

Perspectivas futuras para las diferentes fuentes de energía

Por Roberto Pascual, Comisión Nacional de Energía Atómica

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) prevé para los próximos 20 años un aumento del 60% en el consumo de energía y predice que dicha demanda será satisfecha en base a nuevos descubrimientos de reservas de petróleo y gas, avances tecnológicos en el aprovechamiento de reservas de combustibles fósiles ya existentes, un aumento en la eficiencia de las plantas de generación de energía y la utilización de otras fuentes de energía. Entonces, ¿cómo se comportarán las diferentes fuentes de energía? ¿Qué pasará con las nuevas tecnologías? El futuro de las nuevas fuentes ¿pasará por una competencia o por una asociación? ¿En qué forma incidirá el factor medio ambiente? Estos son sólo algunos de los interrogantes que se analizan en la presente nota, orientada a lograr una aproximación a la evolución del uso de las diferentes fuentes de energía.



Roberto Pascual

Roberto Pascual es Doctor en Física y se desempeña como asesor en la Comisión Nacional de Energía Atómica, siendo también profesor titular en la Universidad Nacional de San Martín.

Se ha especializado en Ciencia e Ingeniería de materiales y se ha desempeñado también, como investigador y docente, en varias instituciones de Brasil y Canadá.

Si tomamos, por ejemplo, los datos que publica anualmente el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) (Tabla I), se prevé un aumento del 60% en el consumo de energía en los próximos 20 años. Este informe, que será tomado como base para este análisis, también predice que dicha demanda será satisfecha en base a nuevos descubrimientos de reservas de petróleo y gas, avances tecnológicos en el aprovechamiento de reservas de combustibles fósiles ya existentes, un aumento en la eficiencia de las plantas de generación de energía y la utilización de otras fuentes de energía.

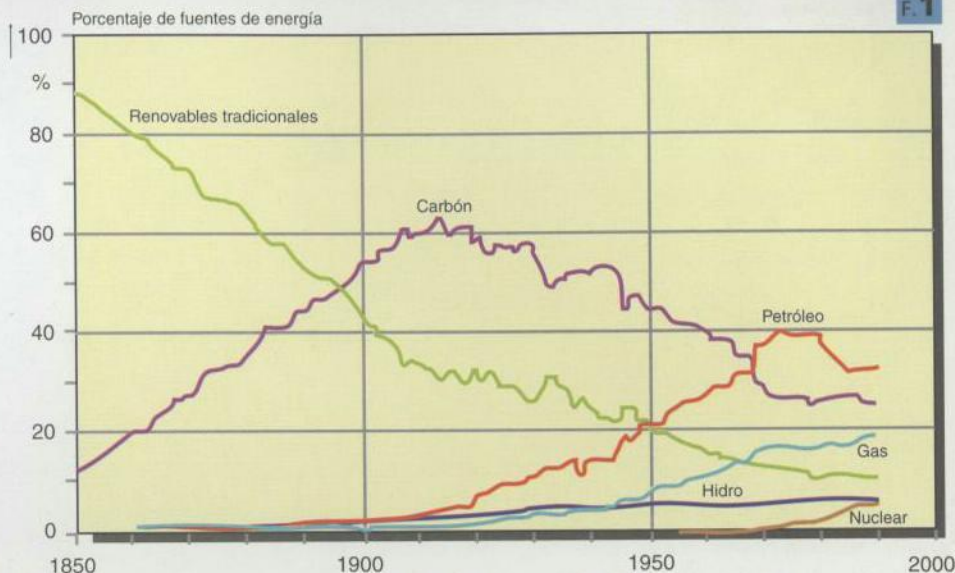
Expectativas de consumo de energía a nivel mundial

Todos los estudios acerca de las perspectivas de consumo de energía para las próximas décadas predicen que, aun con tasas de crecimiento económico relativamente bajas, se producirá un incremento sostenido en los requerimientos energéticos mundiales.

Tabla 1

Consumo mundial de energía (porcentaje del total)

Fuente de energía	1970	1993	2010	2015
Petróleo	47,3	39,0	37,9	37,4
Gas	17,5	21,5	23,8	24,6
Carbón	28,9	25,1	24,6	24,8
Nuclear	0,4	6,4	4,9	4,0
Renovables	5,9	8,0	8,8	9,2



Ciclos de reemplazo

Es interesante analizar la evolución del uso de las diferentes fuentes de energía a lo largo del tiempo. En los dos últimos siglos, se han producido sucesivamente ciclos de reemplazo de una fuente de energía por otras (Fig. 1). A mediados del siglo pasado, predominaba el uso de leña y residuos agrícolas. Esa fuente de energía fue desplazada por el carbón que, a su vez, fue sustituido por el petróleo. Todo indica que, en la actualidad, nos encontramos ante un desplazamiento del petróleo por el gas natural, no estando claro, a partir de la observación del gráfico, cuál será el combustible que podría reemplazarlo en el futuro.

