



# Energías sostenibles para Chile. Evaluación de necesidades y prioridades tecnológicas

## Factibilidad del carbón limpio en Chile

Pedro Maldonado



PROGRAMA DE ESTUDIOS E  
INVESTIGACIONES EN ENERGÍA  
INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS · UNIVERSIDAD DE CHILE



Santiago, 21 de agosto de 2007

## OPCIONES TECNOLÓGICAS DISPONIBLES PARA UN ABASTECIMIENTO SUSTENTABLE DE ENERGÍA

- Fuentes energéticas convencionales para generación eléctrica
- Energías renovables no convencionales
- Usos térmicos y reemplazo de carburantes



## Fuentes energéticas convencionales para generación eléctrica

- Gas natural
- Gas natural licuado
- Carbón limpio
- Hidroelectricidad: centrales de embalse vs centrales de pasada



## IGCC, una tecnología emergente, limpia y sustentable. Horizonte?

- Primera generación, aprox 2008 al 2015
- Segunda generación, aprox 2015 al 2020
- Proceso de comercialización será acelerado por:
  - Exigencias ambientales respecto del CO<sub>2</sub>
  - Aumento del precio del GN
  - Reducción de los riesgos tecnológicos, los sistemas existentes no tienen una larga historia de operación
  - Importantes recursos destinados a la investigación
    - Mejora proceso de limpieza de gases
    - Mejora separación y aprovechamiento de CO<sub>2</sub>
    - Aumento de tamaño de las plantas



Programa de estudios e investigaciones en energía



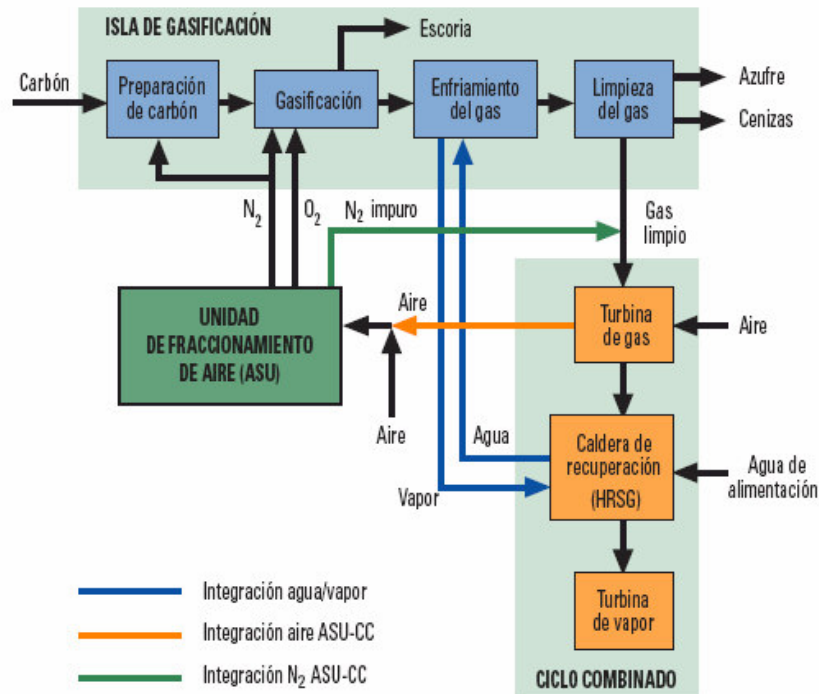
## Costos de la tecnología IGCC

Los costos son el factor crítico para el desarrollo comercial de la tecnología IGCC y no es fácil definir su competitividad.

