

# Industrialización del Gas Natural: Fertilizantes y Polímeros

D. Amurrio D.

Universidad Católica Boliviana  
e-mail: amurrio@ucbcba.edu.bo

## 1. Antecedentes

### Situación actual del petróleo

Concluido el siglo XX constatamos que vivimos el comienzo del fin de una hegemonía que habrá durado unos 150 años[17]: la era del petróleo barato llega a su fin y se inicia la era del agotamiento progresivo de las reservas totales[4]. La figura 1 ilustra la evolución de la producción petrolera y las proyecciones para el presente siglo.

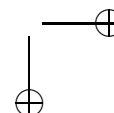
Uno de los grandes paradigmas que dirigirá el desarrollo de la humanidad durante este nuevo siglo comprenderá la gradual sustitución del petróleo como materia prima y como fuente energética, lo que nos lleva lógicamente al tema que nos interesa: la valorización del gas natural[7], otrora despreciado y quemado en boca de pozo ahora el objeto de propuestas comerciales, trabajos de investigación y desarrollo tecnológico.

### Situación energética mundial

Las reservas mundiales de gas natural están estimadas alrededor de  $5300 \cdot 10^{12}$  pies cúbicos mientras que las reservas de petróleo están en  $1028 \cdot 10^9$  barriles. Comparando ambos por medio de

su contenido energético vemos que ambos están en el mismo orden de magnitud mientras que las reservas de carbón corresponden al doble (Cuadro 1).

Dentro de los cambios estructurales que se avecinan en la economía mundial, constatamos la migración de la industria petroquímica hacia el Oriente Medio debido a las enormes reservas de la zona y la emergencia del Asia y particularmente de la China como economía dominante. Como energético y como materia prima, el gas natural encontrará competencia en productos y procesos desarrollados en base al carbón. Finalmente, habrá que estar atentos a las innovaciones tecnológicas alternativas, tanto en el sector de los energéticos (hidrógeno, biodiesel, pilas de combustión, etc.) como en el sector tradicionalmente considerado como petroquímico, donde se sustituirá el petróleo por otras materias primas (biomasa, biotecnología, carbón, etc.). Anticipando quizás una eventual escasez futura, la especulación en los mercados de valores futuros y opciones para el gas natural se ha incrementado (siendo el caso de la empresa ENRON un extremo). Aunque autoridades consideran que incrementos de precios no justificados (figura 2) pueden ser ilegales, hacemos notar que el desconocimiento



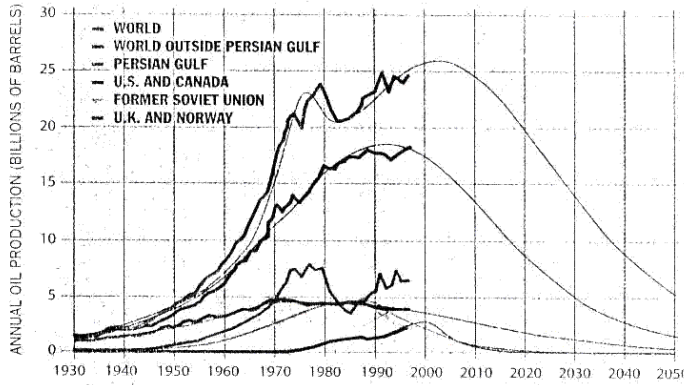


Figura 1: Producción mundial de petróleo[4]

		Norte América	Centro y Sud Am.	Europa Asia	Oriente Medio	Africa	Pacífico	Mundo
<b>Petróleo</b>	Reservas	6400	14100	13300	93400	10300	5200	142700
	Producción	664.4	335.7	784.2	1014.6	376.4	381.4	3556.8
	Consumo	1064.9	214.8	925.2	207.4	118.6	991.6	3522.5
<b>Gas Natural</b>	Reservas	6400	6400	54900	50500	10700	11300	140200
	Producción	689.4	92.7	889.3	212	119.9	271.5	2274.8
	Consumo	711.3	88.2	939.4	185.1	60.7	297.5	2281.8
<b>Carbón</b>	Reservas	103100	8700	142100	700	22100	116900	393800
	Producción	612.9	34.1	421.8	0.4	130.6	11796	2379.4
	Consumo	591.5	17.8	506.1	8.4	90.6	1183.5	2397.9
<b>E. Nuclear</b>	Producción	205	4.7	280		2.9	118	610.6
<b>Electricidad</b>	Producción	142.4	122.7	178.9	1.9	18.5	127.7	592.1

Elaborado en base a datos de la referencia[1]

Cuadro 1: Inventario energético por zonas y por combustible (en millones de toneladas métricas de equivalente petróleo)

de las operaciones en la bolsa de valores futuros plantea desventajas para el desarrollo de políticas de aprovechamiento del GN[3].

