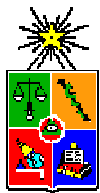


Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



FUENTES ENERGÉTICAS RENOVABLES

LUIS S. VARGAS
Area de Energía
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

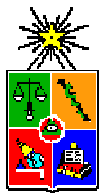


Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



AGENDA

- **Caracterización de Tecnologías Renovables y ERNC**
- **Tendencia mundial**
- **Situación actual en Chile**
- **Tendencias en Chile**
- **Comentarios**



Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



Tecnologías de ERNC

SOLAR

PV: 0.1 → 1 MW

CSP: 1 → 500 MW



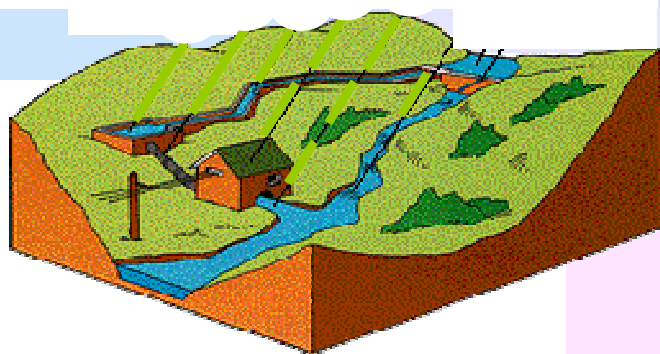
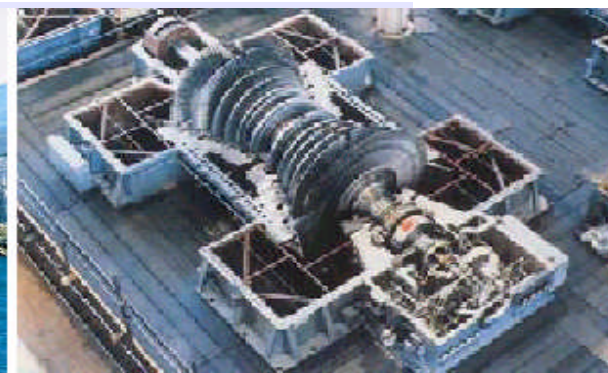
EOLICAS

1 MW → 50 MW



Biomasa

1 → 10 MW



MINIHIDRO 1 → 9 MW



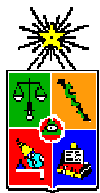
MAREOMOTRIZ

0.1 → 10 MW



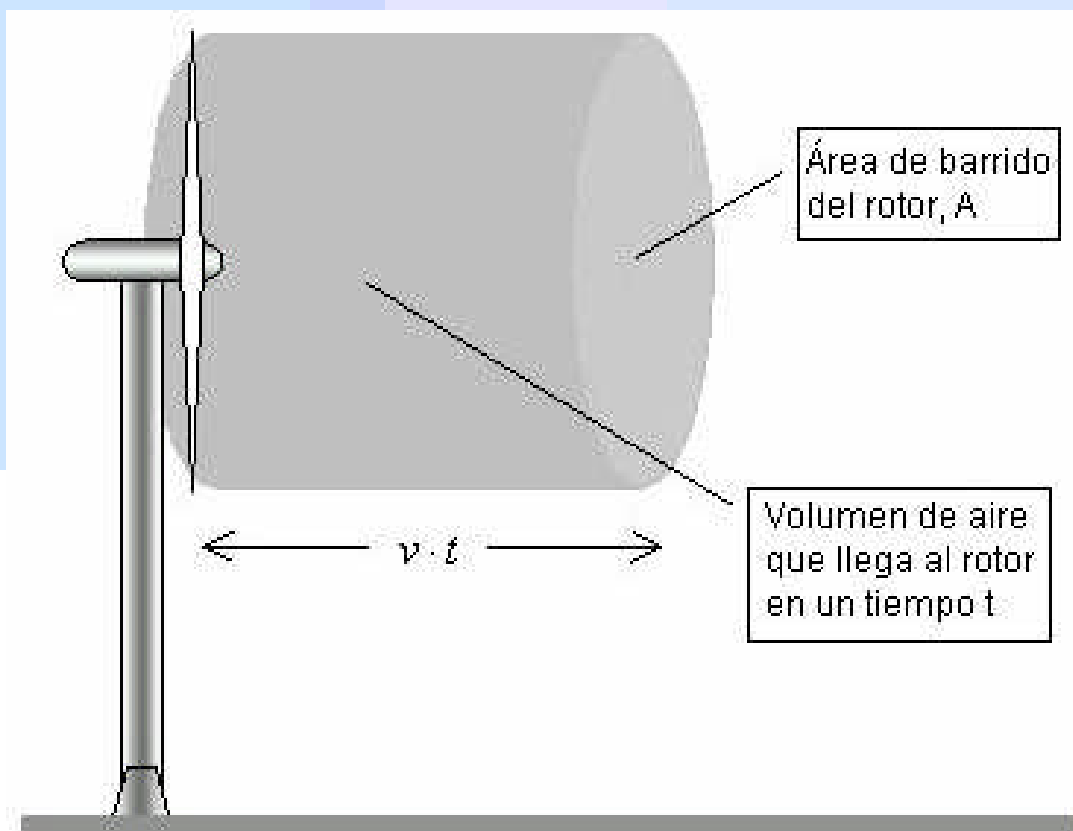
GEOTERMICAS

5 MW → 50 MW



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Eólica

Un aerogenerador toma la energía cinética del viento y la transforma en energía mecánica rotacional



Energía cinética
del viento





Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Eólica

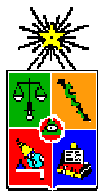
1887-88: Charles F. Brush, construye la primera turbina eólica (de giro lento). Rotor de 17 [m] de diámetro, 144 aspas de cedro, 12 [kW]



