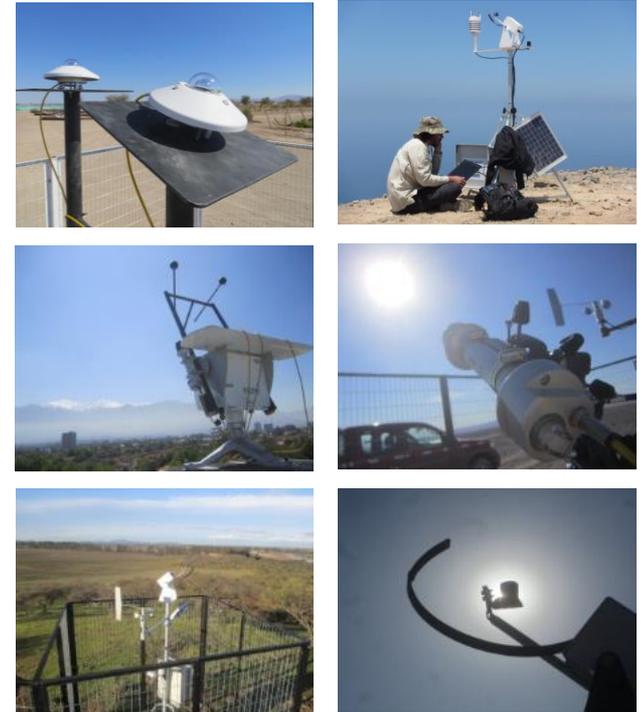


ESTIMACIÓN SATELITAL DEL RECURSO SOLAR: MODELO CHILE-SR

Center for Solar Energy
Technologies

Cristian Cortés

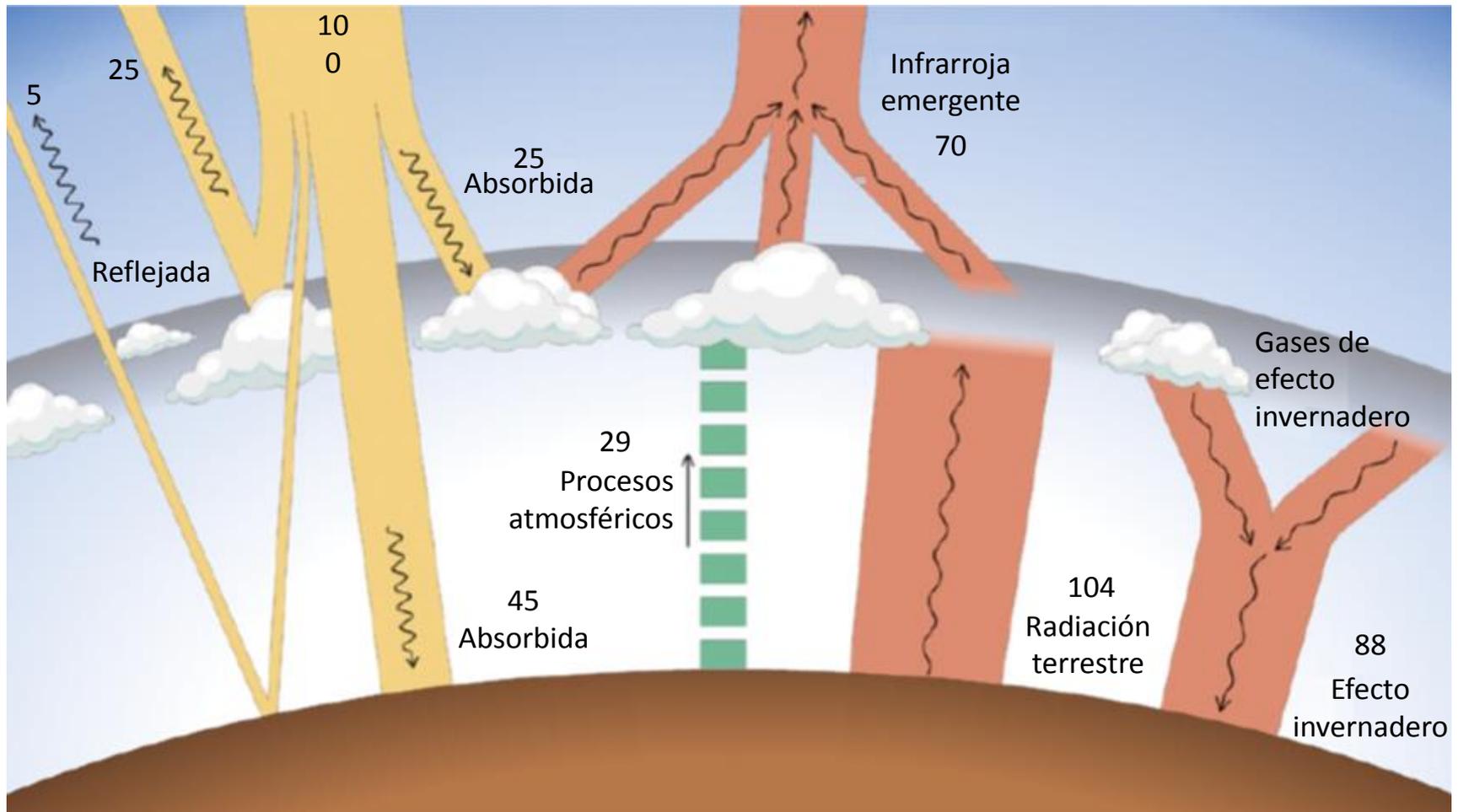
14 de agosto de 2015



Contenidos

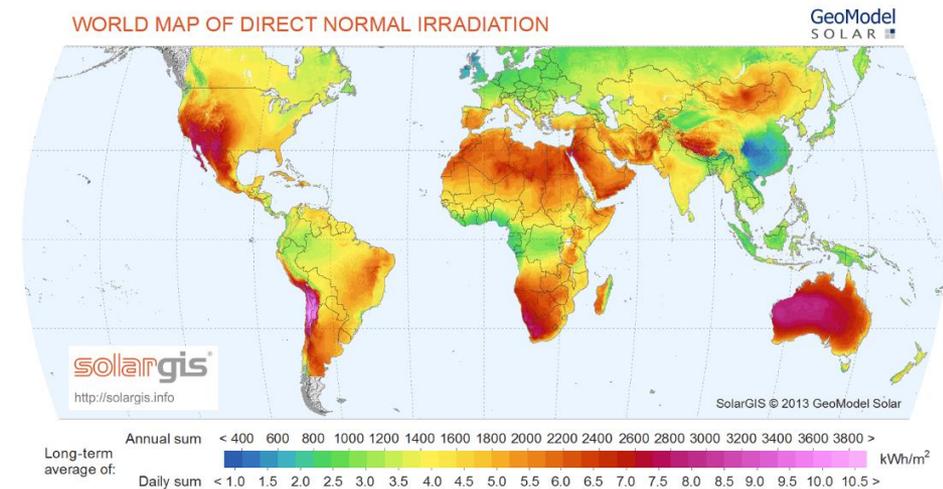
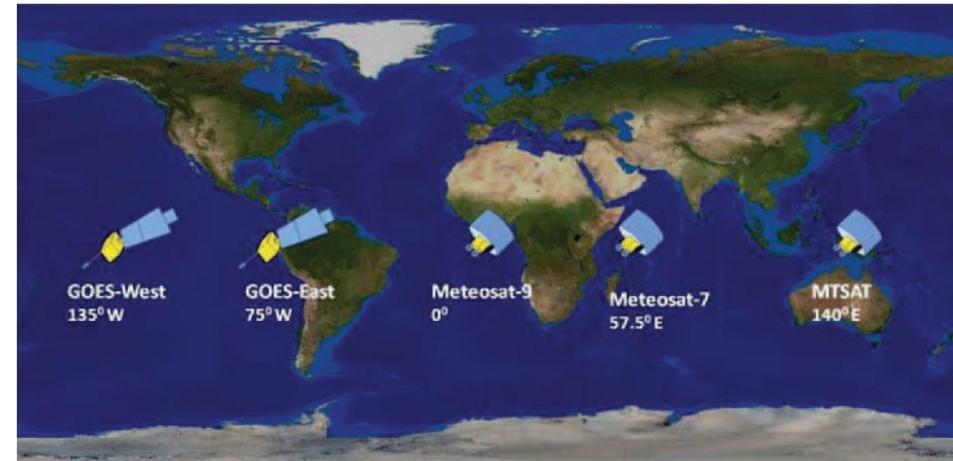
- Estimación satelital de la irradiación solar en la superficie
- Metodología de la Estimación Satelital
- Diferencias entre mediciones y estimaciones satelitales
- Modelo Chile-SR
- Conclusiones

Estimación de la irradiación solar en la superficie



Estimación de la irradiación solar en la superficie

- Modelos a partir de imágenes satelitales geoestacionarias
 - Estiman GHI y DNI
 - Abarcan entre -60° y $+60^{\circ}$ de latitud
- A partir del método desarrollado se pueden clasificar en: físicos, empíricos o mixtos
- En el mundo, existe una gran variedad de modelos desarrollados
 - NSRDB
 - NASA
 - DLR-ISIS
 - 3Tier Solar
 - SolarGIS, entre otros