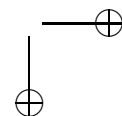
En el contexto sudamericano, Bolivia ha experimentado un aumento en sus reservas de gas natural contando ahora con  $0.68 \cdot 10^{12} m^3$  (28.7 tcf) de reservas probadas y  $0.62 \cdot 10^{12} m^3$  (26.2 tcf) de reservas probables (Cuadro 2). Descontando contratos ya establecidos con Brasil y Argentina se dispone de  $0.45 \cdot 10^{12} m^3$  para el consumo nacional y la industrialización.

Lejos de los grandes mercados y centros productivos integrados, al gas boliviano se lo considera “varado”. Los enor-

mes costos relacionados con las condiciones específicas de su transporte (ductos a 80 atmósferas de presión o barcasas a  $-162 \text{ }^\circ\text{C}$ ); su transformación *in situ* es probablemente la mejor opción económica, a condición de reunir capital y condiciones de producción adecuadas.

## 2. Industrialización del gas natural: Fertilizantes y Plásticos

Entre las múltiples transformaciones posibles para el gas natural hemos considerado el caso de los fertilizantes y de los plásticos. Ambos productos se caracterizan por ser producidos a gran



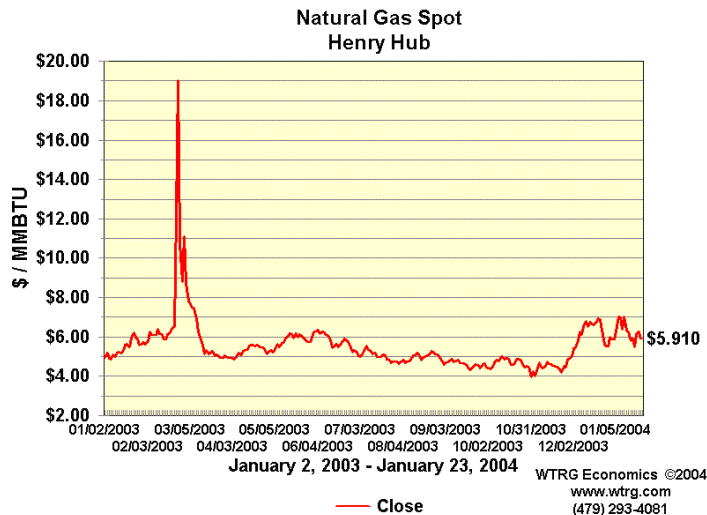


Figura 2: Fluctuaciones en el precio del Gas Natural[2]

País	1982	1992	2001	2002	2002[tcf]	R/P <sup>a</sup>	%(mundial)
Argentina	0.71	0.64	0.78	0.76	27	21.1	0.5
Bolivia	0.16	0.12	0.68	0.68	24	*b	0.4
Brasil	0.07	0.12	0.22	0.23 <sup>c</sup>	8.1	25.2	0.1
Colombia	0.13	0.2	0.12	0.13	4.5	20.7	0.1
Per	0.03	0.2	0.25	0.25	8.7	*	0.2
Trinidad y Tobago	0.31	0.25	0.66	0.66	23.5	3.96	0.4
Venezuela	1.53	3.58	4.18	4.19	148	*	2.7
Otros	0.19	0.22	0.28	0.18	6.4	*	0.1
<b>Total Sud y C. Am.</b>	<b>3.14</b>	<b>5.34</b>	<b>7.16</b>	<b>7.08</b>	<b>250.2</b>	<b>68.8</b>	<b>4.5</b>

a. Relación entre reservas y producción. Tiempo de explotación de mantenerse la tasa de producción actual.

b. Indica mas de 100 años.

c. Recientes descubrimientos en Brasil (Santos Basin) indican que las reservas podrían aumentar en  $0.42 \cdot 10^{12} m^3$  triplicando sus reservas actuales.

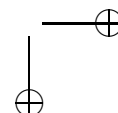
Cuadro 2: Evolución de las reservas de gas natural en Sud América [ $10^{12}m^3$ ]

escala, donde las economías de escala son importantes, existe capacidad mundial ociosa típica de una mercado maduro donde la competencia ya tiene sus plantas amortizadas, los precios sufren fluctuaciones cíclicas y los beneficios son muy volátiles. Analizando los índices de producción (cuadro 3) y de precios (cuadro 4) en los Estados Unidos, constatamos que dentro de la deceleración de los últimos años observada en el caso de la producción industrial y particularmente de la industria química, la producción del sector de los agroquímicos disminuyó tanto en volumen de producción

como en precios a su valor mínimo. El sector de los polímeros mantiene una tasa de producción comparable con la economía pero la caída de sus precios repercute sobre las tasas de beneficio (figura 3).