Un nuevo factor: el medio ambiente

En 1992, 164 países firmaron en Río de Janeiro un acuerdo sobre cambios climáticos producidos por el efecto invernadero, que los comprometía a realizar esfuerzos para disminuir las emisiones de los gases que ocasionan dicho efecto.

Durante la cumbre ambiental realizada en Kyoto en diciembre de 1997, dichas metas fueron revisadas, proponiéndose entonces medidas menos ambiciosas. Este tema volverá a ser discutido en una reunión por realizarse en Buenos Aires en 1998.

Lo más importante que ocurrió en Kyoto fue un cambio de actitud de algunos países, tales como los Estados Unidos, que pasaron de discutir "si" debían tomarse medidas a discutir "qué" medidas deben tomarse.

Es obvio que existen dos factores en puja. Por un lado, la creciente sensibilidad pública por los temas ambientales puede forzar a una disminución en las tasas de contaminación. Por el otro, la magnitud de los intereses económicos involucrados puede retardar esa tendencia. Entre estos intereses económicos, debe contarse también la resistencia de la sociedad a un aumento del precio de la energía a pesar del interés profesado en la preservación del medio ambiente.

Debe observarse que en todos los casos, la transición de una fuente de energía a otra significó una menor contaminación por unidad de energía producida, efecto que, sin embargo, se ve superado por el aumento en el consumo total, produciendo un aumento neto en los niveles de contaminación. Ninguna de esas transiciones obedeció a la intención de reducir la contaminación sino que se produjeron debido a la incidencia de factores netamente económicos y tecnológicos.

El factor ambiental es, entonces, nuevo dentro de este contexto histórico. Si bien la transición del petróleo al gas tiene también una justificación económica, los argumentos de carácter ambiental pueden llegar a acelerarla. En efecto, la transición a una economía basada en el gas natural puede mitigar en alguna medida los efectos ambientales de la producción de energía. El gas natural produce aproximadamente un 50% menos de CO₂ que el carbón y un 25% menos que el petróleo.

La utilización de otras fuentes de energía no fósiles puede contribuir también a solucionar el problema del efecto invernadero. Sin embargo, no sería realista pensar que las mismas se tornen predominantes en las próximas dos o tres décadas.

Debe destacarse que el informe del DOE es excesivamente conservador en cuanto a su evaluación del impacto del factor ambiental, por lo que sus predicciones pueden ser consideradas como la hipótesis de mínima en cuanto al crecimiento de las energías renovables, pero no sería realista suponer en este momento que dicha predicción pueda ser superada en forma significativa.

De todos modos, aunque en términos porcentuales el incremento parezca pequeño, en valores absolutos existirá un aumento considerable en la utilización de las energías renovables. La posible contribución al total de producción de energía de cada una de ellas dependerá fuertemente de la competitividad económica que alcancen y/o de los incentivos que se puedan dar en los diferentes países para promover su utilización.

Existe un factor por tener en cuenta y que afecta la utilización masiva de este tipo de fuentes y es el hecho de que muchas de ellas (solar y eólica por ejemplo) no son fuentes continuas, lo que lleva a la necesidad de contar con sistemas de almacenamiento que encarecen la generación y, en algunos casos (como el de las baterías), introducen graves problemas ambientales.



Los que transformaron el mundo, reunidos por única vez.

De izquierda a derecha.

Parados: A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, Ed. Herzen, Th. De Donder, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin.

En el medio: P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P.A.M. Dirac, A.H. Compton, L.V. De Broglie, M. Born, N. Bohr.

Sentados: I. Langmuir, M. Planck, Madame Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, CH. E. Guye, C.T.R. Wilson, O.W. Richardson.

La imagen muestra a un grupo de notables científicos reunidos por única vez en Bruselas en 1927 en el 5º Congreso Solvay. Ellos fueron los que entraron en el conocimiento íntimo de las energías, ya que desarrollaron las principales leyes de la física y la química del siglo.

Los principales usos de energía se dan en el transporte, la generación eléctrica y la generación de vapor industrial. Las mayores contribuciones a la contaminación ambiental la produce el transporte, dada la ineficiencia en la utilización de la energía en esa actividad. Es posible esperar que, en las próximas décadas, los mayores avances se produzcan en este sector. En Estados Unidos y varios países de Europa existen programas para introducir el automóvil eléctrico y se están desarrollando otras alternativas tales como la utilización de gas, hidrógeno y celdas combustibles.

