

**ESTADO DEL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE
COMERCIALIZACIÓN DE GAS NATURAL Y SUS
POSIBILIDADES EN COLOMBIA**

YULY FERNANDA LÓPEZ CONTRERAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

**ESTADO DEL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE
COMERCIALIZACIÓN DE GAS NATURAL Y SUS
POSIBILIDADES EN COLOMBIA**

YULY FERNANDA LÓPEZ CONTRERAS

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniera Química**

Director:

DIONISIO LAVERDE CATAÑO, PhD

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

A mis padres Israel y Teresa, quienes con su amor y esfuerzo me
han conducido hasta aquí.

A mis hermanas, Johanna, Katherine y Paola por su incondicional apoyo y su
confianza en mí.

A Mariaju y Silvis, por que con su inocencia y alegría siempre lograron hacerme
feliz después de largas jornadas de estudio.

A Luis, por su compañía todas esas largas noches de traspasnocho y quien estuvo a
mi lado durante toda mi carrera universitaria acompañándome en momentos
felices y difíciles.

A mis amigos...siempre amigos, porque sin su compañía habría sido muy difícil
alcanzar este logro.

Yuly Fernanda López Contreras

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor, Dionisio Laverde Cataño, por su acertada orientación en el desarrollo del presente proyecto, y quien siempre me apoyo incondicionalmente para la finalización de este proyecto de grado.

Al Ingeniero, Henry Abril Blanco, por su confianza e incondicional apoyo, por los buenos consejos que me da para la vida profesional y porque siempre está ahí para darme ánimos y sugerencias.

A la Escuela de Ingeniería Química UIS, porque gracias a todos los profesores que hacen parte de ella he logrado formarme como Ingeniera Química y crecer como persona.

RESUMEN

TÍTULO:

ESTADO DEL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE COMERCIALIZACIÓN DE GAS NATURAL Y SUS POSIBILIDADES EN COLOMBIA. *

AUTOR:

Yuly Fernanda López Contreras. **

PALABRAS CLAVES:

Gas Natural, Gas Natural Comprimido, Gas Natural Licuado, Gas a Líquidos.

DESCRIPCION:

El nivel de las inversiones dedicadas a la industria del gas natural a nivel mundial prueba la importancia creciente de este producto. Este sector muestra un dinamismo importante a principios de este nuevo milenio. Una demanda y un nivel de precios en aumento que condujeron, en un pasado reciente, a emprender nuevos proyectos de expansión y de exploración.

El principal objetivo de este proyecto es analizar las diferentes tecnologías para transporte y comercio del gas natural (Gas natural comprimido (GNC), Gas Natural Licuado (GNL), Gas a Líquidos (GTL), su importancia económica y ambiental para, de acuerdo a la viabilidad y disponibilidad de recursos en el país, crear un banco de proyectos de investigación a desarrollarse en el CDT de gas.

Primero se desarrolla una breve descripción de cada una de las tecnologías disponibles para el transporte y comercialización del gas natural, para las cuales se realiza después un análisis de oferta y demanda, se mencionan los países generadores de desarrollos tecnológicos, avances científicos, mayores compradores y finalmente se analizan las oportunidades de cada una de las tecnologías para poder establecer las ventajas y desventajas comparativas.

Seguidamente se procedió a realizar un análisis de la situación actual del Gas Natural en Colombia, tecnologías desarrolladas a nivel nacional, estado de las investigaciones realizadas, reservas de gas natural probadas, posibilidades de explotación y capacidad del país para desarrollar investigaciones en cada una de las tecnologías mencionadas anteriormente, se realizó un breve estudio de viabilidad de proyectos sobre cada una de las tres tecnologías para finalmente proponer fuentes para desarrollar proyectos de investigación y desarrollo, y se identificaron las principales entidades que podrían financiar este tipo de proyectos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Dionisio Laverde, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE

STATE OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF NATURAL GAS COMERCIALIZATION AND ITS POSIBILITIES IN COLOMBIA.*

AUTHOR

Yuly Fernanda López Contreras.**

KEYWORDS

Natural Gas, Compressed Natural Gas, Liquefied Natural Gas, Gas To Liquids

DESCRIPTION

The level of investments in the natural gas industry worldwide proof the growing importance of this product. This sector shows a significant momentum at the beginning of this new millennium. A demand and price level rising which led in the recent past, to undertake new projects for expansion and exploration.

The main objective of this project is to analyze the technologies for natural gas comercialization (Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG), Gas to Liquid (GTL), its economic and environmental importance for, according to the feasibility and availability of resources in the country, creating a bank of research projects to develop at CDT de Gas.

First, the proyect develops a brief description of each of the available technologies for natural gas comercialization, for which develops a analysis of supply and demand, mentioned countries generating technological and scientific development, and large buyers, to finally discusses opportunities in order to establish the comparative advantages and disadvantages.

Then takes place an analysis of the current status of Natural Gas in Colombia, where are analized technologies developed, state investigations, proven natural gas reserves, the capacity of the country to conduct investigations in each of the technologies mentioned above, and a brief study on the feasibility for each technology. Finally propose sources to develop research and development projects, and identified the main entities that could finance such projects.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Dionisio Laverde, Ph.D.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 1 |
| | |
| 1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL. | 3 |
| 1.1 TECNOLOGÍAS APLICABLES AL GAS NATURAL | 5 |
| 1.1.1 Gas Natural Comprimido (GNC) | 5 |
| 1.1.2 Gas Natural Licuado | 6 |
| 1.1.3 Gas a Líquidos (GTL) | 7 |
| | |
| 2. ALTERNATIVAS DE COMERCIALIZACION | 10 |
| 2.1 TENDENCIAS DEL MERCADO DE GAS NATURAL | 10 |
| 2.2 CRECIMIENTO ESPERADO DE LA INDUSTRIA DEL GAS | 11 |
| 2.3 ANALISIS DE TECNOLOGIAS | 12 |
| 2.3.1 Oportunidades de Gas Natural Comprimido | 12 |
| 2.3.2 Oportunidades del Gas Natural Licuado | 13 |
| 2.3.3 Oportunidades de la Tecnología Gas a Líquidos | 14 |
| 2.4 COMPARACION DE TECNOLOGIAS | 15 |
| | |
| 3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA | 18 |
| 3.1 TECNOLOGÍAS DESARROLLADAS A NIVEL NACIONAL | 18 |
| 3.2 ESTADO DE INVESTIGACIONES | 21 |
| 3.3 CAPACIDAD EL PAÍS PARA DESARROLLAR INVESTIGACIONES EN CADA UNA DE LAS TECNOLOGÍAS | 22 |
| | |
| 4. FUENTES DE PROYECTOS | 24 |
| 4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA CRYOFUEL COMO ALTERNATIVA PARA EL TRANSPORTE DE GNL TERRESTRE | 24 |
| 4.2 NANOTECNOLOGÍA COMO UNA SOLUCIÓN A LOS RETOS ENERGÉTICOS DEL FUTURO. | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 PROYECTO PARA MASIFICACIÓN DE GNV EN CASA. | 26 |
| CONCLUSIONES | 27 |
| RECOMENDACIONES | 29 |
| BIBLIOGRAFIA | 30 |
| ANEXOS | 33 |

LISTADO DE GRAFICOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| GRAFICO 1. Comparación de emisiones contaminantes | 4 |
| GRAFICO 2. Etapas del Gas Natural Comprimido | 6 |
| GRAFICO 3. Conversión de gas natural en combustibles líquidos. | 8 |
| GRAFICO 4. Costos de las diferentes etapas de la tecnología GTL | 9 |
| GRAFICO 5. Uso mundial de fuentes de energía | 10 |
| GRAFICO 6. Demanda de Gas por Región (TPC/año) | 11 |
| GRAFICO 7. Costo de Entrega de GNL vs. GNC | 13 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| TABLA 1. Resumen de parámetros importantes para cada tecnología | 16 |

ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| ANEXO A. Cadena del Gas Natural Comprimido | 33 |
| ANEXO B. Cadena del Gas Natural Licuado | 37 |
| ANEXO C. Algunos Aspectos Técnicos de la Tecnología Gas a Líquidos | 43 |
| ANEXO D. Reservas Latinoamericanas y Precio del Gas Natural en Colombia | 48 |
| ANEXO E. Oferta y demanda de cada una de las tecnologías | 50 |
| ANEXO F. Factores que han contribuido al crecimiento del GNL | 55 |
| ANEXO G. Red Nacional de Transporte de Gas Natural | 57 |
| ANEXO H. Sistema de GNC en la ciudad de Neiva | 59 |
| ANEXO I. Estudio de viabilidad de proyectos | 62 |
| ANEXO J. Algunos aspectos de la tecnología Cryofuel | 68 |
| ANEXO K. Reservas de gas natural probadas y posibilidades de exportación | 69 |
| ANEXO L. Factores fundamentales para competir con éxito por recursos de Capital y Tecnología | 74 |
| ANEXO M. Lineamientos para el desarrollo del gas natural en Colombia | 76 |
| ANEXO N. Posibles Fuentes de Financiación | 77 |

INTRODUCCION

Entre las grandes transformaciones que en forma lenta pero segura se están dando en el mundo en el sector energía, hay que colocar por encima de todo los avances en el transporte de gas natural. La única limitación del uso del gas natural como combustible ha sido la necesidad de transportar grandes volúmenes, lo que requiere grandes tuberías. Esta característica hace que se convierta en una forma de energía a la que se accede mediante redes, que requiere grandes inversiones iniciales y la necesidad de largos periodos para recuperar el capital. Por estas razones el gas no es todavía, un commodity como el petróleo, que puede ser transado libremente en un mercado abierto.

El comercio del gas natural licuado siempre ha estado unido a un acuerdo a largo plazo entre las partes, en el que se definen responsabilidades compartidas en cuanto a inversiones, cantidades a transar, condiciones de suministro y precios. Al principio la única forma de transporte eran gasoductos, pero luego se introdujo el comercio de gas natural comprimido (GNC), gas natural licuado (GNL) y recientemente se está desarrollando la manera más económica de convertir el gas natural a combustibles líquidos ultra limpios por medio de la tecnología gas to liquids (GTL).

Frente a la creciente demanda del gas natural a nivel nacional, el país debe buscar la manera abastecer a poblaciones alejadas de la red del territorio nacional mediante nuevas tecnologías económicamente viables y de monetizar las reservas probables que de ser probadas pondrían a nuestro país entre los primeros lugares en cuanto a reservas de gas natural. Además debe garantizar el abastecimiento nacional que ha sido la principal preocupación por todos los entes relacionados al sector, en el último congreso desarrollado en marzo de 2008 por Naturgas.

Por esto, el Estado junto con los centros de desarrollo tecnológico (CDT's) y los grupos de investigación deben buscar nuevas fuentes para desarrollar proyectos relacionados con el sector, que permitan, junto con empresas privadas que participen apoyándolos con su capital, identificar nuevas oportunidades de utilización y monetización de acuerdo a las capacidades del país y que generen desarrollo tanto económico como tecnológico y social, por las oportunidades para aquellas poblaciones que utilizarían esta fuente de energía generando nuevos empleos. Además el desarrollo de nuevos proyectos de investigación en cada una de las tecnologías brindaría al país importantes conocimientos, para pensar en aprovechar nuevas reservas que en un futuro permitirían ampliar el mercado a nivel internacional.

1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL.

¿Qué es el gas natural?

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, conformada principalmente por metano y etano y en menor proporción por propano, butano, pentano u otros hidrocarburos más pesados y, finalmente, por elementos no hidrocarburos, como el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, compuesto de azufre y agua. Se extrae de yacimientos subterráneos (debajo de la tierra o del mar) que pueden ser exclusivamente de gas o que pueden contener petróleo y gas. El gas fluye por las tuberías del pozo hacia la superficie, siendo necesario en algunas ocasiones inyectar agua o algún otro líquido apropiado cuando no existe la suficiente fuerza para que se eleve por sí solo. Gracias a la falta de impurezas y residuos de combustión, representa hoy en día, el combustible ecológico por antonomasia.

Propiedades del gas natural

Es incoloro, inodoro, inflamable y no es tóxico, es un excelente combustible debido a que se quema fácil y completamente, produciendo poca contaminación. La principal característica del gas natural radica en que, debido a su mayoritario contenido en metano, y puesto que este compuesto presenta la mayor relación H/C de entre todos los hidrocarburos (4 frente a 3 del etano, 2.67 del propano y 2.5 del butano), produce en su combustión una menor proporción de CO y CO₂.

Ventajas ecológicas con respecto a otros combustibles fósiles

El gas ofrece muchas ventajas comparado con otros combustibles fósiles: Eficiencia energética, bajo precio y el hecho de ser el más limpio en materia

ambiental. La emisión de monóxido de carbono baja entre 75 - 95% comparado con la gasolina, la emisión de hidrocarburos baja entre 85 - 90% comparado con la gasolina o con gas oil, la emisión de óxidos de nitrógeno baja un 70% contra la gasolina y un 80% contra gas oil, la emisión de gases que contribuyen al cambio climático global, tales como el dióxido de carbono, se reducen en casi un 15%, comparado con la gasolina (Grafico 1). No contienen material particulado. La producción de gas natural es mucho más "limpia" que transportar y refinar petróleo.

GRAFICO 1. Comparación de emisiones contaminantes



Fuente: Gas Natural S.A. e.s.p (Bogotá)

Procesamiento del gas natural

Después de ser extraído el gas natural debe ser sometido a un proceso de remoción de contaminantes que puede ser dividido en dos: deshidratación y purificación. La deshidratación se hace para retirar el agua líquida que se obtiene junto con el gas ya que pueden formar hidratos parecidos al hielo que pueden obstruir válvulas, tuberías, etc. Este gas que contiene agua líquida es corrosivo particularmente si contiene CO₂ o H₂S. La deshidratación del gas natural antes del procesamiento es vital para prevenir la formación de hielo cuando se realiza por medio de procesos a bajas temperaturas.

De otra parte, en el proceso de purificación el endulzamiento del gas se hace con el fin de remover el H_2S y el CO_2 del gas natural. El H_2S y el CO_2 se conocen como gases ácidos, porque en presencia de agua forman ácidos, y un gas natural que posea estos contaminantes se conoce como gas agrio. Entre los problemas que se pueden tener por la presencia de H_2S y el CO_2 en un gas se pueden mencionar: Toxicidad del H_2S , corrosión por presencia de H_2S y el CO_2 , en la combustión se puede formar SO_2 que es también altamente tóxico y corrosivo, disminución del poder calorífico del gas, promoción de la formación de hidratos.

1.1 TECNOLOGÍAS APLICABLES AL GAS NATURAL

1.1.1 Gas Natural Comprimido (GNC)

Qué es el GNC?

El GNC es el gas natural seco comprimido a 200 bar. Se almacena en cilindros a alta presión y se usa como combustible alternativo en reemplazo de las gasolinas. El GNC es sin duda el combustible del futuro cercano. Mucho escuchamos hablar de energías no contaminantes y renovables, pero ninguna de ellas cuenta hoy, o en un tiempo previsible, con todos los elementos que permitan su utilización masiva. Mientras tanto, la contaminación ambiental alcanza niveles intolerables. El GNC combina experiencia, bajos costos, baja contaminación y disponibilidad, permitiendo ser utilizado en un sin número de aplicaciones.

El GNC no contiene aditivos, no se producen depósitos carbonosos en las cámaras de combustión, ni fenómenos de corrosión. La mezcla con el aire resulta perfecta a todos los niveles de temperatura y la combustión es total.

El proceso de compresión del gas natural consta de tres etapas (Gráfico 2), las cuales se profundizan en el Anexo A y se mencionan a continuación:

- la **compresión**: se toma el gas del campo de producción, del gasoducto o de las redes de distribución y mediante compresores se aumenta sustancialmente la presión del gas.
- el **transporte**: el gas presionado se almacena en tanques y se transporta a su destino, llevándolos sobre vehículos bien sea por tierra o por agua.
- la **descompresión**: utilizando válvulas para expandir el gas se reduce la presión y se entrega a las redes de distribución o a usuarios finales.

GRAFICO 2. Etapas del Gas Natural Comprimido



Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Gas Natural Licuado

Qué es el GNL?

El gas natural licuado (GNL) es gas natural que ha sido enfriado hasta el punto que se condensa a un líquido, lo cual ocurre a una temperatura de aproximadamente $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica. La licuefacción reduce el volumen aproximadamente 600 veces, haciéndolo así más económico para transportar entre continentes, en embarcaciones marítimas especiales, donde sistemas de transporte por tuberías tradicionales serían menos atractivos económicamente y podrían ser técnica o políticamente no factibles. De esta manera, la tecnología del GNL hace disponible el gas natural a través del mundo.

