

Tamara S Propato y Santiago R Verón

Facultad de Agronomía, UBA

# La matriz energética argentina y su impacto ambiental

La persistencia de las sociedades humanas como las conocemos depende, en parte, de la manera en que resuelvan el dilema entre la provisión de energía y la protección del medio ambiente. La Argentina no puede privarse del acceso a la energía a un precio compatible con el crecimiento económico y de la mejora en la calidad de vida de sus habitantes, aunque tampoco debe aceptarlo a cualquier costo ambiental. Identificar y jerarquizar soluciones realistas a este dilema requiere conocimientos robustos y objetivos que eviten decisiones basadas en mitos o malentendidos. Un análisis comparativo de la matriz energética argentina, su dinámica temporal y sus implicancias socioambientales constituye un primer paso en esa dirección.

La matriz energética describe la contribución relativa

de diferentes fuentes al total de la energía primaria utilizada en un país. Se denomina *fuentes de energía primaria* a las que se obtienen de manera directa de la naturaleza, luego de un proceso de extracción o mediante la fotosíntesis. Por lo tanto, el estudio de la dinámica temporal de la matriz energética permitirá responder cómo se compone y cómo fue su cambio en las últimas décadas, y en qué se asemeja o se diferencia de las matrices energéticas de otros países. Además, describiremos las principales consecuencias ambientales y económicas de las matrices energéticas de cada país. Estas respuestas no garantizan una decisión óptima, pero seguramente contribuirán a tomar decisiones más acertadas en el manejo de los recursos.

En este artículo basaremos el análisis en datos provistos para la Argentina por la Secretaría de Energía de

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

¿De qué origen es la energía que utilizamos? ¿Tiene importancia conocer ese origen? Optar entre distintas fuentes implica optar por diferentes combinaciones de costos económicos y ambientales.

la Nación. En el caso de Alemania, Australia, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos y Francia utilizamos datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por su sigla en inglés). A partir de ellos construimos indicadores del impacto ambiental y económico de cada matriz.

## La matriz energética argentina

La matriz energética argentina está dominada por combustibles fósiles y presenta dos particularidades: la elevada contribución del gas natural (54%) y la muy baja participación del carbón mineral (< 1%). A su vez, el petróleo contribuye con aproximadamente 33%, por lo cual en 2012 los combustibles fósiles constituyeron el 88% del total. La participación de las otras fuentes de energía es mucho menor (aceites y polisacáridos 3% –materia prima para biodiésel o bioetanol–, hidráulica 4%, nuclear 2%, y leña y bagazo 2%) (figura 1A).

