

# REACHING A COMMON UNDERSTANDING: USING SOLAR ATLASES IN BRAZIL AND CHILE

J. M. Cardemil  
[cardemil@lepten.ufsc.br](mailto:cardemil@lepten.ufsc.br)

January 2012

Abu Dhabi

# LEPTEN

2

Laboratory of Energy Conversion  
Processes and Energy Technology

Department of Mechanical Engineering  
Federal University of Santa Catarina  
Florianópolis  
Brazil

Prof. Sergio Colle – Head

F: +55-48-37219379

E-mail: [colle@emc.ufsc.br](mailto:colle@emc.ufsc.br)

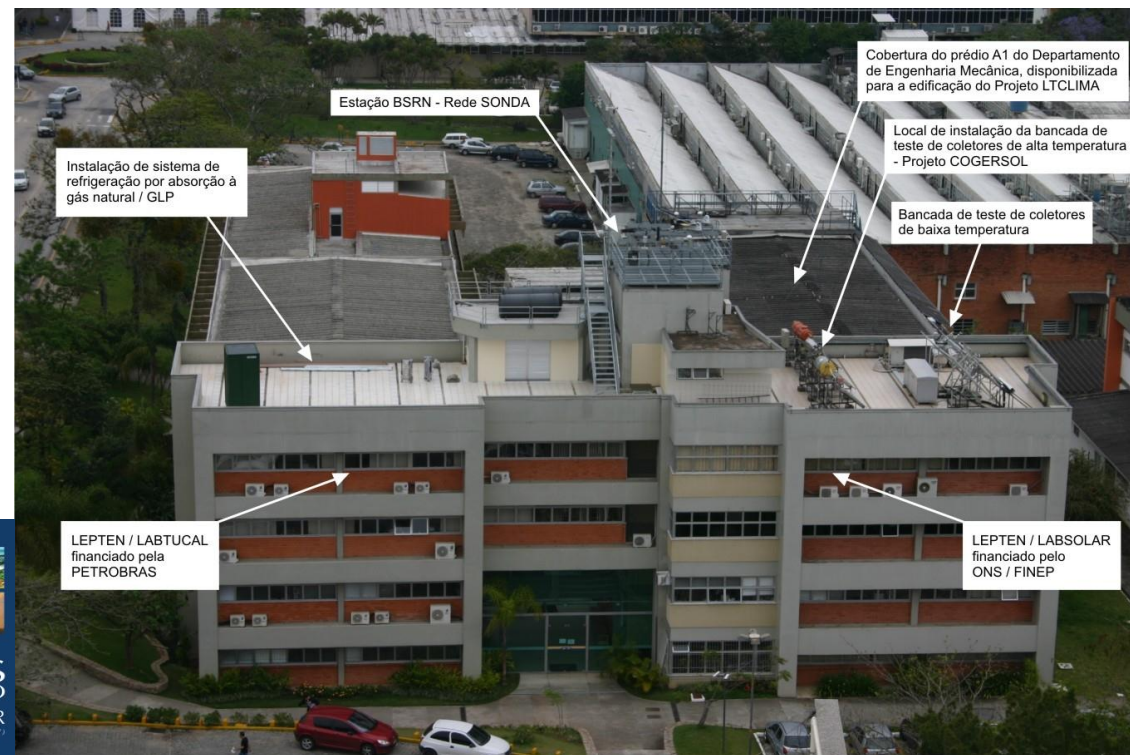
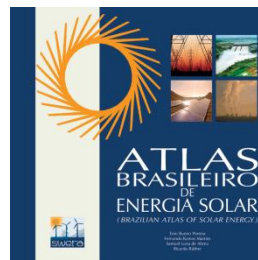
SWERA