Para hacer el GNL disponible para uso en un país como Colombia, compañías de energía deben invertir en un número de diferentes operaciones que están relacionadas entre sí y dependen unas de las otras, tratadas a fondo en el Anexo B. Las etapas más importantes de la cadena de valor del GNL, excluyendo las operaciones de tubería entre etapas, son las siguientes:

- **Licuefacción:** para convertir gas natural en estado líquido, para que así pueda ser transportado en barcos.
- **Transporte** del GNL en embarcaciones especiales. Barcos metaneros de alta tecnología con depósitos criogénicos para mantener el gas a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Almacenamiento y Regasificación:** para convertir el GNL almacenado en tanques especiales, de su fase líquida a su fase gaseosa, listo para ser llevado a su destino final a través del sistema de tuberías de gas natural.

Como el proceso de licuefacción consiste en el enfriamiento del gas purificado mediante el uso de refrigerantes, el GNL es un líquido criogénico. El término “criogénico” significa baja temperatura, generalmente por debajo de $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$.

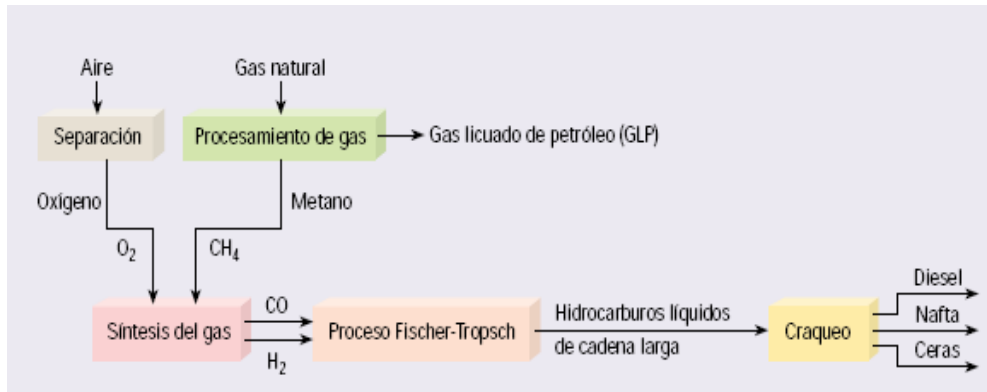
Los contaminantes que se encuentran presentes se extraen para evitar que se congelen y dañen los equipos, como el compresor, cuando el gas es enfriado a la temperatura del GNL y para cumplir con las especificaciones técnicas del gasoducto en el punto de entrega. Como resultado, el GNL está compuesto en su mayoría de metano (95% metano; 5% otros).

1.1.3 Gas a Líquidos (GTL)

La transformación de gas en líquidos utilizando el método de Fischer-Tropsch es un proceso de pasos múltiples, con gran consumo de energía, que separa las moléculas de gas natural, predominantemente metano, y las vuelve a juntar para dar lugar a moléculas más largas (Gráfico 3). El primer paso requiere la entrada de oxígeno (O_2) separado del aire. El oxígeno es insuflado en un reactor para extraer

los átomos de hidrógeno del metano (CH_4). Los productos son gas de hidrógeno sintético (H_2) y monóxido de carbono (CO), denominado gas de síntesis.

GRAFICO 3. Conversión de gas natural en combustibles líquidos.

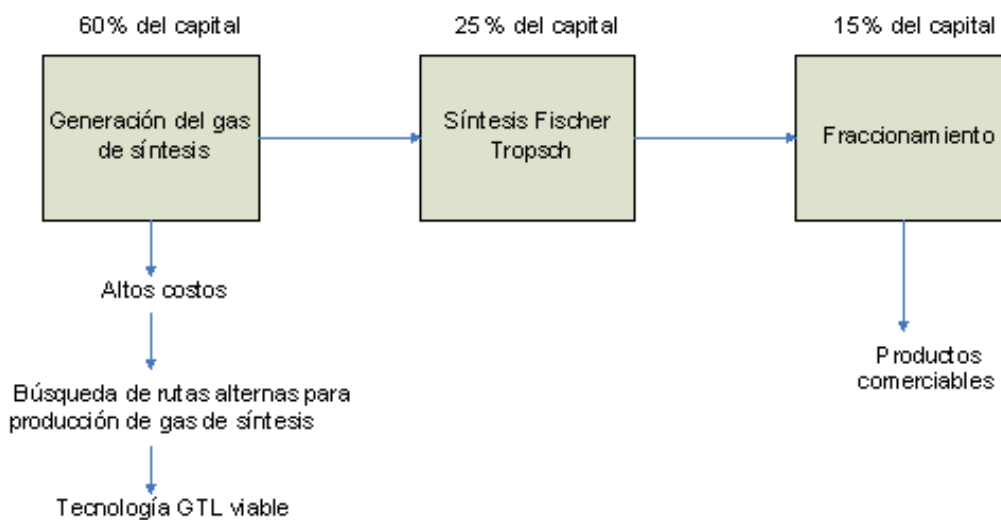


Fuente: Sasol Limitada.

El segundo paso utiliza un catalizador para recombinar el hidrógeno y el monóxido de carbono, dando lugar a los hidrocarburos líquidos. En la última etapa, los hidrocarburos líquidos son convertidos y fraccionados en productos que pueden ser utilizados de inmediato o mezclarse con otros productos. Los hidrocarburos de cadena larga son cargados en una unidad de craqueo para producir diesel u otros combustibles líquidos, nafta y ceras. El proceso de craqueo utiliza calor y presión para descomponer los hidrocarburos de cadena larga y producir hidrocarburos más livianos. El producto más conocido es el diesel extremadamente puro, a veces conocido como gasoil. El diesel obtenido con el proceso Fischer-Tropsch, a diferencia del derivado de la destilación del crudo, tiene un contenido de óxido de azufre y óxido de nitrógeno prácticamente nulo, carece virtualmente de contenido de aromáticos, su combustión produce poca o ninguna emisión de partículas y posee un alta índice de cetano. También se puede producir kerosén, etanol y dimetileter (DME). Otro producto de la reacción es la nafta, que tiene alto contenido de parafinas. Las ceras derivadas de los procesos GTL pueden ser lo suficientemente puras para ser utilizadas en la industria cosmética y de envasado de comestibles. Algunos aspectos técnicos sobre la tecnología GTL son abarcados en el Anexo C.

Los procesos GTL actualmente en operación convierten 286 m³ (10.000 ft³) de gas en un poco mas de 0.16 m³ (1 barril) de combustible sintético líquido. La producción de gas de síntesis corresponde entre el 50-75% de los costos totales del proceso, lo cual ha llevado a varias compañías a optimizar la producción para hacer de la tecnología GTL algo comercialmente viable (Grafico 4).

GRAFICO 4. Costos de las diferentes etapas de la tecnología GTL.



Fuente: Elaboración propia.

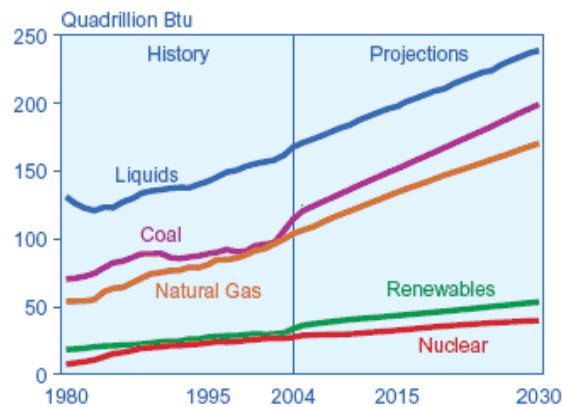
De cualquier manera la reducción de costos de cualquier etapa sigue siendo el principal objetivo de todas las compañías que desarrollan GTL. El uso de membranas catalíticas y reformadores compactos representan considerables avances en el área. Otra posibilidad es la eliminación de la unidad de isomerización que puede ocurrir si la catálisis del FT es capaz de producir productos isomerizados. La adición de ácidos Brønsted en el sitio de la tradicional catálisis con cobalto parece ser una interesante opción que esta siendo estudiada.

2 ALTERNATIVAS DE COMERCIALIZACION

2.1 TENDENCIAS DEL MERCADO DE GAS NATURAL

De acuerdo con "Internacional Energy Outlook 2007 (IEO 2007)", el uso de todas las fuentes de energía aumentará durante el periodo 2004-2030. (Grafico 5).

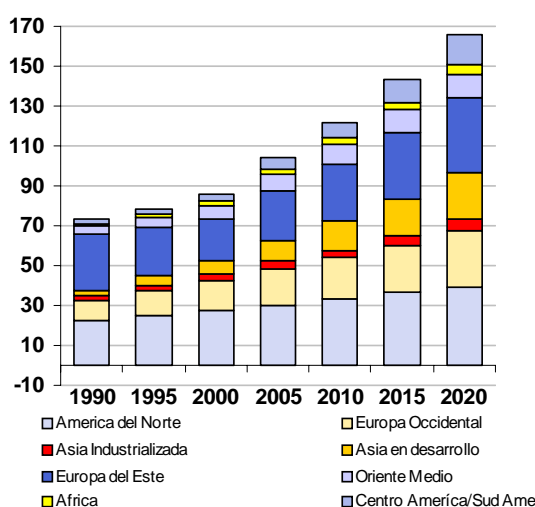
GRAFICO 5. Uso mundial de fuentes de energía



Fuentes: Energy Information Administration (EIA), Internacional Energy Annual 2004 (May-July 2006), web site www.eia.doe.gov/eia. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2007).

El gráfico anterior indica que los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), seguirán siendo los más utilizados en todo el mundo, básicamente por su importancia en el transporte y en el sector industrial. Para el resto, energía nuclear y energías renovables, también se espera que experimenten un aumento durante el mismo periodo, aunque mucho más suave. El empleo de estos dos recursos energéticos puede verse alterado por cambios en las políticas o leyes que limiten la producción de gases de combustión que, de acuerdo con los trabajos de muchos científicos, están siendo los responsables directos del cambio climático. Los pronósticos del mercado energético mundial apuntan a que el gas natural será el combustible fósil de mayor crecimiento en las próximas décadas (Grafico 6).

GRAFICO 6. Demanda de Gas por Región (TPC/año)



Fuente: EIA International Energy Outlook; BP Statistical Review; Oil & Gas Journal; Análisis ADL

2.2 CRECIMIENTO ESPERADO DE LA INDUSTRIA DEL GAS

Se prevé un crecimiento anual de 3% en la demanda mundial favorecida por las regulaciones ambientales de emisiones de SO_x y NO_x , y el control de los gases con efecto invernadero, liderada por los mercados latinoamericanos y Asia. Shell pronostica que el Gas podría pasar a ser la fuente de energía más importante para el 2025 abarcando el 50% del consumo de energía.

Antes del 2030 se estima que se colocarán en el mercado 320 MMPCD para satisfacer la demanda y sustituir yacimientos agotados. Existe abundancia de gas para satisfacer la demanda prevista hasta el 2020, pero los recursos no están concentrados cerca de los centros de elevada demanda, lo que implica la necesidad de inversiones en transporte (5000 TCF en reservas altamente dispersas).

Para satisfacer la demanda global de gas se deberán destinar cuantiosas sumas de capital que privilegiarán a los países que ofrezcan prospectos de producción atractivos así como condiciones favorables para la inversión. Las variables críticas de inversión serán la evolución de los procesos de desregulación, la

atractividad de los precios de gas y márgenes, las condiciones fiscales y otros estímulos a la inversión, así como la percepción del riesgo político del país. La Agencia Internacional de Energía estima que para satisfacer la demanda de gas se deberán invertir alrededor de 3,1 billones de dólares (un promedio anual de 105 millardos de dólares). Las áreas críticas de inversión son en esfuerzos de exploración y desarrollo de reservas, transporte a través de gasoductos internacionales y en instalaciones de gas natural licuado (GNL), tales como plantas de licuefacción, buques y terminales de regasificación. Dos aspectos influyentes en el crecimiento de la industria son las reservas y el precio del gas natural los cuales son abarcados en el anexo D.

2.3 ANALISIS DE TECNOLOGIAS

Para apuntalar la entrada de los países de la región a los mercados regionales y globales de gas, además de estudiar la oferta y demanda, estudio que se desarrolla en el Anexo E, se deberán tomar en cuenta las oportunidades para cada una de las principales opciones de transporte y monetización estudiadas en el capítulo anterior:

2.3.1 Oportunidades del Gas Natural Comprimido

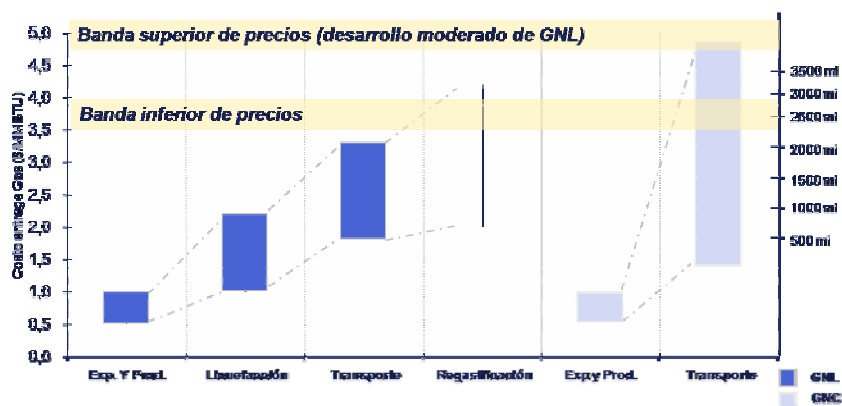
La técnica del GNC permite transportar el gas a condiciones menos críticas que las necesarias para la licuefacción, razón por la cual es más económica y eficiente, ya que requiere menor cantidad de energía para la conversión del gas y, por ende, las instalaciones son más simples y con menores volúmenes, lo que hace viables proyectos con menores reservas a las que se requieren para GNL. El GNC posee otras ventajas sobre las demás tecnologías como:

- Desarrollo de reservas de tamaño moderado y aisladas de infraestructura existente
- Mercados de tamaño moderado y distribuido
- Manejo de gas libre y asociado

- Uso de la red de transporte y distribución existente
- Aprovechamiento temporal de los recursos mientras se desarrollan proyectos de GNL y GTL (tiempos de ejecución cortos)
- Modernización de las flotas

La atractividad económica y comercial del GNC en comparación con el GNL y los gasoductos, es una función directa de la distancia de las reservas al mercado por lo que esta tecnología es una solución a mercados locales/regionales (Grafico 7).

GRAFICO 7. Costo de Entrega de GNL vs. GNC



Fuente: OTC, Platts, IEA

En materia de tecnología, el reto ha sido el diseño de un mecanismo que permita transportar mayores cantidades de gas, y que haga posible el mercado internacional de esta fuente de energía, por lo cual se han construido buques de transporte que hacen que el GNC sea una opción competitiva para el desarrollo de reservas para las que las tuberías y el GNL no son factibles.

2.3.2 Oportunidades del Gas Natural Licuado

La principal oportunidad que presenta el GNL frente a las demás alternativas disponibles para la comercialización de gas natural, es que la estructura de proyectos para este tipo de tecnología está bien definida. A esta se suman el aumento de la demanda de GNL (gran parte de las importaciones de gas en

EEUU en las próximas décadas serán en la forma de GNL); el acceso a mercados más amplios (proyectos para construir puertos y terminales en Méjico, Costa Rica y República Dominicana), y el desarrollo incipiente en nuestro continente, siendo Trinidad y Tobago el único país que lo exporta. Algunos aspectos que han contribuido con el crecimiento del GNL son expuestos en el Anexo F.

En cuanto a costos, se observa una constante reducción de los costos de capital en todos los segmentos de la cadena, tanto por efectos de las mejoras en tecnología, por el aumento de las capacidades nominales, cuanto por causa de la competencia creciente entre proveedores de tecnología y de equipos, astilleros, etc. El desarrollo de un mercado spot de GNL ha focalizado sus esfuerzos en la reducción de los costos de inversión en procesamiento y transporte a fin de mantener el negocio competitivo

La tendencia actual es a aumentar el tonelaje de los buques metaneros para disminuir la inversión unitaria y repartir mejor los costos operativos, si bien hay hoy buques con capacidades superiores a los 200.000 m³ de GNL en los tableros de diseño de varios ingenieros navales, la capacidad media actual es de 130.000 m³.

