

El gas natural: ¿nuevo vector energético?

Andrés A. Amell Arrieta*, John R. Agudelo Santamaría*
y Francisco J. Cadavid*

(Recibido el 28 de marzo de 2001)

Resumen

La historia de la energía se ha caracterizado por la irrupción cíclica de paradigmas energéticos que inducen transformaciones con grandes impactos económicos y sociales. El advenimiento de un paradigma energético es resultado de la conjunción de varios factores que operan simultáneamente y se retroalimentan entre sí: disponibilidad de un recurso energético, innovaciones tecnológicas en los sistemas de conversión energética y exigencias del contexto económico, social y más recientemente, el factor ambiental.

En este artículo a la luz de los factores anteriores se examina por qué el gas natural se está constituyendo en un nuevo vector energético en la economía y por qué se perfila como el componente fundamental de la matriz energética mundial en las próximas décadas.

----- *Palabras clave:* gas natural, prospectiva energética, energía, energía y tecnología, energía y ambiente.

Natural gas: new energy vector?

Abstract

Energy history has been characterized by a cyclic irruption of energetic paradigms. This situation induces transformations with great economical and social impacts. A new energetic paradigm comes to scene as a result of several simultaneous acting and feedback factors: primary energy availability, technology innovation in energy conversion systems and environmental, economical and social policies even more restrictive.

This paper examines the natural gas as a new energy vector in a world context and justifies the natural gas a fundamental component in the world energy matrix for the next decades.

----- *Key words:* natural gas, energy prospective, energy, energy and technology, energy and environment.

* Miembros del Grupo de Ciencia y Tecnología de Gas y Uso Racional de la Energía. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. anamell@udea.co.

Introducción

Desde los albores de la humanidad hasta hoy la energía ha sido soporte del progreso material y la mejor calidad de vida. Así como la sociedad ha experimentado grandes transformaciones en su devenir histórico, los sistemas energéticos han evolucionado a un ritmo caracterizado por la irrupción de nuevos paradigmas energéticos, los cuales adquieren vigencia en un período determinado de tiempo, inducen cambios significativos en el desarrollo económico y social.

Una revisión a los principales hitos en la historia de la energía, advierte que el advenimiento de un nuevo paradigma energético es el resultado de la conjunción de una serie de factores que se complementan y retroalimentan entre sí. Estos factores tienen que ver con la disponibilidad y viabilidad técnica y económica de una fuente de energía hasta esos momentos intrascendente o no descubierta, con la aparición de nuevas tecnologías de transformación energética y con renovadas exigencias del contexto económico y social y más recientemente las políticas ambientales. Esa complementariedad de factores en la revolución industrial se vio reflejada en la relación entre el carbón y la máquina de vapor, y posteriormente entre los derivados del petróleo y los motores de combustión interna: diesel, otto y turbina de gas.

La vigencia de un paradigma energético no necesariamente termina con la no agotabilidad de la fuente primaria que sirvió de base, así por ejemplo, la era del carbón se terminó sin que éste se acabara. Esta evidencia, permite señalar que la existencia o disponibilidad de un determinado recurso energético, por sí sola no condiciona el surgimiento de un nuevo paradigma energético, conviene insistir entonces, que es la simultaneidad y complementariedad de los factores señalados los que crean las condiciones para la aparición de nuevos paradigmas energéticos.

Apenas en las tres últimas décadas del siglo anterior, la atención mundial comenzó a desplazarse desde la preocupación por la agotabilidad de los recursos energéticos fósiles (principalmente del petróleo) hacia la preocupación por los impactos

ambientales provenientes de los sistemas energéticos, así se constituyeron los acuerdos de la cumbre de Kyoto, en la que los países desarrollados se comprometen a reducir las emisiones de CO_2 a las de nivel de 1990, el cual fue el hecho más significativo. La preocupación por lo ambiental es un nuevo factor para considerar en los estudios de prospectiva energética en lo relativo al advenimiento de nuevos paradigmas energéticos. Sin duda este factor será determinante en la evolución de los sistemas energéticos en el siglo XXI [1-3].

A la luz de las consideraciones anteriores, en este trabajo se examinan los factores que están haciendo posible que el gas natural se erija como un nuevo vector energético y establezca un nuevo paradigma energético de transición hacia una base energética mundial descarbonizada, que tendrá como actor principal el hidrógeno [3-4].

Origen, naturaleza y composición del gas natural [5-7]

El gas natural se origina en el material orgánico que quedó sepultado en las entrañas de la tierra durante millones de años y que debido a la elevada temperatura y presión formó los hidrocarburos y en algunos casos quedaron en fase gaseosa. El gas natural es un hidrocarburo esencialmente constituido por el metano (CH_4), con una pequeña proporción de otros hidrocarburos saturados como etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}); también es posible la presencia de gases inertes como el dióxido de carbono (CO_2) y el nitrógeno (N_2). El metano puede ser el hidrocarburo más abundante en la tierra debido a: abundancia en el sistema solar (es el mayor componente en las atmósferas de Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón y en los satélites planetarios Titan y Triton), la disponibilidad en la litosfera terrestre y las grandes cantidades de hidratos en los océanos [4].