Brazilian Atlas of Solar Energy

BSRN

**LEPTEN**  
LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA DE PROCESSOS  
DE CONVERSÃO E TECNOLOGIA DE ENERGIA

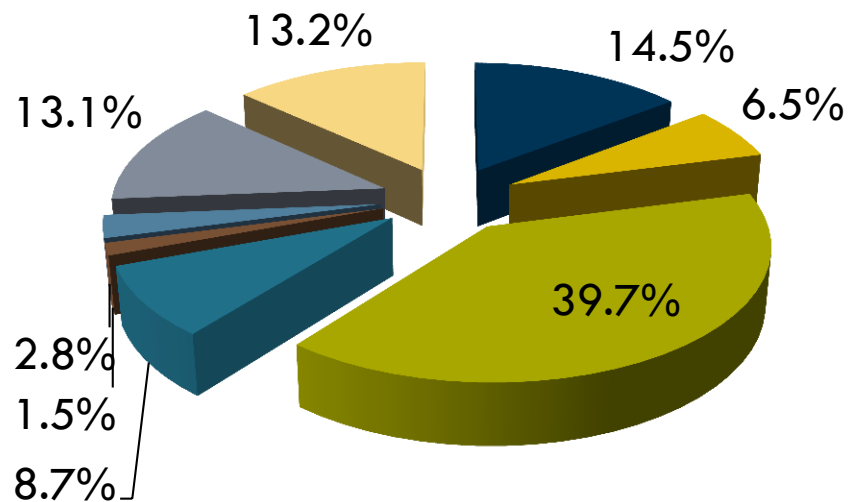
J.M. Cardemil



# Brazilian energy matrix

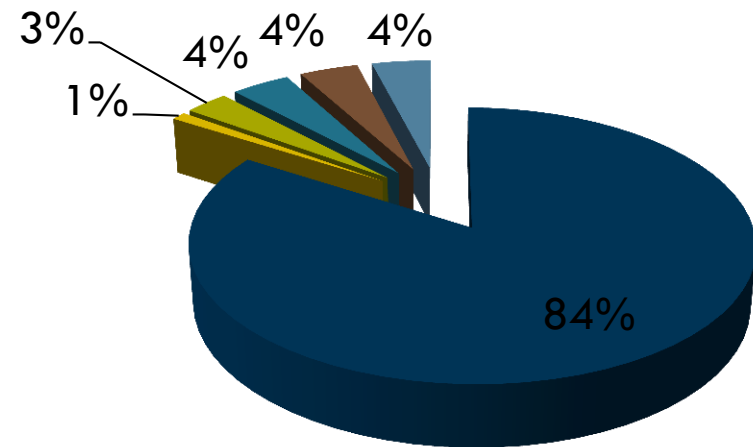
3

## Brazilian energy matrix



- Hydro
- Coal
- Oil
- Natural Gas
- Nuclear
- Other renewables
- Biomass
- Sugarcane

