



Energías Renovables:

Solución para el desarrollo eléctrico en Chile

Prof. Roberto Román L.

Universidad de Chile

rroman@ing.uchile.cl

A modo de introducción...

- **Ingeniero Civil Mecánico:** Prof. de la Universidad de Chile por más de 40 años. Especialidad en Termofluidos, Energías Renovables y Energía Solar.
- **Socio y Director de ISES:** International Solar Energy Society, lo Sociedad académica internacional más relevante y antigua en energía solar.
- **Socio y fundador de EcoMaipo:** Corporación dedicada a promover el uso sustentable de la energía solar en Chile.
- **Experto en tema energético:** por lógica y necesidad. Debemos repensar nuestro futuro.

Temario:

- **Los modelos de desarrollo eléctrico en Chile:** antes de 1943. Entre 1943 y 1987, la época de gloria de ENDESA. Privatización eléctrica y el desarrollo entre 1987-2010.
- **¿Energía sostenible y barata?:** los errores del modelo de mercado. Y como los errores lo pagan los usuarios.
- **¿Que sucede en el resto del Mundo?:** Como cambian los paradigmas de generación. Cambios revolucionarios que se nos vienen encima.
- **El modelo que necesitamos construir:** repensando el desarrollo eléctrico (y energético) para el Siglo XXI. El papel de la ciudadanía.
- **Conclusiones:** y las oportunidades que el nuevo modelo implica.

Los modelos de desarrollo eléctrico en Chile:

- **Antes de 1943:** centrales generadoras diseñadas para abastecer grandes ciudades. No había energía eléctrica en el campo. Las mineras y grandes empresas generaban su propia energía eléctrica. Únicas obras hidráulicas de envergadura se hicieron en el Cajón del Maipo (Maitenes, Queltehues y Volcán). Los apagones son el pan de cada día.
- **Entre 1943 y 1987:** se crea ENDESA. Función básica es aprovechar recursos de Chile y generar un sistema nacional de distribución. En particular abastecer las ciudades más pequeñas y manejar el todo como sistema. Hasta 1970 siguen empresas generadoras y distribuidoras privadas en las grandes ciudades. En la época de la Unidad Popular se nacionalizan las generadoras privadas.
- **La privatización:** en 1987 se inicia la privatización, separando generación de transmisión y distribución. El proceso de privatización es en paralelo con el de creación de AFP y el “capitalismo popular”.

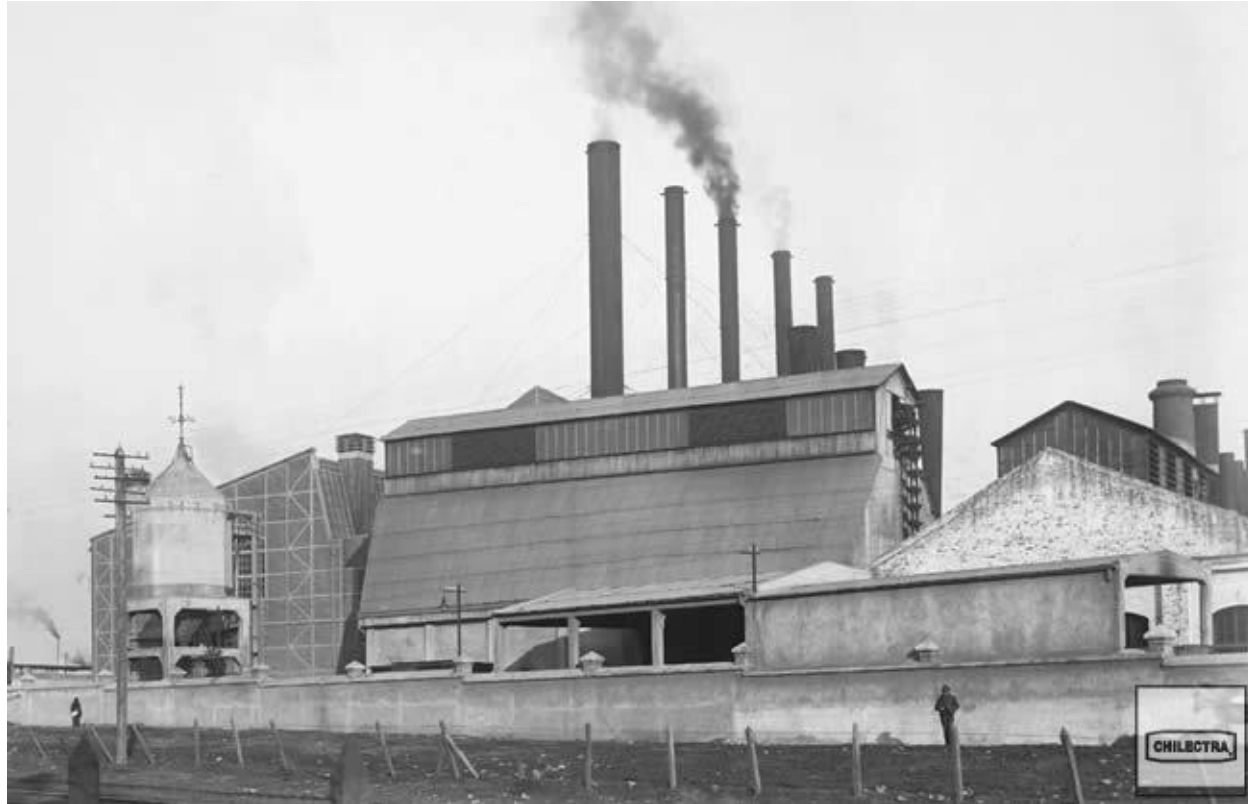
El mundo eléctrico antes de 1943



En Santiago la electrificación se inicia hacia los años 20, con electricidad doméstica y el reemplazo de tranvías “de sangre” por tranvías eléctricos...



