



# Taller Marco para el Desarrollo Hidroeléctrico en el Perú

## Sesión II – Viabilidad Técnica y Económica de la Hidroelectricidad

**Enrique Crousillat**  
Consultor - Banco Mundial



# EL ESTUDIO – TIENE SENTIDO PROMOVER HIDROELECTRICAS?



## Objetivos

- Evaluar el rol de la hidroelectricidad en el Perú
- Proponer un marco para la inversión a fin de cubrir la futura demanda con un componente significativo de energía limpia, renovable y abundante.

## Que se ha hecho?

- Evaluación de proyectos hidroeléctricos en preparación
- Muestra estudiada: aquellos proyectos con Concesión Definitiva (10 proyectos representativos de lo que se puede hacer en el corto plazo)
- Revisión incluyo un criterio estandarizado;
  - Aspectos básicos de riesgos
  - Hidrología, producción de energía
  - Costos
  - Aspectos sociales y ambientales (en curso)
- A fin de evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de la opción hidroeléctrica (no es una evaluación de proyectos específicos)

---

Taller sobre el Marco para el Desarrollo Hidroeléctrico en el Perú

Lima, 29 de octubre de 2008.



# BENEFICIOS ECONÓMICOS DE HIDROELÉCTRICAS



## Metodología del *Costo Evitado*

- Se asume que la hidroeléctrica es reemplazada por una combinación de una planta de ciclo combinado CC y una planta TG a ciclo abierto
- La TG a ciclo abierto operaría 3hr/día
- La combinación de las dos plantas CC y TG a ciclo abierto es coincidente con la capacidad y energía producida por la hidroeléctrica
- El precio del gas es basado en su valor económico, estimado en base a un cálculo de 'netback' para diferentes usos alternativos del gas (LNG, petroquímica, otros)



# VALOR ECONOMICO DEL GAS



## Metodología del *Valor Netback*

- Valoración del gas natural en sus usos alternativos – máximo precio que estarían dispuestos a pagar diferentes tipos de consumidores.
- Dos enfoques
  1. Valor del sustituto relevante (residencial, industria, comercio)
  2. Valor del output (petroquímica, LNG); para LNG, valor de Henry Hub – Costos (transportes, licuefacción y gasificación)
- Curva de Demanda – disponibilidad de pago y volumen consumido para diferentes.
- Mínimo netback del orden de 3.1 \$/mmBTU (en LNG, petroquímica, gas vehicular) para \$75/Bbl. Para \$100/Bbl, el netback mínimo asciende a 4.6 \$/mmBTU.

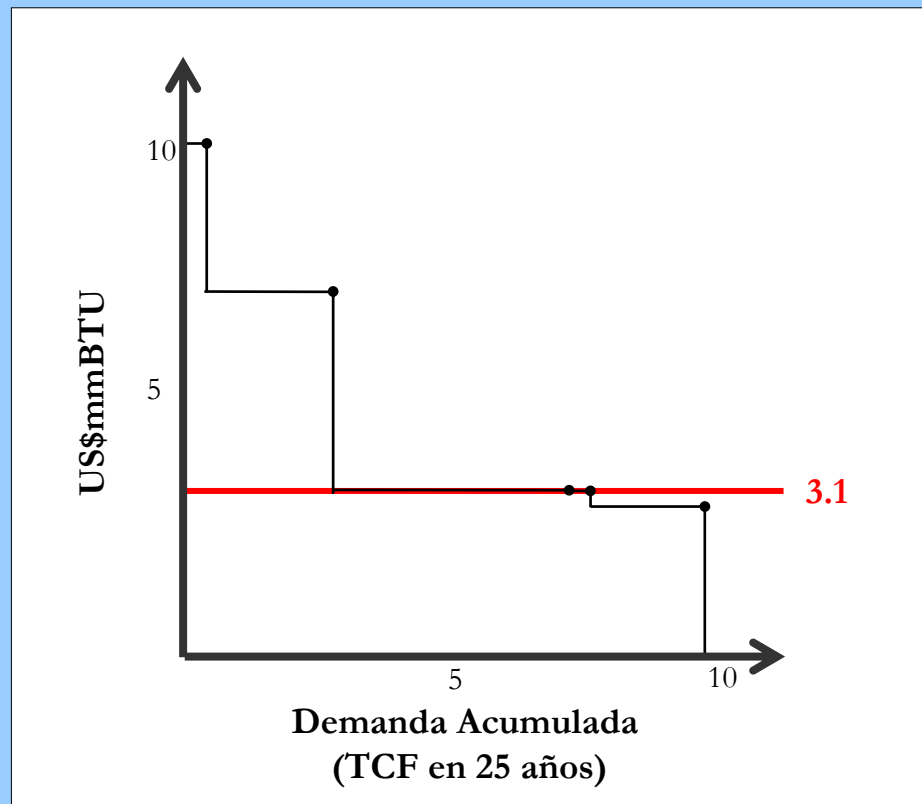


# NETBACK ECONÓMICO

(en pozo, para US\$75/Bbl)