Como ilustración, en la tabla 1 se presenta la composición de los yacimientos de gas natural más importantes en Colombia. Las principales fuentes de gas natural son: gas asociado a los yaci-

mientos de petróleo, yacimientos de gas libre, lechos de carbón e hidratos en los océanos; actualmente al nivel mundial la disponibilidad comercial de gas natural depende de las dos primeras. El gas asociado a un yacimiento de petróleo coexiste con este en forma disuelta, dispersa o segregada; por mucho tiempo en la industria petrolera el gas natural no se explotaba comercialmente, el producto principal era el petróleo. En un yacimiento de gas sólo se encuentra gas natural y, hasta hoy, el hallazgo de estos ha sido menor que el de los asociados.

Tabla 1 Composición típica de yacimientos de gas natural (ACOGÁS)

	<i>Guajira (libre)</i>	<i>Cusiana (asociado)</i>
Metano	97,76	76,55
Etano	0,38	10,86
Propano	0,20	5,36
i-Butano	0	0,68
n-Butano	0	0,78
i-Pentano	0	0,13
n-Pentano	0	0,08
Hexano	0	0,05
Heptano	0	0
n-Octano	0	0
Hidrógeno	0	0
Nitrógeno	1,29	0,44
Oxígeno	0	0
CO ₂	0,37	5,07

Por mucho tiempo en la industria petrolera el gas natural fue considerado como un subproducto más, lo cual condujo en muchos países al manejo de este recurso energético como parte de la política petrolera. Sin embargo, el gas natural es física, química y geológicamente diferente del petróleo, diferencias que tienen efectos económicos, ambientales, tecnológicos y geopolíticos diferentes. En la tabla 2 se presentan las principales diferencias físicas y químicas entre el gas natural y el petróleo. En la figura 1 se muestran la

estructura molecular del gas natural, petróleo y carbón.

Tabla 2 Diferencias físicas y químicas entre el petróleo y el gas (compilación del Grupo de Ciencia y Tecnología del gas)

Combustible	Gas natural	Petróleo
Relación hidrógeno-carbono	4	2,2
Energía proveniente del carbono	1/2	3/4
Energía proveniente del hidrógeno	1/2	1/4
Tipo de combustión	Homogénea	Heterogénea
Requerimiento de aire para combustión completa	Menor	Mayor

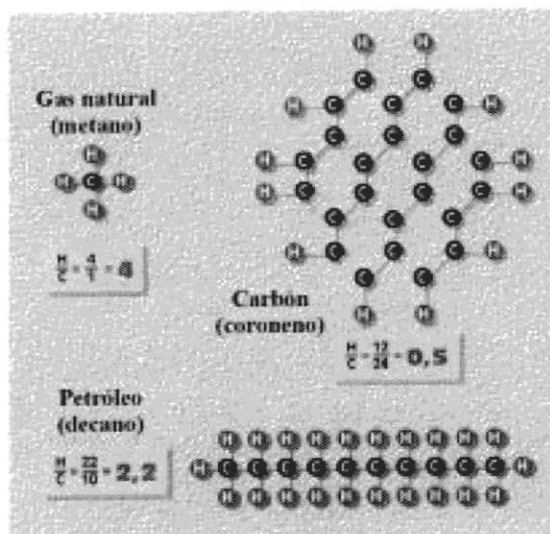


Figura 1 Estructura molecular del gas natural, petróleo y carbón (Eurcogás)

La cadena tecnológica del gas natural está constituida por el conjunto de operaciones a que debe someterse antes de usarlo. Después de extraerlo

del yacimiento se trata para eliminar componentes considerados contaminantes como el vapor de agua, el dióxido de carbono e hidrocarburos pesados, los cuales pueden generar problemas de corrosión y pérdidas de capacidad de transporte de energía en los gasoductos. La figura 2 es una representación esquemática de la cadena tecnológica. Como puede observarse el gas