El mundo eléctrico antes de 1943



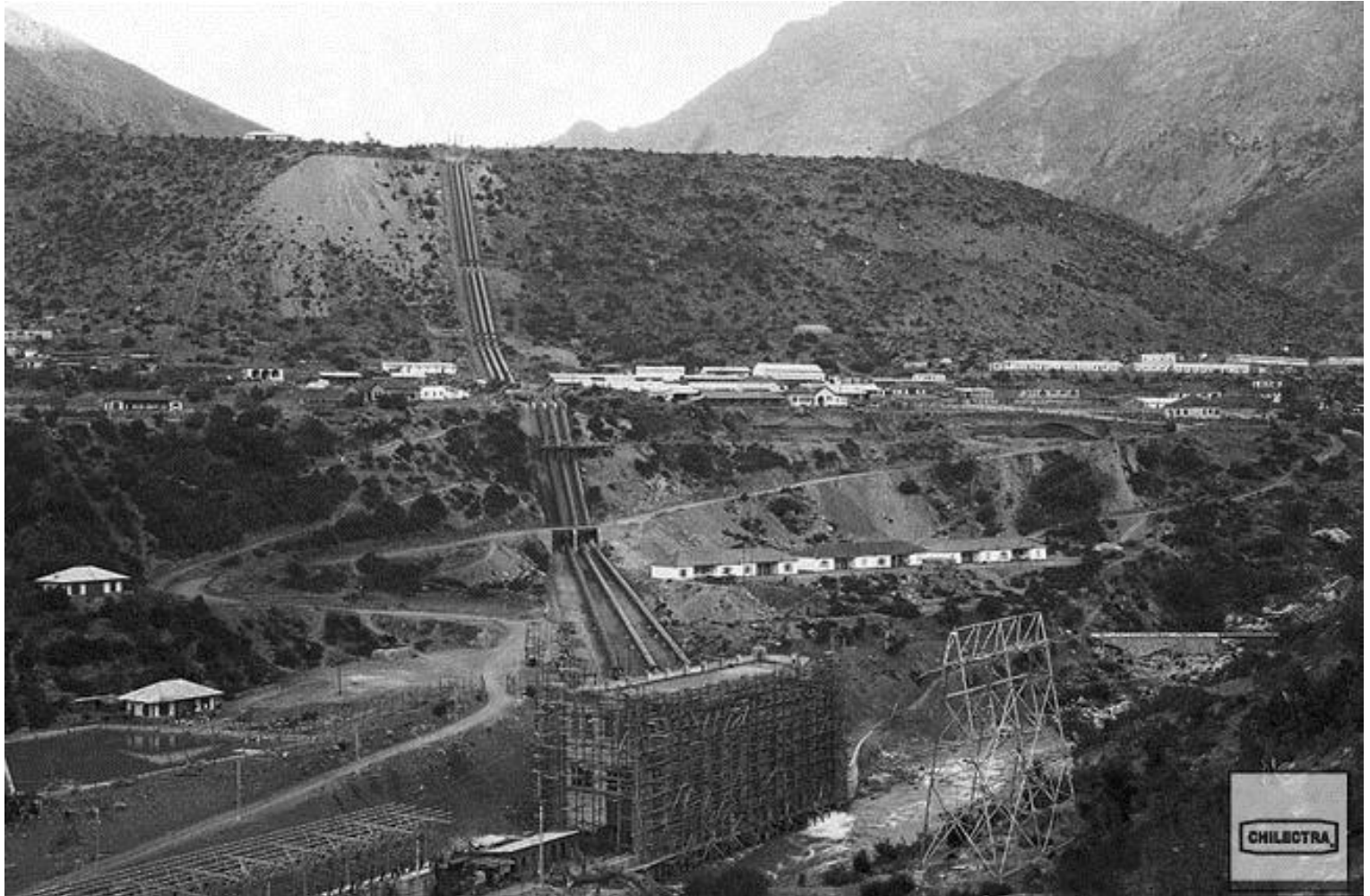
Al comienzo la generación era con centrales a carbón en plena ciudad. Esta es la Central Mapocho, cerca de la estación homónima...

El mundo eléctrico antes de 1943



Esta es la bocatoma de la central Maitenes en 1926. Dicha bocatoma está en Alfafal

El mundo eléctrico antes de 1943



En los años 20 se construyeron las primeras centrales hidroeléctricas del Cajón del Maipo. Esta es Queltehues en 1928

La época de gloria de ENDESA:

- **Desarrollo hidroeléctrico:** se reconoció la necesidad de expandir generación hidroeléctrica, pues las generadoras locales usaban motores o centrales a vapor. Se construyeron las siguientes centrales:
 - Pilmaiquén (1944-59) 39 MW.
 - Abanico (1948-59) 136 MW.
 - Sauzal (1948) 46,8 MW.
 - Los Molles (1952) 6 MW.
 - Cipreses (1955) 101,4 MW.
 - Sauzalito (1959) 9,5 MW.
 - Pullinque (1962) 48,6 MW.
 - Puerto Aysén (1962) 6,6 MW.
 - Isla (1963-64) 68 MW.
 - Chapiquiña (1967) 18 MW.
 - Rapel (1968) 350 MW.
 - El Toro (1973) 400 MW.
 - Antuco (1981) 300 MW.
 - Colbún (1985) 400 MW
 - Machicura (1985) 90 MW.