Netback en planta de generación (3.1 + 1.3 costo de transporte)  
= 4.4US\$/mmBTU





# PRECIOS ACTUALES DEL GAS NATURAL PARA GENERACION TERMICA



Precios de 2008 del gas de Camisea para generación térmica - OSINERGMIN (en US\$/mmBTU):

	<b>Ventanilla</b>	<b>Santa Rosa</b>	<b>Chilca</b>	<b>Kalpa</b>
<b>Precio en Camisea</b>	<b>1.3065</b>	<b>1.3753</b>	<b>1.3753</b>	<b>1.3961</b>
<b>Transmisión</b>	<b>0.7398</b>	<b>0.7398</b>	<b>0.7392</b>	<b>0.7402</b>
<b>Distribución (Chilca-Lima)</b>	<b>0.1218</b>	<b>0.1218</b>		
<b>Total</b>	<b>2.1681</b>	<b>2.2369</b>	<b>2.1145</b>	<b>2.1363</b>

Precios debajo de valores económicos



# COSTO ECONÓMICOS DE LA GENERACIÓN A GAS



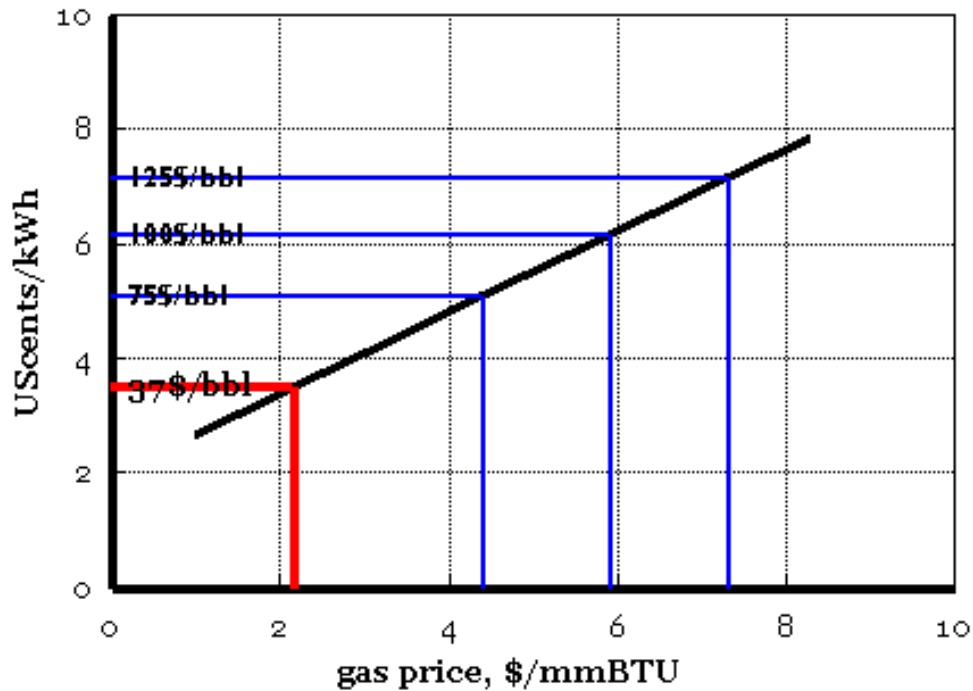
- Para una tasa de descuento de 12% (todos los cálculos son a 12%, excepto los casos indicados explícitamente)
- A los precios actuales del gas la generación TG a ciclo abierto (a factor de planta de 80%) es más barata que un Ciclo Combinado!

<b>Precio de petróleo</b>	<b>Precio Económico Gas (LNG netback export.)</b>	<b>CC Costo Generación</b>	<b>TG Costo Generación</b>
\$/bbl	\$/mmBTU	UScent./kWh	UScent./kWh
<b>75</b>	<b>4.4</b>	<b>5.1</b>	<b>5.5</b>
100	5.9	6.2	6.9
125	7.3	7.2	8.3
37 *	2.14	3.5	3.2

(\* ) Equivalente al precio del gas actual



# COSTO ECONÓMICO DE GENERACIÓN - CC



precio pet.	precio gas	TGCC
\$/bbl	\$/mmBTU	UScent./kWh
75	4.4	5.1
100	5.9	6.2
125	7.3	7.2
<b>37 *</b>	<b>2.1</b>	<b>3.5</b>