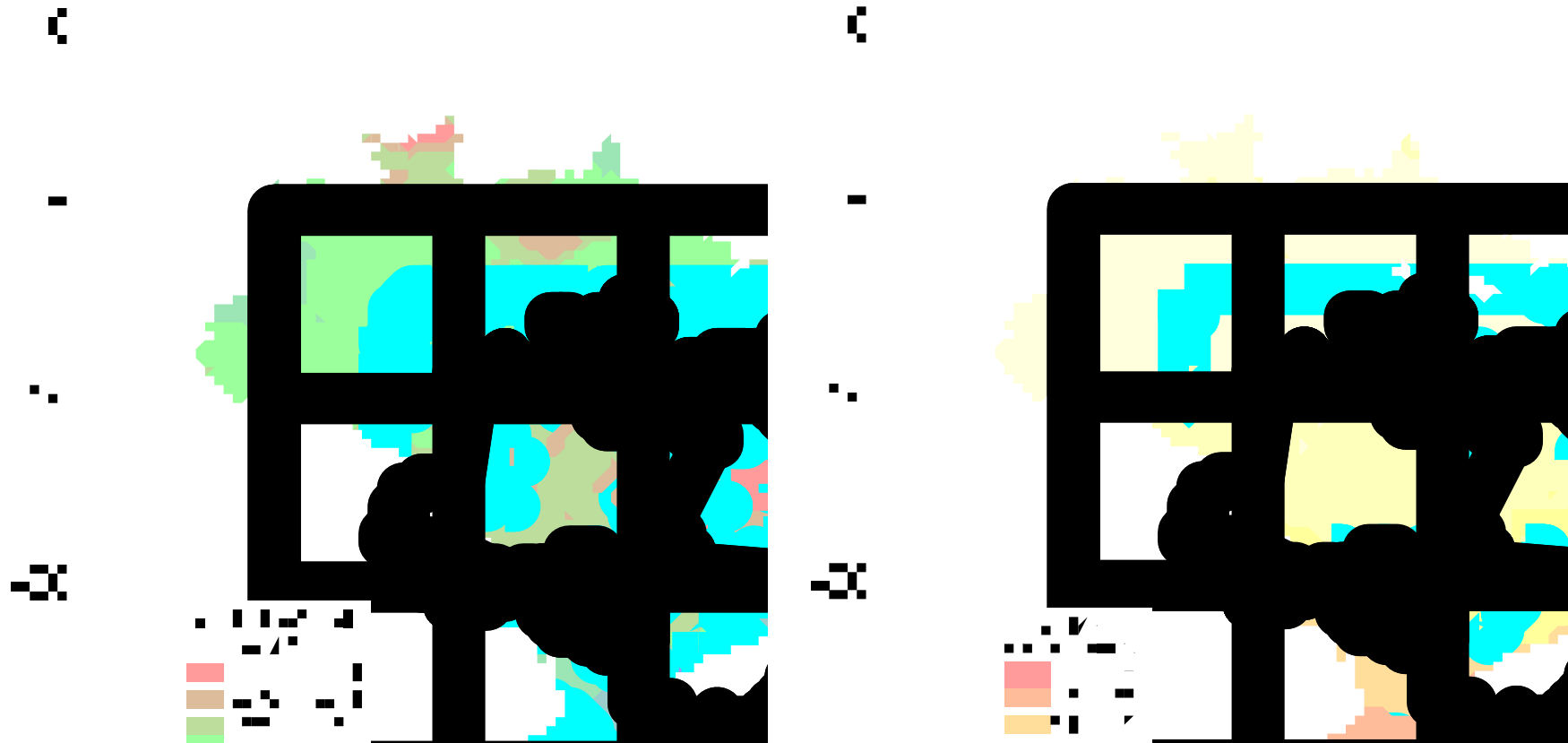
## Brazilian electric power matrix



- Hydro
- Coal
- Diesel
- Natural Gas
- Nuclear
- Other Renewables

# Solar resource

4

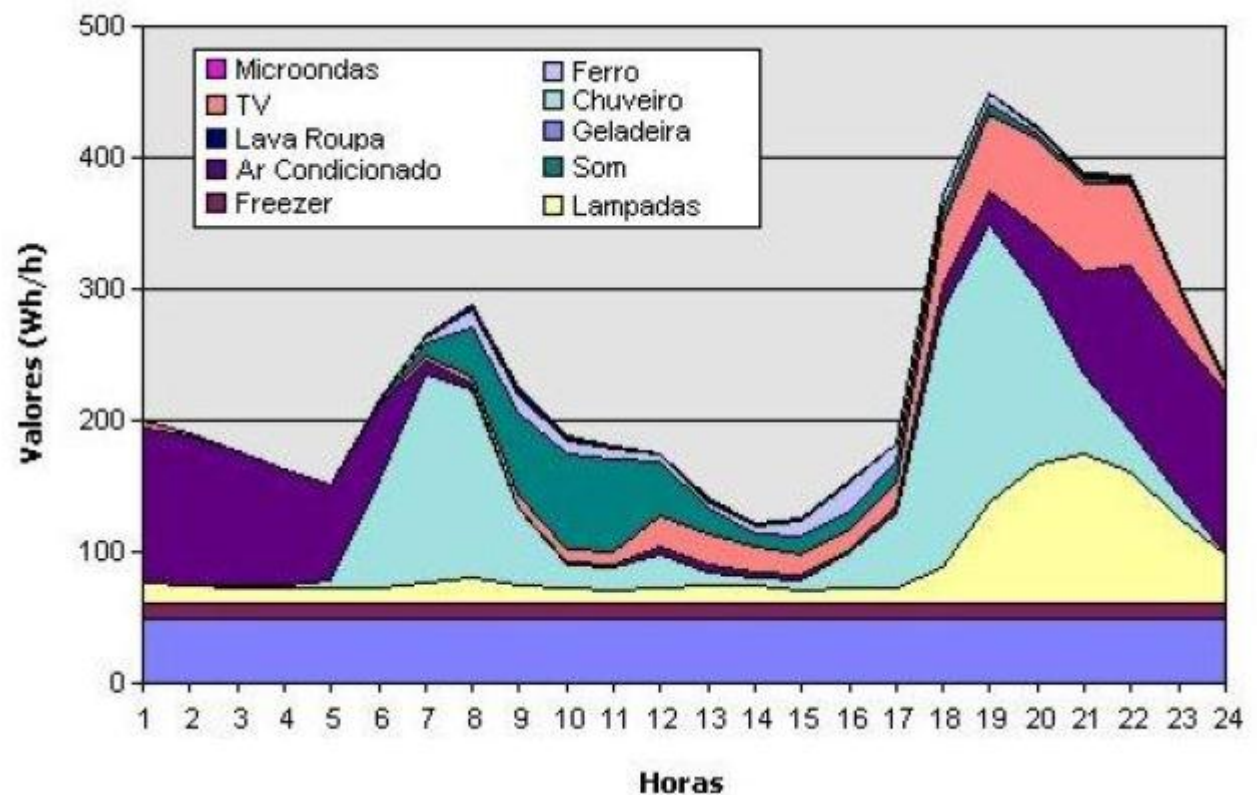


Monthly means distribution of incoming global radiation ( $\text{Wh/m}^2$ ) and yearly variability (right) over Brazil

