

VI. GAS NATURAL UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN CRECIMIENTO: OPCIONES DE VALORIZACIÓN

Mireya R. Goldwasser y Daysi Rojas

INTRODUCCIÓN

El gas natural (GN) es una de las fuentes más importantes de energía no renovables y, aunque su composición varía de acuerdo a su procedencia, el metano es su componente mayoritario (70-95%). Es considerado como uno de los combustibles fósiles más limpios ya que su uso produce menos CO_2 , SO_2 y NO_x que otros combustibles fósiles y adicionalmente, tiene el más bajo contenido C/H limitando así, los efectos negativos sobre el medio ambiente.

El GN es ampliamente utilizado como combustible para la generación de potencia, debido a sus bajos costos y a la alta eficiencia en sistemas de generación como el ciclo combinado, así como, para la producción de hidrógeno, usado en las celdas de combustible para la producción de energía eléctrica.

Como consecuencia del incremento en la I&D de fuentes adicionales de GN denominadas “no convencionales”, tales como el gas de baja permeabilidad (*tight gas*), gas de lutitas o gas pizarra (*shale gas*), el metano de lechos de carbón (*coal bed methane*), y los hidratos de metano, presentes fundamentalmente en el sedimento del fondo de los océanos, y en el subsuelo congelado permanentemente, como el caso de las regiones polares,

el GN constituye una reserva energética muy superior a la actual, siendo necesario que, además de su desarrollo para la producción de electricidad, se valore/monetice, mediante su transformación en productos líquidos de fácil transporte. Además, debido a sus grandes reservas, bajo costo (técnico y financiero), compatibilidad medioambiental y alto contenido de metano, el GN es la materia prima más eficiente para la producción alternativa de energía y para la obtención, directa o indirecta, de productos finales de alto valor agregado. El GN ofrece una opción asequible, disponible y ambientalmente aceptable para satisfacer las demandas energéticas actuales, ayudando además a satisfacer la creciente demanda mundial por una energía más limpia en el futuro, por lo que se prevé que sustituya al petróleo a largo plazo.

La tecnología de valorización de GN más importante consiste en convertir el metano, en monóxido de carbono e hidrógeno (gas de síntesis), seguida de una reacción catalítica para la formación de:

- o hidrocarburos de alto peso molecular, los cuales posteriormente se separan y mejoran hacia productos tales como gasolina, diesel o ceras;
- o metanol el cual adicionalmente se puede convertir en gasolina;
- o hidrógeno que puede usarse para la producción de amoníaco, y
- o olefinas como etileno para uso industrial.

Además, dada su importancia en el transporte y en los sectores industriales, los combustibles fósiles han sido y continúan siendo los de mayor uso en la matriz energética mundial. De acuerdo a la Agencia de Información de Energía de EE.UU (EIA, 2013) el consumo de energía a nivel mundial crecerá un 56% entre el 2010 y 2040. Sin embargo, el petróleo registrará una contracción de 5% en la matriz energética del 2035 respecto al 2009, mientras que el GN alcanzará una participación

del 23% sobre una demanda energética total anual estimada en 16.961 millones de toneladas equivalentes de petróleo, de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2011).