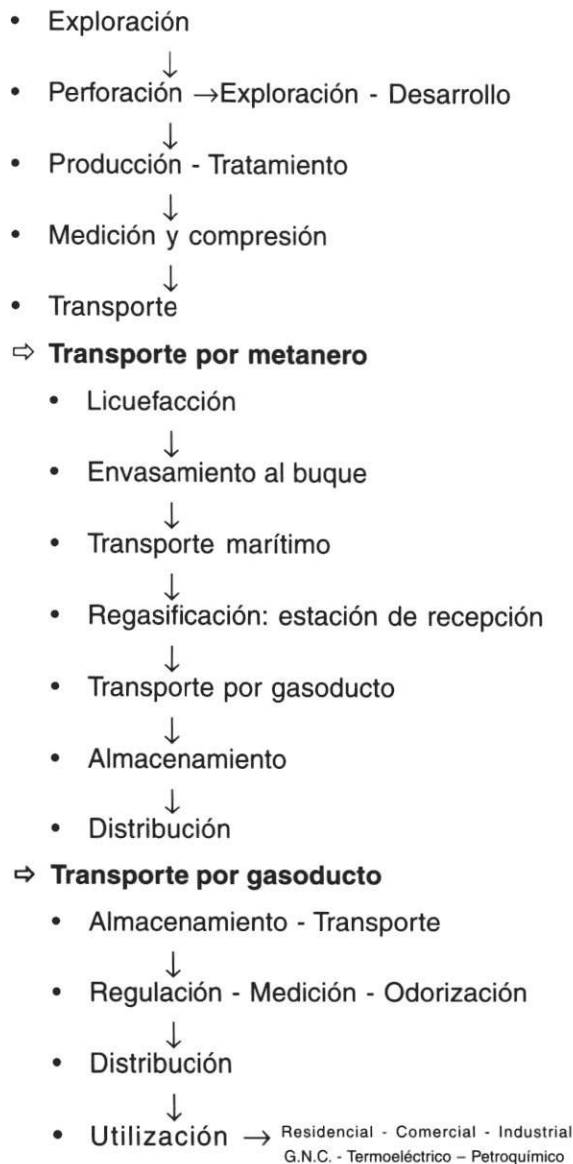


Figura 2 Cadena tecnológica del gas natural

natural puede ser transportado por gasoducto en fase gaseosa a presiones elevadas, como también en forma líquida en buques metaneros a bajas temperaturas, el metano licúa a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica, ello se realiza cuando se tiene grandes distancias interoceánicas y los volúmenes son muy grandes. en buques metaneros a bajas temperaturas, el metano licúa a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica, ello se realiza cuando se tiene grandes distancias interoceánicas y los volúmenes son muy grandes.

Los usos del gas natural pueden ser energéticos y no energéticos. Cuando se usa con propósitos no energéticos se constituye en materia prima para la obtención de urea, hierro esponja y metanol. Los principales usos energéticos del gas natural son:

- Fuente de calor en cocción, calefacción, acondicionamiento de aire y producción de agua caliente en los sectores comercial y residencial.
- Fuente de calor en procesos de secado, calentamiento de fluidos térmicos, refrigeración y aire acondicionado en el sector industrial. Una aplicación que cada día toma más importancia es en la cogeneración de energía.
- Como fuente de energía primaria en la generación de electricidad a través de plantas de vapor, turbinas de gas y ciclos combinados.
- Como combustible motor en vehículo de transporte urbano, usando motores duales, bicom bustibles y de dedicación exclusiva.

Geopolítica y comercio internacional del gas natural [8-10]

A diferencia del petróleo el del cual el 60% de las reservas mundiales están localizadas en el 1% de la superficie terrestre, el gas natural está más uniformemente distribuido. En la tabla 3 se presenta la distribución por países de las reservas de gas natural y en la figura 3 por regiones. Esta distribución plantea una geopolítica diferente a la del petróleo, debido a que, a excepción de Rusia, la

participación de los demás países es comparable y también a la diversidad de fuentes de suministro localizadas en diferentes regiones del planeta.

Tabla 3 Quince primeros países con mayores reservas de gas natural (International Gas Union, statistical data)

País	Reservas (10¹²m³)	% mundial probadas
USSR	52,0	53,0
Irán	17,0	17,0
Abu Dhabi	5,2	5,2
Saudi Arabia	5,2	5,2
USA	4,7	4,8
Qatar	4,6	4,6
Venezuela	3,0	3,4
Algeria	3,2	3,3
Iraq	3,1	3,1
Nigeria	2,8	2,8
Canadá	2,7	2,8
Indonesia	2,6	2,6
Norway	2,3	2,3
Australia	2,1	2,1
México	2,1	2,0
Otros (70 países)	17,6	17,6
Total mundial	130,2	131,8
		100%

En los últimos treinta años ha ocurrido un incremento importante de las reservas y producción de gas natural a escala mundial, como puede observarse en la tabla 4, por lo que la relación reserva/producción ha pasado de 32 años en 1970 a 58 años en 1998, lo cual muestra el crecimiento y dinamismo de este recurso energético en la

canasta energética mundial. Conviene aclarar que, hasta hoy, la mayoría de hallazgos se han encontrado buscando petróleo, se espera que con la introducción de nuevas tecnologías de exploración exclusivas para gas natural, las reservas experimenten mayor aumento significativo en los próximos años.

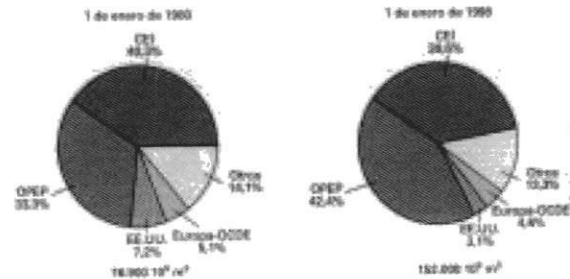


Figura 3 Porcentaje de reservas de gas natural en el mundo (SEDIGÁS)

En los últimos treinta años ha ocurrido un incremento importante de las reservas y producción de gas natural a escala mundial, como puede observarse en la tabla 4, por lo que la relación reserva/producción ha pasado de 32 años en 1970 a 58 años en 1998, lo cual muestra el crecimiento y dinamismo de este recurso energético en la canasta energética mundial. Conviene aclarar que, hasta hoy, la mayoría de hallazgos se han encontrado buscando petróleo, se espera que con la introducción de nuevas tecnologías de exploración exclusivas para gas natural, las reservas experimenten mayor aumento significativo en los próximos años.