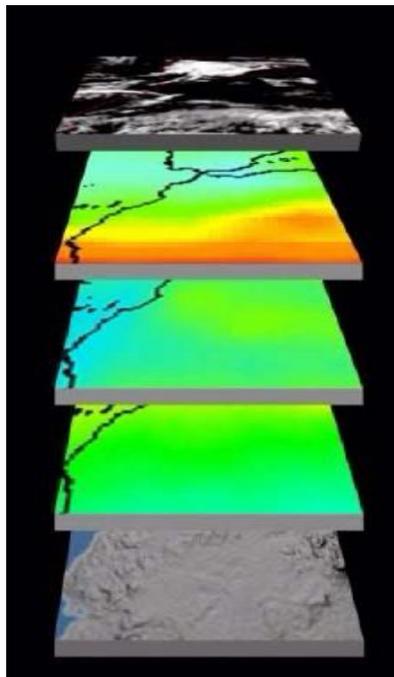


Metodología de Estimación Satelital

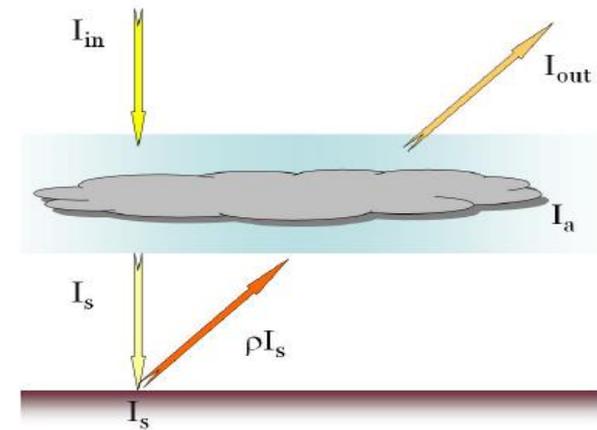
Medición terrestre



Transmitancia Atmosférica



Balance de Energía



$$I_g = I_s(1 - \rho)$$

$$I_s = \frac{(I_{in} - I_{out} - I_a)}{(1 - \rho)}$$

Procesamiento de imágenes satelitales



Validación del modelo mediante datos terrestres de alta calidad

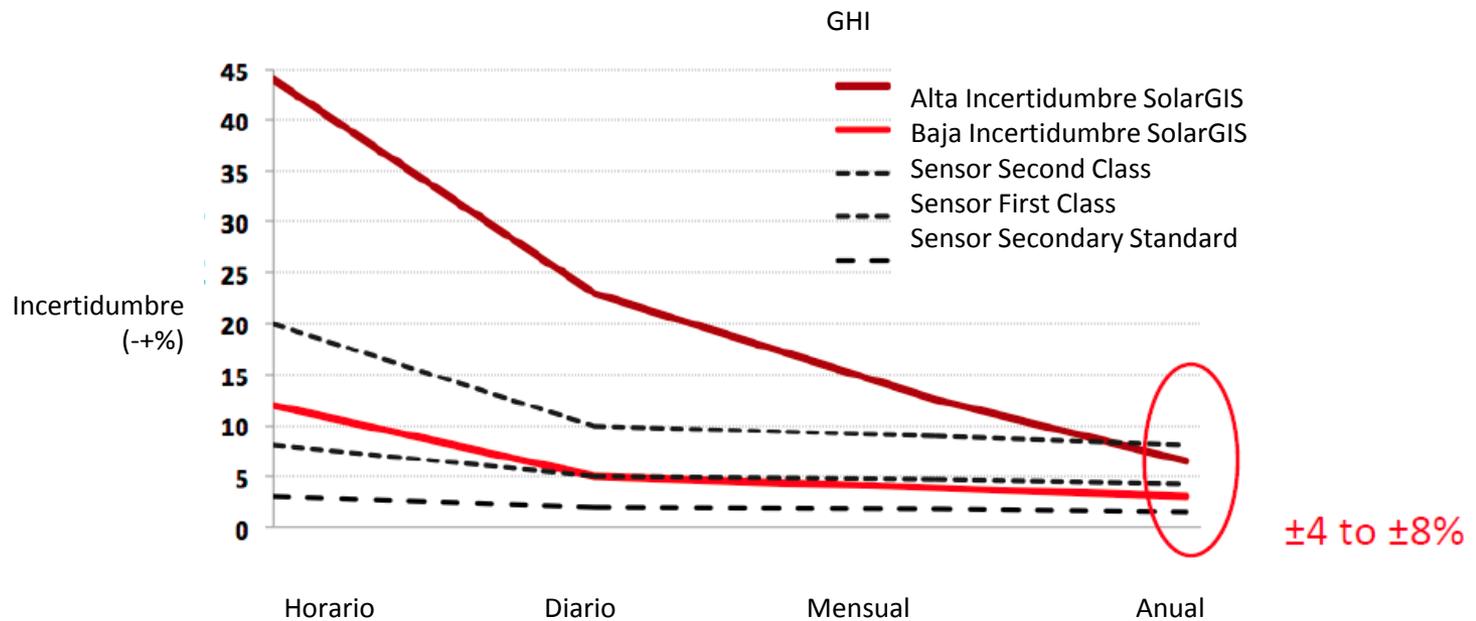


Datos **precisos**, en buena **resolución espacial**, con series temporales **confiables**, para el territorio nacional



Metodología de Estimación Satelital

- Al disminuir la resolución temporal de la información requerida, aumenta la precisión de los resultados

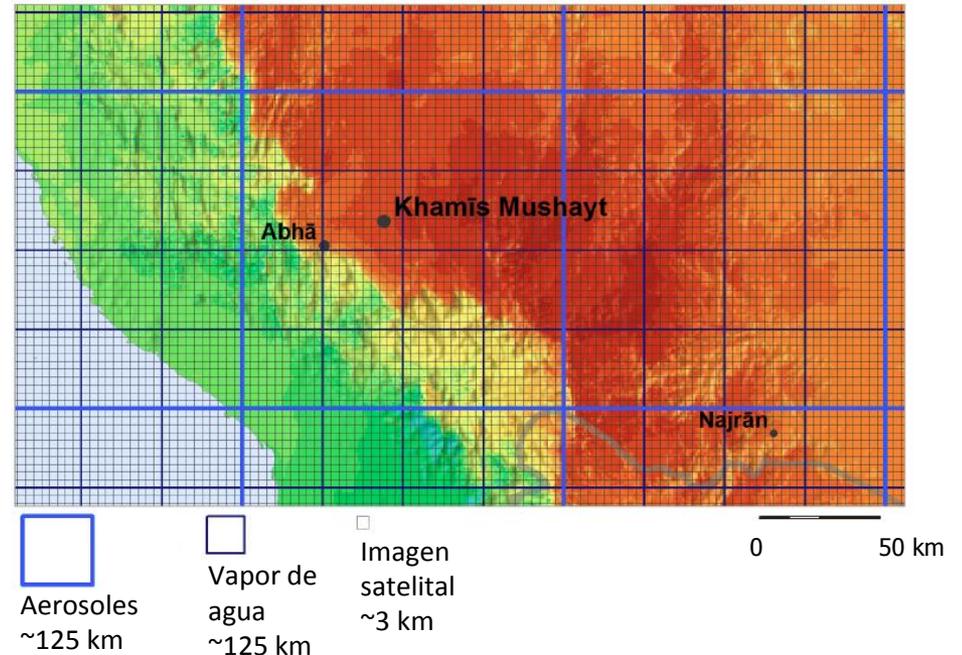


Diferencia entre medición y estimación satelital

- Distinta resolución de la información de entrada constituye una de las fuentes de error
 - También difieren en resolución temporal (frecuencia de muestreo y período abarcado)

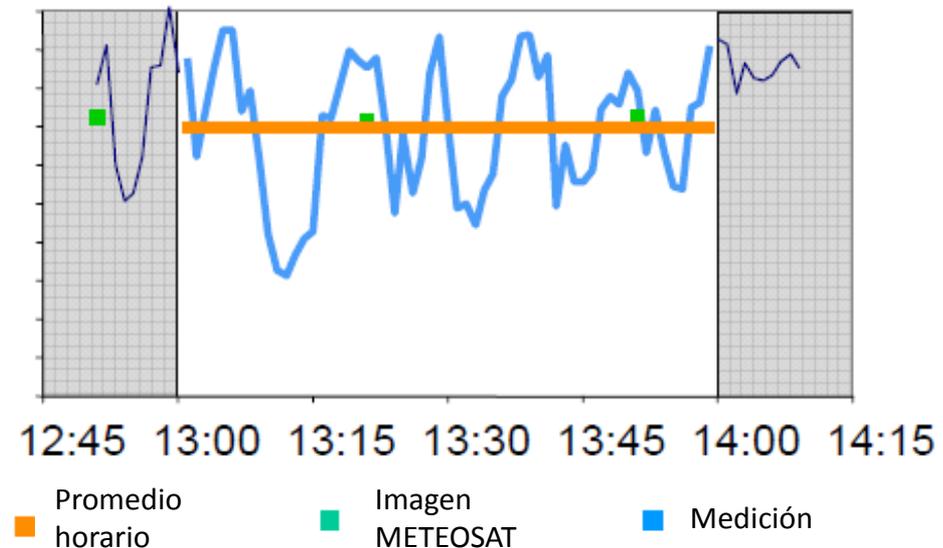
Input	Tamaño aprox. de la grilla
Imagen satelital	2,7 x 3,0 km
Aerosoles	85 a 125 km
Vapor de agua	35 a 55 km