La Privatización (los inicios):

- **Objetivo declarado:** separar generación, de transmisión y distribución, fomentando competitividad y reduciendo costos.
- **Los efectos:** se creó el “capitalismo popular” pasando las acciones de ENDESA a los trabajadores en sus desahucios. Luego hubo reparto de utilidades atractivas un tiempo y después ofertas de compra masivas (por Jurasek y otros). El efecto neto fue concentración en pocas manos, usar las AFP para apalancar recursos. Además muchos de los mismos que diseñaron la privatización luego se cambiaron del lado de la mesa y compraron. Hubo una mágica transformación de funcionarios estatales a “empresarios”.
- **Los proyectos:** mientras siguió la inercia de ENDESA se completaron algunos proyectos nuevos (como los del Alto Bío Bío) que estaban en carpeta, pero luego el foco cambió.
- **Bajos costos para quién:** el objetivo se transformó en realizar proyectos con la menor inversión posible. Primero fue el el gas, luego el Pet-Coke, después el carbón. Obejtivo general: menor inversión posible.

La Privatización (los errores):

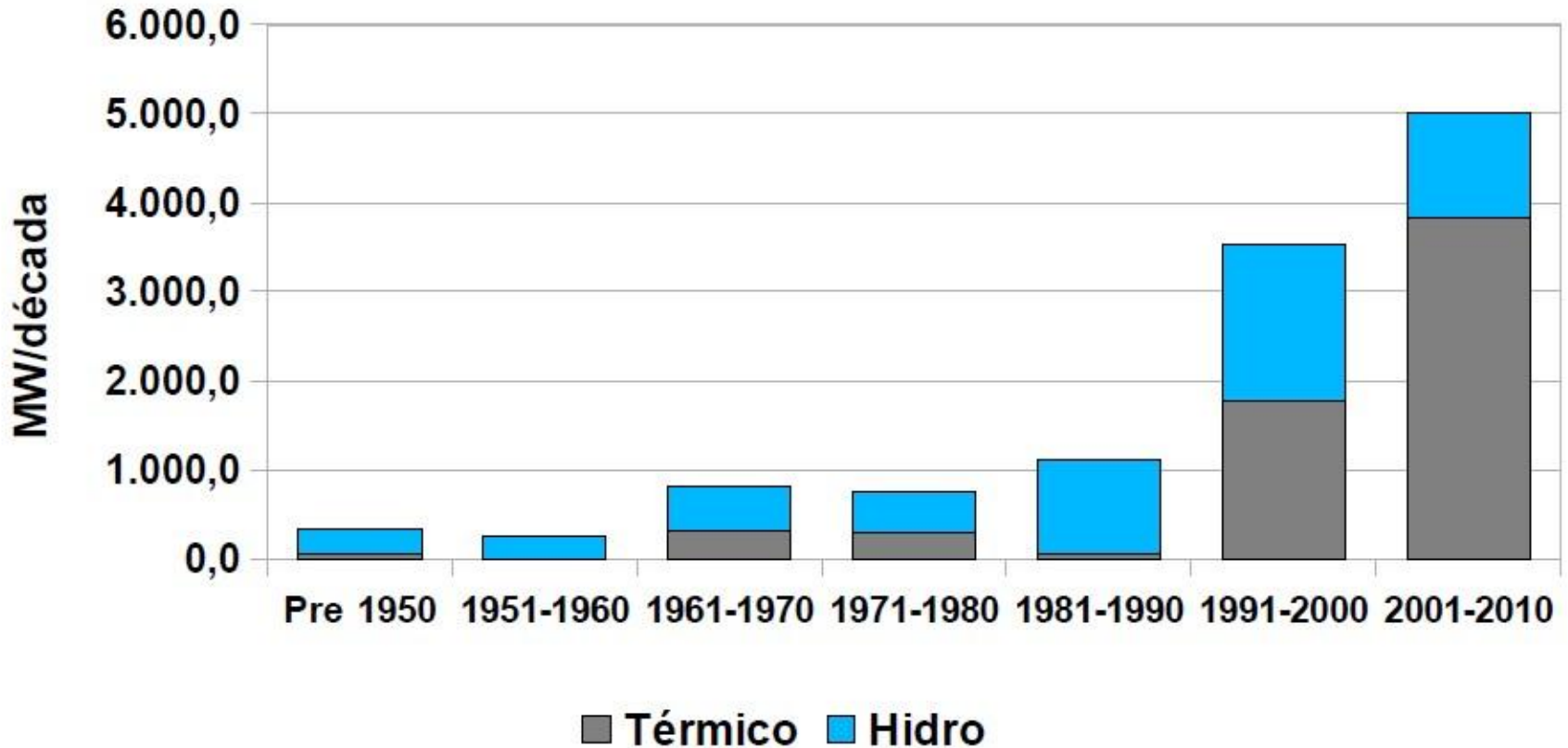
Errores principales: tras este objetivo de generar a los menores costos (de inversión) posible se han cometido grandes errores. En particular:

- **Gas Natural Argentino:** debería haberse traído el gas por el Valle Central. Se trajo a través del Cajón del Maipo porque era “más económico”. Pero económico para los generadores. Al no pasar por el Valle Central se puso toda la zona de Santiago al Sur en desventaja con el resto del país. Eso llevó a más concentración de actividades en la RM. Si el gas se hubiese traído desde el Sur, habría fallado después y habría una red que cubriría (al menos) de Santiago a Temuco.
- **El no cumplimiento de los Argentinos:** esto es una falacia. Argentina cumplió los contratos. No entregó más gas, pues no tenía más gas para entregar. Era totalmente predecible y lo habíamos predicho (no los únicos). La falsa seguridad también hizo que no se construyeran a tiempo los terminales de GNL. Y cuando se hicieron solo fue con el apoyo (indirecto) del Estado.
- **Los buenos negocios para los privados y los malos para el Estado (I):** Como el gas era “muy barato” se obtuvo autorización para quemar Petcoke en las centrales a carbón en el Norte (aún vigente). Cuando fracasó GasAtacama, el Estado tuvo que apoyarlo e inyectar dinero a través de CODELCO.

La Privatización (las consecuencias):

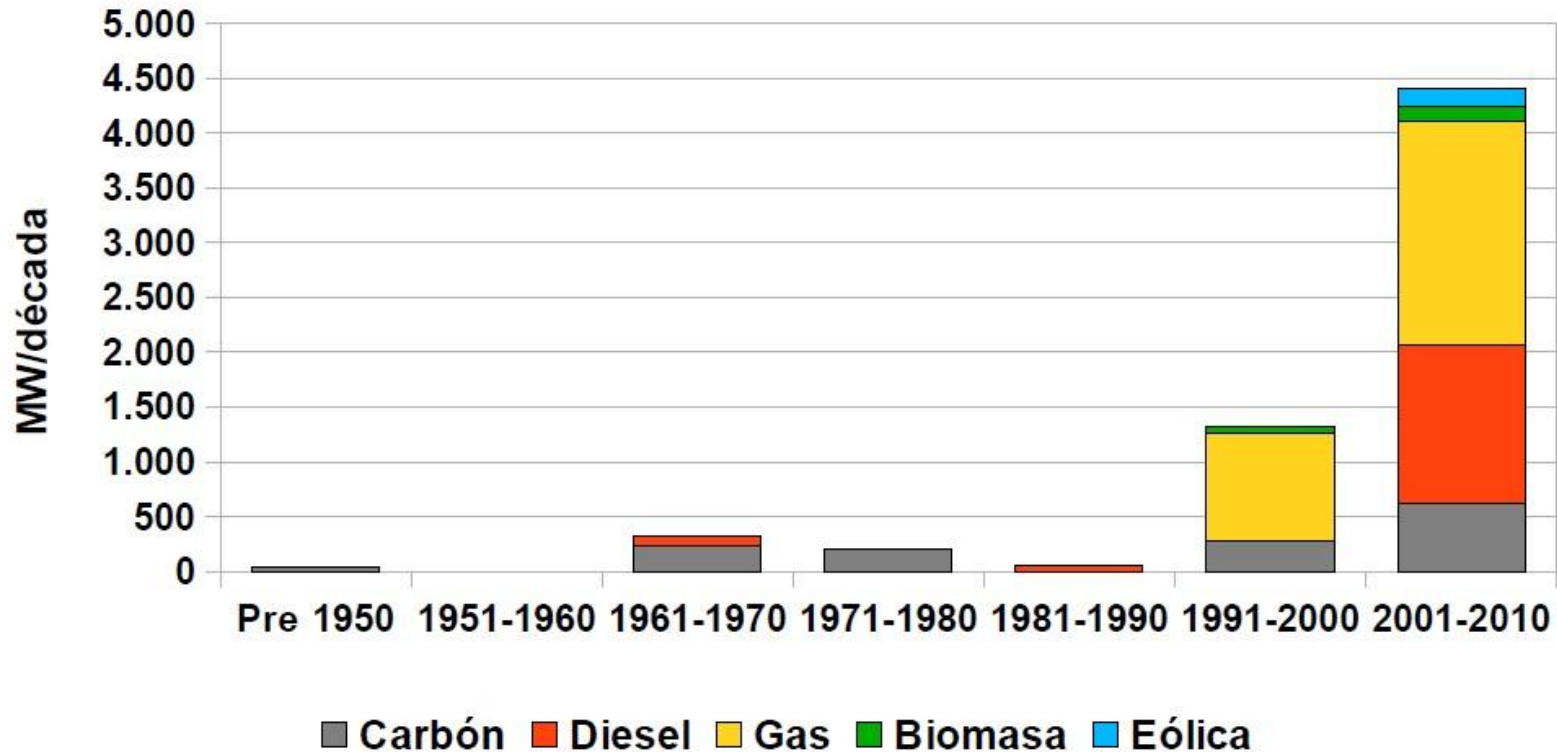
- **Proyectos de corto plazo:** Inversión lo menor posible, asegurando rentabilidad a corto plazo. Lleva a malas soluciones ambientales y traspaso de costos a los usuarios. En esta lógica está el decir que “el carbón es más barato”.
- **El efecto de la Minería:** A contar de 1990 ha habido una creciente inversión Minera. La minería demanda energía y la respuesta ha sido satisfacerla con los proyectos lo “más baratos posibles”. Pero son “baratos” en inversión, no baratos ambientalmente ni en el largo plazo. Así que la nueva generación es barata y poco sustentable.
- **Privatizar lo público:** todo el tema de los derechos de agua, así como la Ley de Pesca y otros pasa por esta lógica de privatizar lo público. Así que lo que es de todos, pasa a ser de algunos (poderosos) y si la ciudadanía alega, se atenta contra “el derecho de propiedad”.
- **La mesa de póker:** la generación crece no por necesidad sistémica, sino porque alguien aprueba un proyecto en el Sistema de Evaluación Ambiental y luego pasa a vender la energía. Se ha perdido la visión sistémica..