Se han logrado desarrollar tres procesos principales con diferencias en los ciclos de enfriamiento e intercambio de calor (Prico process, Optimised Cascade and C3-MR) que representan un incremento de más del 15% la eficiencia.

2.3.3 Oportunidades de la Tecnología Gas a Líquidos (GTL)

El Gas Natural Licuado tiene como objetivo el mercado del gas, mientras el GTL está dirigido al mercado de los combustibles líquidos como el diesel y la nafta. El GTL es considerado como un camino alternativo para explotar las reservas de gas en áreas remotas donde los mercados locales no existen.

Avances en tecnología, el incremento de reservas en lugares remotos y los altos precios del petróleo han ayudado a que se dé un repentino aumento en el

desarrollo de proyectos sobre GTL. Recientes avances técnicos, incluidas mejoras en los catalizadores empleados, han significado mejores productos obtenidos y una reducción en los costos de capital.

La conversión de gas natural en combustibles líquidos ha sido un objetivo difícil de lograr por un largo tiempo. Un número de propuestas para aumentar la eficiencia del proceso han surgido, pero una sola se ha convertido comercialmente en un proceso viable: conversión en productos con gran calidad a través del proceso Fischer Tropsch a baja temperatura (LTFT por sus siglas en inglés).

La principal ventaja de esta tecnología con respecto a las demás formas de monetización del gas natural es la producción de un combustible de mejor calidad y limpieza, con un mayor valor agregado por el hecho de poder mezclarse con los inventarios de las refinerías para obtener productos menos contaminantes.

Las mejoras continuas en la tecnología GTL han estado basadas fundamentalmente en el aumento de la capacidad de producción y en mejoras en el catalizador lográndose avances importantes en la curva de aprendizaje.

2.4 COMPARACION DE TECNOLOGIAS

La opción de transporte o monetización de reservas más atractiva varía de una localidad a otra de acuerdo a la combinación de las condiciones anteriores entre otros factores. Se incluyeron los gasoductos aunque no han sido tratados en el desarrollo del proyecto porque representan una opción que debe ser comparada con el GNC teniendo en cuenta que los costos para ambos dependen de la distancia y que el mercado para las dos alternativas de monetización es el mismo. Cada una de las opciones consideradas presenta diferencias en cuanto a sus parámetros operacionales y necesidades de inversión, a continuación se presenta un resumen de los parámetros más importantes para cada una de las tecnologías estudiadas en la tabla 1.

TABLA 1. Resumen de parámetros importantes para cada tecnología

| | Gasoducto | GNC | GNL | GTL |
|---|----------------|---|--|--|
| Tamaño de reservas Adecuado | N/A | 1-5 TPC | 5-8 TPC | > 5 TPC |
| Pérdidas / consumo | <6 % | 5-8 % | 14-30 % | 30-45 % |
| Distancia Mercado de exportación | <2000 Km | <4000 Km | >4000 Km | N/A |
| Capacidad | N/A | 500-1000 MPCS | Trenes: 770-1000 MMPCSD | En operación: 34 MBPD En proyecto: Hasta 185 MBPD |
| Inversión | 106-125 M\$/Km | Terminal US\$25 MM Barco US\$ 230 MM Total >US\$ 1200 | Terminal US\$750 MM Barco US\$160 MM Total >US\$2.500 MM | Piloto: 25-30 MUS\$/BPD |

Tecnologías como el GTL y GNL solo son viables para proyectos a gran escala y donde las reservas de gas natural superen para el GNL los trillones de pies cúbicos y para el GTL los terapiés cúbicos de gas natural.

En conclusión, cada una de las cuatro opciones para la monetización del gas presenta ciertas ventajas distintas:

- GNC: Comprende una relativa baja inversión; es aplicable a todo tipo de gas (poca necesidad de pre-tratamiento); se desarrolla dentro de un sistema escalable y flexible.
- GNL: El acceso a mercados es más amplio; la expansión puede desarrollarse de forma modular (por trenes); la estructura de los proyectos está bien definida; comprende un negocio de alta competencia; aumento de la eficiencia gracias al factor de compresión logrado.

- GTL: Entrada de gas a negocios alternos (gracias a los productos obtenidos); acceso a diversidad de mercados dispuestos a pagar un producto de mayor valor agregado; uso de sistemas convencionales de comercialización y entrega.
- Gasoductos: Preferible para el desarrollo de mercados interregionales pequeños a partir de grandes reservas; pueden desarrollarse expansiones incrementales; utilización de múltiples fuentes de gas; experiencia en manejo de gasoductos.

Así mismo cada opción tiene sus propias desventajas y riesgos que disminuyen su atractivo:

- GNC: Costo de transporte en buques; menos eficiencia en transporte; falta de experiencia en manejo de operaciones de carga y descarga de gas costa afuera.
- GNL: Mayor inversión de capital; alto riesgo de exposición a la regasificación (preocupación por el peligro de comunidades cercanas); reservas de gas comprometidas por largos períodos de tiempo; dificultad para desarrollar el proceso costa afuera; consumo de energía moderado.
- GTL: poca experiencia comercial; mayores emisiones; reservas de gas comprometidas por largos períodos; dificultad de llevar el proceso costa afuera; alto consumo de energía.
- Gasoductos: Amplia gama de partes interesadas que dificultan la negociación de un proyecto; frecuente necesidad de cruzar fronteras y en algunos casos pago de aranceles; riesgos típicos de gasoductos como atentados terroristas.

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA

Colombia no es ajena a las transformaciones que en el mundo se están presentando. La creciente demanda interna y las posibilidades de exportar este energético a Centroamérica y Estados Unidos la obligan a plantear alternativas que permitan dinamizar el mercado y explotar el potencial de gas que hay por descubrir. En el país, el gas ha estado siempre en un segundo lugar después del petróleo, el mercado del gas en Colombia es aún muy incipiente y se ha tenido que avanzar mucho para allanar los terrenos comerciales a fin de lograr concretar proyectos como los relacionados con el tratamiento de gas. Precisamente, los expertos coincidieron en que Colombia debe consolidar una política a largo plazo que defina el futuro de este energético, abra puertas a la inversión privada y genere posibilidades de negocios hacia otros países.

En ese sentido, representantes de las empresas petroleras esperan que la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) consolide las nuevas formas de contratación para búsqueda de reservas y plantean que los contratos que se firmen en adelante terminen hasta cuando se agoten los campos.

3.1 TECNOLOGÍAS DESARROLLADAS A NIVEL NACIONAL

El plan de masificación de gas natural en Colombia está orientado a racionalizar el consumo de los energéticos nacionales y a brindar una canasta diversificada que permita a los consumidores seleccionar eficientemente el energético que se ajusta a sus necesidades, a precios competitivos.

Con el desarrollo del Plan de Masificación, se logró, mediante la construcción de una red de gasoductos, conectar los principales centros de consumo con los campos de producción, brindar a los consumidores de los sectores residencial, comercial, industrial, eléctrico y transporte, la disponibilidad del gas a precios atractivos. Las poblaciones localizadas cerca a los gasoductos también pudieron utilizar este excelente energético conectándose mediante gasoductos regionales a la red troncal. Para poblaciones que económicamente no fuera atractiva la construcción de ramales, bien por su distancia a la red de gasoductos o bien porque su consumo no compensa la inversión en el ramal, se dejó como alternativa el abastecimiento con GLP.

Hoy, teniendo en cuenta que el incremento de la demanda del gas está dependiendo del desarrollo de las redes de distribución, es muy importante que el país siga pensando en llegar a un mayor número de poblaciones para dar bienestar a más colombianos y poder continuar el aprovechamiento de los recursos nacionales.

Considerando que las poblaciones que aún no se han conectado a la red nacional de gasoductos, dependiendo de su ubicación, utilizan leña, electricidad o GLP para la cocción de alimentos, siendo los dos primeros energéticos muy costosos y el último podría requerir importaciones si continua creciendo la demanda nacional, y dada la suficiente oferta de gas natural para el país, parece muy conveniente llevarles gas natural sin necesidad de construir grandes gasoductos, utilizando la tecnología del gas natural comprimido.

Conscientes de esta opción, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) se ha encargado de definir cuál es el esquema más eficiente de transporte de gas natural comprimido, cuáles son sus costos unitarios y como se comparan con el transporte por gasoducto.

En Colombia las tecnologías desarrolladas para monetizar las reservas de gas natural corresponden a dos de las anteriormente mencionadas: Gasoductos y Gas Natural Comprimido.

Los avances que se presentaron en los últimos 10 años en la infraestructura de transporte en el país han sido importantes. Sin embargo, el sistema aún es insuficiente para garantizar el suministro de gas natural domiciliario, especialmente en el interior del país. El sistema de transporte de gas natural actualmente está constituido por 7.059 kilómetros de gasoductos divididos en los subsistemas de la Costa Atlántica e interior del país. Las dos empresas con mayores longitudes de redes son TGI, propietario del 60 por ciento, y Promigas con un 32 por ciento (Ver anexo G).

Si nos referimos al desarrollo del Gas Natural Comprimido en Colombia, algunas experiencias se han tenido con los sistemas de GNC: Promigas lo utilizó para llevar gas a Valledupar, usando los cilindros de GNV para vehículos, y Alcanos de Colombia tiene instalado desde hace muchos años un sistema de transporte para llevar gas natural comprimido desde Neiva y Hobo hasta 14 poblaciones del departamento del Huila. Así mismo, Meta, Casanare, Cundinamarca y Tolima, están desarrollando proyectos en el uso de esta tecnología y se prevé que para 2009, con la culminación de estos proyectos, aumenten a más de 30 los municipios beneficiados con este servicio (Ver anexo H).

En cuanto al uso del gas natural como combustible automotor, es un hecho que Colombia ha entrado, en forma definitiva, en la era de los combustibles limpios. El consumo de GNV, a finales de 2006, fue de 52 GBTU/D, frente al consumo de 72 GBTU/D registrado a finales de 2007. Es decir, el GNV creció en un solo año el 39%. Estas cifras se reflejan en el número de vehículos que usan GNV en Colombia: en Diciembre de 2006 funcionaban con gas 168.523, mientras que al cierre de 2007 operaban 235.058.

Las tecnologías más avanzadas como Gas Natural Licuado y Gas a Líquidos han sido estudiadas como alternativas para el transporte y producción de combustibles más limpios a nivel nacional, pero solo han llegado hasta estudios de factibilidad que se profundizaran en el Anexo I. Hoy en día Colombia no posee ningún tipo de infraestructura para poder desarrollar alguna de las dos tecnologías, GNL o GTL.

3.2 ESTADO DE INVESTIGACIONES

Entre las principales recomendaciones hechas en la conferencia sobre las tendencias internacionales para aumentar la confiabilidad en un sistema de suministro y transporte como el que opera en Colombia, se destacan las siguientes: Incrementar puntos de suministro con estaciones a pequeña escala de LNG; cerrar anillos por seguridad y garantía de suministro; instalar plantas o crear depósitos de almacenamiento cerca de los centros de consumo para garantizar el suministro ante fallas de transporte; y desarrollar mercados por gasoductos virtuales (carro tanques que transporte GNC).

En un estudio reciente realizado por expertos internacionales se informaron las posibilidades de suministrar gas natural en zonas donde la construcción de gasoductos no sea viable, mediante el transporte de gas natural comprimido en carro tanques o barcazas, y de gas natural líquido mediante la instalación de pequeñas estaciones de recibo en condiciones económicamente viables. En varias partes del mundo se utiliza la tecnología Cryofuel, estudiada en el anexo J, (enfriamiento del gas mediante la mezcla de refrigerantes a baja presión), para aprovechar el gas de un pozo aislado de la red, y llevarlo al mercado como GNL.

Con respecto al gas natural vehicular, se requiere de una política más intensiva para su expansión a nivel nacional, puesto que todavía son muchos los municipios a los que no llega esta alternativa. Esto tiene una incidencia directa en los usuarios de GNV que corren el riesgo de no contar con las suficientes estaciones de servicio en todo el territorio nacional para su abastecimiento.

Es un hecho que el país está en busca de alternativas que permitan masificar el consumo de este importante energético a nivel nacional y son pocas las investigaciones desarrolladas en estos temas, pero por el contrario, cada vez crece más la necesidad de identificar una solución rápida, económica y factible de acuerdo al nivel de reservas (Ver anexo K).

3.3 CAPACIDAD DEL PAÍS PARA DESARROLLAR INVESTIGACIONES EN CADA UNA DE LAS TECNOLOGÍAS

Ante el panorama mundial, Colombia se presenta como un país que ha incrementado la demanda de gas natural fuertemente en los últimos años, y si bien tiene posibilidades de aumentar el mercado interno, éste será marginal y dependiente, tanto de la inversión en infraestructura como de la capacidad del país en comercializar lo que se descubra, teniendo en cuenta las señales de precios que establezca la CREG.

En el hemisferio, Colombia tiene países competidores que cuentan con volúmenes mucho mayores de reservas, dentro de los que se destacan: 1) Venezuela: con gran capacidad para suministrar GNL a la región y quinto en reservas a escala mundial. 2) Trinidad y Tobago: aumenta su capacidad para suministrar GNL a USA, Brasil y Centroamérica. 3) Perú: busca atraer la inversión privada y desarrollar consumo interno y exportar a Brasil, Ecuador y Méjico. 4) Argentina: un mercado maduro, con incertidumbre en sus reservas. 5) Brasil: economía más grande de América del sur con planes ambiciosos de aumentar generación eléctrica basada en gas y recientes grandes descubrimientos. 6) Bolivia: con planes de exportar a Brasil, Chile y Paraguay.

Teniendo en cuenta los importantes hallazgos en los últimos años de cuencas de gas natural potenciales, el país tiene el compromiso de invertir en proyectos que apoyen el desarrollo tecnológico del sector para aprovechar todos los recursos y buscar alternativas de transporte y comercialización del gas natural, que

aumentarían la demanda y generarían valor agregado al sistema establecido a nivel nacional.

Preocupados por la situación de las reservas a corto y largo plazo, la CREG, la ANH, la UPME, el Departamento Nacional de Planeación, ECOPETROL y el Gobierno Nacional, en la XI Asamblea y Congreso Anual de Naturgas, desarrollado en Marzo de 2008, llegaron a la conclusión que el país debe buscar la manera de garantizar el abastecimiento de este energético tan importante buscando nuevas reservas y estudiando nuevas alternativas de comercialización y transporte a bajos costos.

Para poder desarrollar investigaciones sobre las posibles alternativas de comercialización y transporte, principalmente del gas natural, es necesario contar con recursos de capital y tecnología adecuados con los cuales se lograría con éxito el desarrollo de este tipo de proyectos, en el anexo L se mencionan los factores fundamentales sin los cuales es imposible competir con éxito por los recursos de capital y tecnología.

Ante la evidente necesidad del país de buscar alternativas que generen desarrollo en el sector, el Gobierno Nacional ha establecido lineamientos para el desarrollo del gas natural, ya sea a través del Plan Nacional de Desarrollo o directamente a través de las entidades del estado (Comisión de Regulación de Energía y Gas) los cuales fueron informados por El Ministerio de Minas y Energía y el Departamento Nacional de Planeación y que son mencionados en el Anexo M.

El desarrollo de investigaciones en avance tecnológico de las diferentes alternativas, traería para el sector un gran impacto en la medida en que esas investigaciones contribuyan a reducir costos y simplificar los sistemas existentes u optimizar los procesos, teniendo en cuenta el tamaño de las reservas nacionales y estableciendo como prioridad la masificación del gas natural a nivel nacional, para así poder en un futuro incursionar en el mercado mundial del gas natural con tecnologías simples pero eficientes.

4 FUENTES DE PROYECTOS

Teniendo en cuenta que se hace evidente la necesidad del país en ampliar la cobertura de abastecimiento de gas natural y nuevas alternativas para monetizar las reservas potenciales que de ser probadas posicionarían al país en un importante nivel en el mercado del gas natural, teniendo la capacidad de identificar la infraestructura necesaria y la tecnología adecuada, a continuación se mencionan algunos perfiles de proyectos de acuerdo a la importancia que representa estar preparados ante el desarrollo tecnológico y económico que estos descubrimientos traerían para el país.

4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA CRYOFUEL COMO ALTERNATIVA PARA EL TRANSPORTE DE GNL TERRESTRE.