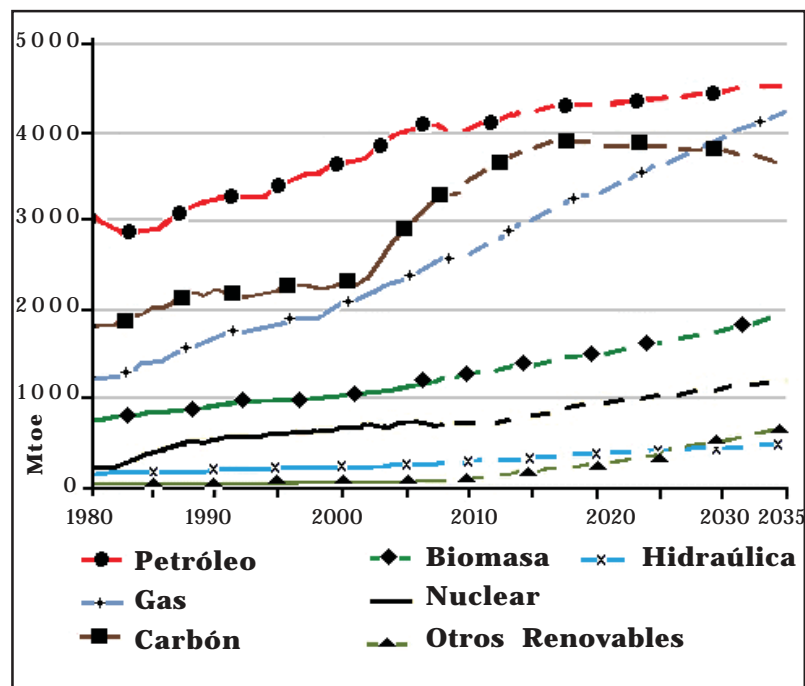


Figura 1. Demanda Mundial de Energía Primaria _ IEAWEO 2011 (Adaptado de eni.com, 2012)

El GN es el combustible fósil de mayor expansión (figura 1), las reservas mundiales superan actualmente los 6.000 trillones de pies cúbicos (TPC), de los cuales los países de la ex Unión Soviética poseen el 37%, y el Medio Oriente 35% del total, con una cantidad similar estimada para el gas de lutitas (BP/IEA, 2012).

El GN es el combustible cada vez más preferido para la generación de electricidad, la empresa consultora Black & Veatch (bv.com, 2012) pronostica que para el

año 2034 casi la mitad de toda la electricidad de EE.UU. provendrá de la quema de GN. Así mismo, ENI estima que la demanda global de GN aumentará de 3,1 a 5,1 tcm en 2035, con una tasa media de aumento de 2% por año (ENI, 2012) y con una marcada tendencia a la sustitución de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, por otras fuentes de energía más limpias como el GN. La generación de energía eléctrica a partir de GN a nivel mundial ha tenido un fuerte crecimiento, aumentando en un 9% entre 2009 y 2010, a 4.768 TWh (IEA, 2012) y más del 5% entre 2010 y 2012 y se estima que el consumo prácticamente se duplique de 4,6 billones de pies cúbicos (BPC) en 2007 a 8,6 en 2035, según informe de la Agencia de Información de Energía de EE.UU (EIA, 2010). La producción de gas con un alto índice de líquido y el gran número de pozos excavados en los últimos años, contribuyen de manera importante a la situación actual de la oferta (BP, 2013, EIA, 2013).

Los nuevos avances en la extracción de gas de lutitas han permitido un aumento en la producción de GN provenientes de esta fuente, generando un exceso en el suministro de GN, lo que se traduce en una baja en los precios en Norteamérica, (Hatch Ltd de Calgary, Alberta, Canadá., Salehi, *et al.*, 2013). Además, la tecnología que utiliza el GN como energía primaria presenta una alta eficiencia debido a la utilización de la generación de energía distribuida y recuperación de calor; por lo tanto, es una tecnología de conservación de energía prometedora, que puede reducir las emisiones contaminantes y en consecuencia, proteger el medio ambiente.

Sin embargo, el cambio climático que está ocurriendo a nivel mundial en los últimos años, demanda una evolución en la tecnología de obtención de energía más amigable con el ambiente a partir de combustibles fósiles, ya que estos seguirán siendo la fuente dominante de energía proyectada hasta el año 2030 (Rostrup-Nielsen, 2003, Olah, 2004). Esta situación obliga al desarrollo de

nuevas tecnologías y procesos para la síntesis de combustibles ultra-limpios. Dentro de este contexto, el GN se considera como uno de los combustibles fósiles más limpios y amigables con el medio ambiente, las plantas de energía eléctrica con base en GN emiten alrededor de la mitad del CO_2 de las centrales eléctricas de carbón; además, el GN complementa la energía eólica y solar, mediante un respaldo de suministro más flexible cuando el viento se detiene o se pone el sol (Shell Global, 2013). Así mismo, el metano, principal componente del GN, es el precursor óptimo para la producción de hidrógeno debido a que su relación $\text{H/C} = 4$, es la más elevada de todos los precursores, y por tanto, se emite una menor cantidad de CO_2 por unidad de volumen de H_2 producido, en comparación al carbón y los destilados medios de petróleo. Una mayor utilización del GN como fuente de energía permitiría limitar los impactos negativos sobre el medio ambiente tales como: la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono o los gases de efecto invernadero; por estas razones, se prevé que a partir del primer cuarto del siglo XXI, el GN pase a tener un papel preponderante en la matriz energética mundial superior a la del petróleo (Hernández y Martínez, 2013).

