

[www.pwc.com](http://www.pwc.com)

# *Beneficios Económicos para Chile de las Energías Renovables No-Convencionales*

Septiembre 2013

Daniela Alvarez L.  
Gerente – Sustentabilidad y Cambio Climático

*Desde el punto de vista económico y social:*

*¿Es deseable para Chile asumir el compromiso de lograr una mayor penetración de ERNC en su matriz energética?*

*¿Cuáles son los costos y beneficios que esto implica?*

# *Agenda*

Sección 1 – El estudio y metodología

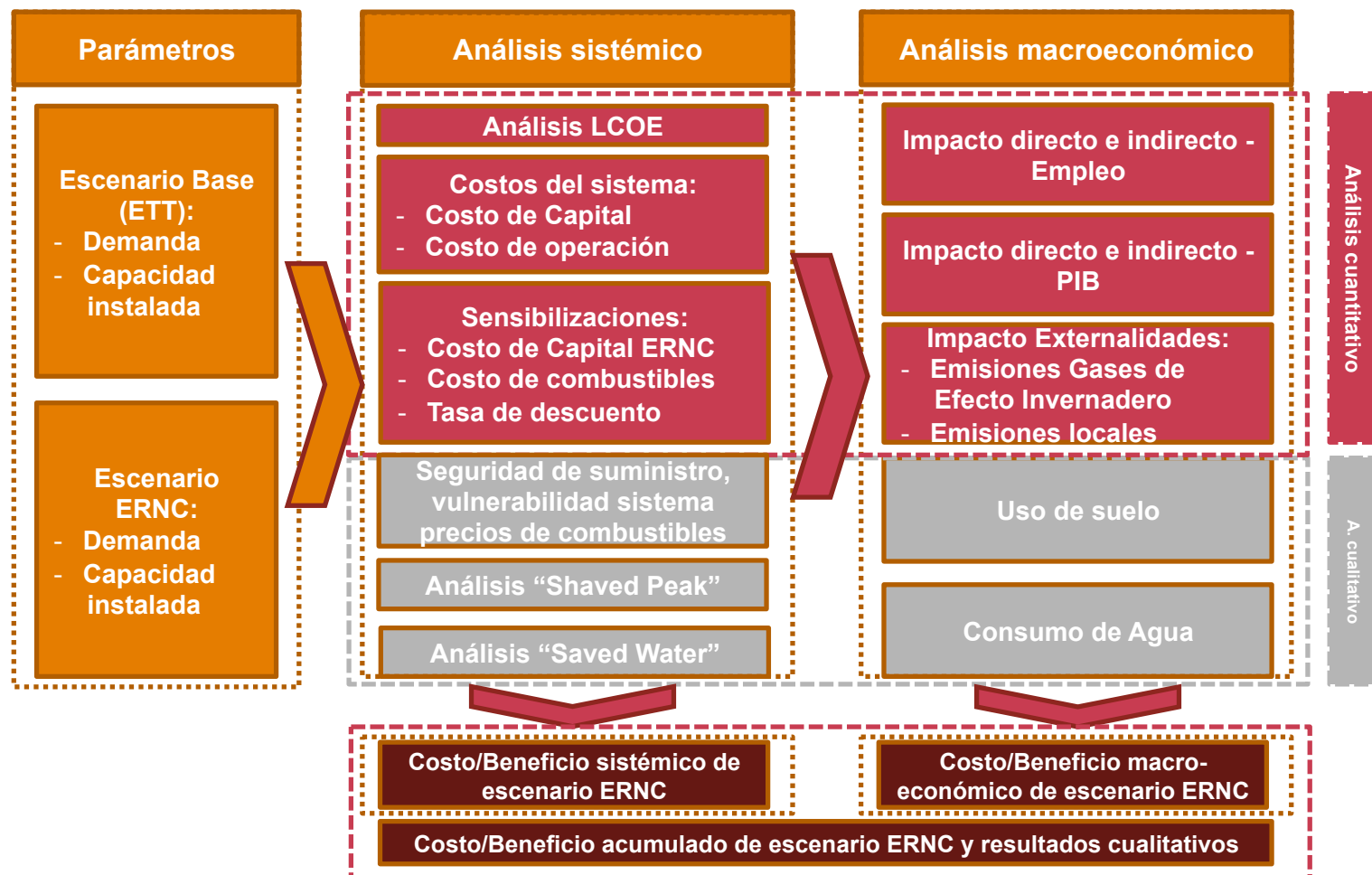
Sección 2 - Resultados

Sección 3 -Conclusiones

# *El estudio y metodología*

# 1

# Enfoque metodológico general



## Enfoque metodológico general

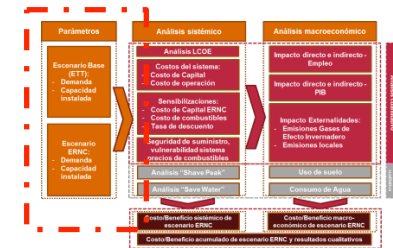


- El ejercicio realizado no busca entregar un pronóstico de la matriz futura. Por lo tanto, no busca optimizar el plan de expansión.
- Supuesto general: capacidad ERNC (MW) se inserta de forma correcta bajo parámetros establecidos en el sistema eléctrico chileno.
- Se asume que no hay problemas en el sistema de transmisión (ej. congestión).
- La metodología utilizada para el análisis macroeconómico asume que la estructura de la economía no cambia en el horizonte evaluado.