Actualmente, varios centros de investigación y desarrollo a nivel mundial, han enfocado todos sus esfuerzos para desarrollar tecnologías que permitan la identificación de un proceso de licuefacción de gas natural que pueda ser implementado a pequeña escala en mercados de baja demanda. El proceso Cryofuel, anteriormente mencionado, ha demostrado viabilidad económica para pequeños mercados como el de nuestro país.

Este proyecto incluiría el desarrollo conceptual para un sistema de distribución de GNL a pequeña escala terrestre, estado del arte para la tecnología seleccionada, en este caso el proceso Cryofuel y el desarrollo de su estructura comercial hasta la actualidad, seguido de una comparación financiera del proceso frente a otras alternativas de distribución. Finalmente se establecerían los requerimientos en

cuanto a tecnología e infraestructura para el diseño de una planta de GNL utilizando el proceso Cryofuel.

4.2 NANOTECNOLOGÍA COMO UNA SOLUCIÓN A LOS RETOS ENERGÉTICOS DEL FUTURO.

Entre las muchas aplicaciones de las nanotecnologías se encuentra la deposición de capa atómica ALD (Atomic Layer Deposition), una técnica en vías de perfeccionamiento por los investigadores del Laboratorio Nacional de Argonne de Estados Unidos. Dentro de los usos de esta técnica estarían la fabricación de células solares más eficientes y menos costosas, catalizadores industriales, superconductores mejorados y membranas de separación. Este procedimiento se utiliza para la fabricación de membranas catalíticas nanoestructuradas (NCMs). Estas estructuras permiten reacciones catalíticas que, por ejemplo, convierten materias primas baratas en productos más valiosos y sintetizan carburantes.

El objetivo de un proyecto de este tipo, es poder medir las propiedades de los catalizadores y sintetizar otros materiales catalíticamente relevantes en el interior de las NCMs, con el fin de llevar a cabo reacciones químicas que permitan mejorar la eficacia de los catalizadores en el proceso Fischer-Tropsch.

Se espera que los NCMs puedan mejorar la actuación de los catalizadores Fischer-Tropsch lo suficiente como para que la producción de carburantes libres de azufre sea económicamente viable en el siguiente par de décadas.

Otra aplicación de las nanotecnologías, utilizada para desarrollar alternativas de transporte del gas natural son los aerogeles. Un aerogel es una sustancia coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico.

A los aerogeles, que están en el mercado desde 2003, también se los llama a veces “humo congelado”. Son la sustancia más ligera posible: Pesar sólo el doble que el aire. Se fabrican usando bolsas de aire de tamaño nanométrico envueltas en silicio. Al ser transparentes, ligeros, resistentes y aislantes, los aerogeles se presentan como una alternativa al cristal muy conveniente para uso arquitectónico, por ejemplo para tragaluces y techos. Estos geles se pueden aprovechar para el transporte de gas natural licuado.

4.3 PROYECTO PARA MASIFICACIÓN DE GNV EN CASA.

Ante el crecimiento de los usuarios de GNV se podría desarrollar un estudio para establecer la factibilidad de implementar una nueva alternativa de distribución que se realizaría con pequeños compresores individuales en casa de los particulares. Esto traería una gran ventaja para los usuarios quienes podrían en cualquier momento abastecer sus vehículos sin tener que desplazarse a las estaciones de GNV en las que muchas veces se tienen que someter a filas.

El proyecto comenzaría por establecer el estado del arte de la tecnología a desarrollar, seguido del desarrollo de la tecnología a implementar, escogiendo los equipos más eficientes y con menores costos pero que brinden la seguridad que estos requieren por tener que llevar el gas a tan altas presiones para poder almacenarlo en los cilindros de GNV. Abarcaría un análisis económico del proyecto teniendo en cuenta que para la utilización del gas natural como carburante se necesitaría instalar un pequeño compresor en cada una de las casas de los usuarios, para poder establecer si es más económico desplazarse a las estaciones de GNV o si por el contrario generaría un costo razonable y aceptable por los usuarios que estarían dispuestos a pagar por la facilidad que este servicio implicaría.

Las posibles fuentes de financiación de estos proyectos son estudiadas en el anexo N.

CONCLUSIONES

- Las tecnologías más desarrolladas tecnológicamente son el GNC y GNL, por su parte las diferentes empresas que trabajan con GTL siguen buscando la mejor alternativa para poder desarrollar proyectos con esta tecnología, que aumenten su eficiencia y permitan trabajar con menores cantidades para hacerla más económicamente viable. La construcción de una Planta GTL en Colombia solo se haría viable con el descubrimiento de nuevas reservas de gas natural. Por el momento es una tecnología que no es posible implementar en el país.
- Los nuevos proyectos para extender el servicio y brindar la posibilidad de usar esta fuente de energía a través de GNC traerán desarrollo al país en materia de transporte de gas natural, siendo una tecnología adecuada para distancias cortas que requiere menores inversiones y reservas pero que solo es viable económicamente para poblaciones con consumos no menores a 300 m³/d.
- Un proyecto de GNL a pequeña escala en nuestro país permitiría llevar al gas a zonas desconectadas de la red nacional, y además podría ser utilizado como combustible, permitiendo reemplazar otros combustibles de mayor precio en empresas a donde la red de gasoductos no llega.
- Las nanotecnologías se convierten en una solución a los retos energéticos del futuro, trayendo avances importantes para GTL como para GNL, gracias al aumento de la eficiencia de los catalizadores y de la cantidad transportada de gas natural licuado respectivamente. Así como la tecnología Cryofuel que hacen económicamente viable proyectos de GNL

terrestre a pequeña escala, sobre las cuales el país debe centrar sus investigaciones.

- El Estado junto con las Universidades y los CDT's deben estar más comprometidos con la inversión en proyectos para generar desarrollo en el sector, buscando el apoyo financiero de entidades como Colciencias y vinculado a las empresas privadas, haciéndoles ver a estos últimos los beneficios que traerían para ellos.

RECOMENDACIONES

- Este estudio debe convertirse en una manera de incentivar a las empresas vinculadas al sector del gas natural y a las instituciones cuya función sea analizar las oportunidades energéticas del país, principalmente enfocadas al sector gas, para desarrollar proyectos de I&D, con el objetivo de buscar opciones tecnológicas para la valorización del gas natural como principal fuente de energía más limpia.
- Una buena estrategia para viabilizar proyectos de I&D, es enmarcarlos dentro de las políticas nacionales y mundiales que apuntan hacia la eficiencia en el uso de recursos energéticos y la disminución de los impactos al medio ambiente por la emisión de gases contaminantes.

BIBLIOGRAFIA

- Agencia Nacional de Hidrocarburos, “Perspectivas y proyecciones exploratorias”, XI Asamblea y Congreso Anual de Naturgas, 13 de Marzo de 2008, disponible en: [http://www.naturgas.com.co/documentos/6Perspectivasyproyeccionesexploratorias-Naturgas\(mar2008\).ppt](http://www.naturgas.com.co/documentos/6Perspectivasyproyeccionesexploratorias-Naturgas(mar2008).ppt)
- Agge, K., “Economic gas to liquids technologies: A new paradigm for the energy industry”. Syntroleum Corp, Tulsa, U.S.A.
- Anderson, R. B., 1956. “Catalysts for the Fischer –Tropsch Syntesis”, 4. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Archila, J., Cabarcas, M., Perez, J., “El potencial del Gas-to-Liquids (GTL) para la monetización del gas natural en Colombia”. CT&F, Ciencia, Tecnología y Futuro Vol.3 Núm 1. Diciembre 7 de 2005.
- Arthur D. Little de Venezuela, “Opciones de monetización y comercialización de reservas de gas”. Preparado para la ANH, 10 de Diciembre de 2004.
- Barreiro, L., Gas Natural Líquido. Analisis de tecnologías de producción en pequeña escala y utilización de transporte pesado. II Congreso de hidrocarburos 2003. Disponible en: <http://biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/CONAID2/MesasRedondas/2-7/Barreiro.pdf>
- Bp, Statistical Review of World Energy, 2007. Disponible en: www.bp.com

- BP. Liquefied Natural Gas. Disponible en Internet: <http://www.bpenergy.com/products/liquefied.html>
- BP., 2005. "BP Statical review of world Energy". Londres, Inglaterra.
- Burke, B., 2003. "Viable GTL in volatile market". Hydrocarbon Engineering, 22pp.
- Carta Petrolera. Octubre-Diciembre, 2002, Pág. 13-17
- Carta Petrolera. Septiembre de 2004, Pág. 33-35.
- ChevronTexaco. "El Futuro de la Industria del Gas Natural en Colombia". Abril 2, 2004.
- COINOR LTDA, "Definición de Costos en el Transporte de Gas Natural Comprimido Para Poblaciones", Bogotá, Diciembre 17 de 2001.
- CREG, "Visión del Regulador". XI Asamblea y Congreso Anual de Naturgas, 13 de Marzo de 2008, disponible en: <http://www.naturgas.com.co/documentos/2NATURGAS2008-CREG.ppt>
- CREG, Comisión de regulación de Energía y Gas. "Compresión y Transporte de Gas Natural Comprimido – GNC –: Propuesta Regulatoria Para Consulta". Documento CREG-048, Agosto 10 de 2004.
- Ecopetrol, "Perspectivas Gas Natural", XI Asamblea y Congreso Anual de Naturgas, 14 de Marzo de 2008, disponible en: <http://www.naturgas.com.co/documentos/0EcopetrolNaturgas2008.ppt>
- Giusti, Luis, "El preponderante gas natural", El Nacional 7 de marzo 2004

- International Energy Outlook 2007, disponible en:
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>
- Oil & Gas Journal Online. Disponible en: <http://www.ogj.com/index.cfm>
- Shell, Liquefied Natural Gas. Disponible en Internet:
http://www.shellglobalsolutions.com/solutions_for/gas_and_lng/gasmain.htm
- TRUE, WARREN R. "LNG demand, shipping will expand through 2010". Oil & Gas Journal ISSN: 0030-1388. Febrero 9, 1988 p:53.
- Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. "Oferta y Demanda del Gas Natural". XI Asamblea y Congreso Anual de Naturgas, 13 de Marzo de 2008, disponible en:
http://www.naturgas.com.co/documentos/PRESENTACIÓN_UPME_Naturgas2008.ppt
- UPME. Boletín Estadístico de Minas y Energía. 2002 – 2007.

ANEXO A. CADENA DEL GAS NATURAL COMPRIMIDO

ESTACIÓN COMPRESORA

La presión de entrada al sistema de transporte de GNC depende de las características técnicas del punto de abastecimiento. El sistema es más eficiente en la medida en que se pueda tomar una mayor presión, dado que el consumo de energía en la estación compresora, además de depender del volumen a comprimir, es proporcional al diferencial de presión entre la entrada y la salida del compresor.

Aún cuando la presión de entrada puede ser cualquiera, ya existe una estandarización en equipos que facilitan la especificación y compras de los mismos. Las presiones de entrada más usadas están en rangos cercanos a 60 psig (redes secundarias de distribución), 250 psig (redes principales de distribución) y 600 psig (gasoductos hasta de 1200 psig).

De los tres posibles puntos de conexión de la estación (gasoducto, red principal de distribución y red secundaria de distribución), no se recomienda conectarse sobre la red de polietileno (red secundaria) porque la presión de succión entre 30 y 60 psig es muy baja y se encarecen los costos unitarios de operación.

Una conexión directa sobre el gasoducto también tiene problemas: dependiendo de la ubicación en el gasoducto, la presión puede variar entre 250 y 1200 psig, lo cual obliga a disponer de compresores de menor presión de succión que garanticen su operación con cualquier presión del gasoducto; por otra parte, con el actual sistema de cobro por conexiones sobre los gasoductos, en algunas partes

los derechos pueden costar más de seiscientos millones de pesos, lo cual castiga sustancialmente el sistema de gas natural comprimido.

La presión de entrega de los compresores se estandariza en 3600 psig. Las estaciones que se utilizan son del sistema paquete, es decir que estarán encerradas y montadas sobre “skids”, son modulares y contienen todo el equipamiento de filtros, válvulas, línea de aspiración, sistema de seguridad, tableros eléctricos y de control, etc. La capacidad de la estación es variable dentro de un rango y depende de la presión de succión.

TRANSPORTE

Una vez se ha comprimido el gas, debe almacenarse en recipientes que soporten la alta presión y que puedan ser transportados fácilmente.

Puede utilizarse tanques grandes contruidos sobre remolques, como carros cisterna, pero debido al diámetro y a las características constructivas requeridas por la operación a altas presiones son muy costosos. Entonces, se ha encontrado que es mejor disponer de un almacenamiento compuesto de varios tubos (bombolonas) que también se montan en forma fija sobre un remolque.

También existe en el mercado un sistema de almacenamiento de cilindros más pequeños (Grafico A1), similares a los utilizados en los automotores que usan gas natural vehicular como combustible, y que se ensamblan en módulos o “canastas”, teniendo la particularidad de ser modulares y estar independientes del vehículo transportador, lo cual permite disminución de lucro cesante cuando el almacenamiento se encuentra localizado en la estación compresora o en la estación descompresora.

GRAFICO A1. Módulos de almacenamiento de GNC



Fuente: Definición De Costos En El Transporte De Gas Natural Comprimido Para Poblaciones CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Estas canastas son tanques de acero, conectados entre sí dentro de un módulo, los cuales se llenan en la estación compresora a 3600 psig y sirven como almacenamiento en la estación receptora. Estos módulos de tanques son transportados sobre vehículos de carga.

Dependiendo del fabricante de las “canastas” el sistema puede ser especializado y utiliza un trailer específico con capacidad entre 2 y 4 módulos de almacenamiento, con facilidades para cargar los módulos en la estación compresora y descargarlos en la estación reguladora. Estas “canastas” tienen capacidad para 1300 y 1500 m³ de gas.

Si se utilizan otro tipo de “canastas”, pueden montarse en camiones o remolques sin requerir equipo específico para el transporte, pero se necesita montacargas en la estación de compresión y en la de regulación (Gráfico A2). Estos módulos tienen capacidad de almacenamiento de 1200 litros (300 metros cúbicos).

GRAFICO A2. Camiones transportadores de GNC



Fuente: ChaiAnun W.T., Boonchanta P. (October 2004). Thailand NGV Updates: Technology, Marketing and Government Policy. *IV Expo GNC in Buenos Aires, Buenos Aires*

SISTEMA DE DESCOMPRESIÓN

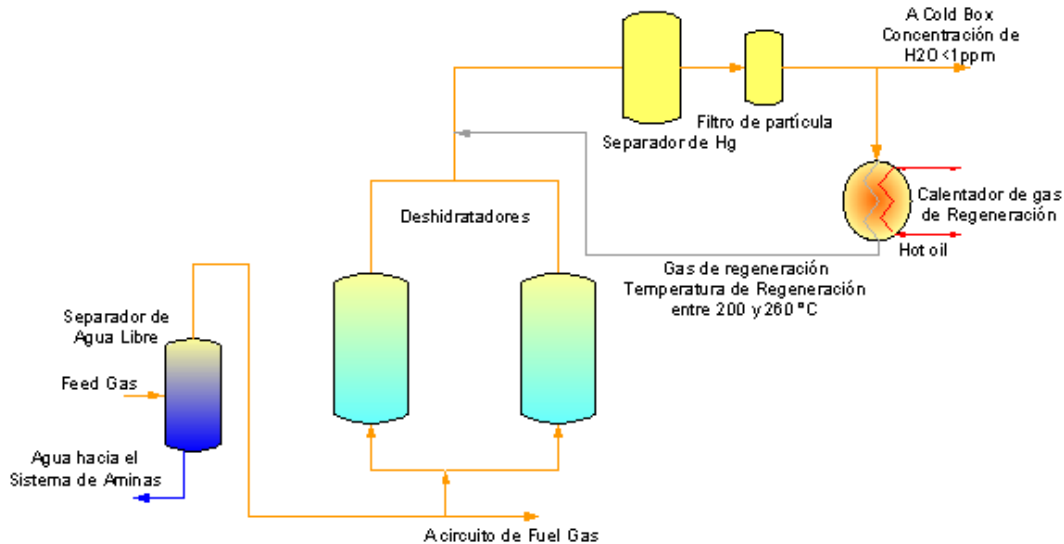
En el extremo receptor estará una estación de descompresión que disminuirá la presión del gas para que pueda utilizarse por los usuarios finales, bien sea industria, generación térmica, gas natural vehicular o redes de distribución, lo cual hace que la presión de salida de la estación reguladora sea diferente.

