

¿Qué puede significar energía sostenible? Y, más exactamente, ¿cómo la electricidad, en tanto energía secundaria, puede contribuir a la sostenibilidad? Este análisis ofrece algunos aspectos a considerar.

# Electricidad y energía sostenible. El “cuatrilema” del siglo XXI

Por *Ing. Hugo A. Carranza*

Existen títulos, temas o paradigmas que se imponen como corrientes de pensamiento y prevalecen en el imaginario popular sin que exista una comprensión común o compartida sobre el significado, el alcance y las implicancias del término empleado. Actúan en cierto modo como juicios de autoridad, condicionando los resultados de cualquier análisis que pudiera hacerse, a tal manera de invalidarlos si no se corresponden con el paradigma supuestamente establecido.

Esto suele ocurrir con la interpretación del término “energía sustentable”, o más exactamente, “energía sostenible”, donde para algunos es sinónimo de las llamadas energías limpias, verdes o renovables y, para otros, es simplemente una modalidad del uso de la energía que implica en forma general la satisfacción de la demanda presente sin comprometer la posibilidad de bienestar de la demanda futura. Es oportuno entonces formular la pregunta: ¿Qué puede significar “energía sostenible”? Y, más exactamente, ¿cómo la electricidad, en tanto energía secundaria, puede contribuir a la sostenibilidad?

## Recursos energéticos, formas y transformaciones de la energía

La terminología específica define por un lado como “energéticos” a las cosas o elementos capaces de producir energía, como el petróleo o el carbón. Y, por otro lado, las “formas” en las que la energía se manifiesta: calor, electricidad, trabajo mecánico.

Las estadísticas diferencian entre energía primaria a la que se presenta en la naturaleza, como el carbón, la hidráulica o la nuclear; y la energía secundaria a la obtenida luego de un proceso de transformación técnica o económica, como la electricidad, el gas por redes o los derivados del petróleo (Figura 1).

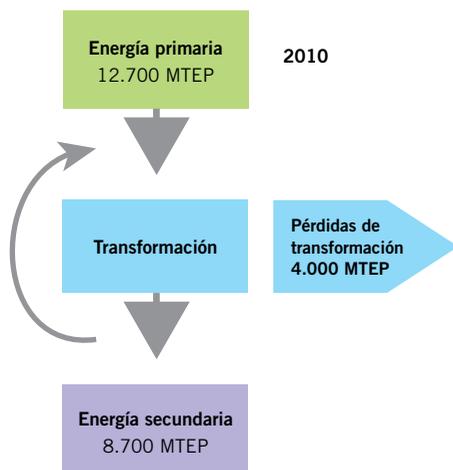


Figura 1. Esquema básico de contabilidad de la producción y consumo de energía.

Según la *International Energy Agency (IEA)*, el 81% de la energía primaria producida en el mundo durante 2010 era de origen fósil, mientras que el 67% de la producción de energía eléctrica del planeta se basa en energéticos fósiles (Figura 2).

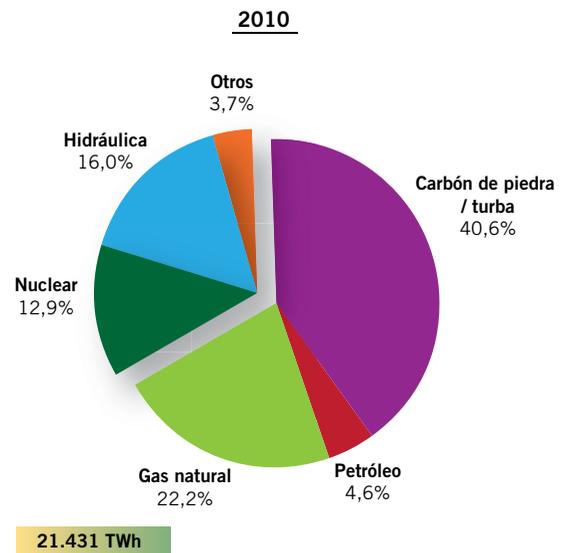
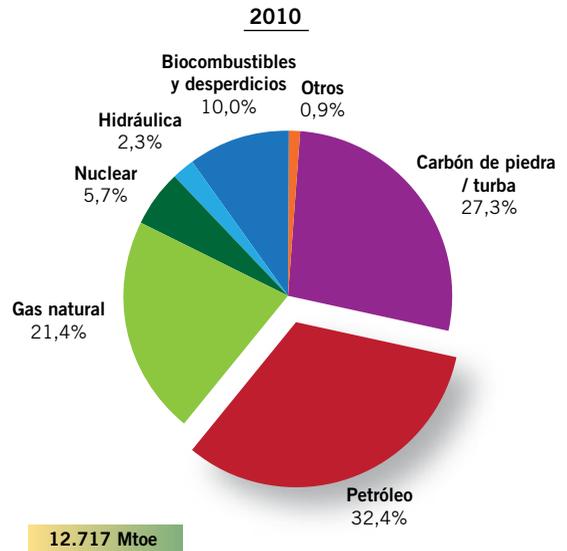


