



Fotografía satelital nocturna de un sector de la costa este sudamericana. Entre los puntos luminosos se destacan Buenos Aires y São Paulo. La imagen ilustra la relación entre desarrollo económico y uso de energía. *Nasa.org*

Salvador Gil y Gautam Dutt
 Universidad Nacional de San Martín

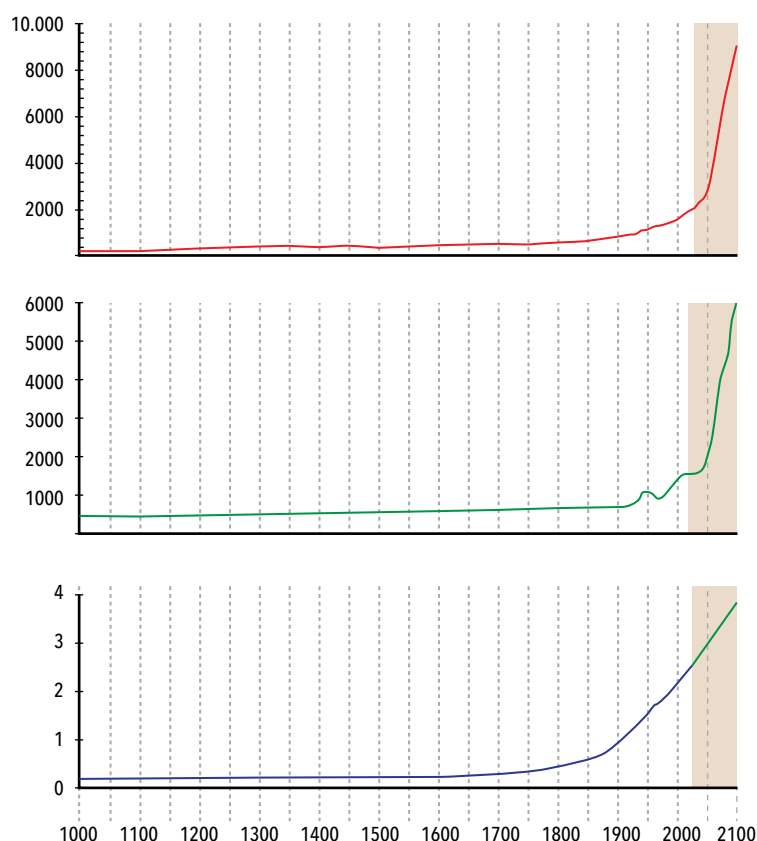
La energía hoy

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.

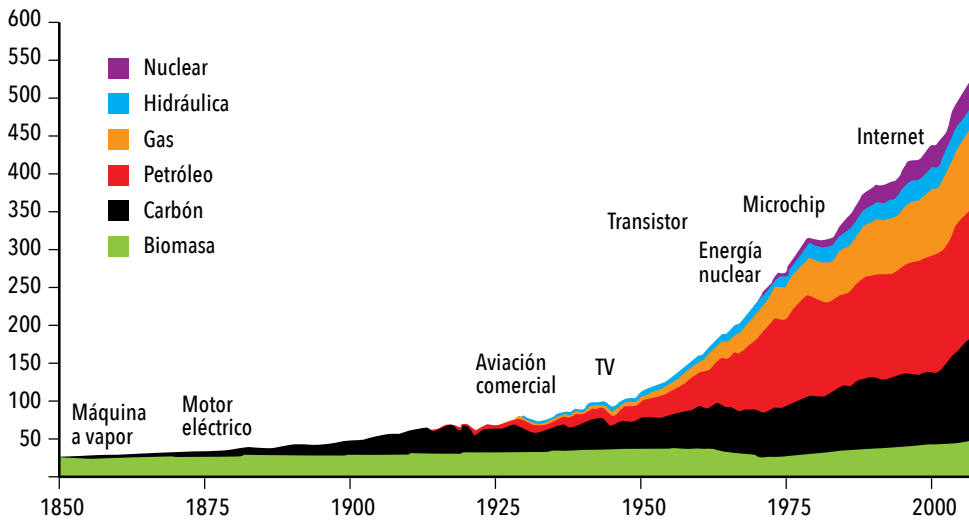


Figura 2. Evolución del uso de recursos energéticos y algunas tecnologías que marcan las épocas. La leña fue el combustible dominante antes de la Revolución Industrial, cuya primera fase fue impulsada por la hulla o carbón mineral. La segunda etapa de dicha revolución estuvo dominada por el petróleo, 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