# Enfoque metodológico general



- ✓ Horizonte de evaluación 2013-2028
- ✓ Se definen dos escenarios:
  - “Escenario Base”: continúa con tendencias actuales según Plan de Obras del ETT, incluye Ley vigente 20.257 (10% al 2024).
  - “Escenario ERNC”: logra un 20% de ERNC al 2020.
- ✓ Demanda proyectada es la misma para ambos escenarios en torno 5%-6%.
- ✓ Modelo LEAP



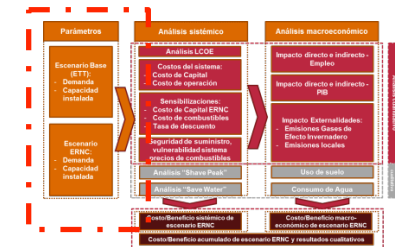
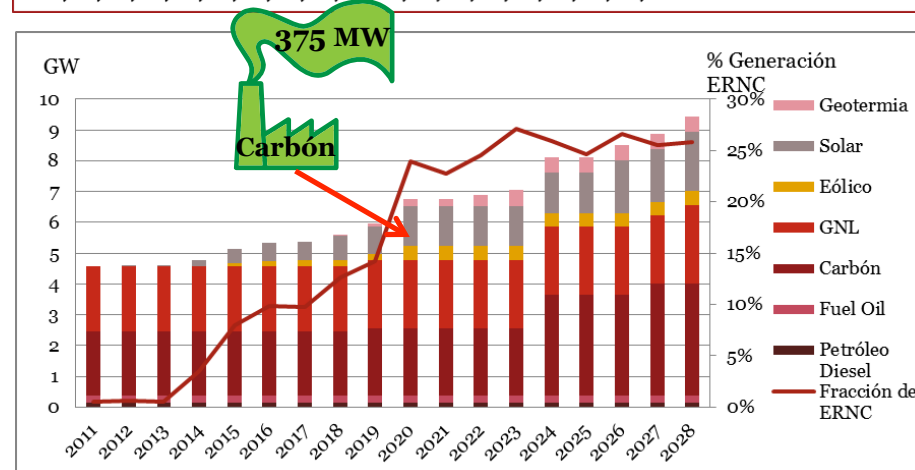
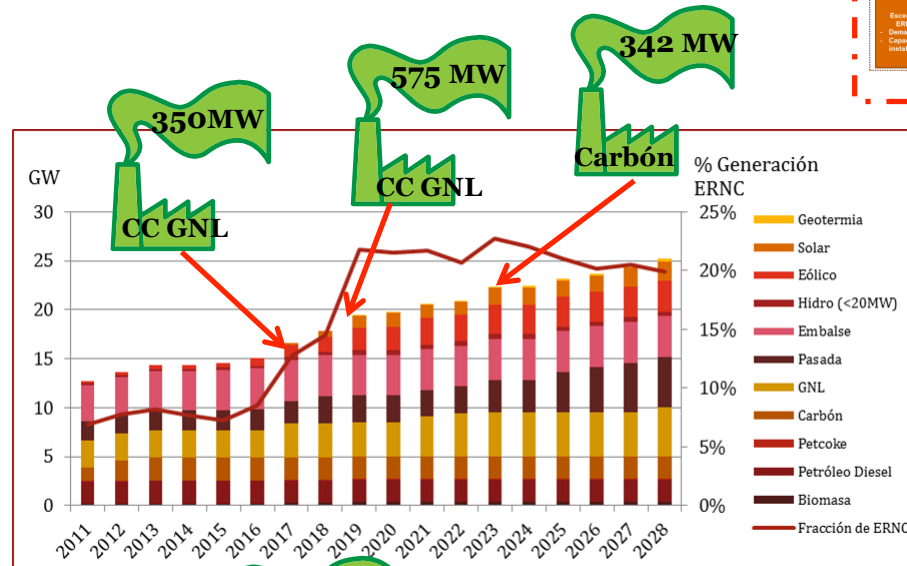




# Enfoque metodológico general

## Parámetros

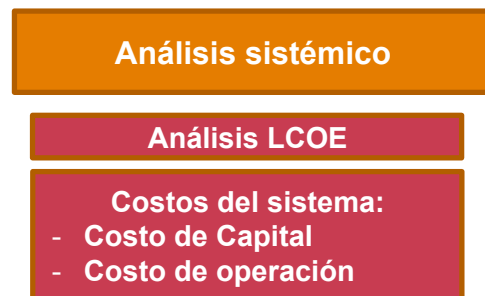
Escenario ERNC:  
- Demanda  
- Capacidad instalada