Costa Oeste de Arabia Saudita

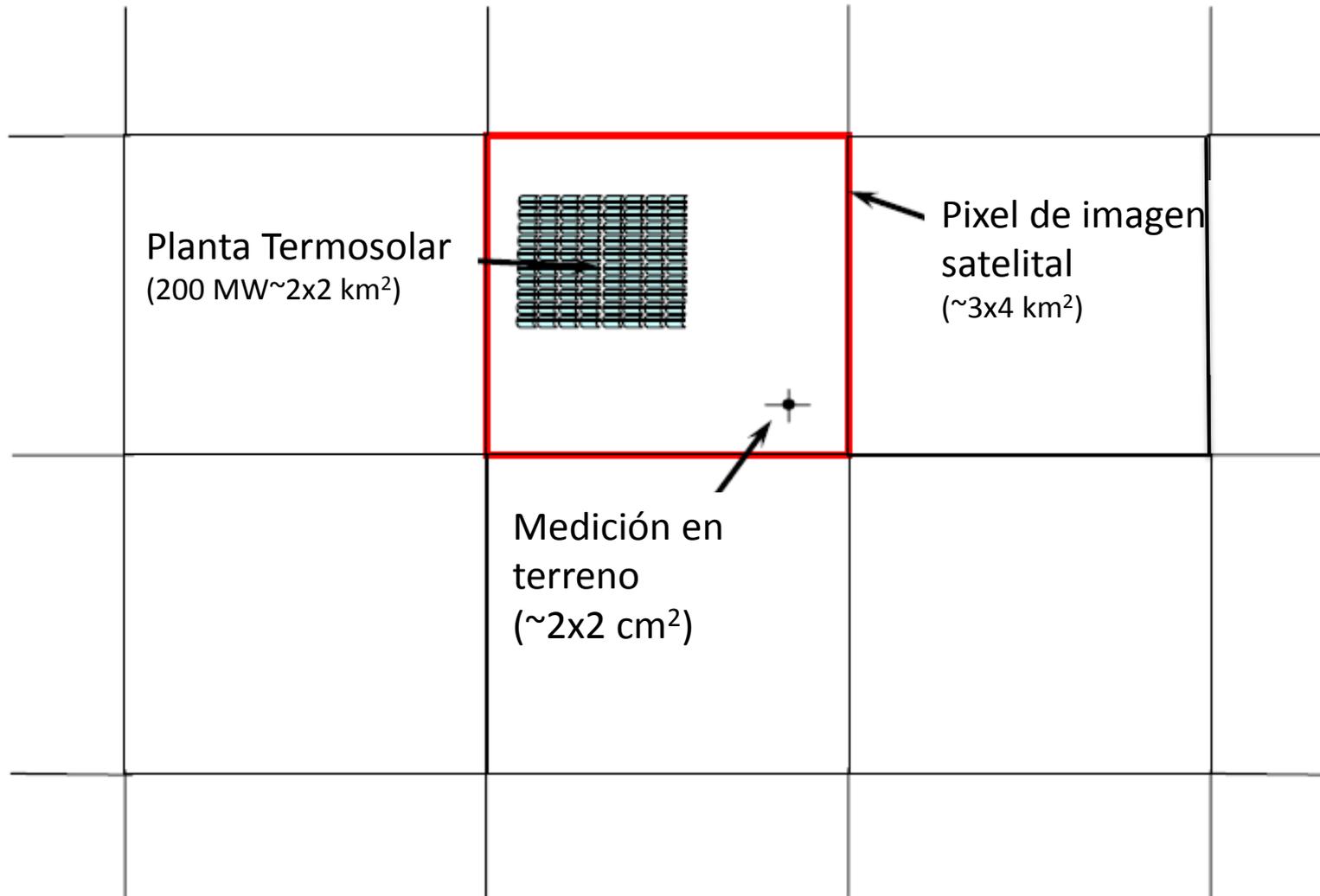


Diferencia entre medición y estimación satelital

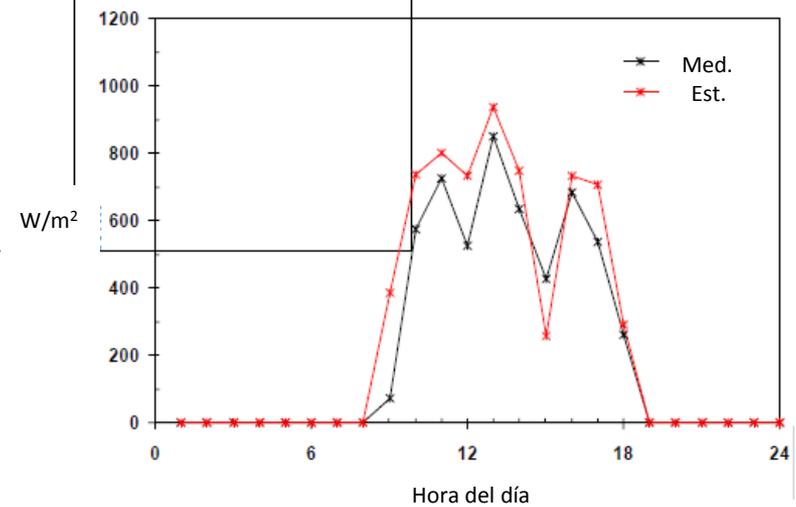
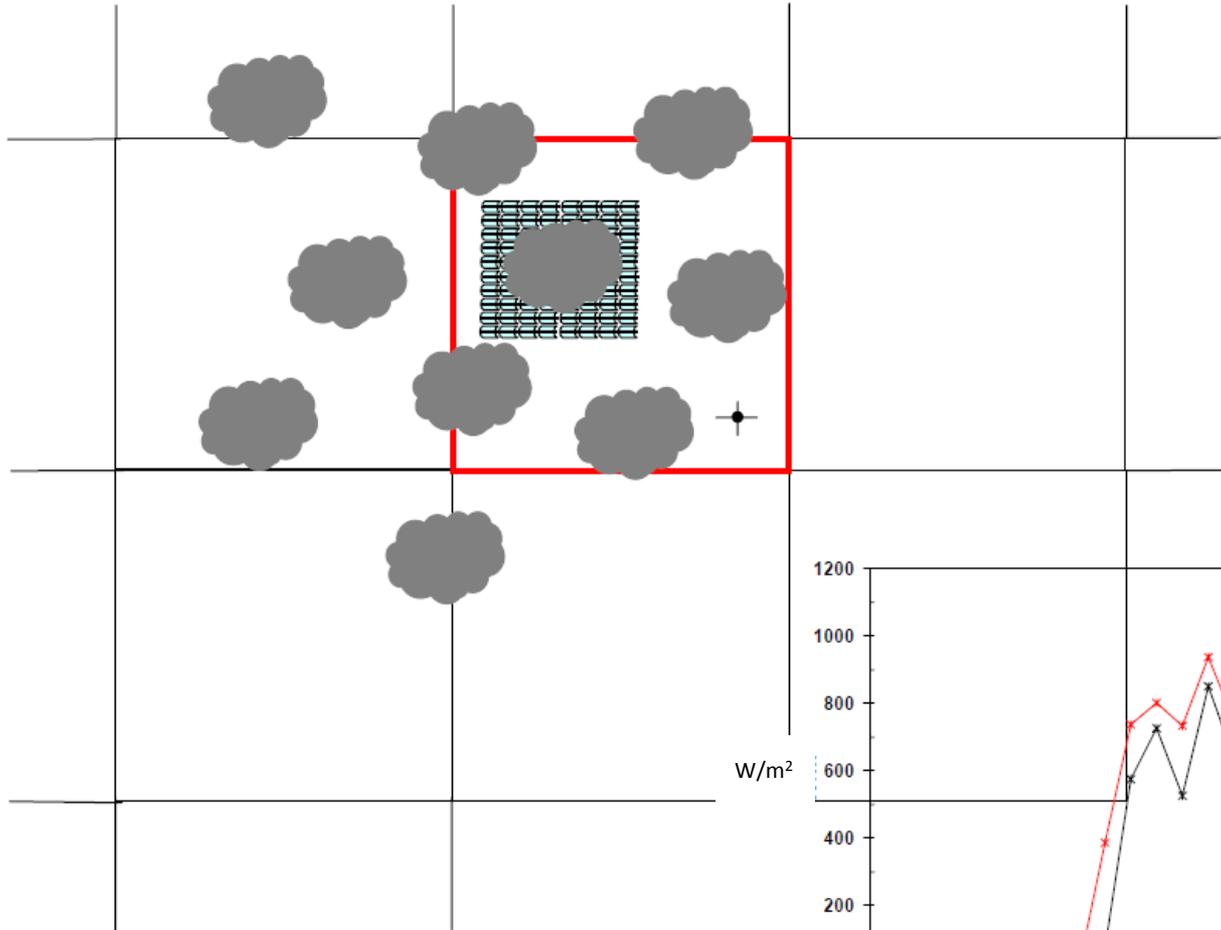
- Medición en terreno es válida para un punto en un intervalo de tiempo específico
- Estimación satelital es temporalmente instantánea y un promedio del espacio que representa



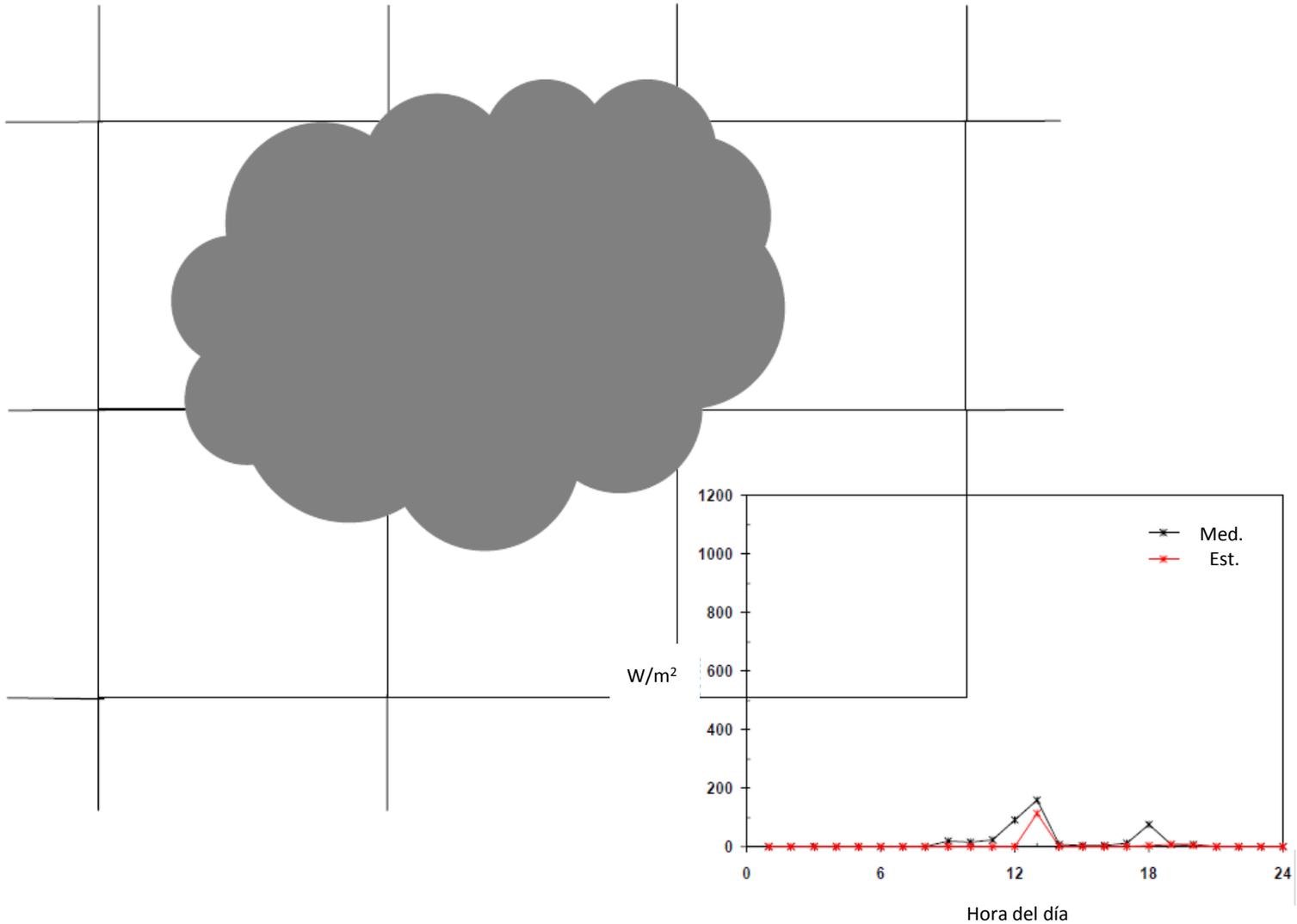
Diferencia entre medición y estimación satelital



Diferencia entre medición y estimación satelital

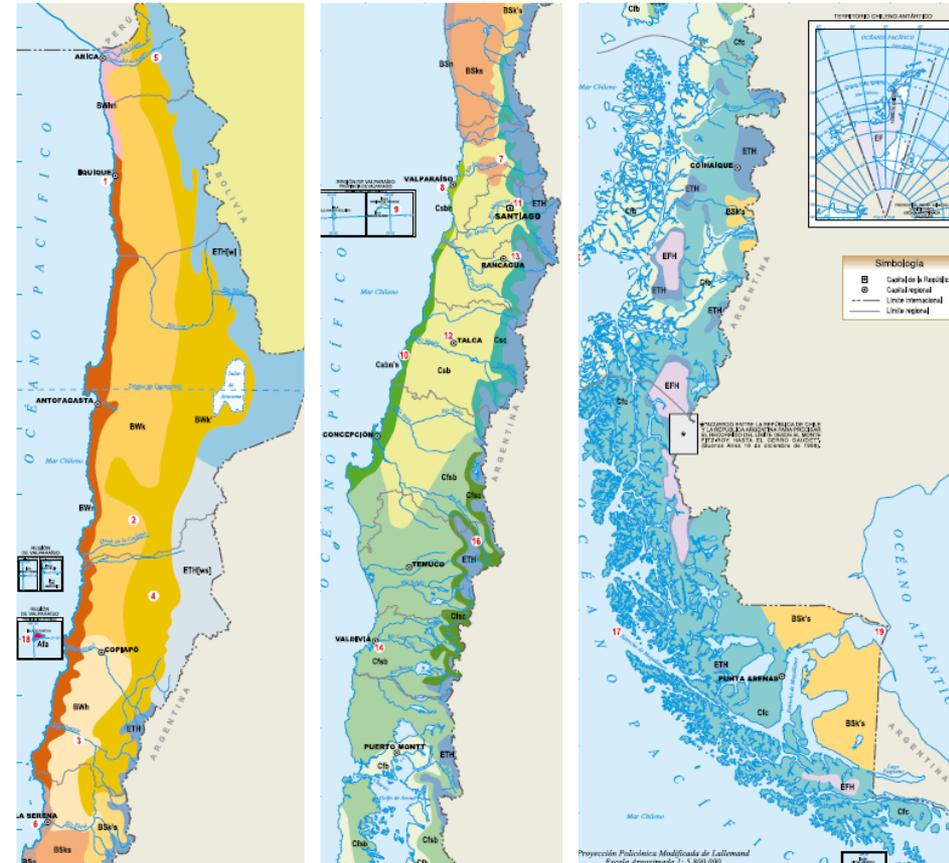


Diferencia entre medición y estimación satelital



Estimación de la irradiación solar en la superficie en Chile

- Existen iniciativas que abarcan el territorio nacional
 - Desarrolladas en Chile (Chile-SR; Explorador Solar)
 - Desarrolladas en el extranjero (SolarGIS; 3Tier; NASA)
- Dada la variabilidad climática del país, no todas se aproximan adecuadamente
- Modelo Chile-SR