Desarrollo del SIC en los últimos años:



Incorporación de nueva capacidad de generación según décadas.

Desarrollo del SIC en los últimos años:



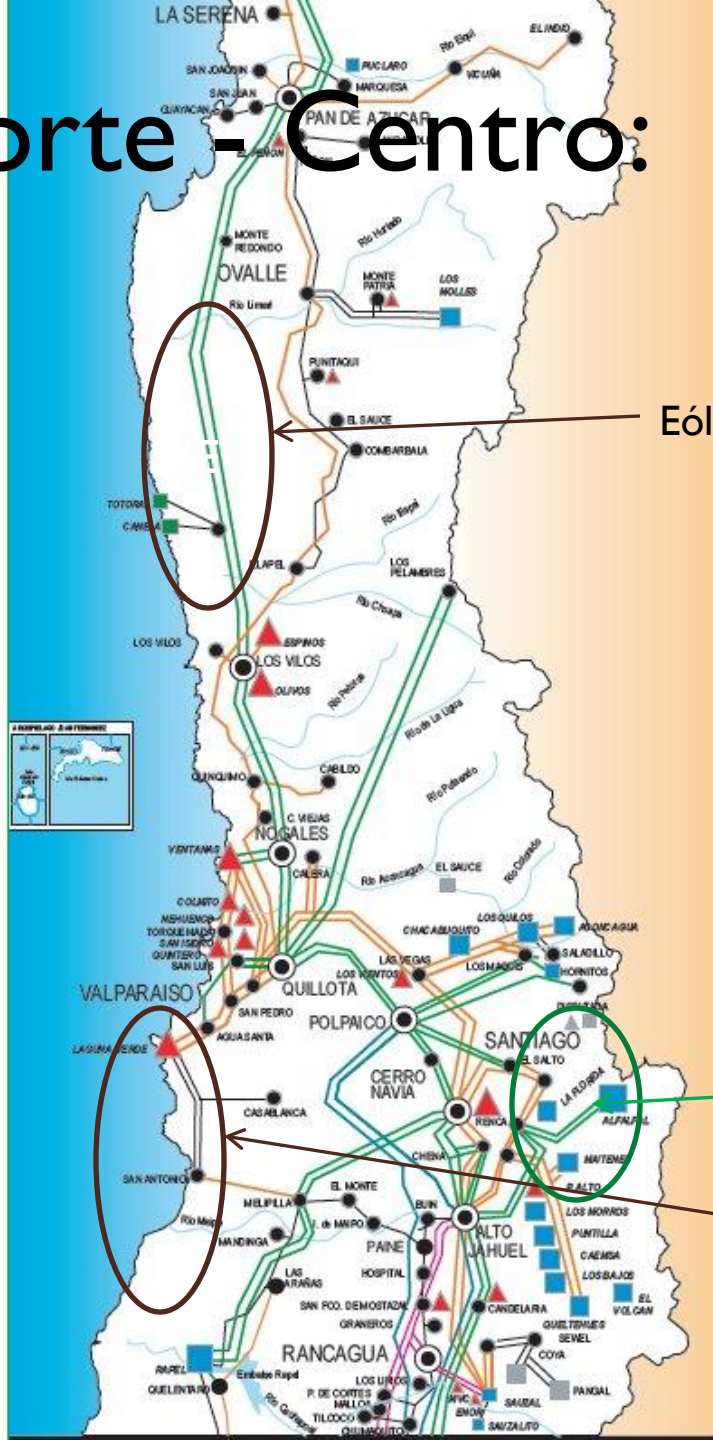
Incorporación de nueva capacidad de generación térmica según décadas.

¿Energía sostenible y barata?:

Está claro que hoy tenemos energía no sostenible y cara:

- **Falta de visión sistémica:** la generación se hace lo más cerca posible de los puntos de consumo y se hace la vista gorda con los problemas de impacto ambiental.
- **Poca inversión, altos costos de operación:** se traspasan los costos de operación a los usuarios. Pues se privilegia la baja inversión. Cuando se levantan otros argumentos, se responde que “no es rentable”. La verdad es que las otras opciones **sí** son rentables, solo que menos rentables para los privados (pero más seguras) y su objetivo es la ganancia inmediata. Total, si fallan, alguien los rescatará (ver el caso Campanario).
- **El modelo que hay fomenta la especulación:** Total, si se falla, alguien los rescatará. Véase ElectroAndina, Campanario, convertir plantas de gas natural a Diesel y el apoyo (encubierto) estatal a las plantas de GNL y otras inversiones (carretera eléctrica).
- **Y si no nos dan lo que deseamos, viene el diluvio:** la campaña del terror que “nos quedaremos sin energía” es exactamente eso.