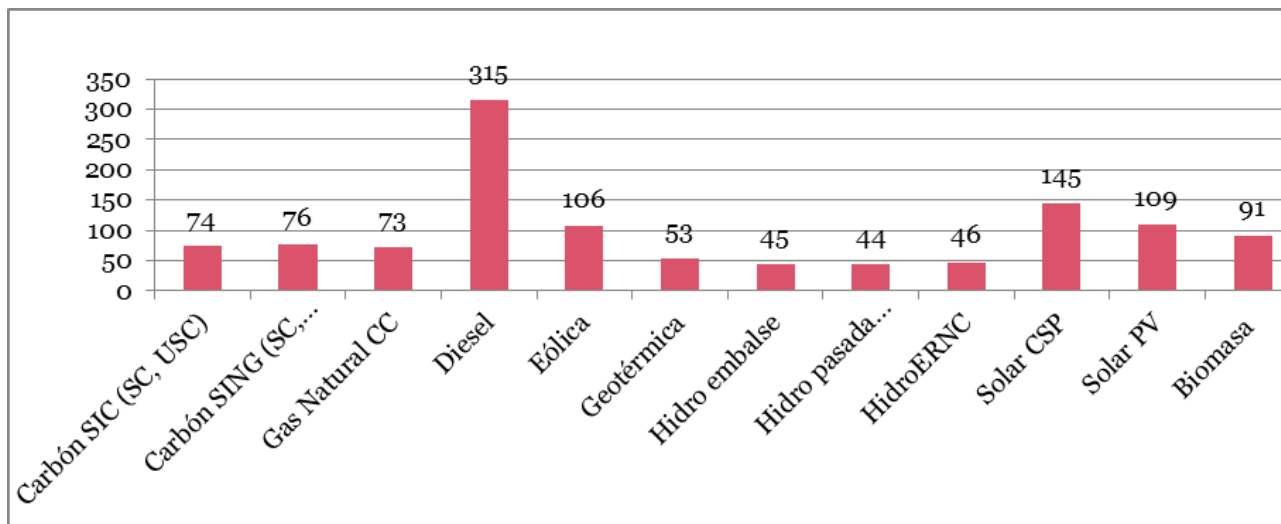
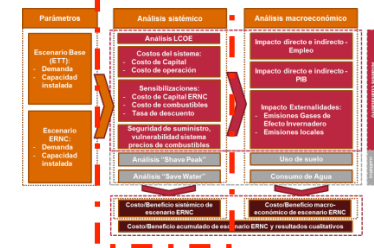
SIC

SING

# Enfoque metodológico general

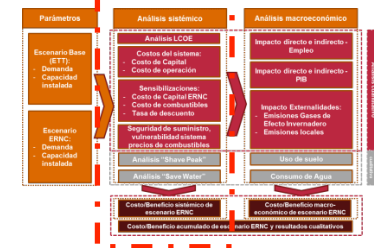


- ✓ Costo Nivelado de Energía, es una medida del costo promedio de generar una unidad de energía (US\$/MWh) para cada tecnología.



- ❑ Costo de capital
- ❑ Costos operación
- ❑ Costo de combustible
- ❑ Costos de mantención
- ❑ Vida útil
- ❑ Tasa de descuento 10%

# Enfoque metodológico general



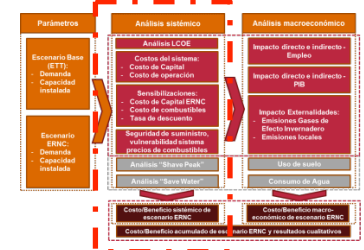
	Capital (US\$/kW)	Factor de Planta*	CF OPERACIÓN (US\$/kW-año)*	CVNC (US\$/MWh)*
<b>Carbón Pulverizado</b>	2500 (SING) 2350 (SIC)	0.85	20	2
<b>CC-GNL</b>	850	0.9	15	2
<b>CA Diésel</b>	800*	0.92	15	10
<b>Biomasa sin cogeneración</b>	3125	0.83	30	0
<b>Biomasa con cogeneración</b>	3125	0.8	20	0
<b>Geotermia</b>	3550	0.83	20	2
<b>Pasada</b>	2000	0.55	12.5	0
<b>Pasada (&lt;20MW)</b>	2100	0.65	12.5	0
<b>Eólica</b>	2300	0.3	0	10
<b>Solar PV</b>	2500	0.31	10	0

Fuente: Plan Estudio de Transmisión Troncal (Enero 2013);

Factor de planta convencional de 0.3 para eólica

\*Comisión Asesora para el Desarrollo Eléctrico (CADE)

# Enfoque metodológico general



## Análisis sistémico

### Sensibilizaciones:

- Costo de Capital ERNC
- Costo de combustibles
- Tasa de descuento

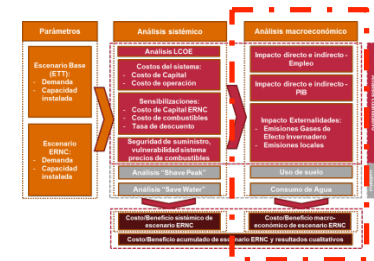
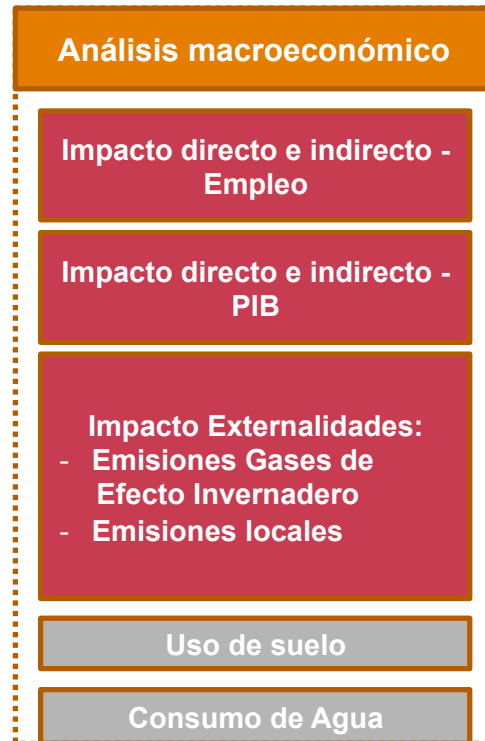
✓ Sensibilización de la Tasa de descuento:

- ☐ Tasa de descuento 10%
- ☐ Tasa de descuento social de 6%

Parámetro	Variación Parámetro Escenarios “(ETT)”	Variación Parámetro Escenarios “(+)”
Precio Carbón	➡ 0%	➡ +5%
Precio GNL	➡ 0%	➡ +5%
CAPEX (sólo ERNC)	➡ 0%	➡ -15%

Nota: El ETT indica un precio promedio GNL **8,54 US\$/MMBTU**; **7,5 US\$/ MMBTU** (2013) para ambos sistemas. Precio promedio carbón **104,5 US\$/Ton**

# Enfoque metodológico general



- ✓ **Impactos Directos:** referidos a los impactos directos de un sector en específico. En este caso para el sector de generación eléctrica.
- ✓ **Impactos Indirectos:** referidos a los impactos que ocurren en el resto de los sectores productivos de la economía, en un efecto multiplicador.
- ✓ **Impactos inducidos:** no son evaluados en este estudio. Se refieren a aquellos impactos producto de un aumento en el nivel de consumo.

# *Resultados*

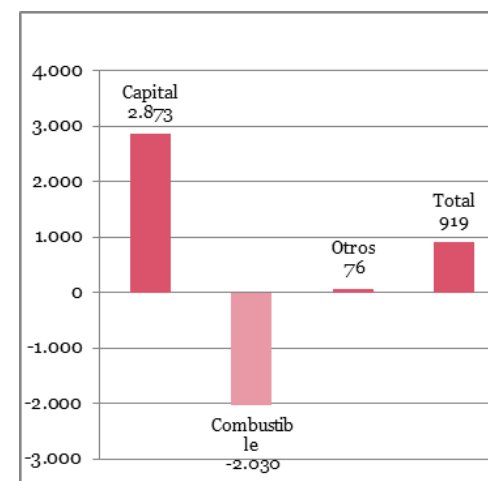
- ✓ Análisis Sistémico
- ✓ Análisis Macroeconómico
- ✓ Análisis de Externalidades

# 2

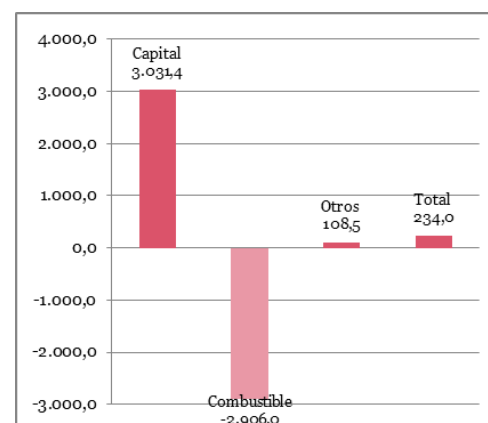
# Resultados – Análisis Sistémico

## Escenario ERNC vs. Escenario Base - Tasa de descuento de 10% y 6%

Escenario ERNC vs. BASE. Comparación de Valor Presente (MMUS\$) tasa desc. 10 %				
Escenario País	Capital	Combustible	Otros	Total
BASE	10.927	16.391	1.105	28.423
ERNC	13.801	14.360	1.180	29.342
<b>Costo (-) / Beneficio (+) neto ERNC vs. Base.</b>	<b>- 2.874</b>	<b>2.031</b>	<b>- 75</b>	<b>- 919</b>



Escenario ERNC vs. BASE. Comparación de Valor Presente (MMUS\$) tasa desc. social 6 %				
Escenario País	Capital	Combustible	Otros	Total
BASE	10.184	21.502	1.452	33.137
ERNC	13.215	18.596	1.561	33.371
<b>Costo (-) / Beneficio (+) neto ERNC vs. Base.</b>	<b>- 3.031</b>	<b>2.906</b>	<b>- 109</b>	<b>- 234</b>



## Resultados – Análisis Sistémico Sensibilizaciones

Parámetro	Variación Parámetro Escenarios “(+)”
Precio Carbón	↗ +5%
Precio GNL	↗ +5%
CAPEX (sólo ERNC)	↘ -15%

- ✓ Escenario (+): Aumenta costos de los combustibles y baja CAPEX de las ERNC
- ✓ Tasa de descuento de 10% y 6%
- ✓ Impacto en MMUS\$

Escenario País	Escenario(+) Tasa descuento 10%	ETT caso base Tasa descuento 10%	Escenario(+) Tasa descuento 6%	ETT caso base Tasa descuento 6%
<b>Base</b>	30.571	28.423	40.958	33.137
<b>ERNC</b>	30.320	29.342	40.613	33.371
<b>Costo (-) / Beneficio (+) neto ERNC vs. Base.</b>	<b>251</b>	<b>- 919</b>	<b>345</b>	<b>-234</b>



## Resultados – Macroeconómico

### Generación de Empleo

Impacto en el Empleo por energía generada (Empleos/GWh)

Tecnología	Empleos directos por GWh	Empleos indirectos por GWh	Empleo total por GWh
Solar y Eólico	0,38	0,85	1,22
Térmica	0,04	0,53	0,57
Hidráulica	0,21	0,71	0,92
Biomasa	0,26	1,78	2,03

