PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Matriz Eléctrica de Largo Plazo

## *Antecedentes para un Debate*

Gobierno de Chile

Laurence Golborne R.
Ministro de Energía

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Contenidos

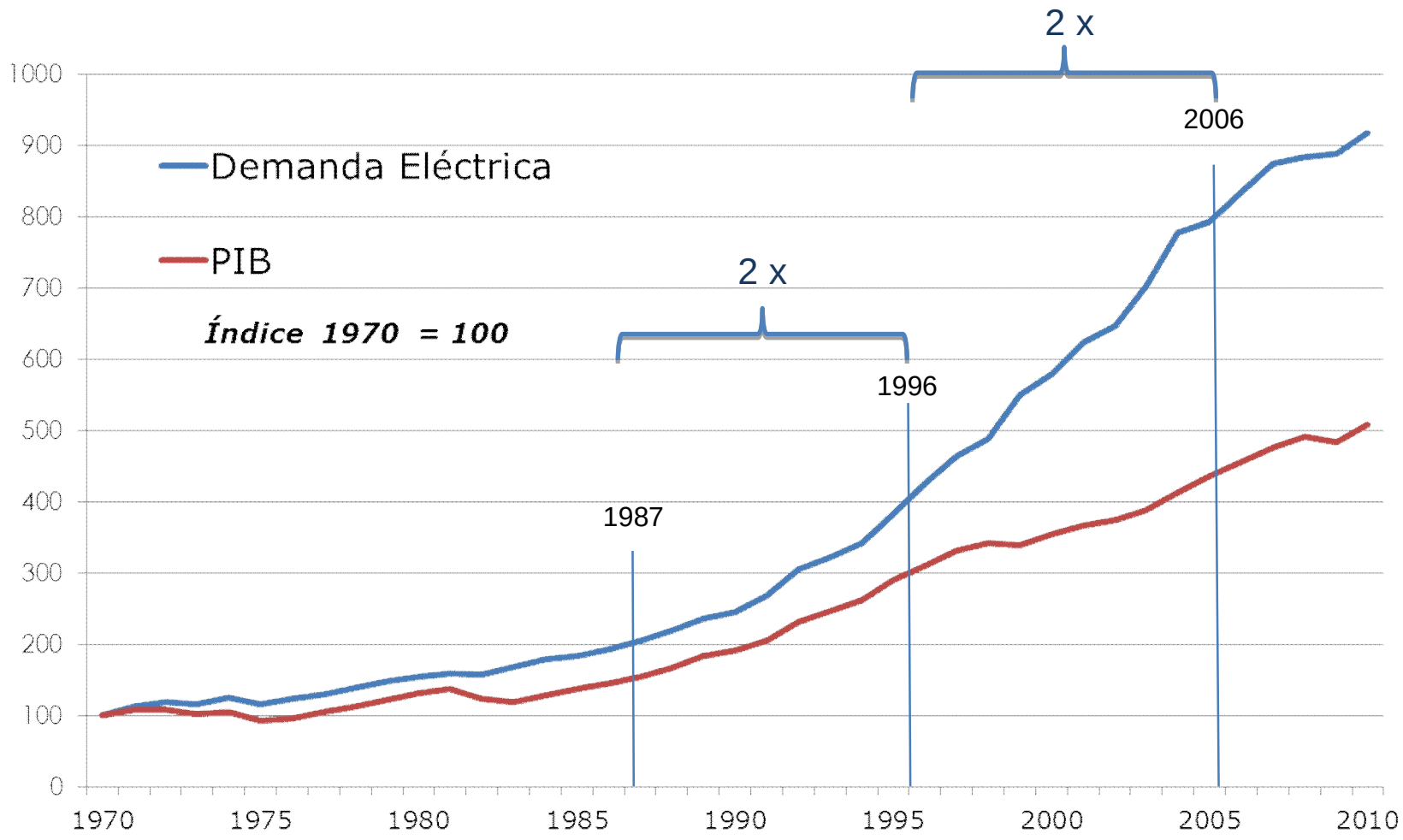
- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Contenidos

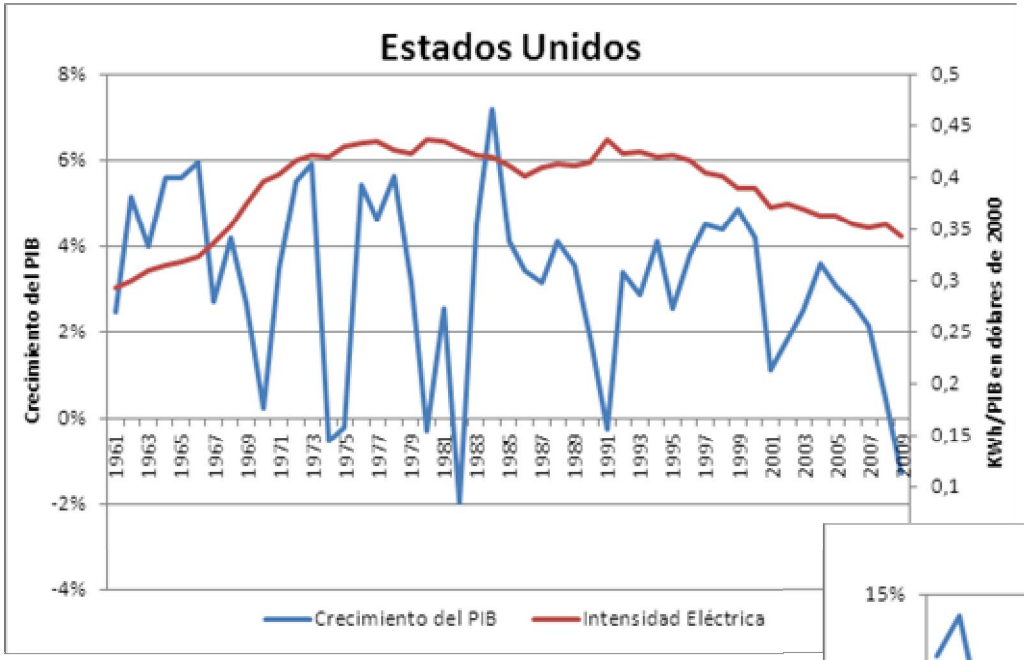
- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

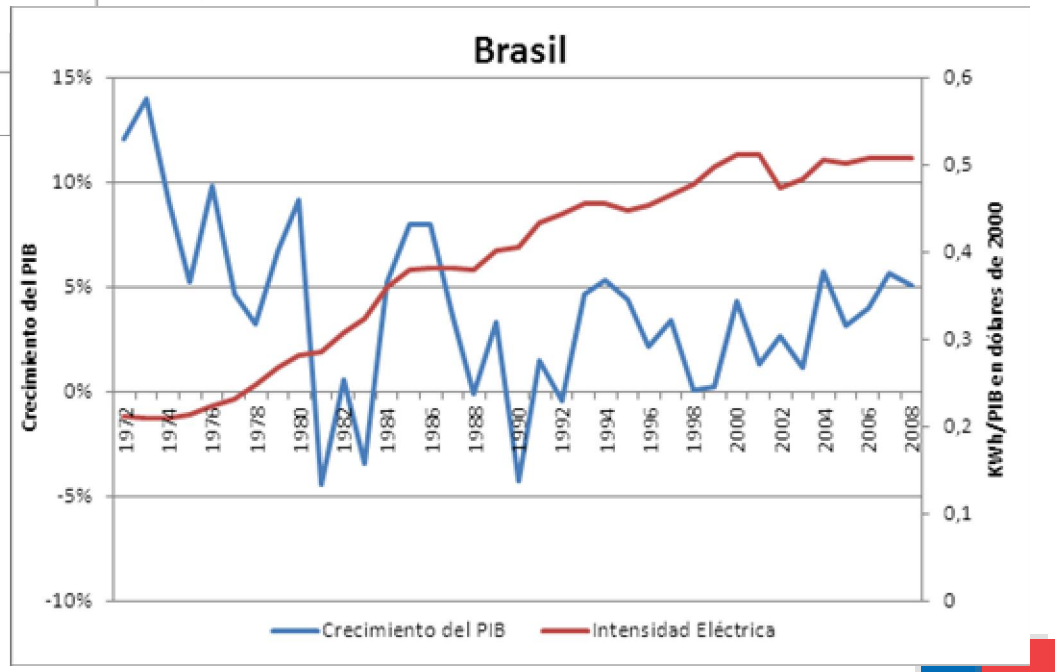
# Demanda Eléctrica & PIB 1970 – 2010




Fuente: AIE & Ministerio de Energía (Balance de Energía)
Notas: Demanda eléctrica total anual y producto interno bruto real anual.
Líneas verticales indican duplicación de demanda eléctrica.