Hoy: 2 - 4 MW

100-160 m

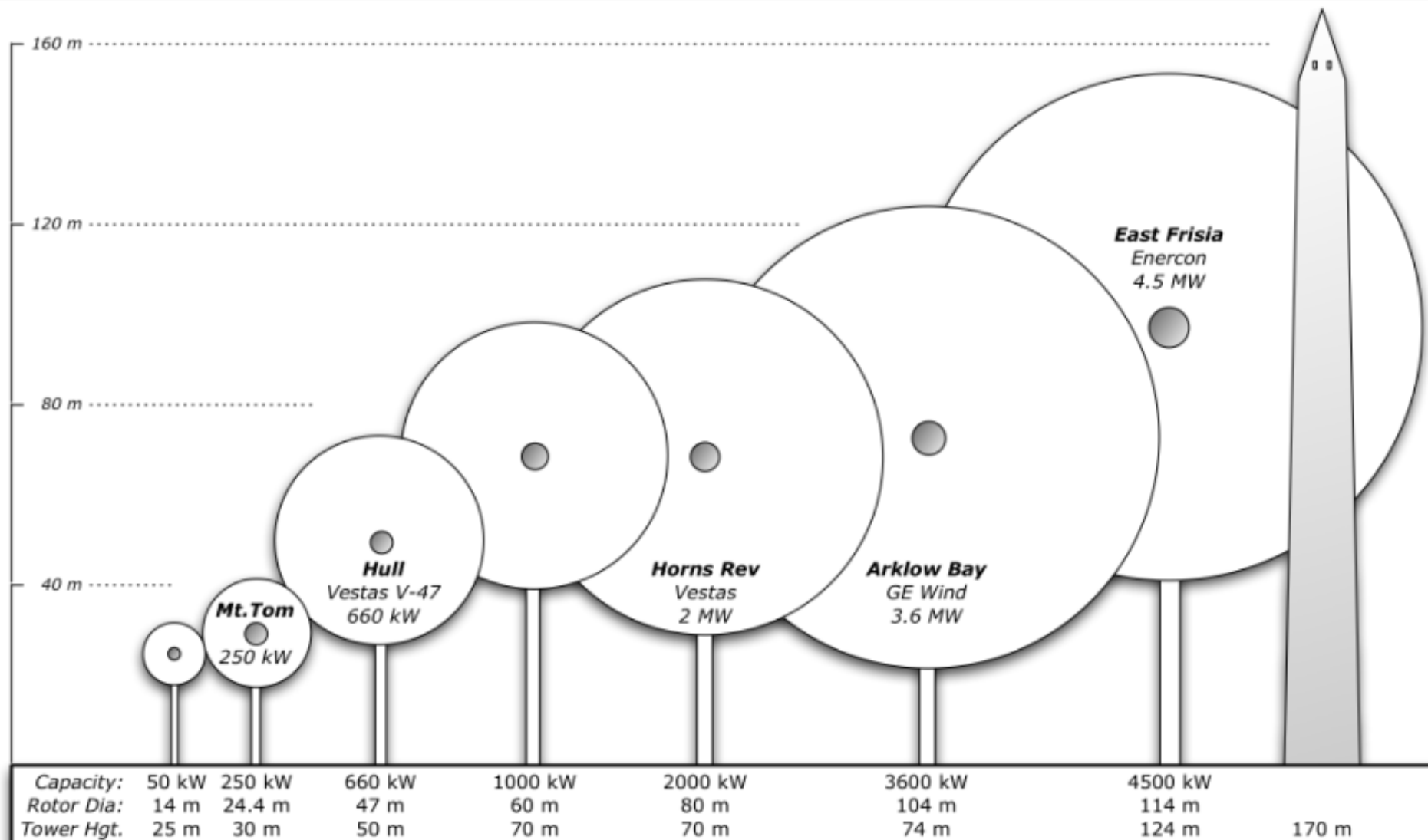




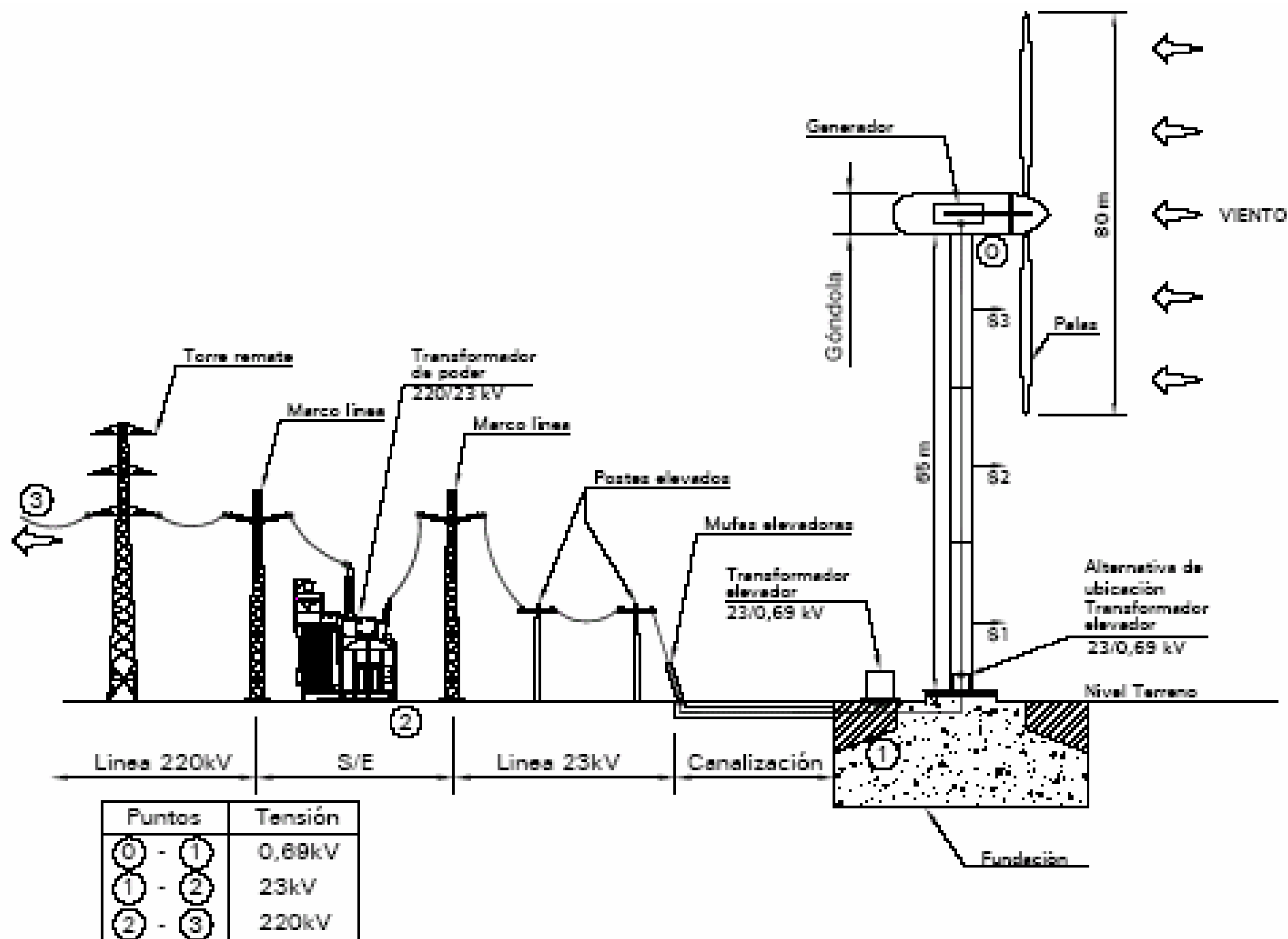
Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile

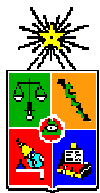


CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Eólica



© S.R. Connors





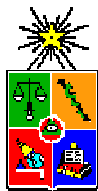
Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Eólica



Dinamarca, 160 MW en granja eólica off-shore



CASO ALEMAN

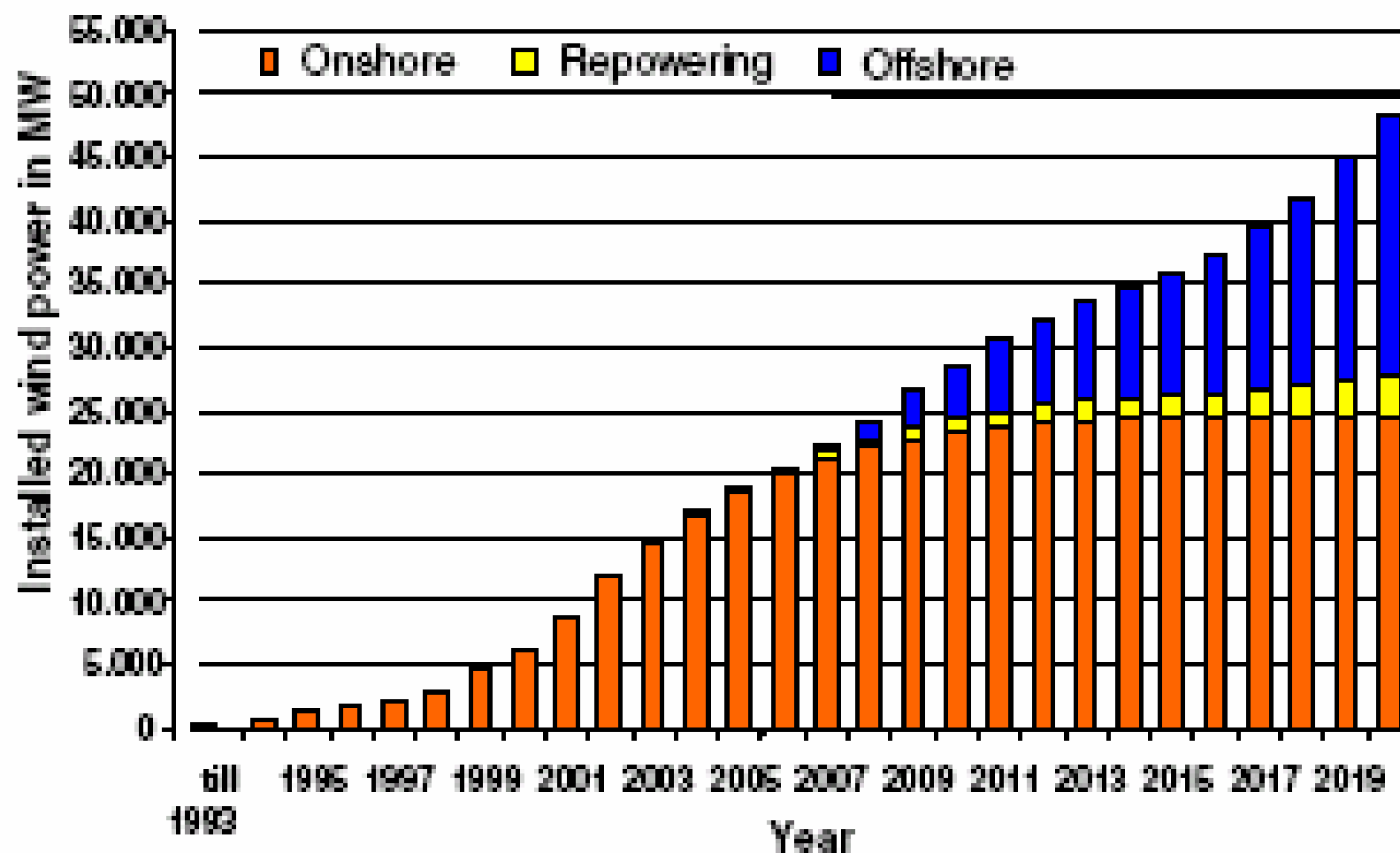


Fig. 1. Development of wind power utilization in Germany

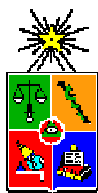


Land Surface Germany: 357.031 km²

Land Surface Chile : 756.950 km²

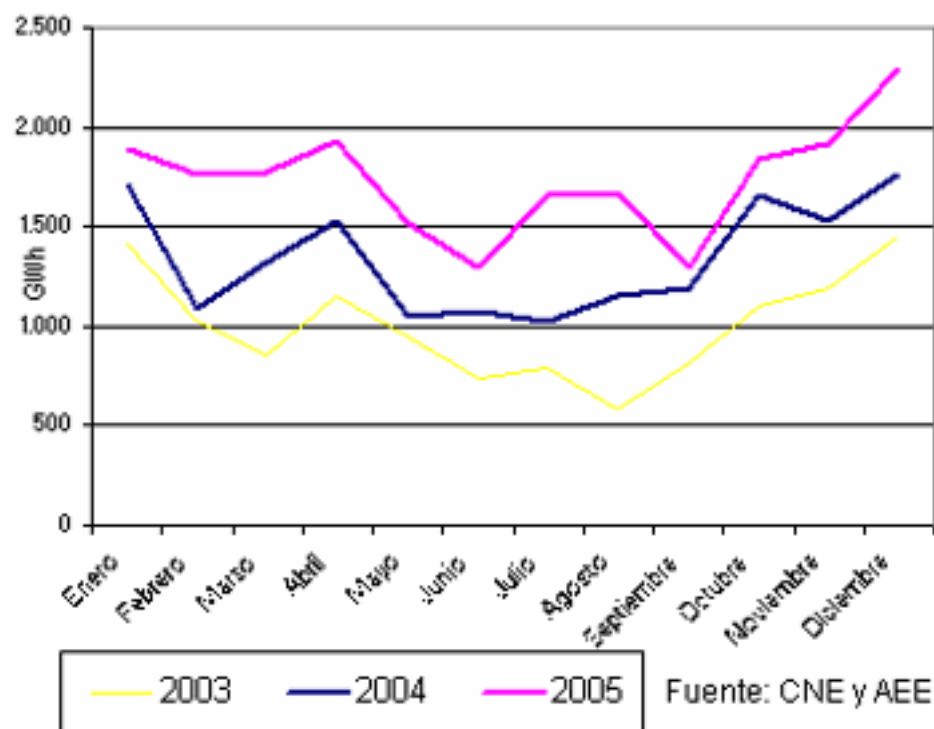
Wind resources, probably the same or better in Chile

Then: Wind power, why not?