Fuente: basado en datos SEIA, CASEN (2011) y Metodología de factor de Empleo Nacional. Wei, M. Patadia S. Energy Policy vol 38: 919-931 (2009)

Creación de Empleos – período 2013-2028

Impacto	BASE	ERNC	Beneficio
DIRECTO	10.519	13.963	3.444
INDIRECTO	51.509	55.834	4.325
TOTAL	62.028	69.796	7.769

# Resultados – Macroeconómico

## Impacto en el PIB

### Impacto en el PIB (US\$/MWh)

Tecnología	PIB directo	PIB indirecto	PIB total
Solar y Eólico	65,3	45,4	110,7
Térmica	28,0	26,7	54,6
Hidráulica	67,0	39,3	106,4
Biomasa	50,2	48,8	98,9

Fuente: basado en Matriz Insumo-Producto (2009) del Banco Central de Chile , levantamiento de información por PwC con desarrolladores de proyectos , y metodología: Lindner, S; Legault, J; Guan, D. (2012) Disaggregating the electricity sector of China's Input-Output table. Economics Systems Research. *International Leontief Memorial Prize 2012*.

### Aporte al PIB por escenario – Valor Presente MMUS\$

Tipo de Impacto	ESC BASE	ESC ERNC	BENEFICIO
DIRECTO	38.413	39.916	1.503
INDIRECTO	27.397	28.140	744
TOTAL	65.810	68.056	2.246

## Resultados – Externalidades

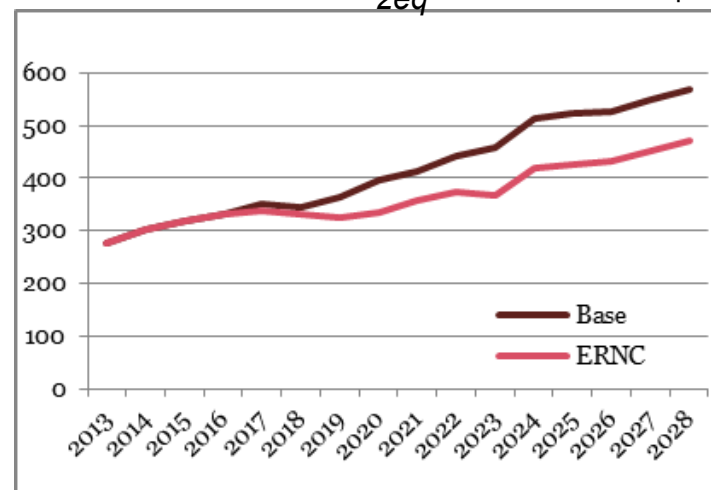
### Emisiones de GEI

#### Valor del Costo Social del CO<sub>2</sub>

VALOR PRESENTE 2013-2028			Millones de US\$
Escenario	SIC	SING	País
BASE	1.512	1.448	2.960
ERNC	1.325	1.363	2.688
BENEFICIO	187	85	272

Valor de la externalidad: **9,87 USD/tCO<sub>2eq</sub>** – Borenstein 2011: *The Private and Public Economics of Renewable Electricity Generation*, Journal of Economic Perspectives, American Economic Association, vol 26.

#### Valor de la externalidad por emisiones de CO<sub>2eq</sub> en MMUS\$



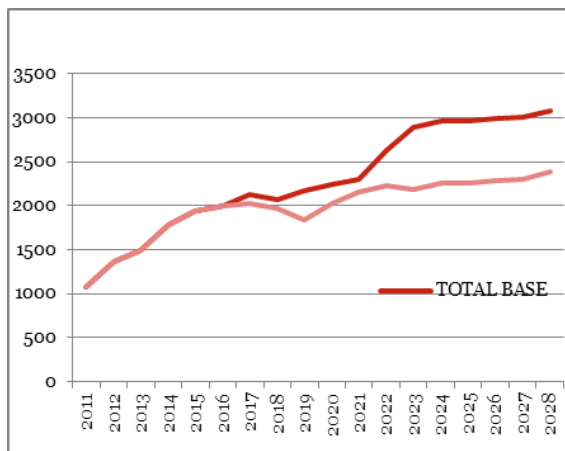
**El escenario ERNC evita 83 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> durante el horizonte temporal 2013 - 2028.**

**Equivale a las emisiones de CO<sub>2eq</sub> que generarían aproximadamente 32,9 millones de automóviles en un año – 10 veces el parque automotriz de Chile**

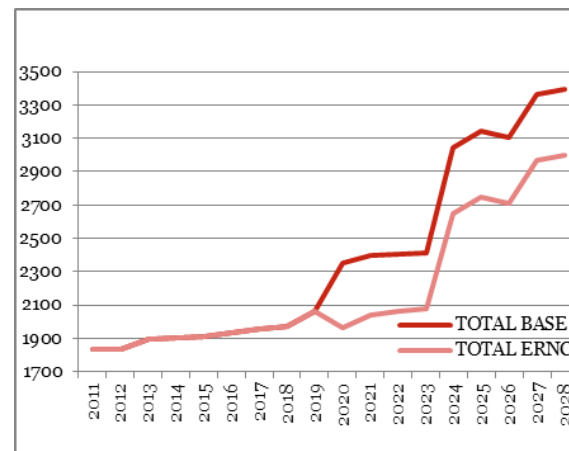
## Resultados – Externalidades

### Emisiones de contaminantes locales (PM 2,5)

SIC – Emisiones locales de PM 2,5  
período 2011-2028 (toneladas)