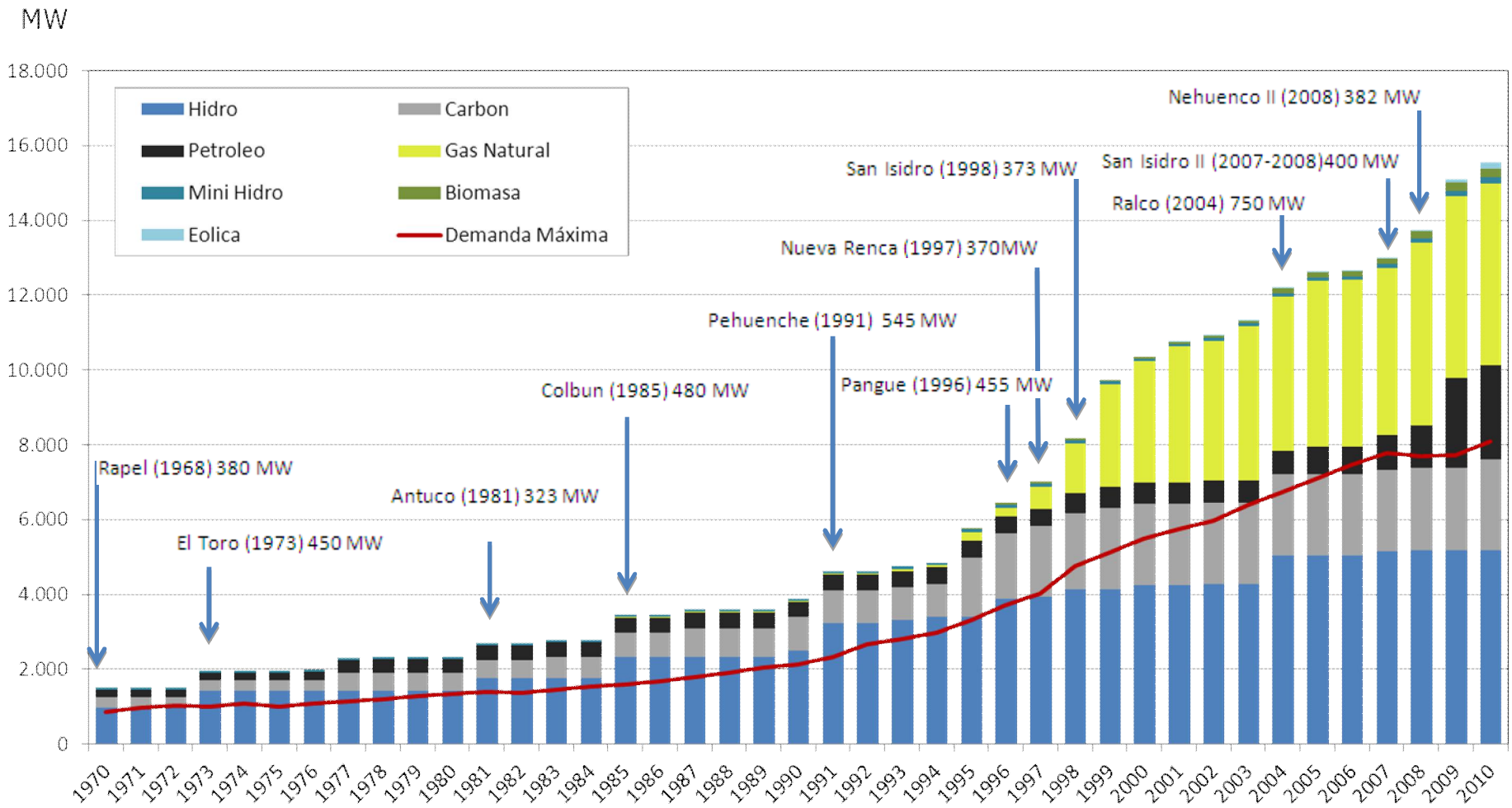
# Intensidad Eléctrica y Desarrollo



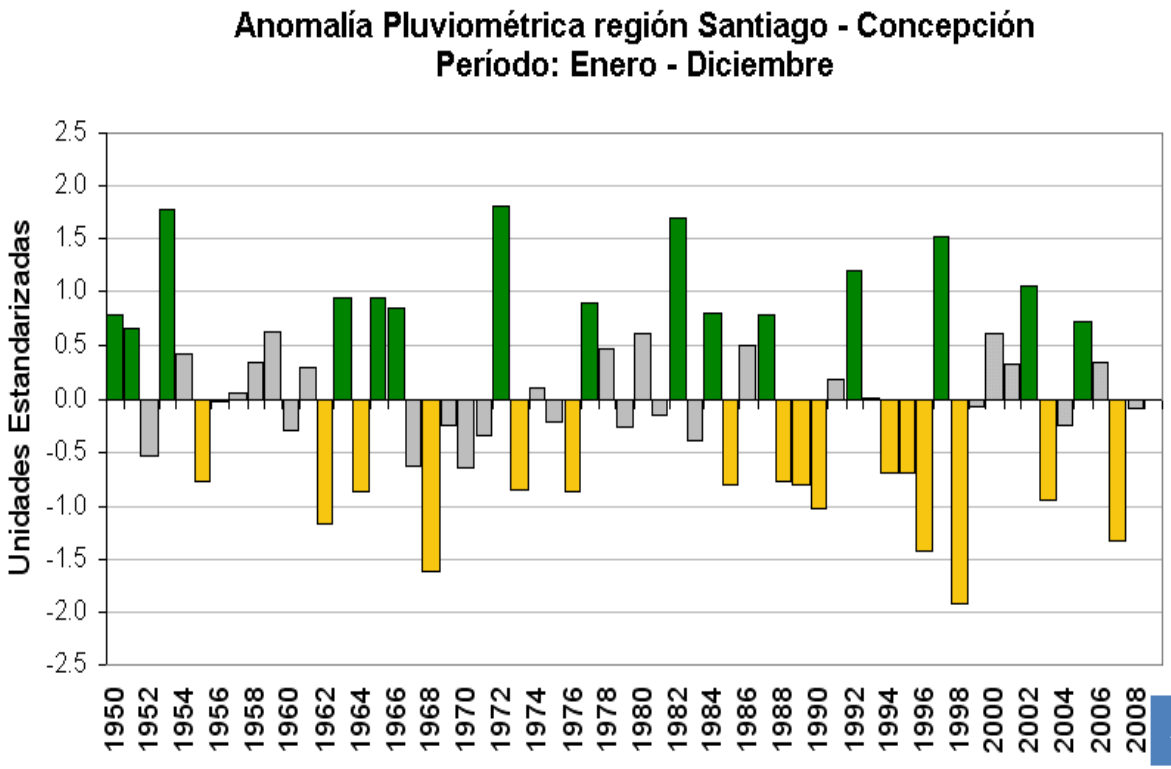

Fuente: AIE

# Capacidad Instalada 1970 - 2010




Fuente: Comisión Nacional de Energía

# La Necesidad de Respaldo
## Variabilidad Hídrica



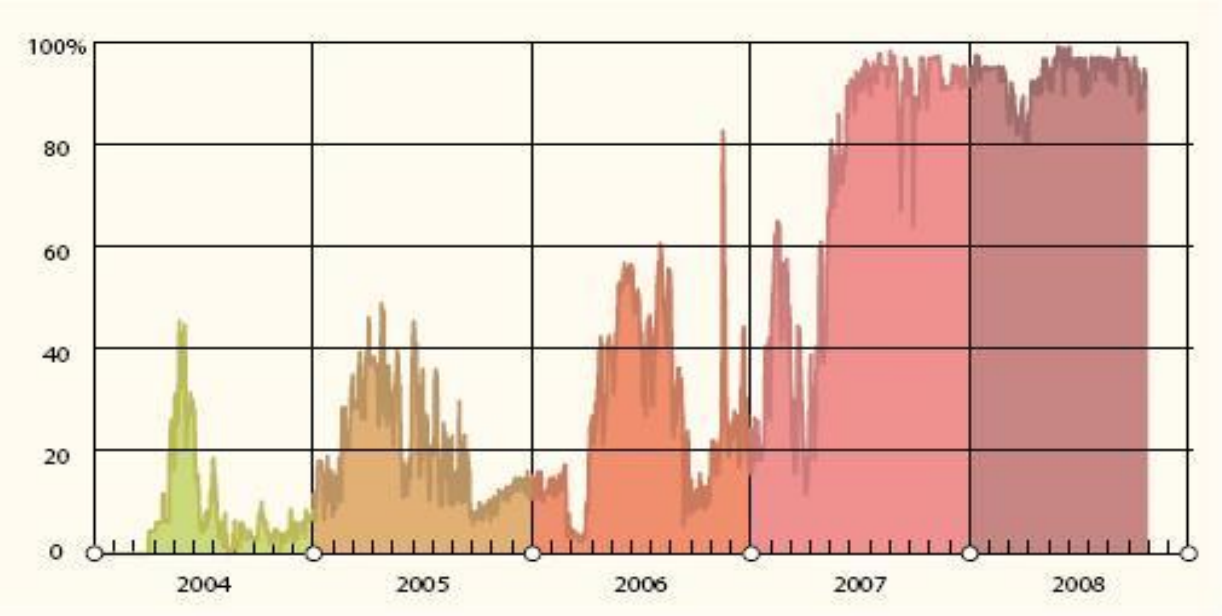

Impacto de pluviometría ...ejemplos (SIC)

| Año | 1997 | 1999 | 2006 |
|---|---|---|---|
| Capacidad Hídrica | 67% | 61% | 56% |
| Generación Hídrica | 76% | 48% | 70% |