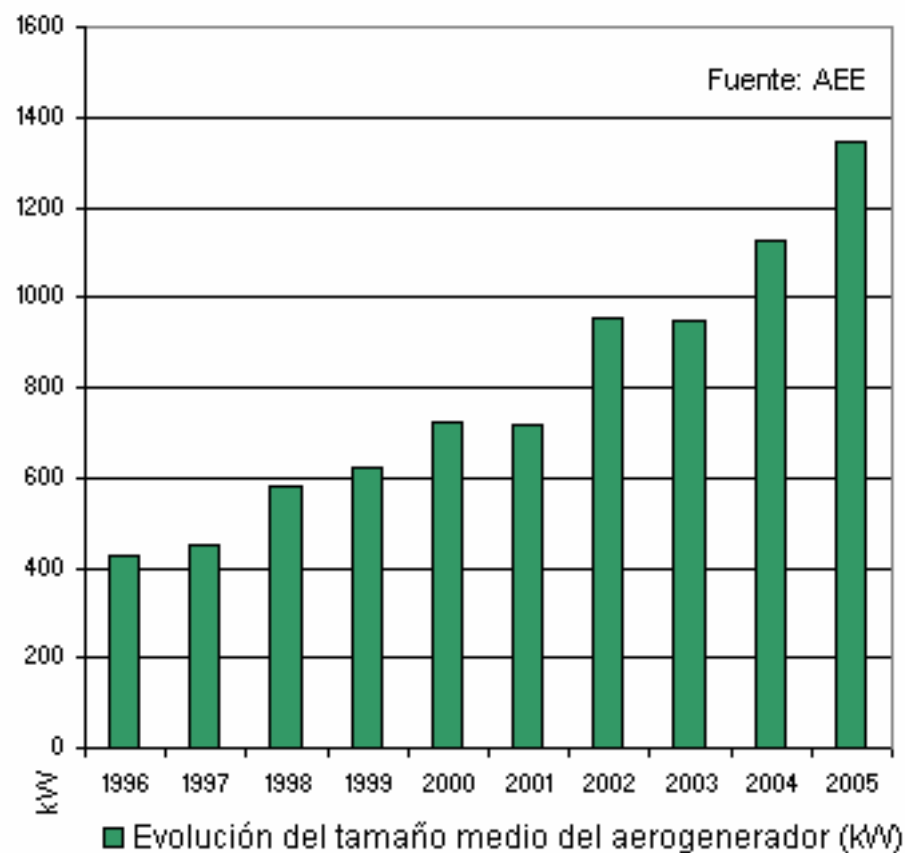


EJEMPLO 2: Energía Eólica en España

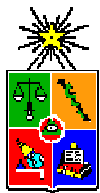
EVOLUCIÓN MENSUAL DE LA GENERACIÓN EÓLICA



EVOLUCIÓN ANUAL DEL TAMAÑO MEDIO AEROGENERADOR



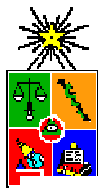
Máx. producción en 7.300 MW, cubriendo el 24% de la demanda eléctrica (30.500 MW).
Aportando potencia el 73% de toda la potencia eólica instalada.



EJEMPLO 2: Energía Eólica en España 2005-2010

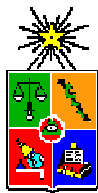
OBJETIVOS:

- **CONTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES DEL 12,1% DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA**
- **LA ENERGÍA RENOVABLE APORTARÁ EL 30,3% DEL CONSUMO BRUTO DE ELECTRICIDAD (10,6% Eólica)**
- **CONSUMO DE BIOCARBURANTES DEL 5,83%**
- **ALCANZAR UNA POTENCIA EOLICA INSTALADA DE 20.155 MW (existen peticiones por parte de las CC.AA. que elevan la cifra a 37.000MW en el 2012). Instalación de unos 2.000 MW/año**
- **APOYOS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES DE 8.495 M€.**
 - **3.536 M€ son ayudas a la inversión**
 - **4.956 M€ en primas a la producción (2.599 M€ para la Eólica)**



RAZONES DEL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

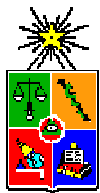
- **Reduce el grado de dependencia exterior del sector energético.** El grado de autoabastecimiento de energía en España es del 24%, el 7% de origen renovable.
- **Ahorro de emisiones de CO₂.** 17 Millones de toneladas de CO₂ en 2003. equivalente a unos 170 Millones de € (derecho de emisión de 10 € /Tn CO₂).
- **Carácter de generación distribuida** Mejora la eficiencia del sistema eléctrico (pérdidas del 10% de la producción eléctrica (2% en redes de transporte, 8% en el paso de red de transporte a distribución).
- **Capacidad de creación de empleo.** Crean **cinco veces más** puestos de trabajo que las tecnologías convencionales, a igualdad de potencia instalada. Lo hacen en áreas rurales contribuyendo al desarrollo y cohesión regional.



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Eólica en Chile

Desarrollo en Chile: 2001, entra en operación la central eólica Alto Baguales (Coyhaique) de la empresa SAESA.

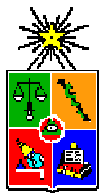
- **Capacidad instalada: 1980 [MW].**
- **Tres turbinas V47 (VESTAS) de 660 [kW] c/u, ubicadas a 40 [m] de altura.**
- **Representa cerca del 10% del sistema de la región de Aysén.**
- **Rotor de 47 [m], tres aspas.**
- **Generador asíncrono, de velocidad variable.**
- **Operan directamente con la red (50 [Hz]).**
- **Requieren de un transformador elevador 690/33000 [V].**



Eólica en Chile

- Tres turbinas V47 (VESTAS) de 660 [kW] c/u, ubicadas a 40 [m] de altura.
- Representa cerca del 10% del sistema de la región de Aysén.
- Rotor de 47 [m], tres aspas.
- Generador asíncrono, de velocidad variable.
- Operan directamente con la red (50 [Hz]).
- Requieren de un transformador elevador 690/33000 [V].



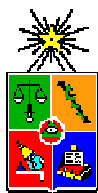


Eólica en Chile

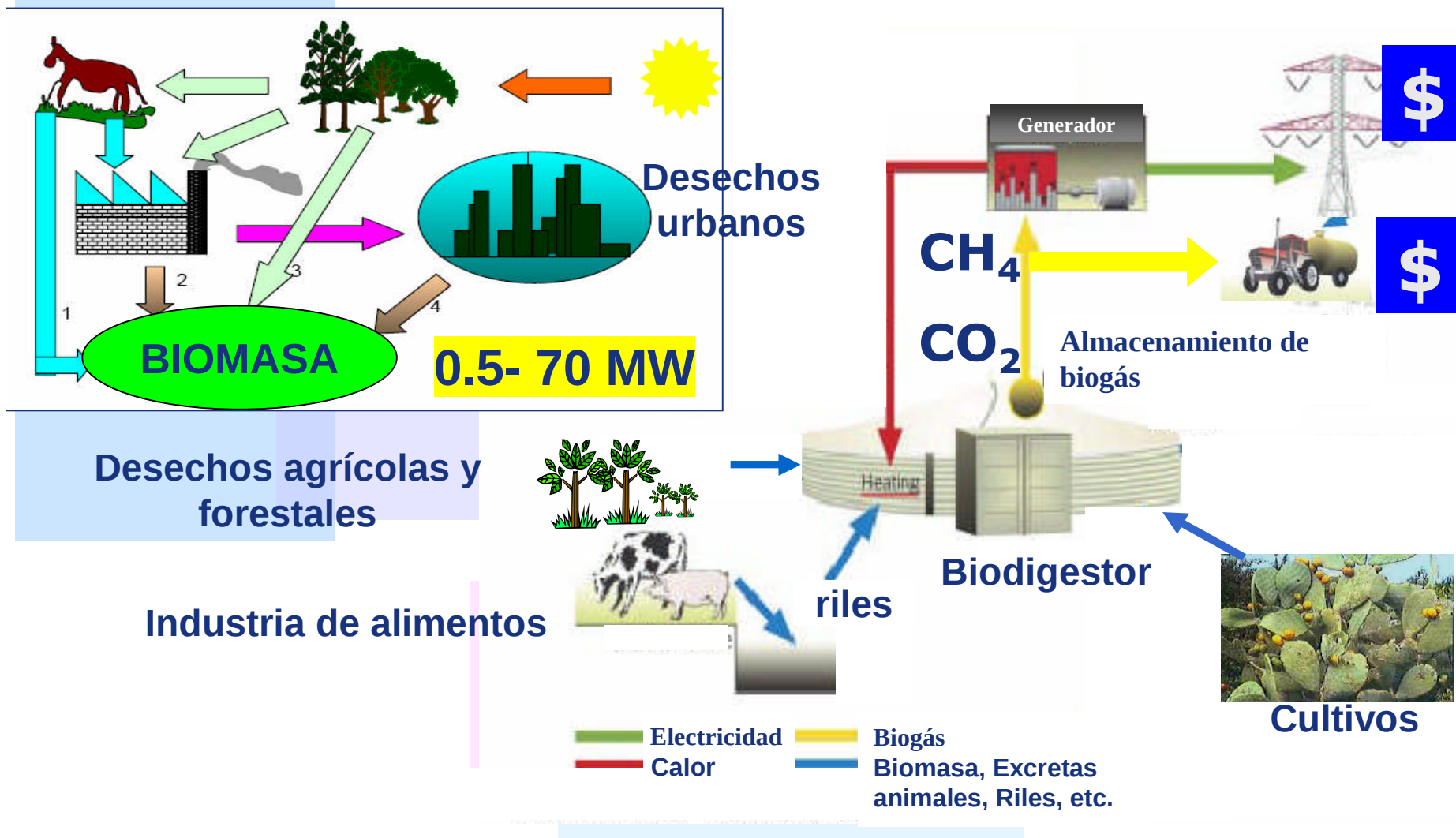
Parque Eólico Canela

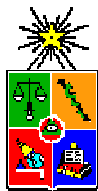
- 18,15 MW
- Consta de once aerogeneradores, con una capacidad de generación de 1,65 MW cada uno.
- Producción media 47.700 MWh (factor de planta 30%)
- Altura de torre 65 m
- Diámetro de rotor 80 m





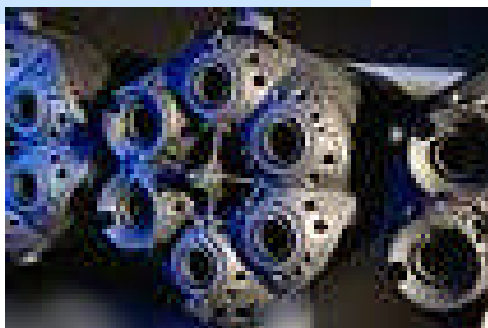
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Biomasa



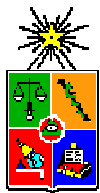


CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Biomasa

Toda la materia viva que hay sobre la tierra tiene su origen en la transformación de ciertas sustancias inorgánicas en orgánicas por parte de las plantas. La energía que utiliza esta fabulosa factoría planetaria es la luz solar. A través de la cadena alimentaria de los distintos seres vivos, incluidos los microorganismos, casi toda la biosfera se nutre de esta captación original de energía.