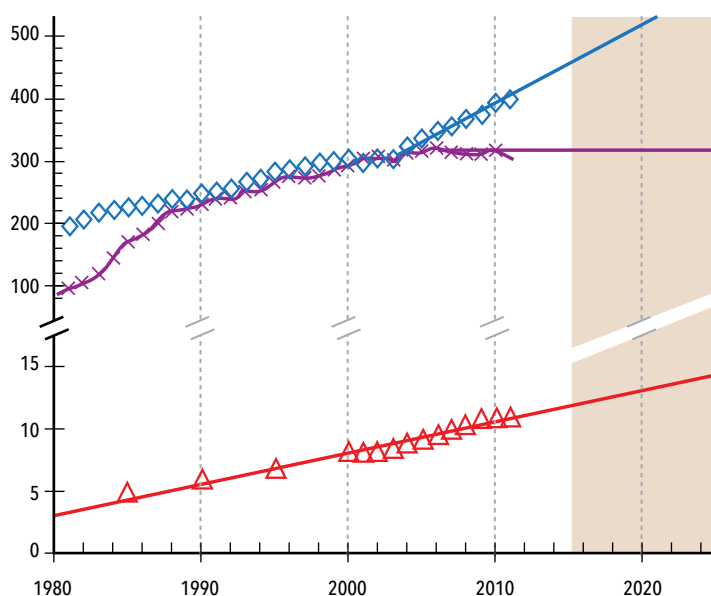


Figura 3. Evolución de la potencia de generación eléctrica instalada en el mundo con tres formas de energía: hidráulica (curva azul), nuclear (curva violácea) y geotérmica (curva roja). En las dos primeras, las rectas representan la proyección hacia la derecha del comportamiento de los últimos 10 años, 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.

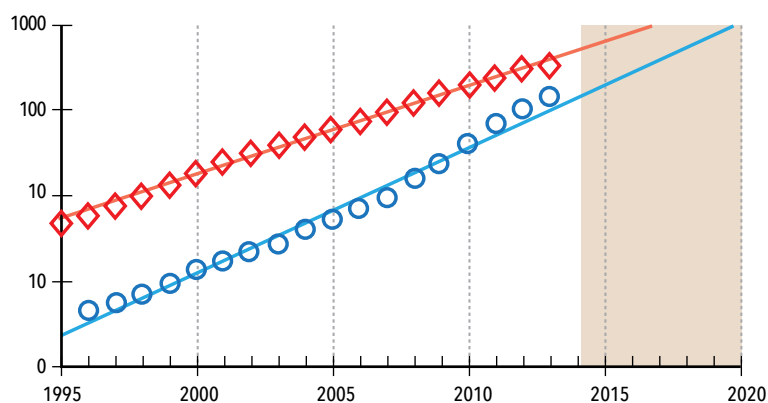


Figura 4. Evolución de la potencia de generación eléctrica con energía eólica (curva roja) y solar fotovoltaica (curva azul). Las unidades son GW pero, a diferencia de la figura anterior, la escala en esta figura es logarítmica, lo que indica un crecimiento exponencial, con tasas anuales acumulativas 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 (CO₂), metano (CH₄), 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

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 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 consecuencia del uso de combustibles fósiles. Con la tasa de emisión creciente que estamos observando en la actualidad, es posible que en veinte o veinticinco años esa 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 consecuencias 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.

