

¿Cuál es el País que deseamos?

Un análisis del futuro energético Chileno

Prof. Roberto Román L.
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile

roroman@ing.uchile.cl



Por qué estamos aquí...

- En primer lugar porque quisimos buscar un enfoque alternativo al problema del suministro eléctrico en Chile.
- Básicamente porque hasta ahora el enfoque ha sido reactivo y no ha considerado como evolucionan las tecnologías y el mundo.
- También porque el Consejo de Defensa de la Patagonia y el Natural Resource Defense Council (NRDC) quisieron tener una visión alternativa.
- Agradecemos este espacio de reflexión y análisis.



Estructura de Presentación

- Algunas palabras sobre el Sistema Eléctrico Chileno, el SIC y el objetivo del estudio.
- Proyección de demanda período 2009-2025.
- ¿El doble de energía para el 2020?
- El impacto de la solución reactiva
- Alternativas de solución.
- Tendencias en el mundo.
- Conclusiones.



Sistema Eléctrico Chileno y el SIC

El sistema eléctrico nacional está dividido en el

- *SING* (Sistema Interconectado Norte Grande) con 3700 MW de potencia instalada, unos 14.900 GWh de generación anual (año 2009).
- *SIC* (Sistema Interconectado Central) con 11.150 MW de potencia instalada, 41.700 GWh de generación anual (año 2009).
- *Sistema Aysén* 40,2 MW de potencia, generación anual de 119 GWh (año 2009).
- *Sistema Magallanes*: 99,2 MW de potencia, generación de 256 GWh (año 2009).

Sistema Eléctrico Chileno y el SIC





Sistema Eléctrico Chileno y el SIC



Sistema Interconectado Central (SIC)

Potencia Instalada: 8.273,6 MW
Generación Anual: 40.339,1 GWh
Demanda Máxima: 6.058,9 MW
Cobertura: Regiones II a X y R. Metropolitana
Población: 92,27%

Sistema Eléctrico de Aysén

Potencia Instalada: 33,3 MW
Generación Anual: 118,6 GWh
Demanda Máxima: 20,7 MW
Cobertura: Región XI
Población: 0,61%

Sistema Eléctrico de Magallanes

Potencia Instalada: 65,2 MW
Generación Anual: 221,1 GWh
Demanda Máxima: 42,0 MW
Cobertura: Región XII
Población: 0,95%



Sistema Eléctrico Chileno y el SIC

Para el análisis, nos hemos concentrado solo en el SIC.

- En este sistema los recursos renovables que hay son:
 - Energía hidráulica: centrales de embalse (existentes) y de pasada.
 - Biomasa: típicamente asociada a empresas productivas (madera, celulosa, papel).
 - Geotermia: aún inexplorada. Con potencial de no menos de 3.000 MW.
 - Energía eólica: varios proyectos en marcha y muchos más en estudio. Al 2010 ya hay más de 100 MW en operación.
 - Energía solar: especialmente de la cuarta Región al Norte. Al menos dos proyectos a implementarse en el corto plazo.
 - Energía de las mareas: especialmente en la zona del Canal de Chacao.



El SIC

La recesión mundial, más los impactos de mejora de eficiencia en procesos hacen de que aumento de demanda va a ser mucho menor que lo previsto originalmente por la CNE (5,5% previsión 2009).

Además, en los hechos, la demanda 2008 fue menor a la del 2007 y la del 2009, menor a la del 2007 y solo ligeramente superior a la del 2006.

Generación Bruta 2006: 40.265 GWh

Generación bruta 2007: 41.974 GWh (+4,2%)

Generación bruta 2008: 41.804 GWh (-0,4%)

Generación bruta 2009: 41.738 GWh (-0,1%)



El SIC al 2010:

Actualmente se habla mucho de que la demanda eléctrica está creciendo a tasas muy elevadas, pero los números reales indican otra cosa. Veamos los duros datos:

Generación bruta hasta Octubre 2009: 34.571 GWh

Generación bruta hasta Octubre 2010: 35.580 GWh

Es decir, el aumento real 2009/2010 ha sido de un 2,91%.

Por lo tanto se verifica que nuestro estudio previo era demasiado conservador. Habíamos supuesto un aumento de la demanda de +2,5% en promedio para el período 2007-2010.

En la práctica el consumo eléctrico del SIC se verá estancado en el período 2007-2010. La tasa real será del orden de +0,8%.



¿Doble de consumo para el 2020 y triple para el 2025?:

En el discurso oficial se da por descontado de que para el 2020 necesitaremos el doble de la cantidad de energía y el triple para el 2025.

¿Es esto una hipótesis realista o razonable?

Para aumentar al doble de lo actual para el 2020 se necesita una tasa de aumento anual de un poco más del 7%. Esto no guarda ninguna relación con el crecimiento real a esperar. Para *triplicar* la demanda al 2025, esta debe crecer al 7,5% anual los próximos 15 años...

¿De donde vienen estos números?



¿Doble de consumo para el 2020 y triple para el 2025?:

Una hipótesis muy simplista dice que si uno quiere que el PIB aumente a cierta tasa de crecimiento, la demanda eléctrica tiene que crecer a una tasa superior. Típicamente se maneja un valor m/m 1% por sobre la tasa de aumento del PIB.

Por lo tanto si se quiere crecer al 6% en el PIB, la demanda eléctrica debería crecer al 7%.

Esto sería cierto si las tecnologías estuviesen estáticas y el mundo no cambiase. Lo cual dista mucho de ser verdad.

Por lo tanto el verdadero desafío es tener tasas de crecimiento razonable del PIB con tasas *menores* de aumento de la demanda eléctrica. Lo cual no es solo posible, sino deseable.



¿Doble de consumo para el 2020 y triple para el 2025?:

Esta hipótesis de verdad es una expresión de deseos y no obedece a la realidad.

En un punto separado analizaremos de manera somera cuales son los motores del aumento de demanda eléctrica en Chile.

También se ha dicho que la demanda eléctrica ha aumentado mucho en el SIC este año con respecto al año pasado.