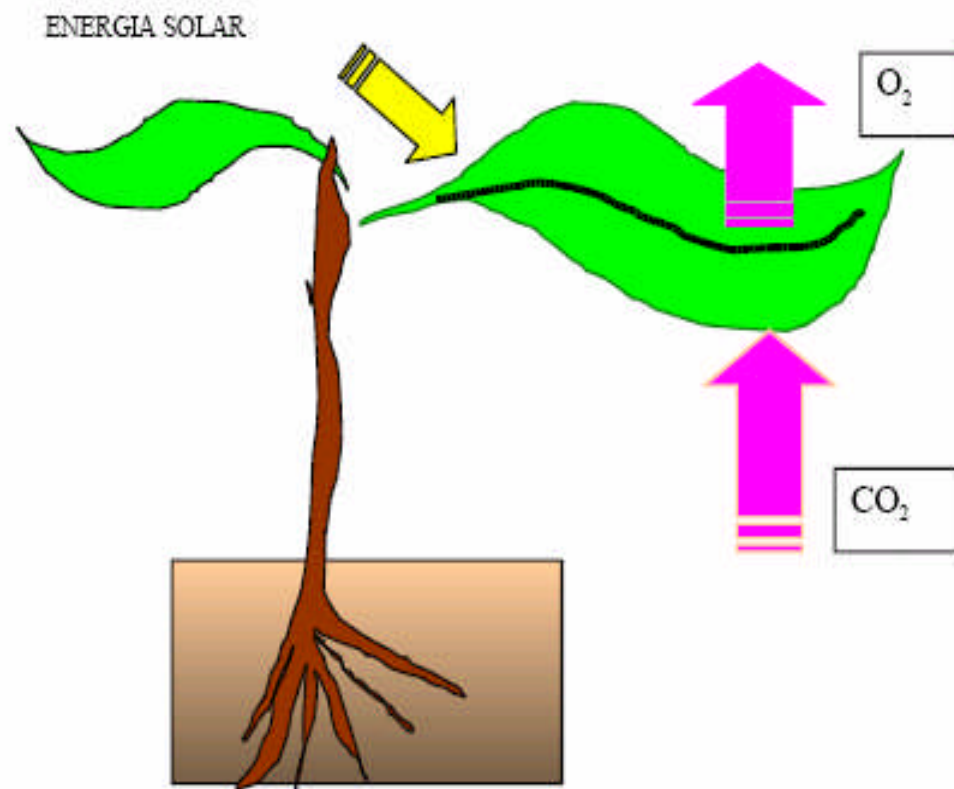


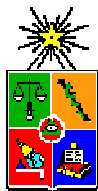
Cuando la materia viva se descompone o se degrada, la energía contenida en ella se libera. Esto ocurre mediante el metabolismo de los alimentos, la descomposición de la materia viva o la combustión de la leña, por ejemplo. Por tanto, podemos decir, que el conjunto de materia viva existente en un momento dado, o biomasa, es un gran depósito energético temporal, cuya magnitud está mantenida a base de un constante flujo de captación y liberación



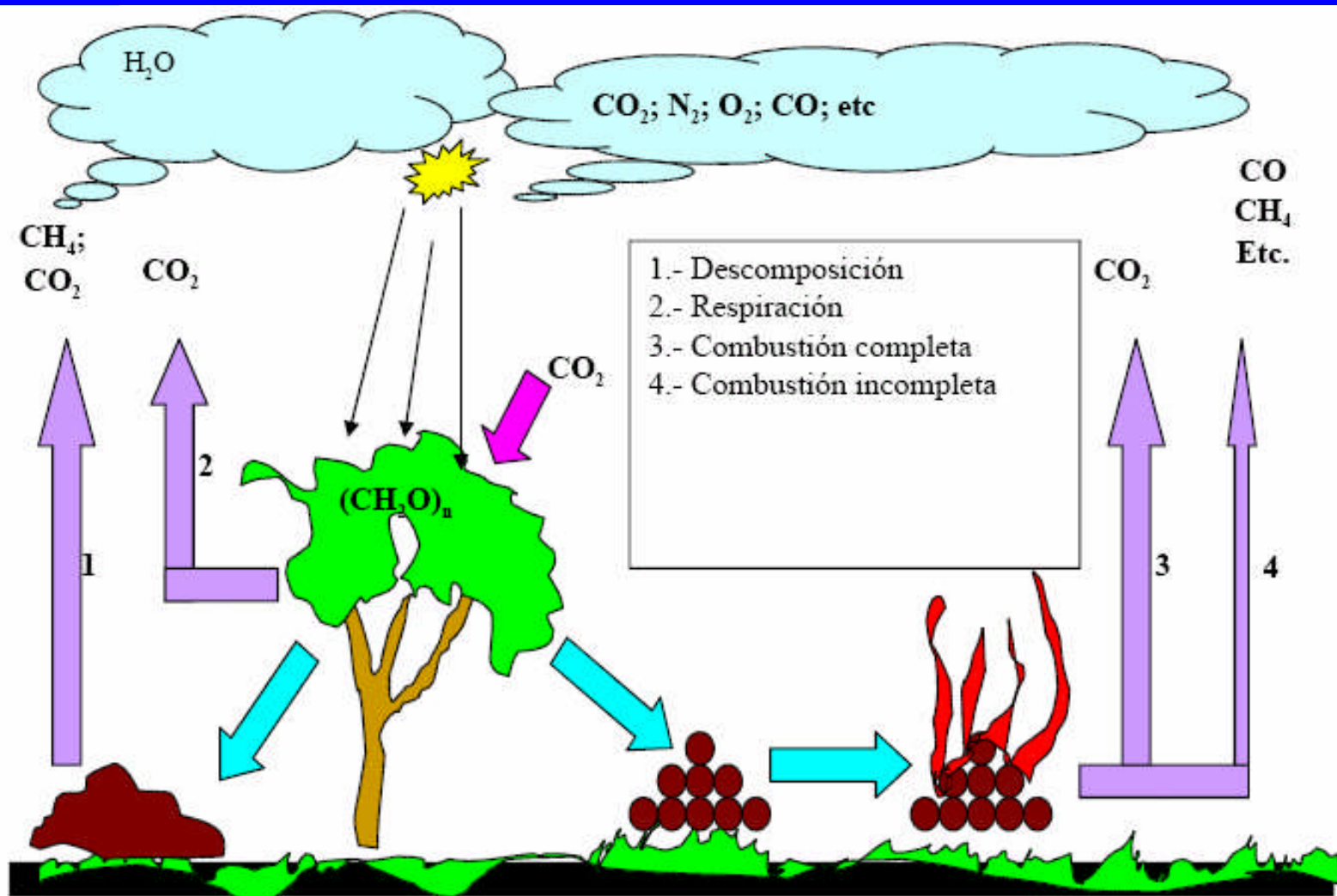
Qué es la Biomasa

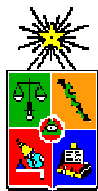
1. Desechos animales
2. Desechos industriales
3. Desechos forestales
4. Residuos Urbanos



