también fluye de una zona más caliente a una más fría de un mismo cuerpo, y puede transferirse de tres formas: por conducción, por convección y por radiación.

En la cocina, parte del calor o energía que nos proporcionan el gas o la electricidad provoca la transformación física y química de los alimentos, pero mucha de esa energía se pierde por las paredes de las ollas o por las del horno, sobre todo si el aislamiento de este es escaso.

En algunas ocasiones utilizamos más energía de la necesaria para cocinar. Por ejemplo, para hacer un huevo duro, las recetas suelen indicar que se debe cocinarlo durante siete minutos luego del comienzo del hervor del agua. Si una vez que hierve el agua con el huevo dentro

## – ¿DE QUÉ SE TRATA? ————

La ciencia en la cocina: un poco de química ayuda a entender los cambios que tienen lugar en los alimentos que cocinamos.



apagáramos el fuego, envolviéramos la olla con un repasador y esperáramos media hora, dado que las proteínas de la yema se coagulan a los 70°C, la cocción se completaría perfectamente bien con el calor conservado en el agua.

En Sudáfrica diseñaron un dispositivo llamado Wonderbag, una simple bolsa térmica para ayudar a familias con limitado acceso a electricidad o gas, que deben juntar leña para cocinar. El principio en que se basa es el mismo del ejemplo del huevo, es decir, aprovechar la energía acumulada una vez que la preparación llegó al punto de ebullición y no suministrar más calor a partir de ese momento. Un guiso, una sopa o cualquier otro plato que se prepare en una olla puede cocinarse en esa bolsa, ya que esta conserva el calor durante por lo menos ocho horas sin gasto adicional de energía.

La bolsa está hecha de tela, igual que un edredón, es decir, lleva un material térmicamente aislante entre un género interno y uno externo. La olla se coloca en la bolsa una vez que el contenido esté hirviendo, esta se cierra y el calor acumulado en el agua, que no se disipa, completa la cocción sin que se gaste más combustible.

Olla a presión. Foto Didriks, Flickr.



Dispositivo llamado Wonderbag, creado en Sudáfrica para ahorrar energía al cocinar. Foto wonderbagsweden.se

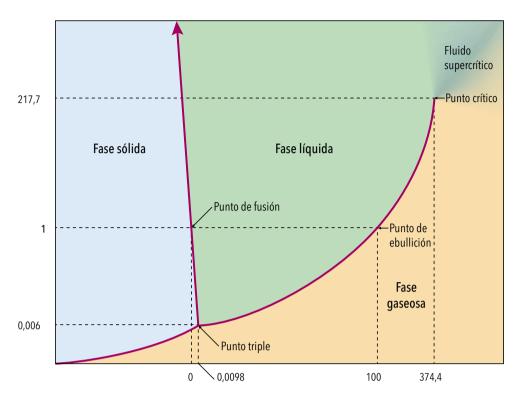


Diagrama de fase del agua. Indica sus estados ante cambios de presión y temperatura. La línea que marca el límite entre las áreas celeste y verde es la línea de congelamiento; la que marca el límite entre las verde y ocre es la línea de evaporación, y entre las áreas ocre y celeste está la línea de sublimación. En la combinación de temperaturas y presiones marcadas por líneas entre dos estados, el aqua coexiste en equilibrio bajo la forma de ambos; en el punto triple se da en los tres estados. En el punto crítico esa coexistencia cesa y va no se puede hablar del límite entre estados. En el eje vertical se indica la presión en atmósferas; en el horizontal, la temperatura en °C.

Estos mismos conceptos de aislamiento y conservación de la energía se aplican en algunas preparaciones tradicionales, como la kalua hawaiana, el curanto de Chiloé o la pachamanca peruana. Se hace un pozo en la tierra en el que se colocan piedras calientes o brasas, luego los alimentos y después se tapa todo por varias horas en que se conserva el calor y se completa la cocción. En Hawai cocinan así un cerdo envuelto en hojas de plátano.

Por otro lado, todos sabemos que el agua hierve a 100°C. Mejor dicho, herviría a esa temperatura si fuera agua pura a presión atmosférica. Pero el agua con la que cocinamos tiene sales y otros compuestos disueltos, lo que causa el fenómeno conocido como aumento ebulloscópico. Esto significa que aumenta el punto de ebullición: el agua con sal hierve a mayor temperatura que sin sal. Pero ese fenómeno no resuta muy útil para cocinar los fideos, porque para no arruinarles el sabor la máxima concentración aceptable de sal sería de unos 30g por litro, que elevaría la temperatura de ebullición del agua unos 0,26°C, una diferencia similar a la que advertiríamos en un día de alta presión comparado con uno de baja.