Figura 2a. Energía primaria mundial por fuente.

Figura 2b. Producción de energía eléctrica por fuente.

De los 12.700 MTOE/año de energía primaria producida durante el año 2010, 4.000 MTOE se usaron para generar 21.400 TWh, equivalentes a 1.600 MTEP, perdiendo en la transformación 2.400 MTEP. Estas son las pérdidas en la fuente fría ante la imposibilidad de transformar todo el calor en trabajo según lo establecido en el Principio de Carnot, como se explica más abajo.

El consumo final de energía, descontadas las pérdidas, alcanzó durante 2010 los 8.700 MTEP, de los cuales el 18% es energía eléctrica. Según la categoría de usuarios, el sector transporte consume casi el 28%, la industria otro 28% y el resto se divide entre el sector residencial, comercial, público y otros.

## Población, consumo de energía y emisiones de GEI

El mundo incrementó exponencialmente su población durante el siglo XX. Hacia 1900 existían unos 1.600 millones de habitantes que consumían 0,44 TEP/habitante-año;

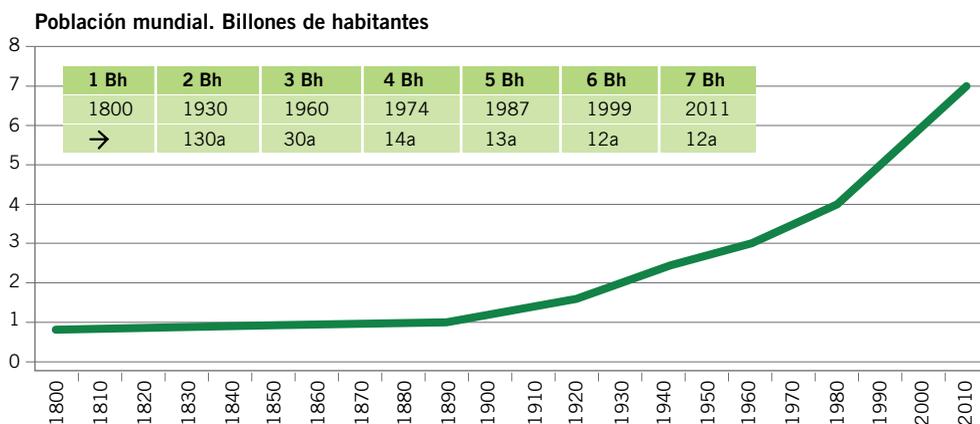


Figura 3. Evolución de la población mundial del siglo XIX hasta el presente.  
Fuente: USBCensus

en 1950 se pasó a 2.700 millones con un consumo per cápita de 0,67 TEP/habitante-año, y se han alcanzado en la actualidad los 7.000 millones de habitantes, que consumen unas 1,8 TEP/habitante-año; se incorporan a razón de 1.000 millones de habitantes cada 12 años (Figura 3).