El GN es un recurso versátil, tanto energético como petroquímico y siderúrgico, por lo que además de su utilización como combustible para la generación de electricidad y calentamiento, es materia prima para las industrias químicas, petroquímicas, del plástico y del caucho para la obtención de productos finales tales como pinturas, fertilizantes, plásticos, anticongelantes, colorantes y películas fotográficas. Se estima que esta situación continúe hasta el año 2035, cuando 39% del suministro mundial de gas se consuma con fines industriales.

Aun cuando el futuro del uso del GN está determinado por su relación de costo con el crudo, su menor impacto en el medio ambiente, su menor costo para producir hidrógeno y combustibles más limpios, hacen indispensable su valorización y desarrollo.

Situación Actual/ proyectos en desarrollo

La intensificación en las actividades de investigación y desarrollo (I & D) para producir combustibles líquidos y productos químicos a partir de materia prima diferente al petróleo, surge como una respuesta al incremento del precio del crudo durante la década de los años 70. El aumento en las emisiones de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico, ha incentivado la creación de líneas de investigación que persiguen ofrecer soluciones técnica y económicamente viables, para el control y la disminución de emanaciones de gases como monóxido y dióxido de carbono. La conversión de GN en gas de síntesis (Syngas), una mezcla de H_2 y CO, ha sido considerada como una de las rutas más prometedoras en este sentido. Entre los usos alternativos de GN destaca la transformación a Syngas, mediante el reformado de metano y su conversión a productos químicos y combustibles líquidos, mediante el proceso gas a líquidos (GTL), como se muestra en la Figura 2.

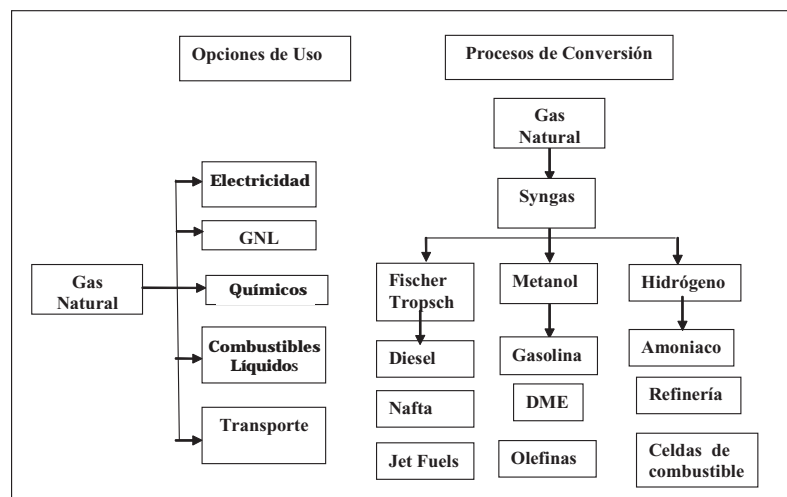


Figura 2. Opciones de uso y procesos de valorización de Gas Natural (Adaptado de ADI *Analytics*, 2012).