# Electricity demand

5

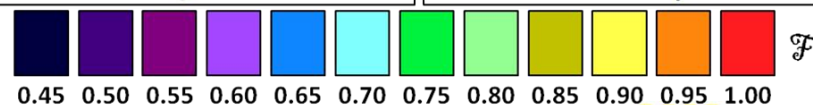
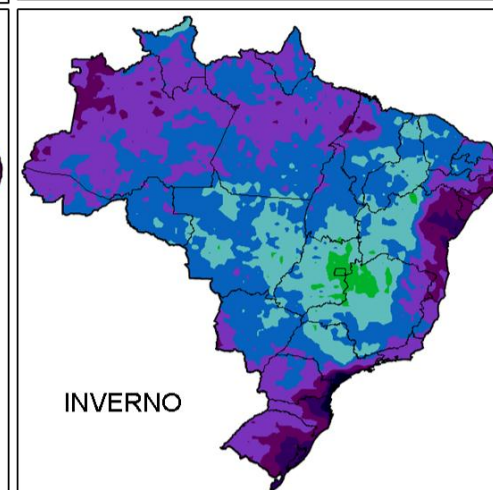
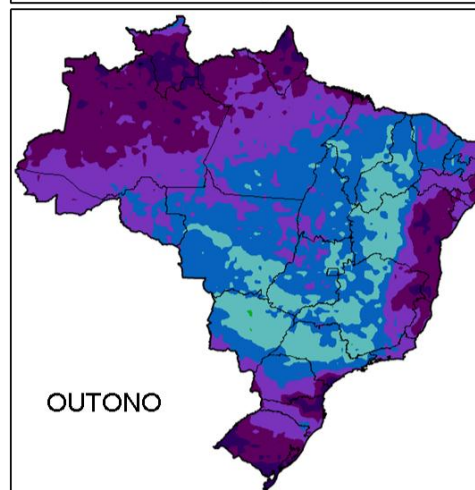
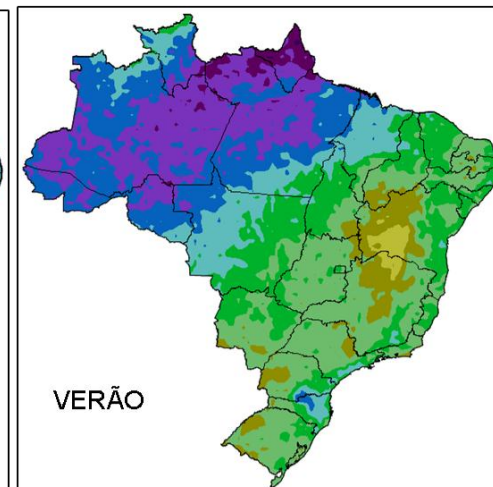
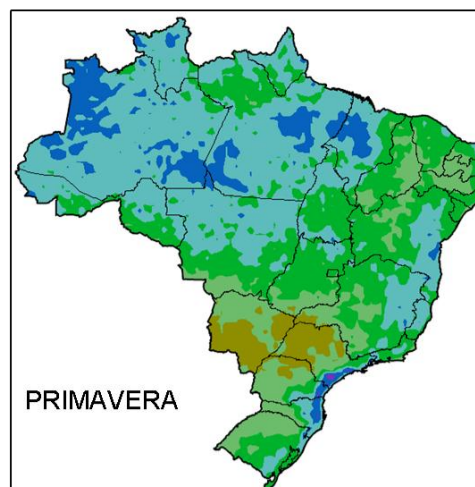
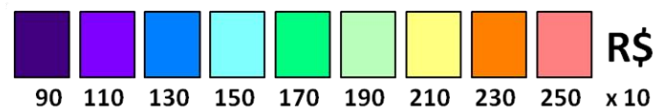
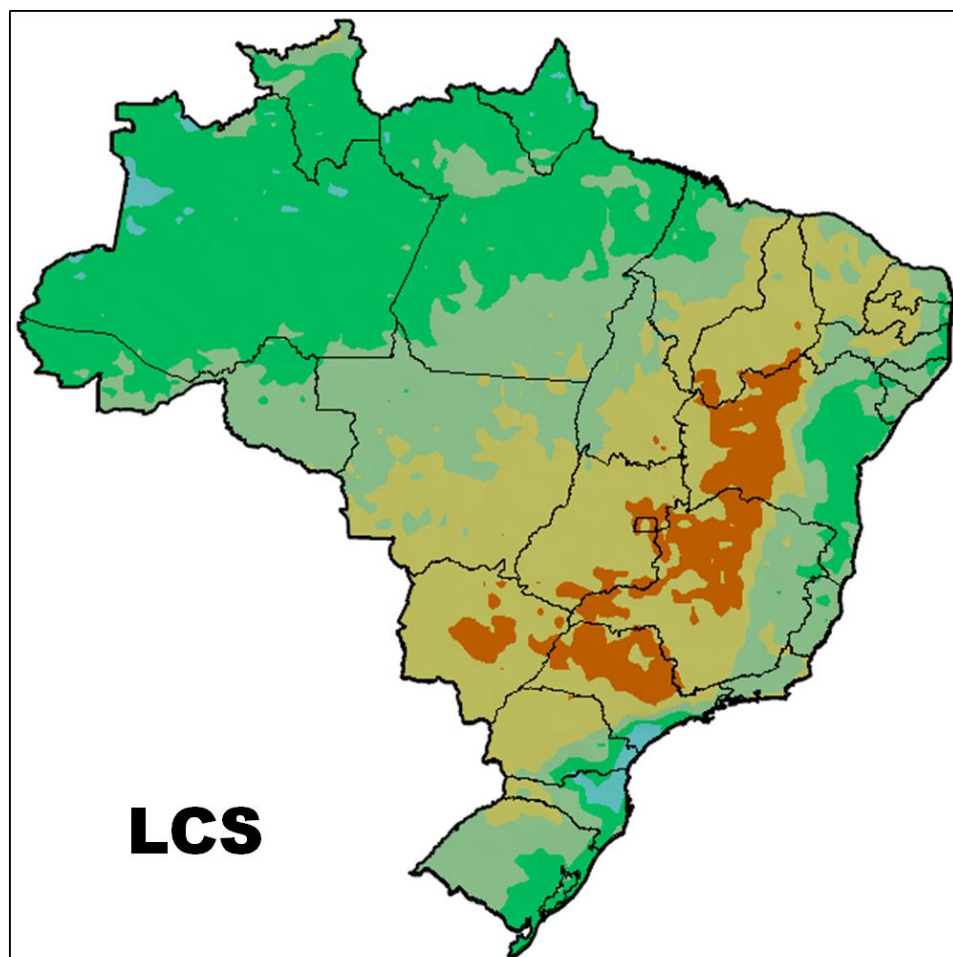
- Big peak of demand due to electric shower heads
- Concessionaires must reserve 25% of the installed power because of that peak
- Increase the cost of electricity





# Solar water heating

6



# Solar water heating: Experiment

7

- 90 houses studied  
60 with solar water heating and 30 with common electric shower heads
- Consumption profiles
- TRNSYS simulations





# Social Housing

8

- National policy
- Private investor:  
FISCHER
- Solar-assisted water heating:  
2m<sup>2</sup> of flat plate collector and backup tank of 150 liters