El costo de capital, la disponibilidad/confiabilidad, los costos de mantención, los costos de O&M, los precios relativos del GN y el carbón y las regulaciones ambientales determinan y determinarán la comparación de costos



## Diagrama de una central de GICC, carbón limpio



Fuente: Manuel Treviño C. "Tecnología de gasificación integrada en CC: GICC", ELCOGAS, 2003



Programa de estudios e investigaciones en energía



## Emisiones de las distintas tecnologías

Tecnología		Emisiones g/kWh				Subproductos/ Residuos sólidos g/kWh (*)
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partículas	CO <sub>2</sub>	
<b>GICC</b> (según proceso de gasificación/ turbina de gas)	ELCOGAS / SIEMENS V94.3	0,07	0,40	0,02	727	Escoria: 21,0 Ceniza: 2,0 Azufre: 4,0
	SHELL / SIEMENS V94.2	0,10	0,05	0,02	712	
	TEXACO / GE 7F	0,13	0,35	0,02	745	
	E-GAS™ / GE 7FA	0,14	0,37	0,02	783	
	MITSUBISHI (2006, objetivos propuestos)	0,02	0,013 (con SCR)	0,01	730	
<b>PC,</b> carbón pulverizado	Subcrítica. $\eta_{neto}=36,0\%$ FGD (90%), LNB (50%), ESP (99,2%)	2,50	2,30	0,30	852	Cenizas: 27,4 Yeso (FGD): 19,6
	Supercrítica. $\eta_{neto}=39,6\%$ FGD (95%), SCR (95%), ESP (99,2%)	2,15	1,10	0,27	774	Cenizas: 25,0 Yeso (FGD):18,8
<b>AFBC.</b> Con filtros ciclónicos (96%). $\eta_{neto}=36,0\%$		1,40	0,80	0,10	852	Mezcla cenizas- yeso-caliza: 52,9
<b>CCGN,</b> $\eta_{neto}=56,0\%$ 0,007		0,54	0,02	–	350	

(\*) Con combustibles similares en cuanto a contenido en cenizas y azufre.

Fuente: Manuel Treviño C. "Tecnología de gasificación integrada en CC: GICC",  
ELCOGAS, 2003



Programa de estudios e investigaciones en energía



## Comparación de costos para plantas GICC, PC y CCGN (500 MW)

	GICC	PC sub crítica	CCGN base	CCGN punta 1	CCGN punta 2
Potencia MW	590	500	506	506	506
Factor de producción %	80	80	80	65	40
Rendimiento neto %PCS (%PCI)	41,0 (42,2)	35,0 (36,0)	50,5 (56,0)	48,7 (54,0)	47,3 (52,4)
Coste combustible €/GJ (cts.€/te), PCS	1,31 (0,55)	1,31 (0,55)	3,56 (1,50)	3,56 (1,50)	3,56 (1,50)
Coste inversión €/kW	1.300	1.186	496	496	496
Inversión cts.€/kWh	2,63	2,40	0,96	1,17	1,91
O&M cts.€/kWh	0,71	0,68	0,32	0,33	0,39
Combustible cts.€/kWh	1,14	1,33	2,57	2,67	2,74
Coste electricidad cts.€/kWh	4,48	4,41	3,85	4,17	5,04

Precio del carbón considerado: 1,7 US\$/MMBTU y del GN: US\$ 4,6//MMBTU

Fuente: Manuel Treviño C. "Tecnología de gasificación integrada en CC: GICC", ELCOGAS, 2003



Programa de estudios e investigaciones en energía



5. Punto de inflexión en el discurso y en el debate público

## Precios previstos para el GNL en fijación del precio de nudo SIC de octubre 2006

Año	Precio US\$/MMBtu
2006	no disp.
2007	no disp.
2008	8.00
2009	7.70
2010	7.60
2011	7.40
2012 en adelante	6.00

**Nota: El precio utilizado en la fijación del precio de nudo de abril 2004 para el SIC fue de 1,6 US\$/MMBTU**



Programa de estudios e investigaciones en energía



III. Punto de inflexión en el discurso y en el debate de la política energética

## Y la electricidad?

Precio de nudo ajustado del SIC (nudo Polpaico), fijación de abril 2007, 59,4 US\$/MWh.