Producción de gas de síntesis-Syngas

El Syngas se puede obtener a partir de una variedad de hidrocarburos, que van desde el GN (metano) hasta líquidos con base en petróleo (ej., nafta y residuos pesados), e incluso sólidos como el carbón y el coque de petróleo. Su producción representa más de la mitad del costo de capital de los procesos para la obtención de productos finales en la tecnología GTL. Se prevé que ocurran importantes avances en la etapa de conversión de GN en Syngas, ya que además de ser usado en la tecnología GTL vía síntesis *Fischer-Tropsch* (FT), es la alimentación de numerosos procesos químicos y petroquímicos. Entre los procesos para producir Syngas a partir de GN, se incluye el reformado con vapor de agua (SMR), el reformado autotérmico (ATR), el reformado combinado y el reformado seco con CO_2 (DMR), así como la oxidación parcial catalítica y no catalítica (gasificación). Inicialmente, el GN es desulfurado (endulzamiento) y luego pre-reformado para producir una corriente de alimentación para el reformador. El SMR, el DMR y la oxidación parcial producen Syngas con composiciones de H_2/CO diferentes: > 3 , <1 y <2 respectivamente. El reformado combinado ya sea con $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ y el ATR, una combinación del SMR y la oxidación parcial, pueden conducir a la composición deseada de Syngas.

La elección de la tecnología para la generación de Syngas está fuertemente influida por la materia prima de partida, así como por la composición del gas de síntesis (relación H_2/CO) que mejor se adapte al proceso de obtención del producto final requerido: metanol, amoníaco, hidrocarburos líquidos e hidrógeno. Aun cuando los diferentes procesos de generación de Syngas tienen distintas ventajas, el SMR siendo el más conocido, aun permite mejoras del proceso, y además, no incluye la construcción de plantas de oxígeno que son intensivas en costos de capital y energía. Similarmente, la producción de Syngas depende fuertemente del desarrollo de catali-

zadores de reformación altamente activos, selectivos y con alta estabilidad en el tiempo, gracias a su menor sensibilidad para la formación de coque, principal responsable de la desactivación, lo cual permite optimizar el proceso logrando una disminución en el consumo de energía (García *et al.*, 2011, Goldwasser *et al.*, 2005, Valderrama *et al.*, 2013). Mediante la integración de nuevos materiales catalíticos y de la ingeniería de procesos permitirá obtener procesos multifuncionales.

Una de las tecnologías más prometedoras es el uso de reactores de microcanales (*Microchannel Process Technology, MPT*) debido a la naturaleza modular del proceso y a la posibilidad de disminución de la capacidad de las plantas de reformado, lo que podría significar una reducción de costos con respecto al proceso convencional a todas las escalas. En el proceso MPT, el GN y el vapor se convierten, en una primera etapa, en un reactor calentado por gas combustible y por el calor excedentario del proceso FT. La relación H_2/CO se ajusta a la relación deseada por separación con membrana produciendo algo de gas combustible para el reformador y una corriente de H_2 para usar en la etapa del proceso de mejoramiento de los productos.

En este sentido, el consorcio *Air Products/DOE* (Air Products, 2008) está desarrollando membranas cerámicas o de transporte iónico (*Ion Transport Membranes, ITM*), con el propósito de disminuir los costos de la producción de Syngas a partir de metano y oxígeno, eliminando la necesidad del uso de la costosa unidad de separación del oxígeno del aire. Cuando esta tecnología esté disponible comercialmente se podrán reducir 50% los costos del reformado, es decir, 25% de los costos de capital de los procesos GTL. Adicionalmente, el proceso ITM puede adaptarse bien al concepto modular, permitiendo la creación de módulos de reformado que podrían producirse en grandes cantidades lo cual reduciría de manera adicional los costos y flexibilizaría el tamaño de las plantas. Aun cuando esta tecnología está bien probada, el

problema sigue siendo la manufactura de las membranas de tamaño comercial, para plantas que manejen un promedio de 100 millones de pies cúbicos/día de gas. La planta de demostración de la tecnología ITM de Air Products, está en la etapa final de pruebas, y tiene un tamaño ideal para plantas pequeñas de FT con base en GN (<10 millones de pies cúbicos/ día, es decir, 1.000 barriles/día).

Análogamente, la compañía escocesa Gas2 en Aberdeen (Gas2, 2013) ha desarrollado un catalizador cerámico de membrana porosa (pMRTM) que se utiliza en el reformado de GN (Syngas) y reactores para producir hidrocarburos líquidos GTL (*Fischer Tropsch*).