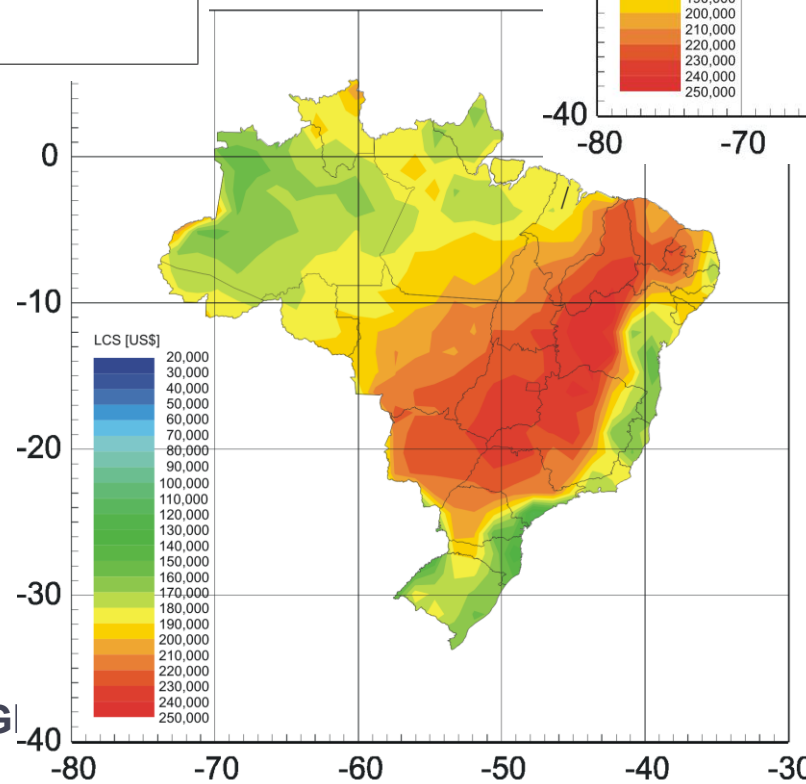
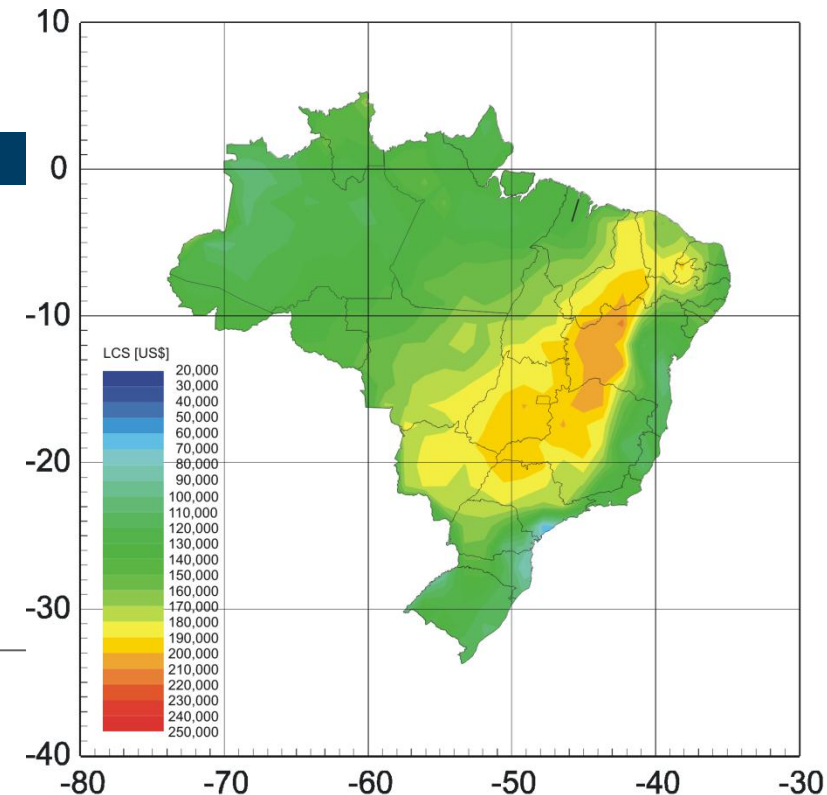
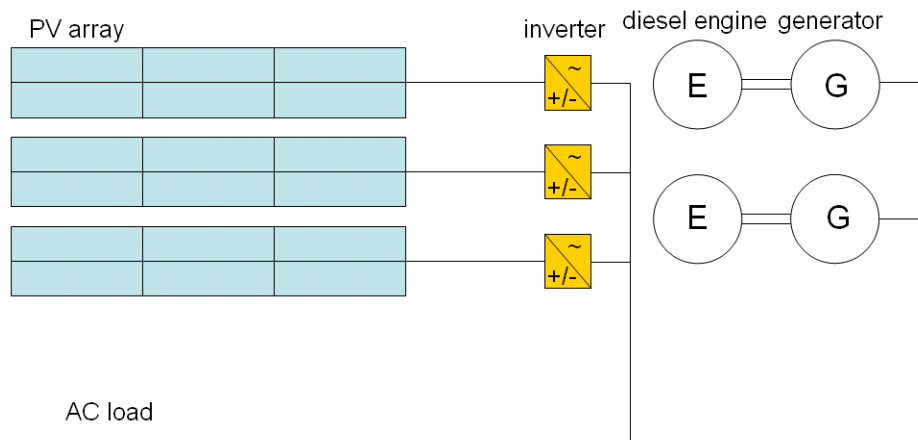
# Isolated regions