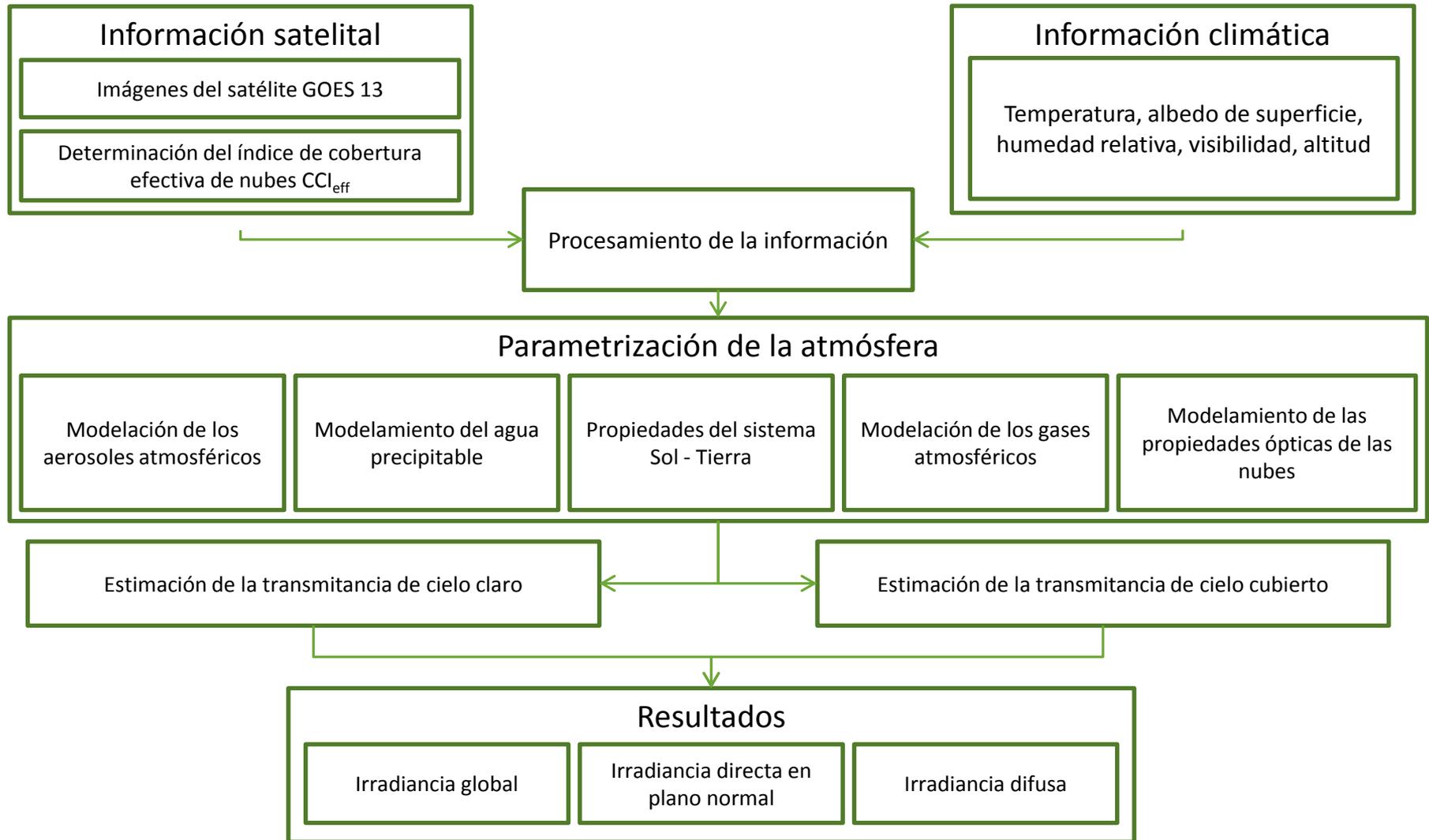
Modelo Chile-SR

- El objetivo es desarrollar un modelo de transmitancia atmosférica adaptado a las condiciones de Chile para lograr estimaciones satelitales confiables
- Contó con la colaboración de:
 - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
 - Dirección Meteorológica de Chile
 - Instituto Geográfico Militar
 - Pontificia Universidad Católica de Chile
 - Abengoa Solar
 - DICTUC S.A.



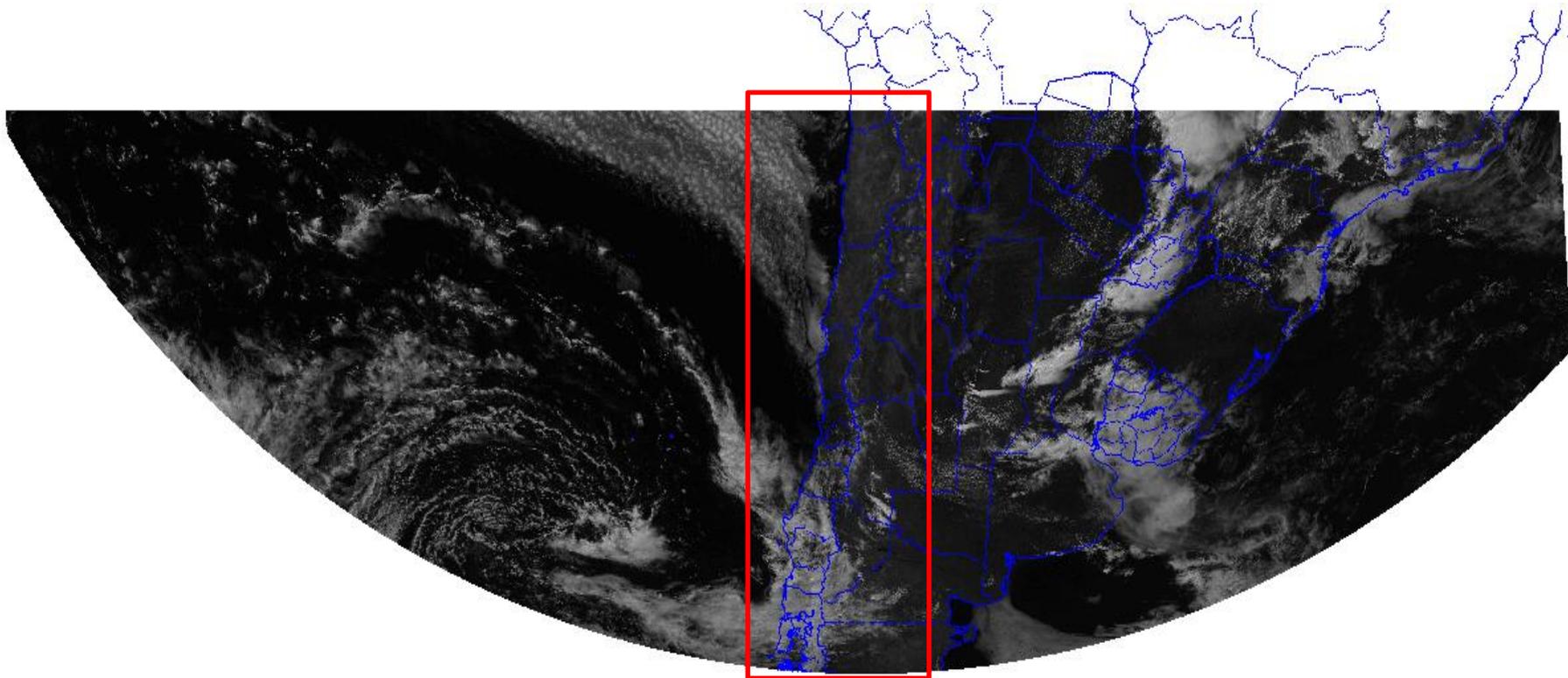
- Se obtuvo modificando el modelo Brasil-SR, desarrollado por el INPE, a las características climáticas de Chile

Modelo Chile-SR

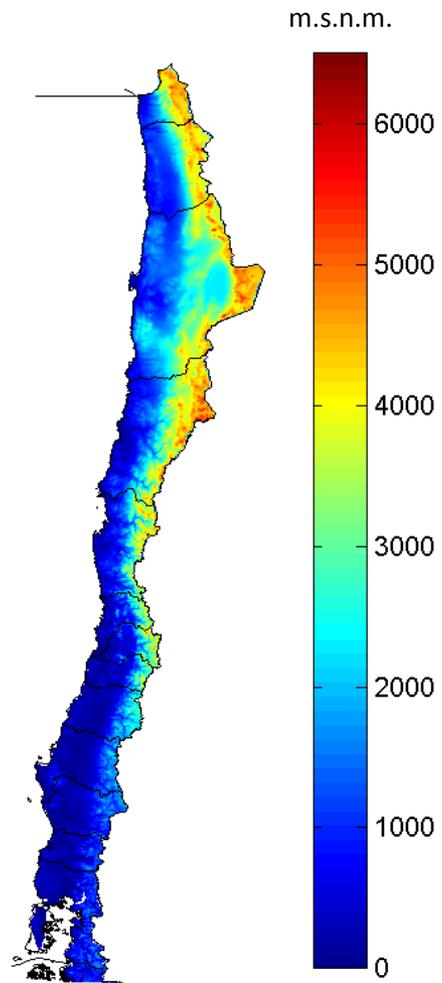


Información satelital

- Se recibieron en la DMC: imágenes GOES 13 y 14 de canal visible (I) e infrarrojo (IR, IV).