SIC – Norte - Centro:

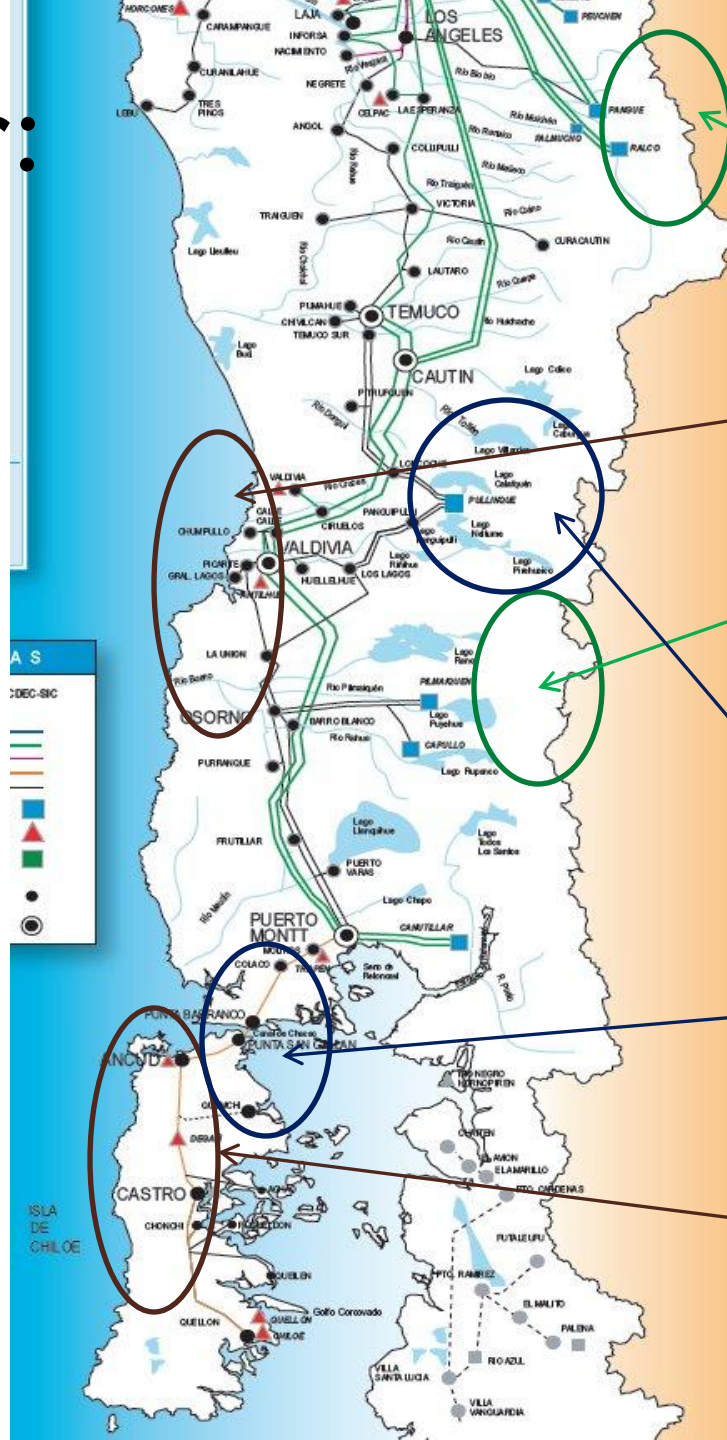


Eólico: 400 a 500 MW

Geotermia: Sn José
50 a 100 MW

Eólico por determinar

SIC - Sur:



Geotermia: Copahue
100 a 250 MW

Eólico: por determinar

Geotermia: Puyehue
100 a 300 MW

Mini Hidro: mayor
4000 MW

Maremotriz: C. Chacao
200 a 2000 MW

Eólico por determinar

¿Qué sucede en el resto del mundo?:

- **La energía se maneja como sistema:** y no solo la energía eléctrica. Lo primero es ver **donde** se gasta energía y **para qué**. Luego se determina las mejores opciones alternativas para ir reemplazando lo no sostenible por soluciones más sostenibles.
- **Recursos locales:** dentro de lo posible se da preminencia a los recursos locales. Así se fomentan proyectos y trabajo local. Además se fijan metas de reducción de huella de carbono .
- **Soluciones mixtas:** no existe la solución única. La solución óptima es una mezcla de alternativas que varía en función de la realidad local y opciones tecnológicas.
- **Los nuevos paradigmas:** algo que está avanzando a pasos agigantados son los nuevos paradigmas de generación eléctrica. Generación distribuída. Net-Metering. Redes inteligentes. Manejo inteligente de redes eléctricas. Y antes que todo: **Eficiencia Energética**.

Evolución de sistemas de gran potencia:

Hoy día los costos han bajado a menos de US\$0,70/Watt peak para las celdas y menos de US\$1,50 por Watt nominal para grandes sistemas.

Para sistemas pequeños, los costos instalados están cerca de US\$2,50 por Watt nominal para sistemas conectados a red.