9



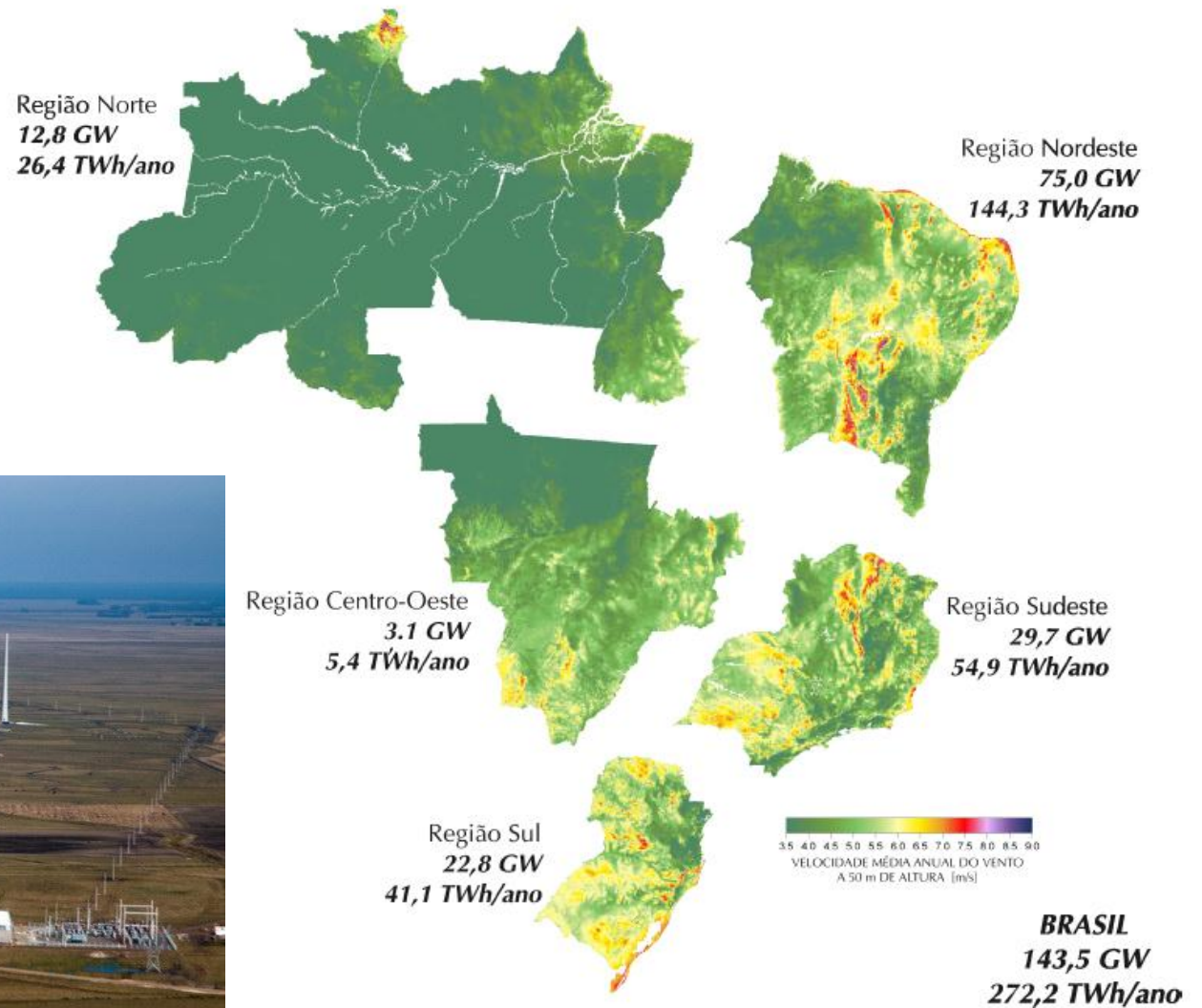
# PV and Hybridization

10



# Wind

11

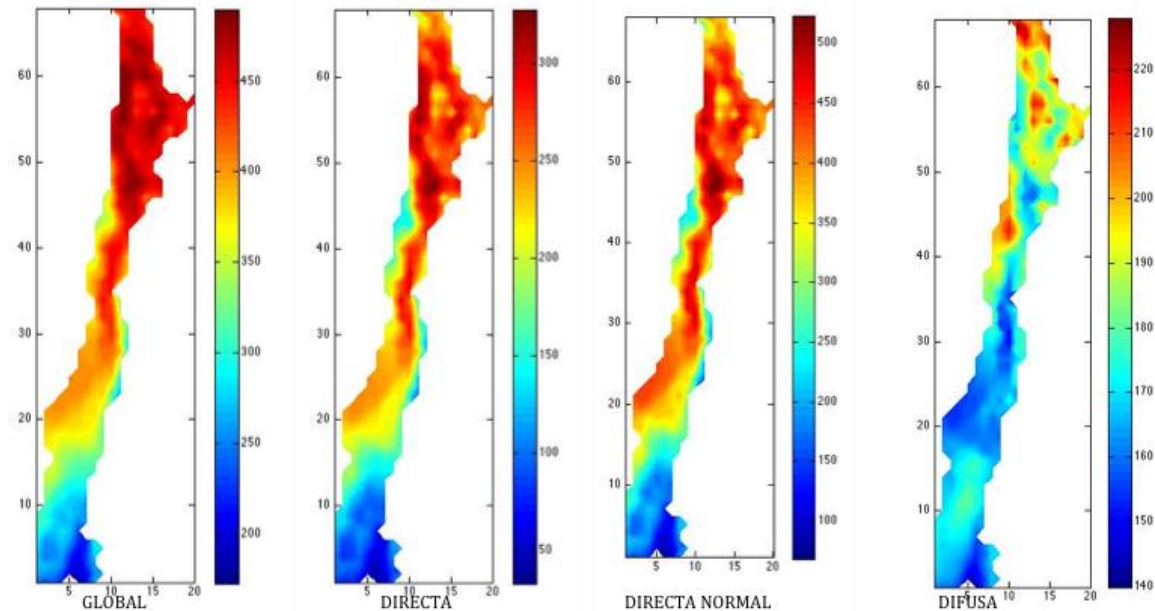




# CHILE

12

- Chile is currently a paradox:  
Atacama Desert may have the best radiation conditions, however up to date there are no reliable measurements
- Lack of policies until 2009
- Resource assessment project  
PUC-Chile



# Resource assessment project

13

Brasil-SR  
(INPE)



Clima de Chile

GOES images  
for Chile

Effective cloud  
cover

Chile-SR

## EL MERCURIO

### Vida • Ciencia • Tecnología

SANTIAGO DE CHILE, MIÉRCOLES 19 DE ENERO DE 2011

# Chile podría llegar a ser el principal productor de electricidad solar del mundo

Rodrigo Escobar, académico de la U. Católica, está desarrollando un mapa solar del país que servirá de base para futuros proyectos de generación de energía.