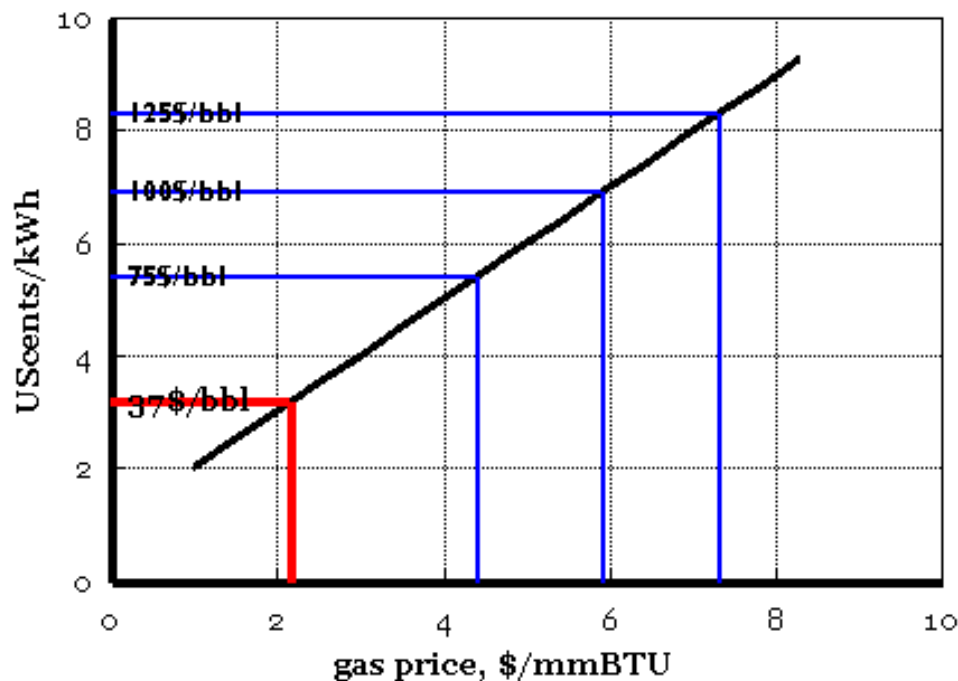
(\* Equivalente al precio de gas actual)

Taller sobre el Marco para el Desarrollo Hidroeléctrico en el Perú

Lima, 29 de octubre de 2008.



# PRECIO ECONÓMICO DE GENERACIÓN - TG



A los precios actuales de gas, generación con TG a ciclo abierto (3.2 cent./kWh) es más barata que Ciclo Combinado (3.5 cent./kWh)

precio pet.	precio gas	TG
\$/bbl	\$/mmBTU	UScent./kWh
75	4.4	5.4
100	5.9	6.9
125	7.3	8.3
<b>37 *</b>	<b>2.1</b>	<b>3.2</b>

(\*) Equivalente al precio de gas actual



# CALCULOS PARA EL PROYECTO TIPICO



## Central Hidroeléctrica

- Capacidad Instalada: 146MW
- Capacidad Firme: 122.5 MW
- Generación Anual (f.p. 60%): 755 GWh

## Costo Evitado / Beneficios (Térmica(s) equivalente)

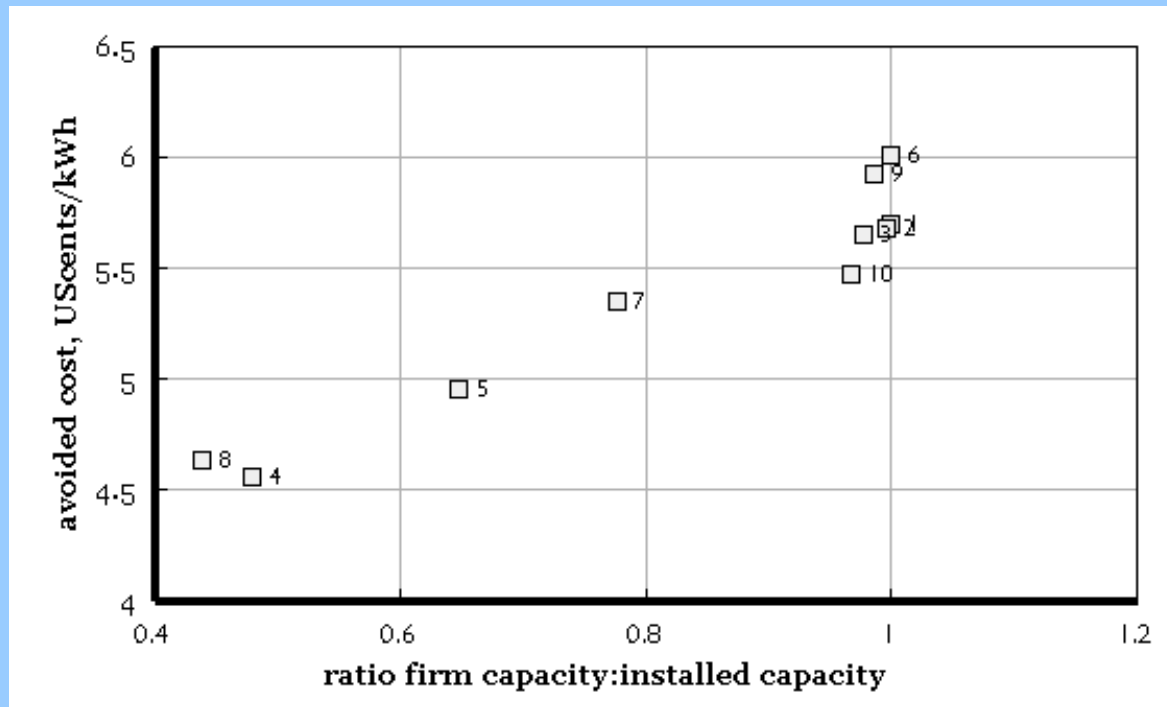
- TGCC 92.1 MW + TG 30.4MW
- Costo de Gas: US\$ 4.4/mmBTU
- Costo de energía promedio: 3.2 UScent/kWh
- Beneficio de capacidad promedio: US\$123/kW/año  
(basado en 460\$/kW para TG y 875 \$/kW para CC)
- Costo evitado promedio: \$5.31 UScent/kWh  
(rango de \$4.7- 6 UScent/kWh)