Fuente: Comisión Nacional Energía

# La Necesidad de Respaldo
## Otras Contingencias (ejemplo: 2008)

Restricciones de gas natural



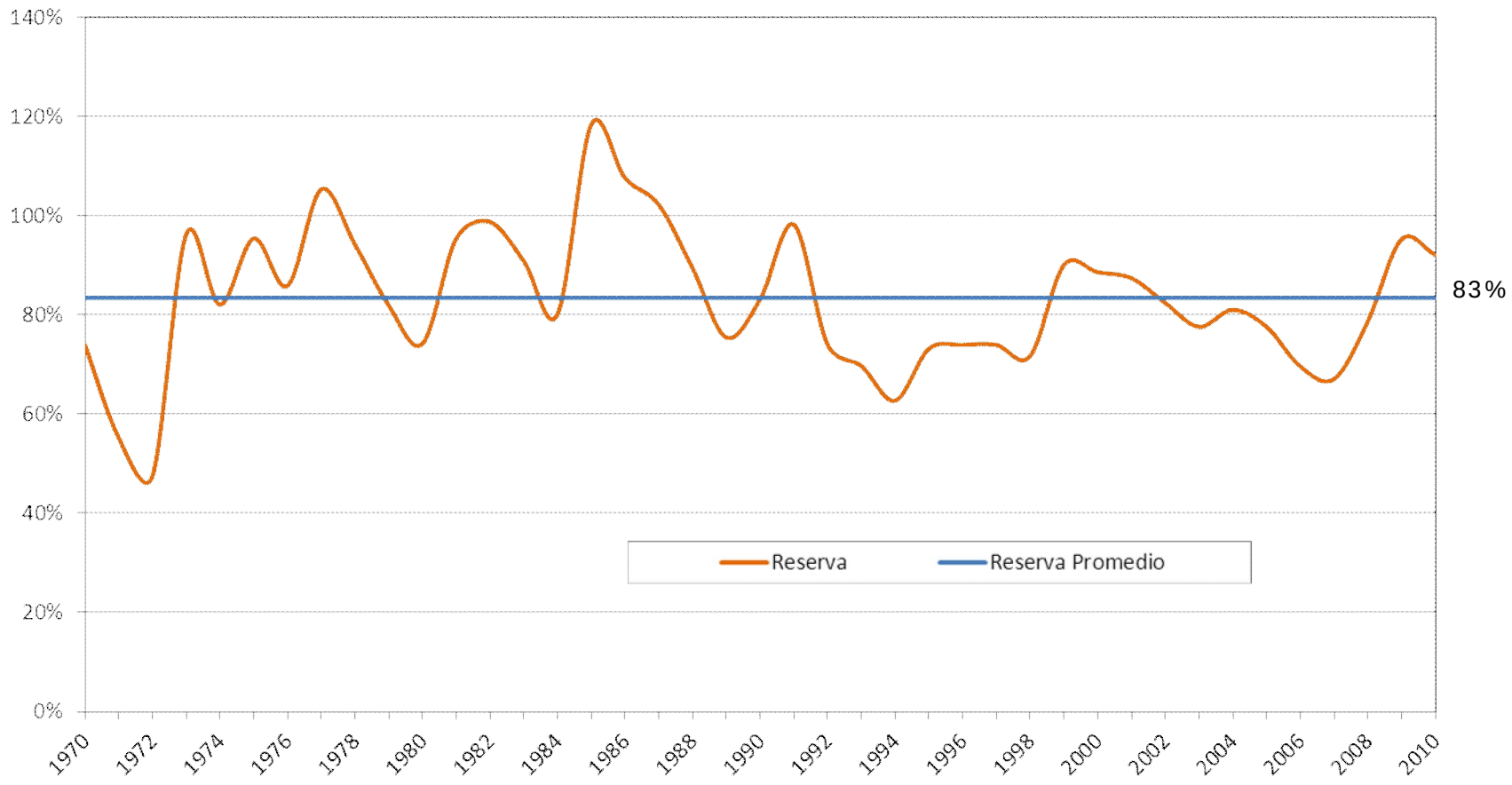

Fallas

- Nehuenco (370 MW 11 meses) } SIC
- Unidad U-16 ELECTROANDINA (400 MW 2 meses)
- CC2 GASATACAMA (385 MW 12 meses parcialmente)

} SING

Fuentes: CNE & Ministerio de Energía

# Es necesario un margen de reserva…




Margen de reserva: *porcentaje en el cual la capacidad de un sistema excede su demanda máxima*

# Evolución de Matriz Eléctrica en Países Seleccionados: 1988-2008

| en % | 1988 | | | | | | | | 2008 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Termo | | | | Hidro | ERNCsh | Nuclear | | Termo | | | | Hidro | ERNCsh | | | | Nuclear | |
| | Total | *Car* | *Ptl* | *Gas* | | Total | | Margen Reserva | Total | *Ca* | *Ptl* | *Gas* | | Total | *BM* | *Eo* | *Geo-Sol-Mar* | | Margen Reserva |
| OCDE Total | 62 | | | | 23 | 0 | 15 | | 64 | 26 | 9 | 29 | 17 | 6,4 | 1,6 | 3,8 | 1 | 13 | |
| Estados Unidos | 73 | | | | 13 | 0 | 14 | 28 | 76 | 31 | 6 | 39 | 10 | 4 | 1 | 2 | 0 | 10 | 34 |
| Nueva Zelanda | 35 | 44 | 8 | 21 | 63 | 2 | 0 | 29 | [illegible] | 12 | 2 | 18 | [illegible] | 10,9 | 1,2 | [illegible] | 6,2 | 0 | [illegible] |
| Portugal | 52 | 31 | 3 | 41 | 47 | 0,1 | 0 | 61 | 49 | 14 | 19 | 17 | 32 | 18,5 | 0,2 | 18 | 0,2 | 0 | 76 |
| América Latina | 34 | 16 | 36 | 0 | 63 | 2 | 1 | | 35 | 3 | 14 | 18 | 62 | 2,5 | 2,1 | 0,4 | 0 | 1 | |
| Brasil | 9 | 7 | 1 | 1 | 85 | 4 | 1 | 62 | 15 | 5 | 5 | 5 | 76 | 7 | 7 | 0 | 0 | 2 | 56 |
| Argentina | 56 | 4 | 54 | 10 | 38 | 0,1 | 6 | 115 | [illegible] | 18 | 6 | 41 | [illegible] | 0,6 | 0,6 | 0 | 0 | 3 | 62 |
| Chile | 33 | 24 | 2 | 4 | 67 | 0 | 0 | 31 | 60 | 22 | 8 | 30 | 38 | 2,1 | 2 | 0,1 | 0 | 0 | 79 |

Fuente: AIE & OLADE
Abreviaciones: ERNCsh (Energías Renovables No Convencionales, exeptuando hidro)
Car (Carbón), Ptl (Petróleo), BM (Biomasa), Eo (Eólica), Geo (Geotermia), Sol (Solar), Mar (Marina)
Nota: Los países europeos además poseen un grado importante de interconexión.

# Evolución de la Generación Eléctrica en Países Seleccionados: 1988-2008

| *en %* | 1988 | | | | | | | 2008 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Termo | | | | Hidro | ERNCsh | Nuclear | Termo | | | | Hidro | ERNCsh | | | | Nuclear |
| | Total | *Car* | *Ptl* | *Gas* | | Total | | Total | *Ca* | *Ptl* | *Gas* | | Total | *BM* | *Eo* | *Geo-Sol-Mar* | |
| OCDE Total | 59,4 | 41,9 | 9,1 | 8,4 | 17,1 | 0,8 | 22,7 | 61,7 | 36 | 3,5 | 22 | 12,9 | 4,3 | 2,1 | 1,7 | 0,5 | 21,1 |
| Estados Unidos | 72,3 | 57,3 | 5,5 | 9,4 | 7,8 | 0,4 | 19,4 | 71 | 49 | 1,3 | 20,8 | 6,5 | 3,4 | 1,7 | 1,3 | 0,4 | 19,2 |
| Nueva Zelanda | 17,0 | 1,7 | 0,0 | 15,2 | 77,5 | 5,5 | 0,0 | 35,6 | 11 | 0,4 | 24,3 | 51 | 13,3 | 1,3 | 2,4 | 9,6 | 0 |
| Portugal | 42,4 | 26,8 | 15,6 | 0,0 | 54,7 | 2,9 | 0,0 | 66,4 | 24 | 9 | 33,1 | 15,9 | 17,7 | 4,7 | 13 | 0,5 | 0 |
| América Latina | 26,4 | 2,6 | 14,0 | 9,8 | 70,8 | 1,5 | 1,3 | [illegible] | 3,4 | 14,7 | 13,7 | 63 | [illegible] | 2,8 | 0,1 | 0,3 | 2 |
| Brasil | 6,2 | 2,2 | 3,5 | 0,4 | 90,5 | 2,3 | 1,0 | 13 | 3 | 4 | 6 | 80 | 4 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Argentina | 59,6 | 3,0 | 16,5 | 40,1 | 29,1 | 0,2 | 11,0 | 67,4 | 2,3 | 11,7 | 53,4 | 25,2 | 1,4 | 1,3 | 0 | 0 | 6 |
| Chile | 23,8 | 17,8 | 4,5 | 1,5 | 74,2 | 1,9 | 0,0 | 56,5 | 27 | 24,2 | 5,2 | 41,9 | 1,6 | 1,6 | 0,1 | 0 | 0 |