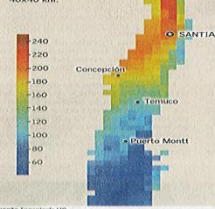
#### Mapa solar

Esta imagen muestra los distintos niveles de radiación que recibe el territorio nacional.

#### Radiación directa diaria

La radiación directa es la que se recibe apuntando al Sol, que en la latitud por sistemas de concentración solar.

Así se ven los niveles de radiación en el país en kWh/m². La imagen muestra los resultados de la estimación satelital, en cada zona representa un área de 40x40 km.



#### Imágenes satelitales

Escobar explica que no existen mediciones recientes, y las que hay no dan información certera que permita, por ejemplo, construir plantas solares, previo cálculo de la energía eléctrica que serían capaces de generar. Este proyecto va a mapear por primera vez el territorio completo de Chile. Podrá entregar datos confiables para poner plantas solares, evaluar riesgos financieros", explica el profesor.

Este es el origen del proyecto que postuló al Fondecyt. Escobar informará a la comunidad científica y a la industria. Y la manera de lograrlo es a través de la creación de un método que, a través del procesamiento de imágenes satelitales, permita estimar la atenuación de radiación, desde que está fuera de la atmósfera hasta que la traspasa y llega a la superficie. Un avance preliminar del proyecto



Este es un sensor de radiación del tipo Rotating Shadowband.

fue la creación de un mapa general de radiación (ver infografía). "Así, un día claro sin nubes en el desierto permite que la radiación pase a través de la atmósfera con mínimos cambios. Un día nublado con lluvia no la deja pasar, por lo que se atenúa. A través de la atmósfera, la radiación se atenúa. La estimación satelital usa parámetros climáticos (temperatura, humedad, visibilidad, altura) para procesar imágenes satelitales en canal visible e infrarrojo. De esta forma se detectan las nubes, los perfiles de aerosoles en la atmósfera, el vapor de agua, ozono, y entrega una estimación de la radiación en la superficie. Estos datos, además, se comparan con 11 estaciones solarimétricas terrestres (instrumentos que miden la

medida, visibilidad, altura) para procesar imágenes satelitales en canal visible e infrarrojo. De esta forma se detectan las nubes, los perfiles de aerosoles en la atmósfera, el vapor de agua, ozono, y entrega una estimación de la radiación en la superficie. Estos datos, además, se comparan con 11 estaciones solarimétricas terrestres (instrumentos que miden la

ENERGÍA

## Dictuc potencia laboratorio de Evaluación de Recurso Solar



Conocer el potencial solar es una condición básica para el desarrollo de cualquier proyecto que busque usar este recurso, ya sea para potencia o aprovechamiento de calor. Con el propósito de aportar información sobre su disponibilidad, sitios y realizar análisis técnico-económico, el área Energía Solar del Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

El laboratorio cuenta con normas internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

La adecuada caracterización de la energía solar es una condición básica para el desarrollo de cualquier proyecto que busque usar este recurso, ya sea para potencia o aprovechamiento de calor. Con el propósito de aportar información sobre su disponibilidad, sitios y realizar análisis técnico-económico, el área Energía Solar del Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

En este contexto, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

## INGENIERÍA DICTUC

Energía Solar DICTUC

### TECNOLOGÍA DE PUNTA Y CONOCIMIENTO EXPERTO para las empresas que requieran un socio de confianza en sus proyectos

Con el objetivo de promover el uso de la energía renovable en Chile para la generación de potencia y suministro de calor, mediante actividades que van desde la evaluación de recursos y sitios al análisis técnico-económico de sistemas, DICTUC, empresa filial de la Pontificia Universidad Católica, cuenta con su Área Energía Solar. De esta manera, desde 2007, DICTUC transfiere y pone al servicio de la industria nacional el conocimiento y las capacidades técnicas y científicas de punta del grupo de Energía Solar, formado por profesionales, ingenieros de proyectos, profesionales ambientales, y alumnos de posgrado, quienes realizan, desde Ingeniería UC, economía, investigación, y actividades de servicio asociado que incluyen capacitación y asesorías a las empresas que lo requieren.

En este contexto, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Estas actividades de proyecto FONDECYT de Chile, en el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

Para ello, el laboratorio cuenta con estándares internacionales y a los más altos estándares de calidad. Con este propósito, el Dictuc ha potenciado el laboratorio de Evaluación de Recurso Solar, uno de los más modernos de Latinoamérica y que se ha convertido en una herramienta para el aprovechamiento de esta energía renovable.

## Emprendimiento am Producción biodiésel e

Motivado por el interés de Luis Orellana, de la provincia de Cacha, de biodiésel.

"Me considero ambientalista, quedarse solo en el discurso sustentable y ante esa carencia locales. Por eso busqué una alternativa y opté por reciclar

El proceso comenzó hace 4 años, apoyado solo con recursos propios. Me di cuenta de que recolectar y procesar biodiésel no es una actividad que se pueda hacer solo en un laboratorio, sino que requiere de un espacio adecuado y de un equipo especializado.