Estos niveles de consumo de energía mundiales son abastecidos en un 80% por la combustión de fósiles, que producen Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se ha determinado que el 83% de la producción de gases de efecto

invernadero se origina en la producción y utilización de la energía, de los cuales más del 90% es CO<sub>2</sub>. A su vez, el carbón y el petróleo producen el 79% de las emisiones de GEI del sector energía (Figura 4).

Existe una cantidad suficiente de evidencia para asociar los síntomas del cambio climático a la producción de GEI; ignorar el riesgo sería una falta de responsabilidad y comprometería seriamente la sustentabilidad del sector energético.

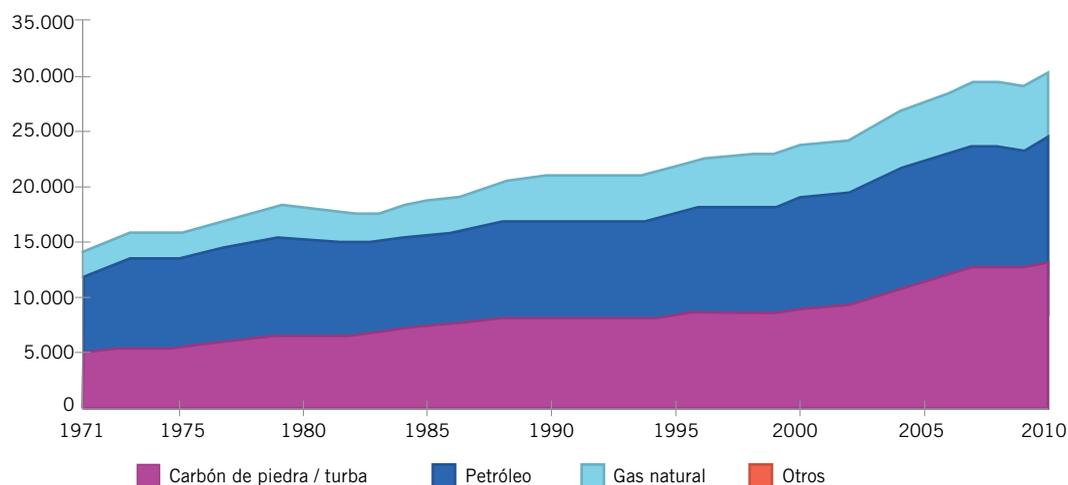


Figura 4. Producción de GEI en Mtn de CO<sub>2</sub>, por energético.  
Fuente: KWES 2012 - IEA

Se trata entonces de mitigar este efecto hasta donde sea posible mediante un plan de acciones que mejore y minimice el impacto ambiental sobre la producción y la utilización de la energía.

Analizando la composición de la demanda de electricidad, se observa que un 41,5% es consumido por la industria, solo el 1,6% por el transporte y el 51,6% restante

por el sector residencial, comercial, público y agricultor, entre otros (Figura 5).

Por otra parte, el Principio de Carnot enuncia la imposibilidad de convertir todo el calor producido por la energía primaria (fuente caliente) en trabajo útil o electricidad, sin perder una importante cantidad de energía en una fuente fría.