La estación de descompresión comprende equipos para medición, válvulas de regulación, sistema de odorización, calefacción y regulación de presión de 3600 psig a 250 psig y de 250 psig a 60 psig, según sea el tamaño de la población atendida y en el caso particular de gas natural para uso domiciliario. También puede tener otros equipos adicionales para análisis cromatográfico, telecomandos, etc.

En caso que la estación de descompresión también alimente una estación de gas natural vehicular, se requiere tener una unidad compresora que recomprima el gas de los tanques de almacenamiento, dado que al ir entregando el gas los tanque bajan su presión y como los cilindros de GNV de los carros requieren 3000 psig debe mantenerse una presión superior en las “canastas” para que pueda seguir fluyendo el gas.

para extraer trazas de mercurio y partículas sólidas, y además se produce la separación de los hidrocarburos pesados por condensación parcial.

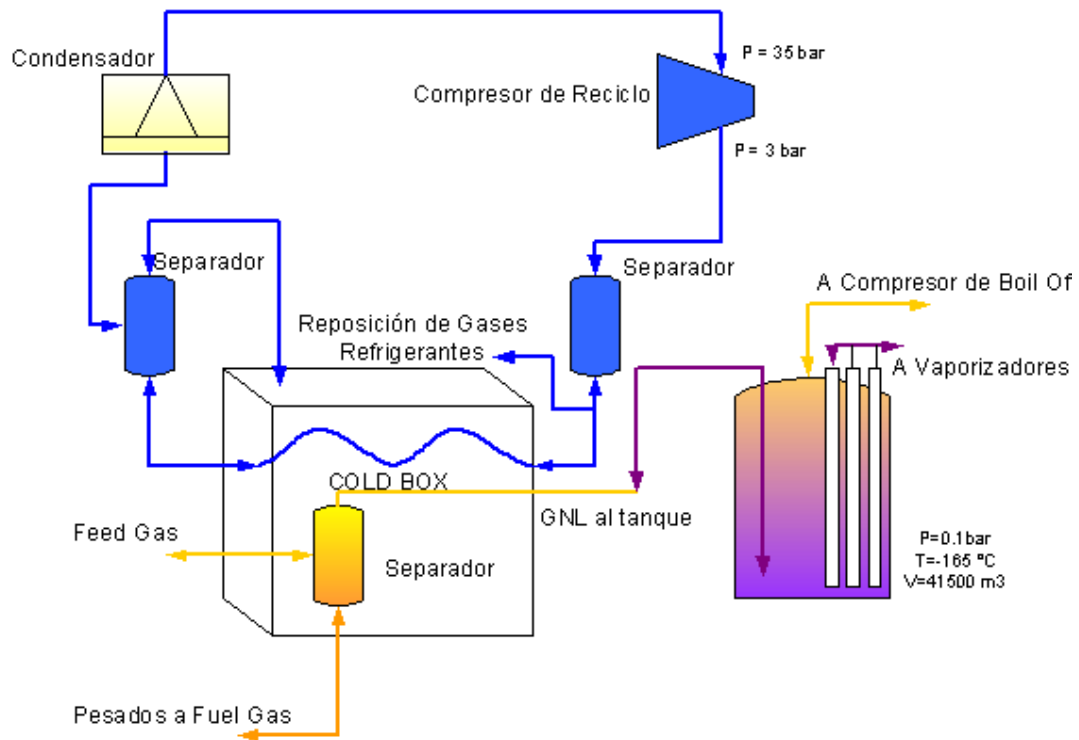
GRAFICO B2. Proceso de Deshidratación y Filtrado



Fuente: Asociación de Distribuidores de Gas Natural. Chile

• **Etapas de licuefacción y almacenamiento (Grafico B3):** Se produce el enfriamiento necesario para su licuefacción. El GNL producido se envía al tanque de almacenamiento, el cual lo mantiene a su temperatura de licuefacción, operando a una presión de 20 a 70 mbar. El GNL es almacenado en tanques de paredes dobles a presión atmosférica, que más bien es un tanque dentro de otro. El espacio anular entre las dos paredes del tanque está cubierto con un aislante. El tanque interno en contacto con el GNL, está fabricado de materiales especializados para el servicio criogénico y la carga estructural creada por el GNL. Estos materiales incluyen 9% de acero, níquel, aluminio y concreto pretensado. El tanque exterior está fabricado generalmente de acero al carbono y concreto pretensado.

GRAFICO B3. Proceso de Licuefacción y almacenamiento



Fuente: Asociación de Distribuidores de Gas Natural. Chile

TRANSPORTE. BARCOS GASEROS O METANEROS

Los buques de transporte de gas natural licuado, también denominados metaneros, son probablemente los barcos mercantes más sofisticados y de más alta tecnología. Todos cuentan con doble casco y en el lugar de las bodegas tienen habilitados uno o varios depósitos criogénicos que permiten mantener la carga a una temperatura de -161°C .

Los transportadores de GNL son embarcaciones especialmente diseñadas y aisladas para prevenir fuga o ruptura en el evento de un accidente. El GNL se almacena en un sistema especial dentro del casco interior donde se le mantiene a presión atmosférica y -161°C .

En función del aislamiento de los tanques, estos transportes pueden ser principalmente de dos tipos, ambos igualmente idóneos, de modo que resulta muy difícil distinguir el mejor:

- El diseño esférico (Tipo "Moss")
- El diseño de membrana

Los metaneros Kvaerner Moss incorporan varios depósitos construidos en una aleación de aluminio y de forma esférica que a simple vista destacan sobre la cubierta (Grafico B4). Los metaneros de membrana se denominan así porque sus tanques disponen de una membrana de acero corrugado y expandible (Grafico B5). Se distinguen porque en su cubierta sobresale una gran estructura, normalmente prismática.

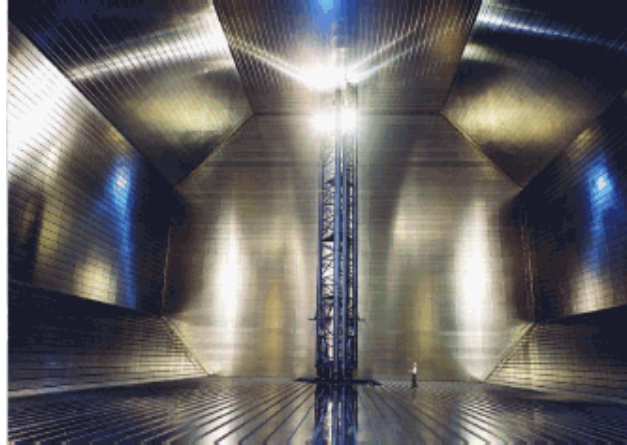
GRAFICO B4. Barco metanero tipo Moss



Fuente: Asociación de Distribuidores de Gas Natural. AGN, Chile.

Actualmente la mayoría de los barcos de GNL usan los tanques esféricos (tipo "Moss"). El buque típico puede transportar alrededor de 125.000 m^3 – 138.000 m^3 de GNL, lo cual se convierte entre 73,6 – 79,3 millones de m^3 de gas natural y cuesta alrededor de \$160 millones de dólares. Mide 274 metros de longitud, alrededor de 42 metros de ancho y 10 metros de casco sumergido.

GRAFICO B5. Casco interior de un buque metanero



Fuente: Asociación de Distribuidores de Gas Natural. AGN, Chile.

Debido a los avances tecnológicos, cada vez se construyen buques más eficientes, capaces de reducir el efecto boil-off (GNL que se reconvierte a gas). Gracias a estos avances, esas cantidades mínima de gas se reutilizan como combustible para el buque, y el resto es nuevamente convertido a GNL. Los transportadores de GNL son generalmente menos contaminantes que otras embarcaciones, por utilizar gas natural y fuel-oil como fuente de energía para la propulsión.

El número de barcos metaneros crece año tras año para satisfacer una demanda de gas cada vez más creciente a nivel mundial. Según los últimos datos disponibles, la flota de buques metaneros se sitúa en la actualidad en una cifra superior a los 160 buques. Las previsiones indican que la demanda de metaneros se duplicará en el 2015, con metaneros aún mayores, que alcanzarán una capacidad de carga superior 200 mil m³.

ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACIÓN

El GNL se gasifica a través de la planta de regasificación. A su llegada al terminal en estado líquido, primero es bombeado a un tanque de

almacenamiento de doble-pared (a presión atmosférica), similar al usado en la planta de licuación, y después es bombeado a alta presión a través de diferentes partes del terminal donde es calentado en un ambiente controlado.

El GNL se calienta circulándolo por tuberías con aire a la temperatura ambiente o con agua de mar. Una vez que el gas es vaporizado se regula la presión y entra en la red de gasoductos como gas natural.

Finalmente, los consumidores residenciales y comerciales reciben el gas para su uso diario proveniente de las compañías de gas locales o para utilizarlo en generar electricidad.

ANEXO C. ALGUNOS ASPECTOS TECNICOS DE LA TECNOLOGIA GAS A LIQUIDOS

El proceso GTL, en el que una reacción química convierte el gas natural en productos de hidrocarburos líquidos, no es un invento nuevo. Luego de la Primera Guerra Mundial, las sanciones económicas impuestas impulsaron a los científicos alemanes a explorar formas de obtener combustibles líquidos provenientes de los abundantes recursos de carbón del país. Uno de los métodos exitosos, es el proceso Fischer-Tropsch desarrollado en 1923 por Franz Fischer y Hans Tropsch en el Instituto Kaiser-Wilhelm de Investigación del Carbón de Mülheim, Alemania, que permitió convertir el metano, obtenido de calentar carbón, en combustible diesel de alta calidad, aceite lubricante y ceras. El combustible diesel tenía una combustión limpia y producía emisiones con cantidades insignificantes de partículas y de azufre. Para 1945, las compañías químicas alemanas habían construido nueve plantas Fischer-Tropsch para la generación de combustibles líquidos sintéticos limpios.

Luego de la Segunda Guerra Mundial, varios países comenzaron a investigar la generación de combustibles sintéticos basados en la técnica Fischer-Tropsch. Las plantas alemanas fueron desmontadas y trasladadas a Rusia, donde constituyeron la base para los esfuerzos industriales de producción de ceras y productos químicos. En un entorno de preocupación por la seguridad futura de las importaciones de hidrocarburos, se iniciaron trabajos en EUA y Sudáfrica para evaluar la eficiencia de la reacción Fischer-Tropsch a diferentes presiones y temperaturas, con diferentes catalizadores; hierro, cobalto o níquel, y con diferentes métodos de circulación de los gases y líquidos a través del reactor. Para 1953, se puso en operación un concepto en Sudáfrica, y desde entonces, impulsados en gran medida por las restricciones impuestas sobre las

importaciones de petróleo, los combustibles Fischer-Tropsch cubrieron el 36% de las necesidades de ese país en materia de combustibles líquidos.

PRODUCCION DE GAS DE SINTESIS

El gas de síntesis puede ser generado de cualquier fuente de hidrocarburos. Esto se refleja en la industria, donde se incluyen en la producción a gran escala de gas de síntesis una variedad de materiales como gas natural, nafta, aceite residual, coke del petróleo y carbón. Sin embargo, en el contexto de las aplicaciones GTL, predomina la utilización de gas natural, pero no es la única fuente de obtención del gas de síntesis.

Las principales tecnologías para producir syngas o gas de síntesis, del gas natural son las siguientes: la tecnología predominante comercialmente para la generación de gas de síntesis es el reformado de metano con vapor de agua (SMR, steam methane reforming), en donde el metano y el vapor son catalíticamente y endotérmicamente convertidos a hidrógeno y monóxido de carbono. Una alternativa a la SMR es la oxidación parcial, una reacción exotérmica y no catalítica del metano y del oxígeno para producir una mezcla de gas de síntesis. Particularmente la tecnología SMR, produce un gas de síntesis con un alta relación H_2/CO , es por esto que representa una ventaja frente a las otras alternativas. No obstante, ni siquiera manipulando adecuadamente el proceso, la SMR ni la oxidación parcial son ideales para aplicaciones GTL, por la condición de los procesos F-T con respecto a que la relación H_2/CO debe estar cerca de 2, un valor muy grande para los obtenidos con la oxidación parcial y muy pequeño para los valores obtenidos con SMR.

La solución para este dilema es usar las dos tecnologías. La oxidación parcial y la SMR pueden ser utilizadas en paralelo para producir gas de síntesis con diferentes composiciones pero, cuando se mezclan, forman un gas de síntesis con la composición deseada. Una alternativa para esta propuesta es el reformado

autotérmico (ATR), que combina la oxidación parcial con el reformado catalítico en un reactor en presencia de vapor u O₂. En este proceso se debe tener en cuenta la relación vapor / carbono para poder obtener una adecuada composición del gas de síntesis.

Otra tecnología disponible para la obtención del syngas es la de reformado por combinación o de dos etapas, que resulta de combinar un reformador de metano con vapor (SMR) y un reformador autotérmico (ATR), obteniendo una mejor utilización de la energía que usando por separado estas tecnologías. Este tipo de reformador es menos costoso que el reformador con vapor y más que el Autotérmico.

REACTORES PARA SINTESIS FISCHER – TROPSCH

Los reactores más viables para procesos comerciales en la producción de hidrocarburos pesados y relativamente pesados son específicamente dos: Reactor de Lecho fijo Multitubular y Reactor de Lodos con Columna Burbujeante (Grafico C1). Las principales características de los reactores y catalizadores utilizados se describen en las tablas que se presentan a continuación.

Tabla C1. Características de los reactores F – T

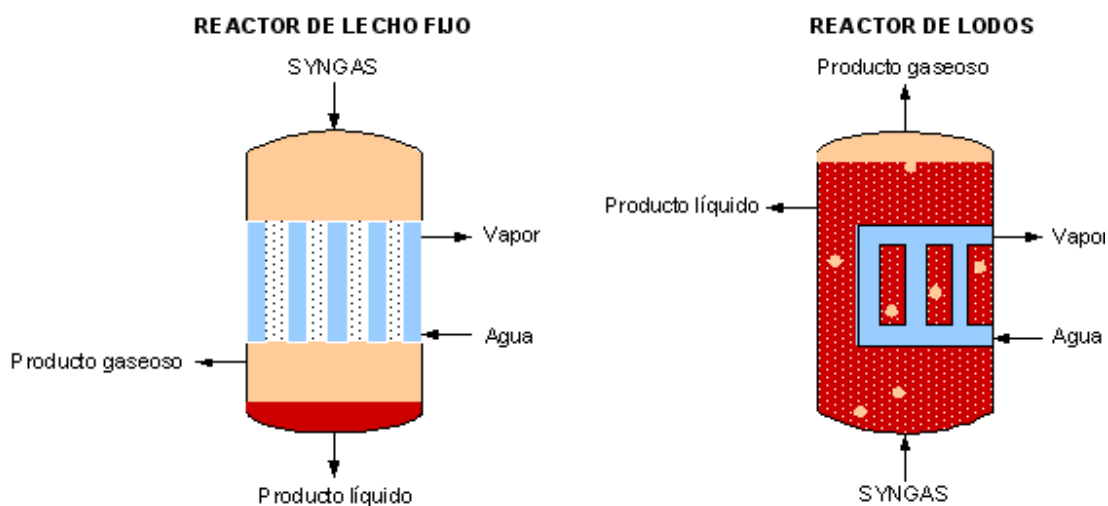
| CARACTERISTICA | Lecho Fijo | Lecho Lodos |
|--|-------------------|--------------------|
| Rendimiento | alto | medio |
| Caída de presión | alta | baja |
| Capacidad | alto | alto |
| Consumo de catalizador | bajo | bajo |
| Limitaciones de transferencia de calor | alto | bajo |
| Mezclado catalítico | pobre | excelente |
| Peso molecular del producto | alto | alto |

| | | |
|--------------------------------|------|------|
| Conversión del gas de síntesis | bajo | alto |
| Temperatura de operación | baja | baja |
| Catalizador de Fe | si | si |
| Catalizador de Co | si | si |

Tabla C2. Características Generales del Catalizador de F – T

| HIERRO (Fe) | Cobalto (Co) |
|---|--|
| Corta vida | Larga vida |
| Bajo costo | Caro |
| Relación gas de síntesis H ₂ :CO a 0.7+ | Relación gas de síntesis H ₂ :CO a 2.0+ |
| Contiene azufre | Sin azufre |
| No toxico / desechable | Toxico / necesita reciclar |
| Productos mas oleofínicos | Productos mas parafínicos |
| Productos de peso molecular más altos | Productos de peso molecular más bajos |
| Subproductos – H ₂ O / CO ₂ / vapor | Subproductos – H ₂ O / vapor |

GRAFICO C1. Esquema de los Reactores de Fischer – Tropsch



Fuente: Fischer – Tropsch technology, LNG – GTL Conference
Buenos Aires (Argentina), Julio 31 – Agosto 1, 2001)

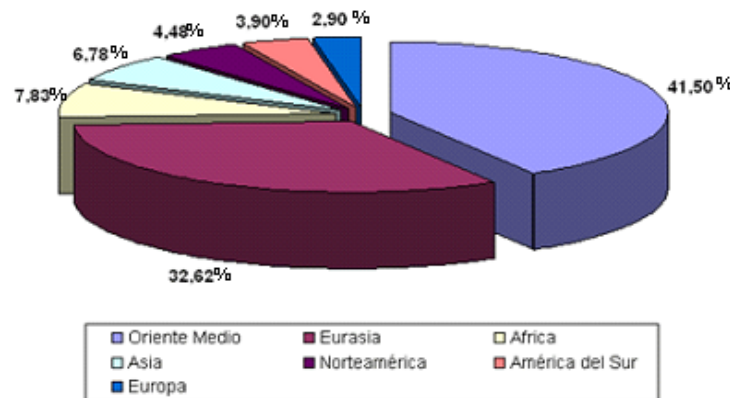
Este es el aspecto de la tecnología GTL --la producción de combustibles líquidos de fácil transporte a partir del gas natural convencional-- que despierta la curiosidad de las grandes compañías de petróleo y gas del mundo.