- Por lo tanto la **rentabilidad** de un sistema dependerá básicamente de la disponibilidad de radiación solar, lo que determinará el factor de planta obtenible.
- El factor de planta máximo para una central solar FV sin acumulación de energía puede alcanzar un valor entre 30 a 40% a latitudes no muy alejadas del Ecuador.
- En Chile un sistema con tracking en 1 eje puede alcanzar factores de planta del orden de 32 a 34%.

Evolución de sistemas de gran potencia:

Veamos el caso de Alemania y comparemos la situación 2000 con la del 2011 en cuanto a instalaciones FV:

Datos de Alemania	2000	2011
Potencia Instalada (MW)	76,0	24.800,0
Energía Generada (GWh/año)	64,0	18.000,0
Porcentaje de electricidad Alemana	0,01	3,2
Factor de Planta (%)	9,6	8,3

Es importante destacar que en Chile el factor de planta obtenible sería de 2 a 3 veces el de Alemania. Es decir que con la misma cantidad de instalaciones FV que tiene Alemania se podría generar prácticamente el 100% de la demanda eléctrica de Chile.

Central Chiu Chiu de Solarpack de 1 MW



Ya en operación y se firmó contrato con Collahuasi por otra de 25 MW a costo de energía de US\$100/MWh. Factor de planta sobre 30%.

El Espacio para los Gobiernos Locales:

El cambio fundamental que se debe realizar es manejar nuestro sistema eléctrico como **sistema** y no simplemente como un conjunto de generadoras asociadas a consumos específicos. Hay amplias oportunidades para los gobiernos locales:

- Posibilidad de generación eléctrica conectada a red (net-metering) por sistemas eólicos o solares.
- Instalar sistemas de bombeo FV en lugares en que esto es importante. Usar esta energía para inyectar a red cuando no se necesita bombear
- Mejorar la gestión energética a nivel local, partiendo por la iluminación, siguiendo por calefacción y llegando a la generación.
- Coordinar y desarrollar acciones de capacitación y formación de capital humano.

El caso de Combarbalá



Portal Cruz del Sur: 114 viviendas sociales con sistemas solares

El caso de Combarbalá



Entonces Ministro Rodrigo Alvarez inaugurando Portal Cruz del Sur (diciembre de 2011)

El caso de Combarbalá



Sede social con sistema FV conectado a red de 10 kW de capacidad. Aún no logramos conectarlo.

Sistema FV en Valle de Azapa



Sistema de 1 kW conectado a red en Azapa

Proyecto Huatacondo (primera Región)



Sistema de 3 kW conectado en red inteligente en el poblado de Huatacondo

Gemasolar en Prueba



Se observa torre y caústica

Javier Guerra 2011

Gemasolar

Se observa el bloque de potencia y los acumuladores en construcción.

Estanque caliente a 800°C , estanque frío a 250°C . Con menor volumen se genera más energía.

Factor de planta en torno al 70 a 80%

Transmisión óptica elimina problema de bombeo de grandes distancias.

Ideal para Chile



Gemasolar



Vista aérea de Gemasolar. Ocupa unas 120 Ha y genera 20 MW a firme.
En Chile generaría unos 25 MW

¿Cuanta superficie de verdad se requiere con energía solar en Chile?:

En el norte, transparencia está entre 0,68 y 0,75. Veamos lugar cerca de El Salvador y diversas tecnologías para generar 18.000 GWh/año:

Tecnología	%rend	H [kWh/(m ² día)	FP	%uso suelo	Sup Ha
FV-fijo	15	6,7	25,8	60	8.178
FV-track	15	8,95	34	50	7.347
Cil-Parab	25	8,60	60	40	5.734
Torre Central	33	9,26	70	30	5.379

H = insolación sobre colectores

FP = Factor de Planta

Nuevos proyectos:

- **Proyectos FV:** ya hay entre 15 a 20 MW en construcción o operación. Más de 3.000 MW en proyecto.
- **Termosolar:** planta Pedro de Valdivia de 360 MW con acumulación.
- **Eólica:** más de 1.500 MW en proyectos o construcción. Más de 300 MW en operación.
- **Geotermia:** solo proyectos en sus fases iniciales, pero enorme potencial.

¿Cuanta superficie se necesita para triplicar la generación eléctrica en Chile?

Suponiendo un factor de ocupación del suelo de un 30%, un rendimiento global de conversión de 13% para sistemas FV y 22% para CSP, necesitaríamos las siguientes superficies en km² para generar la misma cantidad de energía que se genera actualmente en el SING y en el SIC:

	SING	SIC	Total
FV	126,8	477,9	604,6
CSP	74,9	282,4	357,3

Utilizando tecnología FV se requiere una superficie total de 25x25 km.
Con CSP de 19x19 km.