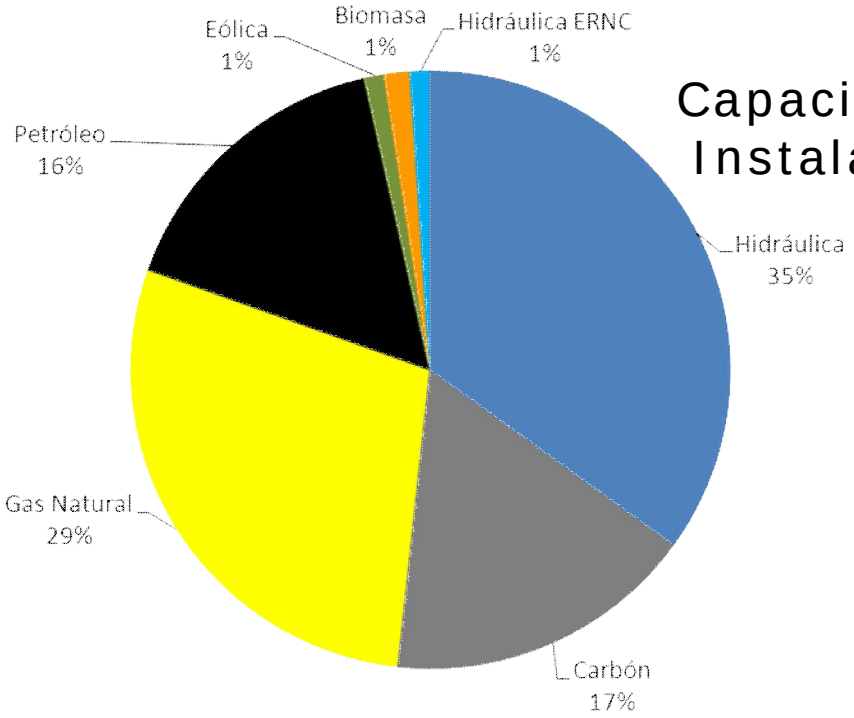
Fuente: AIE & OLADE
Abreviaciones: ERNCsh (Energías Renovables No Convencionales, exeptuando hidro)
Car (Carbón), Ptl (Petróleo), BM (Biomasa), Eo (Eólica), Geo (Geotermia), Sol (Solar), Mar (Marina)
Nota: Los países europeos además poseen un grado importante de interconexión.

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

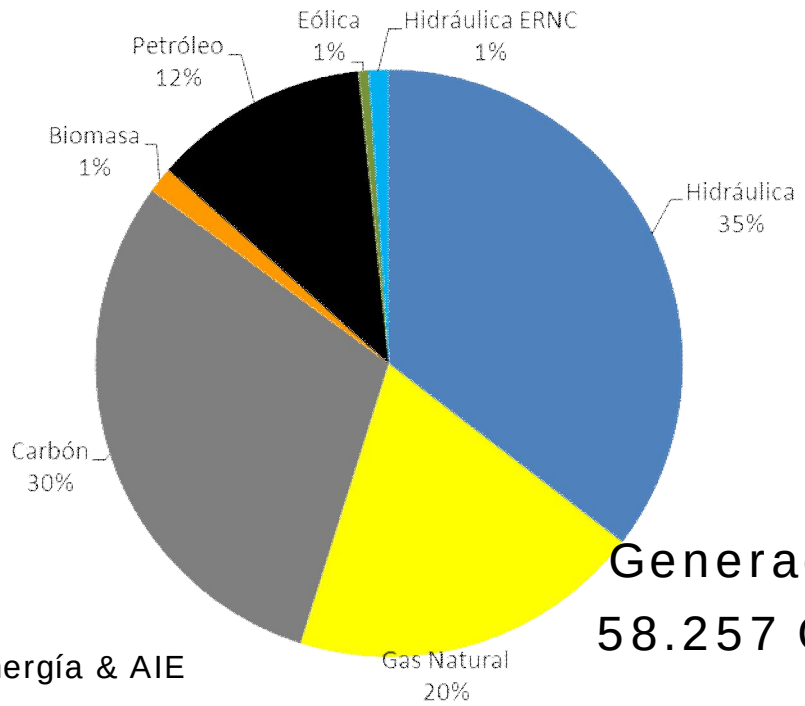
# Contenidos

- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

# Capacidad y Generación 2010: SIC&SING




Capacidad Instalada 14.878 MW

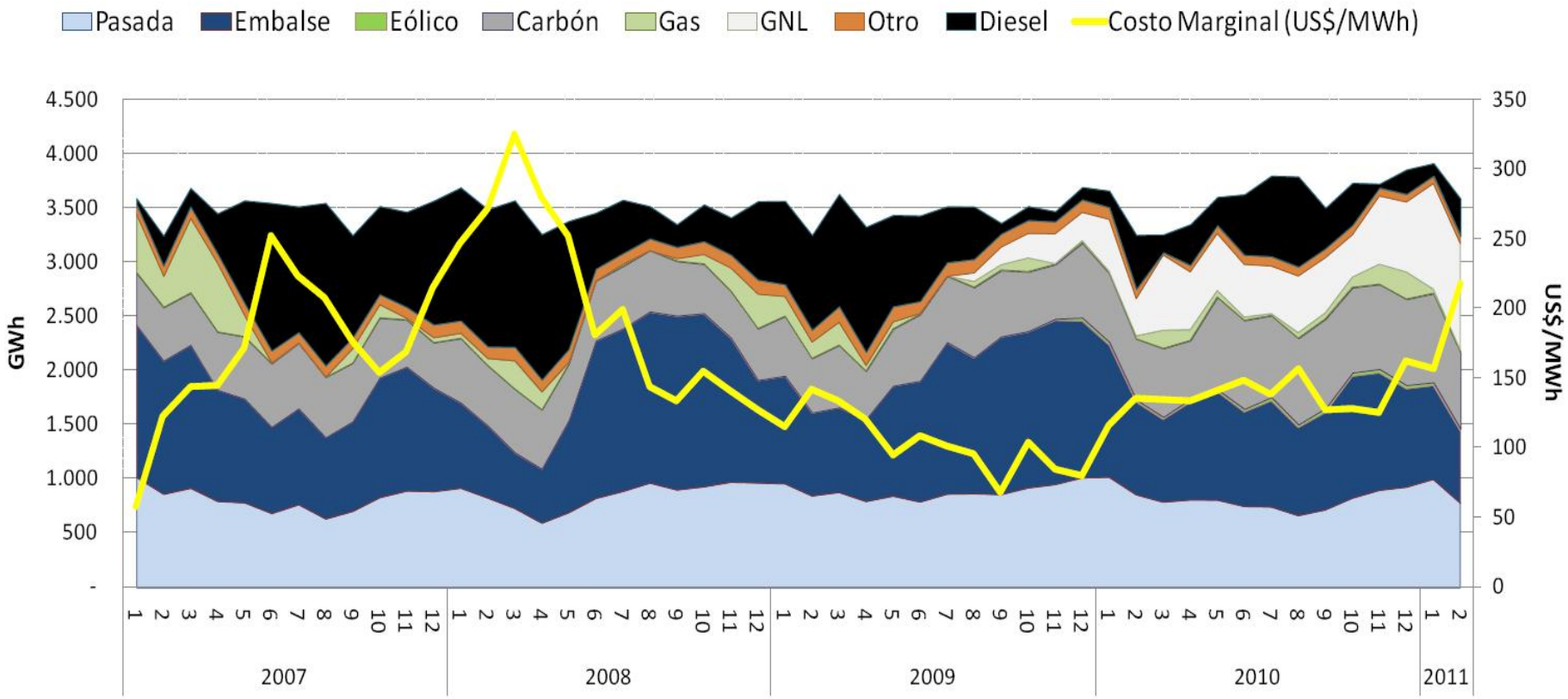



Generación 58.257 GWh

Emisiones CO2: 22 MMT
(+/- 0,2% Emisión Mundial)