En el sector eléctrico, la mayor fuente de contaminación es el carbón mientras que, en términos generales, la generación de vapor industrial dista de ser eficiente. En estos últimos dos casos existe la posibilidad de mejoras substanciales en los próximos años.

Diferentes fuentes

Petróleo

El petróleo es la mayor fuente de energía en la actualidad con alrededor del 39% del total. El informe del DOE, mencionado anteriormente, predice que esa situación se mantendrá durante las próximas dos décadas. El mayor uso de gas natural y otras fuentes de energía disminuiría sólo en alguna medida la participación porcentual del petróleo en el mercado mundial. También se pronostica sólo un moderado aumento en el precio del mismo.

Se prevé también que la mayor parte del aumento en el consumo de petróleo se produzca en los países no miem-

bro de la OECD y se considera que el mercado del petróleo en los próximos 20 años estará caracterizado por una oferta suficiente para suplir la demanda, aun cuando la misma aumente. Esta conclusión se basa en la cantidad de reservas existentes y en las perspectivas en cuanto a la capacidad de expansión de la producción.

Puede preverse que serán realizados esfuerzos dirigidos a disminuir la contaminación, que pueden incluir formas alternativas de producción de energía a partir de combustibles fósiles.

Gas natural

Se espera que el gas natural consiga alcanzar un mayor porcentaje del consumo mundial de energía, prediciéndose que pasará de un 23% del total en 1993 a un 25% en 2015. El mayor crecimiento es esperado para los países europeos de la OECD y países en desarrollo de Asia y América Central y del Sur. El gas natural es una alternativa atractiva para países industrializados que están presionados para reducir la emisión de gases que producen el efecto invernadero.

Este combustible se constituye también en una buena elección para la construcción de nuevas plantas de generación eléctrica por su bajo costo inicial y cortos tiempos de construcción. También, las nuevas tecnologías de construcción de turbinas y el uso de ciclos combinados permiten disminuir los costos operativos.

Por ese motivo, se espera un incremento en la demanda de gas natural de alrededor del 76% hasta el año 2015, existiendo reservas suficientes que permiten hacer frente a esa demanda.

Para posibilitar ese aumento en el consumo de gas natu-

ral será preciso contar con la infraestructura apropiada para el transporte y almacenamiento. La construcción de esa infraestructura constituirá una de las actividades más importantes asociadas con esta fuente de energía en el período que se analiza.

Existe también un mercado limitado para el gas natural licuado, especialmente en aquellos lugares en que los métodos tradicionales de transporte no son posibles. Sin embargo, los costos asociados a este proceso reducen su viabilidad económica, especialmente con los actuales precios del petróleo. A pesar de ello, existen algunas señales de que el mercado para gas licuado puede aumentar.

En cuanto a las posibilidades de avances tecnológicos en este sector, las turbinas de gas y sistemas de ciclo combinados han incrementado substancialmente su eficiencia en la última década, por lo que cada vez se hace más difícil conseguir nuevos incrementos. Esto se debe a que se está llegando cerca del límite del rendimiento termodinámico característico de las máquinas térmicas. Pueden esperarse algunas mejoras como resultado, en su mayor parte, de la aplicación de la experiencia recogida con turbinas de aviación, lo que ya ha empezado a ocurrir. El desafío que se presenta es alcanzar mayor eficiencia disminuyendo al mismo tiempo el impacto ambiental.

Carbón

El carbón constituye una fuente de energía abundante y de costo relativamente bajo. Las proyecciones indican que su consumo aumentará en las dos próximas décadas en un 53.6% pero su contribución porcentual al total del consumo se mantendrá prácticamente constante. Los motivos de ese comportamiento son la mayor preocupación por la contaminación del medio ambiente y una mayor disponibilidad de gas natural. La mayor parte del consumo de carbón está asociada con la producción de electricidad.

Existen abundantes reservas de carbón, especialmente en la ex-Unión Soviética, los Estados Unidos y China. Han sido propuestos otros métodos de utilización del carbón que incluyen la producción, a partir del mismo, de sustitutos para el gas natural y de combustibles líquidos. Estos métodos se aplican en pequeña escala en algunos países pero no pueden competir con el petróleo y el gas natural. Sin embargo, dadas las grandes reservas de carbón existentes, deben ser tenidos en cuenta para el largo plazo cuando las reservas de gas natural y petróleo comiencen a agotarse.