Existen otras industrias que no hacen públicos sus desarrollos, pero se conoce que trabajan en tecnologías similares a ITM, e incluso tienen progresos próximos a los de esta tecnología.

Síntesis Fischer-Tropsch. Transformación de gas en líquidos. Proceso GTL

Actualmente, Sudáfrica es líder mundial en producción de combustibles líquidos a partir de Syngas. Sasol, la compañía productora de combustibles sintéticos del país, produce unos 126.750 barriles/ día (B/D) de hidrocarburos líquidos a partir de gas derivado del carbón, en dos plantas gigantescas situadas en Sasolburg y Secunda en Sudáfrica y en una tercera planta en Qatar produce 34.000 B/D (ORYX GTL, 2012). Asimismo, Sasol anunció la construcción de una planta de 96.000 B/D en Luisiana, USA y un proyecto pionero GTL en Canadá. PetroSA (Sudáfrica) produce 22.500 B/D utilizando GN convencional enviado por gasoducto desde Mozambique. En el 2011, Shell puso en funcionamiento en *Ras Laffan Industrial City*, Qatar, una planta de gas a líquidos (*Pearl GTL*) que produce 140.000 B/D, la cual es la más grande en funcionamiento en la actualidad.

Actualmente, los procesos GTL están siendo considerados activamente para el uso de grandes reservas de gas remoto, así como de pequeñas reservas de gas recuperables (> 1.000 millones, <10.000 millones de pies cúbicos estándar), los cuales no pueden conectarse de manera económicamente factible a un gasoducto, pero que pueden mediante su conversión, cubrir las necesidades energéticas de una comunidad o sitio industrial remoto. La integración de los procesos de obtención de Syngas y la tecnología FT, representa un reto importante para los procesos GTL, los avances tecnológicos en las dos primeras etapas del proceso han significado mejoras en las eficiencias de conversión de GN o carbón, así como una disminución de los costos de capital. Las compañías con historia comercial en GTL, Sasol y Shell, así como BP, Syntroleum, ExxonMobil, Rentech y ChevronTexaco, han llevado a cabo avances en el diseño de equipos más grandes, en desarrollo de catalizadores y en las condiciones de operación, en un intento por mejorar la economía de la tecnología GTL. Otro factor clave que impulsa GTL es la necesidad de disminuir el quemado del gas asociado.

La diferencia entre los precios del petróleo y el gas hacen que la conversión de GN en productos derivados del petróleo (GTL), mediante el proceso FT, sea una alternativa comercial atractiva para los productores de GN. Además, avances recientes en la tecnología FT establecen una solución potencial para el mercado de gas distribuido y de menor escala. Las condiciones más importantes para la factibilidad económica de estos proyectos de baja capacidad son la disponibilidad de alimentaciones a bajo costo y el precio de los destilados. Los altos costos de capital de las plantas GTL, implican que plantas de baja capacidad ofrecen pocas posibilidades de ser económicamente factibles si se construyen usando tecnologías convencionales del tipo de refinación de petróleo. Por esta razón, surgen nuevas estrategias tales como la construcción de plantas con unidades modulares que contienen las principales operaciones unitarias

para la generación del Syngas por reformado con vapor y la síntesis FT en un solo reactor. El desarrollo de este enfoque del proceso significaría, una ruta más ventajosa para convertir reservas relativamente pequeñas de gas remotas o subutilizadas, y está siendo desarrollada entre otras empresas por Velocys inc, Ohio, USA.

Oportunidades de Investigación y Desarrollo

Los combustibles sintéticos GTL son “ultra limpios”, en el sentido que contienen cantidades despreciables de azufre y compuestos aromáticos, y específicamente el diesel producido genera una cantidad menor de particulados que el diesel convencional de refinería. Una vez introducidos en el mercado, la demanda será mayor que la capacidad de producción instalada, y esta situación incentivará económicamente nuevas tecnologías y mejoras del proceso. La reivindicación de los beneficios que producen los combustibles GTL con respecto a la disminución de los contaminantes NO_x , CO y particulados, se encuentra amortiguada, debido a la obligación próxima de la introducción de motores diesel “muy limpios”, que a su vez coincidiría con la introducción práctica de plantas pequeñas para la producción de diesel GTL. Sin embargo, para cumplir con las estrictas regulaciones de emisiones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2012), las modificaciones requeridas en los motores son necesarias aun funcionando con combustible GTL.