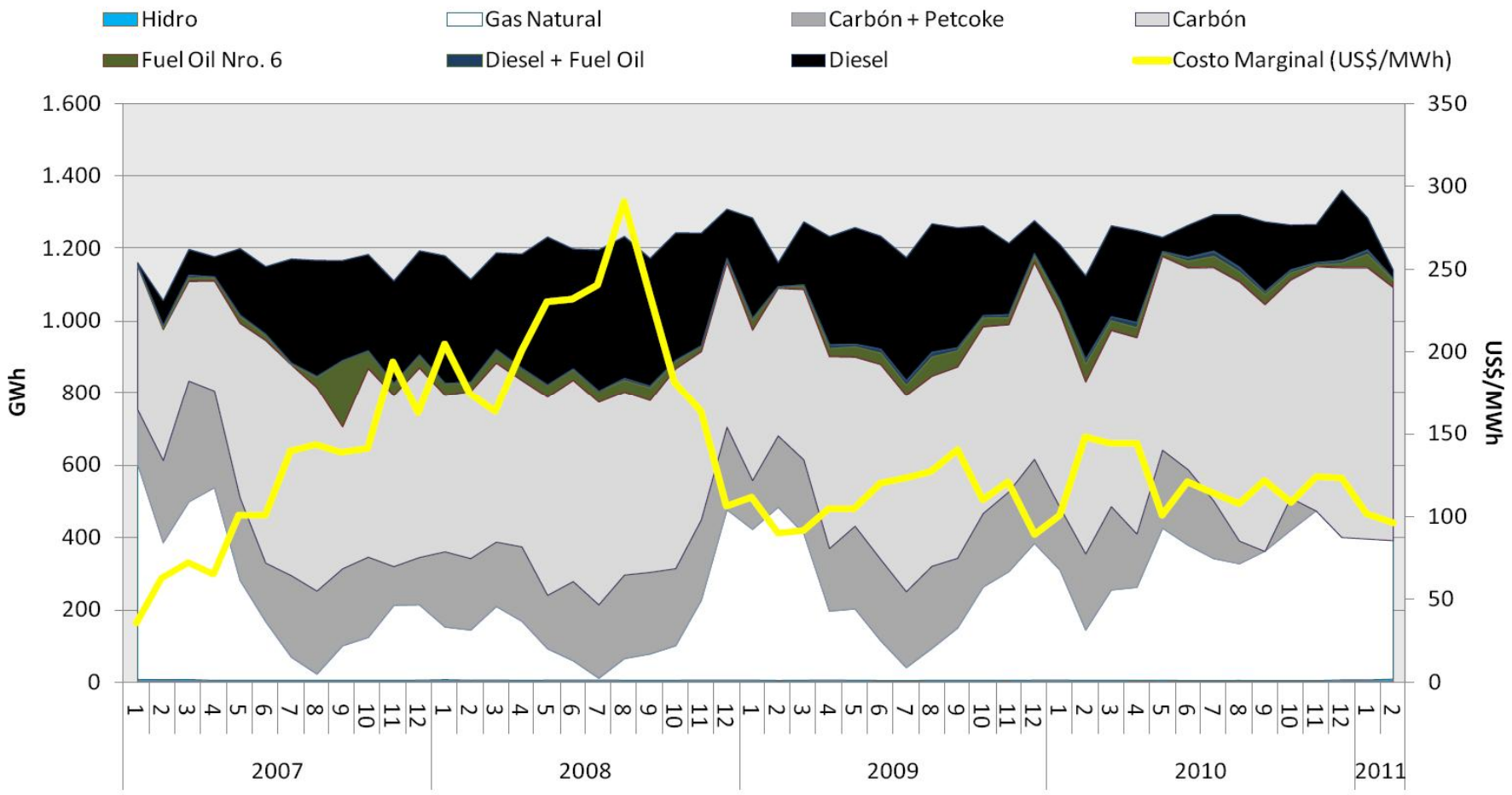
Fuentes: Comisión Nacional de Energía, Ministerio de Energía & AIE
Nota: Incluye Central Salta ( 630 MW)

# Costos Marginales de Generación SIC




Fuente: CDEC –SIC / SYSTEP

# Costos Marginales de Generación SING




Fuente: CDEC –SING / SYSTEP

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Contenidos

- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Proyecciones Capacidad al 2020
## Casos seleccionados del Mundo

| OCDE Europa | 1988 | 1998 | 2008 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Térmica | 53,9% | 54,6% | 51,7% | 44,3% |
| Nuclear | 19,5% | 19,1% | 15,6% | 10,6% |
| Hidro | 26,5% | 25,3% | 21,6% | 19,7% |
| ERNC | 0,2% | 1,0% | 11,1% | 25,4% |

| OCDE | 1988 | 1998 | 2008 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Térmica | 62,0% | 63,0% | 64,0% | 57,0% |
| Nuclear | 15,0% | 15,0% | 13,0% | 11,0% |
| Hidro | 22,0% | 21,0% | 17,0% | 16,0% |
| ERNC | 0,0% | 1,0% | 6,0% | 16,0% |

| Mundo | 1988 | 1998 | 2008 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Térmica | 64,9% | 66,7% | 67,5% | 63,6% |
| Nuclear | 12,1% | 11,2% | 8,3% | 7,2% |
| Hidro | 22,6% | 20,8% | 20,0% | 18,6% |
| ERNC | 0,4% | 1,4% | 4,2% | 10,6% |

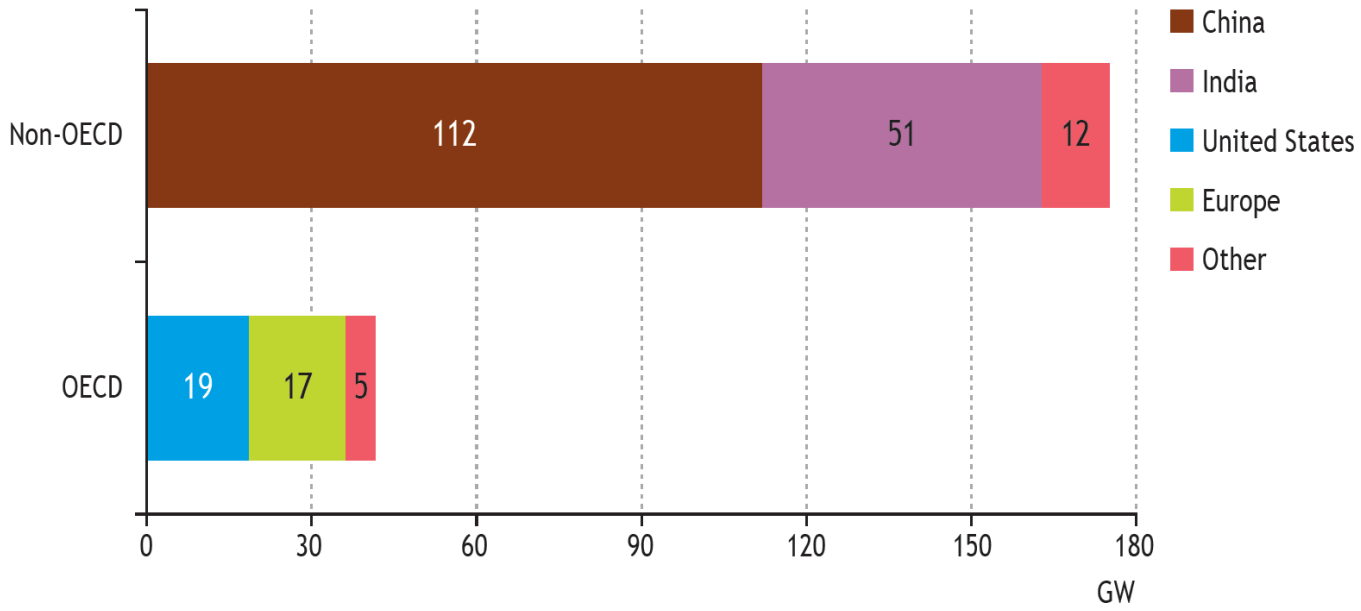
| Latinoamérica | 1988 | 1998 | 2008 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| Térmica | 35,0% | 36,0% | 35,0% | 39,0% |
| Nuclear | 1,0% | 1,0% | 1,0% | 2,0% |
| Hidro | 62,0% | 62,0% | 61,0% | 54,0% |
| ERNC | 2,0% | 1,0% | 3,0% | 6,0% |

- Tendencia Mundial hacia ERNC fuertemente correlacionada con nivel de ingresos del país
- Interconexión de sistemas eléctricos ayuda a respaldo necesario para ERNC

Fuente: WEO 2010 (AIE)

# El carbón continúa participando del desarrollo energético

Capacidad termoeléctrica a carbón en construcción (2008)