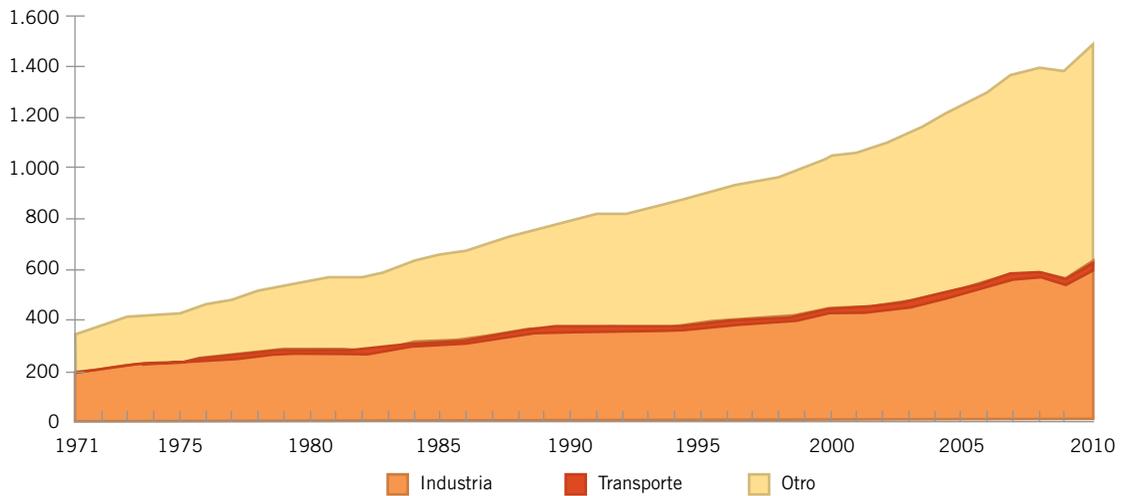


Figura 5. Consumo final de electricidad por sector en MTEP.  
Fuente: KKWES 2012 - IEA

Esta pérdida se produce en el sistema de contabilidad solo en la conversión de calor en trabajo que realizan las centrales eléctricas. En la actualidad, el máximo de eficiencia obtenible, usando ciclos combinados con grandes unidades que presentan economía de escala, es del 60%. Esta pérdida por Carnot se produce también fuera de la contabilidad en los motores usados para el transporte, y en los procesos industriales, allí donde existe conversión de calor en trabajo; en los que por el tamaño de los equipos presentan menores eficiencias por economía de escala y mayores costos, poniendo de manifiesto la energía eléctrica en uno de los más eficientes y sustentables energéticos secundarios.

## Energía sostenible: el “cuadrilema” del siglo XXI

El filósofo David Hume, en su *“Tratado de la Naturaleza Humana”*, enuncia que el hombre padece a menudo de esa “mezquindad de alma”, que le hace preferir el interés presente al lejano y remoto, aun cuando se trate de prevenir un mal lejano.

En esta orientación se podría definir como “energía sostenible” a aquella que satisface razonablemente las necesidades del presente, sin afectar la posibilidad del abastecimiento futuro.



Según la Real Academia Española, “sostenible” significa: 1. adj. Que se puede sostener. Opinión, situación sostenible. 2. adj. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medioambiente.

Frente a este paradigma, los especialistas se enfrentan hoy a la necesidad de aportar soluciones a la provisión de energía, restringidas a la satisfacción simultánea del “cuadrilema” de restricciones dado por estos cuatro componentes: 1) Economía, 2) Seguridad, 3) Equidad social y 4) lo Ambientalmente sustentable (Figura 6).

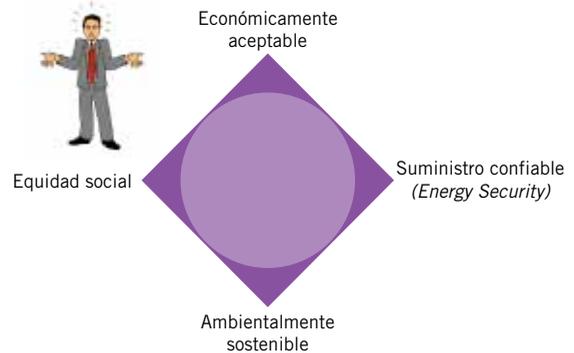


Figura 6. “Cuadrilema” de restricciones de energía siglo XXI.

Es importante establecer algunas premisas adicionales que son parte de las condiciones de borde en el que el “Cuadrilema” se plantea:

- Los usuarios demandan siempre, es decir, no se plantean la realidad como problema. Quieren energía, no explicaciones.
- Algunas ONGs ambientalistas demandan muchas veces basadas en meras opiniones.
- En los mercados existen conflictos de intereses y diferencias de opiniones, que se presentan como conocimiento cuando no son más que opiniones, y cuyo origen a veces no es evidente ni explicitado.
- En muchos casos, estos se expresan como si fueran verdades absolutas, o cambios de paradigmas, o simple-