Entre las oportunidades de investigación es importante el desarrollo de nuevos conceptos y metodologías en áreas de petroquímica, reformado de GN/GTL y la generación de hidrógeno, profundizando en I&D de nuevos materiales catalíticos y de la cinética de las reacciones involucradas, particularmente en aquellas donde la desactivación de los sistemas catalíticos es significativa. Limitaciones de transferencia de masa y calor reducen la eficiencia de los grandes reactores convencionales utilizados para F-T y reacciones de SMR. El uso de reactores de microcanales permite intensificar en gran medida las

reacciones químicas las cuales proceden de 10 a 1000 veces más rápido que en los sistemas convencionales.

Dentro de este contexto, la compañía escocesa Gas 2 (Gas2, 2013) está desarrollando la próxima generación de la tecnología GTL a partir de GN con un programa de prueba que está en marcha en su nueva planta piloto. Se trata de una solución técnica alternativa a otros desarrollos de plantas GTL pequeñas y medianas en base al desarrollado un catalizador cerámico de membrana porosa.

Similarmente, ENI, en colaboración con IFP/Axens, ha desarrollado una tecnología patentada GtL, mediante el cual el GN se transforma primero en Syngas y luego en una mezcla de hidrocarburos parafínicos lineales mediante el uso de un catalizador sobre la base de Co en un reactor “*slurry*” de burbujas en suspensión. Luego, mediante una etapa final de reacciones de hidrocrqueo/isomerización, finalmente se obtiene combustible diesel de alta calidad con un índice de cetano alto (ENI, 2012). Esta tecnología patentada es una de las opciones para explotar los recursos significativos de GN y simultáneamente producir combustible diesel de la más alta calidad, sin emisiones contaminantes significativas. De acuerdo a Segueineau, J-M, (TOTAL, 2008) las tecnologías de conversión de GN dan como resultado productos de valor agregado, especialmente en un escenario de altos precios del petróleo.

El resultado que emerge es que existen recursos y condiciones bajo las cuales una planta GTL pequeña puede ser rentable, y que el alto costo del petróleo, las largas distancias de fuentes energéticas convencionales y los recursos de gas no valorizados, contribuyen con la factibilidad económica de las plantas GTL. La adición de créditos por electricidad, vapor, agua y, a veces consideraciones ambientales, simplemente mejoran la factibilidad económica. Adicionalmente, para alcanzar autonomía y rentabilidad de estas plantas pequeñas, se requiere ajustar la escala de la planta a las necesidades

locales y considerar todos los productos obtenidos, incluso la nafta. El futuro de la tecnología GTL, parece estar ligada con el GN remoto de bajo costo, o del gas asociado con la producción de crudo y que actualmente está siendo quemado, pero que no justifica el costo de las instalaciones y la escala de LNG o los gasoductos. En estos casos GTL es una vía económicamente factible de convertir el GN en combustibles líquidos, o en una corriente de alimentación de refinería que puede ser fácilmente transportada.

Situación en Venezuela

Venezuela posee las mayores reservas de GN en Sur y Centro América con un total de reservas probadas de alrededor de 200 TPC, lo que sitúa al país en la octava posición entre los 10 primeros países por reservas de GN (BP Statistical Review of World Energy, 2010). Esta situación representa una oportunidad de inversión importante con la participación de empresas extranjeras en el sector de gas; sin embargo, el 90% de la producción actual de GN en Venezuela está asociada a la producción de petróleo y, siendo PDVSA el principal consumidor, lo utiliza fundamentalmente para la reinyección con la finalidad de mantener la producción de petróleo y en la petroquímica. Además, la mayor parte del GN no asociado se encuentra en campos costa afuera, en los cuales PDVSA tiene poco desarrollo tecnológico y poca experiencia (Embassy of the Kingdom of the Netherlands in Caracas, 2011). Sin embargo, hasta ahora, la producción de GN ha sido relativamente poco importante en Venezuela, utilizado principalmente para el consumo interno. Sin embargo, la presentación del 'Plan Siembra Petrolera' (PSP), en el año 2005, para el período 2005-2030, hace mucho más énfasis en el GN. De acuerdo a este plan, PDVSA ejecutará enormes proyectos de GN, sobre todo en alta mar.