Fuente: WEO (2009) - AIE

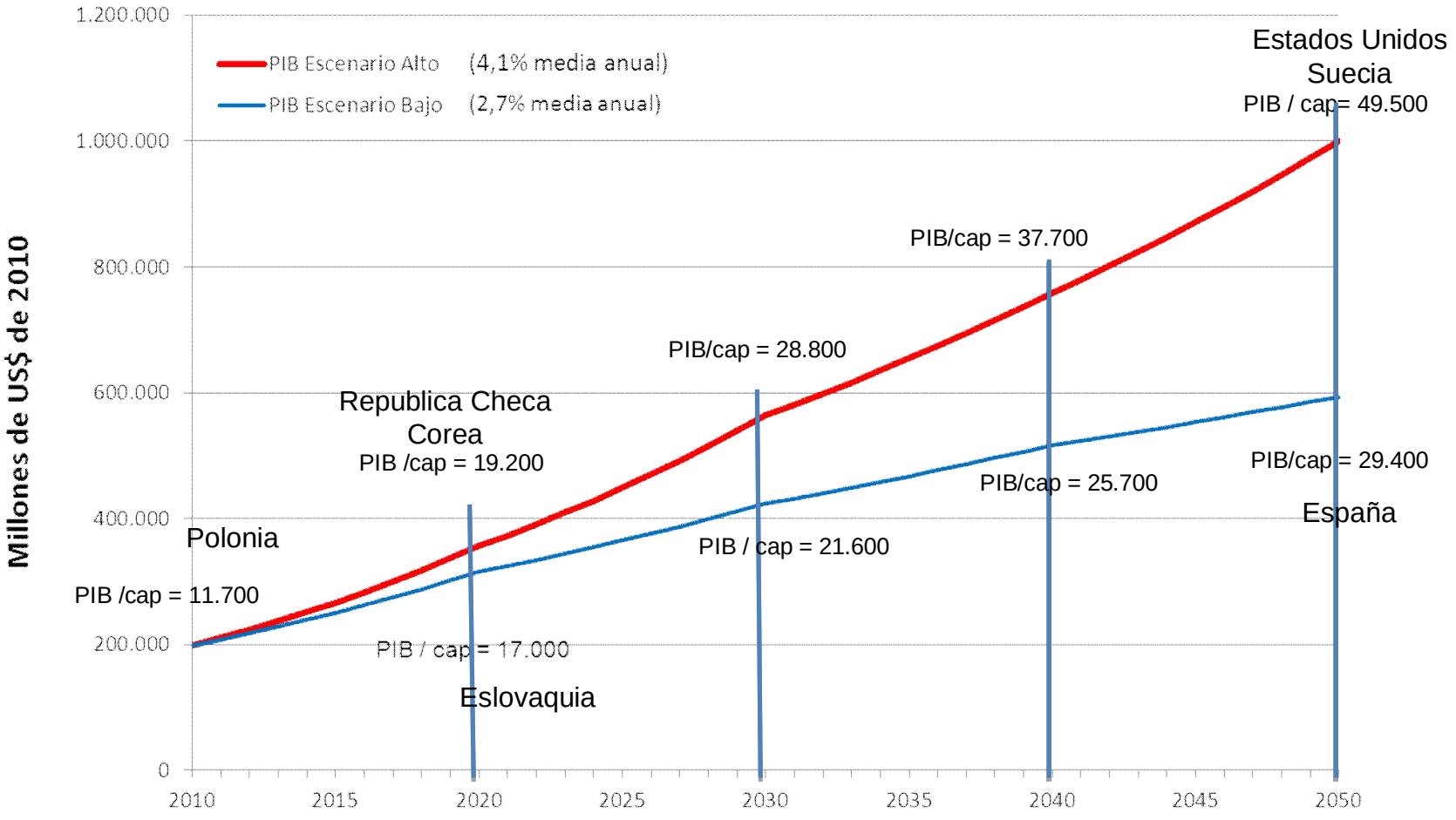
PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Proyecciones al 2020 - carbón
# Casos seleccionados del Mundo

| Capacidad Instalada | 2008 | | | 2020 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Capacidad Total | Carbón | | Capacidad Total | Carbón | |
| | GW | GW | % | GW | GW | % |
| Japón | 268 | 46 | 17 | 292 | 44 | 15 |
| EEUU | 1.062 | 334 | 31 | 1.151 | 353 | 31 |
| OCDE total | 2.546 | 655 | 26 | 2.936 | 678 | 23 |
| Unión Europea | 835 | 201 | 24 | 1.003 | 194 | 19 |
| Grecia | 14 | 5 | 36 | 20 | 7 | 34 |
| Nueva Zelanda | 9 | 1 | 11 | 10 | 1 | 5 |
| Portugal | 16 | 2 | 13 | 24 | 1 | 6 |
| Corea del Sur | 80 | 27 | 34 | 107 | 29 | 28 |
| República Checa | 18 | 10 | 56 | 20 | 9 | 45 |
| Chile | 14 | 2 | 14 | 21 | 6 | 28 |
| Polonia | 33 | 28 | 85 | 65 | 47 | 73 |
| Brasil | 106 | 2 | 2 | 152 | 7 | 5 |
| Latinoamérica | 239 | 6 | 3 | 332 | 15 | 5 |
| Europa del Este | 415 | 109 | 26 | 474 | 110 | 23 |
| Rusia | 229 | 52 | 23 | 267 | 56 | 21 |
| China | 780 | 563 | 72 | 1.601 | 1.011 | 63 |
| India | 163 | 84 | 52 | 354 | 201 | 57 |

Fuente: WEO 2010 & SLT (2009) - AIE

# Proyección de crecimiento del PIB




Fuente: Elaboración Ministerio de Energía con antecedentes del Fondo Monetario Internacional (datos PIB en US$2010);

PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Proyectos en Construcción

| SIC | MW |
|---|---|
| HIDRÁULICA | 1.044 |
| Hidro - Embalse | 316 |
| Hidro - Pasada | 728 |
| TÉRMICA | 1.069 |
| Carbón | 957 |
| Diesel | 112 |
| ERNC | 117 |
| Biomasa | 97 |
| Eólico | 20 |
| subTOTAL | 2.230 |

| SING | MW |
|---|---|
| TÉRMICA | 874 |
| Carbón | 874 |
| subTOTAL | 874 |

| TOTAL | 3.104 |
|---|---|

Fuente: Comisión Nacional Energía

- 63% de los proyectos actualmente en construcción son térmicos.
- 95% de la capacidad térmica en construcción es carbón.
- Los proyectos actualmente en construcción fueron aprobados entre 1996 y el 2010

Fuente: CNE

# Regulación ambiental del desarrollo térmico

Comparación norma de emisión termoeléctrica Chile - UE

| Combustible | Tamaño MW th | $SO_2$ UE | $SO_2$ Chile | NOx UE | NOx Chile | MP UE | MP Chile |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sólidos existente | 100 - 500 * | 2000 - 400* | 400 | 600 | 500 | 100 | 50 |
| Sólidos en general nuevas | 100 - 300 | 200 | 200 | 200 | 200 | 30 | 30 |
| Biomasa nuevas | 100 - 300 | 200 | 200 | 300 | 200 | 30 | 30 |
| Líquidos existente | 300 - 500 | 1700 - 400 * | 30 | 450 | 200 | 50 | 30 |
| Líquidos nuevas | 100 - 300 | 400- 200 * | 10 | 200 | 120 | 30 | 30 |
| Combustible gaseoso Existente | 50 - 500 | 35 | n.a | 300 | 50 | 5 | n.a |
| Combustible gaseoso nuevas | >300 | 35 | n.a | 200 (120 TG) | 50 | 5 | n.a |

El desarrollo termoeléctrico chileno tiene regulaciones comprables con países desarrollados

Comparación norma de emisión termoeléctrica para Mercurio

| País | Mercurio (Hg) |
|---|---|
| Suiza | 0.2 |
| Alemania | 0.03 |
| Chile | 0.1 |

PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Disponibilidad para expansión

| | Cartera Proyectos Evaluados | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ERNC | Hídrica | Térmica | TOTAL |
| 1998 | | | 155 | 155 |
| 1999 | | | 868 | 868 |
| 2000 | | | 39 | 39 |
| 2003 | | | 8 | 8 |
| 2004 | 46 | 352 | 394 | 792 |
| 2005 | 100 | | 18 | 118 |
| 2006 | 110 | | | 110 |
| 2007 | 61 | 172 | 1.186 | 1.419 |
| 2008 | 88 | 198 | 1.084 | 1.370 |
| 2009 | 1.083 | 673 | 1.811 | 3.567 |
| 2010 | 438 | 174 | 915 | 1.527 |
| 2011 | 19 | 135 | 2.227 | 2.381 |
| *TOTAL* | *1.946* | *1.704* | *8.705* | *12.355* |
| *%* | *15,7* | *13,8* | *70,5* | *100* |
| En evaluación | 764 | 4.139 | 2.260 | 7.163 |
| TOTAL | 2.710 | 5.843 | 10.965 | 19.518 |
| *%* | *13,8* | *30* | *56,2* | *100* |

- De los proyectos ingresados al SEIA desde 1994:
  - 44% está en operación
  - 11% está en construcción
  - 45% está sin construir.
- Proyectos aprobados y sin construir suman 12.354 MW
- Proyectos en evaluación suman 7.163 MW
- No todos los proyectos serán construidos (factibilidad económica, restricciones de mercado, disponibilidad de financiamiento, líneas de transmisión…)