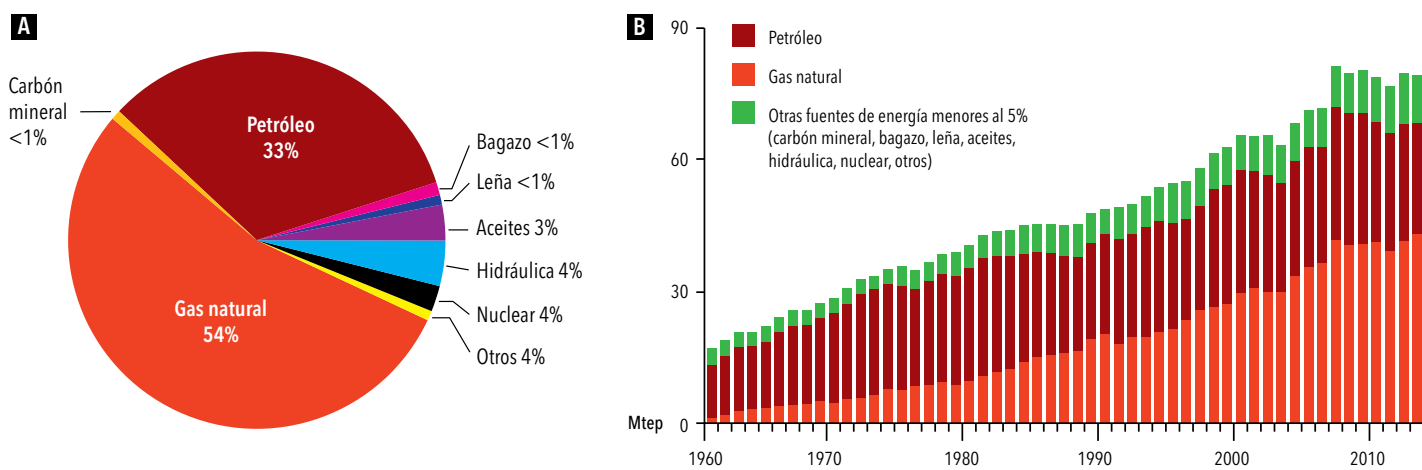
Si bien el aporte de los combustibles fósiles se mantuvo relativamente constante (aproximadamente 90%), la matriz energética mostró cambios significativos durante el período 1960-2012 (figura 1B). La actual preponderancia del gas natural estuvo precedida por períodos en los que el aporte del petróleo promediaba el 70%. El análisis en el tiempo permite identificar períodos caracterizados por diferentes tasas de cambio. En coincidencia con el aumento del precio internacional del petróleo en 1973 comienza a declinar su contribución, a la vez que aumenta la oferta interna de gas natural. Este proceso se acentuó durante la década del 80 –en particular entre 1981 y 1986 para el gas–, probablemente asociado

al descubrimiento de nuevos yacimientos (por ejemplo, Loma La Lata en 1977), la construcción de gasoductos y el fomento mediante un decreto nacional del uso del gas natural comprimido como reemplazo de combustibles líquidos.

El aporte no fósil cercano al 10% de la matriz también varió su composición en el período estudiado (figura 1B). Al inicio de la serie el bagazo y la leña aportaban casi la totalidad del 15% no fósil de la oferta interna (el mayor de la serie). La importancia de esas dos fuentes luego disminuyó probablemente debido al aumento en el uso de gas. A partir de la década de 1970 se diversificaron las fuentes de energía no fósil sin que ello implicara un cambio en su contribución relativa total. En 1974 se incorporó la energía nuclear –Central Atucha– y la hidráulica cobró mucha mayor importancia a partir de la puesta en funcionamiento de las represas de El Chocón en 1972 y Salto Grande en 1979. Hasta fines de los años 80, el aumento del aporte hidráulico y nuclear ocurrió en simultáneo con la disminución del petróleo, el bagazo y la leña.

La crisis energética del verano de 1988-1989 marcó el fin de la tendencia al aumento de la contribución no fósil debido a la posterior priorización de fuentes de generación eléctrica de menor costo y rápida construcción (centrales termoeléctricas) por sobre desarrollos hidráulicos o nucleares. De hecho, la contribución porcentual de la energía hidráulica muestra una disminución en los últimos años, en coincidencia con el aumento del aporte de los biocombustibles iniciado a partir de la sanción del régimen de producción y promoción de biocombustibles.

Entre 1961 y 2012 la oferta total de energía primaria en la Argentina se multiplicó por 4,2 (de 18,6 millo-



**Figura 1.** Matriz energética argentina correspondiente a 2012 y su dinámica en el tiempo. (A) Participación relativa de diferentes fuentes primarias en el total de la oferta de energía. (B) Dinámica temporal de la cantidad en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) de las distintas fuentes de energía. Fuente: Secretaría de Energía de la Nación. La categoría aceites incluye polisacáridos.