Es indiscutible, no obstante la crisis petrolera en el decenio del 70, que el petróleo ha continuado como el energético que mueve la economía mundial. Sin embargo, una comparación entre las producciones comercializadas de petróleo y gas natural en los últimos treinta años (ver figura 4) señala que el gas natural ya representa un importante orden de magnitud en la comercialización de energía primaria en el mercado internacional: 56,2% del petróleo en 1997.

Tabla 4 Evolución de la relación reserva-producción de gas natural en el mundo (SEDIGÁS)

<i>Reservas probadas y producción extraída en el mundo</i>			
Año	Reservas (10⁹ m³)	Producción extraída (10⁹ m³/año)	Relación: reservas /producción (Años)
1970	39.443	1.245,4	32
1975	63.067	1.488,9	42
1980	76.871	1.741,4	44
1985	96.332	1.933,8	50
1990	129.318	2.288,4	57
1995	147.119	2.445,1	60
1997	150.765	2.563,6	59
1998	151.964	—	—

La participación del gas natural en la matriz energética de muchos países representa una proporción importante de 20 al 48%, en esta situación se encuentran países como Alemania e Italia que no tienen o no poseen reservas importantes, por lo que el suministro lo garantizan a través de importaciones.

Los mayores países exportadores de gas natural son Rusia, Canadá, Argelia, Noruega e Indonesia,

en la tabla 5 se presentan los mayores exportadores en el año 2000. Rusia, Argelia y Noruega suministran el gas natural a los países Europeos importadores; Canadá exporta gas a Estados Unidos, e Indonesia es el principal suministrador del Japón. En tabla 6 se listan los principales países importadores de gas natural en el año 2000.

Las reservas de gas natural en América Latina representan el 5% de las reservas mundiales, las

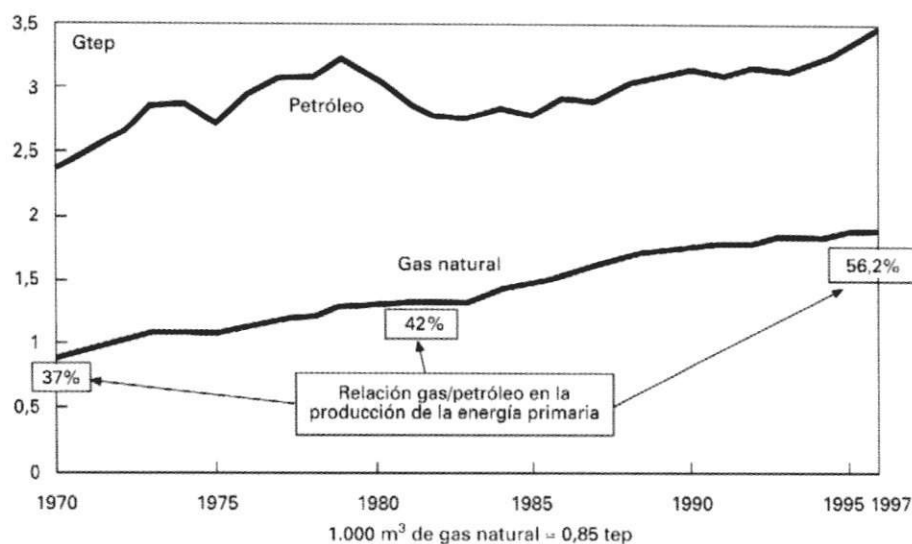


Figura 4 Evolución de las producciones comercializadas de petróleo y de gas natural en el mundo (SEDIGÁS)

Tabla 5 Mayores exportadores de gas natural en el mundo en los últimos años (International Gas Union)

País	Exportaciones (PJ)			
	2000	1999	1990	1980
Rusia	6.224	7.701	4.310	2.075
Canadá	3.973	3.699	1.570	880
Argelia	2.442	2.395	1.222	258
Noruega	2.004	1.884	989	1.014
Indonesia	1.400	1.590	1.073	447
Holanda	1.267	1.232	1.365	1.870
Malasia	899	878	335	0
Katar	548	317	0	0
Gran Bretaña	543	349		
Australia	429	422	154	0
Alemania	285	200	45	0

Tabla 6 Mayores importadores de gas natural en el mundo en los últimos años (International Gas Union)

País	Importaciones (PJ)			
	2000	1999	1990	1980
Estados Unidos	4.225	3.939	1.670	1.090
Alemania	2.925	2.880	2.240	1.735
Japón	2.921	2.814	1.870	890
Italia	2.189	1.885	1.206	550
Francia	1.697	1.650	1.152	795
Ucrania	990	2.141	3.271	
Corea	783	712	121	
Bélgica	766	678	376	408
España	719	647	191	72
Turquía	551	463	0	0

cuales se localizan principalmente en Venezuela, Argentina, México, Trinidad y Tobago, y Bolivia, y el mercado más desarrollado es el del cono sur, con importantes interconexiones desde los principales suministradores (Argentina y Bolivia) a grandes consumidores como Brasil y Chile [11].