### Producción de Fertilizantes Nitrogenados a Partir de Gas Natural

La producción mundial de fertilizantes nitrogenados alcanzó las  $107 \cdot 10^6$  toneladas-N en 1999 representando un valor FOB de  $12.5 \cdot 10^9$  \$US o una re-



	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
Industrial	78.2	80.8	85.1	89.2	93.1	100	105.6	110.1	115.3	111.2	110.4
Ind. Química	88	89	91.3	92.7	94.6	100	101.3	103.8	105.9	105.3	105.2
Agroquímicos	94.2	95	94.9	94.5	96.4	100	102.4	91.7	87.9	80.4	77.6
Plásticos y resinas	83.3	81.7	93.2	94	91	100	107.9	112.4	113.8	108.1	112.6

Cuadro 3: Índice de Producción (USA)

	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
Todos los bienes	91.8	93.2	94.4	97.7	100.1	100	97.5	98.4	104	105.2	102.7
Prod. Industriales	91.9	93.2	94.5	97	99.6	100	99.2	100.9	104.7	106.8	105.4
Prod. Químicos	87.7	89.3	92	99.2	99	100	100.2	100.4	105.2	105.7	105.8
Agroquímicos	83.1	82.8	90.4	98	100.8	100	98.8	93.1	93.8	98.6	93.3
Plásticos y resinas	84.8	85.3	89.1	104.5	96.9	100	91.3	91.6	103.1	97.7	95.2

Cuadro 4: Índice de Precios (USA)

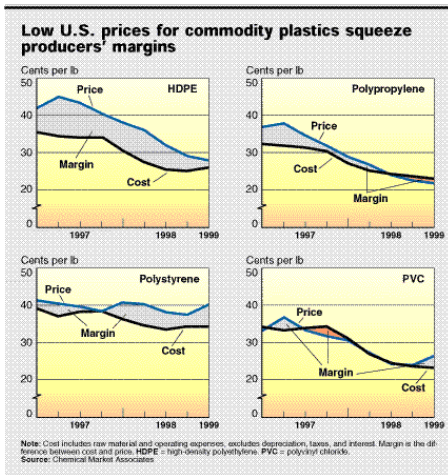


Figura 3: Evolución de la rentabilidad en plásticos[2]

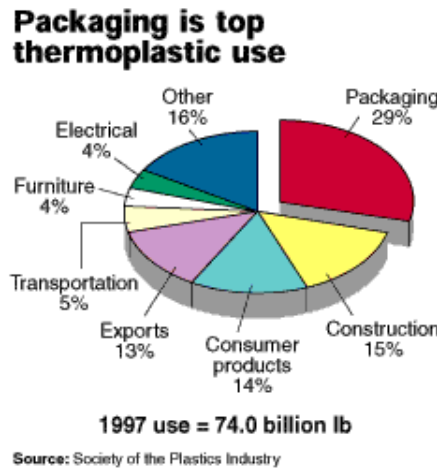


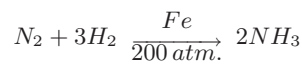
Figura 4: Distribución de usos de plásticos.[2]

lación de 116 \$US por tonelada de nitrógeno.

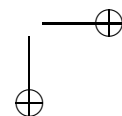
Los fertilizantes nitrogenados mas importantes son tres: el nitrato de amonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), el sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>H) y la urea (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>). Todos ellos tienen como materia prima al amonio (NH<sub>3</sub>). La producción de estas sustancias y sus tasas de crecimiento en E.E.U.U. están resumidas en el cuadro 5.

Considerando la mayor popularidad y

mejores perspectivas de crecimiento exhibidas por la urea, detallaremos el proceso de producción de la urea comenzando por la fabricación de su precursor el amonio. La producción de amonio se realiza gracias al proceso Haber-Bosch en el cual nitrógeno e hidrógeno reaccionan a alta presión en presencia de un catalizador de hierro:



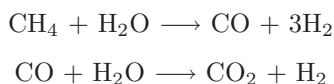
El nitrógeno se obtiene del aire y el



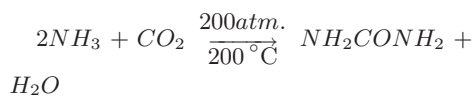
	Producción [miles de TM]	Importancia Relativa	Tasa de Crecimiento (1991 - 2002)
Amonio ( $NH_3$ )	11306		8.1 %
Nitrato de Amonio ( $NH_4NO_3$ )	2246	24.6 %	2.4 %
Sulfato de Amonio ( $NH_4SO_4H$ )	2405	26.3 %	2.2 %
Urea ( $NH_2CONH_2$ )	4477	49.1 %	21.7 %

**Cuadro 5:** Producción de amonio y fertilizantes derivados

hidrógeno proviene del gas natural gracias a la combinación de dos reacciones:



La primera reacción comprende la obtención del gas de síntesis; la segunda, conocida como una reacción de desplazamiento, permite remplazar el monóxido de carbono (CO) por el hidrógeno, variando así la proporción CO/H<sub>2</sub> en este caso a 0, produciendo así 4 volúmenes en total de hidrógeno por volumen de gas natural. La producción de urea solo requiere la condensación de 2 volúmenes de amonio con un volumen de dióxido de carbono a 200 atmósferas y 200 °C:



Considerando que la preparación de la urea a partir del amonio no presenta dificultades particulares, desarrollaremos algunas consideraciones respecto a la preparación del amonio.