Fuente: Ministerio de Energía / SEIA

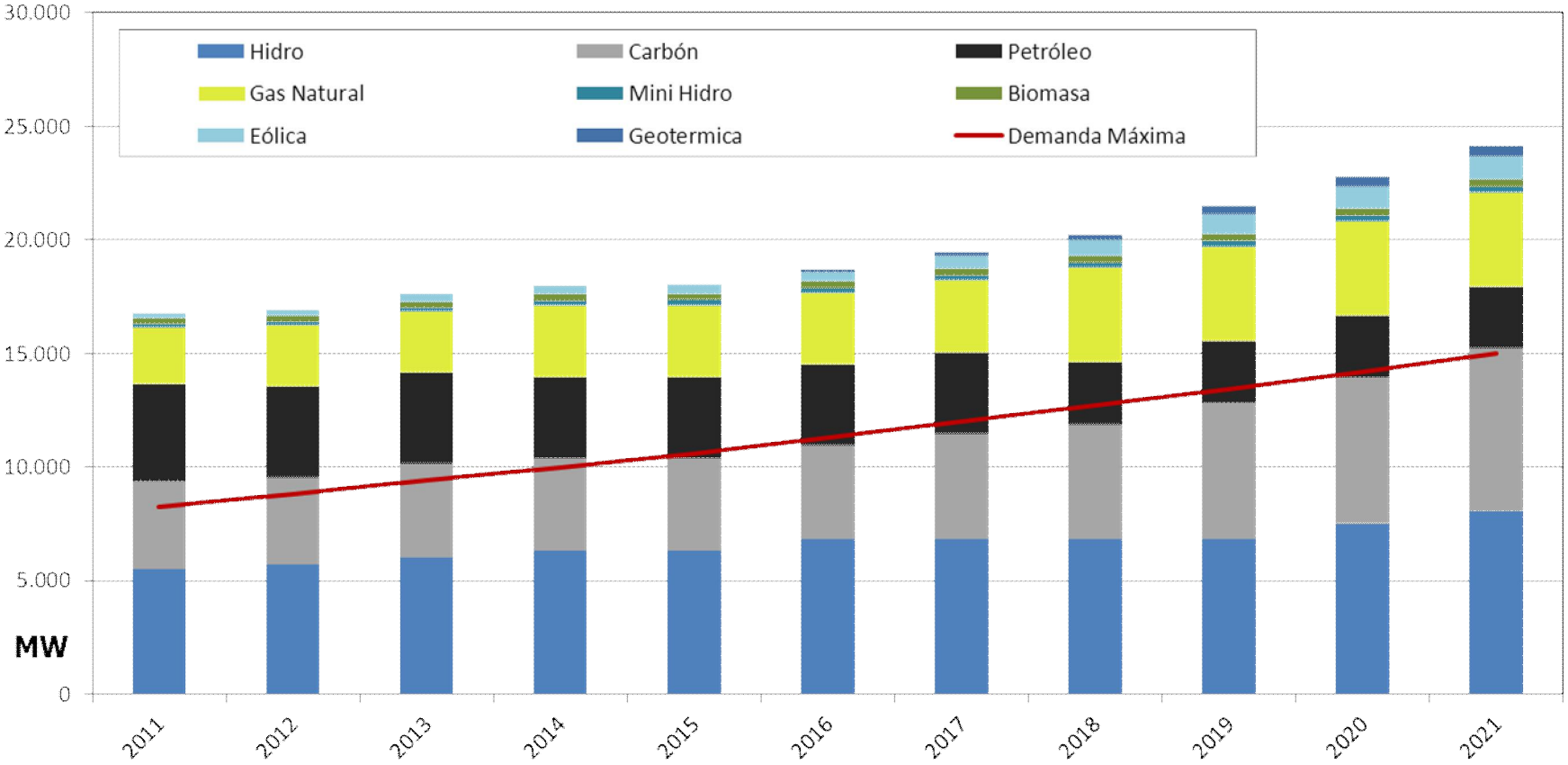
# Tiempos para preparación de proyectos

| Categoría de ingreso al SEIA | Tecnología | Combustible | Promedio de días en evaluación |
|---|---|---|---|
| DIA | ERNC | | 208 |
| | Renovable convencional | | 308 |
| | Térmica | Diesel | 158 |
| | | Gas Natural | 99 |
| | Total Térmica | | 146 |
| Total DIA | | | 194 |
| EIA | ERNC | | 346 |
| | Renovable convencional | | 480 |
| | Térmica | Carbón | 434 |
| | | Diesel | 167 |
| | | Gas Natural | 316 |
| | Total Térmica | | 368 |
| Total EIA | | | 393 |

- La evaluación ambiental de proyectos relevantes toma entre 1 y 2 años.
- Adicionalmente se requieren permisos sectoriales. Ejemplos:
  - Termoeléctricas: concesiones marítimas (hasta de 600 días)
- Hidroeléctricas: derechos de agua, permisos de obras hidráulicas (hasta 500 días)
- ERNC: concesiones geotérmicas (hasta 400 días), compra o arriendo de bienes fiscales (hasta 700 días)

Fuente: Ministerio de Energía a partir de datos del SEIA y estudios

# Proyecciones al 2020: Chile SIC&SING




Fuente: Comisión Nacional de Energía
Nota: margen de reserva al 2020: 60% (104% el 2011)

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Contenidos

- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

# Opciones Tecnológicas para 2050

| Tecnología | Tamaño Estándar (MW) | Factor de Planta Estándar | Inversión (US$/KW) | Costo Combustible (US$/Ton) o (US$/MBTU) | Costo Medio (US$/MWh) r = 10% | Tiempo Construcción (años) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TERMICAS | | | | | | |
| Carbón | 340 | 84% | 2.350 | 110 | 91 | 3,5 |
| Diesel | 80 | n/a | 450 | 702 | 245 | 1 |
| GNL – Quintero | 360 | 65% | 750 | 13 | 117 | 2 |
| HIDRO | | | | | | |
| Hidro Embalse | 500 | 60% | 2.500 | 0 | 61 | 5 |
| Hidro Pasada | 150 | 70% | 2.000 | 0 | 42 | 4 |
| ERNC | | | | | | |
| Geotermia | 40 | 90% | 4.450 | 0 | 80 | 3 |
| Biomasa | 20 | 80% | 2.500 | 0 | 93 | 2 |
| Minihidro | 20 | 65% | 2.250 | 0 | 53 | 2 |
| Eólica | 50 | 30% | 2.000 | 0 | 122 | 2 |
| Solar CSP | 50 | 45% | 5.800 | 0 | 212 | 2 |
| Solar PV | 9 | 25% | 4.450 | 0 | 297 | 2 |
| Mar - Mareomotriz | 10 | 25% | 5.200 | 0 | 320 | 2 |
| Mar- Undimotriz | 4 | 25% | 10.500 | 0 | 648 | 2 |
| NUCLEAR | | | | | | |
| Nuclear | 1.400 | 85% | 4.000 | 7,6 | 83,6 | 5-7 |

Fuente: Elaboración Ministerio de Energía, a partir de estudios varios nacionales e internacionales.
Notas: r = tasas de descuento; mareomotriz: energía de las mareas; undimotriz: energía de las olas; n/a: no aplica

Costos de proyectos ERNC, incluyen costos estandarizados exploración, evaluación de recurso y transmisión (transmisión estimada en 200 MUS$/Km distancia media de recursos: Geotermia 70Km, Eólica 40Km, Minihidro 20Km). Costos de energía de los mares estimada a partir de diseños experimentales. Proyectos geotérmicos el costo de exploración alcanza el 20% de la inversión. Costos de energía nuclear adaptados a caso chileno.

PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Algunas opciones para meta 20/20

- Alcanzar un objetivo de generación con ERNC superior a lo que establece la ley, tiene implicancias importantes.
- Ejemplos SIC de una matriz con 20% ERNC
  - si 50% fuera eólica, requiere instalar unos 3.000 MW en capacidad adicional respecto a 2010; esto podría subir el costo medio del sistema entre 15% y 20%
  - si fuera «balanceada» entre geotermia, mini-hidro, biomasa y eólica, requiere sólo instalar unos 2.200 MW adicionales y el costo medio al 2020 podría subir del orden de 10% a 15%.
- Ejemplos SING de una matriz con 20% ERNC
  - si fuera 50% eólica y 50% geotermia, requiere instalar unos 1.000 MW en capacidad adicional respecto a 2010; esto podría subir el costo medio del sistema entre 5% y 10%
  - si fuera principalmente geotérmica y solar requiere instalar también unos 1.000 MW adicionales pero el costo medio al 2020 podría subir del orden de 10% a 15%