En la tabla 7 se presenta la estructura del consumo de gas natural en el mundo por regiones, como puede observarse no se registran cifras para el sector transporte, si bien el consumo aun no es importante, se espera que en los próximos años represente un segmento significativo de la demanda, ello motivado por razones ambientales y avances tecnológicos como los motores de combustión interna de nueva generación que utilizan como combustible motor el gas natural.

¿Por qué el gas natural como nuevo vector energético?

Examinaremos en este apartado los factores que a nuestro juicio sustentan la irrupción de un nuevo paradigma energético, para entender por qué el gas natural es considerado un nuevo vector energético y fuente primaria de energía para la transición hacia una base energética descarbonizada en función del hidrógeno y las energías renovables. A manera de ilustración en la figura 5 se presenta la evolución y prospectiva de los sistemas energéticos de acuerdo con estudios de US Geological Survey, que como se observa sitúan al gas natural durante las primeras cuatro décadas del siglo XXI como el principal energético de la economía mundial [3-4].

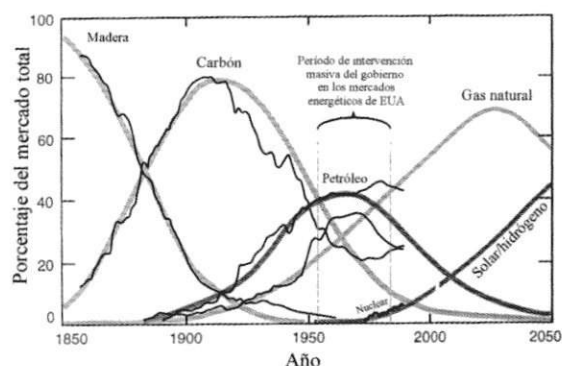


Figura 5 Evolución y prospectiva energética en el mercado mundial de energía (Energy Future Gas)

Tabla 7 Estructura del consumo de gas natural en el mundo durante 1966 por sectores, estimado en % (International Gas Union)

	<i>Centrales eléctricas</i>	<i>Sector Energético Excepto centrales eléctricas</i>	<i>Industria (excepto materia prima)</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Residencial comercial terciario y otros</i>
Norteamérica	11,6	12,9	34,6	3,4	37,5
Latinoamérica	23,5	20,5	30,7	10,3	15,0
Europa OCDE	19,2	5,5	25,5	4,3	45,5
Europa Central	16,9	17,2	32,4	9,8	23,7
CBI	35,8	15,6	28,0	4,0	16,6
África	43,5	26,0	16,0	5,0	9,5
Oriente Medio	32,1	26,3	26,5	10,1	5,0
Japón	37,4	30,5	1,6	0,5	—
Australia/ N. Zelanda	21,7	25,8	33,1	1,9	17,5
Sureste Asiático	40,0	16,8	25,0	10,0	8,2
Mundo (10 ⁶ TEP sobre el P.C.I.)	487	286	550	96	501

Por paradigma energético se entiende la irrupción simultánea de una nueva fuente primaria de energía y con ésta un conjunto de innovaciones tecnológicas para su exploración, transporte, almacenamiento, distribución y conversión a otras formas de energía. La disponibilidad del nuevo recurso energético por sí solo no garantiza el establecimiento del nuevo paradigma, se requiere de la ocurrencia simultánea de un conjunto de innovaciones, que lo hacen viable técnica, económica y, más recientemente, ambientalmente.

Los factores que a nuestro juicio hacen posible el establecimiento de un nuevo paradigma energético en la sociedad y la economía son los siguientes:

- Disponibilidad de una nueva fuente primaria de energía.

- Innovaciones tecnológicas que hacen viable técnica y económicamente al nuevo energético y potencian la sustitución del sistema energético vigente.
- Dinámica de la economía y renovados requerimientos sociales y recientemente los factores ambientales.

Disponibilidad del gas natural

Actualmente existen reservas probadas importantes y un gran potencial para nuevos descubrimientos; a juicio de expertos son mayores las expectativas de encontrar gas natural que petróleo [12]. El gas natural es un recurso más uniformemente distribuido en el planeta con una geopolítica diferente a la del petróleo, el 50% de las reservas se encuentran en países en desarrollo. Es

significativa la penetración de gas natural en la canasta energética mundial en los últimos veinte años, pues representa el 23% promedio mundial de la energía primaria y más del 40% en varios países [8-10].