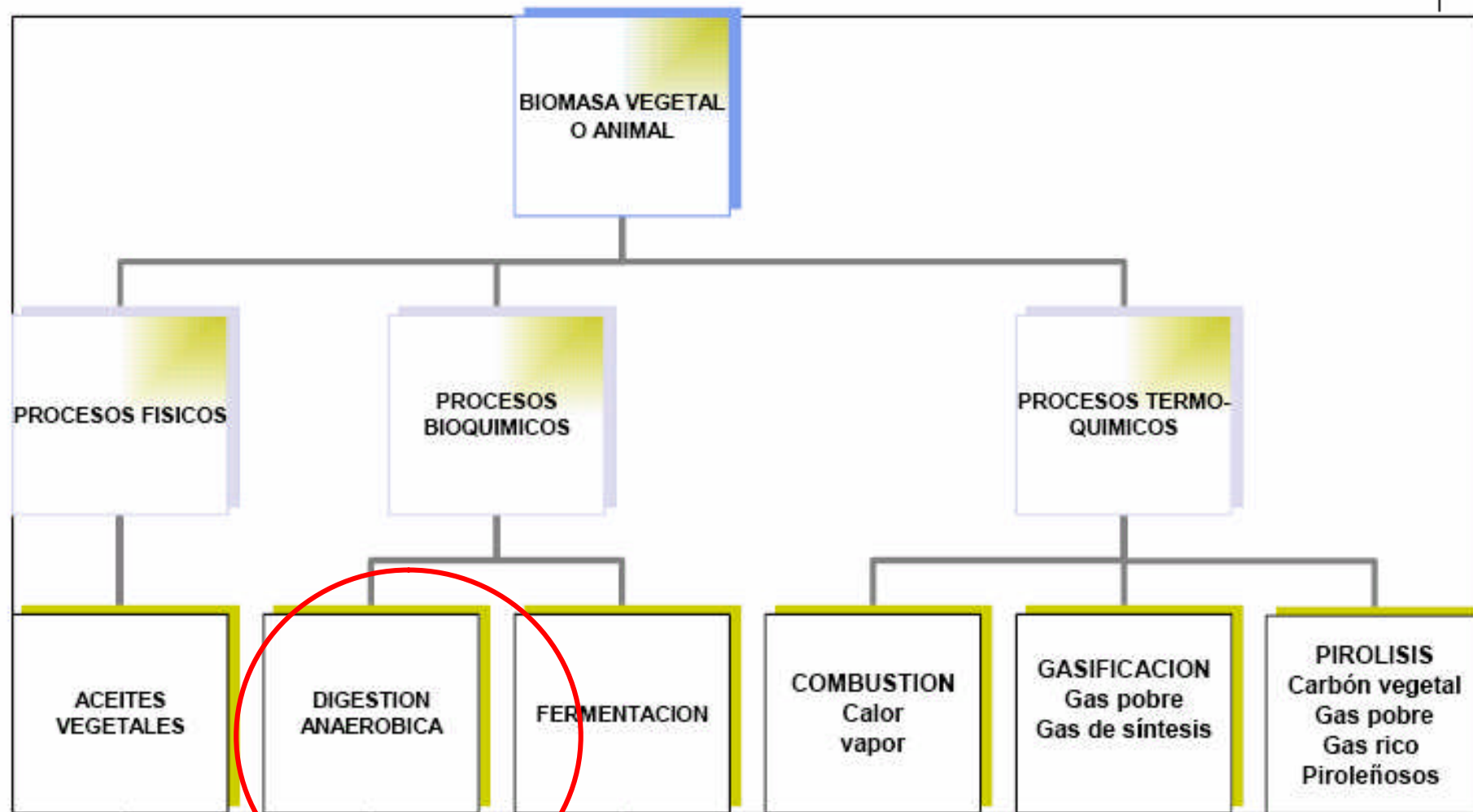


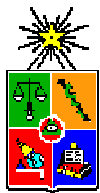
Ciclo del Carbono





Procesos de Recuperación Energética





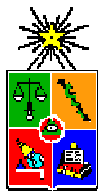
Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



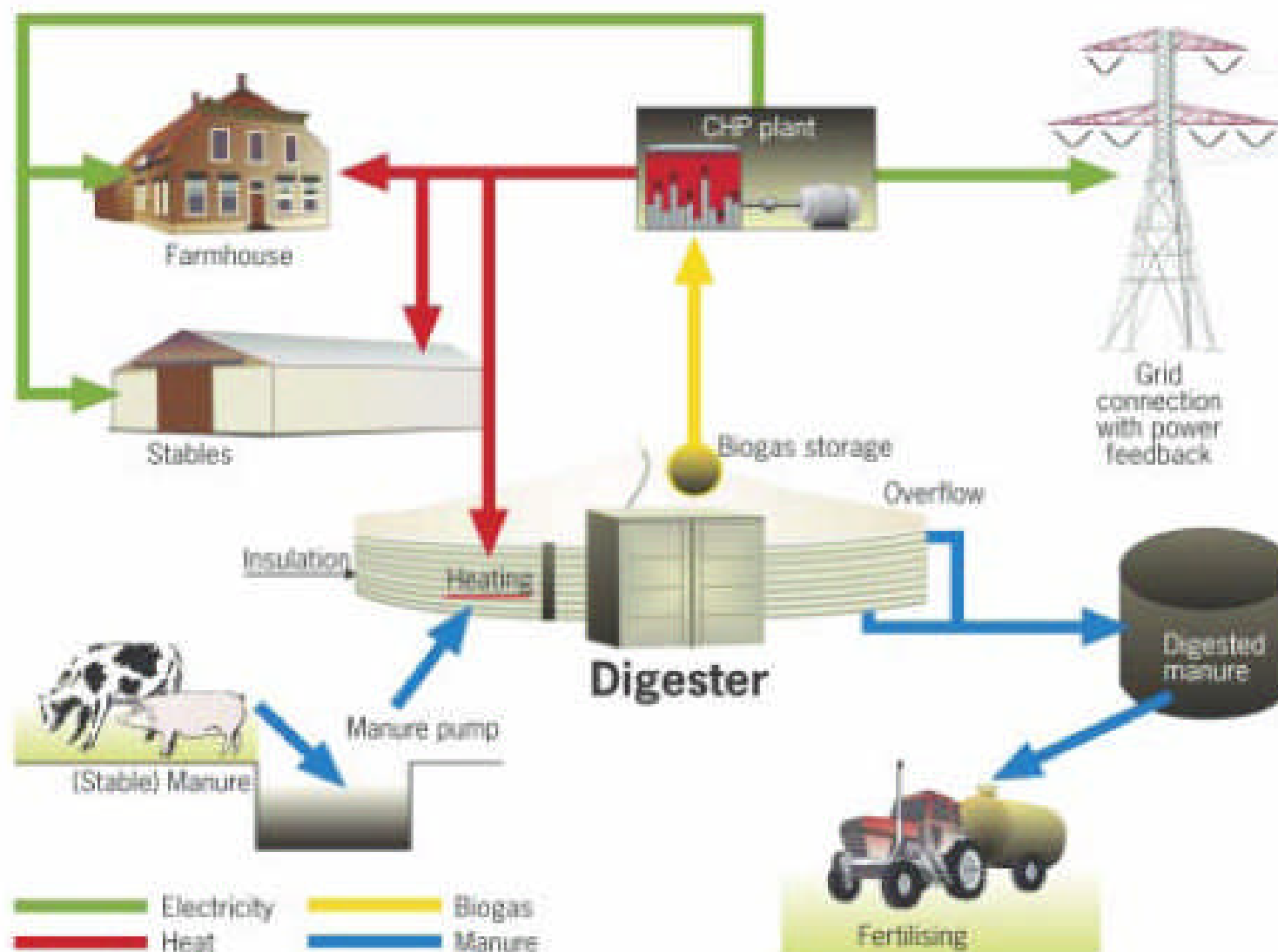
Biodigestores

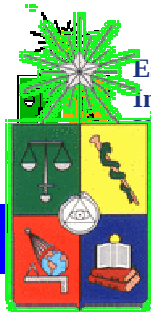
- **Licuefacción**
- **Acidificación**
- **Metano génesis**





Biomasa Animal



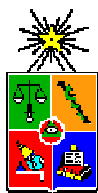


Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



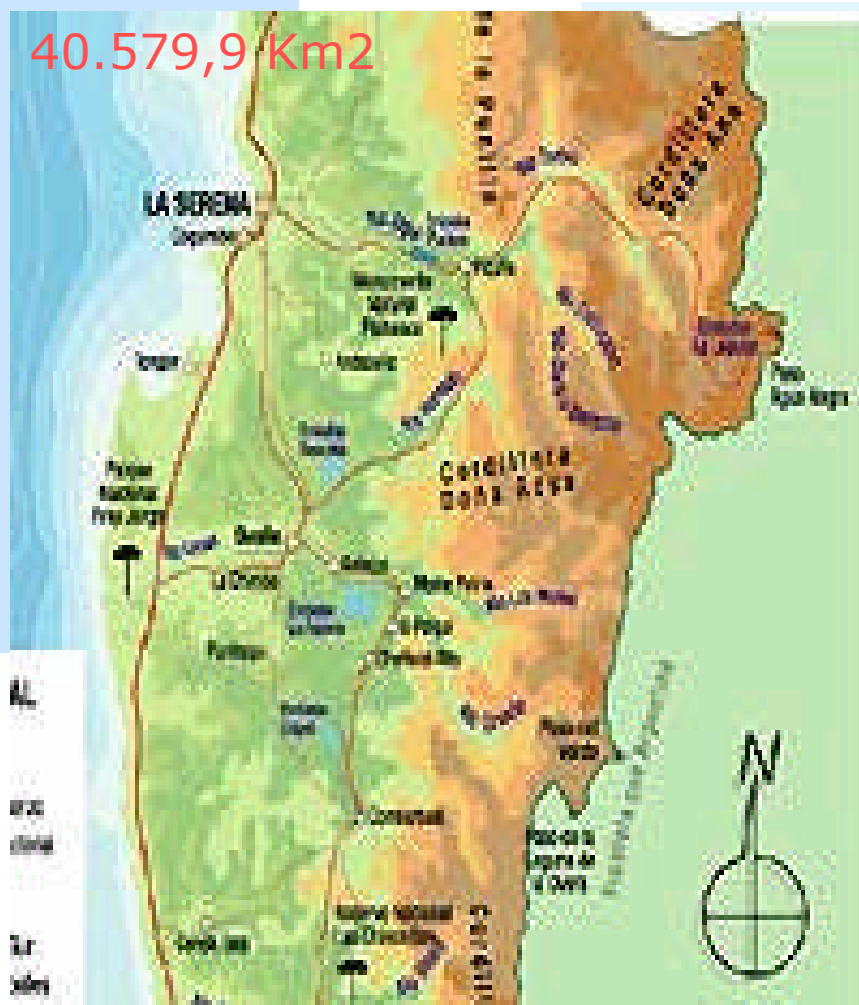
Biomasa Vegetal: Tunales (Nopales)





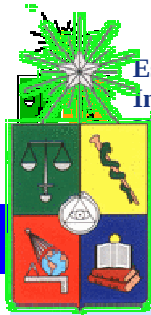
Biomasa Vegetal

40.579,9 Km²



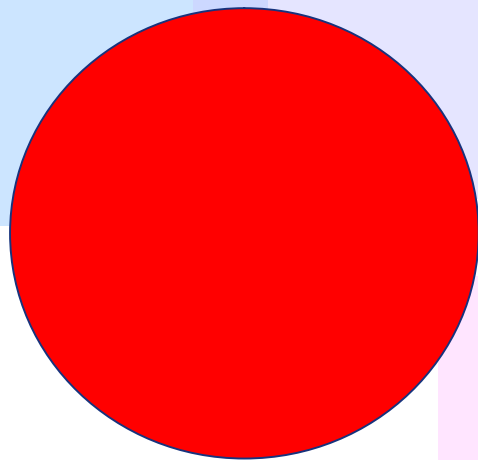
75.176,2 km²





Biomasa Vegetal

- ❖ Estimaciones preliminares dan cuenta que 1 [ha] entregaría entre 2.5 y 7 [kWe] (aprox.)
- ❖ Si 200 has. y plantación normal, en régimen estacionario. Con uso indirecto se puede generar Planta de 500 [kWe].