Veamos que ha ocurrido en verdad, comparando mes por mes de Enero a Octubre...

¿Doble de consumo para el 2020 y triple para el 2025?:

Mes	Gen 2009	Gen 2010	% Dif
	GWh	GWh	
Ene	3.567.616	3.663.369	2,7
Feb	3.252.400	3.252.141	0,0
Mar	3.632.678	3.258.347	-10,3
Abr	3.328.455	3.352.105	0,7
May	3.437.568	3.604.470	4,9
Jun	3.432.294	3.628.548	5,7
Jul	3.517.968	3.801.970	8,1
Ago	3.402.034	3.788.389	11,4
Sep	3.364.153	3.500.348	4,0
Oct	3.519.678	3.730.855	6,0
Media anual:			3,3



¿Entonces, que ocurrirá?

- En el estudio realizado con Hall et al., supusimos una tasa media de crecimiento de la demanda de 2,5% hasta el 2011 (desde el 2009) y 4,5% de allí al 2025.
- Esto se basaba en el hecho de la recesión mundial.
- La idea era que el PIB creciese a una tasa media en torno a 5,5%. Solo se necesitaría 4,5% de aumento de la generación por el hecho de preocuparse de incrementar la eficiencia energética. La eficiencia es el pilar básico del desarrollo energético.



¿Entonces, que ocurrirá?

- El suponer que la demanda eléctrica deba crecer a tasas superiores al PIB está *obsoleto*.
- De hecho reconocería que cada día seremos menos eficientes. Lo que es una barbaridad.
- Además está el hecho cierto que la energía seguirá siendo un bien escaso y con tendencia al alza de precios.

El SIC entre el 2009 y 2014

24 LA TERCERA Miércoles 18 de marzo de 2009

Negocios

Portada

Gobierno prevé retraso en puesta en operación de centrales hidroeléctricas de Aysén

La Comisión Nacional de Energía estimó un plazo adicional de 9 a 14 meses para el ingreso de tres centrales del megaproyecto. Si hace seis meses la primera unidad estaba prevista para junio de 2015, ahora se programó para marzo de 2016. Los cambios obedecen a una menor demanda futura y la demora de la tramitación ambiental.

Jessica Marticorena

Las centrales hidroeléctricas de Aysén, que Endesa y Colbún tienen previsto instalar en la próxima década, demorarán más de lo presupuestado en entrar en operación. El retraso responde a que el país no necesitará de la energía que aportará el proyecto sino hasta el primer trimestre de 2016 y al retraso en la tramitación medioambiental de la iniciativa.

La Comisión Nacional de Energía

Plan de obras

Fecha de entrada		Principales proyectos recomendados	Potencia
Mes	Año		MW
Octubre	2010	Eólica IV Región 01	40
Diciembre	2010	Central Des. For VIII Región 01	15
Diciembre	2010	Central Des. For VIII Región 02	10
Diciembre	2010	Eólica IV Región 02	40
Diciembre	2010	Rucatayo	60
Abril	2011	Hidroeléctrica VI Región 01	30,9
Abril	2011	Hidroeléctrica VI Región 02	29,6





Hipótesis del Estudio

Escenario base: conforme a las proyecciones de la *CNE*. Este implica tasa de crecimiento de demanda eléctrica de 5,5% anual.

Escenario alternativo: 2,5% de aumento de demanda 2009-2011 y 4,5% de allí hasta el 2025.

Escenario alternativo implica una política activa de eficiencia energética y está acorde con lo que previó el *PRIEN* de la U. de Chile.

Se realizó un inventario de todos los proyectos que están en diversas fases de estudio y/o implementación para el *SIC*. Esto incluyó su viabilidad técnica frente a las alternativas.

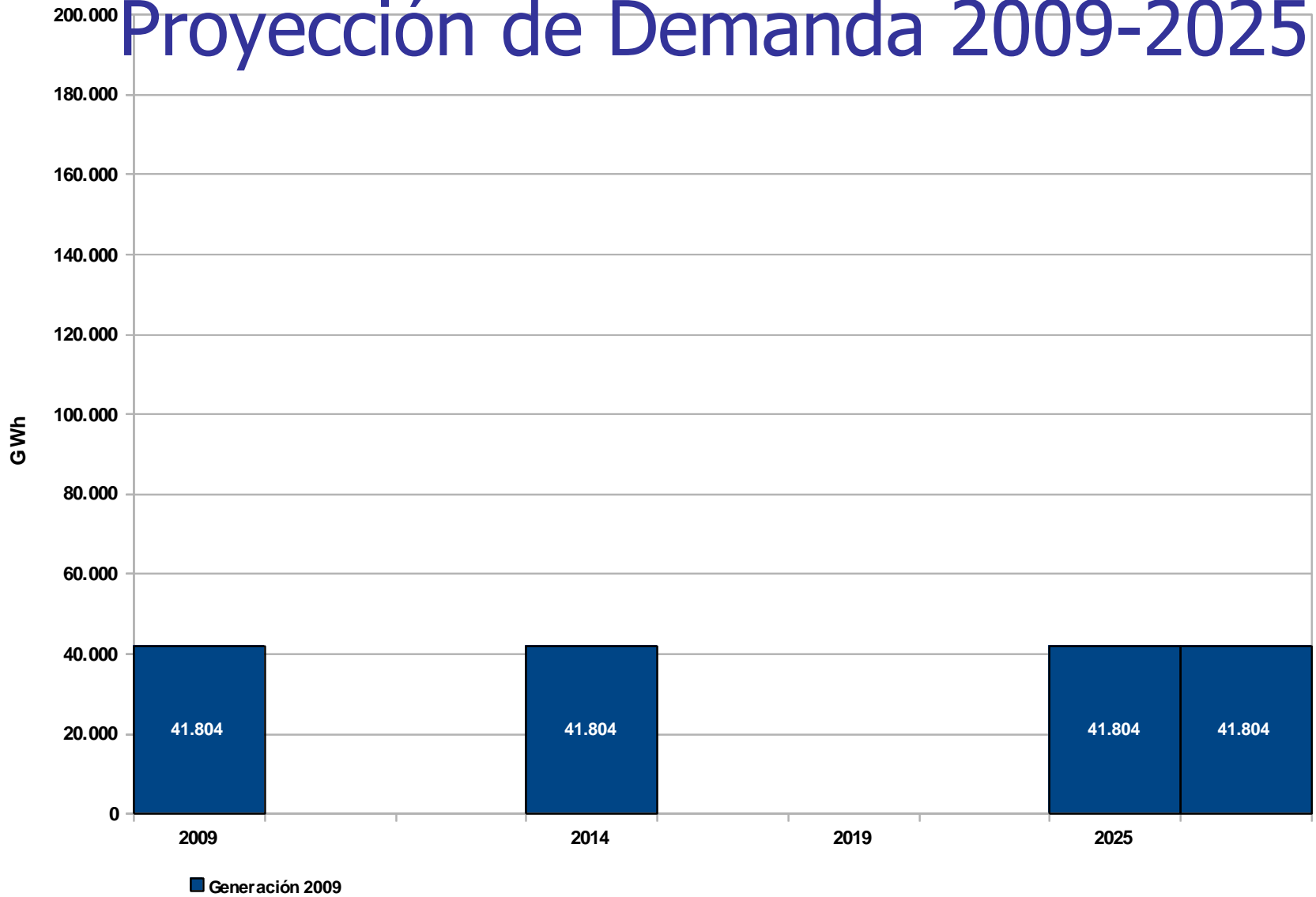
Se hizo un estudio prospectivo de otras fuentes con menos proyectos en marcha. Principalmente geotermia, solar y mareomotriz.