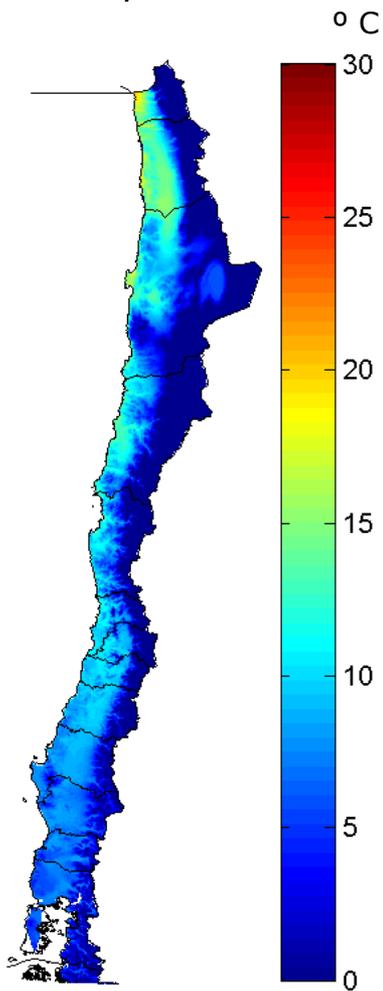


Datos de entrada - Altitud

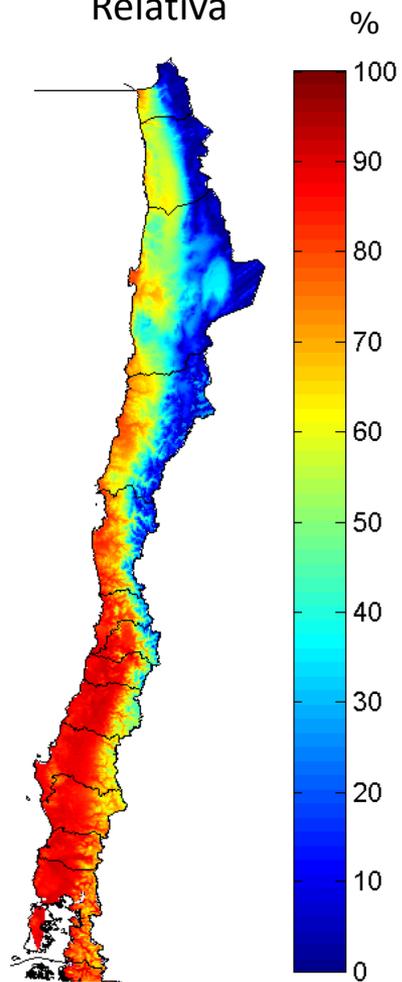


Parámetros Climáticos -Junio

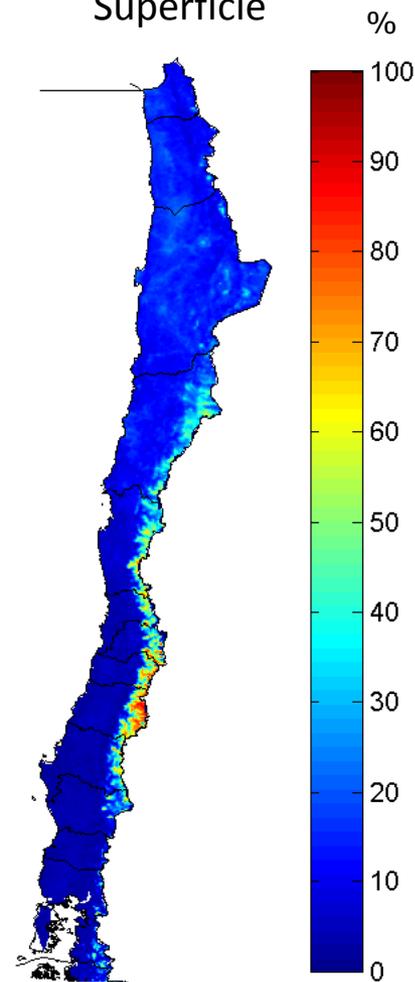
Temperatura



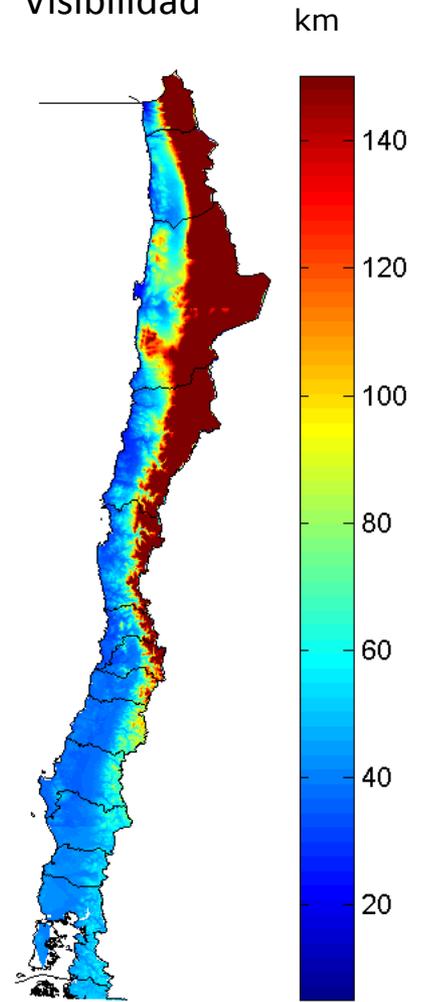
Humedad Relativa



Albedo de Superficie

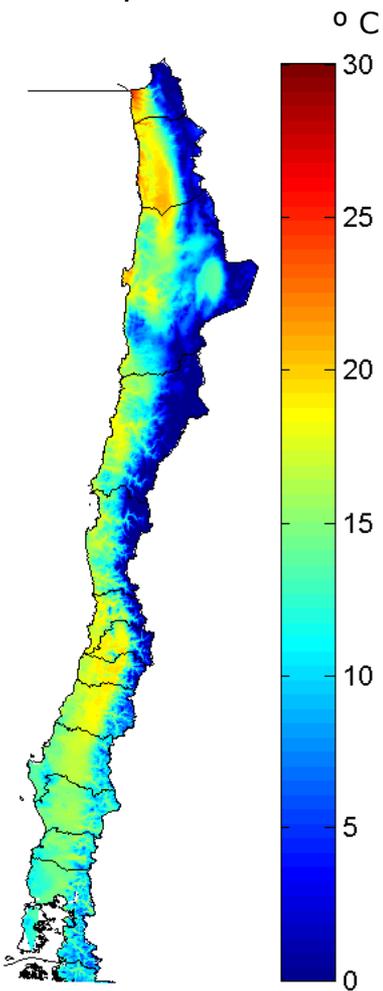


Visibilidad

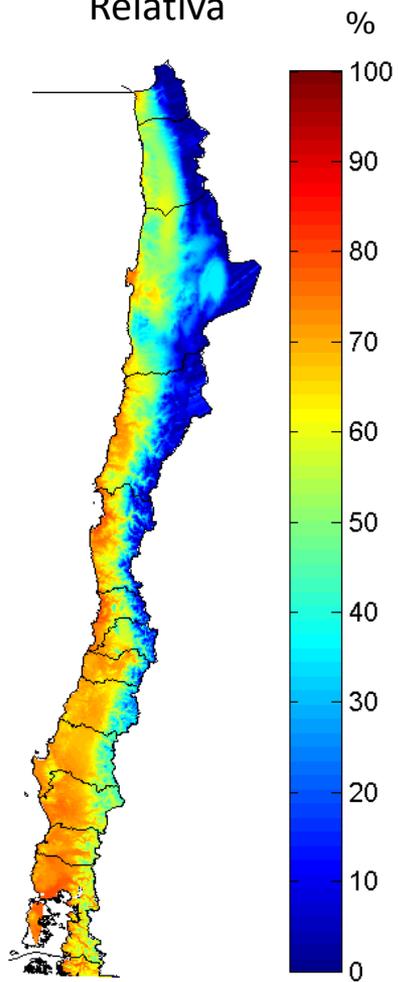


Parámetros Climáticos - Diciembre

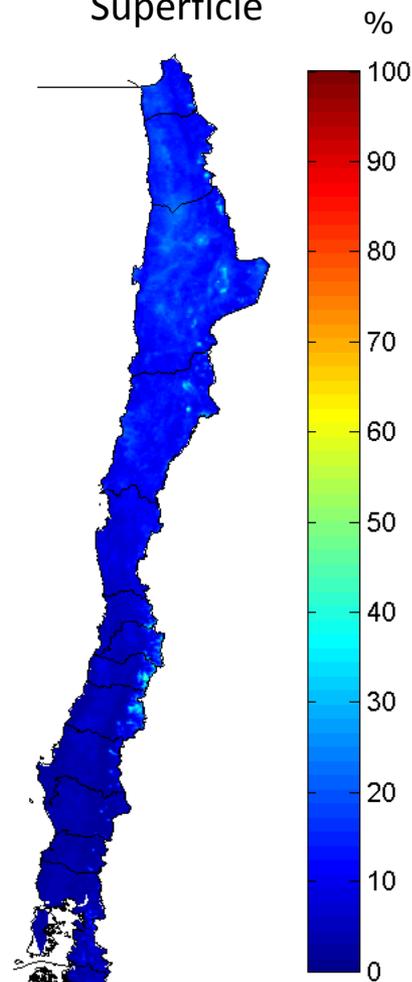
Temperatura



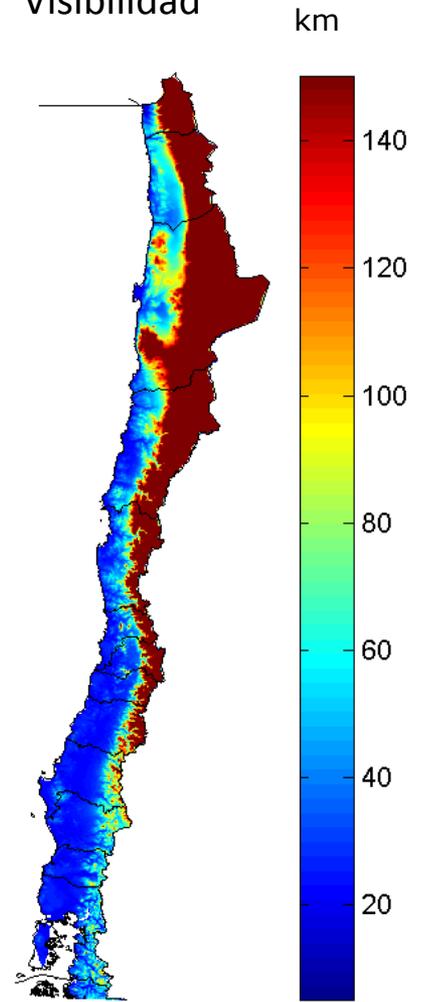
Humedad Relativa



Albedo de Superficie



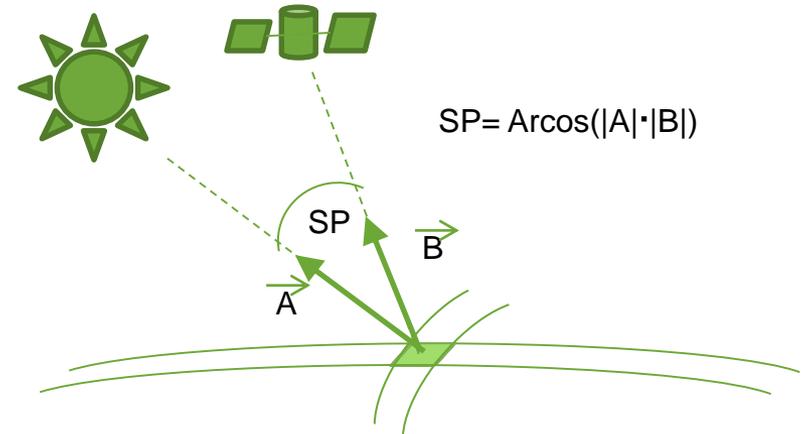
Visibilidad



Cálculo de CCI_{eff}

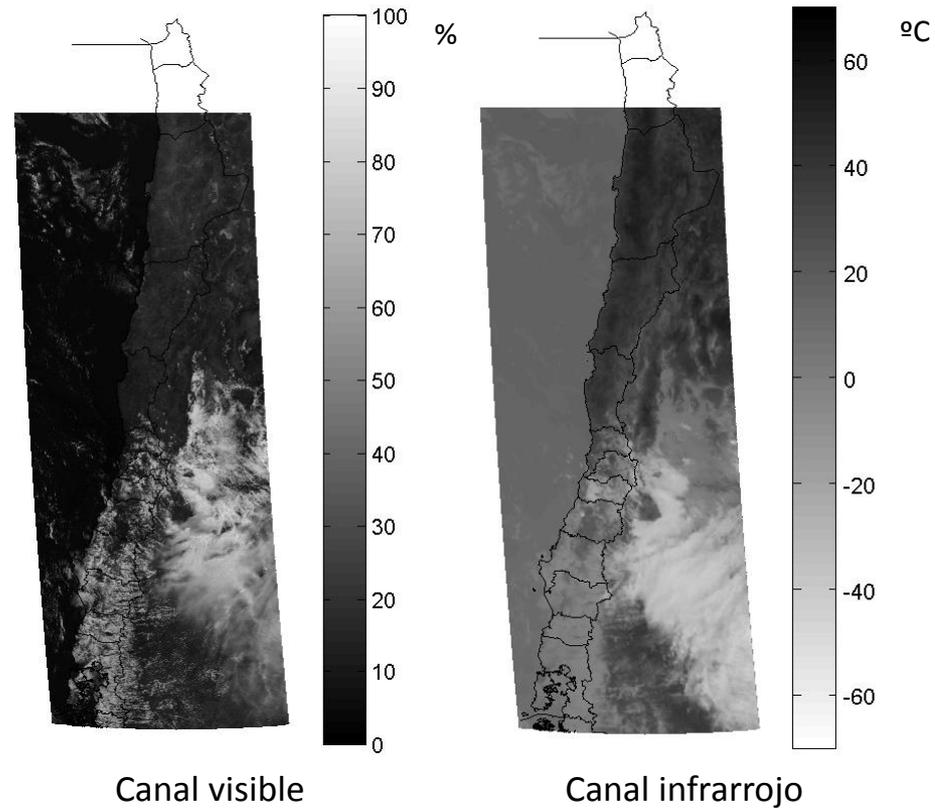
- Tres etapas
 - Entrenamiento asistido
 - Clasificación de las imágenes
 - Cálculo de CCI_{eff}
- Se definen dos condiciones atmosféricas (clases)
- Se consideran cuatro características
 - Canal visible
 - Canal infrarrojo
 - Scatter phase
 - Mes del año