# COSTO EVITADO (= BENEFICIO)



- Proyectos que ofrecen una potencia firme relativamente alta (respecto a su capacidad instalada) dan beneficios altos.
- Proyectos con poca potencia firme dan menores beneficios.

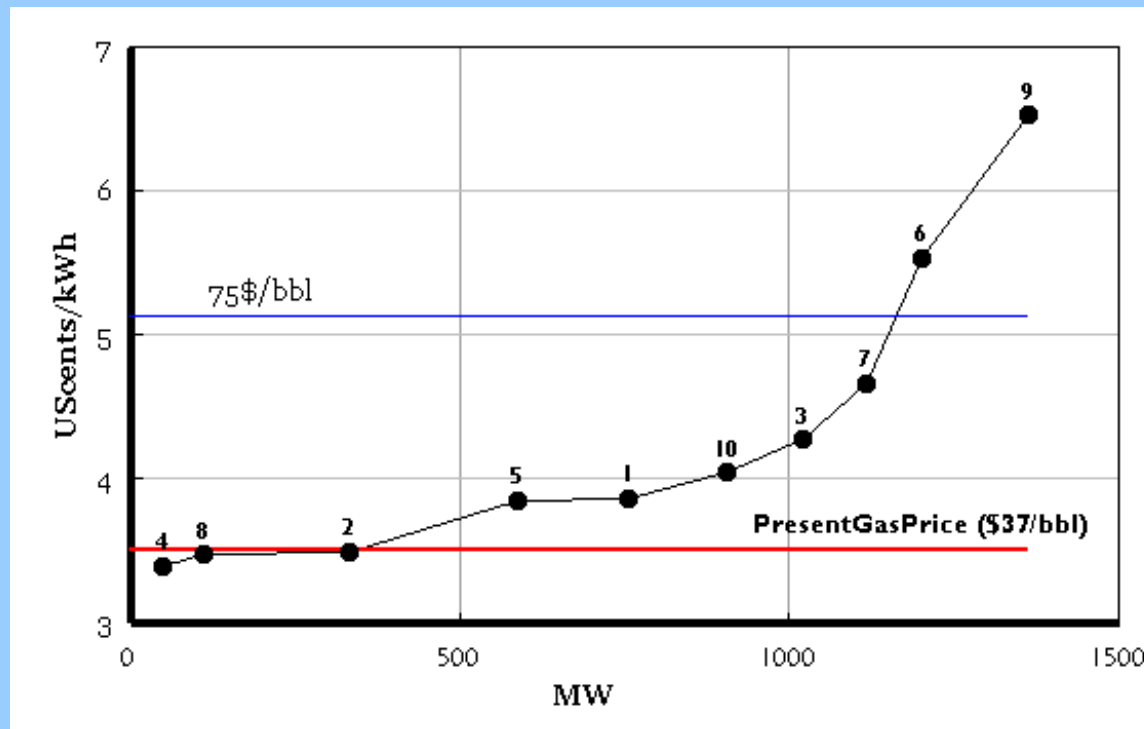




# CURVA ECONÓMICA DE OFERTA



- Sólo 2 proyectos son viables a los precios actuales del gas.
- 1,117 MW tienen costos de producción debajo de los de generación a gas (a US\$ 75/Bbl).