Compatibilidad de recientes innovaciones tecnológicas con el gas natural

En los últimos diez años han venido apareciendo muchas innovaciones tecnológicas en exploración, transporte, distribución, almacenamiento y conversión a otras formas de energía que son más compatibles y viables con gas natural, que con cualquier otro vector energético [13-18]. Estas innovaciones garantizan alta eficiencia y gran flexibilidad en el uso del gas natural y mejoran su competitividad en los mercados energéticos; a manera de síntesis estas innovaciones pueden presentarse así:

Transporte

Desarrollo de nuevos materiales para la construcción de tuberías de menor espesor con mayor resistencia mecánica, con lo cual se pueden operar gaseoductos a mayor presión transportando mayor cantidad de energía y con tiempo de construcción menores [18]. La densidad de potencia, esto es, mayor transporte de energía con menos peso o tamaño, es un factor de competitividad determinante.

Otro desarrollo tecnológico en el transporte tiene que ver con el incremento de la capacidad de volumen de los buques metaneros, con cual se logra mayor crecimiento del comercio internacional de gas natural entre productores y consumidores que requieren transportar grandes cantidades de energía a grandes distancias interoceánicas.

Disponibilidad de tecnologías de alta eficiencia para la transformación a otras formas de energía

En generación eléctrica se han introducido turbinas de gas de alta eficiencia, que con la imple-

mentación de calderas de recuperación de calor de varios niveles de presión del vapor, permiten lograr ciclos combinados con eficiencias del orden del 60% [19-20]. Otra trayectoria tecnológica, aún en escala de laboratorio, es la implementación de turbinas de gas de nueva generación de muy alta eficiencia, comparables a las de los ciclos combinados actuales con lo cual estos no serían necesarios y por tanto se reducirían significativamente los costos de inversión en la instalación de centrales térmicas de gas [21].

Disponibilidad de tecnología en aplicaciones vehiculares [22-24]

El gas natural puede ser usado en motores de encendido provocado bajo diferentes configuraciones. Una de ellas, concebida como de interfase o transición hacia el uso exclusivo, es la conversión bicombustible. Esta ha sufrido transformaciones tecnológicas que han sido clasificadas según la generación de los vehículos de primera a cuarta, constituyendo esta última el estado actual de desarrollo, mediante la implementación de un riel de inyección a presión del gas natural vía inyectores de gasolina, utilizando una central electrónica auxiliar que se comunica con la que trae el vehículo de fábrica.

Otra configuración, la más usada en los países desarrollados, son los motores diseñados para trabajar exclusivamente con gas natural, aprovechando sus propiedades de combustión (limpieza, elevado número de octano, velocidad de deflagración, energía de ignición, etc.). Estos motores surgieron como desarrollo de los motores de gasolina, por eso la primera familia fueron los de mezcla estequiométrica y catalizador de tres vías. Sin embargo, recientemente se ha presentado un desarrollo novedoso de los llamados motores de quemado pobre sin uso de catalizador. Este tipo de motores permite usar relaciones de compresión más elevadas que el anterior, mejorando así su rendimiento de conversión de combustible y disminuyendo ostensiblemente las emisiones de NOx debido al uso de exceso de aire que llega al 100% en algunos casos [22-24].

Disponibilidad de tecnología en aplicaciones industriales [13-17]

Para aplicaciones industriales como fuente de calor en procesos de alta y baja temperatura se está introduciendo una nueva generación de equipos térmicos de alta eficiencia y flexibilidad que mejoran la productividad y competitividad de las empresas, algunas de estas innovaciones son las siguientes:

- Sistemas de combustión radiante donde se aprovechan las ventajas de la transferencia de calor por radiación de fuentes radiantes que se calientan con los productos de combustión del gas natural. Debido a que se reducen los tiempos, a la rapidez de transferencia ya que la radiación es una onda electromagnética que se difunde en cualquier medio, y a la no contaminación de los productos, esta tecnología cada día es más importante en procesos de tratamiento térmico y secado.
- Sistemas de combustión con recuperación de calor, donde se aproveche las ventajas del gas natural de no producir óxidos de azufre, pudiéndose enfriar los gases de combustión hasta la temperatura de rocío, de tal forma que se pueda recuperar energía sensible y latente, con lo cual se incrementa la eficiencia. Con estas características se han desarrollado equipos térmicos con recuperación de calor regenerativa y de condensación del vapor de agua.

Compatibilidad del gas natural con los sistemas distribuidos de potencia [25-28]

Desde la revolución eléctrica con la invención del generador, transformador y motor eléctrico y el transporte de la electricidad, se establecieron los sistemas centralizados de potencia. Estos se caracterizan por el aprovechamiento en un sitio determinado de la disponibilidad de una fuente primaria de energía (fósil o hidráulica) para convertirla en electricidad y transmitirla y distribuirla a los centros de consumo a través de líneas y redes de distribución respectivamente.

Además de las tecnologías eléctricas, otro factor determinante en la consolidación de los sistemas centralizados de potencia fue la disponibilidad de máquinas térmicas e hidráulicas, que a mayor capacidad de potencia garantizaban mayor eficiencia de conversión energética, con lo cual se obtenía importantes economías de escala, lo que permitió la difusión de los sistemas centralizados de potencia para la producción de electricidad en la economía mundial.