SING – Emisiones locales de PM 2,5  
período 2011-2028 (toneladas)



*En el escenario **Base** se emite **15% más** de PM2.5 que en el escenario **ERNC** para el periodo 2020-2028 en promedio estimado a nivel país.*

*A nivel nacional, y en términos acumulativos hasta 2028, el escenario **ERNC** permite mitigar cerca de **9.000 toneladas de emisiones PM2.5**.*

## ***Resultados – Externalidades***

### ***Caso: Impacto Económico sobre el costo en salud de una central termoeléctrica a carbón de 200 MW en Santiago (PM 2,5)***

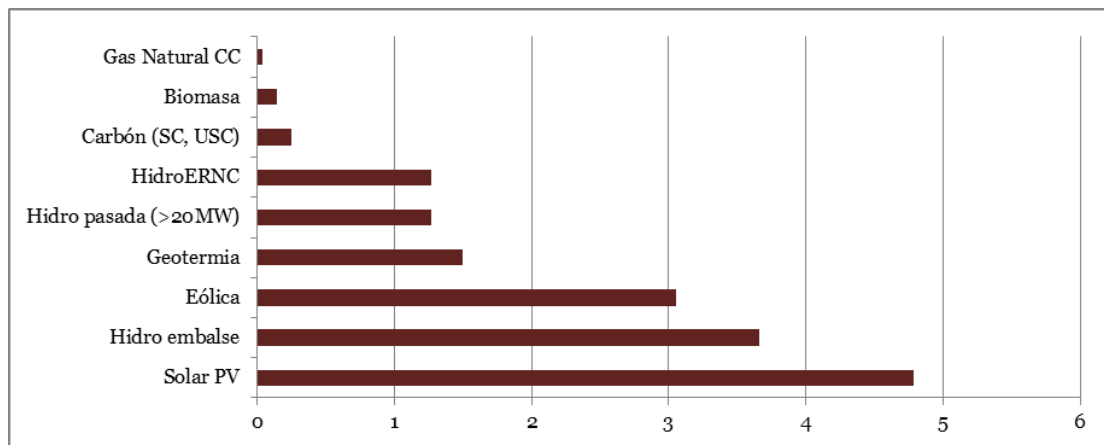
<b>Efecto</b>	<b>Número de Casos</b>	<b>Costo en Salud (US\$)</b>
Mortalidad de Largo Plazo	75	11,206,241
Bronquitis Crónica	2	342,013
Admisiones Hospitalarias	102	318,634
Sala de Urgencia (Asma)	76	3,987
Bronquitis Aguda	697	71,221
Días de Actividad Restringida Menores	90,724	8,013,333
Días de trabajo pérdidas	9,842	328,564

Fuente: Método Función de daño basado en datos de informes Nacionales, parámetros del Ministerio de Desarrollo Social (capital humano, costos muerte prematura); y Clrec y Díaz para el BID (2013)

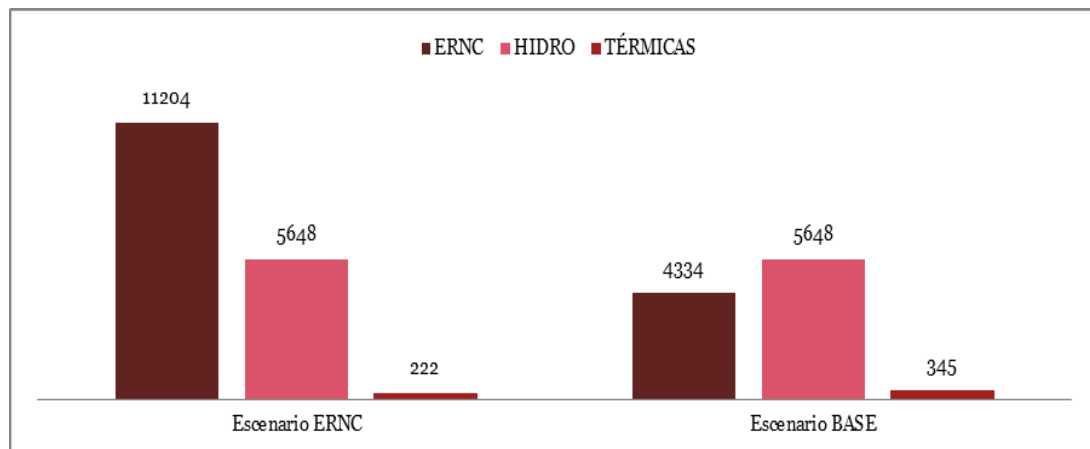
El funcionamiento de esta central significaría una externalidad que representa un costo total anual de aproximadamente **US\$20 millones** adicionales asociados a impactos en salud. Este valor es equivalente a **14,5 US\$/MWh**.