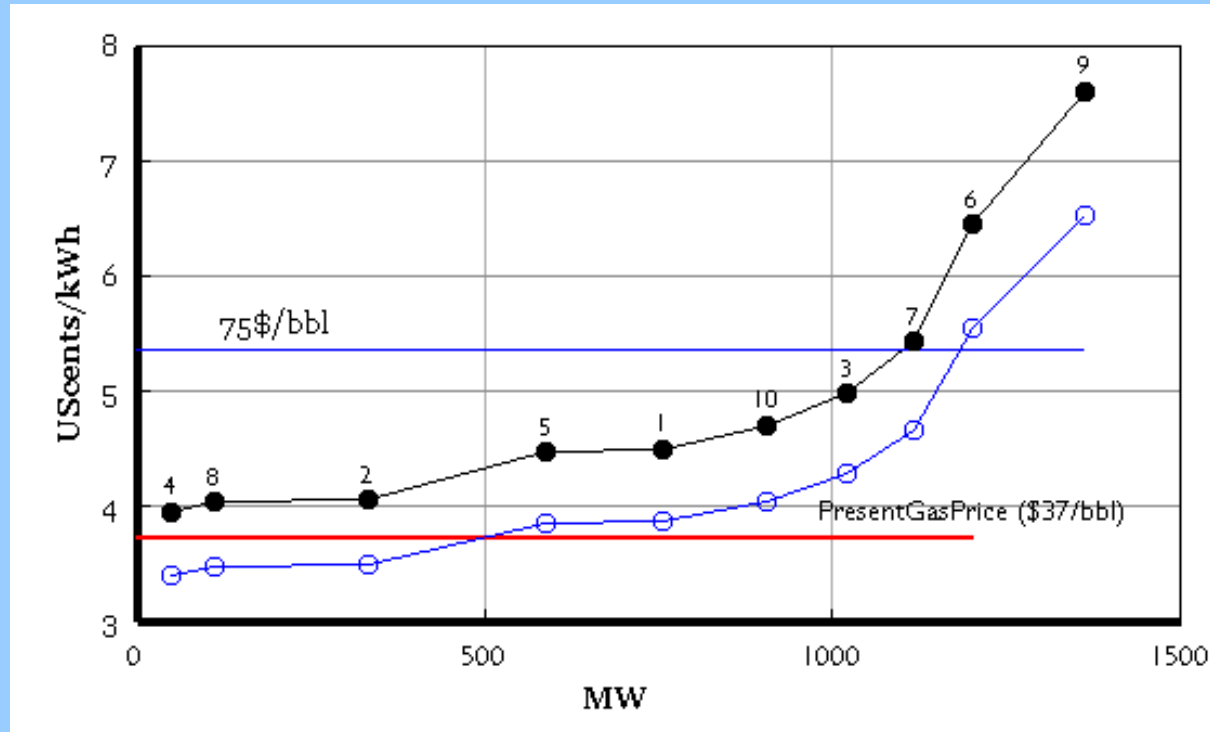




# IMPACTO DE UNA TASA DE DESCUENTO MAYOR



- Una tasa de descuento mayor (14% SNIP) empuja la curva de oferta hacia arriba!
- La potencia viable se reduce a 1,020 MW.