Energía nuclear

Es la fuente de energía más concentrada que se utiliza en la actualidad, es decir, la que precisa menor cantidad de combustible por unidad de energía generada. La generación de energía eléctrica en plantas nucleares comenzó en la década del 60. En la actualidad, existen más de 30 paí-

ses con centrales nucleoelectricas generando, en promedio, un 20% de las necesidades de dichos países.

El Departamento de Energía ha analizado el futuro de la energía nuclear, considerando dos escenarios diferentes. Uno de ellos predice un aumento marginal de la utilización de la energía nucleo-eléctrica hasta el año 2010 seguido de una declinación hacia el 2015. En el segundo escenario, se prevé un incremento del 1,1% por año, sobre todo el período estudiado.

La indeterminación que surge del análisis es consecuencia de varios factores que afectan el futuro de la generación nucleoelectrica. En primer término, si se materializan los intentos, por ahora tímidos, de establecer algún freno a las emisiones de carbón, la energía nuclear aparece como una alternativa importante, que puede contribuir a solucionar el problema. Sin embargo, en la actualidad existe una notoria oposición a la utilización de la energía nucleo-eléctrica, con motivo de la imagen desfavorable en el público acerca de la seguridad, la gestión de residuos y las grandes inversiones de capital necesarias. El futuro de la energía nuclear depende del balance entre esos dos factores.

En algunos países, la opción nuclear es más inmediata que en otros por carecer los primeros de recursos fósiles propios. Tal es el caso del Japón y de Corea. En otros casos, tal opción no es tan clara para el futuro inmediato, especialmente en países con reservas abundantes de gas natural.

Cabe destacar que se están realizando grandes avances en cuanto al diseño de reactores, introduciendo nuevos conceptos de seguridad pasiva, una mayor eficiencia y costos de construcción y operación que los pueden hacer competitivos con otras fuentes de energía. También existen progresos importantes en la tecnología de gestión de residuos radiactivos. Es necesario destacar también que, junto con la energía hidroeléctrica, es la única alternativa con tecnología demostrada para producir energía en forma continua con combustibles no fósiles.

Fuentes renovables tradicionales

a) Energía hidroeléctrica

En forma similar a la energía nuclear, el creciente interés por la preservación del medio ambiente puede favorecer el crecimiento de la utilización de la energía hidroeléctrica. Sin embargo, el desarrollo de esta fuente de energía se ve desfavorecido por los bajos precios de los combustibles fósiles y los altos costos de capital de este tipo de generación. Se espera que la misma crezca a un ritmo del 2.6% por año hasta el 2015. Lo mismo ocurre con otras fuentes renovables tales como la solar, eólica y geotérmica.

Recursos hidroeléctricos serán desarrollados preferentemente en los países emergentes. En los países de la OECD, donde la mayor parte de dichos recursos ya han sido explotados, la atención se desvía hacia las otras fuentes

renovables. Sin embargo, el análisis del Departamento de Energía predice que, porcentualmente, la hidroelectricidad y otras fuentes renovables sólo aumentarán marginalmente (alrededor del 1%) su participación en el consumo mundial de energía.

b) Energía solar

Existen algunos proyectos de centrales termoelétricas (por ejemplo en Francia), que utilizan un sistema de espejos concentradores de la luz solar para alimentar una caldera donde se produce vapor que es aprovechado para generar electricidad. Dichas plantas alcanzan una eficiencia relativamente baja y tienen costos demasiado altos, habiendo presentado también numerosos problemas técnicos que deben resolverse. Constituyen, no obstante una posibilidad interesante que requerirá aún un esfuerzo de desarrollo tecnológico.

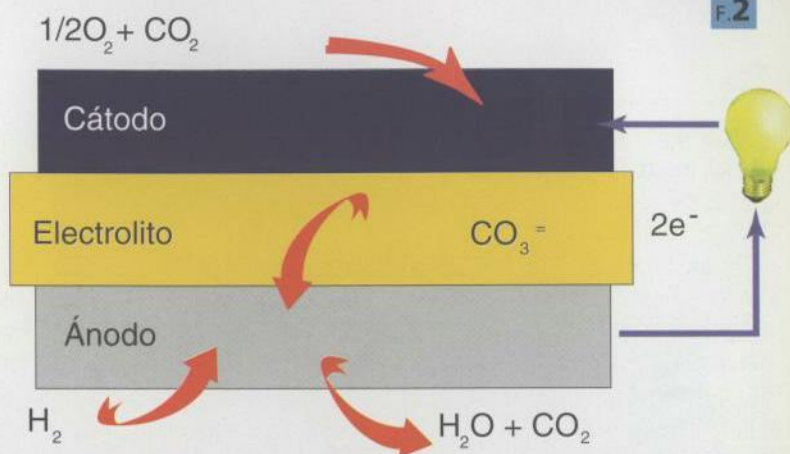
La mayor parte de los esfuerzos han sido concentrados en la generación fotovoltaica (celdas solares).