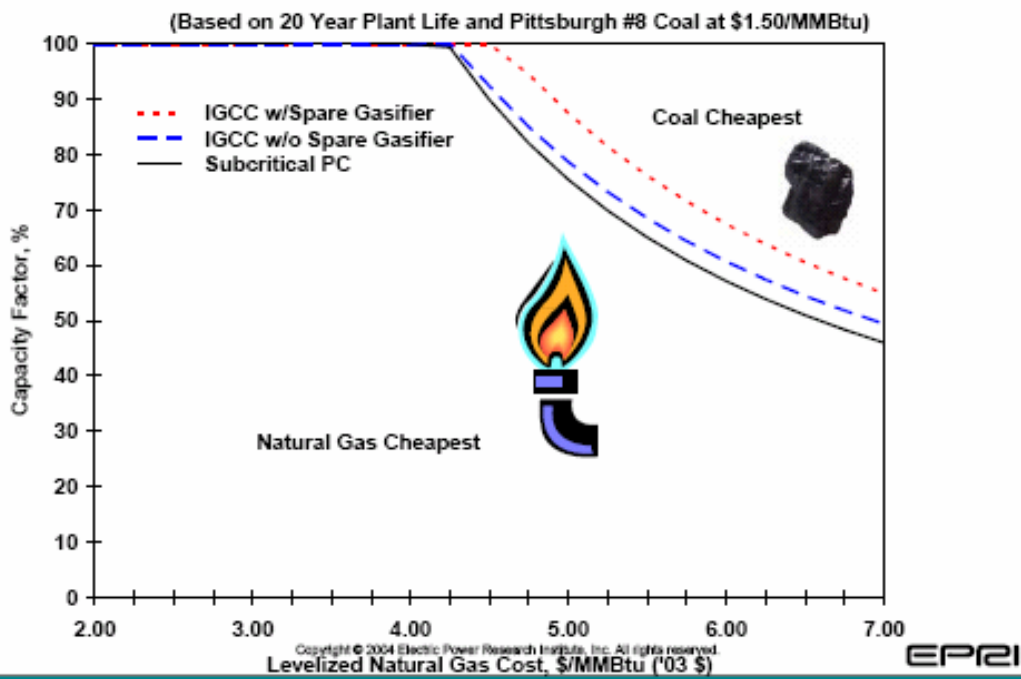
El precio máximo de la energía para efecto de las licitaciones es: US\$ 72,6/MWh



Programa de estudios e investigaciones en energía



## Punto de quiebre, considerando % disponibilidad y precio combustibles



## Captura del CO<sub>2</sub>, almacenamiento o aprovechamiento (2015-2020?)

- Post combustión
- Combustión “oxyfuel”
- Pre combustión
  - almacenamiento geológico
  - aprovechamiento:
    - recuperación de petróleo en yacimientos
    - H<sub>2</sub> para celdas de combustible
    - gasolina de síntesis (poligeneración)



## Costo incremental del MWh por concepto de captura

	Costo US\$/MWh					
	Planta NGCC		Planta Carbón Nueva		Planta Nueva IPCC	
	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto
<b>Sin captura</b>	31	50	43	52	41	61
<b>Con captura</b>	43	72	62	86	54	69
<b>Aumento</b>	12	24	18	34	9	22

Fuente: “Special report on carbon dioxide capture and storage, chapter 8” IPCC, 2006

Notas: a) El precio del gas natural considerado es de 2,8 a 4,4 US\$/GJ, valor que será muy probablemente superior en el futuro próximo.

b) Existen plantas de CAC en Canadá, USA y Noruega por un total de  $10^6$  t de CO<sub>2</sub>/año. Shell y Statoil anuncian construcción de planta de 860 MW CC a GN, capturando entre 2 y  $2,5 \cdot 10^6$  t de CO<sub>2</sub>/año