nes de toneladas equivalentes de petróleo –Mtep– a 79,1 Mtep con un máximo de 81 Mtep en 2006), equivalente a una tasa de crecimiento anual del 3,1%. A pesar de estos aumentos, hubo períodos donde la oferta de energía se mantuvo relativamente constante (por ejemplo, la década de 1980), o disminuyó (1963, 1975, 1986, 2002 y el período 2006-2012). En general estas reducciones estuvieron asociadas a una merma en la actividad económica, medida como una disminución del producto bruto interno (PBI). Esta observación sugiere la existencia de una asociación entre el PBI y la demanda de energía. De hecho, en los 52 años considerados por cada 1% de aumento del PBI la oferta interna de energía aumentó 1,09%. Sin embargo, esta asociación positiva entre el crecimiento de la economía y la demanda de energía no puede generalizarse ya que en el período analizado se registró la ocurrencia de todas las combinaciones posibles de cambios en el PBI y cambios en la oferta interna de energía, aunque con diferente frecuencia (figura 2). En particular, resulta notable que entre 2006 y 2012 la oferta interna de energía disminuyó 2,7% mientras que el PBI aumentó 29,8%. Si bien un análisis pormenorizado de las causas está fuera del alcance de este trabajo, el crecimiento de la población, el aumento en la calidad de vida asociado al acceso a nuevas formas de energía (por ejemplo, la difusión del gas natural a principios de la década de 1960) y la adopción de tecnologías más eficientes probablemente contribuyan a explicar estos patrones.

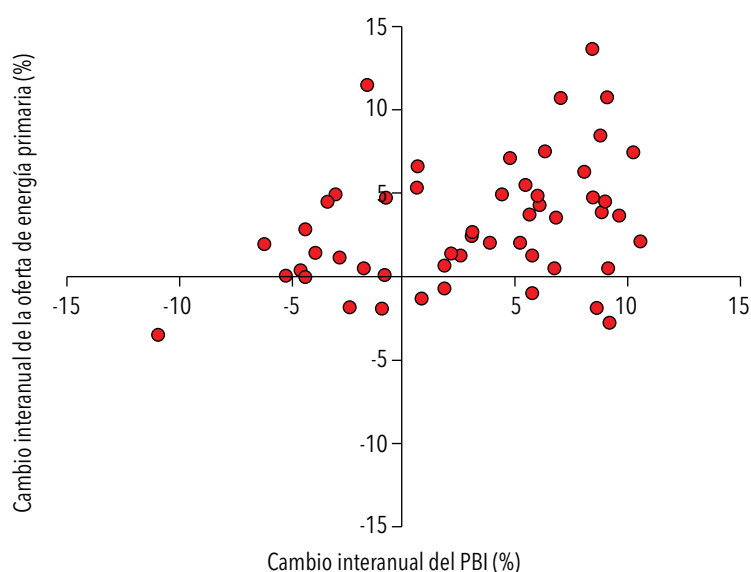
## La matriz argentina en el contexto internacional

Al igual que la Argentina, la mayoría de países analizados poseen una matriz energética de origen predominantemente fósil (figura 3). Francia es una excepción, ya que el aporte de la energía nuclear asciende al 45%. La dominancia de la matriz por una sola fuente de energía es, sin embargo, un rasgo poco frecuente que se observa solo en la Argentina con el gas natural (54%) y en China con el carbón mineral (68%). El resto de los países analizados presentan una contribución más equitativa de las diferentes fuentes. Por ejemplo, en Australia, Estados Unidos y Alemania, el petróleo, el gas y el carbón aportan de manera individual entre el 20 y el 40% del total. En Canadá, Brasil y Francia la equitatividad entre fuentes es intermedia. En particular, resulta llamativa la participación de los biocombustibles y de la energía hidráulica en Brasil, la nuclear e hidráulica en Canadá y la nuclear en Francia, como señalamos anteriormente.