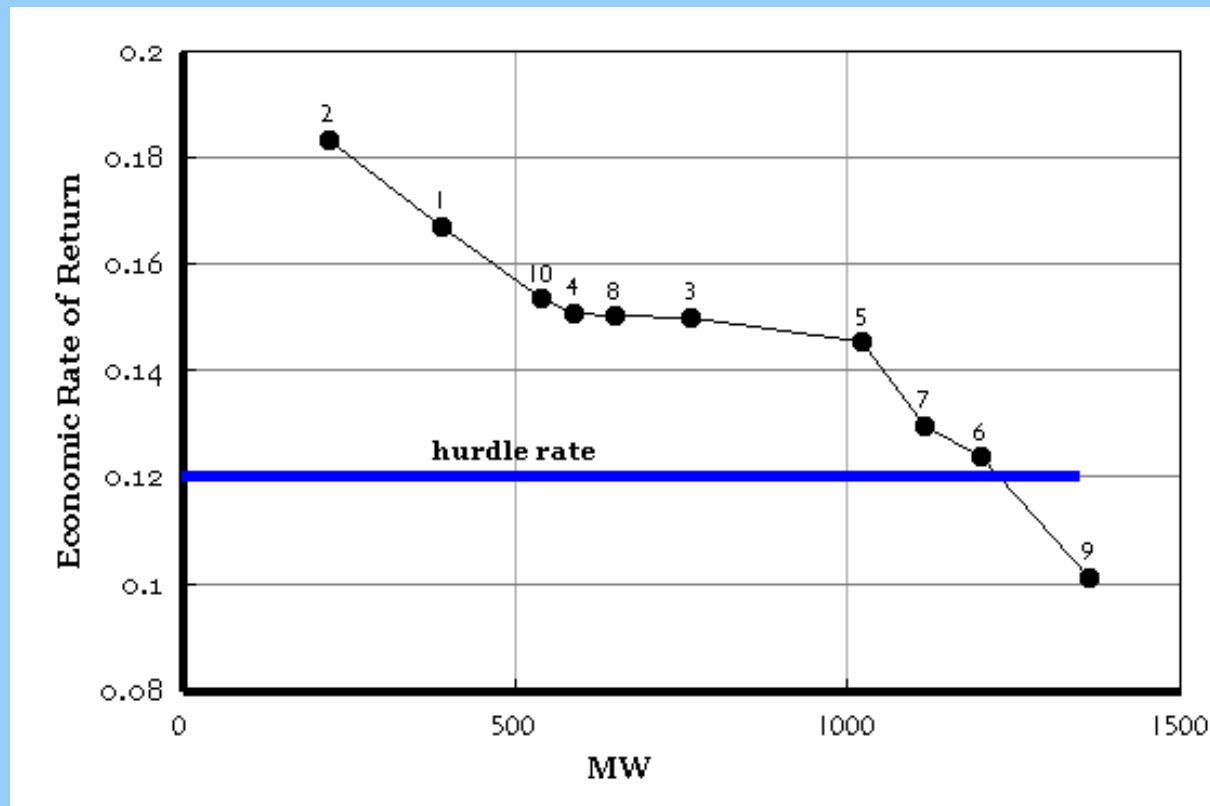




# CURVA DE OFERTA (TASA DE RETORNO ECONOMICA, ERR)



- 1,201 MW (9 proyectos) tienen una ERR mayor a 12% (a un precio económico de gas de US\$4.4-mmBTU)





# ERR vs. COSTOS DE PRODUCCIÓN



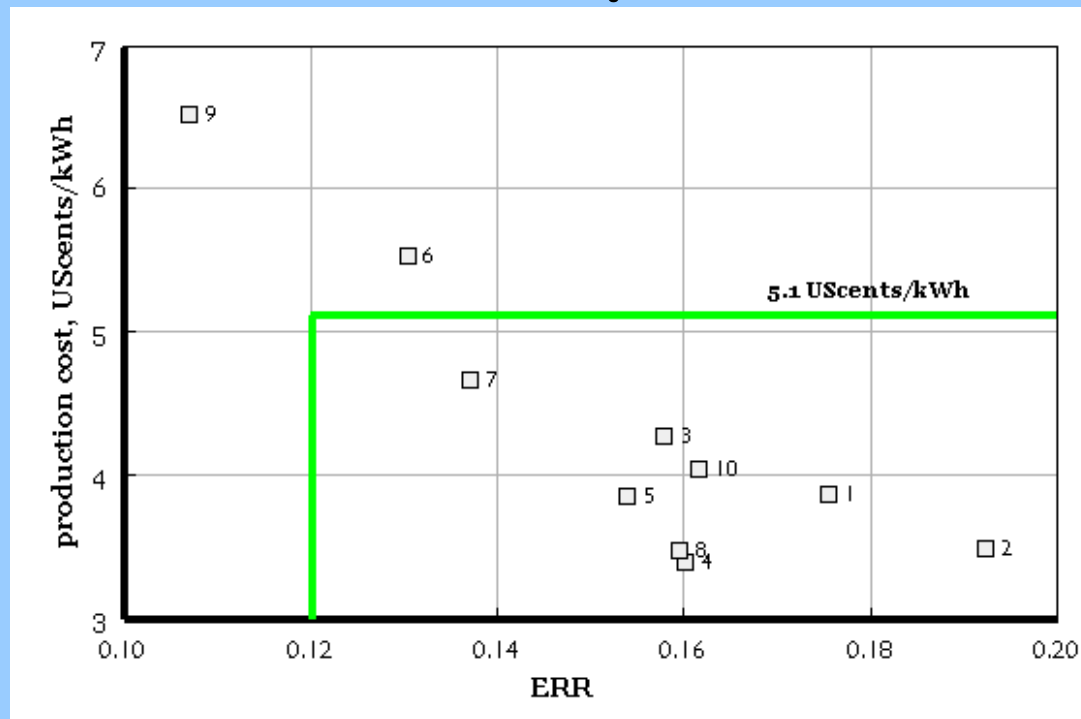
- La ERR captura el balance entre los costos y beneficios.
- Proyectos con costos de producción bajos no tienen necesariamente la mejor ERR.
- Por ejemplo, si un proyecto tienen un costo de producción bajo, pero ofrece muy poca capacidad firme (pocos beneficios de potencia), su ERR será relativamente baja.



# ERR vs. COSTOS DE PRODUCCIÓN



- Gráfico muestra los proyectos que tienen una ERR mayor a 12% y un costo de producción debajo de la generación a gas (a costos económicos).
- 8 proyectos; suman 1,020 MW y 5,280 GWh.