Programa de estudios e investigaciones en energía





# Energías sostenibles para Chile. Evaluación de necesidades y prioridades tecnológicas

## Factibilidad del carbón limpio en Chile

Pedro Maldonado



PROGRAMA DE ESTUDIOS E  
INVESTIGACIONES EN ENERGÍA  
INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS · UNIVERSIDAD DE CHILE



Santiago, 21 de agosto de 2007

## Comparación costos plantas de 500 MW

	PC Subcritical	PC supercritical	IGCC c respaldo/s respaldo	NGCC
Costo total Planta US\$/kW	1.230	1.290	1.350/1.250	440
Costo capital total US\$/kW	1.430	1.490	1.610/1.490	475
O&M Fijos US\$/kW-año	40.5	41.1	56.1/52.0	5.1
O&M Variables US\$/kWh	1.7	1.6	0,9	2.1
Disponibilidad %	80	80	80	80/40
Costo combustible US\$/MMBTU	1,5	1,5	1,5	5
Costo Energía US\$/MWh (2003 US\$)	46,5	46,6	49,9/47,2	47,3/56,5

**EPRI, Cost Comparison IGCC and Advanced Coal, Roundtable on Deploying Advanced Clean Coal Plants July 29, 2004**

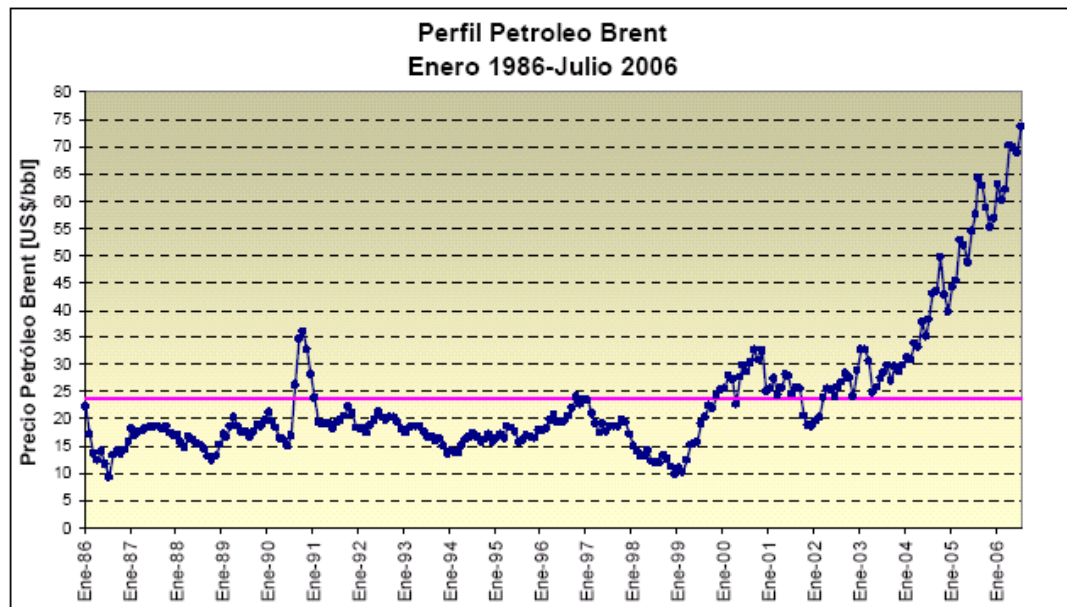


Programa de estudios e investigaciones en energía



## Evolución reciente del precio del petróleo

GRÁFICO N° 3: EVOLUCIÓN PETRÓLEO BRENT, PERÍODO ENERO 1986-JULIO 2006.