ANEXO D. RESERVAS LATINOAMERICANAS Y PRECIO DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA

RESERVAS LATINOAMERICANAS

En Enero de 2007, las reservas mundiales de gas natural ascendían a 6183 trillones de pies cúbicos distribuidos como se indica a continuación (Grafico D1):

GRAFICO D1. Reservas mundiales de gas natural en trillones de pies cúbicos.



Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2007

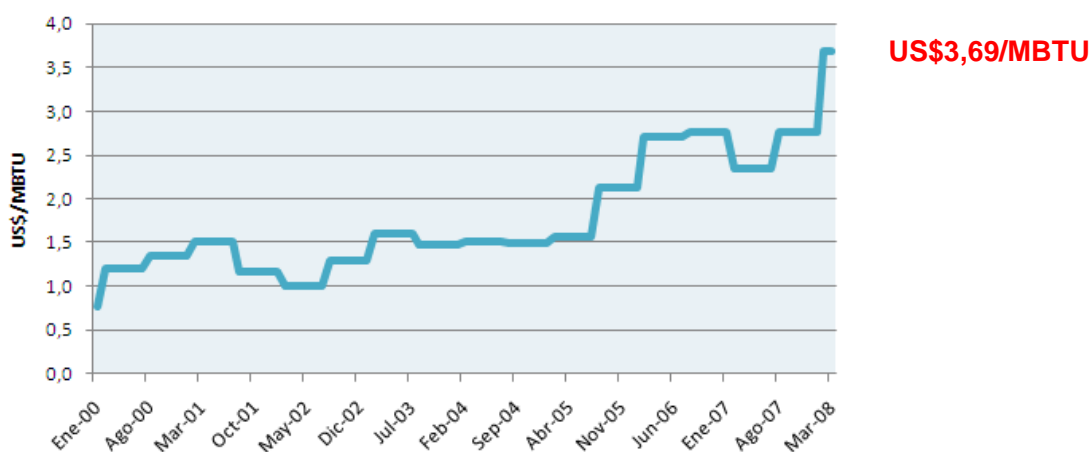
Latinoamérica cuenta con recursos probados de gas para constituirse en un jugador de importancia como una fuente fundamental de suministro de gas para Norte América.

En Colombia la industria ha estado orientada a satisfacer la demanda interna existiendo sin embargo la política de impulsar el desarrollo del sector. La oferta de gas en Colombia consiste principalmente de gas asociado en el interior del país y de grandes yacimientos de gas libre en la Costa NorAtlántica, además un factor influyente tanto en la oferta como en la demanda ha sido el precio del gas natural.

PRECIO DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA

El precio del gas natural a nivel mundial ha ido aumentando de la mano con el aumento del precio del petróleo y la disminución de las reservas de este combustible. En Colombia desde el año 2000 se ha visto un fuerte aumento en el precio del gas natural regulado por la Comisión de Regulación de Gas Natural (CREG) establecido con base en la metodología establecida en la resolución CREG 119 – 2005 (Gráfico D2). Las cifras obtenidas son estimadas con base en información publicada por el Departamento de Energía de Estados Unidos (EIA).

GRAFICO D2. Evolución del precio del gas natural en Colombia



Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas

E. OFERTA Y DEMANDA DE CADA UNA DE LAS TECNOLOGIAS

OFERTA Y DEMANDA DEL GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

En los últimos años se ha ido perfeccionando este mecanismo de transporte de gas, resultando para muchos, el más eficiente. El transporte marítimo de gas natural comprimido (GNC) está emergiendo como alternativa atractiva para el desarrollo de reservas aisladas de gas.

A continuación se presentan algunos aspectos del mercado del gas natural en Colombia teniendo en cuenta que el Gas Natural Comprimido es una tecnología que actualmente se desarrolla a nivel regional y depende de la demanda y oferta del país en donde se desarrolle.

Colombia muestra un mercado interno de gas natural desarrollado conforme a las condiciones de demanda. Aun así, es importante reconocer las diferentes expectativas sobre el nivel de reservas y la masificación en la utilización del gas natural, las cuales tienden a un incremento de los diferentes usos.

El mercado de gas natural no se encuentra abierto, no se evidencian crecimientos de importaciones y las exportaciones aumentaron con el nuevo gasoducto que lleva gas natural a Venezuela, y el consumo a nivel nacional de este energético ha crecido notablemente gracias a la implementación del plan de masificación de gas desde 1991.

La demanda interna por gas natural también ha avanzado. El consumo doméstico e industrial de este energético se ha incrementado gracias al desarrollo de la infraestructura de transporte en el interior del país. El uso como combustible

vehicular, a pesar de su participación reducida en el consumo, ha experimentado un sensible incremento, consecuencia del programa de reconversión del parque automotor adelantado en el país, especialmente en Bogotá. Así mismo, al igual que en los Estados Unidos, el uso en generación de electricidad presenta los volúmenes más altos de consumo en el país.

Este progreso en los niveles de producción y de consumo se ha visto impulsado como consecuencia del desarrollo reciente de la infraestructura de transporte de gas.

Las proyecciones de la demanda de gas colombiana suponen un importante crecimiento, principalmente para el consumo para generación eléctrica. Por su parte, las proyecciones sobre la oferta muestran un desarrollo del sector acorde con el criterio de eficiencia empresarial orientado a satisfacer expectativas de rentabilidad y penetración del mercado en el corto y mediano plazo, lo cual a su vez supone el desarrollo de la infraestructura de transporte y las interconexiones requeridas para la ampliación del mercado nacional y regional.

OFERTA Y DEMANDA DEL GAS NATURAL LICUADO (GNL)

El mercado mundial del GNL ha experimentado un crecimiento espectacular en los últimos diez años. El intercambio mundial de este producto ha crecido un promedio de 7% por año. El GNL es la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad.

Las mayores concentraciones de gas natural se dan en regiones donde no existe demanda significativa de dicho energético; por ello, existe entre los productores una necesidad urgente de monetizar reservas remotas o ubicadas a gran profundidad en el mar. La única solución para poder mover dichas reservas a los mercados es la licuefacción del gas y el GNL es la forma más apropiada para

hacerlo. Eso explica porqué Australia, Malasia, Indonesia, Qatar, Nigeria y Trinidad y Tobago se encuentran entre los países exportadores de GNL y también porqué la capacidad global de licuefacción de gas ha pasado de 187 MMm³ de gas (197 millones de toneladas métricas de GNL) por año en 2003 a un estimado de 266 MMm³ (197 millones de toneladas métricas) en 2007.

Los factores que impulsan la demanda de GNL difieren según la posición estratégica en la que se encuentren los países demandantes de gas. Los grandes importadores asiáticos de GNL – Japón, Corea y Taiwán – tienen escasos recursos energéticos en sus territorios y por ello son altamente dependientes de energía importada para la calefacción, uso doméstico y generación eléctrica. Al mismo tiempo han desarrollado mercados maduros de gas, que abastecen casi exclusivamente por medio de GNL.

Europa y Norte América, por el contrario, poseen o tienen fácil acceso a recursos energéticos más diversos y abundantes, por lo cual la penetración de GNL en dichas regiones es más difícil. Sin embargo, la demanda creciente de gas natural ha impulsado la construcción de más terminales receptoras en los dos continentes. La penetración del GNL en la demanda doméstica mundial de gas, que hoy ronda el 3%, pasará al 9% en 2010 con impulso creciente.

Además de los países actualmente importadores de GNL, es decir, EE.UU., Francia, Italia, España e India en Atlántico, así como Japón, Corea y Taiwán en el Pacífico, dos nuevos países se aprestan para convertirse en futuros demandantes: China, por su enorme necesidad de energéticos y Gran Bretaña, al entrar sus yacimientos de Mar del Norte en franca declinación.

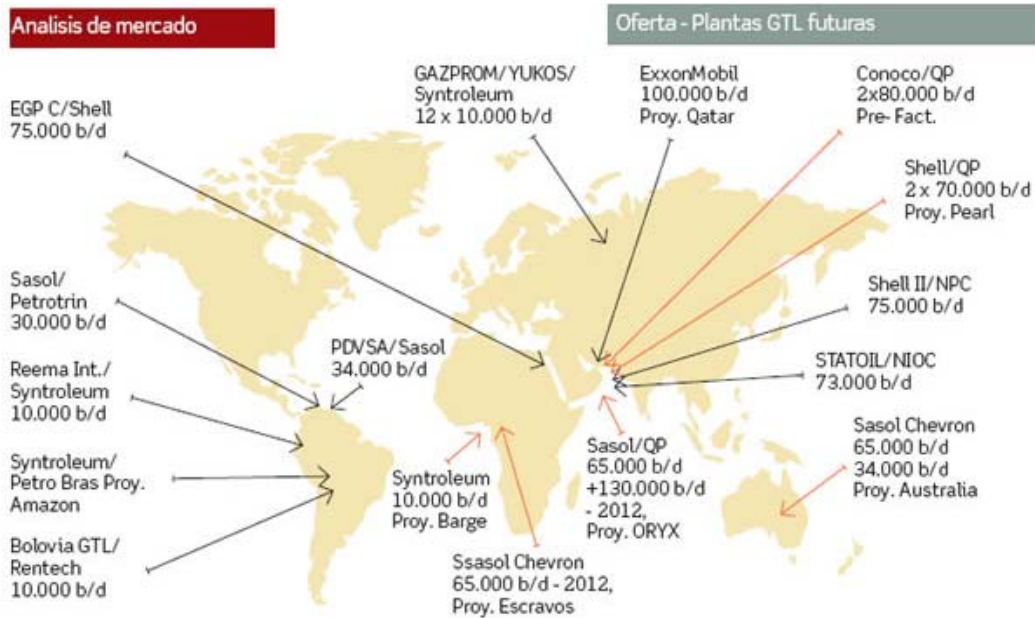
OFERTA Y DEMANDA DE GAS A LÍQUIDOS (GTL)

Hoy, varios factores vuelven a poner la tecnología GTL como una opción de monetización de las reservas de gas natural. El principal factor radica en la ventaja

para el transporte que tienen los combustibles líquidos sobre aquellos en estado gaseoso. Por otra parte, el alto precio del petróleo hace ahora viables dichas inversiones. Finalmente, el tercer factor determinante radica en la presión que los grupos ambientalistas imponen a los mercados para la utilización de combustibles más limpios.

En la actualidad, Sudáfrica es el líder mundial en producción de combustibles sintéticos, siendo Sasol su principal compañía productora con una producción de 160.000 b/d de hidrocarburos líquidos a partir de gas derivado del carbón, en un complejo integrado por tres plantas cerca de Johannesburgo. El complejo Mossgas operado por Pedrosa y Statoil, ubicada en el mismo país, entrega 27.000 b/d de productos GTL utilizando gas natural convencional enviado por gasoductos desde Mozambique. Los productos obtenidos son en su mayoría especializados, puesto que producen principalmente oleofinas y naftas, las cuales se exportan a más de 80 países, especialmente de Europa. Por su parte, Shell inauguró una planta en el año 1993, en Bintulu, Malasia, que funciona con el gas proveniente de los campos petroleros del área marina de Sarawak. La planta de Bintulu produce 14.700 b/d de diesel, queroseno y naftas limpias, que se comercializan en el mismo país. En 2006, Sasol y Qatar Petroleum inauguraron el proyecto Oryx en Qatar, en el complejo de Ras-Lafan, con una producción de 34.000 b/d, principalmente de diesel. En Nigeria, Sasol-Chevron construyen una planta con una capacidad estimada de 34.000 b/d a partir de gas natural que debe entrar en funcionamiento en 2008. Muchas compañías y países se interesan en proyectos de este tipo, algunos ya se encuentran en sus etapas de factibilidad por parte de empresas como Shell, ConocoPhillips, ExxonMobil, Chevron, Sasol, BP, Syntroleum, entre otras. Para el 2015 se espera que los productos de GTL totalizarán una producción de más de 1.200.000 b/d con varias plantas proyectadas que serán construidas a nivel mundial (Ver Grafico E1).

GRAFICO E1. Principales plantas GTL proyectadas en el mundo



Fuente: Syntroleum, 2004

Conforme a las proyecciones anteriores, se espera que las centrales de gas-a-líquidos (GTL) surjan como un nuevo e importante mercado para el gas. Se proyecta que la demanda mundial de GTL para gas aumentará de 8 bcm en 2004 a 29 bcm en 2010, 75 bcm en 2015 y 199 bcm en 2030. Teniendo en cuenta que el mercado de estos productos es bastante grande, la capacidad de producción proyectada no alcanzaría a suplir la demanda potencial de este combustible.

ANEXO F. FACTORES QUE HAN CONTRIBUIDO AL CRECIMIENTO DEL GNL

Algunos factores que han contribuido al crecimiento del GNL en los últimos años y que constituyen las principales razones para sostener el futuro desarrollo de esta industria son:

- **Desbalance entre oferta y demanda:** El principal factor de desarrollo del GNL en el mundo es la falta de equilibrio entre la demanda interna y la oferta doméstica o regional de gas natural. Cuando en un país aumenta el número de pozos perforados para gas y se da un gradual aumento del precio del gas doméstico, pero la demanda sigue insatisfecha y las importaciones a través de gasoductos desde países limítrofes o cercanos no logra abastecerla se puede pensar que el gas se acaba en el país, es por esto que se deben buscar las fuentes posibles de provisión de energéticos y es así como el GNL encuentra su lugar como mejor alternativa.
- **Conciencia ambiental:** El gas natural ha sido reconocido mundialmente como el combustible fósil menos agresivo para el ambiente y como tal, debería gozar de las preferencias de los gobiernos, de ambientalistas y del público en general como el combustible de transición hasta que aparezca el energético ideal del futuro. Cuando la conciencia o el compromiso ambiental priman sobre la mera consideración económica, aquí se presenta también una oportunidad para desarrollar sistemas de abastecimiento mediante GNL.
- **Reservas remotas:** Las reservas de gas natural cuyo transporte a los mercados más cercanos sería extremadamente costoso, se denominan comúnmente reservas remotas. Se ha estimado que las reservas remotas constituyen un 50% de las declaradas por los 10 países productores más

importantes de gas del mundo. De ellas, un estudio reciente identificó unos 450 Tcf de gas disponibles en yacimientos remotos con reservas mayores a 50 Bcf cada uno, que podrían ser extraídos a valores inferiores a 1\$/MMBtu.