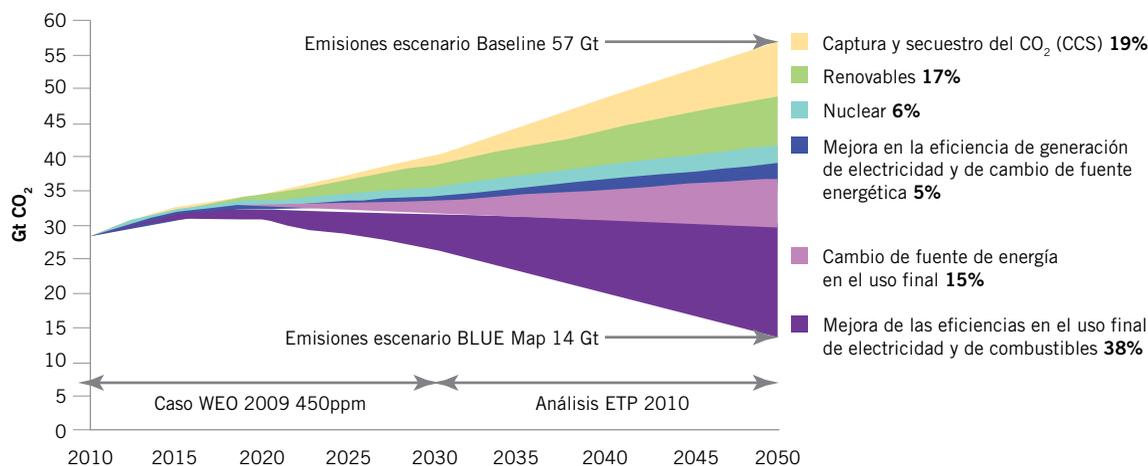


Figura 7. Resultados ETP 2013 de la IEA.

mente modas, que generan incertidumbre. Estos “falsos amigos” tienen la persistencia de los vicios: de tanto repetirlos parecen correctos. Cabe aquí el refrán portugués: *Água mole em pedra dura tanto bate ate que fura...*

## Los estudios y pronósticos sostenibles de las agencias

Las agencias energéticas que tradicionalmente elaboran pronósticos, solían emitir un caso de referencia (*Reference Case*), basado en la proyección de la demanda en un contexto internacional estable, sin cambios en las políticas energéticas.

Pero desde hace algunos años, han comenzado a aparecer estudios más elaborados con escenarios alternativos de reducción de emisiones por cambio de las políticas energéticas.

Es el caso de la Agencia Internacional de la Energía, que desde 2006 publica un informe llamado *Energy Technology Perspectives*, el cual cada dos años presenta

las conclusiones de la IEA a la pregunta: “¿Qué debería hacerse para no superar cierto índice de emisiones?”. Por ejemplo, las actuales emisiones anuales.

De esta manera, propone soluciones basadas en cambios en las tecnologías de oferta y también en programas de eficiencia y cambio de fuentes en la demanda. El gráfico de esta página demuestra cómo más de la mitad de la responsabilidad radica en mejoras de eficiencia del lado de la demanda (Figura 7).

Por otra parte, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el año 2012 *Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos* mediante resolución 65/151, fundamentado en que “...los servicios energéticos tienen un profundo efecto en la productividad, la salud, la educación, el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica y los servicios de comunicación... (...) La falta de acceso a la energía no contaminante, asequible y fiable obstaculiza el desarrollo social y económico y constituye un obstáculo importante para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio”.

## El aporte de la electricidad en la oferta y en la demanda

Cuando en 1831 el físico Michael Faraday realizó los experimentos sobre el electromagnetismo, es probable que no haya imaginado el impacto que tendrían sus descubrimientos en el desarrollo de la humanidad.

La utilización de la electricidad no solo ha reemplazado al vapor como energético secundario capaz de producir fuerza motriz, sino que también se ha expandido a la totalidad de las actividades humanas, como iluminación, higiene, salud, entretenimiento y comunicaciones, por citar algunas.

Demostrado que la transformación de calor en trabajo y energía eléctrica en la central térmica es -por tecnología y factor de escala- la forma más eficiente de producir energía, capaz de proveer fuerza motriz para la industria, el transporte y, en general, todos los usos modernos de la energía, se deduce que la expansión del uso racional de la electricidad será la mejor alternativa para un futuro de expansión de la demanda global de energía, con restricción de emisiones de GEI.