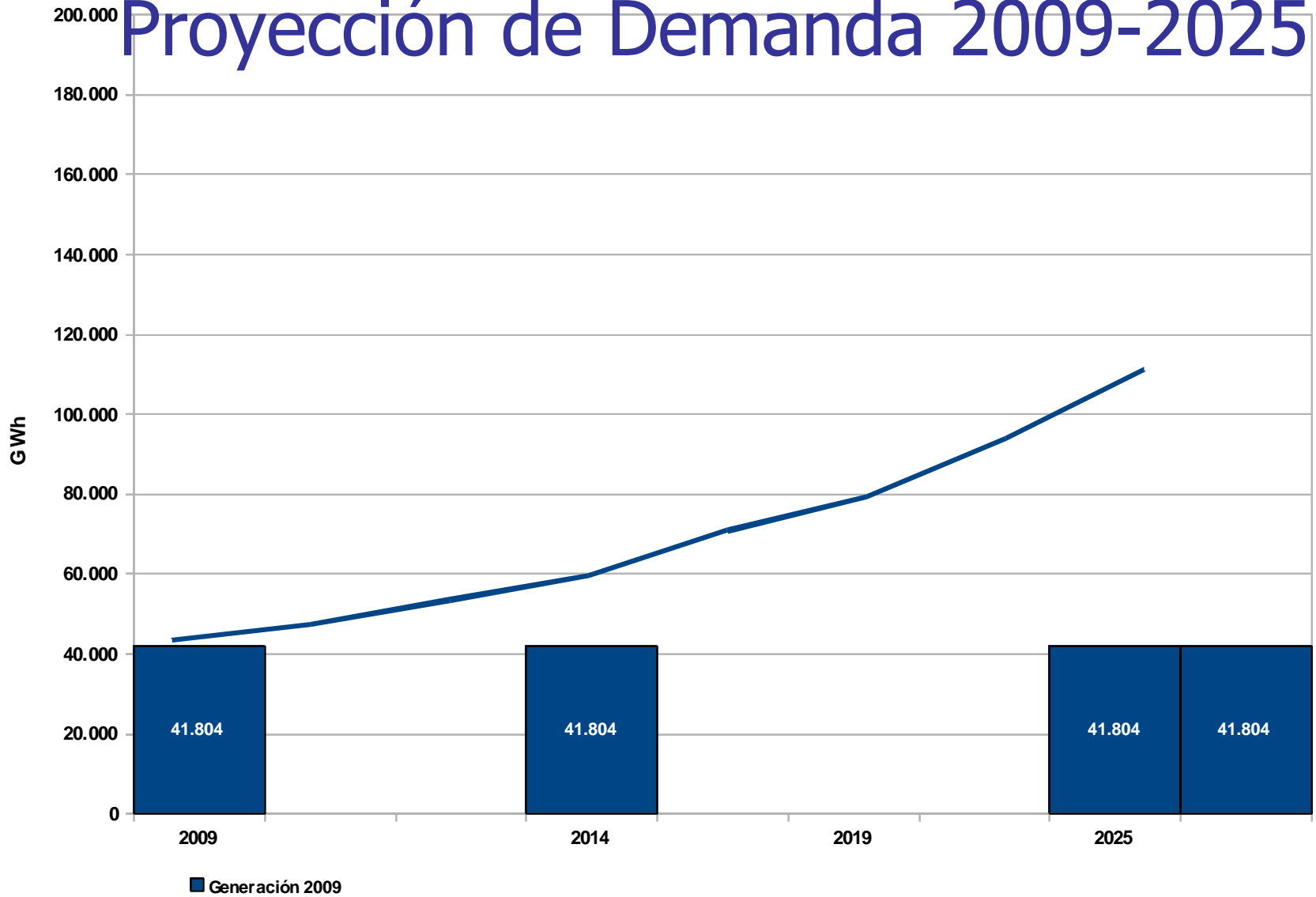
Proyección de Demanda 2009-2025

- A continuación presentamos de manera gráfica los resultados del estudio.
- Para mejor comprensión, solo hablaremos de GWh al año. Es decir, energía.
- 1000 GWh es aproximadamente la demanda anual de 400.000 hogares (con un consumo de unos 200 kWh/mes).
- Esto además nos clarifica que la demanda de los hogares no es más del 20% de la demanda eléctrica en el SIC.