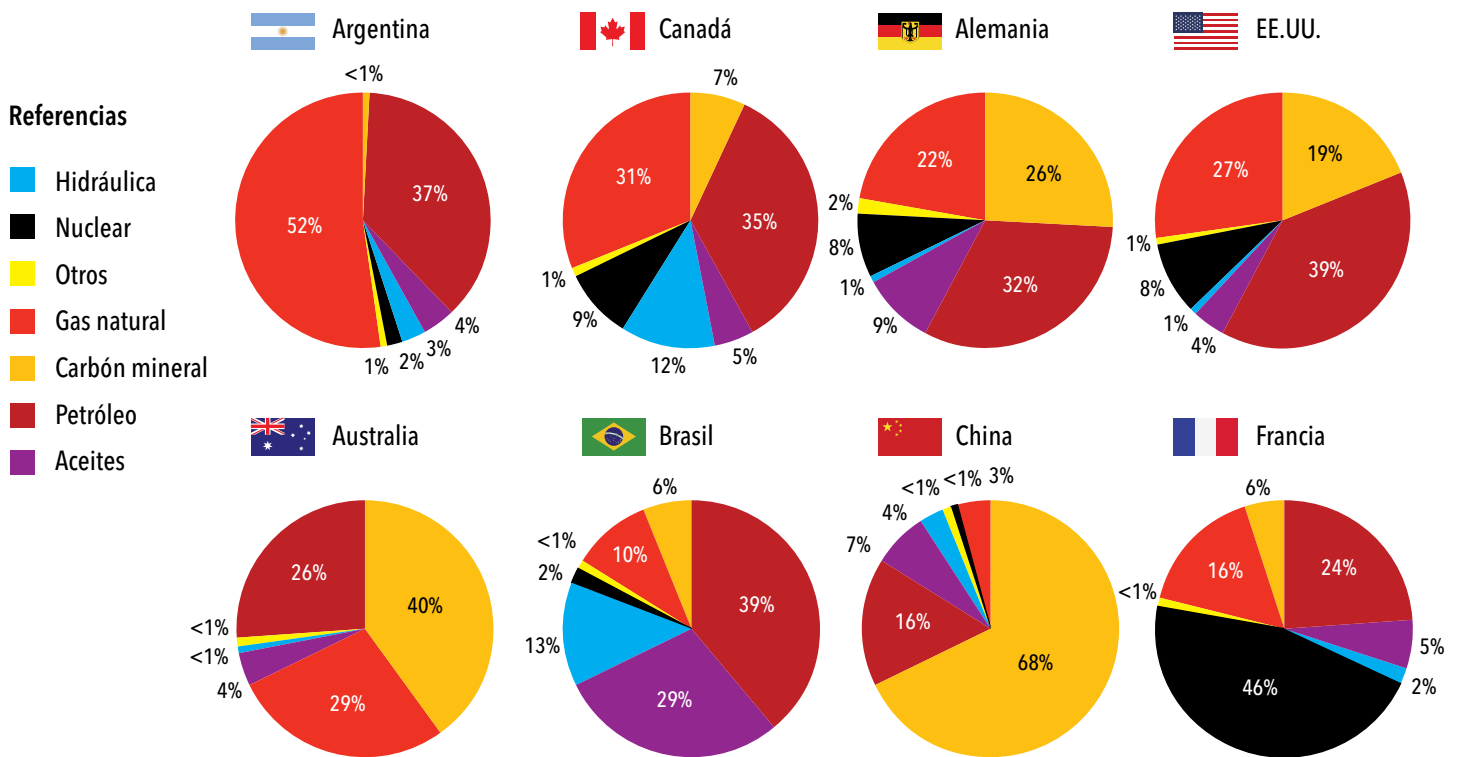
¿En qué medida las matrices energéticas reflejan la dotación de recursos o decisiones estratégicas de los países?

Por supuesto, la respuesta probablemente involucre diferentes combinaciones de esas –y otras– causas. Sin embargo, el análisis de los países considerados en este trabajo permite especular acerca de su importancia relativa y de algunas de sus implicancias económicas y políticas. Por ejemplo, teniendo en cuenta que China posee reservorios de carbón mineral suficientes para satisfacer su demanda por los próximos 200 años y que las reservas argentinas de gas natural en 1988 alcanzaban para 36 años (según datos de 2011 obtenidos de la Administración de Información Energética de Estados Unidos), la participación dominante de estas fuentes en la matriz parecería reflejar la disponibilidad de estos recursos. De la misma manera, la ausencia de yacimientos de uranio importantes en Francia sugiere que la participación de la energía nuclear en su matriz obedece a una decisión estratégica.