Así, Orellana dejó atrás su vida de recolección y procesamiento de biodiésel.



El profesional de proyectos Alberto Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".

Orellana afirma que este tipo de análisis "puede tener un gran impacto en las zonas rurales, en las que es difícil encontrar un gran porcentaje del consumo de combustibles asociados al suministro de calor".



# Mining

14

- Mining is the most important economic activity in Chile
- Also is the most energy demanding
- 3 projects of CSP and cogeneration are being studied

LA MINERA Chile, 10 de mayo de 2012

HUELLA DE CARBONO EDICIÓN ESPECIAL E 19

**Minera El Tesoro**  
Innovación al servicio de la sociedad y el medio ambiente

►► Minera El Tesoro se dedica a la explotación y producción de catódos de cobre.

La minera del Grupo Antofagasta Minerals se ha propuesto avanzar y profundizar en materia de eficiencia energética y cambio climático. En este contexto, desarrollará la planta termosolar más grande del mundo con tecnología de cilindros parabólicos.

**2012**  
La planta termosolar iniciará sus operaciones en agosto del próximo año.

La planta termosolar para calentamiento de soluciones

Desde 2008, a través del Impulso del Grupo Antofagasta Minerals, Minera El Tesoro inició un proceso para cuantificar y declarar sus emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al Carbon Disclosure Project.

A partir de la identificación del impacto de sus emisiones de gases de efecto invernadero y siguiendo su visión estratégica y los lineamientos de desarrollo sustentable, en 2010 se inició un estudio de factibilidad para el uso de energía solar en la generación de energía eléctrica.

Al respecto, Martín Bovero, vicepresidente de Medio Ambiente de Minera El Tesoro, explica que "esta fue toda la condición, puesto que nuestras operaciones se ubican dentro de la zona con la mayor radiación solar del planeta. Pero, a pesar de lo obvio, había que demostrar parámetros y visiones que el mercado y las empresas no habían tomado en cuenta, como los costos de la tecnología solar, la mantención de los equipos y la propia capacidad de los mineros para responder en forma efectiva a un clima que varía entre el día y la noche, y durante las estaciones del año".

Por su parte, con la presencia y estudios de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica (DICTEC), surgió la posibilidad de instalar una planta solar, la más grande del mundo, con concentradores cilindros parabólicos de gran escala, que sustituyan a los combustibles fósiles utilizados para el calentamiento de soluciones en el proceso de extracción por solventes y electro-lixivación (SE, EL).

De este modo, se decidió desarrollar un circuito cerrado de calor industrial, donde el agua es calentada a medida que para a través del campo solar hasta alcanzar temperaturas de hasta 55°C. Luego es almacenada en escaneros térmicos para finalmente transferir la energía térmica al ciclo al proceso SE-EL. Una vez entregado el calor, el agua

fría vuelve a pasar por el campo solar, repitiendo el circuito. Se estima que la planta generará 24.845 MWh/año de energía eléctrica local.

Solo a modo de ejemplo, con la operación de la planta se espera disminuir más de dos millones de dólares anuales en pérdidas. "Además, y como elemento fundamental, reducirá en más de 10.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, lo que equivale a un 4% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la compañía respecto a 2010. Esto forma parte de una política alineada con la visión de nuestro grupo minero, buscando promover la innovación y el desarrollo como parte de la creación de valor social y ambiental. Esta planta, que iniciará su operación en agosto de 2012, además será un laboratorio de innovación y desarrollo, generando a disposición de la industria, casas de estudio, centros de investigación y de estudios de caso.

**Reemplazo del diesel**  
Actualmente, Minera El Tesoro utiliza dos calentadores de agua, lo que en su totalidad para elevar la temperatura del electrolito requiere de un alto consumo de diesel mediante intercambiadores de calor, y para el lavado y desgasado de catódos.

La temperatura del agua se eleva entre 80 y 90°C, para transferir calor a la solución de cobre y así elevarla en unos cinco grados, proceso para el cual se requiere de un consumo de cerca de 6.700 metros cúbicos de petróleo diesel al año.

Cabe destacar que la planta solar considera una inversión propia de US\$4 millones y sustituirá el 55% del diesel utilizado en los calentadores.

**COMPañIA PIONERA**  
Minera El Tesoro es una compañía del Grupo Antofagasta Minerals dedicada a la explotación y producción de catódos de cobre. Esta planta minero-metalúrgica se ubica en la Región de Antofagasta, a 100 km al noroeste de la ciudad de Antofagasta, y a 21 km de la localidad de Sierra Gorda, a una altitud promedio de 2.300 metros sobre el nivel del mar.

Minera El Tesoro inició sus operaciones en el año 2001, siendo pionera en el desarrollo del distrito minero en el que se encuentra inserto, destacando no solo por sus resultados económicos y productivos, sino también por el estilo de gestión que aplica en sus operaciones y procesos, donde las personas están en el centro de las decisiones.

**14 millones de dólares** de inversión propia de Minera El Tesoro.



# Conclusions

15

- Solar atlases have been very helpful to generate new policies and to attract new investors to renewables in Brazil and Chile
- Social parameters are crucial in order to promote energy integration policies
- In order to make accurate project evaluations hourly series are needed. There are few TMYs available, and those present serious problems of continuity

# REACHING A COMMON UNDERSTANDING: USING SOLAR ATLASES IN BRAZIL AND CHILE

Thanks!!!

José M. Cardemil  
[cardemil@lepten.ufsc.br](mailto:cardemil@lepten.ufsc.br)