Si bien en las últimas décadas los costos de fabricación de celdas solares (esencialmente las de silicio) han disminuido considerablemente, dichos costos continúan siendo altos. Por otra parte, parece haberse llegado cerca del límite de eficiencia obtenible con esta tecnología sin que su costo sea competitivo con otras fuentes de energía eléctrica. La solar es energía muy "diluida", ya que en condiciones favorables el sol sólo puede proveer alrededor de 1 KW por metro cuadrado. Si no se consiguen eficiencias relativamente altas, el uso de este tipo de energía será limitado. Es necesario, por ese motivo, buscar soluciones alternativas para su aprovechamiento masivo.

c) Energía eólica

Entre los nuevos métodos de producción de electricidad, éste es el que está avanzando más rápidamente. La potencia disponible con un viento de 10 metros/segundo es de aproximadamente 600 W/m². De esta potencia es posible aprovechar, con los sistemas actuales, alrededor del 40%.

Se ha trabajado esencialmente con dos tipos de aerogeneradores: los de eje vertical y los de eje horizontal, y en los últimos años, la tendencia parece inclinarse hacia estos últimos. Son comercializados en una gama amplia de potencias que van hasta algunos megawatts. Los costos de generación han disminuido desde 100 centavos/Kilowatt-hora en 1975 hasta 5-6 centavos en la actualidad, estimándose que los mismos podrían disminuir aún más en los próximos años. Al igual que en otras fuentes de energía, los grandes avances tecnológicos realizados en las últimas décadas han permitido aumentar la eficiencia de los sistemas de generación hasta valores cercanos a los límites teóricos, por lo que resulta apropiado preguntarse si la actual



tecnología de generación eólica ha llegado a un grado de saturación y si serán precisos cambios conceptuales en el diseño de la próxima generación de generadores.

Buena parte de la producción de electricidad eólica está sujeta a regímenes de subsidios o a otros sistemas de promoción.

d) Otras fuentes renovables

El aprovechamiento del calor almacenado debajo de la corteza de la tierra abre posibilidades interesantes. La generación geotérmica puede dividirse en dos grandes grupos: de baja y de alta energía. En el primer caso, se aprovechan las capas de agua caliente subterránea, lo cual proporciona una fuente sumamente abundante pero de baja calidad energética. La de alta energía utiliza el vapor generado en las profundidades por concentraciones puntuales de calor y que puede ser aprovechado con tecnologías relativamente convencionales. En la mayor parte de los países, estos recursos no están bien explorados y puede considerarse que constituyen una reserva importante para el largo plazo. Su utilización requerirá importantes desarrollos tecnológicos.

Otro sistema de generación que puede estar disponible para el futuro mediano es la fusión nuclear. Los avances en este campo han sido relativamente lentos si se comparan con las predicciones que se hacían hace algunas décadas. Existen aún numerosos problemas tecnológicos por resolver para poder llegar a demostrar su viabilidad.

Se han realizado también grandes avances en el aprovechamiento de la bio-masa aunque todavía faltan resolver problemas técnicos y alcanzar su viabilidad económica.

Nuevas tecnologías

Hidrógeno

La idea de utilizar hidrógeno para la generación de energía no es nueva pero ha tomado nuevo ímpetu en los últimos años. Las dos propuestas principales que existen para el empleo del hidrógeno como combustible son: la generación a partir de gas natural o metanol o a partir de



la hidrólisis de agua.

Quizás la máxima atracción del hidrógeno lo da su capacidad para convertirse en un elemento almacenador y para el transporte de energía. Ya hemos comentado la limitación que se introduce en la utilización de energía eólica y solar debido a la imposibilidad de generar en forma continua. Una posibilidad es generar hidrógeno a partir de dichas energías el cual puede ser transportado al lugar de su utilización. Un proyecto piloto utilizando energía eólica para generar hidrógeno está en estudio en la pcia. de Buenos Aires, existiendo numerosos antecedentes en el exterior. Surge entonces el concepto de utilizar el hidrógeno como un vector energético, que está ganando adeptos día a día.

El hidrógeno puede ser utilizado en forma inmediata en motores de combustión interna para transporte automotor y existen ya algunos ensayos a nivel experimental inclusive en nuestro país. También se realizan estudios, por ejemplo por la empresa europea Airbus, para utilizarlo en turbinas para transporte aéreo.