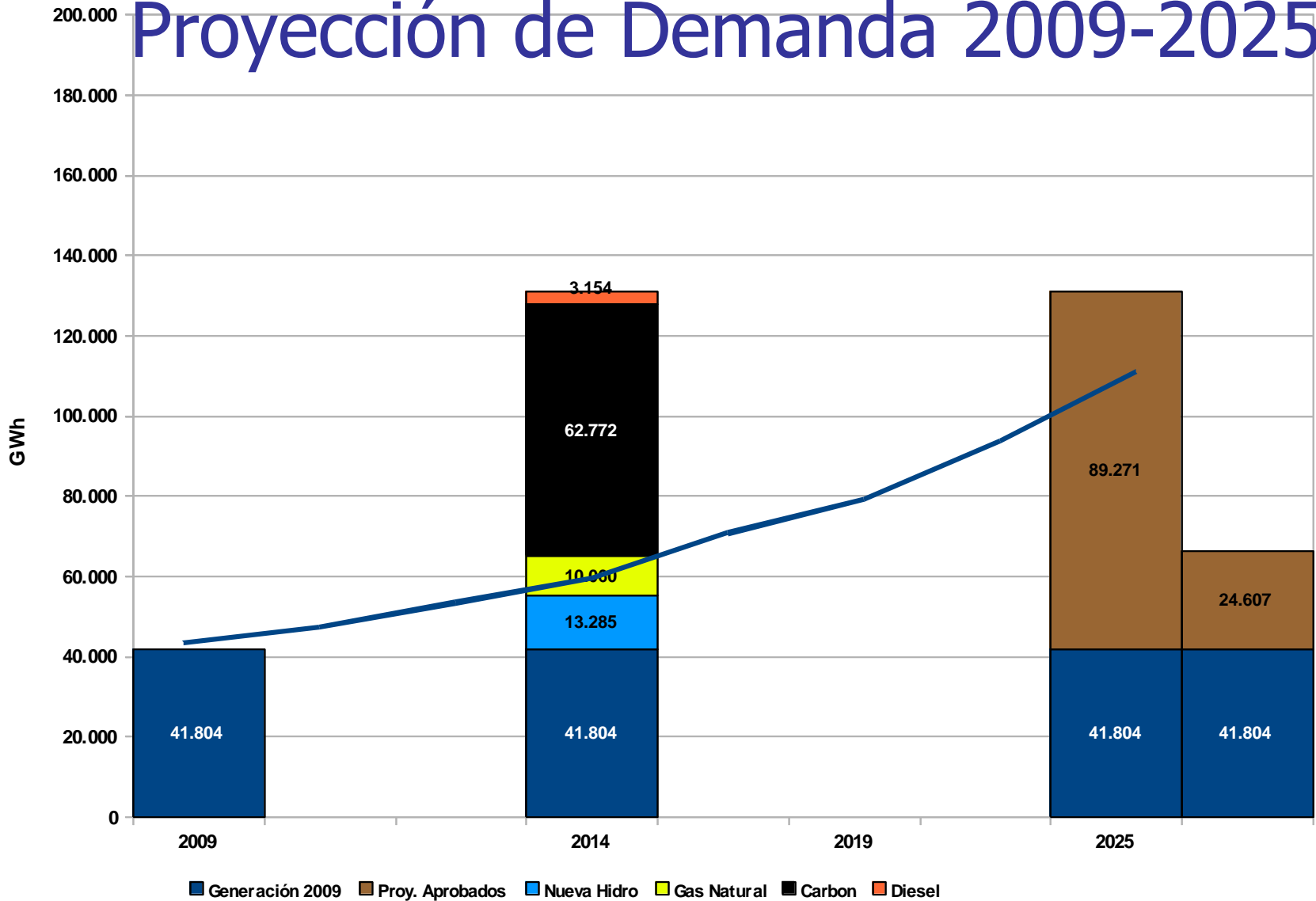
Proyección de Demanda 2009-2025



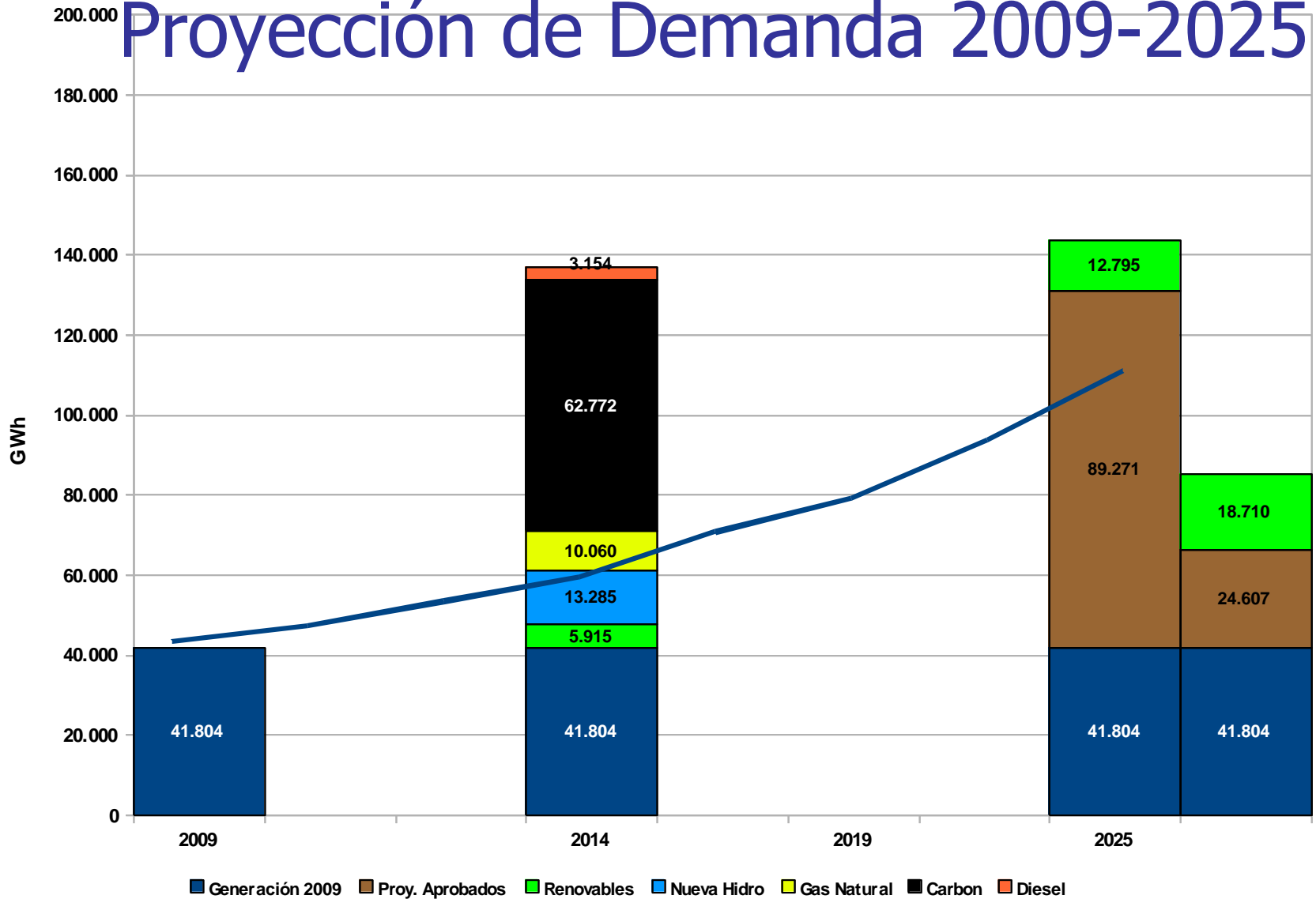
Proyección de Demanda 2009-2025



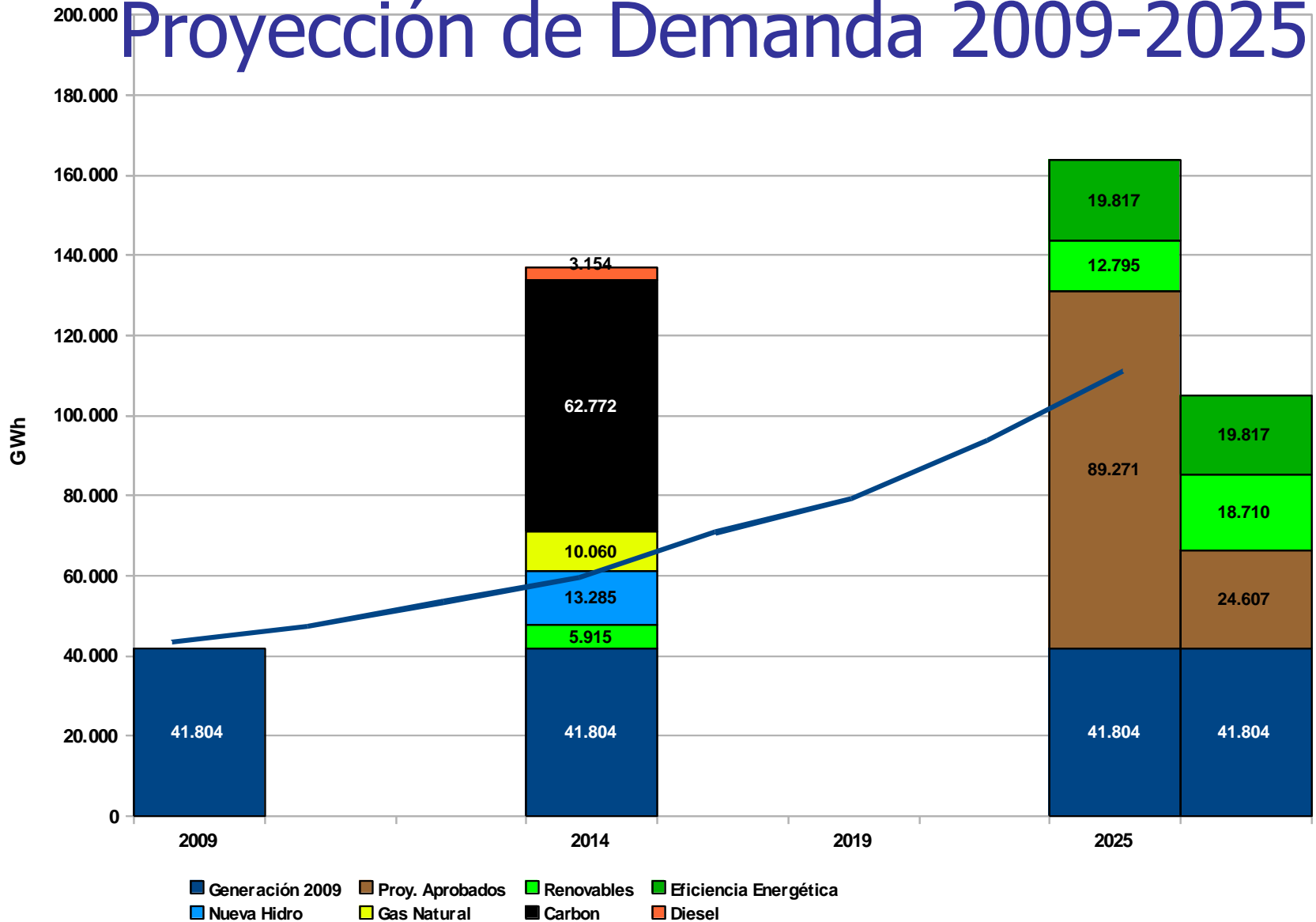
Proyección de Demanda 2009-2025



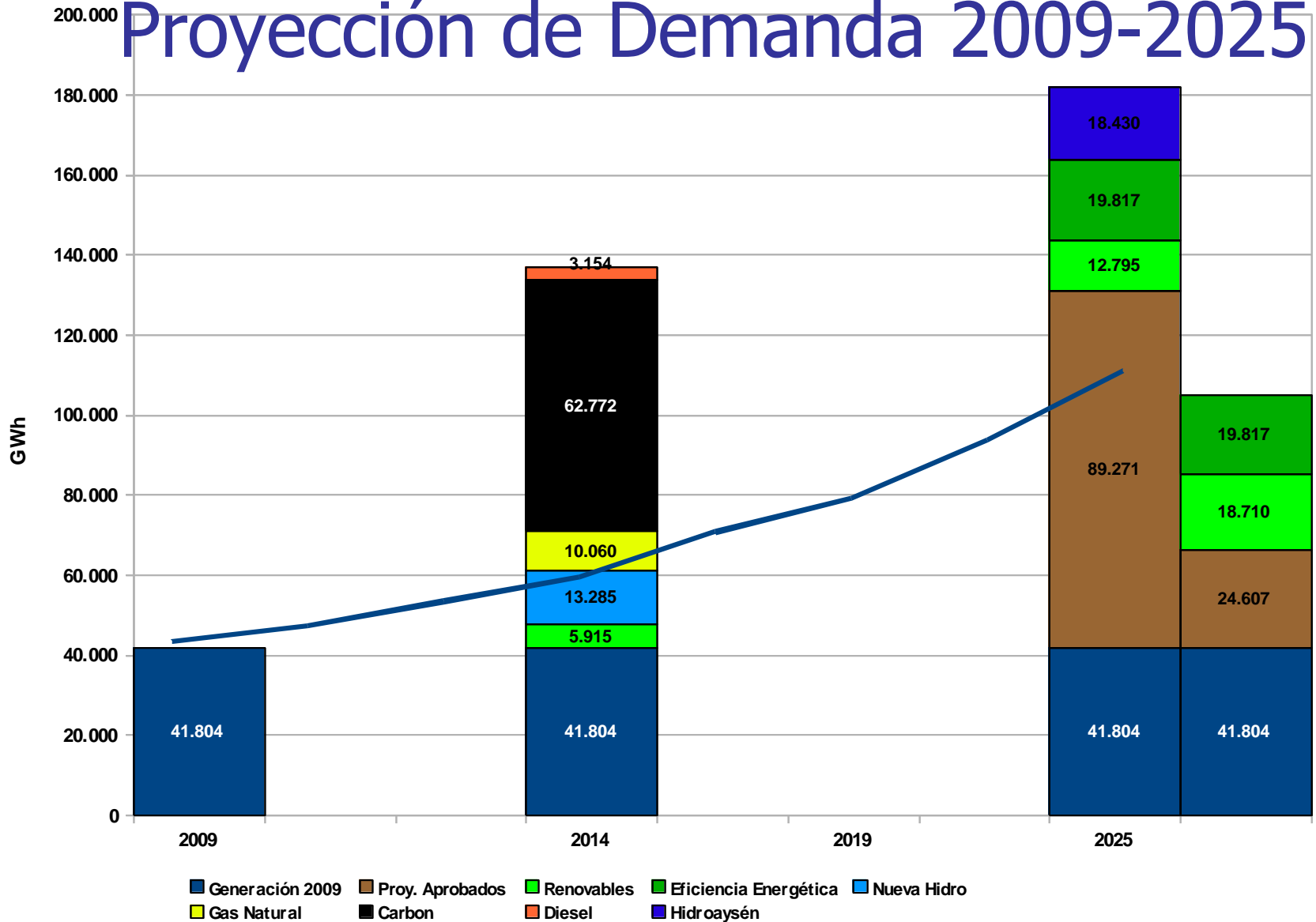
Proyección de Demanda 2009-2025



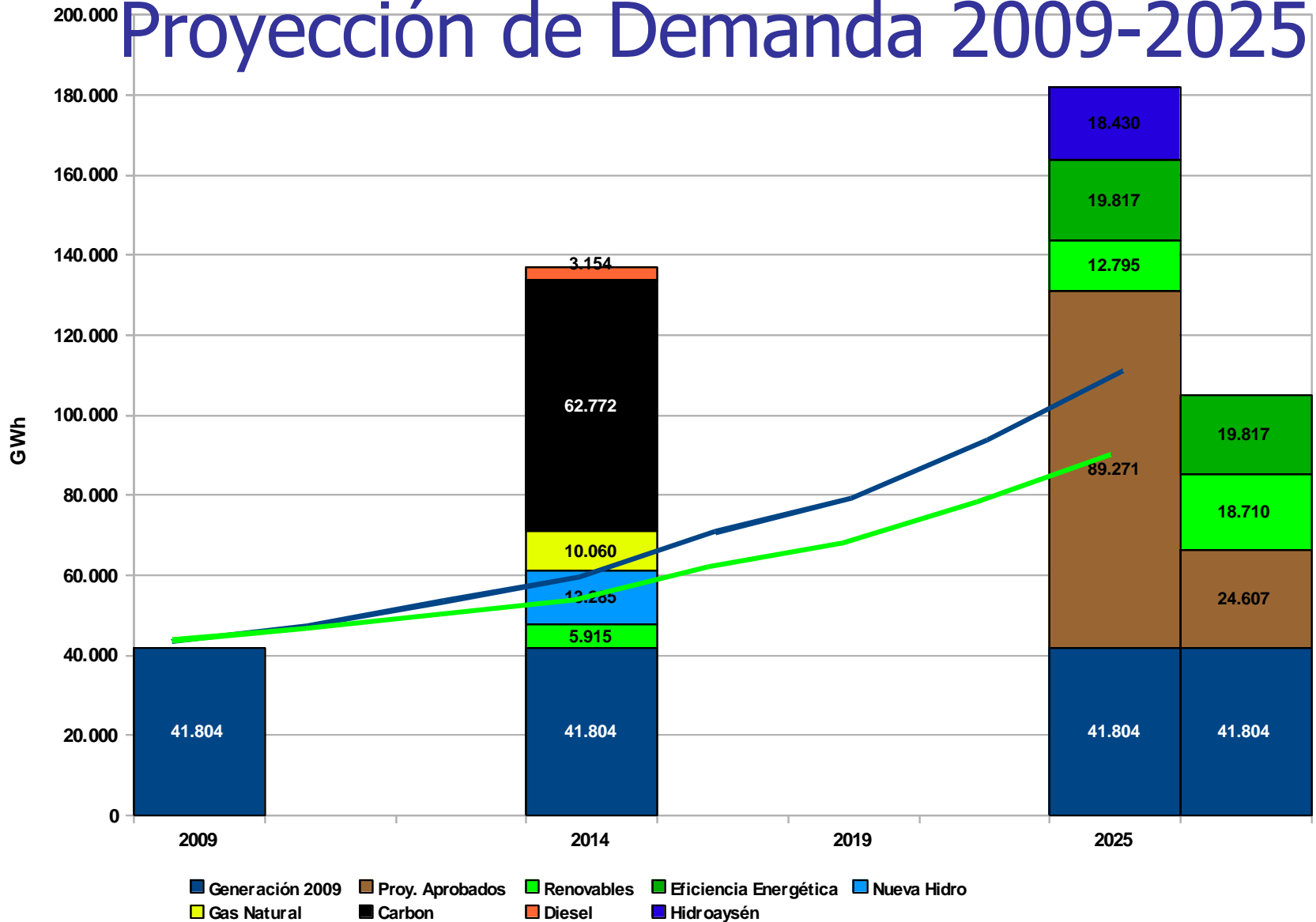
Proyección de Demanda 2009-2025



Proyección de Demanda 2009-2025



Proyección de Demanda 2009-2025





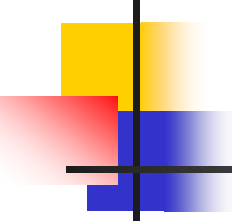
Alternativas de Solución

- Para lograr esta meta es necesario establecer una política muy activa en:
 - Eficiencia energética: es el pilar clave de una política sustentable.
 - Buen uso del territorio: potenciando proyectos sustentables.
 - Diversificar fuentes: dejar que entren nuevas opciones.
 - Aumentar actores: permitir nuevos actores en la generación, incluyendo la posibilidad de que personas inyecten a la red. La red del SIC tiene el potencial de acumular energía en varios embalses *que ya existen*.