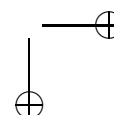
Existen 2 alternativas a ser consideradas para la preparación del amonio, la vía clásica ilustrada en la figura 5 y la vía integrada ilustrada en la figura 6. La vía clásica, tiene la ventaja de permitir un mayor rendimiento en amonio (2.13 kg de amonio por kg de gas natural en teoría y 1.72 kg amonio por kg de gas natural si se consideran los rendimientos de 90 % para la elaboración del gas de síntesis y del 90 % para la preparación

del amonio).

En comparación, la vía integrada solo produce 1.21 kg de amonio en teoría y 0.98 kg de amonio por kg de gas natural si se consideran los rendimientos prácticos. La vía clásica presenta como desventaja la necesidad de contar con nitrógeno puro, el mismo que se obtiene por destilación crioscópica del aire, vale decir costos de inversión y operativos nada despreciables.

Considerando una planta para procesar 4500 toneladas de gas natural por día ( $6.3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/día) para producir unas 9000 toneladas/día de urea en el proceso clásico o 5000 toneladas/día de urea en el proceso integrado podemos calcular los costos (cuadro 6).

Para comparación tenemos la reciente instalación de una planta de urea y amonio en Bahía Blanca donde la inversión declarada estaba comprendida entre 600 y 650 millones de \$US para producir anualmente 1.2 millones de toneladas/año de urea y 750000 toneladas/año de amonio (equivalente en total a una producción de 7000 toneladas/día de urea). El costo del gas natural corresponde a la mitad de los gastos operativos (costos de capital no considerados). Las variaciones del precio del gas natural tienen entonces una repercusión enorme sobre los costos de producción del amonio, incidiendo directamente sobre los beneficios. Los valores de producción de urea propuestos corresponden a 2300-4200 toneladas de nitrógeno fijado.



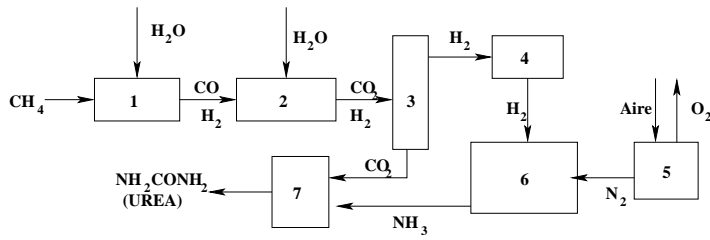


Figura 5: Producción de Urea por la vía tradicional.

1. Preparación de gas de síntesis.
2. Reacción de desplazamiento.
3. Absorción de dióxido de carbono.
4. Purificación del hidrógeno.
5. Destilación crioscópica del aire.
6. Síntesis del amonio.
7. Condensación de amonio y dióxido de carbono para obtener la urea.

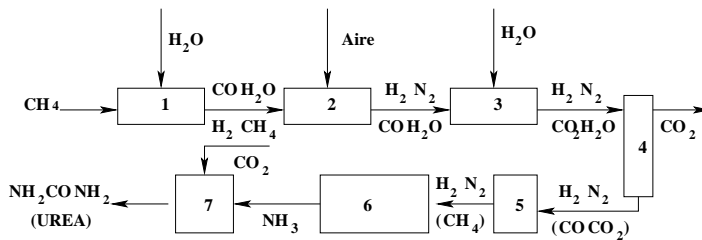


Figura 6: Producción de Urea por la vía integrada.

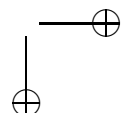
1. Preparación de gas de síntesis.
2. Combustión del exceso de metano.
3. Reacción de desplazamiento.
4. Absorción de dióxido de carbono.
5. Purificación del hidrógeno.
6. Síntesis del amonio.
7. Condensación de amonio y dióxido de carbono para obtener la urea.

	Clásico	Integrado
GN (materia prima y energético)	54	54.0
Otros costos operativos	54	54.0
Costo Capital (5 años)	144	110.9
<b>Total Costos Operativos anuales [10<sup>6</sup> \$US]</b>	<b>252</b>	<b>218.9</b>
Planta O <sub>2</sub>	165.6	0.0
Reformado	201.6	201.6
Síntesis Amonio	172.8	172.8
Purificación	93.6	93.6
Recuperación energía	86.4	86.4
<b>Total inversión [10<sup>6</sup> \$US]</b>	<b>720.0</b>	<b>554.4</b>
<b>Costo urea [\$US/ton]</b>	<b>77</b>	<b>121.6</b>

Cuadro 6: Estructura de costos para la producción de urea.