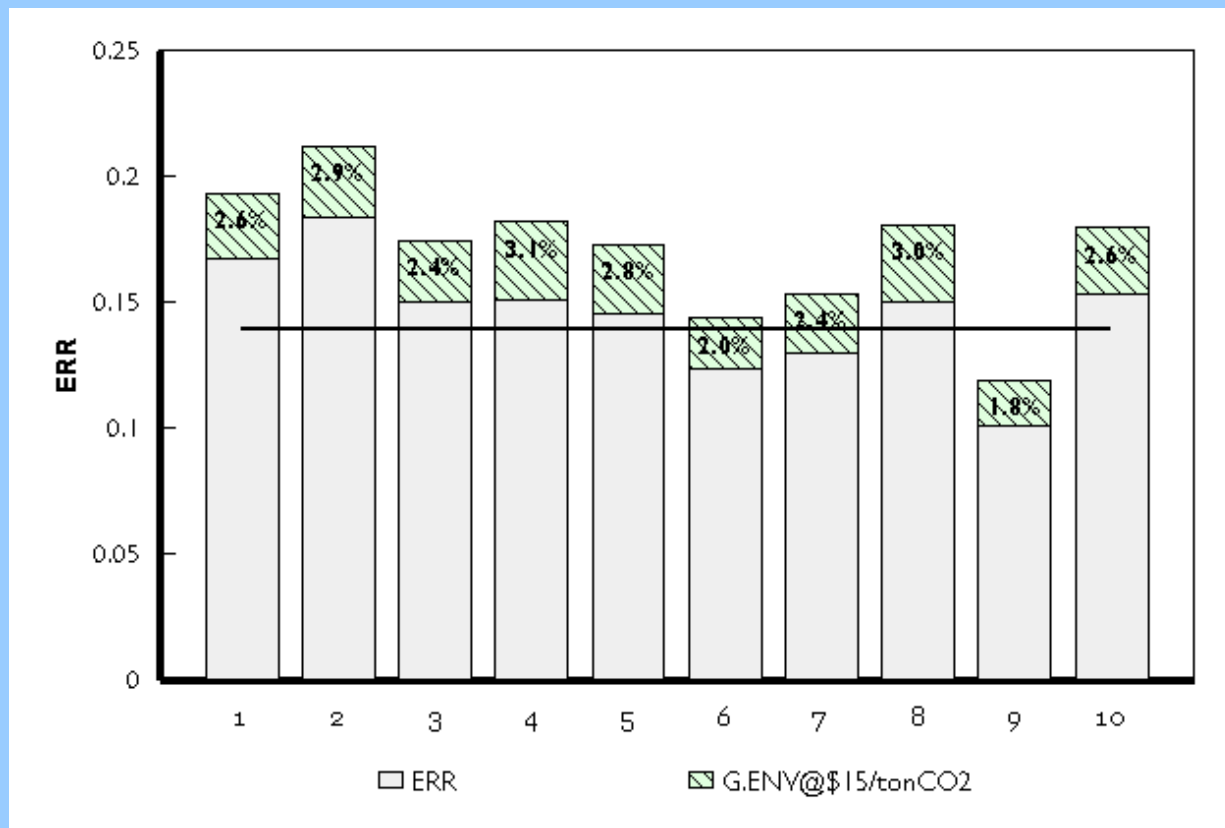




# BENEFICIOS DE CAMBIO CLIMATICO (REDUCCION DE EMISIONES)



- Dos proyectos (No. 6 y 7) se hacen viables con los créditos de carbono, usando la barra del SNIP (14%).



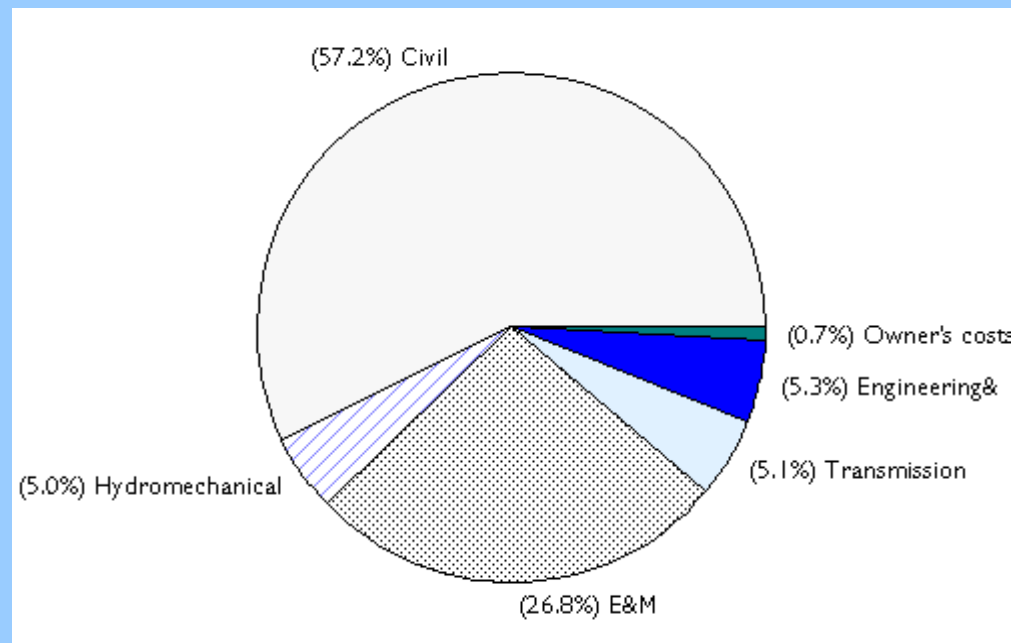


# PROYECTO TIPICO



Definido como el promedio de 7 proyectos que pasaron la prueba de una tasa de 14%