La oferta de generación presenta varias opciones para reducir los niveles de emisiones:

- a) **Térmica convencional:** orientada a obtener mejoras de eficiencias y reducción de emisiones:
  - Ciclo Rankine de Vapor Súper e Hiper crítica con CCS (Captura y Almacenaje de CO<sub>2</sub>) usando Carbón.
  - Ciclo Brayton con Turbina de Gas y Ciclo Combinado GTCC, usando Gas Natural.
- b) **Oferta no térmica:** presenta múltiples opciones y recursos variados y abundantes, sin emisiones pero muchos de ellos objeto de controversias, como: nuclear generación III y III plus, renovables, hidráulica, eólica *onshore* y *offshore*, solar, de mareas, biomasa y otras.

En síntesis, existe una amplia gama de tecnologías y suficientes recursos como para afirmar que la selección de alternativas de generación no constituye una restricción a la expansión de la demanda.

Desde el lado de esta, se busca mejorar la eficiencia en dos aspectos: en los cambios de fuentes, y en las mejoras de eficiencia de los procesos.

Como se ha explicado en estas líneas, el cambio de cualquier energético por electricidad implica una ganancia de eficiencia por economía de escala en la transformación. La mejora de eficiencia de cualquier proceso industrial significará menor demanda de energía para la misma producción.

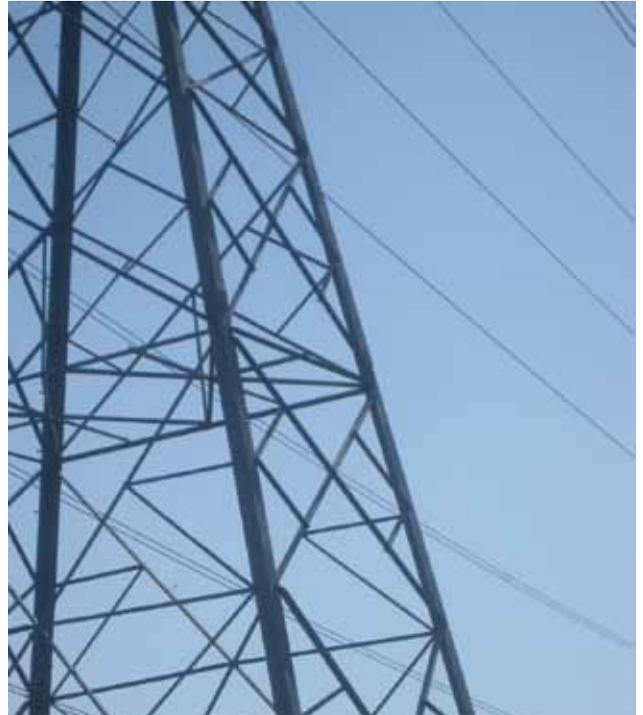
## La frontera del transporte

El consumo del sector transporte representa casi el 28% del consumo final de energía, abastecida con derivados de petróleo, que consume menos del 2% de la electricidad producida. El mundo ha pasado de 1.600 millones de habitantes movidos con tracción a sangre y a carbón a 7.000 millones de personas que conviven en megaciudades de más de 10 millones de habitantes y que en general tienen grandes déficits de infraestructura.

La eficiencia en el transporte pasa por dos líneas de trabajo: la racionalización y el reordenamiento; y el cam-

bio de equipos. Sin racionalización, es decir, sin cambio de paradigma, no hay forma de resolver el libre desplazamiento en las megaciudades y dentro de ellas. Sin medios de transporte confortables y masivos, como las líneas de subterráneos y los trenes, no hay forma de ganar en eficiencia que dé lugar a una directa ganancia de esa eficiencia, y que se traduzca en reducción de emisiones.