El potencial de reservas de GN en Venezuela se ha incrementado recientemente debido a nuevos descubri-

mientos. De hecho, debido al aumento de la demanda interna de GN, PDVSA realizará proyectos de desarrollo de GN, especialmente costa afuera en la costa oriental: Plataforma Deltana, con una producción planificada de 1,47 billones de pies cúbicos (BPC)/día y Mariscal Sucre con 1,2 BPC/día, y en la región occidental: Plataforma Rafael Urdaneta con una producción esperada de 1 BPC/día. Se esperan desarrollos posteriores en la Península de Paraguaná, en el noroeste de Venezuela (Embassy of the Kingdom of the Netherlands in Caracas, 2011).

En marzo de 2010, un proyecto desarrollado por PDVSA y Chevron llevó al descubrimiento de un yacimiento de gas de 7 BPC, y en Noviembre de 2010, una empresa conjunta de ENI y Repsol certificaron la existencia de 14 TPC de GN en alta mar en el oeste del país (Embassy of the Kingdom of the Netherlands in Caracas, 2011). Similarmente, el Instituto Baker de Houston estima que Venezuela junto con Irán y Nigeria aportarán el 26 por ciento de la producción mundial de LNG (Bianchi, 2012). Así mismo, la Agencia Internacional de Energía proyecta una tendencia creciente sostenida para Venezuela, con un crecimiento anual compuesta de 4,55%, mostrando una aceleración considerable a partir de 2025 y una moderación en el crecimiento en 2030 (IESA, 2012).

En relación a la existencia de gas de lutitas en Venezuela, los recursos se encuentran localizados en el Occidente del país, en la Formación La Luna en el Lago de Maracaibo. Se presume la existencia también en el Oriente del país, pero no existen datos reportados hasta la fecha; la Formación Carapita que se extiende por todo el norte del estado Monagas y el sur de Sucre, se estima que es una gigantesca acumulación mayormente de gas de lutitas (González Cruz, 2013).

Actualmente Venezuela no solo no exporta GN, sino que además importa un promedio de 187 millones de pies cúbicos diarios de Colombia a través del complejo

Antonio Ricaurte Trans Caribe Pipeline. De acuerdo a datos publicados por El Nacional el 26 de Junio del 2013, el consumo total de gas entre la producción nacional y la importada alcanzan a 7,5 millardos de pies cúbicos/día. Según este artículo, las ventas de GN de Ecopetrol y Chevron a PDVSA son de 5,89 dólares por cada millón de BTU de gas, el cual se vende en Venezuela en 75 centavos de dólares/millón de BTU colocado en el mercado interno, originando una pérdida superior a 5 dólares por cada millón de BTU (El Nacional, 2013). Similarmente, el desarrollo de fuentes de gas “no convencional” originará la pérdida de supremacía de Venezuela en lo concerniente a reservas de gas natural (convencional y no convencional) al pasar a ocupar el cuarto lugar por debajo de Argentina, México y Brasil (Hernández, N. y Martínez, J. L., 2013).

Resulta paradójico que aun cuando Venezuela importa GN de Colombia para suplir las necesidades energéticas del estado Zulia, haya firmado un convenio con la compañía YPF de Argentina para suministrarle GN. Además, Venezuela no promueve la valorización del GN mediante el desarrollo de procesos de para la obtención de productos de mayor valor agregado. Solo grupos de investigación de las universidades autónomas realizan I & D en colaboración con universidades de Brasil, Francia y España (Pérez-Zurita *et al.*, 2003, Goldwasser *et al.*, 2004 y 2005, Hori *et al.*, 2008, Lira, *et al.*, 2008, Rivas *et al.*, 2008, García *et al.*, 2011, Valderrama *et al.*, 2013)

Sugerencias y propuestas

La I & D que tienda hacia la satisfacción de necesidades nacionales y que contribuya a la disminución de la dependencia tecnológica a corto, mediano y largo plazo, debe constituir un área prioritaria para un país en vías de desarrollo.