Sin menospreciar sus excelentes posibilidades tanto para el almacenamiento y transporte de energía como para el transporte, una de las mejores perspectivas del hidrógeno surge de la posibilidad de utilizarlo para la producción de electricidad en celdas combustibles.

Celdas combustibles

Las celdas combustibles son dispositivos electroquímicos que permiten convertir hidrógeno en electricidad, con una alta eficiencia y en forma limpia, utilizando principios parecidos a los de una batería convencional. Al igual que en una batería (ver. Fig. 2), una celda combustible posee dos electrodos (ánodo y cátodo), en los cuales se produce una reacción electroquímica. Pero a diferencia de las baterías convencionales, su capacidad de generar energía no se agota, ya que puede ser "recargada" continuamente por la adición de hidrógeno y oxígeno.

En estos dispositivos, el hidrógeno es introducido en el ánodo, donde es absorbido por superficies activadas catalíticamente. El hidrógeno es ionizado entregando electrones que circulan por un circuito externo hacia el cátodo. Los iones de hidrógeno migran a través del electrolito. En la interfase entre electrolito y cátodo, el hidrógeno se combina con oxígeno, que es suministrado al cátodo, produciendo agua, el único subproducto de este tipo de generación.

Este proceso es posible a temperaturas que van desde alrededor de los 100 grados centígrados hasta alrededor de los 800 grados, dependiendo del tipo de celda utilizado.

Uno de los grandes atractivos de las celdas combustibles es que, por tratarse de conversión directa de energía química a energía eléctrica, no están sujetas a las limitaciones del ciclo de Carnot, como en el caso de la generación térmica de electricidad. De ese modo, es posible conseguir en la práctica, y a pesar del escaso desarrollo de estos dispositivos, eficiencias del orden del 60-70%. Además, por no tener partes móviles, su mantenimiento es sencillo.

Se construyen en forma modular, lo cual permite una amplia gama de aplicaciones, desde las móviles (ya existen camiones y ómnibus movidos por celdas combustibles), hasta plantas de generación eléctrica de cientos de megawatts.

Como se dijo anteriormente, es posible utilizar en las celdas hidrógeno producido por electrólisis o extraído del gas natural. Este último proceso es más económico por lo que es probable que sea el más utilizado en forma inmediata. En efecto, ya existen plantas de demostración de algunos MW que consumen hidrógeno obtenido a partir de gas natural (Fig. 3).

Si bien es cierto que esto no elimina la contaminación ambiental ya que el proceso de reforma del gas natural para extraer hidrógeno produce CO_2 , por el hecho de aumentar la eficiencia en la utilización del gas, produciría un efecto menor en el medio ambiente que la utilización del gas para la generación térmica.

Por ese motivo, hay quienes suponen que el gas natural servirá como un paso intermedio hacia la utilización masiva del hidrógeno generado por electrólisis como combustible.

Están siendo estudiados varios tipos de celdas combustibles:

- Celdas Alcalinas (AFC), que operan con hidrógeno y oxígeno puros por ser sensibles al CO_2 . Su temperatura de operación es de entre 0 y 80 grados centígrados.
- Celdas de electrodos poliméricos (PEM), que funcionan con hidrógeno y aire a temperaturas entre 0 y 140 grados centígrados.
- Celdas de ácido fosfórico, las más desarrolladas para aplicaciones móviles.
- Celdas de carbonato fundido, las que pueden funcionar con gas natural a temperaturas de alrededor de 600 grados centígrados. Existen celdas de este tipo de 1MW de potencia a nivel de planta de demostración para aplicaciones estacionarias.
- Celdas a base de óxidos sólidos, que operan a temperaturas de 800 a 1000 grados y son consideradas como altamente promisorias, también para aplicaciones estacionarias.

A pesar de la intensa actividad en este campo, todavía ha sido investigada sólo una pequeña fracción de las reacciones de conversión electroquímica que pueden ser utilizadas. También existen grandes posibilidades de innovación en el diseño de las celdas.

El futuro de las nuevas fuentes ¿Competencia o asociación?