Clase	Descripción
1	Cielo claro
2	Cielo cubierto

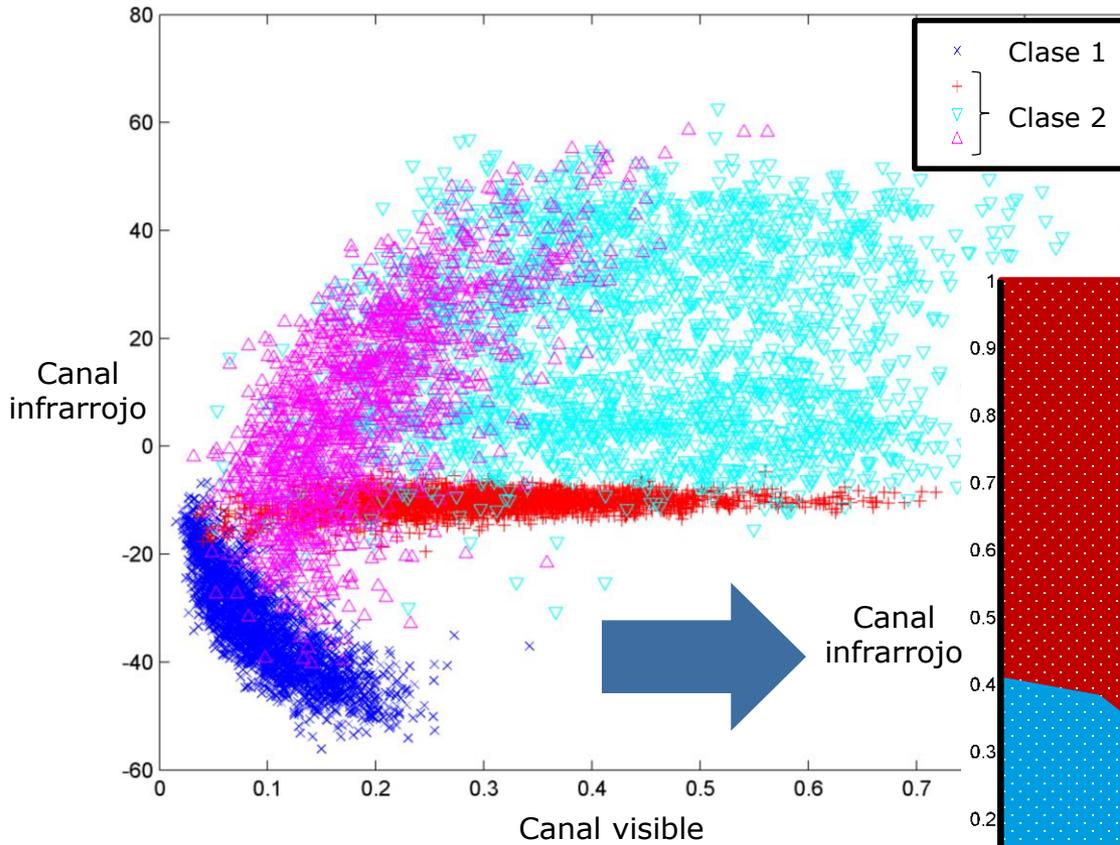


Entrenamiento asistido

- Intervención del usuario para identificar las clases



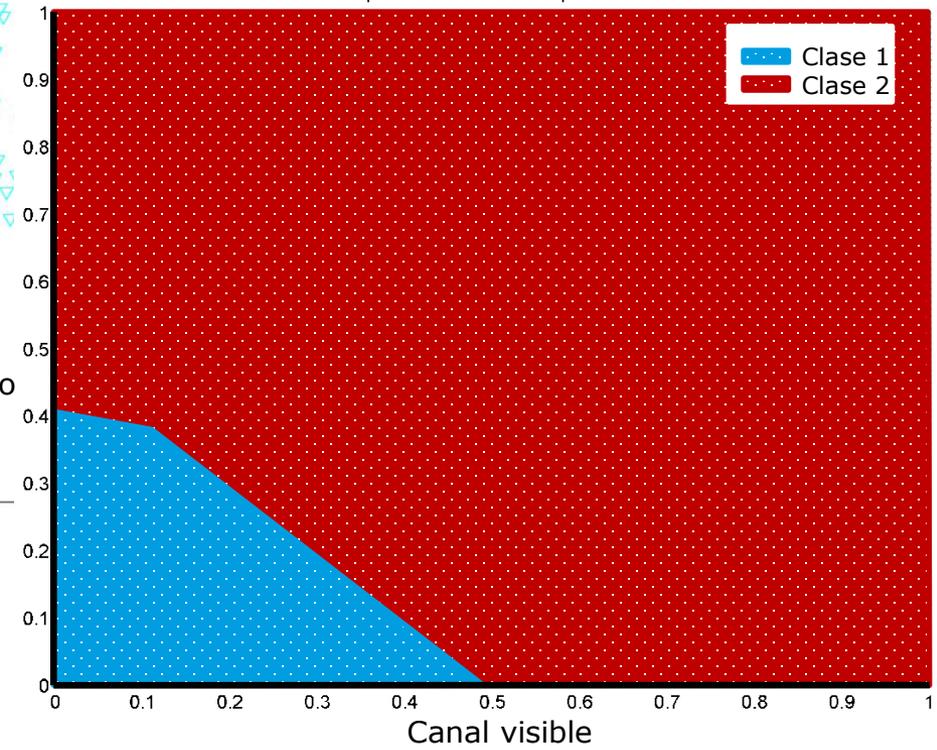
Clasificación



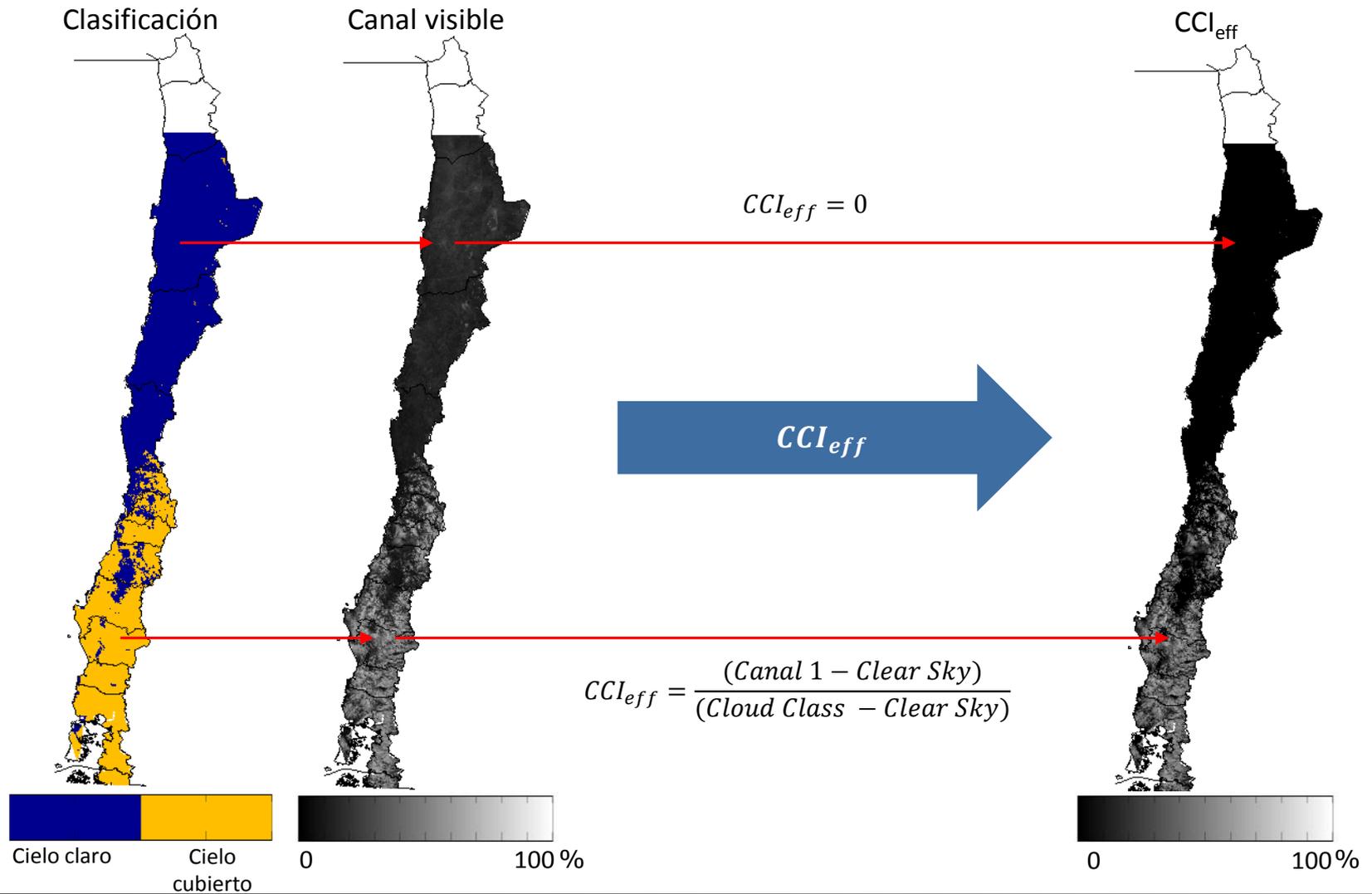
- Según SP, se selecciona entrenamiento por imagen con

$$|f_{i,3} - SP_{prom}| \leq 5$$

- Se utiliza el clasificador LDA para determinar las zonas

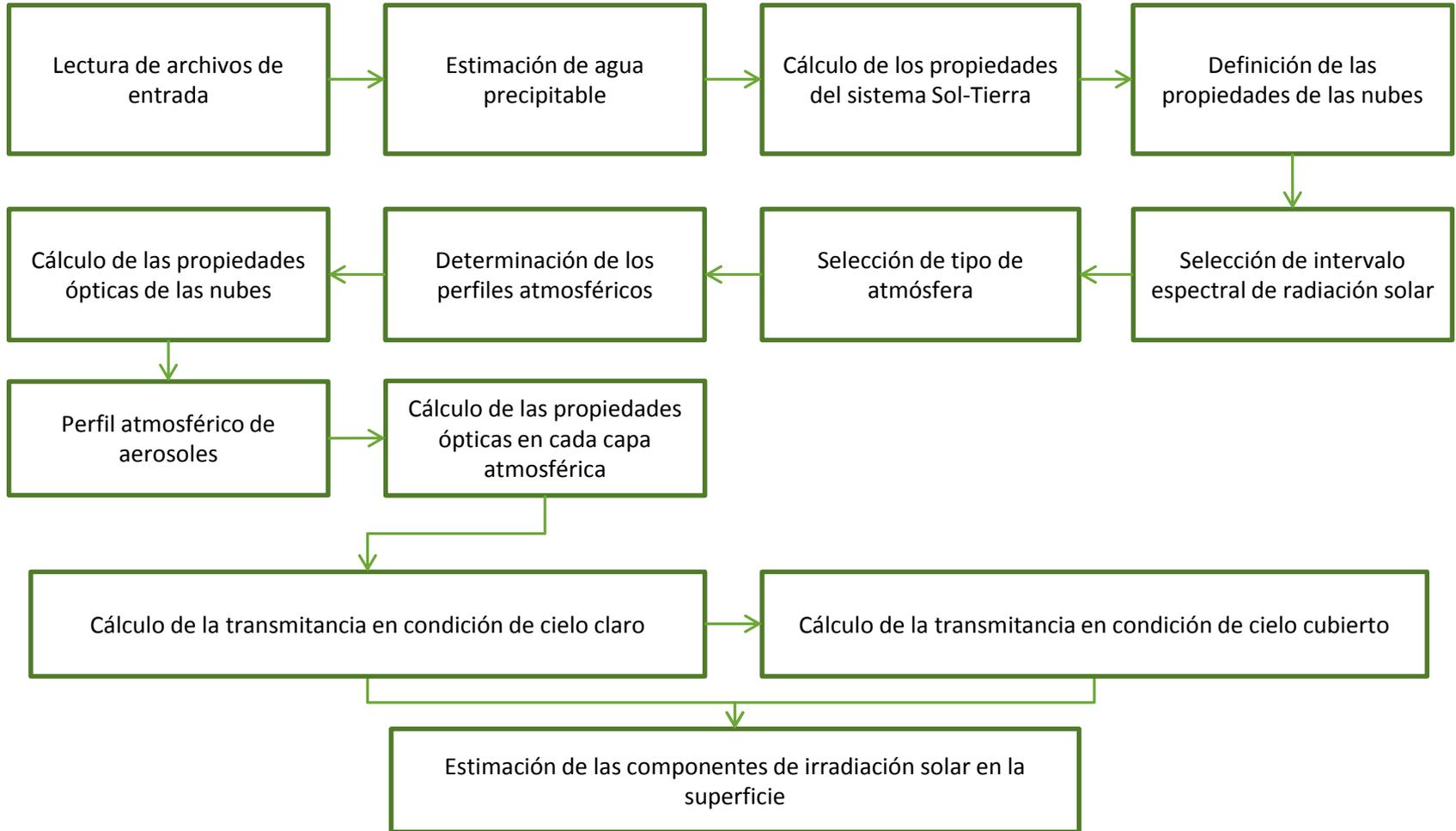


Determinación de la CCI_{eff}



Transmitancia atmosférica

Parametrización de la atmósfera



Transmitancia atmosférica

- Utiliza modelo IGMK, desarrollado en Alemania
 - Utiliza 135 bandas espectrales entre 0 y 4000 nm
 - 30 niveles de atmósfera
- Se determina una atmósfera estándar a partir de la temperatura ambiente en la superficie
- Las nubes se consideran de tipo Altostratus, uniformemente distribuidas en dos capas atmosféricas
- El flujo de radiación global incidente en la superficie para cada pixel, se obtiene de

$$\Phi_g = \Phi_0 \{ (\tau_{clear} - \tau_{cloud})(1 - C_{eff}) + \tau_{cloud} \}$$