Para el logro y desarrollo de las sugerencias propuestas a continuación, es necesario la creación de grupos

multidisciplinarios del sector científico e industrial capaces de producir nuevos conocimientos y productos tecnológicos competitivos en los mercados mundiales de tecnología energética, para lo cual es necesario invertir substancialmente en I&D y propiciar la cooperación entre instituciones tales como universidades y centros de investigación con corporaciones y consorcios tecnológicos.

Entre las sugerencias y propuestas para la valorización de GN podemos citar la generación de hidrógeno, la obtención de productos químicos y nuevos desarrollos en el área de catalizadores y procesos. Para ello es necesario llevar a cabo I & D en tecnologías catalíticas que conduzcan a una mayor flexibilidad y a menores costos de capital para la producción de H_2 y gas de síntesis. Los retos incluyen reformadores compactos, nuevos diseños de plantas y procesos para obtener respuestas rápidas a bajos tiempos de residencia, habilidad en el manejo de reacciones exotérmicas muy rápidas, uso de aire para la oxidación parcial, lo que llevaría a sistemas de reformado y de vapor más pequeños (miniaturización).

La valorización del GN incluye:

Generación de hidrógeno

1. Reformar el GN para obtener hidrógeno que alimentaría las celdas de combustibles que actualmente son elementos en desarrollo para generar energía limpia.
2. Generación *in situ* (a bordo) de hidrógeno que en combinación con el diesel ultra limpio (autos híbridos) contribuirían en la protección del ambiente.
3. El hidrógeno es a su vez necesario para las reacciones de mejoramiento de crudos: hidrotratamiento e hidrocrackeo.

Tecnología GTL

Simultáneamente con su uso como fuente de energía, el GN está progresando rápidamente como materia pri-

ma para la industria petroquímica. El proceso GTL es ya una realidad, para la obtención de combustibles utilizados para el transporte, lubricantes y materias primas para productos químicos y detergentes. La investigación en este campo es intensa, no sólo en los centros de investigación industrial, sino también en las universidades. Las aplicaciones de la tecnología GTL incluyen:

1. Obtención de olefinas: C2-C6 como materia prima para la producción de polímeros, y C12-C16 para la producción de detergentes.
2. La Nafta GTL que por su fácil transformación en olefinas, se utiliza como materia prima para la fabricación de plásticos.
3. Obtención de alcoholes superiores para ser utilizados como aditivos oxigenados para el mejoramiento del octanaje de las gasolinas.
4. El gasoil GTL es un combustible de tipo diesel que puede formar parte de la mezcla de suministro de diesel.
5. Obtención de destilados medios (kerosén, gasoil), así como de lubricantes.
- 6 Combinación de GTL con procesos existentes, por ejemplo con los procesos Cyclar e Hidrocraqueo.
7. Pueden preverse situaciones especiales donde compuestos químicos derivados del Syngas tales como ácido acético, ésteres y anhídridos puedan competir favorablemente en el mercado de estos compuestos producidos de manera convencional.

Áreas que permitirían impactar la economía de la tecnología GTL con nuevos desarrollos:

1. Nuevas tecnologías para la separación del oxígeno del aire.
2. Desarrollo de catalizadores de reformado resistentes a la desactivación por formación de coque.

3. Desarrollo de catalizadores FT lo suficientemente activos para operar con bajas presiones de Syngas (nitrógeno presente como diluyente) y desarrollo de catalizadores de hierro resistentes a la atrición.
5. Mejores sistemas de separación catalizador/cera.
6. Integración térmica de las tres etapas de la tecnología, siendo crítica la integración en las etapas de reformado-síntesis FT y el diseño de los reactores.
7. Desarrollo de mejores métodos de regeneración de los catalizadores involucrados en el proceso FT.