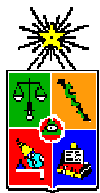
**Ciclo
Combinado
350000 kW**



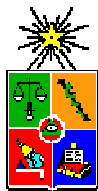
**Minihidro
9000 kW**

- 100 casas
- 38% eficiencia

**Opuntia-
Biomasa
500 kW**



Material	Biogás [m ³ /kg SV]
Carbohidratos	0.750
Lípidos	1.440
Proteínas	0.980
Excretas de cerdos	0.338
Excretas de oveja	0.180
Excretas de cabra	0.100
Paja de trigo	0.458
Paja de maíz	0.642
Cladodios	0.640
Frutos	0.778



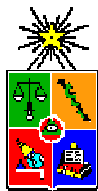
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Biomasa

Desarrollo en Chile- Uso desechos forestales

**Capacidad instalada
134.5 MW**

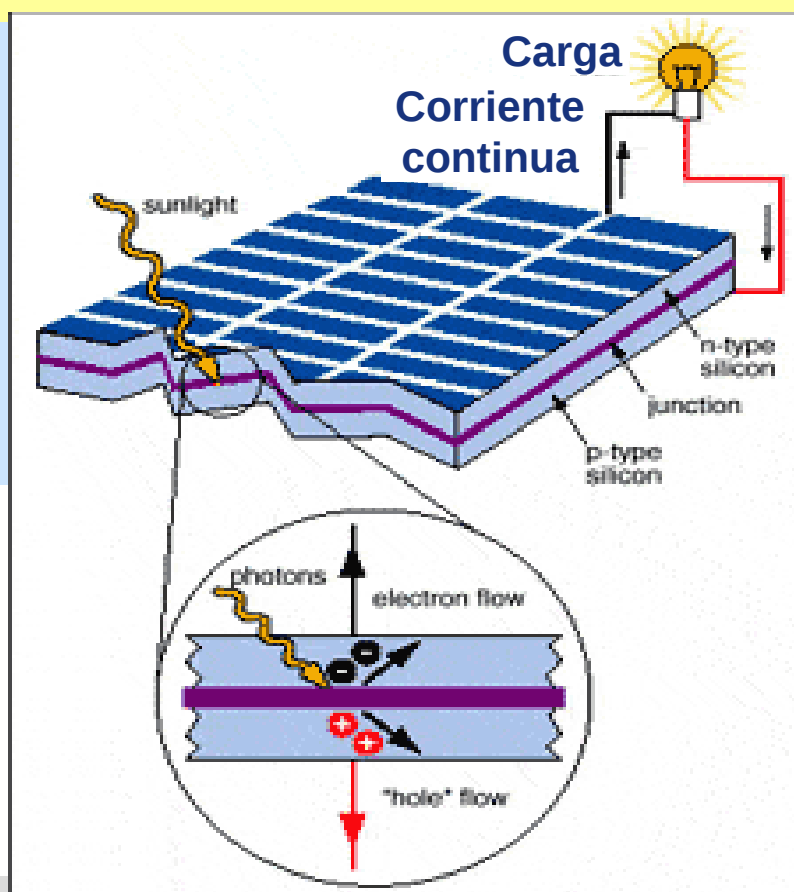
Central	Potencia Neta (MW)	Potencia Mant. (MW)	Tasa de salida forzada (%)	Tipo de Combustible
Arauco 1	12	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Arauco 2	3	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Celco 1	3	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Celco 2	2	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Celco 3	2	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Celco 4	2	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
Celco 5	4	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
licanten0	2	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
licanten1	3.5	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia1	8	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia2	14	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia3	7	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia4	8	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia5	15	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
valdivia6	9	-	3.3%	Biomasa-Licor Negro-Petróleo N°6
cholguan0	9	-	3.3%	Biomasa-Petróleo N°6
cholguan1	4	-	3.3%	Biomasa-Petróleo N°6
Itata I	9	-	3.3%	Biomasa-Petróleo N°6
Itata II	4	-	3.3%	Biomasa-Petróleo N°6
Constitucion	7	-	3.3%	Desechos Forestales
Laja	7	-	3.3%	Desechos Forestales

Generación de metano en algunas empresas de alimentos, pero aún no se genera electricidad



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

• Sistemas Fotovoltaicos



• Sistemas de Energía Solar Concentrada - Solar Termal

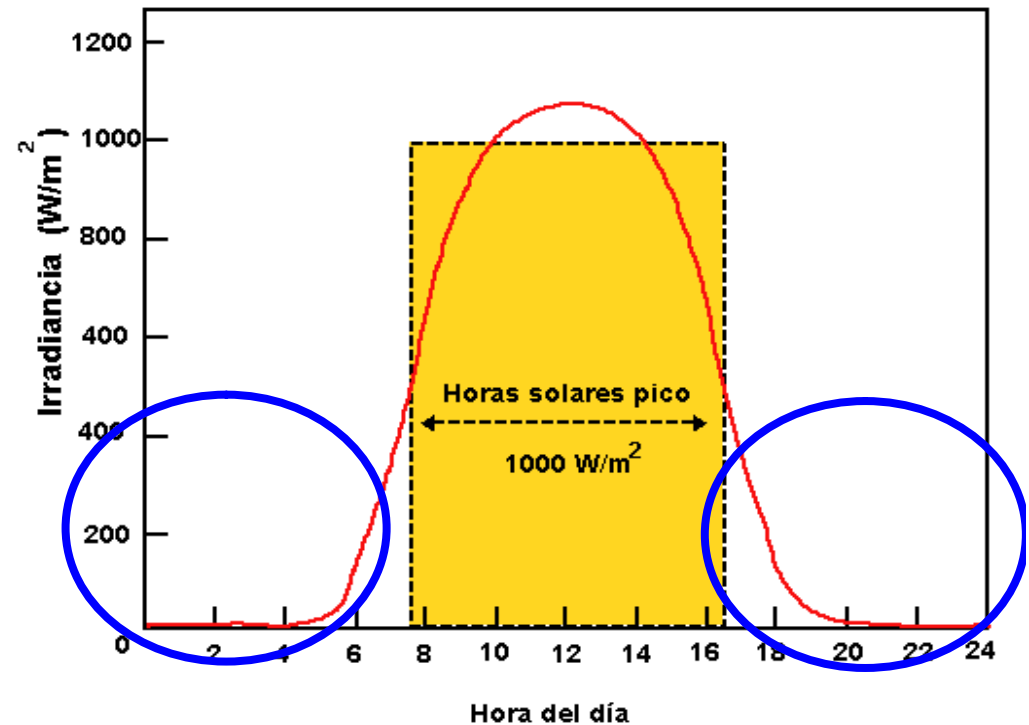


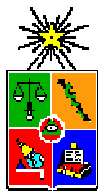
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

- Sistemas Fotovoltaicos
- Sistemas de Energía Solar Concentrada

Ambos comparten las mismas limitaciones:

- Ausencia de energía cuando no hay sol
- Elevados costos
- Tamaño reducido en relación a otras tecnologías



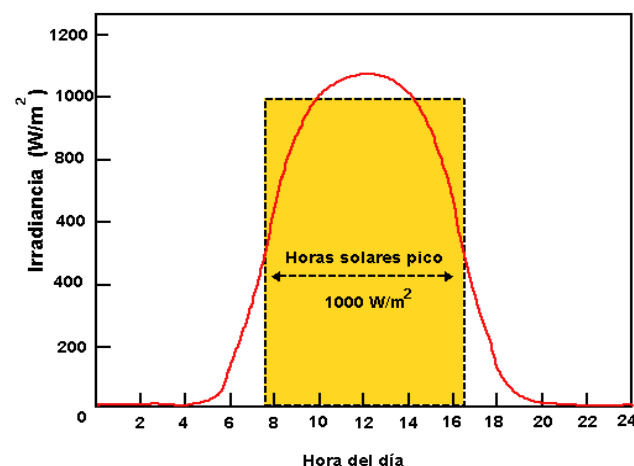


Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile

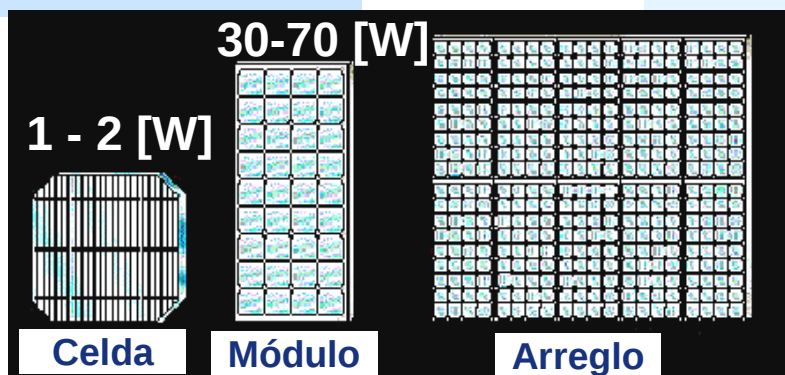


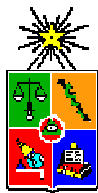
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

Sistemas Fotovoltaicos (PV)



Carga
Corriente
continua

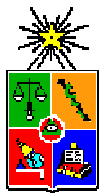




CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: PV

Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

- **Sistemas sin conexión a la red o autónomos:**
 - Rural,
 - Aplicaciones de baja potencia
- **Sistemas híbridos (diesel y FV): Rural**
- **Sistemas conectados a la red**
 - En Chile no hay
 - En el mundo hay a pequeña escala 1-10 MW



Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: PV

10 MW in Pocking, Germany, inaugurada en Abril 27 2006, costo estimado 40 millones de euro





CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: CSP

Sistemas de Energía Solar Concentrada

- Usa el calor solar en forma concentrada
- Calor impulsa generadores
- Tres tecnologías:
 - Máquinas de plato (Dish engine)
 - Tránsito parabólico (parabolic trough)
 - Torre solar (solar tower)

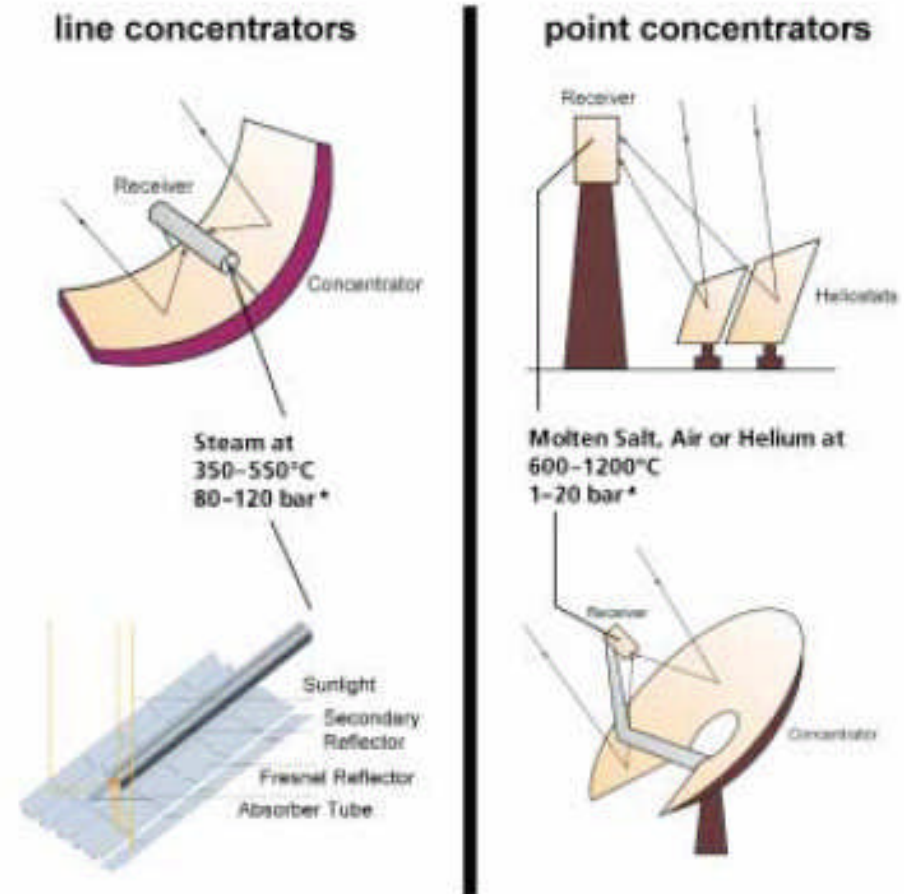
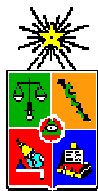


Figure 1 Technologies for concentrating solar radiation: left side parabolic and linear Fresnel troughs, right side central solar tower receiver and parabolic dish (Source: DLR)



Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

Sistemas de Energía Solar Concentrada



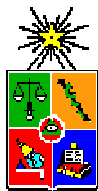
Figure 4 Parabolic trough concentrating solar collector field of the 150 MW (5×30 MW) steam cycle solar electricity generating systems at Kramer Junction, California (Source: KJC)



Figure 6 The EURO-DISH parabolic dish concentrator with a Stirling motor-generator in the focal point at the CIEMAT solarthermal test centre Plataforma Solar de Almería, Spain (Source: SBP)