Más interesantes resultan situaciones donde la utilización de una fuente de energía es menor que lo esperado a partir de su abundancia. Tal es el caso del carbón mineral en Estados Unidos o Canadá, donde su utilización es menor a la que se podría esperar a partir de sus reservas. También es posible distinguir matrices que responden tanto a la combinación de la dotación de recursos como a decisiones que no están basadas en esa disponibilidad. La participación de los biocombustibles en Brasil seguramente resulte de la disponibilidad de grandes extensiones aptas para el cultivo de caña de azúcar junto con las normativas legales que promovieron la generación de



**Figura 2.** Relación entre cambios interanuales –expresados en porcentaje– en el PBI y en la demanda de energía en la Argentina. Los cuadrantes superior derecho e inferior izquierdo describen situaciones esperables a partir de una relación lineal positiva entre uso de energía y actividad económica. Los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho describen casos en los que el uso de energía no estuvo asociado a la actividad económica. Fuente: base de datos del Banco Mundial y Secretaría de Energía de la Nación.



**Figura 3.** Participación relativa de diferentes fuentes de energía primaria en el total de la energía utilizada para 2012 en los distintos países. Fuente: Agencia Internacional de Energía.

etanol. Algo similar ocurre con la energía hidráulica en ese país y también en Canadá. Por el contrario, el programa de transición energética alemán (Energiewende) se propone cubrir, para 2050, el 85% de su demanda de energía eléctrica con fuentes renovables (principalmente eólica y fotovoltaica), aun a pesar de la frecuente presencia de nubes y la intermitencia del viento en esa región.

Independientemente de las razones detrás de la forma en que cada país obtiene energía, sus implicancias son claramente identificables. En el marco del Energiewende solamente en 2012 los usuarios residenciales pagaron 17.000 millones de euros adicionales a los generadores de electricidad renovable. A modo orientativo, los costos en promedio de la generación eólica son 75% y de la fotovoltaica 700% más caros que la generación de electricidad a partir de carbón.

## Las consecuencias ambientales de la utilización de energía

Prácticamente todos los aspectos de la extracción, el transporte, la conversión y el uso de energía generan consecuencias perjudiciales para el ambiente. Estas pueden incluir desde derrames de petróleo, fragmentación

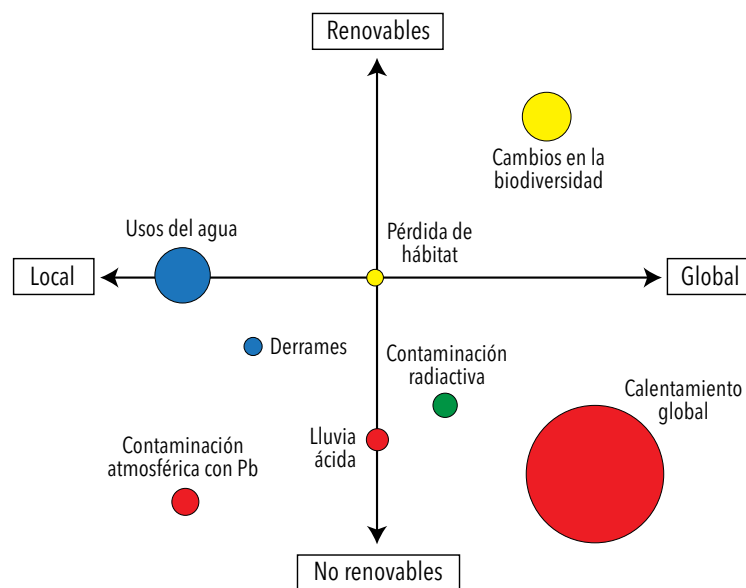
de paisaje, pérdida de hábitat, emisión de gases con efecto invernadero, cambios en la biodiversidad y lluvia ácida, entre otras. El modelo conceptual de la figura 4 permite ordenar de manera cualitativa un subconjunto de consecuencias de la utilización energía sobre la atmósfera –aire–, hidrósfera –agua–, litósfera –suelo– y biósfera –organismos vivos–, según la escala a la cual es más notable el impacto (local versus global) y el tipo de energía (renovable versus no renovable). La figura también provee una estimación del estado del conocimiento de cada consecuencia que se observa en el tamaño de los círculos obtenido a partir del número de artículos científicos encontrados en la base de datos Scopus. Así, es posible observar que la consecuencia ambiental que más atención ha recibido de la comunidad internacional es el calentamiento global, un aspecto del fenómeno conocido como cambio climático.