Sucede también que el agua hirviendo no cambia de temperatura: si le seguimos agregando calor, el incremento de energía la hace ir pasando del estado líquido al gaseoso (en términos más técnicos, de la fase líquida a la gaseosa), pero mantiene constante su temperatura independientemente de la intensidad del hervor. Por eso cuando hervimos los alimentos, llegada la ebullición es conveniente poner al mínimo la hornalla para conservar la temperatura sin desperdiciar energía.

La temperatura de ebullición del agua también se ve afectada por la presión. Es igualmente sabido que en la alta montaña, donde la presión atmosférica es menor, el agua hierve a menor temperatura, lo que dificulta cocinar, ya que el agua comienza a cambiar de estado antes de provocar los cambios deseados en la comida.

Inversamente, si cocinamos a mayor presión, el agua líquida alcanza mayores temperaturas y ayuda a ahorrar energía. Las ollas a presión permiten justamente esto, pues la temperatura de cocción puede llevarse por encima de los 100°C, a los que se establece el equilibrio entre el agua y el vapor, como lo muestra el gráfico.

Al cocinar a mayores temperaturas se acortan en forma notable los tiempos necesarios para que la comida quede cocida. Para cocinar lentejas, por ejemplo, se necesitan aproximadamente 40 minutos; con una olla a presión se puede hacerlo en 12 a 15 minutos. Los garbanzos, que llevan aproximadamente entre 90 y 120 minutos, pueden quedar perfectamente cocidos en unos 30 minutos.

Utilizar siempre la forma más eficiente de generar calor y conservarlo es una forma aportar nuestro pequeño grano de arena a la utilización racional y eficiente de la energía. 🖽



## Mariana Koppmann

Bioquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA. Presidenta de la Asociación Argentina de Gastronomía Molecular.

marianakoppmann@gmail.com



Instrucciones para autores

Gran parte de los artículos que publica CIENCIA HOY son enviados espontáneamente por sus autores. Cuanto mayor sea la participación de los investigadores y académicos en las páginas de la revista, mejor se cumplirán los objetivos de la *Asociación Ciencia Hoy* de lograr que la actividad científica obtenga reconocimiento social e intervenga en la modernización del país.

## SECCIONES DE LA REVISTA

CIENCIA HOY alberga a todas las ramas del saber, desde las humanidades y ciencias sociales hasta las disciplinas biológicas y fisicomatemáticas y sus respectivas tecnologías. Contiene las siguientes secciones regulares (las extensiones indicadas son orientativas):

AQUÍ CIENCIA: informes y consideraciones (hasta unas 3000 palabras) sobre avances científicos o tecnológicos que hayan tenido lugar en la Argentina o el Uruguay. Redáctense siguiendo lo indicado para la sección CIENCIA EN EL MUNDO.

ARTÍCULOS: trabajos que expliquen investigaciones y sus resultados al público general y a colegas de otras disciplinas (hasta unas 3000 palabras).

CARTAS DE LECTORES: comentarios (hasta 300 palabras) sobre lo aparecido en números anteriores, sobre temas que se desee ver abordados o cualquier aspecto del quehacer científico y la educación superior. Los editores pueden publicar parcialmente una carta o modificar su texto para hacerlo más claro.

CIENCIA EN EL AULA: sugerencias y orientaciones sobre cómo presentar en clase determinados temas científicos, o cómo aprovechar mejor para su labor pedagógica lo publicado en la revista.

CIENCIA EN EL MUNDO: breves notas (hasta 1500 palabras) sobre alguna novedad científica o tecnológica importante. Es necesario que el autor introduzca brevemente el tema, señale su importancia y cite la fuente de la información.

CIENCIA Y SOCIEDAD: comentarios sobre algún aspecto del conocimiento o sus aplicaciones, que tenga o haya tenido particular impacto en la sociedad (hasta unas 3000 palabras).

EL LECTOR PREGUNTA: interrogantes sobre cuestiones científicas o humanísticas. En la medida en que no salgan del marco de la política editorial, se publican con su respuesta por un especialista.

EL PASADO EN IMÁGENES: fotografías de época de hechos pasados de significación histórica.

ENSAYOS: textos que el comité editorial considere de interés, pero que no respondan al concepto de divulgación científica o académica, ni quepan –por su dimensión especulativa y literaria– en la sección OPINIONES.

GRAGEAS: textos cortos (unas 300 palabras) que comenten —con indicación de la fuente— noticias significativas aparecidas en revistas científicas.

HUMOR: contribuciones escritas o gráficas que se refieran a la investigación, a la actividad académica, a la universidad, etcétera, y a los seres que pueblan esos extraños mundos.

MEMORIA DE LA CIENCIA: notas que analicen aspectos poco conocidos de la historia del conocimiento, las ideas científicas, la ciencia en general y la tecnología (hasta unas 3000 palabras).

OPINIONES: reflexiones fundadas sobre el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la educación superior (hasta unas 1500 palabras).