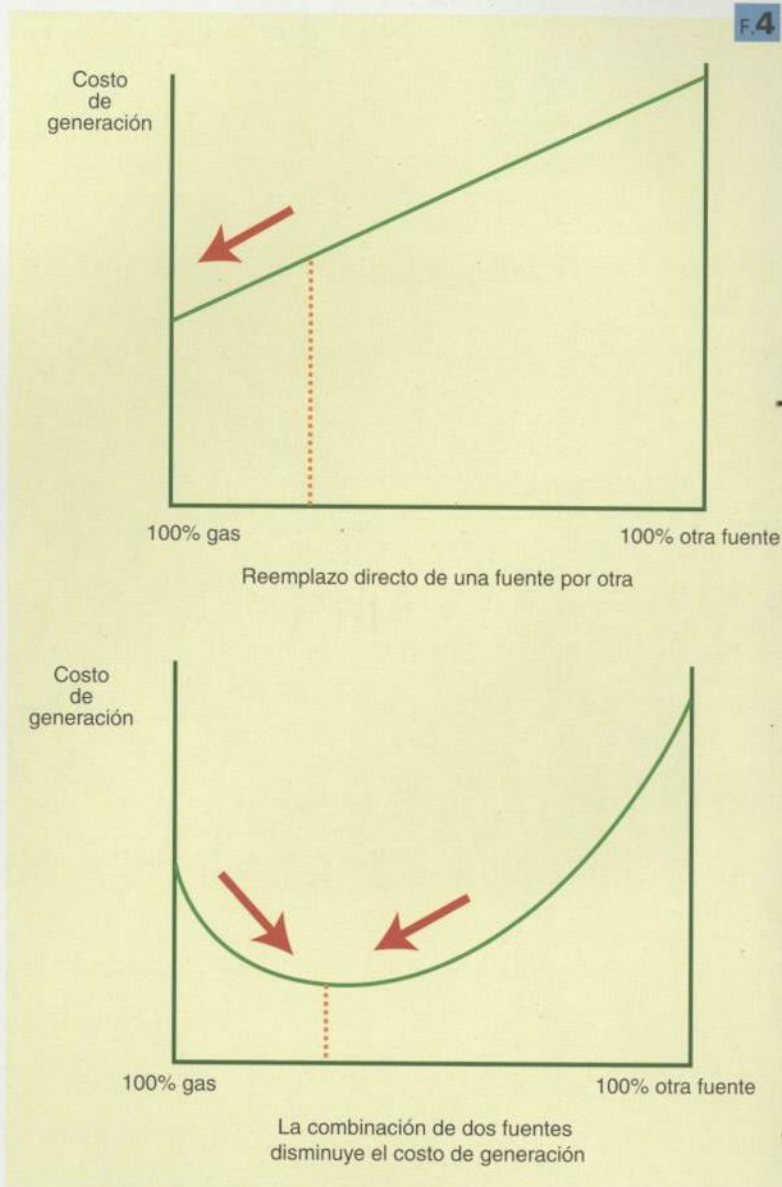
Las principales alternativas que se han sugerido a los efectos de disminuir el efecto invernadero consisten en reemplazar parcialmente los combustibles fósiles por otros sistemas menos contaminantes. Dado el bajo costo actual de los combustibles fósiles, todas las alternativas posibles tienen costos más elevados de modo que se necesitaría una política de subsidios o de precios regulados para mantenerlas.

La experiencia muestra que este tipo de solución no es sostenible en el largo plazo, ya que la tendencia será a evolucionar hacia el combustible que resulte más barato (Fig 4).

Una solución estable es el desarrollo de sistemas que permitan realizar un reemplazo parcial de los combustibles fósiles, y al mismo tiempo, reducir el costo total de generación de energía (Fig. 5) satisfaciendo a su vez requerimientos ambientales y económicos.

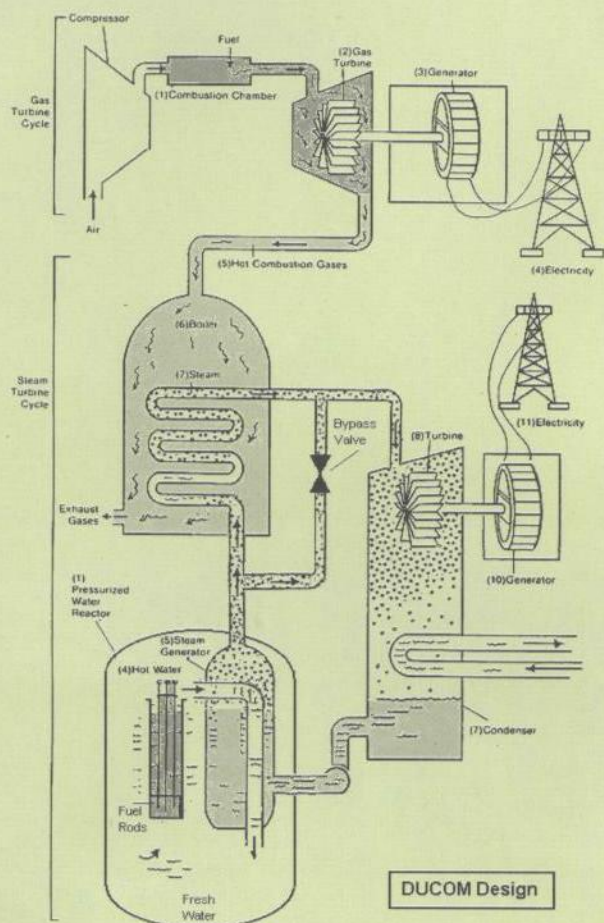
Sinergia de diferentes fuentes: un ejemplo