 - Hacer manejo integrado de recursos y sistemas.
- También es clave tender a lograr un desarrollo más equilibrado. No tan concentrado en una mínima parte del territorio.



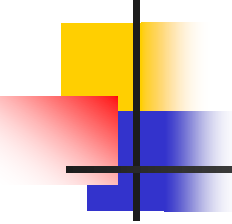
Alternativas de Solución

- Chile tiene un enorme potencial inexplorado en energías renovables. Solo a modo de ejemplo:
 - **Energía solar:** solo ocupando unos 400 km² de territorio (20x20km) se podría generar la demanda total de energía eléctrica para el 2025. Se pueden combinar con GNL.
 - **Geotermia:** al menos 3.000 MW en el SIC y 6.000 MW para el país. Probablemente más del doble de ello.
 - **Energía eólica:** no menos de 4 a 5000 MW para el territorio. Hoy los costos de grandes plantas están en el mismo orden de magnitud que centrales a gas de ciclo combinado con GNL.
 - **Biomasa:** Muy buen potencial. Asociado a industrias y cogeneración. Se puede aumentar capacidad en 200 a 300 MW. Al menos 40 a 50 MW adicionales recuperando gases de rellenos sanitarios.
 - **Mareomotriz:** Muy poca información, pero no menos de 200 a 400 MW solo en el Canal de Chacao.
- También es clave tender a lograr un desarrollo más equilibrado. No tan concentrado en una mínima parte del territorio.



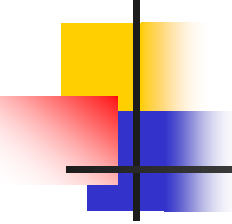
Un par de palabras sobre Hidroaysén:

- Las centrales se instalarían sobre los ríos Baker y Pascua. Luego hay que transportar la energía eléctrica en un tendido de Alta Tensión, corriente continua, hasta la zona central (RM). La distancia a transportar la energía es de 2.300 kilómetros.
- Esto es similar a la distancia que hay entre Madrid y Varsovia o más que de Santiago a Tacna...
- No parece de lo más lógico. Sobre todo teniendo muchas otras opciones más cerca.



Un par de palabras sobre Hidroaysén:

- La clave del proyecto está en el ***negocio***.
- Se supone que el proyecto costará unos US\$7.000 millones.
- Puede generar (conforme al SEIA) 18.430 GWh/año.
- Si el precio de venta del MWh es de US\$80 en Santiago (después de la transmisión y considerando 15% de pérdidas) el ingreso anual sería de US\$1.474 millones de dólares al año.
- El proyecto se pagaría en menos de 5 años.



Un par de palabras sobre Hidroaysén:

- Muy buen negocio para el Consorcio.
- Muy mal negocio para el país.
- Pues es la región de Aysén + la afectada por el tendido la que paga los costos...
- Un ejemplo más de cómo las empresas se llevan los beneficios y los locales asumen los costos...
- ¿Y cuales serían los beneficios para el país?



Un par de palabras sobre el Carbón:

- Actualmente hay en carpeta una gran cantidad de proyectos de centrales a carbón, pues es una alternativa muy “barata” al momento de generar.
 - Es “barata” pues el combustible es abundante y de costo relativo bajo.
 - Las empresas no se hacen cargo del costo de las externalidades.
 - Las inversiones son modestas.
 - Se puede generar cuando se desee.
 - Y al estar incorporado a los sistemas eléctricos, se les paga solo por el hecho de estar disponibles...