## Resultados – Uso de Suelo

### Superficie de planta requerida por tecnología (Ha/MW)



*La superficie total del escenario ERNC es **6.747 Ha** mayor que el escenario base esto es equivalente a **0,02% del territorio continental Chileno** / **0,1% de la RM** / el **doble de Lago Rapel**.*



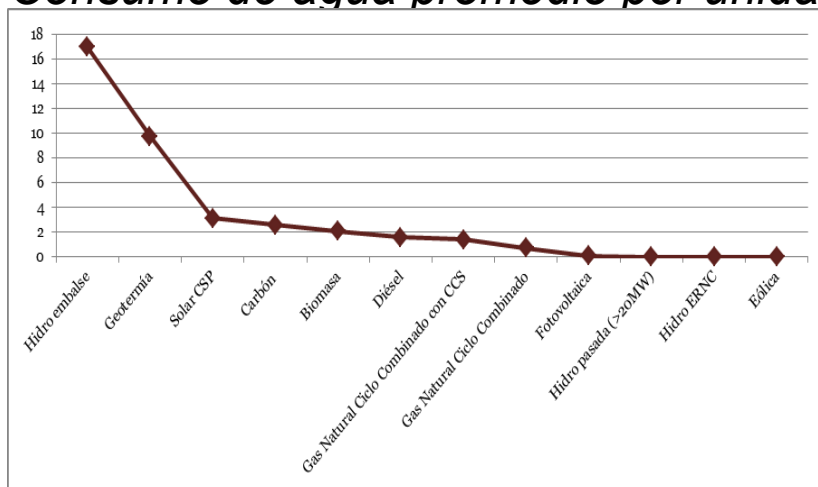
Fuente: basado en datos de proyectos en SEIA, fases de construcción y operación.

Beneficios Económicos para Chile de las Energías Renovables No-Convencionales  
PwC Chile

septiembre 2013  
Slide 22

## Resultados – Consumo de Agua

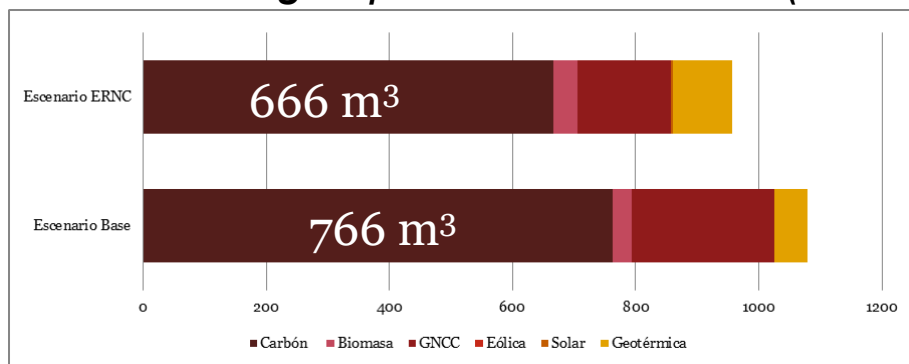
Consumo de agua promedio por unidad de energía generada (m<sup>3</sup>/MWh)



Fuente: basado en National Renewable Energy Laboratory (2011)

- ✓ En el Escenario ERNC, se genera un ahorro del 11% en el consumo de agua comparación al Escenario Base. Esto equivale a **120 millones de m<sup>3</sup>** de agua acumulado en el horizonte evaluado por el estudio.

Consumo de agua período 2013-2018 (millones de m<sup>3</sup>)



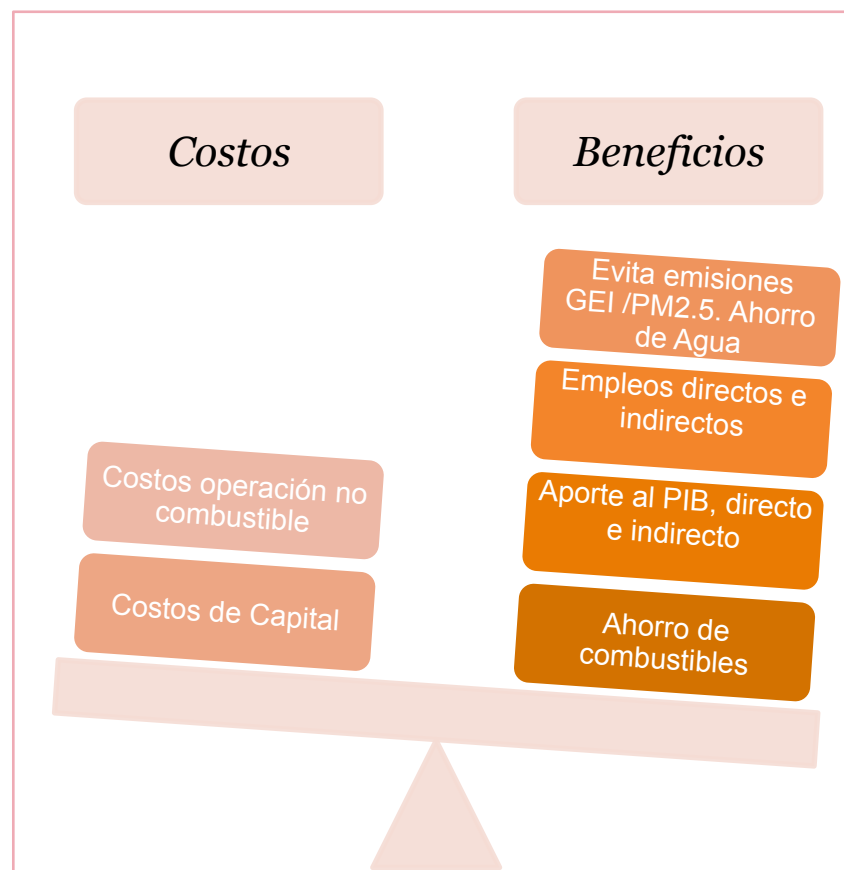
- ✓ Equivale al consumo de **60.000 personas durante un año.**