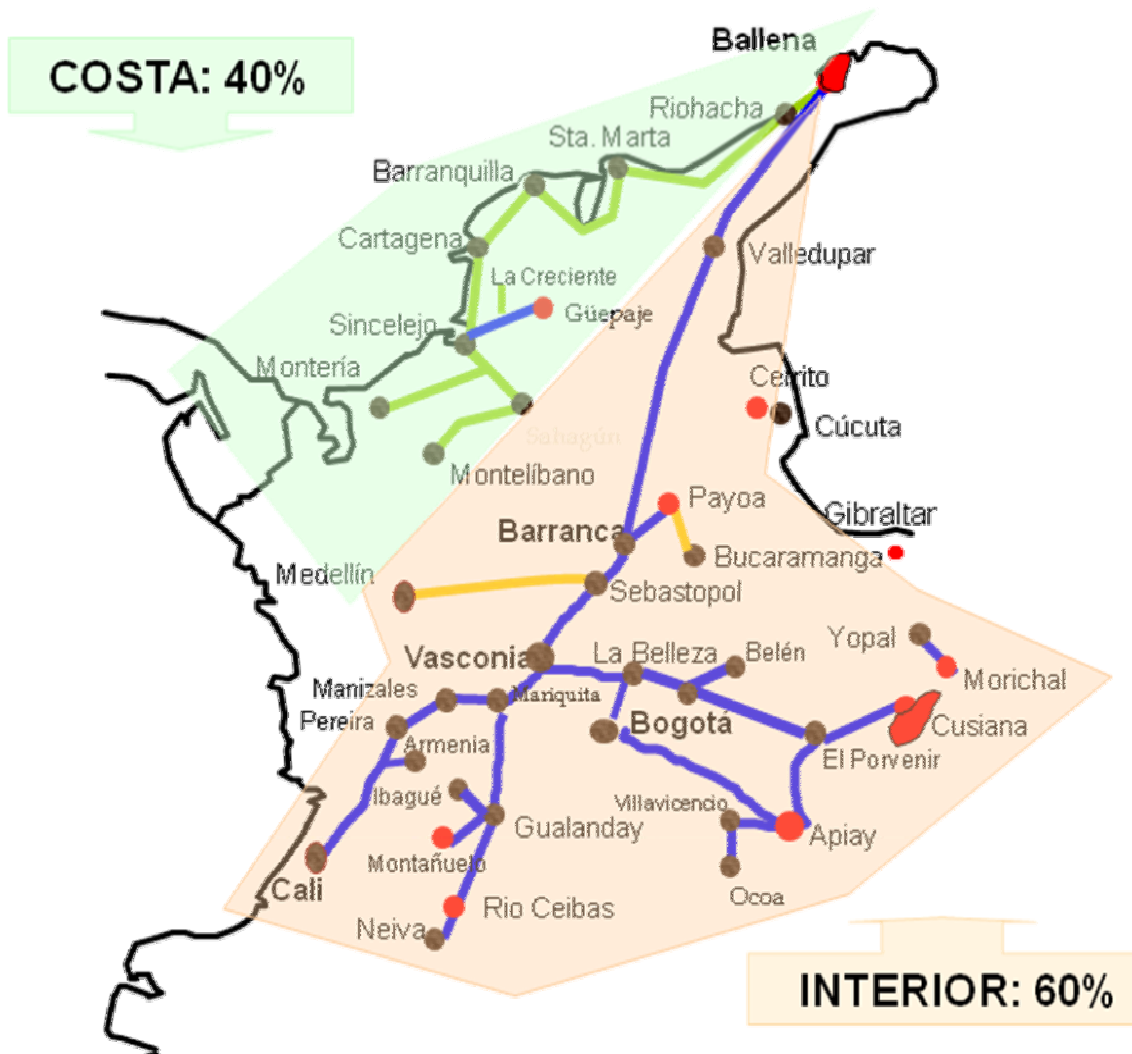
- **Globalización de los mercados:** Shell estima que para el 2030 sólo el 50% del consumo de los distintos países será cubierto por producción propia, lo que se traduce en un aumento de la demanda, y por consiguiente en un aumento de las importaciones de gas natural. Mucho se ha hablado acerca de si el gas se comportará algún día como un commodity o sea un producto sujeto a una cotización internacional, como lo es el petróleo, el café, el azúcar y algunos metales. La importancia que todavía tiene la producción doméstica y los acuerdos regionales no ha permitido que los precios del gas natural se establezcan de esa manera y por ello los precios locales varían significativamente entre puntos del planeta.

ANEXO G. RED NACIONAL DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL

La Red Nacional de Transporte de gas natural, está compuesto por los siguientes sistemas:

- De la Costa Atlántica: Conformado por el sistema troncal que vincula la conexión de los campos de gas natural de La Guajira, Córdoba y Sucre, con las puertas de ciudad localizadas en Riohacha, Santa Marta, Barranquilla, Cartagena, Sincelejo y Montería, incluyendo las conexiones de otros campos menores y los subsistemas que se conecten a esta troncal.
- Del Centro: Es la troncal que hace la conexión de los campos de gas natural de La Guajira con la puerta de ciudad de Barrancabermeja (Santander) y los subsistemas y ramales que se conecten a esta troncal.
- Del Interior: Está compuesto por el sistema troncal que vincula la conexión de los campos de gas natural de Casanare, Meta, Tolima, Huila, Santander, y otros existentes en el interior del país, con las ciudades de Villavicencio, Neiva, Medellín, Bucaramanga, Cali y Bogotá, entre otras.

GRAFICO G1. Red nacional de Transporte de Gas Natural a Marzo de 2008, mapa presentado por Ecopetrol en la XI Asamblea y Congreso anual de Naturgas.



ANEXO H. SISTEMA DE GNC EN LA CIUDAD DE NEIVA

En Neiva existe una estación compresora con dos unidades de compresión de 900 y 800 m³/hora que abastece los surtidores de la estación de llenado de gas natural vehicular y el llenado de las “canastas” de gas natural comprimido para ser llevado a varios municipios del departamento. Recibe el gas de la red de acero a 150 psig y lo comprime a 3600 psig.

GRAFICO H1. Estación compresora en Neiva



Fuente: COINOR LTDA

En Hobo existe otra estación compresora, también con dos compresores similares a los localizados en Neiva, para llenar “canastas”. En esta estación no hay gas natural vehicular.

En la actualidad disponen de cuatro camiones con grúa incorporada, que transporta cada uno cinco “canastas” independientes. Cada “canasta” tiene 16 tanques de 90 litros, con una capacidad total de 305 m³ de GNC, es decir que cada camión puede transportar 1525 m³ por viaje, lo cual alcanza para cubrir la demanda diaria de aproximadamente 1600 usuarios residenciales.

GRAFICO H2. Transporte de GNC en Neiva



Fuente: COINOR LTDA

También cuentan con tres trailer que tienen instalados en forma fija cuatro módulos con 52 cilindros de 100 litros, para un total de 4200 m³ de GNC por remolque.

Las catorce poblaciones abastecidas están localizadas a una distancia entre 23 km y 150 km desde las estaciones de compresión. En las estaciones de regulación de las poblaciones se tiene el equipo de regulación primaria que baja la presión del gas recibido de las “canastas” de 3000 psig a 250 psig y la regulación secundaria para entregar el gas a la red de distribución a 60 psig. El número de “canastas” en cada estación depende de la demanda de la población.

GRAFICO H3. Estación de descompresión el Juncal



Fuente: COINOR LTDA

ANEXO I. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PROYECTOS

La exploración simultánea de varios bloques y prospectos para compartir costos de equipos y aprender de las experiencias acumuladas es una oportunidad para Ecopetrol de obtener economías de escala. Los prospectos exploratorios de gas costa fuera en aguas colombianas tienen el potencial requerido para hacer viable proyectos de GNL o de GNC, y hacer viable la exportación a mercados centroamericanos, el Caribe y la costa Este de Estados Unidos. Hoy todos en el mundo hablan del gas. En Colombia se están dando los primeros pasos para asegurar su crecimiento, atravesar fronteras y expandir el mercado.

En Colombia el transporte de gas natural se ha limitado a los gasoductos que representan una alternativa costosa e inflexible. Por un lado, los requerimientos de capital y los costos de operación son muy altos, sin contar con el impacto que ocasiona su construcción, debido a la compra de tierras y los permisos ambientales necesarios. Por otro lado, para su viabilidad se requiere de mercados suficientemente grandes y estables que permitan sostener contratos de largo plazo, lo que naturalmente no es necesario en el caso del GNL o GNC. Por ello, los países que poseen las reservas de gas sin desarrollar se encuentran en franca competencia por atraer a los grandes inversionistas que posean no sólo el capital sino la tecnología y el acceso a los mercados.

En la actualidad solo se conoce el sistema de gas natural comprimido, para llevar este energético a zonas desconectadas de la red del territorio nacional, establecido en el departamento del Huila. Es necesario diferenciar el GNC del GNV que constituye el gas natural vehicular, tecnología que en Colombia ha crecido rápidamente gracias a sus ahorros en cuanto a gastos de combustible e impacto ambiental.

El GNC es una tecnología adecuada para distancias cortas, que requieren menores inversiones y reservas. En poblaciones con consumos no muy pequeños y ubicadas a distancias considerables de las plantas de abasto de GLP y de la red de gasoductos, el GNC puede ser una opción para abastecerlas. No obstante, debido a las diferentes tarifas de los mercados, aumenta y disminuye la competitividad de GNC, por esto, para conocer la viabilidad de proyectos con GNC es necesario evaluar para cada población los costos del gas natural y del GLP.

El costo total para el transporte de gas natural comprimido es la suma del costo de compresión, más el costo de transporte en vehículo, más el costo de descompresión. El costo total unitario aumenta con la distancia y disminuye con el consumo. Adicionalmente depende del tipo de vehículo utilizado y del propietario de la inversión del almacenamiento del transporte.

La penetración del gas natural comprimido está asegurada cuando el precio del gas, incluyendo precio en entrada a troncal, más transporte, más gas natural comprimido, más distribución urbana, es menor al precio del energético sustituible.

Si comparamos el precio de el GNC como sustituto para el GLP, al hacer la comparación entre las dos bandas de precios se encuentra que siempre que el GNC tenga un costo inferior a 0,42 US\$/MBTU es viable económicamente su utilización y que una planta de GNC, cuando el GNC más transporte, mas distribución cuesta más de 4,72 US\$/MBTU, puede o no ser viable dependiendo del precio del GLP en la población que vaya a utilizar el GNC y del precio del gas natural a la entrada de la estación compresora de GNC.

Con base en las cifras obtenidas en un estudio realizado por la CREG, se concluye que no es viable abastecer con GNC poblaciones con demandas inferiores a 300 m³/día, independientemente de la distancia, por tener costos de

compresión, transporte y descompresión del GNC superiores a los 4,72 US\$/MBTU.

También es conveniente conocer la competitividad del gas natural comprimido respecto a la construcción de un gasoducto. El gas natural comprimido se vuelve más competitivo que los gasoductos en la medida en que la distancia aumenta, pero cuando el consumo aumenta pierde competitividad. Puede decirse que para consumos menores de 5.000 metros cúbicos día siempre es menos costoso el GNC y por encima de estas cantidades ya no compite en distancias cortas.

En conclusión, para poblaciones con consumos no demasiado pequeños y ubicadas a distancias considerables de las plantas de abasto de GLP y de la red de gasoductos, el GNC es la forma más económica para abastecerlas con gas. Sin embargo, dado que el precio del gas natural en entrada a troncal más la tarifa de transporte, más la tarifa de distribución urbana, aumenta o disminuye la competitividad del GNC respecto al GLP, al igual que la distancia entre la población y la planta de abasto de GLP, no puede conocerse previamente la viabilidad económica de un proyecto de GNC hasta no evaluar específicamente para una determinada población cuales son los costos del gas natural y del GLP.

Por su parte, la licuefacción del gas natural se está convirtiendo rápidamente en una alternativa para su transporte, gracias a los recientes avances tecnológicos. En general, la puesta en marcha de proyectos de gas natural licuado (GNL) requiere la construcción de una planta de licuefacción, un puerto y una planta de regasificación en el lugar donde llega el producto. Para proyectos de GNL se necesitan millonarias inversiones y reservas mínimas de dos a tres trillones de pies cúbicos de gas para que sean rentables. Sin embargo, de acuerdo con los recientes logros, principalmente en Trinidad y Omán, los costos de licuefacción descendieron al nivel de US\$0,90/mmbtu y de US\$0,35/mmbtu para la regasificación.

Un proyecto de GNL a pequeña escala en nuestro país permitiría llevar el gas a zonas desconectadas de la red nacional, y además podría ser utilizado como combustible, permitiendo reemplazar otros combustibles de mayor precio en empresas a donde la red no llega.

El problema de los altos costos de proyectos para obtener transportar GNL es común a todo el mundo. Varios países invierten en desarrollar nuevas tecnologías de menor costo y a menor escala. La tecnología Cryofuel, mencionada anteriormente, se usa para aprovechar el gas proveniente de pozos aislados de la red, y sacar el gas al mercado como GNL. El costo de inversión para una planta de 5000 galones diarios es del orden de US\$ 4.000.000.

La tecnología GTL requiere de un mayor análisis por tratarse no de una alternativa de transporte, sino de una fuente de monetización de las reservas de gas natural que está orientada principalmente al mercado de productos obtenidos por el procesamiento del gas como lo son el diesel y las parafinas.

La continua alza en los precios del petróleo, las reservas estimadas de gas en Colombia y las perspectivas de mercado hacen viable el desarrollo de un proyecto de GTL en el país. Las potenciales reservas en la región de la costa atlántica, producto del éxito de las campañas de exploración iniciadas en 2003 por Ecopetrol, ExxonMobil, Petrobras, y BHP Billiton, con alrededor de 34 Tcf de gas natural, de ser probadas, pondrían al país en un escenario excelente para exportación y suministro interno a través de nuevas tecnologías alternativas, como la conversión de gas natural a combustibles líquidos (GTL), que no solo le permitiría a Colombia monetizar futuras reservas de gas, sino que también entraría a una nueva era de abastecimiento de combustibles ultra limpios.

La factibilidad de construir una planta de GTL depende de aspectos como: oferta y demanda de productos FT a nivel mundial; demanda del mercado nacional de

combustibles; disponibilidad de reservas de gas; costos de inversión y tendencia tecnológica, lo que impone un alto grado de complejidad.

Haciendo un balance de oferta/demanda de productos FT, muestra que la demanda del diesel, que constituye el principal producto FT, presenta proyecciones de crecimiento tanto nacional como internacionalmente y posee un gran potencial debido a sus características de calidad; en el caso de parafinas se presentan gran demanda como alimento de refinamiento; y por el contrario el mercado de estos dos productos es reducido y el abastecimiento crecerá solo con la producción de plantas futuras. Por lo tanto, para el desarrollo de proyectos GTL, Colombia debe seleccionar un proceso que permita una producción máxima de diesel y parafinas.

El mercado potencial para diesel es Estados Unidos seguido de Europa, siendo el primero el mercado objetivo para Colombia por su ubicación estratégica. El mercado interno colombiano estaría dirigido hacia las capitales, que concentran la mayor contaminación y demanda.

La perspectiva a nivel nacional para el abastecimiento de diesel resulta preocupante, debido a la dependencia del país de los mercados externos para satisfacer la demanda nacional. Para el 2010, el país debería importar cerca de 22.000 bpd, cifra que será amortiguada por la expansión de la refinería de Cartagena.

Teniendo en cuenta las reservas potenciales de Colombia, está abierta la posibilidad de desarrollo de un proyecto GTL, a gran escala que produciría 50.000 b/d, con el alimento de 500 MMPCD de gas natural y la disponibilidad de 5TPC de reservas.

Gracias a los avances tecnológicos, los costos de inversión y producción de una planta GTL se han reducido. Actualmente, los costos de capital pueden estar entre

US\$ 20.000 y US\$ 40.000 por barril producido diariamente según la capacidad de la planta y la tecnología utilizada. Los costos anuales de operación pueden ser de un 5% a 7% de los costos de capital, que representarían entre US\$ 3 a US\$ 8,5 por barril de combustible producido.

Según un estudio realizado por el Centro de Investigación del Gas y del Petróleo de la Universidad industrial de Santander, la construcción de una planta GTL en Colombia se potencializa con el descubrimiento de nuevas reservas de gas en la costa atlántica. Los costos de inversión totales para la construcción de una planta de 50.000 b/d son aproximadamente de US\$ 1200 millones, teniendo en cuenta infraestructura de la planta, obras civiles, instalaciones eléctricas y otros, lo cual representaría un costo de inversión de capital de US\$ 24.000 por barril producido diariamente.

ANEXO J. ALGUNOS ASPECTOS DE LA TECNOLOGIA CRYOFUEL

En el proceso Cryofuel, el gas del pozo es purificado, removiendo todos los componentes que se puedan solidificar a bajar temperaturas como el H₂S, CO₂ e hidrocarburos pesados. Seguidamente, un compresor comprime una mezcla de gases refrigerantes, que se enfría posteriormente en un intercambiador a temperatura ambiente y se expande en un licuefactor o caja de frío. El gas natural se pone en contacto con el refrigerante en la caja de frío y se licua; se separan en una etapa intermedia el etano y el propano, con lo que se obtiene metano de más del 97% de pureza.