Resultado general

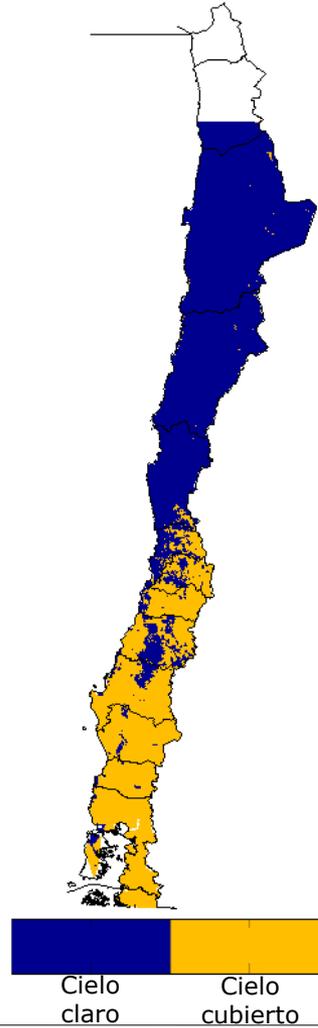
Canal visible



Canal infrarrojo



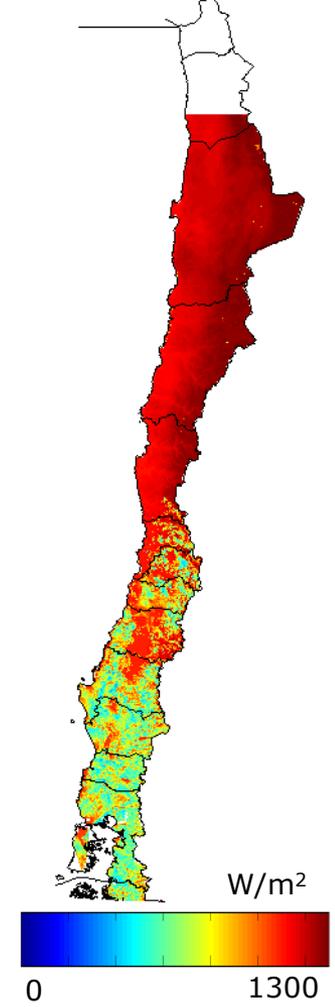
Clasificación



CCI_{eff}

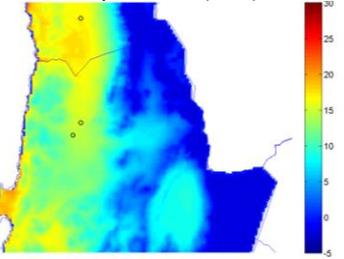


Irradiancia global

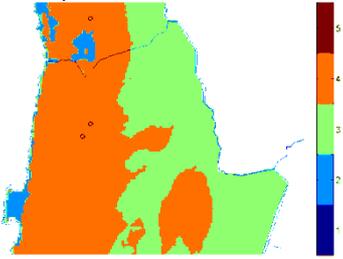


Resultado general

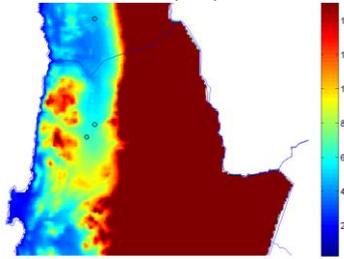
Temperatura (° C)



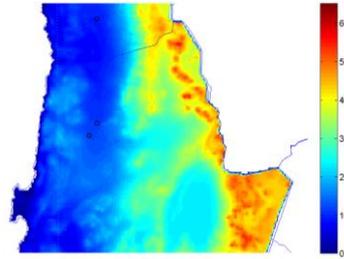
Tipo de Atmósfera



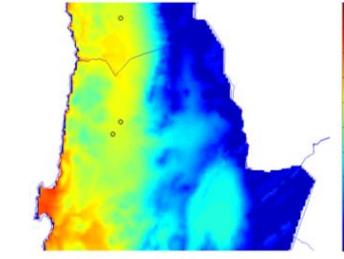
Visibilidad (km)



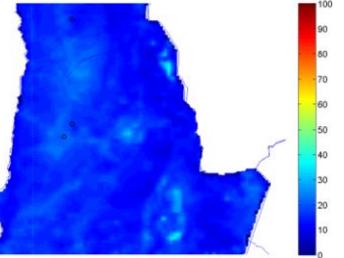
Altitud (m)



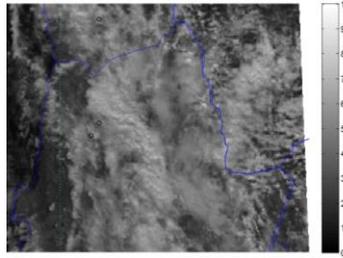
Humedad relativa (%)



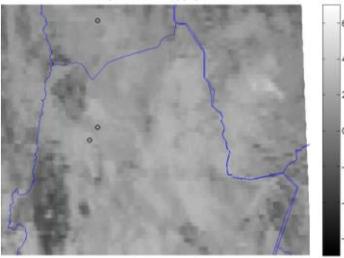
Albedo de superficie (%)



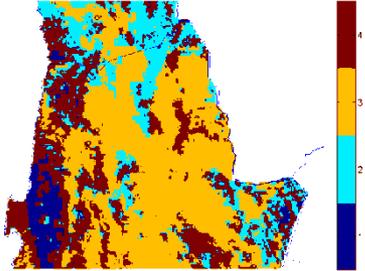
Canal 1 (%)



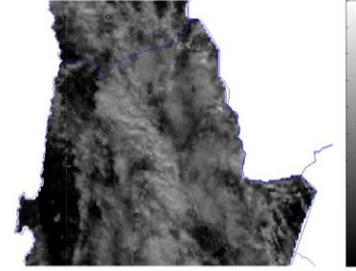
Canal 4 (° C)



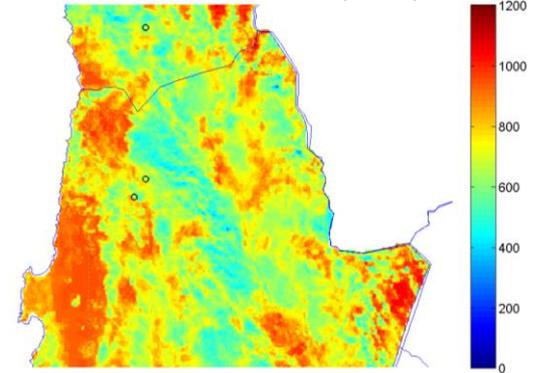
Tipo de cielo



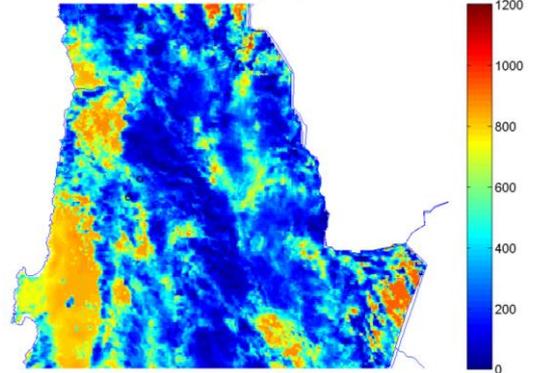
Cobertura de nubes



Irradiancia Global Horizontal (W/m²)



Irradiancia Directa Horizontal (W/m²)

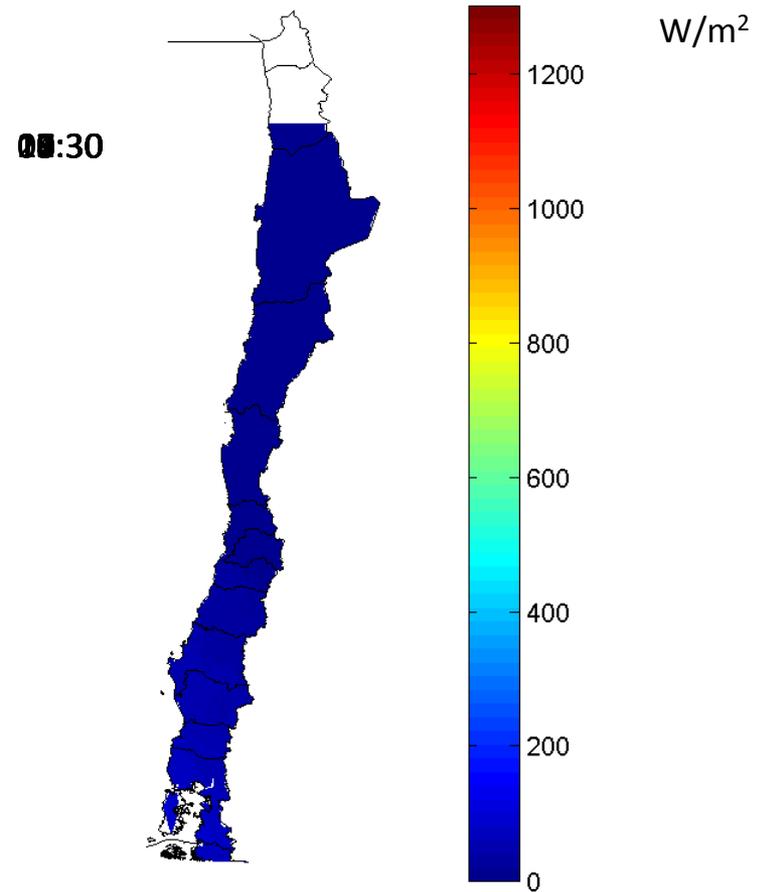
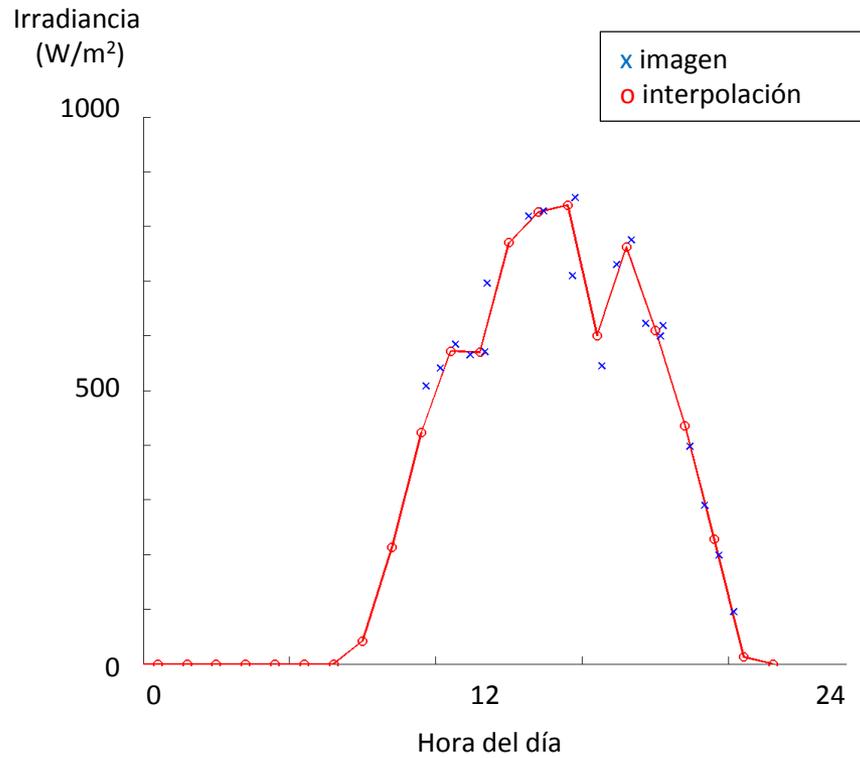


Norte de Chile
(Antofagasta)
April 12, 2012
16:40 UTC



Generación de serie horaria

- Interpolación entre imágenes



Estimación de las componentes Difusa y DNI

- Se ajustó la aproximación BRL
 - Difusa a partir de la Irradiancia Global en Plano Horizontal