Nota: Tiempos de desarrollo de proyecto, complican viabilidad de la meta

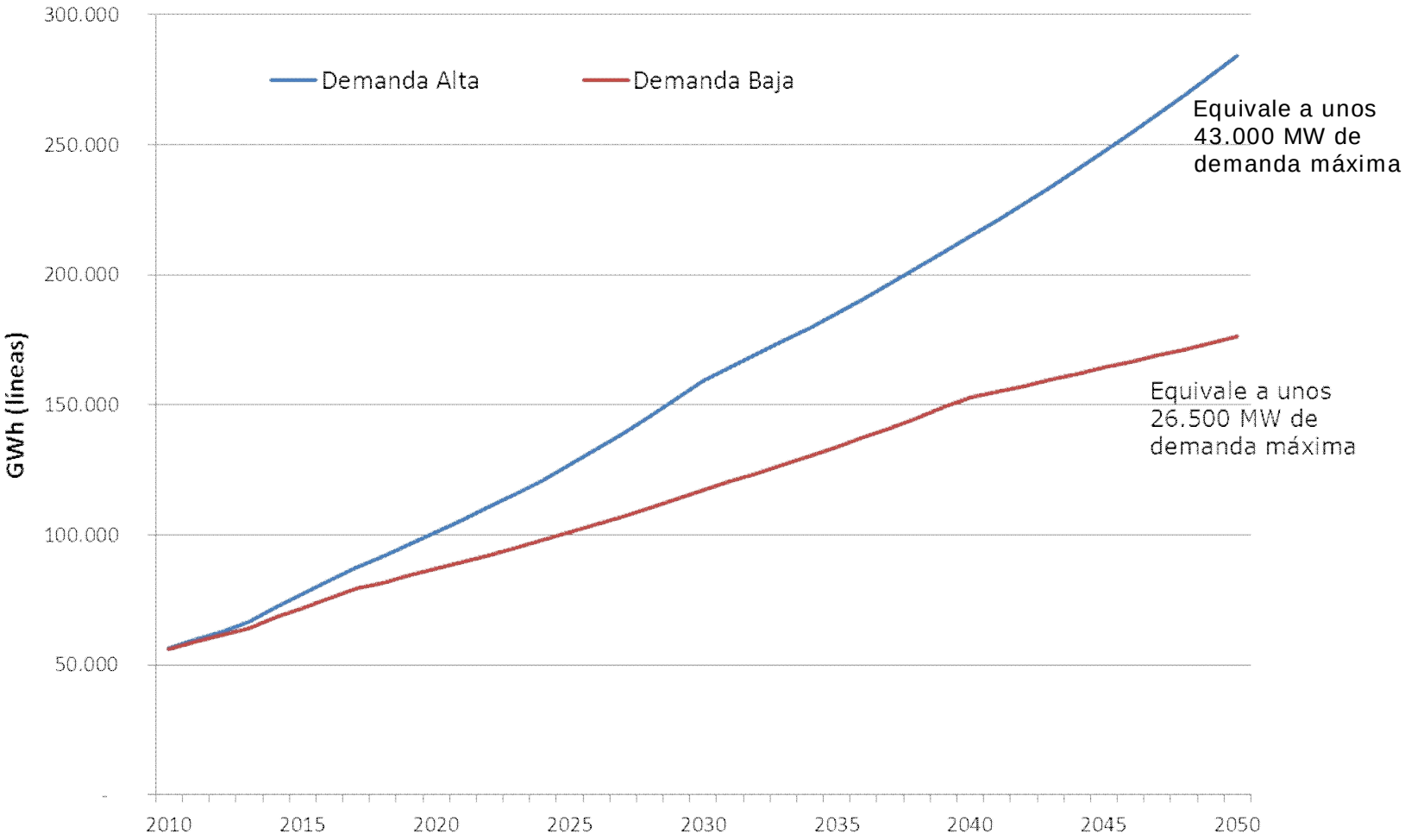
PDF-XChange Click to buy NOW! www.docu-track.com

# Potencial Estimado de Recursos

| TECNOLOGÍA | Potencial Teórico (MW) | |
|---|---|---|
| HIDRO | (a) | (b) |
| Hidroeléctrico (1) | 23.000 | 20.400 |
| ERNC | | |
| Geotermia (2) | 3.300 | 16.000 |
| Biomasa (3) | 470 | 13.700 |
| Biogás (4) | 400 | |
| Minihidro (5) | 1.400 | |
| Eólica (6) | 7.200 | 40.000 |
| Solar (7) | 228.000 | 40.000-100.000 |
| Mar- Undimotriz (8) | 240.000 | |

Fuente: Elaboración Ministerio de Energía
(1) (a) CNE/ (b) Estudio UTFSM 2008: Estimación de potenciales brutos al 2025, publicado por ACERA.
(2) (a) ENAP 2005/ (b) Estudio A Lahsen 1986
(3) (a)Estudio CNE-GTZ 2008 (Residuos de manejo forestal) / (b) Estudio UTFSM 2008: Estimación de potenciales brutos al 2025.
(4) (a) Estudio CNE-GTZ 2007
(5) (a) Estudio CNE, CNR y MEN 2007- 2010: Potencial teórico bruto en de obras de riego existentes entre Atacama y Araucanía. No considera derechos no consuntivos.
(6) (a) Elaboración Propia MINEN 2011 en base a explorador eólico solar aplicado sobre Región de Antofagasta (con 30 Ha/ MW)/ (b) Estudio UTFSM 2008: Estimación de potenciales brutos al 2025.
(7) (a) Estudio CNE 2009 Potencial en Regiones Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, (con 2 Ha/ MW)/ (b) Estudio UTFSM 2008: Estimación de potenciales brutos al 2025.
(8) (a) Estudio Garrad Hassan 2009

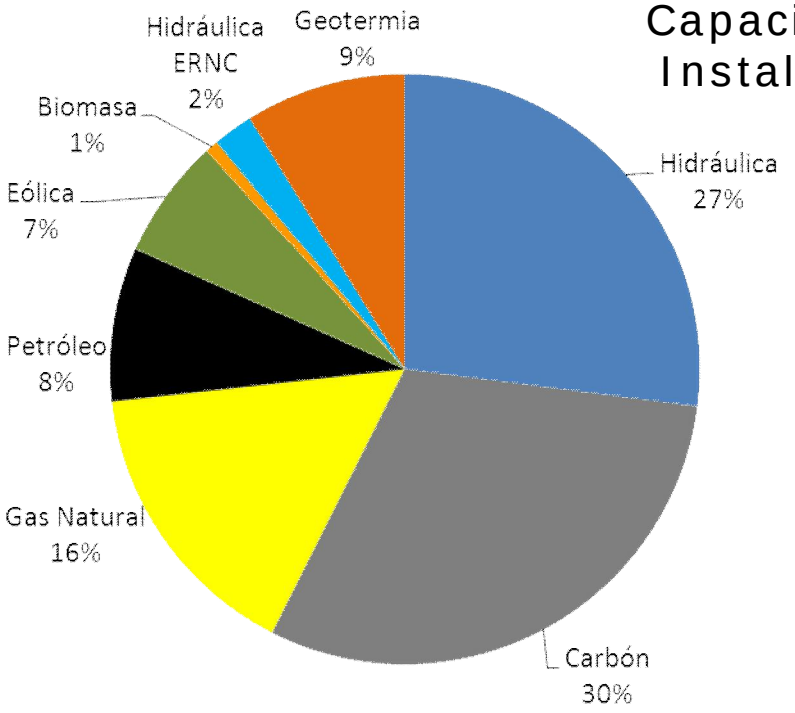
# Demanda proyectada a 2050: SIC+SING



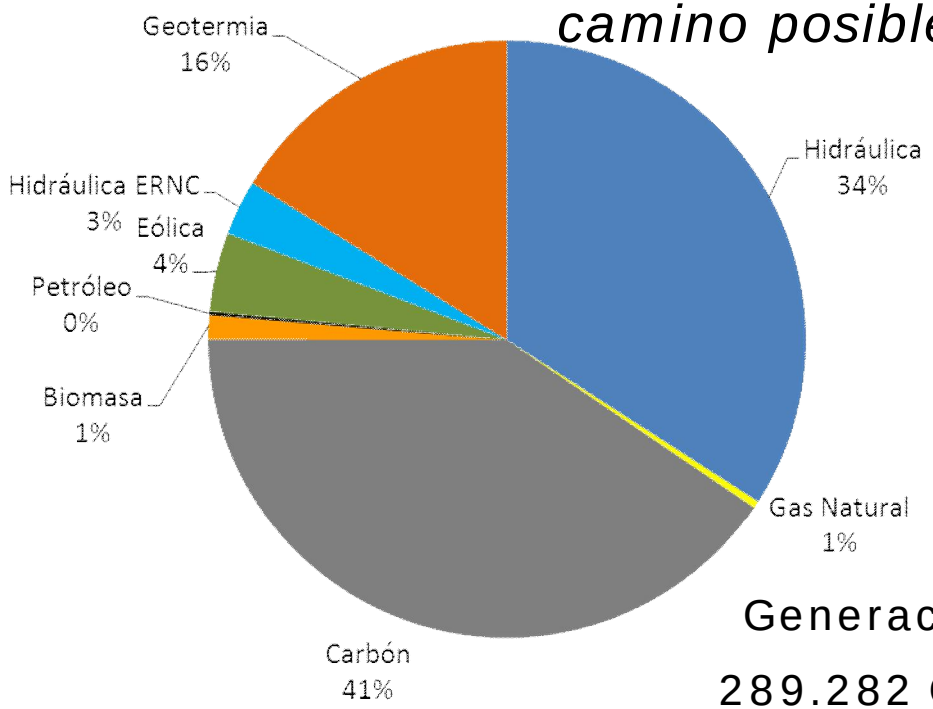

Notas: *Alta*: 6% hasta 2020 y después como OCDE desde 1965, *Baja*: 4,7% hasta 2020 y después como OCDE Europa desde 1971

# Capacidad y Generación 2050: SIC & SING

*Suponiendo que las políticas actuales no cambian, aquí se proyecta un camino posible.*




Capacidad Instalada 71.807 MW (reserva: 72%)




Emisiones de $CO_2$: 105 MMT

Generación 289.282 GWh

Fuentes: Ministerio de Energía

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Contenidos

- Evolución Histórica
- Situación Actual
- Proyecciones de Corto Plazo
- Esbozos para el 2050
- Conclusiones

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

# Conclusiones

- Próximos 10 años están bastante definidos
- Todas las opciones tienen costos: considerar lo que se gana y lo que se pierde en cada uno
- Decisiones de hoy impactan en el largo plazo
- Necesidad de acuerdos políticos de largo plazo
- El tema energético debe ser una política de Estado no de un Gobierno específico

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

PDF-XChange
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

FIN

Gobierno de Chile

www.gob.cl