## Resultados – Resumen de los costos/beneficios

El escenario ERNC, con la suma de todos impactos valorizados representa un beneficio neto para la economía del país **1.600 MMUS\$**. (tasa descuento 10%)

### COSTOS Y BENEFICIOS Escenario ERNC vs. Base

Indicador	País	Unidad
VP Costos de Capital	-2.874	MMUS\$
VP Costo de Combustible	2.031	MMUS\$
VP Costos Operacionales no comb.	-76	MMUS\$
<b>Total Costos directo</b>	<b>-919</b>	<b>MMUS\$</b>
VP Aporte directo al PIB	1.503	MMUS\$
VP Aporte indirecto al PIB	744	MMUS\$
<b>VP Aporte Total al PIB</b>	<b>2.246</b>	<b>MMUS\$</b>
<b>Emisiones GEI (CO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>272</b>	<b>MMUS\$</b>
<b>Beneficios totales valorizados</b>	<b>1.600</b>	<b>MMUS\$</b>
Beneficios Adicionales	País	Unidad
Empleos Directos	3.444	N° de Empleos
Empleos Indirectos	4.325	N° de Empleos
<b>Empleos Totales</b>	<b>7.769</b>	<b>N° Empleos</b>
<b>Emisiones Locales (PM<sub>2,5</sub>)</b>	<b>8.952</b>	<b>t PM<sub>2,5</sub></b>





# *Conclusiones*

# 3

## Conclusiones

- ❑ El escenario de mayor penetración de ERNC representa un beneficio neto de **US\$ 1,6 mil millones** para el período 2013-2028, considerando sólo aquellos impactos que fueron valorizados monetariamente.
- ❑ Los costos directos del sistema aumentan en el Escenario ERNC en **US\$ 919 millones**. Sin embargo, bajo los escenarios de sensibilización una mayor penetración de ERNC puede generar un beneficio neto de **US\$ 251 millones** y si además este ejercicio se realiza a la tasa de descuento social de 6% el beneficio aumenta a **US\$ 345 millones**.
- ❑ La valorización de los costos o beneficios netos dentro de un horizonte de largo plazo, es función en gran medida **de la decisión política** que determina la tasa de descuento seleccionada.
- ❑ El Escenario ERNC genera mas empleo que el Escenario Base: **3.444 empleos directos** adicionales y **4.325 empleos indirectos** adicionales, para dar un total de **7,769 empleos adicionales**.
- ❑ El Escenario ERNC, en comparación con el Escenario Base, genera un aporte adicional al producto interno Bruto (PIB) de mas de **US\$ 2,3 mil millones**, entre impactos macroeconómicos directos e indirectos.

## Conclusiones

- ❑ El desarrollo de las ERNC tiene la capacidad de activar un mayor número de encadenamientos con otras actividades económicas del país en comparación con el desarrollo de fuentes térmicas convencionales.
- ❑ El Escenario ERNC permite mitigar cerca de **9 mil toneladas de emisiones de PM 2,5**. En el caso hipotético evaluado (termoeléctrica a carbón de 200 MW en Santiago) esto acarrea costos en salud del orden de US\$ 20 millones anuales, equivalente a 14,5 US \$/MWh.
- ❑ El escenario ERNC evita la emisión de **83 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente** para el período 2011-2028. Esto representa un beneficio neto a la sociedad y el clima que equivale a **US\$ 272 millones**.
- ❑ El ejercicio realizado en el presente estudio debe interpretarse como un “piso”, o valor de mínimo estimado, para el beneficio social neto asociado al escenario de mayor penetración ERNC.
- ❑ Con base a la información disponible, bajo una mirada sistémica y de país, los resultados de nuestras estimaciones nos permiten concluir con alto grado de robustez que el Escenario ERNC examinado para Chile ofrece beneficios netos al país.

---

## ***Recomendaciones***

- En ejercicios futuros, sincerar los costos de capital de las ERNC y los combustibles, para que sean acordes con las expectativas del mercado.
- Profundizar aún mas en desagregar el sector generación de la matriz insumo producto, en las principales fuentes de generación (ej. abrir el sector hidroeléctrico y termoeléctrico).
- Ampliar la evaluación de las externalidades, en particular el impacto de las emisiones de contaminantes locales (PM2.5, NOx, SOx, etc) en distintas zonas del país y por fuentes de generación.
- Con las ERNC Chile gana en independencia energética ¿cuánto vale este beneficio en seguridad de suministro? Estudios futuros podrían valorar esta reducción de riesgo.

# *Gracias...*

## **Mathieu Vallart**

Partner - Sustainability & Climate Change

[mathieu.vallat@cl.pwc.com](mailto:mathieu.vallat@cl.pwc.com)

+56 2 940 0401

## **Daniela Álvarez**

Manager - Sustainability & Climate Change

[daniela.a.alvarez@cl.pwc.com](mailto:daniela.a.alvarez@cl.pwc.com)

+56 2 940 0186

## **Joerg Haeusgen**

Manager - Sustainability & Climate Change

[joerg.haeusgen@cl.pwc.com](mailto:joerg.haeusgen@cl.pwc.com)

+56 2 940 0210