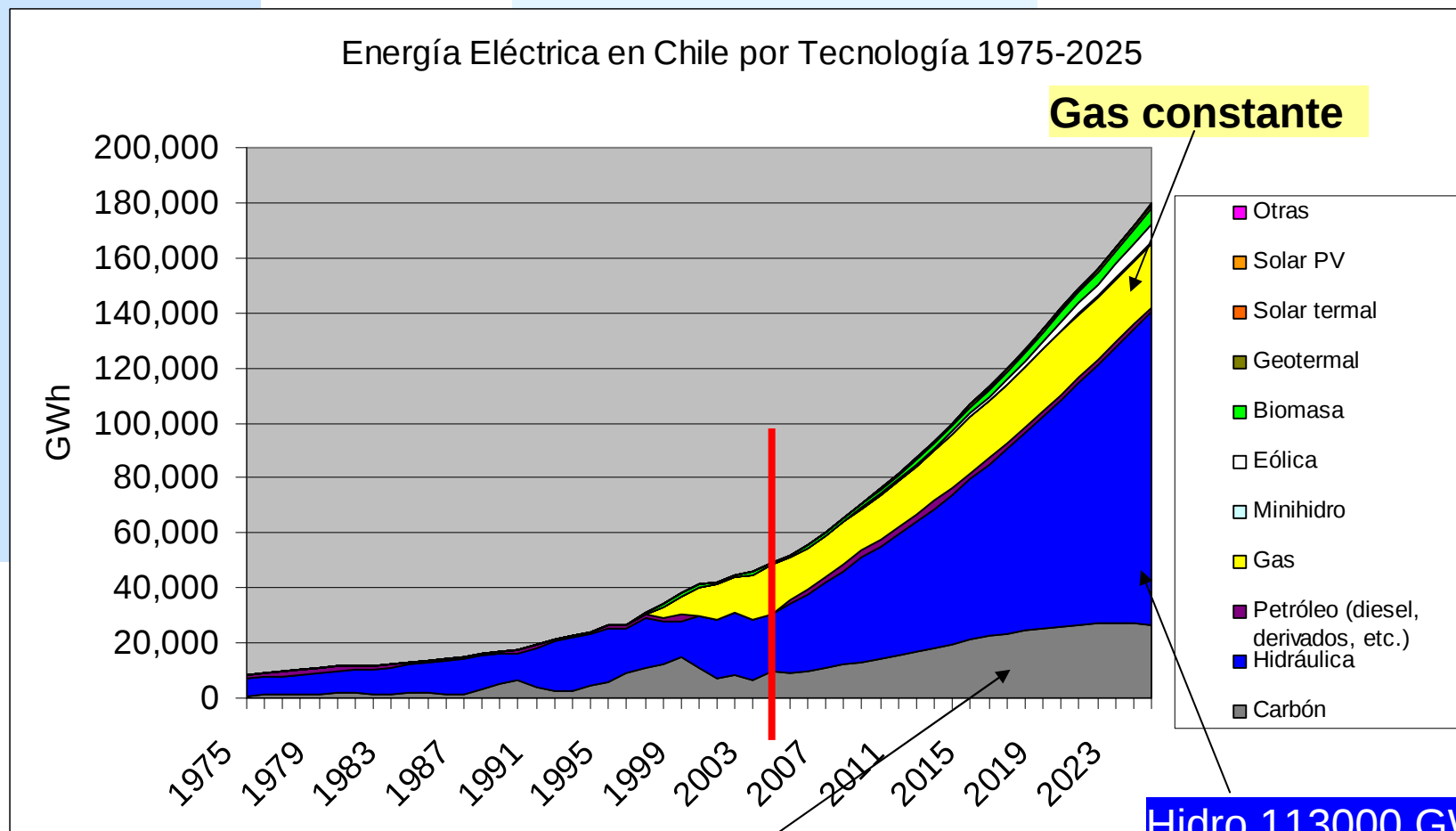






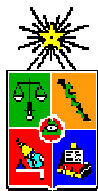
TENDENCIA EN CHILE

CASO BASE- SITUACION ACTUAL SIN CAMBIOS



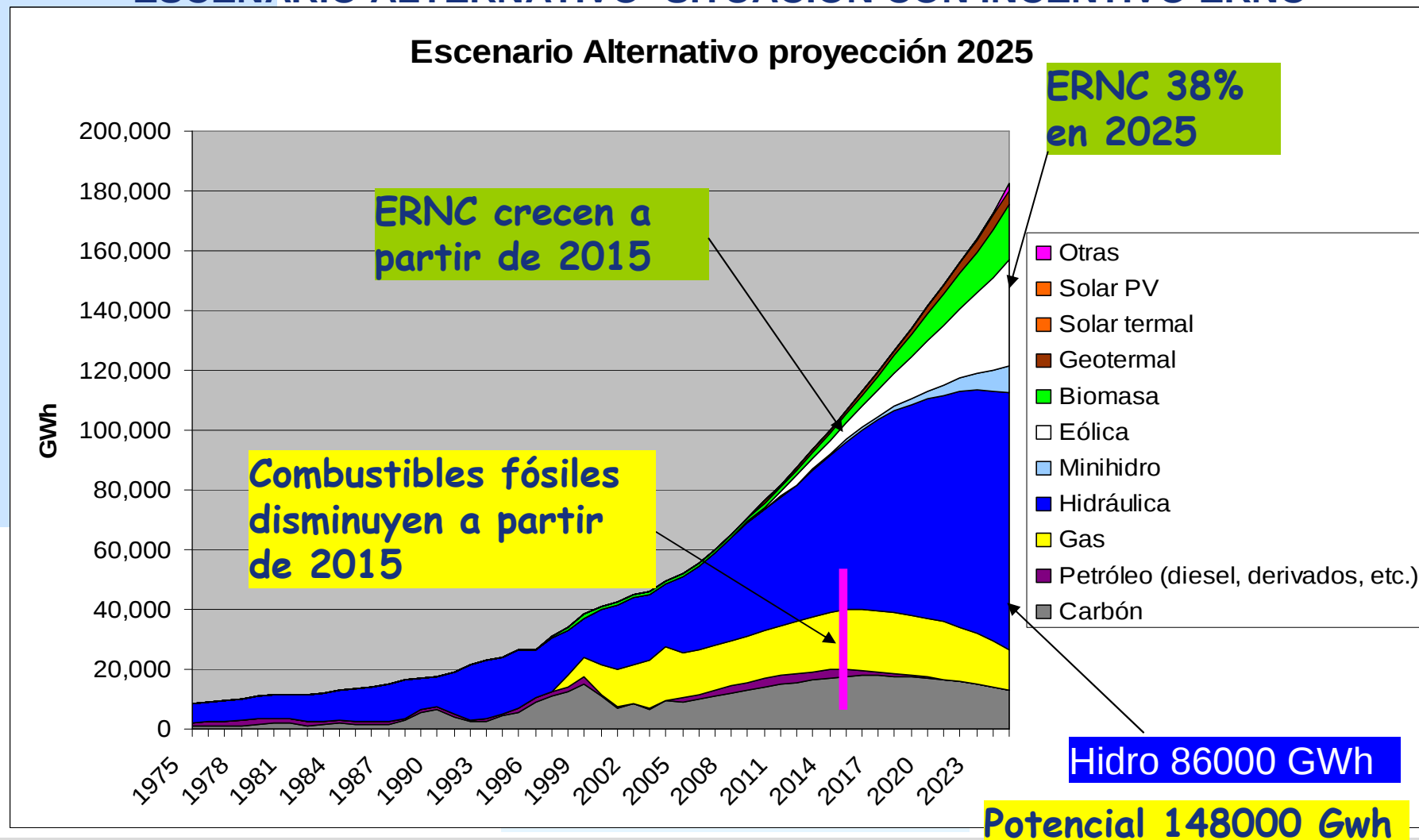
Aumento de carbón moderado

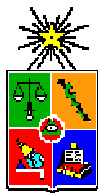
Potencial 148000 GWh



TENDENCIA EN CHILE

ESCENARIO ALTERNATIVO- SITUACION CON INCENTIVO ERNC





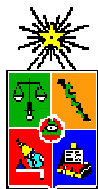
Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

- En el desierto Mojave de California.
- En operación por dos décadas
- 9 plantas con un total de 350 MWe





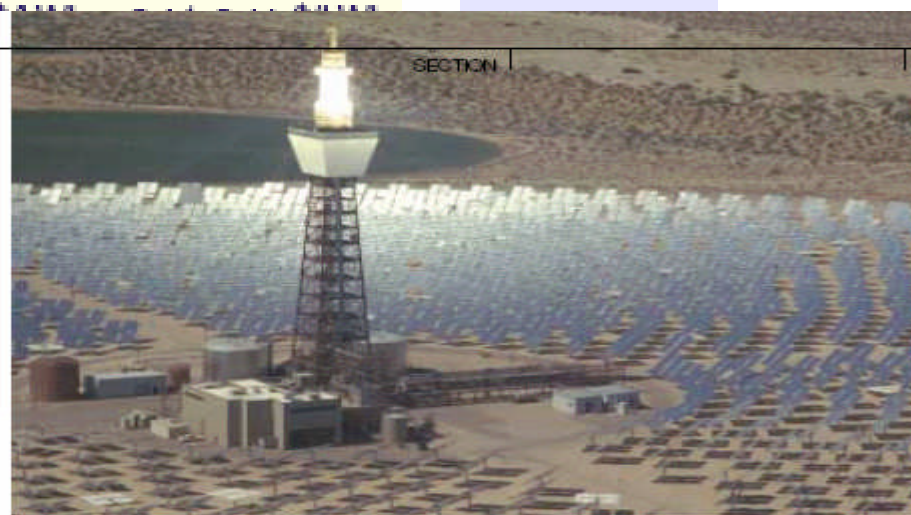
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

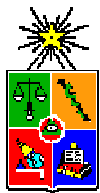
Sistemas de Energía Solar Concentrada

Name	SEGS I-II	SEGS II-VII	SEGS VIII-IX
Site	Daguerre	Kramer Junction	Harper Lake
Capacity	14 + 30 MW	5 x 30 MW	2 x 60 MW
Commissioning year	1985-1986	1987-1989	1990-1991
Annual solar-electric efficiency	9.5-10.5%	11.0-12.5%	13.8%
Maximum working temperature	307-350°C	370°C-390 °C	390°C
Investment	3800-4500 \$/kW _{el}	3200-3600 \$/kW _{el}	2890 \$/kW _{el}
Electricity cost	0.27-0.18 \$/kWh		
Annual output	30 GWh/y + 80 GW		

Table 2 Data for the nine commercial solar

Figure 7 Solar II central receiver plant in Barstow, California (Source: SNL)





Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



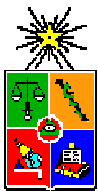
PROYECTO de 500 MW

*Stirling Energy Systems, Inc.
will result in 20,000+ dish array,
covering 4,500 acres, and
capable of generating 500 MW*



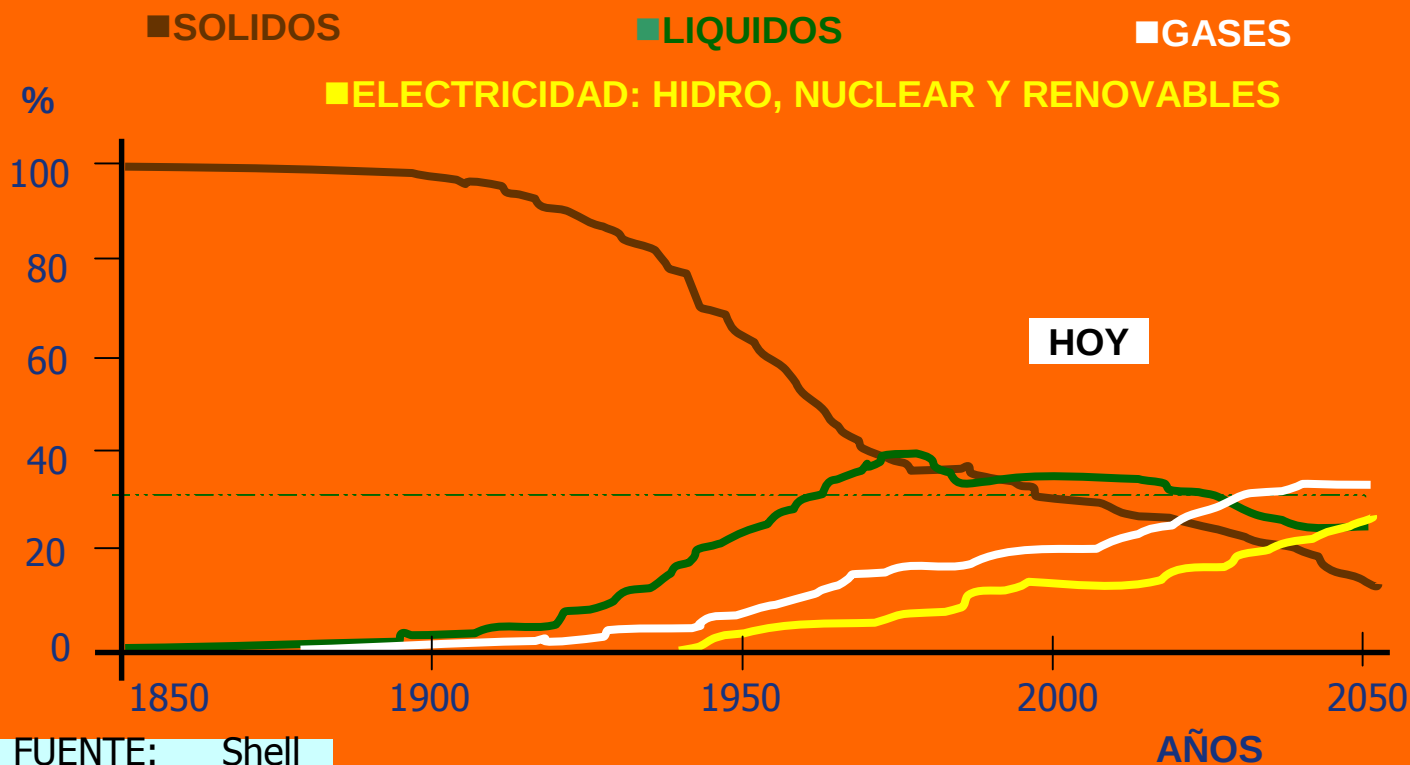
**20,000-dish array is to be constructed
near Victorville, California, during a
four-year period, starting in early 2008.**



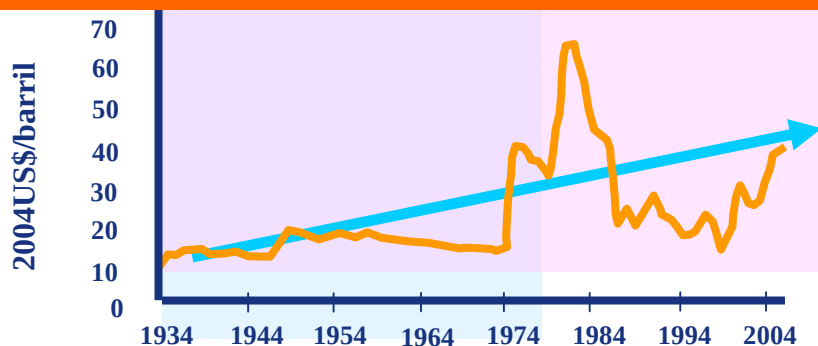


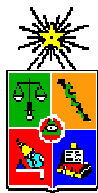
TENDENCIA MUNDIAL

CONSUMO DE ENERGIA EN EL MUNDO



- SOLIDO A GAS EN MENOS DE 100 AÑOS
- ELECTRICIDAD ES CRECIENTE





Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



TENDENCIA MUNDIAL

Fuente: Tom Starrs, Vice President, The
Bonneville Environmental Foundation, Solar
Energy Conference, San Diego, Sept. 2005