El vínculo entre la utilización de energía y el calentamiento global está dado por la emisión de gases con efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano) que se generan durante la quema de combustibles fósiles. Anualmente se emiten a la atmósfera un promedio de 9,3 Pg de CO<sub>2</sub> –1 Pg equivale a mil millones de millones de gramos–, de los cuales 7,7 Pg (83%) se deben al uso de energía y la producción de cemento y 1,5 Pg es la emisión neta

producto del cambio en el uso de la tierra (principalmente, deforestación de selvas tropicales). Estos gases tienen la particularidad de retener la energía radiante de onda larga proveniente de la Tierra evitando que se pierda al espacio. Así, la energía absorbida por los gases con efecto invernadero contribuye al aumento de la temperatura de la atmósfera.

El último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) señala que el aumento de la temperatura promedio del planeta fue de 0,85°C entre 1880 y 2012. Asociado a este aumento se documentó una disminución sostenida de la superficie cubierta por hielo, un acrecentamiento en el nivel del mar del 1,7mm por año y una extensión en la frecuencia de eventos climáticos extremos. En conjunto, estas evidencias configuran una situación compleja cuya solución requiere armonizar diferentes percepciones de la importancia relativa de dos componentes del bienestar humano: la satisfacción de las necesidades materiales y el acceso a un ambiente estructural y funcionalmente íntegro.

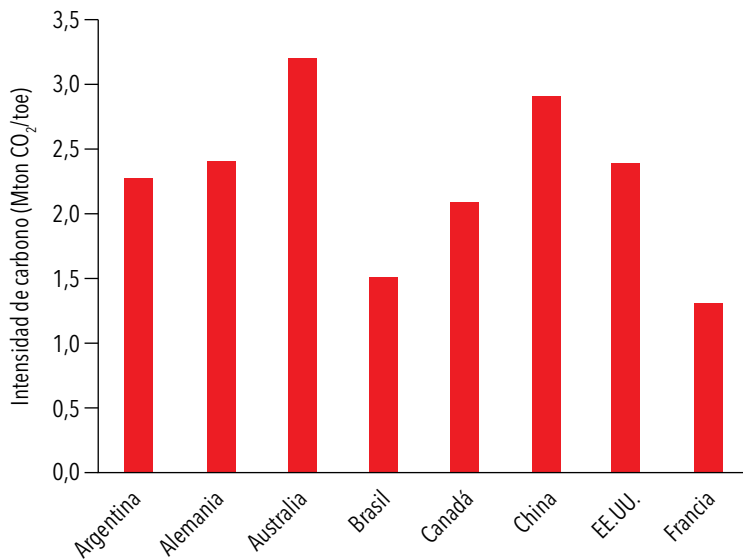
Una forma de analizar la relación costo-beneficio de la utilización de energía es mediante indicadores. Uno de los más difundidos es la *intensidad de carbono* de la matriz energética, es decir, la relación entre la emisión de gases con efecto invernadero y la cantidad total de energía utilizada en un país expresada en toneladas equivalentes



**Figura 4.** Esquema conceptual de un conjunto de consecuencias ambientales de la utilización de energía renovable y no renovable en la escala a la cual es más notable su impacto (local versus global). Los colores indican donde se observa el impacto principal de cada consecuencia: sobre la atmósfera –aire– (rojo), hidrósfera –agua– (azul), litósfera –suelo– (verde) o biósfera –organismos vivos– (amarillo). El tamaño de los círculos refleja el estado del conocimiento de cada consecuencia. Esta estimación se realizó a partir de la cantidad de artículos científicos publicados en la base de datos Scopus.