CNE, Precio de nudo octubre 2006

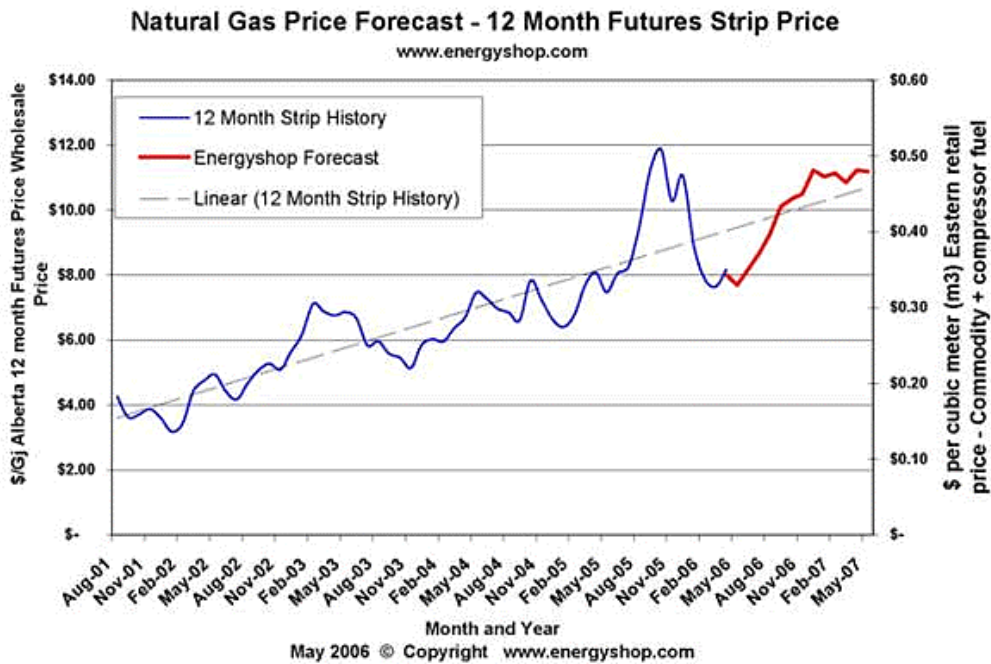


Programa de estudios e investigaciones en energía



### III. Punto de inflexión en el discurso y en el debate de la política energética

#### Evolución del precio del gas natural (\$CDN/GJ)



# Poligeneración

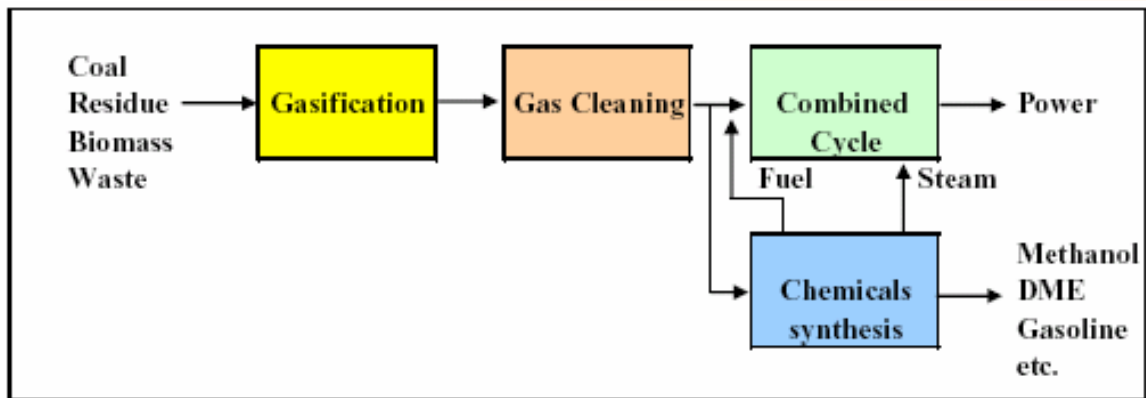


Figure 2. Schematic of integration of chemicals synthesis with an IGCC power plant