Centrales Termoeléctricas entre 3ª y 5ª Regiones

Nombre	Ubicación	Potencia Nominal unidades (MW)	Inversión (MMUS\$)
Unidad 5 de Central Guacolda (aprobado)	Guacolda, Huasco, 3ª Región	152 MW	235
Punta Alcalde (en calificación)	Punta Alcalde, Copiapó, 3ª Región	2x370 MW	1400
Central Castilla (en calificación)	Punta Cachos, Copiapó, 3ª Región	2x127 MW TG diesel 6x350 MW carbón	4400
Central Farellones (desistido)	Totalillo Norte, al sur de Chungungo, 4ª Región	2x400 MW carbón	1100
Cruz Grande (en calificación)	Cruz Grande, Chungungo, 4ª Región	2x150 MW carbón	460
Barrancones (aprobado)	5,5 km norte Chungungo, 4ª Región	3x180 MW carbón 1x25 MW TG	1100
RC Generación (en calificación)	Ventanas, 5ª Región	2x350 MW carbón	1080
Energía Minera (aprobado)	Ventanas, 5ª Región	3x350 MW carbón	1700
Campiche (aprobado)	Ventanas, 5ª Región	270 MW carbón	500
Nueva Ventanas (aprobado)	Ventanas, 5ª Región	250 MW carbón	317

Totales: 2262 MW aprobados
4840 MW en calificación

Costos Comparativos de Combustibles

Combustible	Precio US\$/MMBTU	Costo neto US\$/MWh	Notas
Carbón	3,6	40	Calculado a partir de un precio de US\$95/Ton. Rendimiento conversión de 33%
Pet Coke	2,2	23	Dato obtenido del DOE USA. Rendimiento conversión de 33%
GNL	11,0	75	Precio válido en Chile. Rendimiento de conversión de 50% (Ciclo Combinado).
Gas Natural	6,0	42	Precio aproximado internacional. Solo está disponible en Chile de manera ocasional. Rendimiento de conversión 50% (Ciclo Combinado)
Fuel 6	11,4	119	Calculado a partir de un precio de US\$455/Ton. Rendimiento de conversión de 33%
Diesel N°2	25,2	261	Calculado a partir de un precio de US\$800/m ³ . Rendimiento de conversión de 33%

Emisiones Centrales Carbón de 3ª a 5ª Regiones

Central	CO ₂ Ton/día	NOx kg/día	SO ₂ kg/día	PTS kg/día	Obs.
Unidad 5, Guacolda	8.181	800	8.420	420	Aprobado
Punta Alcalde	39.832	9.100	9.400	1.800	En Calificación
Castilla	113.036	83.981	51.840	5.469	En Calificación
Barrancones	29.067	31.800	9.000	4.500	Aprobado
Cruz Grande	16.148	15.330	1.850	1.000	En Calificación
Farellones	0	0	0	0	Desistido
Energía Minera	56.518	36.000	26.100	3.600	Aprobado
Campiche	14.533	11.525	10.104	1.056	Aprobado
Nueva Ventanas	13.457	7.920	20.784	1.224	Aprobado
RC Generación	37.679	27.400	10.104	1.056	En Calificación
Total Diario:	328.451	223.856	147.602	20.125	
Total Anual:	71.930.769	49.024.464	32.324.838	4.407.375	60% Factor Planta Anual



Costos reales del carbón:

- Si se hicieran todos estos proyectos, nuestras emisiones de CO₂ per cápita se *duplicarían*.
- Las emisiones de NO_x equivalen a 4,3 millones de autos, es decir casi 3 veces el parque actual.
- Además las emisiones estarían concentradas en cuencas con baja ventilación en invierno.
- Por lo tanto gran parte de los costos lo pagarían las personas que allí viven...

Nuestras emisiones CO2 comparadas con el mundo:

País		País	
Argentina	4,12	USA	19,1
Brasil	1,81	Alemania	9,71
Chile	4,28	Canadá	17,31
Bolivia	1,29	China	4,57
México	4,14	India	1,18
Mundo 1984	3,86	Mundo 2007	4,38

Datos año 2007: CO2 Highlights



Tendencias en el Mundo de Hoy...

- En el mundo se están produciendo profundos cambios en la mirada energética.
- Es común ver países en que su demanda eléctrica está estable. Típicamente a algo similar al doble de nuestro consumo medio.
- También países que están potenciando todo tipo de sistemas integrados a la red. Desde la instalación individual hasta grandes centrales dispersas por el territorio.



Tendencias en el Mundo de Hoy...

- El concepto que *"la lleva"* es el de redes inteligentes.
- Esto significa que la demanda se modula de manera dinámica para aprovechar al máximo los recursos y además tener mínimas emisiones.
- Un actor clave en este concepto es el tener generación distribuida.
- Si un 30% de los hogares pudieran "autogenerar" con paneles FV (lo cual será una realidad económica en no más de 5 años), equivaldría a incorporar una capacidad de generación "a firme" de 450 MW con una generación anual de unos 780 GWh.

Ejemplo de ciudad Moderna





Conclusiones...

- El sistema eléctrico chileno está evolucionando y debe modernizarse en los próximos 15 a 20 años.
- En particular esto implica un gran espacio para la eficiencia energética y además para nuevas opciones de generación.
- Además el paradigma de generación está cambiando en el Mundo. Se pasa de un sistema de Generación Centralizada a un sistema con grandes componentes distribuidos.
- Chile tiene óptimas condiciones para el uso de energías renovables. Las mismas están a lo largo de todo nuestro territorio.
- Y además los proyectos que *ya están en estudio*, más un programa activo de eficiencia energética hacen que el proyecto Hidroaysén sea totalmente innecesario.



Preguntas Clave:

- Cuales son los verdaderos motores de aumento de la demanda eléctrica.
- Cuales son los costos y beneficios de *cada* proyecto de inversión que se contempla.
- Quienes ganan y quienes pierden...
- Cuales son los balances energéticos a nivel de cada Región. Y en particular como la energía influye en la producción y calidad de vida. Esto es necesario tenerlo claro para ver que costos se deben asumir y cuales no.
- Cuales son las alternativas viables en un instante dado y las que van a aparecer al corto, mediano y largo plazo...
- En función de las respuestas a estas interrogantes es como se debe levantar la estrategia de desarrollo energético para Chile en el Siglo XXI.

Muchas Gracias...



roroman@ing.uchile.cl