El consumo de nitrógeno como fertilizante en América Latina fue de 5 millones de toneladas-nitrógeno mientras que

la producción de la zona fue de solamente 3 millones de toneladas-nitrógeno. La viabilidad del presente proyecto depen-



dería en gran parte de los precios del gas natural y de los cambios en capacidad productiva en las otras "potencias gasíferas": Argentina, Brasil y Venezuela que además son los grandes consumidores de fertilizantes.

**Producción de Polímeros a partir del gas natural**

La producción mundial de los 5 polímeros mas comunes fue de  $97.6 \cdot 10^6$  toneladas (1996). Los 5 polímeros mas comunes fueron el polietileno (41%), el PVC (23%), el polipropileno (21%) y el estireno (15% co-polímeros incluidos). El mayor consumidor fue el Asia (34%) seguido por Europa (25%) y los Estados Unidos (24%). América Latina solo consumió un 5% de la producción mundial. De igual manera la producción esta dominada a 83% por los grandes consumidores (cuadro 7) aunque se observa una tendencia al aumento de importancia de países del golfo pérsico.

El valor de la producción así como las perspectivas de crecimiento para el periodo 2000-2005 para los polímeros técnicamente accesibles a partir del gas natural están en el cuadro 8.

Exponemos a continuación 4 procesos por los cuales se podría obtener polímeros a partir del gas natural boliviano.

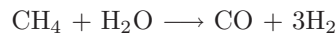
**a. Recuperación de etano y propano**

El gas natural boliviano ( $0.68 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>) tiene además del metano una proporción menor de etano (7%,  $63.7 \cdot 10^6$  toneladas) y propano (2%,  $26.7 \cdot 10^6$  toneladas). Se podría considerar la transformación de ambos en polímeros vía la secuencia condensación - deshidrogenación

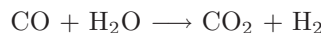
- polimerización. Considerando tasas de explotación razonables del gas natural, obtendríamos cantidades anuales muy pequeñas como para justificar la construcción de una planta de polímeros que permita explotar economías de escala competitivas en el mercado mundial. Si bien, esta alternativa por sí sola no justifica la implantación de una planta de polímeros, la posibilidad de transformar el metano en polietileno y polipropileno cambiaría la situación. Los tres procesos que se detallan a continuación tratan de las alternativas existentes para transformar el gas natural en polímeros.

**b. Aplicación de un proceso Fischer-Tropsch(F-T)**

El gas natural puede ser transformado en gas de síntesis consistente en una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno en una relación de 1 a 3:

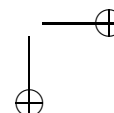


Las proporciones en el gas de síntesis[10] se pueden modificar por medio de una reacción de desplazamiento para así alcanzar cualquier proporción entre los mismos:



Finalmente, el proceso de Fischer Tropsch[5, 6] permite combinar el monóxido de carbono y el hidrógeno para obtener una mezcla de hidrocarburos:  $n\text{CO} + m\text{H}_2 \longrightarrow \text{Hidrocarburos} + \text{agua}$

La figura 7 ilustra un flujograma simplificado del proceso.



		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
PE	N. A.	10930	12028	12309	12577	13459	13379	15083	16029
	C.E.	2832	3000	8508	9731	10223	10579	5481	4778
	Asia	5614	6171	8725	8852	9900	9968	10646	10929
<b>Total</b>		<b>19376</b>	<b>21199</b>	<b>29542</b>	<b>31160</b>	<b>33582</b>	<b>33926</b>	<b>31210</b>	<b>31736</b>
PP	N.A.	4940	5439	6042	6271	7028	7139	7228	7691
	C.E.	-	-	-	4158	6524	6984	5644	3380
	Asia	4538	4916	7211	7368	8303	8934	9094	9836
<b>Total</b>		<b>9478</b>	<b>10355</b>	<b>13253</b>	<b>17797</b>	<b>21855</b>	<b>23057</b>	<b>21966</b>	<b>20907</b>
PVC	N.A.	5577	5996	6388	6578	6764	6551	6467	6939
	C.E.	3905	4322	4792	2651	3209	4893	3902	3792
	Asia	4164	4621	6398	6227	6921	7385	7744	8319
<b>Total</b>		<b>13646</b>	<b>14939</b>	<b>17578</b>	<b>15426</b>	<b>16894</b>	<b>18829</b>	<b>18113</b>	<b>19050</b>
<b>Total</b>	<b>42500</b>	<b>46493</b>	<b>60373</b>	<b>64383</b>	<b>72331</b>	<b>75812</b>	<b>71289</b>	<b>71693</b>	