## CÓMO ENVIAR UNA COLABORACIÓN

Se ruega hacer llegar las colaboraciones por correo electrónico. No usar el formato .pdf para los textos, sino .doc o sus equivalentes. Remitir el material (e indicar dirección postal y electrónica del autor, así como números de teléfono) a:

## **CIENCIA HOY**

Corrientes 2835, Cuerpo A, 5°A, (C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires Tel./Fax: (011)4961-1824 y 4962-1330 E-mail: contacto@cienciahoy.org.ar

## RECOMENDACIONES

Redactar las contribuciones teniendo en cuenta que sus destinatarios no son especialistas. Imaginarse que el típico lector de la revista puede ser un profesor del secundario. Proceder, por lo tanto, como sigue:

- Evitar el uso de jerga técnica; recurrir a términos equivalentes del lenguaje cotidiano; por ejemplo, en lugar de osteopatía, escribir enfermedad de los huesos. Cuando el uso de la jerga sea aconsejable o inevitable, definir siempre, con precisión pero de manera sencilla, el significado de los términos.
- Evitar el uso innecesario de expresiones matemáticas o químicas; cuando se las emplee, proporcionar también, hasta donde se pueda, una explicación intuitiva.
- Utilizar siempre el sistema internacional de unidades (http://www.bipm.org/en/sil). Si en alguna disciplina fuera usual no emplearlo, dar las equivalencias.
- Antes de enviar una contribución, entregársela a alguien ajeno al tema para que la lea y verificar si entendió lo que el autor quiso transmitir.
- Usar el lenguaje más sencillo posible. No emplear palabras extranjeras si hubiese razonables equivalentes castellanos. Evitar neologismos, muletillas y expresiones de moda.
- Las imágenes desempeñan un papel fundamental en la divulgación científica. Esfuércense los autores por obtener los dibujos y las fotografías que mejor ilustren su contribución.
- No incluir notas a pie de página ni referencias. Si se hace una cita textual, poner su fuente completa entre paréntesis en el texto. Agregar entre cuatro y seis lecturas, principalmente, obras de divulgación que se puedan encontrar en librerías o bibliotecas: evitar poner solo trabajos del autor, informes técnicos o artículos en revistas especializadas.

## **ILUSTRACIONES**

Enviar las ilustraciones en formato digital, en forma de archivos .tif, .gif, .eps, .bmp o .jpeg. Es imprescindible que tengan una definición mínima de 300dpi (puntos por pulgada) para un tamaño de 20 x 30cm. Las imágenes descargadas de internet por lo general carecen de esa resolución, a menos que el sitio lo indique claramente, por lo que no

suele ser posible utilizarlas. Excepcionalmente también se pueden recibir ilustraciones impresas en papel fotográfico (revelado común), diapositivas o película negativa. Si la única posibilidad fuera reproducir una ilustración de un libro o revista, por favor escanearla con dicha definición.

## POLÍTICA EDITORIAL

Las contribuciones son evaluadas en primera instancia por el comité editorial que, si las considera de interés, las envía (siguiendo las reglas internacionales de anonimato e independencia) a dos árbitros que juzguen su calidad técnica.

Normalmente, las contribuciones sometidas a arbitraje regresan a los autores con observaciones, sugerencias o correcciones de los árbitros, más pedidos de ajuste de los editores, que los autores tienen entera libertad de aceptar o rechazar: de la decisión que tomen depende la aceptación final del trabajo por parte de la revista. Cuando Ciencia Hoy decide hacer conocer al autor, en parte o en todo, las opiniones de los árbitros, no revela los nombres de estos.

Toda nota aceptada para su publicación, luego de concluido el proceso de arbitraje, pasa por un minucioso procesamiento de estilo: en la práctica, casi todas las contribuciones son redactadas nuevamente por el equipo editorial de la revista, para adaptarlas a las necesidades de los lectores. En todos los casos se solicita al autor que apruebe el texto reformado.

El uso del idioma en la revista se ajusta a las normas y los criterios de castellano culto y, en especial, a lo establecido por la Real Academia Española y por la Academia Argentina de Letras, por lo que a veces no coincide con las prácticas de ciertas revistas científicas o tecnológicas. Las decisiones finales sobre cuestiones de redacción, gramática, estilo, títulos, subtítulos e ilustraciones corresponden a Ciencia Hoy, que considera las preferencias de los autores para tomarlas.

Como cada número de la revista debe mantener un equilibrio de secciones y áreas del conocimiento, la publicación de los trabajos no necesariamente sigue el orden de su aceptación.

Toda comunicación entre autores y editores es canalizada por la secretaria del comité editorial en nombre de este y expresa la opinión colectiva de los editores.



chicos@cienciahoy.org.ar **f** 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.