Las innovaciones tecnológicas recientes en sistemas pequeños (500 hasta 100 kW) y microsistemas (100 hasta 7 kW) de conversión energética, están haciendo posible alcanzar eficiencias en la conversión de energía primaria a electricidad comparable a las obtenibles con máquinas de gran capacidad (potencias mayores a 50 MW), que pueden ser mayores cuando con estas tecnologías se implementen sistemas de cogeneración.

Con el advenimiento de microsistemas de conversión energética de alta eficiencia, confiabilidad y flexibilidad se establecen las condiciones para que los sistemas distribuidos de potencia sean viables económicamente; ellos se dan porque ahora con el transporte de energía primaria a los centros de consumo (residencial, comercial e industrial), cada usuario a través de la aplicación de un microsistema de conversión podrá generar la electricidad y el calor requerido. A juicio de varios expertos, estamos *ad portas* de una nueva revolución energética comparable a la revolución que en los computadores se ha venido dando al pasar del gran *Eniac* a mini y microcomputadores. Las tecnologías más promisorias para los sistemas distribuidos de potencia son: las celdas de combustible, las microturbinas de gas y los motores estacionarios de dedicación exclusiva de gas.

¿Cuál es la energía primaria más compatible a los sistemas distribuidos de potencia? En principio cualquiera de las fuentes pudiera ser, sin embargo, el gas natural por las razones que a continuación se describen, es el más compatible:

- Facilidad de transportar por redes a los centros de consumo, sin que se introduzca interferencia con otros servicios públicos y con bajo impacto ambiental. La disponibilidad en redes evita su almacenamiento, lo cual no sería posible con carbón y derivados del petróleo.
- Las microturbinas y motores dedicados solo funcionan con combustibles gaseosos, no es posible la aplicación directa en estos sistemas del carbón o derivados del petróleo. Las celdas de combustible son más compatibles con gas natural, pues a partir de él se puede lograr un procesador de hidrógeno, con el cual se obtiene electricidad y calor en la celda.

Requerimientos ambientales [13, 20]

El principal problema ambiental de alcance global es el efecto invernadero y sus implicaciones en el cambio climático mundial. El principal gas de invernadero es el CO₂, responsable en un 60% de este efecto, su fuente principal es la combustión de combustibles fósiles.

La reducción de emisiones de dióxido de carbono se constituye en una de las principales preocupaciones mundiales, como quedó acordado en la cumbre de Kyoto, y la intervención con mecanismos de desarrollo limpio, contempla entre otras las siguientes acciones:

- Reducción del consumo de energía primaria fósil, mediante la aplicación de tecnologías de conversión energética más eficientes, a menor consumo de energía menores emisiones.
- Utilización de combustibles que emitan menor cantidad de CO₂ por unidad de energía liberada, con lo cual se estimula la sustitución de combustibles con grandes emisiones de CO₂.

Estos mecanismos de desarrollo limpio son alcanzables con el uso del gas natural. Como se ha examinado, las innovaciones tecnológicas en los sistemas de conversión energética han mejorado significativamente la eficiencia y se hacen

más compatibles con el gas natural que con cualquier otro combustible fósil. En relación con la sustitución, el gas natural constituido en su mayor parte por CH₄, es el combustible que menos CO₂ emite por unidad de energía liberada, 40% menos que el petróleo y 60% menos que el carbón. Es por ello que se identifica al gas natural como el combustible de transición hacia una base energética mundial descarbonizada.

Otras ventajas ambientales del gas natural en relación con otros combustibles fósiles son los siguientes: nulas emisiones de material particulado, menores emisiones de componentes volátiles orgánicos, pues es nulo o reducido contenido de azufre no genera emisiones de SO₂, menores emisiones de monóxido de carbono, en vehículos se reducen entre un 80 y 90% con respecto a la gasolina.

Los requerimientos ambientales y sus implicaciones económicas como son: la competitividad de la producción limpia, el costo de las externalidades ambientales de la producción y el mercadeo de las emisiones que hoy comienza a desarrollarse, se constituyen en otros factores para la penetración de gas natural en la canasta energética mundial en los últimos y próximos años.

Conclusiones

- El gas natural es un nuevo vector energético en la canasta energética mundial, que por razones tecnológicas, ambientales, económicas y geopolíticas desempeñará un rol determinante en los próximos años.
- El establecimiento de un nuevo paradigma energético en la economía y la sociedad depende de la conjunción de los siguientes factores:
 - Disponibilidad de una nueva fuente de energía primaria.
 - Innovaciones tecnológicas en sistemas de conversión energética que hacen viable el nuevo energético y potencian la sustitución de los sistemas energéticos vigentes.