El cambio de motor convencional, ya sea a nafta o a gasoil, por un motor eléctrico -ya sea eléctrico Puro PEV (*Pure Electrical Vehicule*) o híbrido (*transformer* y celda de combustible)-, es una solución por transferencia a mayor escala o mejora de pérdida de Carnot (híbrido), que requiere de un ordenamiento masivo del tránsito.



## Reflexiones sobre opiniones y conocimientos

Los especialistas en energía eléctrica, es decir los ingenieros electricistas, se formaron hasta mediados de 1970 estudiando a clásicos como el "*Symmetrical Components*" de Wagner y Evans, de 1933; o el *T&D Reference Book* de Westinghouse; utilizaban para sus proyectos las históricas reglas de cálculo y métodos gráficos para estimar el comportamiento de la línea larga. Existían en algunos institutos simuladores de redes y grandes computadoras, pero eran escasos. Con estas herramientas se abasteció una población de 3.500 millones de habitantes, produciendo 6.500 TWh. Teniendo eso en cuenta, ¿qué no podría hacer el hombre del siglo XXI con las herramientas actuales?

La problemática referida a la sustentabilidad encuentra en primer lugar el hecho evidente de que como sobre el futuro no hay *episteme* (conocimiento), entonces prevalece la *doxa* (opinión), más o menos fundamentada en conocimientos y más o menos probable, pero sin dejar de ser *doxa*.

El futuro es siempre contingente, siempre genera incertidumbre y riesgo, y en cierta medida, promueve el agnosticismo, a partir del cual toda opinión puede ser cierta y todo conocimiento, vano. Esta idea conspira contra la posibilidad de emplear el ingenio humano en acotar el rango de incerteza y anticiparse a los cambios que caracteriza al espíritu humano.

Concluyendo, la energía o el desarrollo sostenible no presentan problemas técnicos irresolubles, pero en realidad no habrá un verdadero futuro sostenible si no logramos eliminar la pobreza y la marginalidad que sufre una buena parte de nuestros pueblos de América, que constituye un desperdicio de la potencialidad implícita que emerge de su incorporación como sujetos activos en la construcción de un verdadero futuro sostenible. ■

**Nota:** Este artículo se basa en la presentación realizada por el autor el 22 de mayo de 2013, en el Foro de las Naciones, del XV ERIAC, organizado por el CICGRE en Foz do Iguazú, Paraná, Brasil.

**Hugo A. Carranza** es Ingeniero Electricista de la UTN FRBA. Con postgrado de Especialización en Gas Natural en el Instituto del Petróleo de la UBA. Docente de grado en la UTN General Pacheco, Docente de postgrado en el Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA) y en la Escuela Superior de Guerra Conjunta ESGC. Tiene más de treinta años de experiencia en el sector energético. Actualmente es Gerente Técnico en TOTAL Gas y Electricidad Argentina.

Presidente de la Sección Argentina de la Society of Petroleum Engineers en el período 2011-12 y en el 2003-04. Recibió el «2011 Regional Service Award» para Latinoamérica y Caribe otorgado por la SPE.

Co-autor del libro «Sistemas Eléctricos de Potencia» de Librería y Editorial Alsina. Autor de «200 años, Identidad y Globalización», ensayo publicado por Librería y Editorial Alsina en el año 2011. Autor de artículos y presentaciones en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Perú y EE.UU.

## Bibliografía

1. Key World Energy Statistics, 2012, IEA.
2. Julio Pérez Díaz, *La política mundial de población en el siglo XXI*, Centre d'Estudis Demogràfics, 2005.

3. *Global EV Outlook, Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*, IEA, abril de 2013.
4. *Energy Technologies Perspectives 2012*, IEA 2012.
5. *Tracking Clean Energy Progress 2013*, IEA 2013.
6. *Highlight of the 21st World Energy Congress*, WEC, Montreal 2010.
7. *WEC Global Transport Scenarios 2050*, WEC 2012.
8. *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, Highlights*, IEA, 2012.
9. Salvador Gil, Roberto Prieto, "Eficiencia energética: ¿un camino sustentable hacia el autoabastecimiento?", *Petrotecnia*, diciembre de 2012.
10. *2012 Año Internacional de la Energía Sostenible para todos UN 2012*.