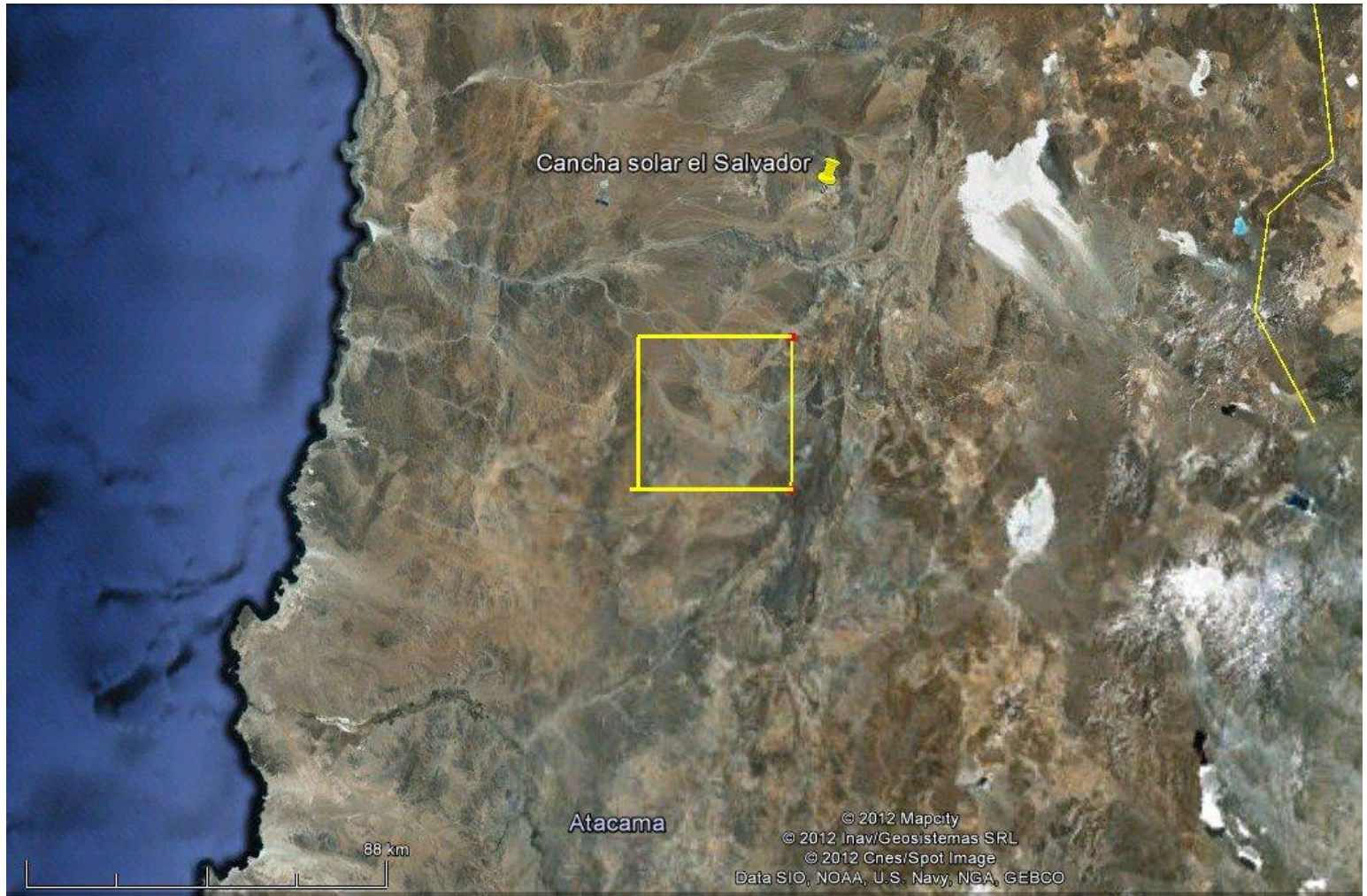
Para **duplicar** solo con solar lo actualmente generado se requieren aproximadamente 35x35km.

Proyectando en el SING:



En Segunda Región

Proyectando en el SIC:



En Tercera Región

El modelo que necesitamos construir:

- **Desarrollar el sistema parte por parte:** Es claro que la parte norte es diferente del Sur y cada parte tiene las soluciones que más le acomoden.
- **Identificar zonas críticas:** Hoy las 2 zonas críticas desde el punto de vista oferta eléctrica es de la IV^a Región a la III^a y de la Región de los Ríos a Chiloé. Ambas por distintas razones
- **Promover soluciones mixtas:** es obvio que hay energías que se complementan, entonces hay que fomentar esa complementación. Por ejemplo GNL y renovables variables (p.ej. Eólica o solar), o geotermia más renovables variables.
- **Definir estándares:** si se fijan estándares aparecen buenos proyectos. Basta ver la licitación de Collahuasi por 60 GWh/año a precios más competitivos que *cualquier otra solución salvo el carbón*.

Conclusiones:

- **Chile tiene condiciones óptimas:** no existe otro país en el mundo con tal cantidad y variedad de recursos de ERNC: geotermia, solar, eólica, hidro, oceánica, biomasa etc..
- **Oportunidades de desarrollo:** estas fuentes dan oportunidades de desarrollo de emprendimiento, tecnología y trabajo. Es bastante más lógico que quemar fósiles “porque es más barato”.
- **El Pilar de la Eficiencia Energética:** todo desarrollo *parte* acentuando el tema de eficiencia energética. La misma es básica.
- **Cambiar modelo de desarrollo eléctrico:** se debe partir de definiciones claras de necesidad y luego buscar forma óptima de satisfacerlas. Esto a través de licitaciones
- **Fijar condiciones:** se deben fijar requisitos mínimos medioambientales.



¡Muchas Gracias!

roroman@ing.uchile.cl