N.A. Norte América  
 C.E. Europa  
 Asia: China (desde 1997), Japón, Corea del Sud y Taiwan

**Cuadro 7:** Producción de Polímeros [miles de toneladas métricas]

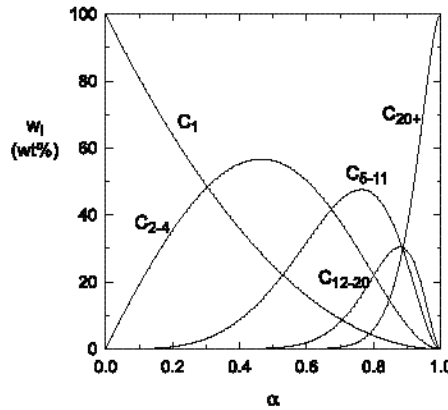
	Producción [toneladas]	Valor [\$US]	V/P [\$US/ton]	Crecimiento [%]
<b>HPLDPE</b>	15·10 <sup>6</sup>	16·10 <sup>9</sup>	1066	2
<b>LLDPE</b>	10.5·10 <sup>6</sup>	10.8·10 <sup>9</sup>	1038	7.2
<b>PP</b>	30·10 <sup>6</sup>	25·10 <sup>9</sup>	833	5.7
<b>PVC</b>	25·10 <sup>6</sup>	19·10 <sup>9</sup>	760	4.5

**Cuadro 8:** Datos selectos sobre algunas resinas termoplásticas

La fabricación de polímeros requiere como materia prima al eteno ( $C_2H_4$  para polietileno y para PVC) o al propeno ( $C_3H_6$  para polipropileno). Se ha buscado llenar estas necesidades por medio del proceso Fischer-Tropsch por 2 vías diferentes:

- Modificar las condiciones utilizadas en los procesos F-T para obtener eteno y propeno
- Aadir una reacción de “cracking” térmico a la mezcla de hidrocarburos para favorecer las reacciones que llevan hacia el eteno y el propeno

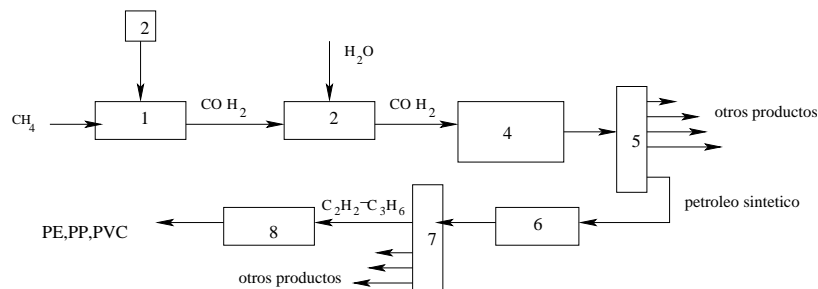
Los trabajos de investigación desarrollados indican que la única manera de aumentar la cantidad de etano, eteno, propano y propeno es limitando el grado de conversión del gas de síntesis (figura 8)[8, 13].



**Figura 8:** Selectividad en el proceso Fisher-Tropsch[13]

A partir de la figura 8 podemos ver que si permitimos que la reacción de F-T se desarrolle al 30 % (lo que implica que el 70 % sigue siendo gas de síntesis, nuestra materia prima) tendríamos aproximadamente 50 %





**Figura 7:** Reacción de Fischer-Tropsch para obtener polímeros a partir de gas natural

1. Preparación de gas de síntesis.
2. Oxígeno o vapor según tecnología utilizada en 1.
3. Reacción de desplazamiento.
4. Reacción de Fischer Tropsch.
5. Separación de productos obtenidos.
6. “Cracking” del petróleo sintético.
7. Purificación del etileno y propileno.
8. Reacción de polimerización.

de metano (C1) y un poco menos de 50 % de una mezcla C2-4 (compuesta por etano, propano, butano, eteno, propeno y buteno)[16, 14]. La recuperación de los productos de nuestro interés (eteno y propeno) nos obligan a implementar costosos sistemas de recuperación y reciclado del gas de síntesis que no ha reaccionado. La otra opción considerada comprendía la transformación total del gas de síntesis en C<sub>20+</sub> (ver figura 7) seguida por una operación de “cracking”, como si se tratase de petróleo natural. Esta vía ha sido considerada como económicamente razonable, solamente si el precio del petróleo sobrepasa los 12 \$US por millón de BTU y que el gas de síntesis se obtiene del carbón (cuyo precio no estaría afectado por el incremento del precio del petróleo, como sería el caso del gas natural).

**c. Transformación del gas natural por acoplamiento oxidativo**

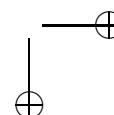
El proceso conocido por acoplamiento oxidativo[9, 12] del metano tiene la ventaja de requerir menores

inversiones que el proceso F-T. El proceso podría ser brevemente descrito como un reactor en el cual la temperatura del metano se eleva entre 750 y 850 °C, en presencia de diferentes catalizadores según la tecnología utilizada. Las temperaturas se obtienen gracias a la combustión de una parte del metano. La distribución de los productos obtenidos está resumida en el cuadro 9.