- Dinámica de la economía y renovados requerimientos sociales y, más recientemente ambientales.
- En el caso de la acelerada penetración del gas natural en los últimos veinte años, todo indica que sí se está dando la conjunción y simultaneidad de los factores señalados, por lo que se espera en los primeros treinta años de este siglo la aparición de un nuevo paradigma energético.
- Para países en desarrollo con reservas de gas natural éste se constituye en una alternativa de crecimiento en tanto permitirá mejorar la competitividad del aparato productivo nacional, participar en el mercado de emisiones en el contexto de los mecanismos para el desarrollo limpio.
- El advenimiento del gas natural como nuevo vector energético plantea para Colombia los siguientes retos:
 - Es necesaria la definición de una política de contratación gasífera independiente del petróleo.
 - La definición de una política energética basada en una estrategia para la complementariedad del gas natural y la hidroelectricidad, de tal manera que se tenga una economía competitiva y a tono con los mecanismos de desarrollo limpio, lo cual lo cual le abre al país muchas oportunidades en el contexto internacional.
 - En materia de desarrollo científico y tecnológico debe consolidarse una infraestructura para su manejo en todos los eslabones de la cadena.

Colombia por el potencial de sus reservas, por su vecindad a Venezuela y su posición geográfica desempeñará un papel determinante en la integración del mercado gasífero regional, en particular con las interconexiones gasíferas a Centroamérica y Estados Unidos.

Referencias

1. Dorras, Marc. "Natural Gas Industry and Sustainable Development". *21st World Gas Conference*. Nice, Francia. Junio, 2000.
2. Gomi, Chieki. "Sustainable Development and Police Conditions for Natural Gas Future". *21st World Gas Conference*. Nice, Francia. Junio, 2000.
3. Eurcogás. *Gas Natural para una Europa Verde*. Madrid, 1994.
4. Howell G, David. "The Future Energy Gases". *US Geological Survey*. 1993 p. 890.
5. American Gas Association. *Gas Engineering Handbook*. Industrial Press Inc. New York. First Edition. 1965.
6. Association Thecnique d l'industrie du Gas en France. *Aide-memoire du industrie du Gas*. Atg. Quatriem Edition. Pris, 1990. p. 824.
7. Amell, Andrés. *et al. Características de la Combustión de los Gases Naturales Colombianos*. En: *Revista Facultada de Ingeniería*. Vol. 8. No. 3. 1996. p. 21.
8. www.ugu.or. International Gas Union: Statical date.
9. SEDIGÁS. Anuario Gas 99. SEDIGÁS S.A. Barcelona, 1999. p. 372.
10. www.gas.co.uk/british_gas.
11. Berrio E. "Gas Geopilitcs in the Mercosur Countries". *Memorias del 1^{er} congreso latinoamericano y del Caribe de gas y electricidad, Bariloche*. Argentina, 1997. p. 180.
12. Schmoker, J. Dyman. T. "How Perceptions have Changed of World, Gas Resources". *Oil and Gas Journal*. Vol. 96. Issue 8. 1998. p. 79.
13. www.gti.org Gas Research Institute.
14. www.aga.org American Gas Association.
15. www.gazdefrance.com/a/index.htm.
16. www.netcom.ca.
17. www.halgas.it.
18. Hammond, John. "High Strength Steels for Future Pipeline". *International Gas Engineering and Management*. October. Vol. 41. No. 2. p. 2.
19. Horlock, J. H. "Combined Power Plant: Past, Present and Future". *Journal of engineering for Gas Turbine and Power*. Vol. 117. October, 1995. p. 609.

20. Petter, S. *et al.* "The thermoeconomic and environment modeling and optimization of the synthesis, desing and operation of combined cycles with advanced option". *Journal of engineering for Gas Turbine and Power*. Vol. 123. October, 2000. p. 711.
21. Bannester, K.L. "Development Requirements for an Advanced Gas Turbine". *Journal of engineering for Gas Turbine and Power*. Vol. 117. Octubre, 1995. p. 695.
22. Departamento técnico de Man B&W Diesel AG y Pasch.. "Motores de gas y dual-fuel. Unidades económicas, seguras y ecológicamente compatibles". *Innovación Química*. No. 24. Madrid. 1997. p. 57.
23. S. Rousseau, B. Lemoult y M. Tazerout. "Combustion Characterization of Natural Gas in a Lean Burn Spark-ignition Engine". *Proceeding of the Instn Mechanical Engineers*. Vol. 213. D05098. 1999. p. 481.
24. C. R. Stone, K.J.S. Mendis y M. Daragheh. "Measurement and modelling of a lean burn gas engine". *Proceeding of the Instn Mechanical Engineers*. Vol. 210. A00296. 1996. p. 449.
25. Liss, William. "Natural Gas Power System for the Distributed Generation Market". *Gas Research Institute, Technical Paper*. New Orleans. Louisiana. 1999.
26. American Gas Association. Onsyte Syscom. *Distributed Generation Gas Utility Potential*. 2000.
27. Gas Research Institute. *The Role of distributed Generation in Competitive Energy Markets*. 1999.
28. Liss, William. *et al.* "Distributed Generation Using High-Power-Output, High Efficiency Natural Gas Engines". *Gas Research Institute. Technical Paper*. Chicago, Illinois. 1999.