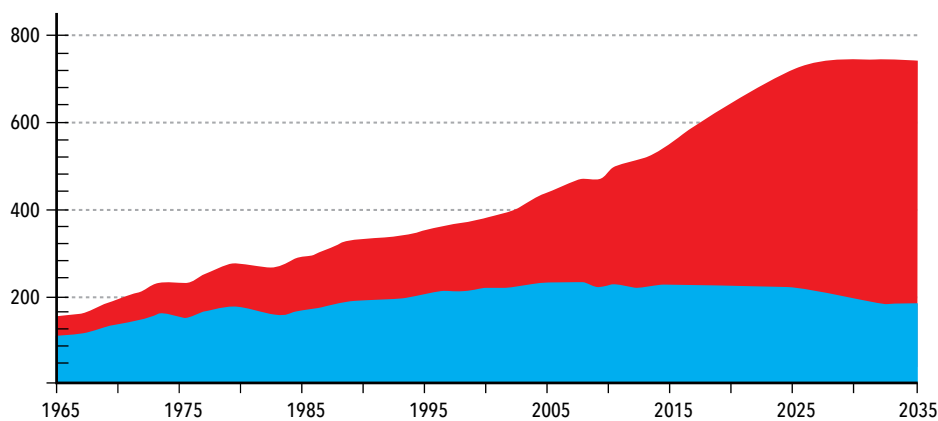
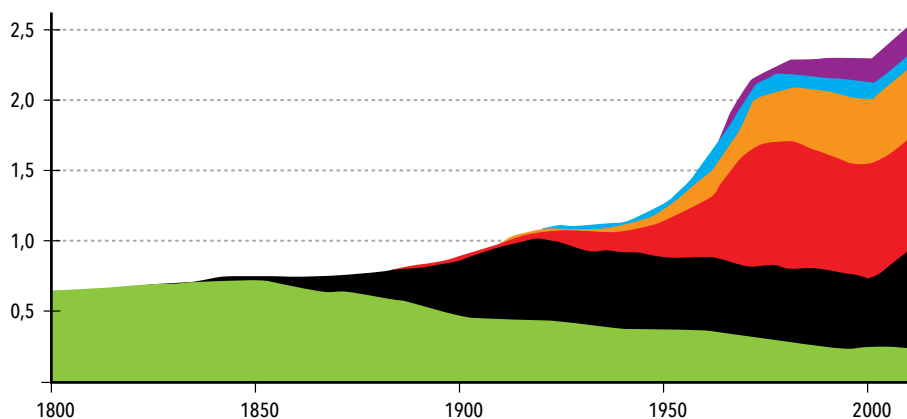


Figura 5. Arriba. Consumo per cápita de energía en el mundo a lo largo de los últimos dos siglos (expresado en kW) y su composición según sus fuentes, que son, de abajo hacia arriba, leña, carbón mineral, petróleo, gas natural, fuerza hidráulica y fisión nuclear. Abajo. Evolución del consumo global de 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

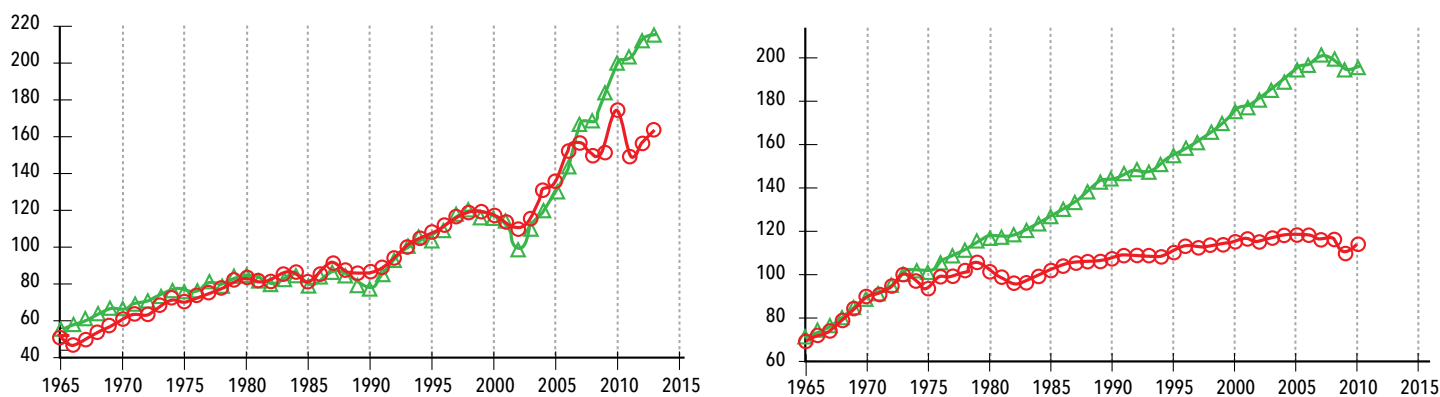


Figura 6. Variación del PBI (verde) y del consumo final de energía (rojo) entre 1965 y el presente en la Argentina (izquierda) y en los países integrantes de la OCDE (derecha). Las unidades son índices cuyas bases 100 son los valores de 1993 para la primera y de 1973 para los segundos. La curva del consumo 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. **CH**

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](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 visitante, UNSAM.
Vicepresidente de ciencia y tecnología, MGM Innova.