- Capacidad instalada 146 MW
- Factor de planta 0.6
- Costo de Capital \$1,346/kW
- ERR a US\$4.4/mmBTU = 14.7%
- Costo económico de producción igual a 4.34 UScent/kWh





# IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO



## Premisas para los proyectos que se nutren de glaciares:

- Mucha incertidumbre sobre lo que va a suceder;
- Reducción de caudales en estiaje, al perderse la capacidad reguladora de los glaciares;
- Generación no sería afectada en la época de lluvias, mientras que en el estiaje se reduciría;
- Por ejemplo, si el proyecto típico sufre una reducción de energía de 20% en el estiaje (9% en total), su costo de producción aumentaría en 9.5% y su ERR declinaría de 14.7% a 13.7%.

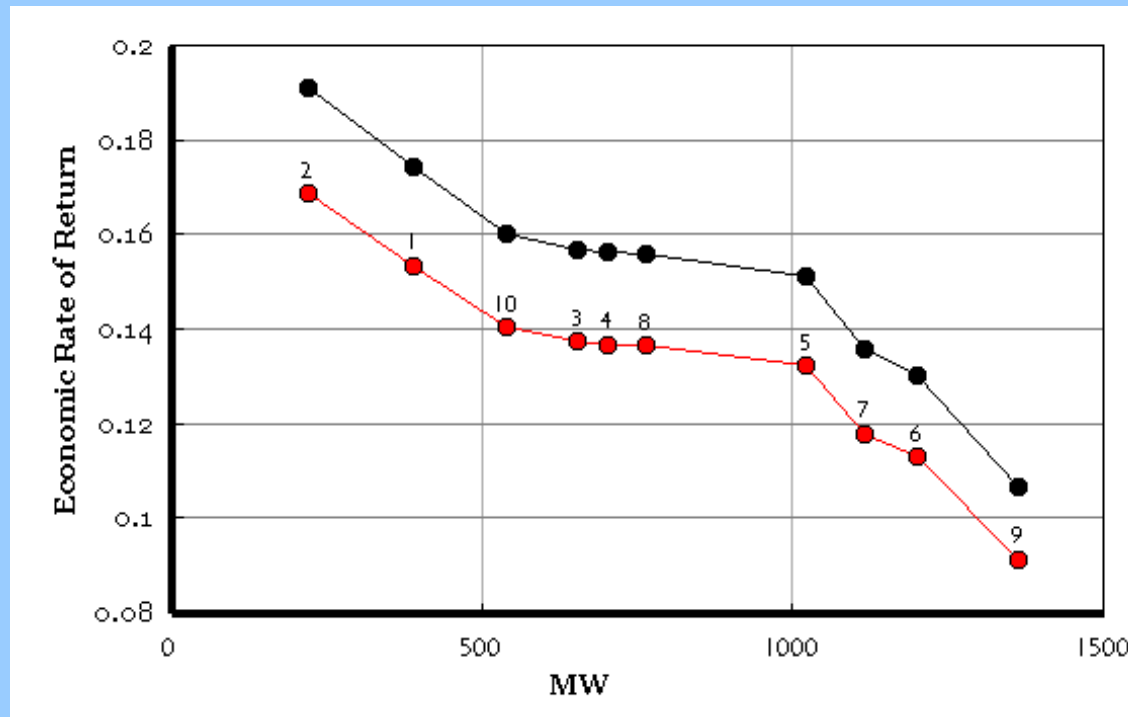
	<b>base</b>	<b>caudal reducido</b>
ERR	14.7%	13.7%
Costo de prod. UScent./kWh	4.34	4.75
Factor de planta	0.61	0.55
Generación anual, GWh	775	705



# INCERTIDUMBRE SOBRE EL COSTO DE CAPITAL



- Para la barra del SNIP (ERR 14%), un incremento en el costo de capital de 20% reduce los proyectos viables de 7 a 3 (de 1,020 MW a 510 MW respectivamente)\*



\* a un precio de gas de US\$4.4/mmBTU

Taller sobre el Marco para el Desarrollo Hidroeléctrico en el Perú

Lima, 29 de octubre de 2008.



# CONCLUSIONES



- ❑ Las hidroeléctricas son viables - Existe un grupo de proyectos hidroeléctricos, avanzados en su preparación, que son viables económicamente (i.e. para un valor económico del gas natural de 4.4 \$/mmBTU).  
Este grupo puede ofrecer una capacidad del orden de 1,000MW. La implementación de estos proyectos implicaría un ahorro del orden de 1 UScent./kWh, comparados a los costos económicos de generación térmica.
- ❑ Sin embargo, las hidroeléctricas no son competitivas a los precios actuales de gas (2.1 \$/mmBTU).
- ❑ Si bien hay diferencias en la calidad técnica de los proyectos, en líneas generales, los proyectos están bien preparados en términos de su diseño en investigaciones básicas.