GRAFICO J1. Planta de Cryofuel en las cercanías de Stockton, California

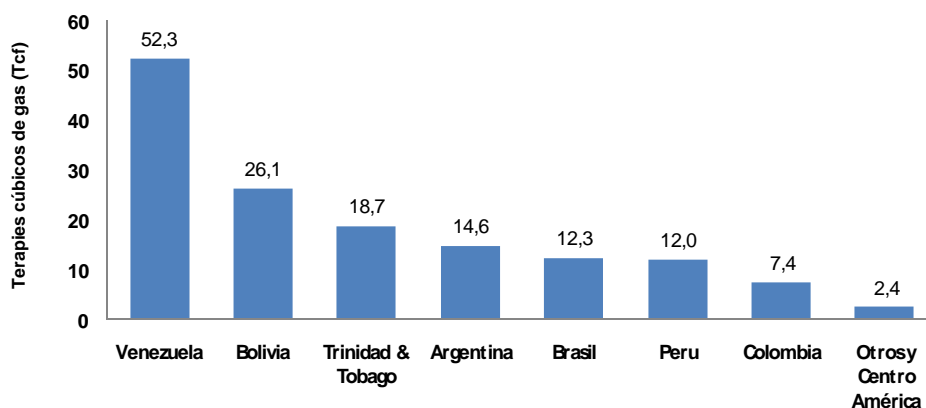


Esta tecnología se utiliza para aprovechar el gas proveniente de pozos aislados de la red, y sacar el gas al mercado como GNL: El costo de inversión para una planta de 5000 galones diarios es del orden de 4.000.000 dólares.

ANEXO K. RESERVAS DE GAS NATURAL PROBADAS Y POSIBILIDADES DE EXPORTACION

Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos en 2007 las reservas de gas natural probadas en Colombia alcanzan 7,4 Tcf, distribuidas principalmente en la Costa Atlántica y el interior del país, mostrándose una disminución con respecto a la proyección de las reservas en 2006 y alcanzando el séptimo lugar después de Perú en países con reservas probadas de gas natural en Latinoamérica (Ver grafico K1).

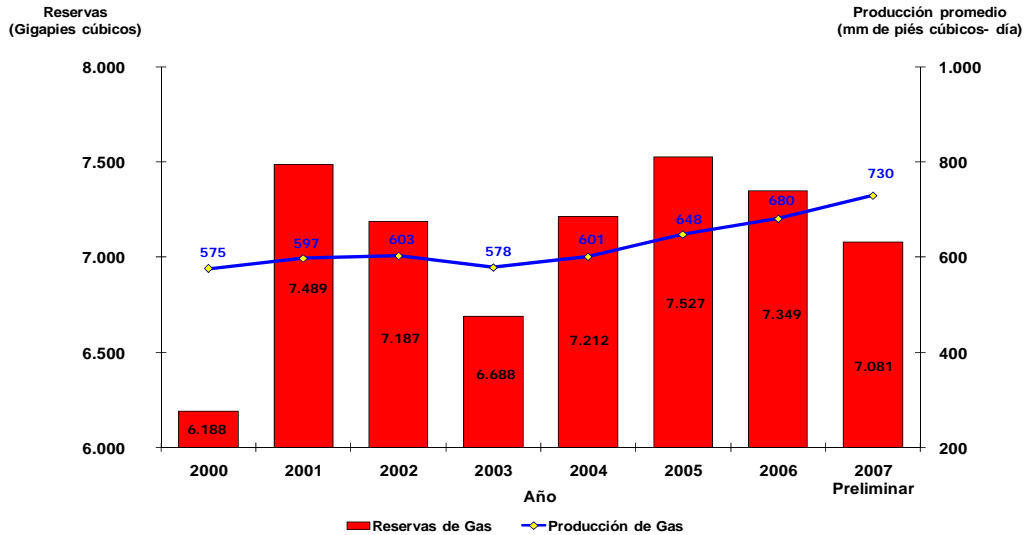
GRAFICO K1. Reservas probadas de gas



Fuente: BP Resumen de estadísticas del mundo de la energía, 2007

Por el contrario, la producción de gas en el país ha ido aumentando debido a la demanda creciente de Gas Natural Comprimido Vehicular y a la inversión en la capacidad de extracción (Ver Grafico K2).

GRAFICO K2. Tendencia en producción de gas



* Incluye reservas probadas, no probadas y proyección para el consumo en operación

Fuente: Ecopetrol, ANH

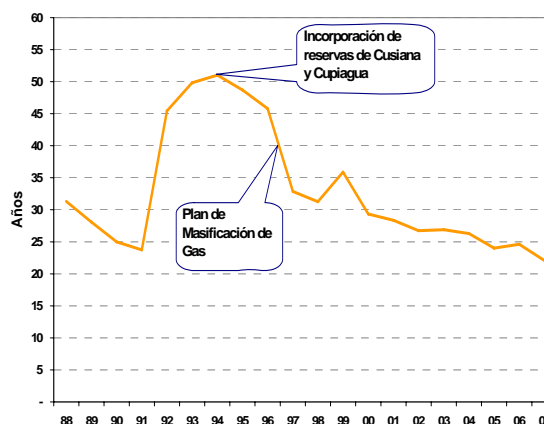
A 31 de diciembre de 2007, la relación reservas/producción es de 22 años (Ver grafico K3); no obstante, es importante continuar trabajando en la incorporación de reservas y en el incremento de la capacidad de producción, para poder asegurar el abastecimiento de gas natural en el país. Un balance a largo plazo de oferta/demanda se presenta en la tabla K1.

En la actualidad, Colombia realiza exportación de gas natural hacia Venezuela. El 12 de octubre de 2007 se dio inicio a la integración gasífera entre los dos países, con la inauguración del gasoducto binacional, después de un intenso proceso de negociación, que culminó en mayo con la suscripción del contrato de suministro internacional al país vecino a través de PDVSA Gas, que garantiza la entrega a partir del 4 de enero de 2008 de 50 GBTUD en 2008, 150 GBTUD en 2009 y 2010, y 100 GBTUD en 2011.

TABLA K1

Balance de largo plazo Oferta/Demanda

| Balance de Largo Plazo Promedio 2008-2020 | |
|--|-------------|
| Oferta | Total TPC |
| Cusiana/Cupiagua | 3.06 |
| Guajira+Norte | 2.97 |
| Magdalena Medio | 0.14 |
| Sur | 0.01 |
| Importación Venezuela | 0.42 |
| Total Oferta | 6.59 |
| Demanda | |
| Nacional | 6.07 |
| Exportación a Venezuela | 0.18 |
| Total Demanda | 6.25 |
| Balance | 0.35 |

GRAFICO K3. Evolución R/P

Fuente: Informe de Reservas de Ecopetrol a Dic. 31 de 2007

POSIBILIDADES DE EXPORTACIÓN

Este proyecto incluye la importación de gas desde el vecino país a partir del año 2012, hasta el año 2027, para lo cual se suscribieron los respectivos contratos de suministro y transporte en el mes de diciembre, las cantidades se muestran en la tabla K2.

TABLA K2. Cantidades de gas a importar desde Venezuela

| Año | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016-2027 |
|-------|------|------|------|------|-----------|
| GBTUD | 39 | 85 | 127 | 144 | 150 |

Fuente: Ecopetrol

Previendo un crecimiento en la demanda (ver tabla K3), de los sectores industrial, térmico y GNV; así como nuevos proyectos industriales que aprovechen ubicación geográfica, acuerdos comerciales e interconexión regional, como el gasoducto que conectaría a Colombia con Panamá, según un estudio realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), tomado como base varios escenarios de

oferta y demanda al combinar los resultados de los diferentes escenarios, se concluyó que altos requerimientos para generación eléctrica podrían propiciar un déficit a corto plazo, que generarían faltantes de gas natural a partir de 2010 con un déficit promedio de 200 MPCD.

El inicio de la declinación del campo de la Guajira se estima para el 2013; la exportación anticipa la fecha de declinación del campo sólo 4 meses frente a un escenario de no exportación. Mientras se encuentran nuevas reservas, la importación de Venezuela es el respaldo de corto plazo.

Tabla K3. Perspectivas de demanda

| CRECIMIENTO INTERANUAL DEMANDA 2008 - 2020 | |
|---|-------------|
| Termoeléctrico | 7.5% |
| GNV | 8.7% |
| Industrial | 3.3% |
| Ecopetrol+RCSA | 9.6% |
| Petroquímico | 0.0% |
| Residencial | 2.3% |
| Exportaciones (2008 - 2011) | 26.0% |
| CRECIMIENTO TOTAL | 5.2% |

Fuente: Naturgas

Para evitar este déficit, según la UPME, se debe incrementar la producción de los campos de Cupiagua-Cusiana hasta su potencial máximo, en el corto plazo, para lo cual se debe ampliar la capacidad de transporte y se requiere alcanzar los volúmenes máximos en los campos de Gibraltar y La Creciente, así como la construcción de la infraestructura de transporte. Por esta razón se hace necesaria la búsqueda de alternativas de transporte como lo son el GNC o GNL, las cuales ofrecen facilidades de transporte a unos costos relativamente más bajos, teniendo en cuenta las distancias a recorrer, y que podrían generar un desarrollo significativo del país en el sector.

Por otra parte, a mediados del 2007 se suscribieron los acuerdos comerciales para vender el gas natural del campo Gibraltar, con una capacidad de producción de hasta 30 MPCDE, permitiendo la incorporación de las reservas comerciales de ese campo descubierto por Ecopetrol. Las entregas de este gas se iniciarán en el segundo trimestre de 2009 cuando esté lista la infraestructura de producción y transporte. En paralelo, Transoriente está gestionando la construcción del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga y la conexión a Cúcuta se está desarrollando por parte de Progasur. Se proyecta un potencial adicional para lo cual se están desarrollando nuevos pozos exploratorios; Gibraltar 3 se estima para octubre de 2008 y están en plan Gibraltar 4 y 5.

ANEXO L. FACTORES FUNDAMENTALES PARA COMPETIR CON ÉXITO POR RECURSOS DE CAPITAL Y TECNOLOGIA

Existen factores fundamentales sin los cuales es imposible competir con éxito por los recursos de capital y tecnología, dentro de los que se destacan:

- **Disponibilidad de recursos de capital y tecnología:** Para desarrollar investigaciones es claro que se hace necesario un gran capital de inversión que podría lograrse fortaleciendo a Ecopetrol localmente mediante la asignación de los recursos que le permitan aumentar sus reservas y conocimiento del sector. De esta manera le será más fácil atraer compañías interesadas en la búsqueda de gas natural en la costa Atlántica tales como: Chevron-Texaco y Petrobras, entre otras.
- **Bajos costos de exploración, desarrollo, operación y transporte:** Para lograrlo se requiere del descubrimiento de campos grandes (> 3TPC) que permitan generar economías de escala. Fue más fácil para T&T expandir sus facilidades existentes de GNL luego del primer tren de gasificación.
- **Incorporación de las mejores tecnologías:** que posibiliten menores inversiones iniciales, tanto para exploración y explotación como para el transporte. Se hace necesario buscar la incorporación de las más eficientes tecnologías en cuanto a operaciones costa afuera y Gas Natural Licuado (GNL).
- **Crecimiento de la demanda:** por necesidad de combustibles limpios, tanto a nivel interno: Industrial, GNV, térmica; como externo: USA, Centroamérica, Venezuela, Ecuador. Lo cual se logra fortaleciendo la

relación entre los actores que componen la cadena del gas, empresas que invierten en redes de distribución, plantas térmicas, estaciones de GNV, gasoductos, refinerías y cualquier tipo de instalación que utilice el gas como materia prima, cualquier forma de asociación contribuirá con este objetivo. Ellos se favorecen al igual que los proveedores con un incremento en la demanda ya que aprovecharán mejor la capacidad instalada. Su papel será cada vez más importante en la medida en que aumenta el consumo de gas tanto a nivel nacional como construyendo facilidades que permitan la exportación de GNL a otros países.

- ***Estabilidad política, regulatoria y económica del país:*** que permita atraer la inversión extranjera por encima de sus rivales en la región. Se requieren unos términos fiscales que hagan competitiva la exploración y explotación de gas en el país. Adicionalmente, es importante que se mantenga la estabilidad económica y fiscal del país, las cuales constituyen un tesoro frente a la inestabilidad de la región.
- ***Claridad en la regulación y términos fiscales competitivos:*** que posibiliten la extracción económica de reservas de gas asociado del interior del país, así como los campos de gas con reservas inferiores a 3 TPC.

ANEXO M. LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DEL GAS NATURAL

A continuación se mencionan los lineamientos establecidos por el Gobierno Nacional para el desarrollo del gas natural, informados por El Ministerio de Minas y Energía y el Departamento Nacional de Planeación.

- Se diseñará e implementará un mecanismo regulatorio que promueva la inversión en facilidades para el suministro y transporte para períodos de contingencia, con el objeto de asegurar la continuidad del servicio de gas natural;
- se participará Junto con Venezuela y Panamá, para viabilizar la interconexión gasífera con este último país, toda vez que su trazado estará principalmente en el territorio colombiano;
- se mantendrá la comercialización de gas natural a usuarios regulados por parte de las distribuidoras que atiendan dichos usuarios;
- se revisarán los límites de integración horizontal y vertical de la industria, para que dichas disposiciones no desincentiven la inversión en programas como el Gas Natural Vehicular u otros proyectos de inversión;
- se aumentará el impuesto al transporte de gas natural (Cuota de Fomento) al 3% para subsidiar las conexiones de los usuarios más pobres y financiar grandes proyectos como el gasoducto a Popayán;
- se informará a las autoridades municipales sobre la obligación de utilizar combustibles limpios, como el GNV, en las licitaciones que adelanten para los Sistemas Integrados de Transporte Masivo.

ANEXO N. POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN

A nivel nacional, a pesar de la importancia de las inversiones en ciencia y tecnología, no ha sido muy efectiva la destinación de recursos y se suma a la disminución de los recursos destinados a apoyar el desarrollo científico y tecnológico nacional en el sector energético, el retiro del Estado de la prestación de servicios públicos, ya que estos se prestan a través de empresas privadas. Las políticas y acciones de I&D en general se encuentran desarticuladas del sector energético y la dinámica de los grupos de investigación es muy discreta, limitándose solamente al ámbito académico sin trascender a las instituciones, las empresas y el usuario final; es decir no existe una adecuada difusión de los resultados de las investigaciones y de las innovaciones.

Para lograr la sostenibilidad de los esfuerzos realizados en el pasado se requiere agenciar recursos del Estado, una conjunción de acciones y recursos de Colciencias y las empresas y entidades del sector energético podría aportar al logro de este objetivo.

Es de lamentar que las empresas de capital extranjero, tanto del sector petrolero, como del gas natural y la electricidad, no destinan recursos para la I&D en Colombia, ya que los proyectos de este tipo son desarrollados en el país de origen.

En Gas la investigación y el desarrollo tecnológico, ha sido el principal objetivo del CDT de Gas quien trabaja en conjunto con grupos de la Universidad Industrial de Santander, también laboran en este tema, la Universidad de los Andes, la Universidad del Norte, la Universidad de Antioquia y la Universidad Pontificia

Bolivariana, sin embargo, aún no presentan la dinámica que se podría esperar de un combustible tan importante.

La labor de la investigación no puede quedar únicamente en cabeza del Estado. Las empresas petroleras, del gas natural y del GLP, cada una dentro de su escala, deben participar en la innovación y desarrollo del país, promoviendo investigaciones conjuntamente con las universidades locales, y con los centros de investigación para lograr que la investigación aumente con la participación de empresas privadas del sector energético y se salga del entorno de la financiación estatal.

Por esto, los principales actores en la financiación de proyectos relacionados con el gas natural son los CDT's y los grupos de investigación quienes con sus conocimientos ayudarían a dar un nuevo paso en el sector, por medio del desarrollo de este tipo de proyectos que implican I&D y que podrían buscar el apoyo financiero de Colciencias entidad que siempre ha estado relacionada con la financiación de proyectos que traigan un avance científico y tecnológico para el país. Además se buscaría la integración de empresas privadas dándoles a conocer los beneficios que cada uno de los proyectos traería no solo científicamente, sino económicamente, gracias al valor agregado de proyectos como los relacionados con la tecnología GTL.