**Figura 5.** Intensidad de carbono de la matriz energética de cada país. Relación entre la emisión de gases con efecto invernadero y la cantidad total de energía utilizada en un país expresada en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por MJ de energía.

de CO<sub>2</sub> por megajulios (MJ) de energía (figura 5). No resulta sorprendente que Australia exhiba el valor más alto de este indicador entre los países analizados en este trabajo, ya que el valor de este indicador correlaciona muy bien con la contribución relativa de los combustibles fósiles a la matriz. Solamente la Argentina se aleja de esta correlación debido a la importancia del gas natural y el mínimo aporte del carbón mineral en la generación de electricidad. Si bien ambos son fuentes fósiles, el gas natural emite en promedio un tercio menos de CO<sub>2</sub> por unidad de energía eléctrica generada que cuando se utiliza carbón mineral. Otro aspecto que se puede observar en la figura 5 es que Alemania emite casi la misma cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de energía que los Estados

Unidos a pesar del menor aporte de los combustibles fósiles en comparación con ese país (80 versus 84% respectivamente) y del esfuerzo de promoción de la energía renovable alemán. La intensidad de carbono de la matriz alemana se debe en parte al parque de generación eléctrica de respaldo necesario ante la intermitencia de las fuentes eólicas y fotovoltaicas. Ocurre, así, una paradoja: cuanto mayor es la contribución de fuentes renovables de baja emisión de CO<sub>2</sub> a la matriz alemana, mayor es la contribución eventual de la generación eléctrica mediante carbón, que es la fuente de energía más barata pero que más CO<sub>2</sub> emite por unidad de energía generada. Por supuesto, esta situación refleja el estado actual del programa de transición energética alemán que entre 1990 y 2004 redujo las emisiones de CO<sub>2</sub> un 12%.

## Conclusiones

Las sociedades humanas deberán tomar decisiones clave en materia energética en las próximas décadas. El éxito de estas decisiones dependerá de aspectos locales (por ejemplo, disponibilidad de fuentes de energía, actividades productivas, nivel de tecnología, conocimiento, etc.) como globales (por ejemplo, capacidad de hacer valer sus intereses en las instituciones internacionales). La matriz energética argentina posee algunas características comunes a la de otros países (por ejemplo, importancia de combustibles fósiles) y otras particulares (dominación de gas natural). En lo inmediato, estas características le confieren cierta ventaja con respecto a las matrices dominadas por carbón mineral debido a la menor emisión de gases con efecto invernadero derivado del gas natural. Sin embargo, también representa un riesgo frente a la disponibilidad futura de esta fuente de energía y a la posible intensificación de la presión internacional a favor de fuentes renovables. **CH**

### LECTURAS SUGERIDAS

- CÁRDENAS GJ**, 2011, 'Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación', *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*, 1514: 32-36.
- SCHIERMEIER Q et al.**, 2008, 'Electricity without carbon', *Nature*, 454: 816-823.
- SMILV**, 2010, 'Science, energy, ethics, and civilization', en CHIAO RY et al. (eds.), *Visions of Discovery: New Light on Physics, Cosmology, and Consciousness*, Cambridge University Press, pp. 709-729.



#### Tamara S Propato

Estudiante de ciencias ambientales, Facultad de Agronomía, UBA.  
Auxiliar docente, Facultad de Agronomía, UBA.  
[tpropato@agro.uba.ar](mailto:tpropato@agro.uba.ar)



#### Santiago R Verón

Doctor en ciencias agropecuarias, Facultad de Agronomía, UBA.  
Profesor adjunto, Facultad de Agronomía, UBA.  
Investigador adjunto del Conicet  
[veron@agro.uba.ar](mailto:veron@agro.uba.ar)