Podemos destacar la obtención de 19.4 kg de acetileno-etileno por cada 100 kg de gas natural además de 66.8 kg de gas de síntesis en una relación CO/H<sub>2</sub> de 0.47, transformable en otros productos (metanol, dimetil eter, etc). Considerando una planta para procesar 500000 m<sup>3</sup>/día de gas natural, funcionando con una conversión del metano de 30 % y una selectividad en C<sub>2</sub> del 77 %, podemos establecer los costos detallados en la tabla 10.

**d. Transformación del metano en acetileno**

Relacionado con el anterior proceso, está la transformación del



	Volumen (%)	Masa por 100kg CH <sub>4</sub>
CH <sub>4</sub> (%)	7.0	15.1
N <sub>2</sub> (%)	3.0	11.3
H <sub>2</sub> (%)	32.9	8.5
CO (%)	15.4	58.3
CO <sub>2</sub> (%)	2.0	11.9
H <sub>2</sub> O (%)	34.0	82.7
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetileno) (%)	3.9	13.7
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (etileno) (%)	1.5	5.7
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (%)	0.3	3.16
Hollín (%)		15.0

- a. Relación  $CH_4/O_2 = 1,64$  (volumen/volumen) equivale a 122 kg  $O_2$  por 100 kg  $CH_4$   
 b. Conversión  $CH_4$  de 82 %  
 c. Rendimiento en  $C_2$  + 30 %

Cuadro 9: Distribución de productos AOM

	Costos
GN	7.05
Otros costos operativos	8.24
Costo Capital (3 años)	26.4
<b>Total Costos Operativos anuales [10<sup>6</sup> \$US]</b>	<b>41.69</b>
Separadores y otros	25
Compresores	18
Reactor metanización	13
Reactor AOM / planta O <sub>2</sub>	32
<b>Total inversión [10<sup>6</sup> \$US]</b>	<b>88</b>
<b>Costo [\$US/ton]</b>	<b>460</b>

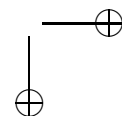
Cuadro 10: Estructura de costos estimados para un proceso de AOM

metano en acetileno que difiere únicamente en las condiciones del proceso: temperaturas mas altas (> 1400 °C) y tiempos de reacción menores (milisegundos)[15]. Originalmente el acetileno era una de las materias primas mas importantes antes de ser desplazada por el etileno en la década de los 40. Aunque la importancia del acetileno ha decaído a lo largo de los últimos 60 años, el aumento de los precios de

los hidrocarburos y la mayor selectividad con la cual se lo puede transformar, ameritan se reconsidere su importancia futura.

El proceso de cracking auto térmico desarrollado por la BASF permite obtener 24.2 kg de acetileno por cada 100 kg de gas natural, además de 98 kg de gas de síntesis (cuadro 11)

La importancia del acetileno o de



	Volumen [%]	Masa [kg/100kg G.N.]
CH <sub>4</sub> (%)	4.0	10.0
H <sub>2</sub> (%)	57	17.8
CO (%)	26	113.9
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetileno) (%)	8	32.6
CO <sub>2</sub> (%)	3	20.7
Hollín (%)		5.0

Relación CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 2 correspondiendo a 100 kg O<sub>2</sub> con 100 kg CH<sub>4</sub>

**Cuadro 11:** Distribución de productos cracking autotérmico

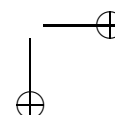
la combinación acetileno/etileno resalta cuando se considera los procesos de obtención de cloruro de vinilo, precursor del PVC (figura 9). La utilización del acetileno puro o de una combinación acetileno/etileno implica un proceso mas sencillo y con menos contaminación[11].

### 3. A manera de conclusión

La era del petróleo barato llega a su fin, e iniciamos una nueva era que podríamos llamar de “reservas decrecientes de petróleo”. Muchos elementos parecen indicar que esta nueva era estará marcada por una mayor volatilidad en los precios de los hidrocarburos y grandes cambios en las estructuras productivas causados por industrias que buscan sustituir materia prima y combustibles para permanecer competitivas. Gas Natural “varado” como el gas boliviano encontrará seguramente precios interesantes para su exportación en el futuro, aunque los costos de transporte son relativamente grandes, lo que implica precios menores en boca de pozo. Estas mismas alzas en el precio del gas están creando enormes presiones sobre las empresas que usan gas natural como

materia prima y se puede prever que muchas de ellas terminarán cerrando o migrando a otros lugares. Estos cambios representan oportunidades para la economía boliviana, que puede buscar industrializar su gas y exportar los productos obtenidos.