Si se calculan los costos de las distintas formas de generación de energía eléctrica en la Argentina, se encuentra que la forma más competitiva es el gas. Pero si se calcula



cuál de estas genera el calor más barato, se llega a la conclusión de que es la energía nuclear. Los actuales reactores nucleares tienen limitaciones en la conversión de calor a electricidad, por lo que la energía resultante es más cara que la que se obtiene con turbinas de gas (con un calor más caro, pero con una eficiencia de conversión mayor).

Teniendo en cuenta estas características de las dos fuentes de energía mencionadas, ha sido propuesto recientemente por técnicos de la Comisión Nacional de Energía Atómica el concepto DUCOM. En este sistema se optimiza el rendimiento de una central eléctrica de gas de ciclo combinado (las más competitivas en la actualidad), sobrecalentando los gases de combustión de la turbina de gas con el calor proveniente de un reactor nuclear. Esto se encuentra esquematizado en la figura 5. Es posible construir



utilizando esta idea, una central que resulte aún más barata que las modernas turbinas de gas pero con la mitad de contaminación por emisión de dióxido de carbono (causante del efecto invernadero).

Consideraciones finales

El concepto DUCOM merece ser tenido en cuenta porque introduce una idea nueva para el futuro del parque de generación energética. No es el único ejemplo que se puede dar. La utilización del hidrógeno en conjunción con fuentes discontinuas de energía, tales como la eólica y la solar, es parecido conceptualmente al aprovechamiento de la sinergia nuclear-gas. También han sido investigadas, por ejemplo, centrales eléctricas que combinan turbinas de gas con generación termo-solar.

Las posibilidades que se abren para la aplicación de este concepto en el área de transporte son tal vez aún mayores

que para la generación eléctrica, dada la ineficiencia en el aprovechamiento de la energía, característica de este sector.

En resumen, el panorama para las próximas décadas presenta grandes desafíos. Por un lado, los combustibles fósiles tradicionales parecen tener asegurado el predominio en ese período pero se anticipa una mayor presión para tomar en consideración los efectos sobre el medio ambiente.

Por otra parte, la creciente sensibilidad ambientalista implantada en la sociedad tenderá a favorecer el crecimiento de fuentes renovables de energía, aunque esto implique el establecimiento de subsidios u otras formas de status privilegiado. Como ha sido comentado anteriormente, este tipo de protección suele no ser sostenible por períodos prolongados.

Se abren dos posibilidades para las fuentes no fósiles de energía: mejorar su tecnología para producir energía a costos menores que los combustibles fósiles o, como se ha visto anteriormente, aprovechar posibles efectos de sinergia entre diferentes fuentes, pero especialmente con los combustibles fósiles debido a su bajo costo actual, para producir energía con costos competitivos.

Se abren entonces grandes posibilidades para crear nuevos conceptos de generación de energía que permitan no sólo una buena rentabilidad sino también una contribución a mejorar la calidad de vida de la sociedad a través de la protección del medio ambiente.

Por último, es interesante analizar las diferencias que se presentan en los diferentes países con respecto a las futuras restricciones a las emisiones de gases responsables del efecto invernadero. Para los próximos años, se prevé que las metas por ser impuestas serán relativamente modestas. En los países industrializados, que ya tienen un altísimo índice de consumo de energía por habitante, estas metas podrán ser alcanzadas, en buena parte, con un uso más racional de la energía que el actual, ya que el crecimiento en el consumo será relativamente moderado. Por su parte, los países en desarrollo, entre los cuales se encuentra el nuestro, se verán obligados a aumentar sensiblemente los niveles de producción de energía, para poder alcanzar sus metas de desarrollo industrial. Para lograr mantener este crecimiento, satisfaciendo al mismo tiempo las normas internacionales de limitación de emisiones, deberán realizar cambios más profundos en su parque de generación de energía que los países industrializados. Por ese motivo, es posible que la aplicación de las nuevas tecnologías se dé primero en los países en desarrollo que tendrán a su vez la necesidad de contribuir al desarrollo de dichas tecnologías y de adaptarlas a sus condiciones locales.