El presente trabajo se limitó a dos productos, fertilizantes y polímeros, que podrían ser obtenidos a partir del gas natural. Aunque nuestras estimaciones son económicamente favorables, se necesita un estudio profundizado sobre la accesibilidad a los mercados internacionales y la importancia de la competencia. Finalmente, cabe recalcar que las industrias que producen polímeros y fertilizantes se han caracterizado por estar fuertemente influenciadas por las economías de escala, que históricamente se ha traducido por una carrera al gigantismo. Valdría la pena entonces considerar otros productos petroquímicos, mas asociados a lo que se conoce como “química fina” (α-olefinas, metil-litio, ácido metilsulfónico, etilenglicol, etc.), que se caracterizan por requerir inversiones menores y por tener mejores márgenes económicos.



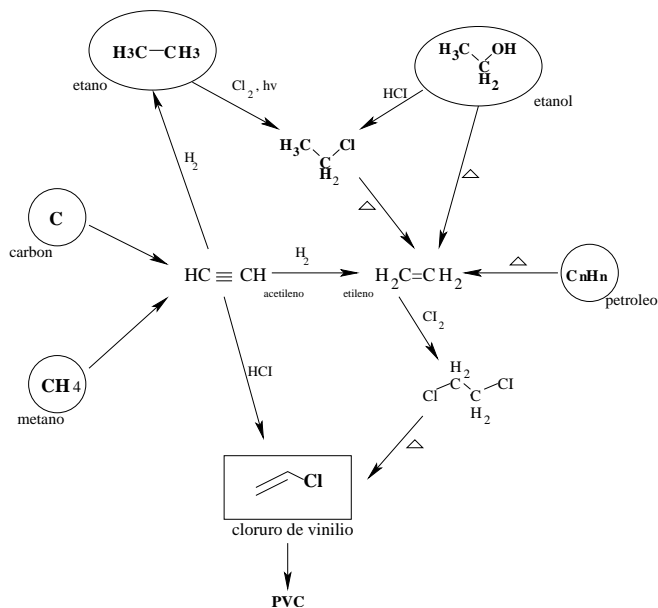


Figura 9: Red de síntesis simplificada para el cloruro de vinilo

## Referencias

- [1] Bp statistical review of world energy 2003. [www.bp.com/centres/energy](http://www.bp.com/centres/energy), Noviembre, 2003.
- [2] American Chemical Society. *Chemical and Engineering News. Números especiales: World Chemical Outlook, Plastics, Petrochemicals*, 1996-2004.
- [3] American Gas Foundation. *Natural Gas and Energy Price Volatility*, October, 2003.
- [4] C.J. Campbell y J.H. Laherrère. The end of cheap oil. *Scientific American*, March:60, 1998.
- [5] M. E. Dry. The fischer-tropsch process: 1950-2000. *Catalysis Today*, (227):71, 2002.
- [6] F. Fischer. *Kenntnis der Kohle*. Gebrüder Borntraiger, Berlin, 1932.
- [7] H.D. Gesser y N.R. Hunter. A review of c-1 conversion chemistry. *Catalysis Today*, (183):42, 1998.
- [8] G. Henrici-Olivá y S. Olivé. The fischer-tropsch síntesis: Molecular weight distribution of primary products and reaction mechanism. *Angew Chem. Int. Ed. Engl.*, (15):136, 1976.
- [9] G.A. Huff. y I.A. Vasalos. Oxidative pyrolysis of natural gas in a spouted-bed reactor: reaction stoichiometry and experimental reactor design. *Catalysis Today*, (223):46, 1998.
- [10] J.R. Rostrup-Nielsen. Syngas in perspective. *Catalysis Today*, (243):71, 2002.
- [11] P. H. Spitz. *Petrochemicals, the rise of an industry*. J. Wiley & Sons, USA, 1988.

- [12] S. Suzuki, T. Sasaki T. Kojima, M. Yamamura, y T. Yoshinari. New process development of natural gas conversion technology to liquid fuels via OCM reaction. *Energy and Fuels*, (531):10, 1996.
- [13] G.P. van der Laan. Kinetics, selectivity and scale up of the fischer-tropsch synthesis. Ph.D., University of Groningen, 1999.
- [14] A. C. Vosloo. Fischer-Tropsch: a futuristic view. *Fuel Processing Technology*, (149):71, 2001.
- [15] K. Weissmehl y H. J. Arpe. *Industrial Organic Chemistry*. VCH publishers, New York, 3rd edición, 1997.
- [16] D.J. Wilhelm, D.R. Simbeck, A. D. Karp, y R.L. Dickenson. Syngas production for gas-to-liquids applications: technologies, issues and outlook. *Fuel Processing Technology*, (139):71, 2001.
- [17] D. Yergin. *La historia del petróleo*. Vergara, Bs. As., 1992.