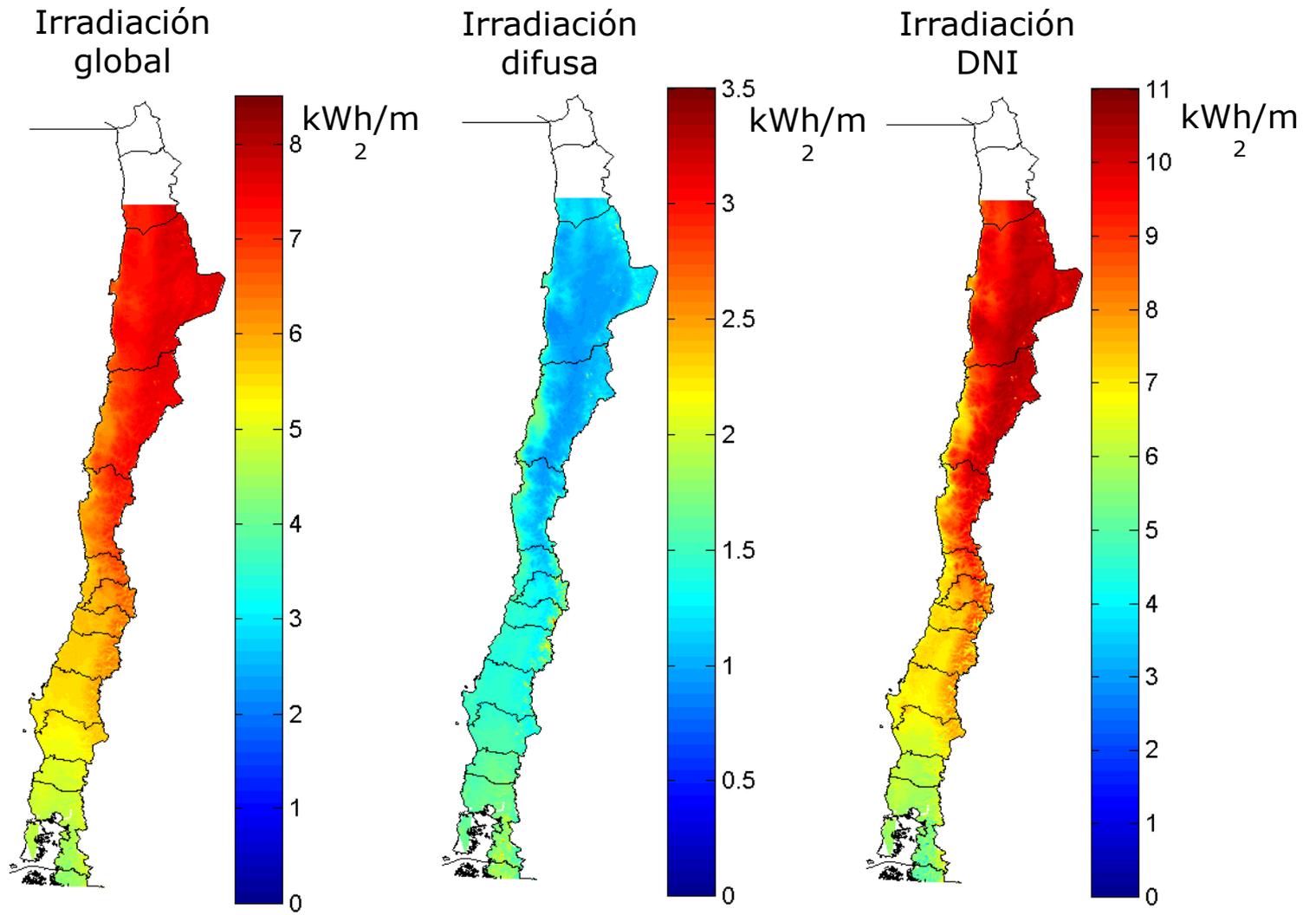
$$DF = \frac{DiffHI}{GHI} = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 k_t + \beta_2 AST + \beta_3 \alpha + \beta_4 K_t + \beta_5 \psi}}$$

- A partir de la Irradiancia Difusa y Global, se obtiene la DNI

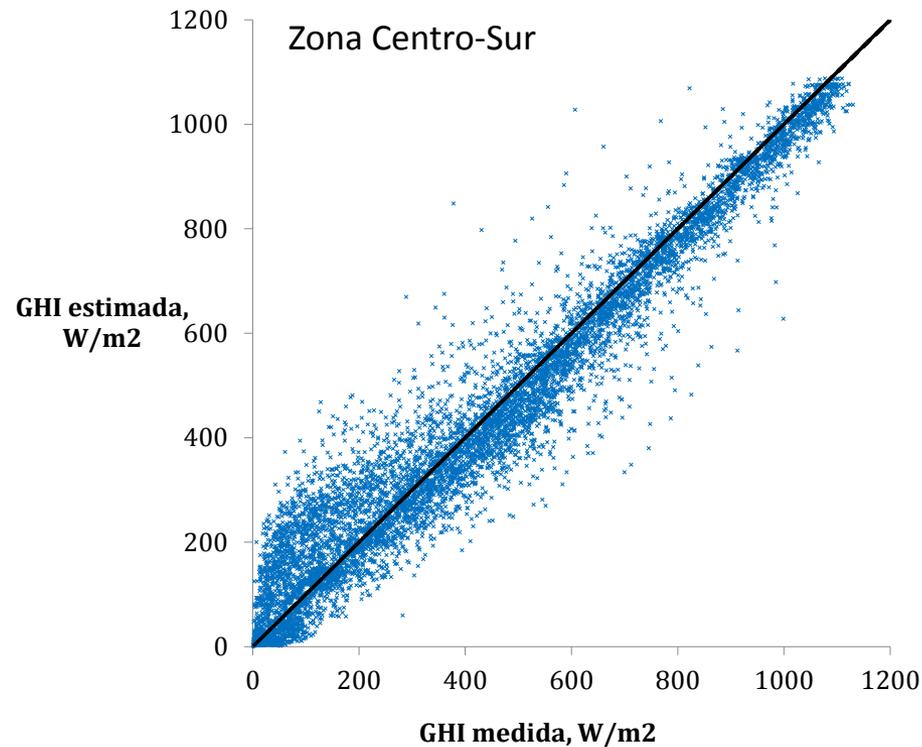
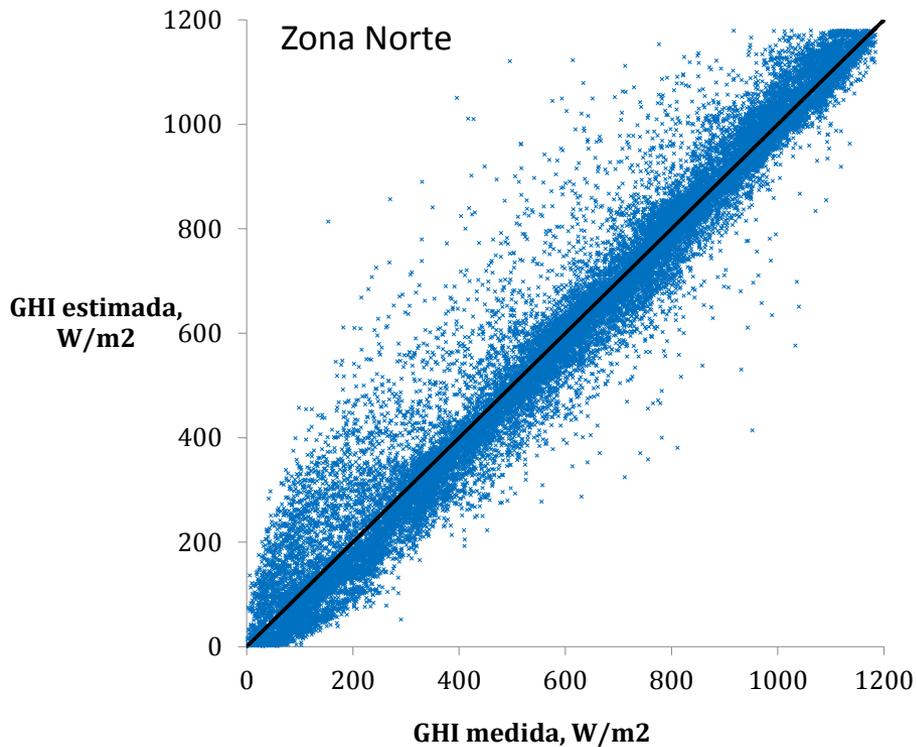
$$DNI = \frac{GHI - DiffHI}{\cos(\theta)}$$

β_i	Constantes
k_t	Índice de claridad horario
AST	Tiempo solar aparente
α	Altitud Solar
K_t	Índice de claridad diario
ψ	Persistencia

Promedios Anuales



Comparación de resultados de GHI



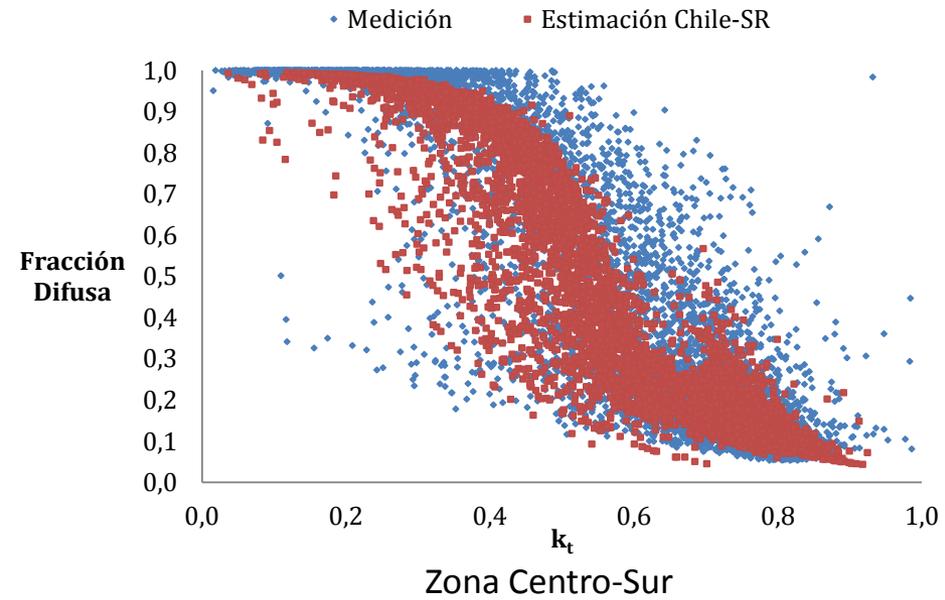
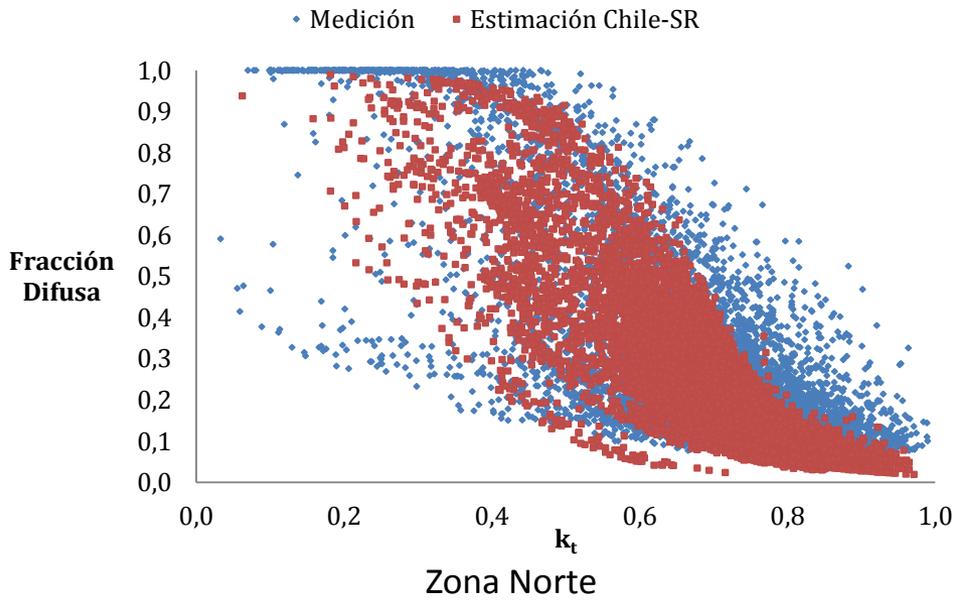
MBE kWh/m ²	rMBE %	RMSE kWh/m ²	rRMSE %		MBE kWh/m ²	rMBE %	RMSE kWh/m ²	rRMSE %
-0,13	-2,1	0,57	8,9		2,4	0,4	70,0	12,8

Energía Total Diaria

Irradiancia Promedio Horaria

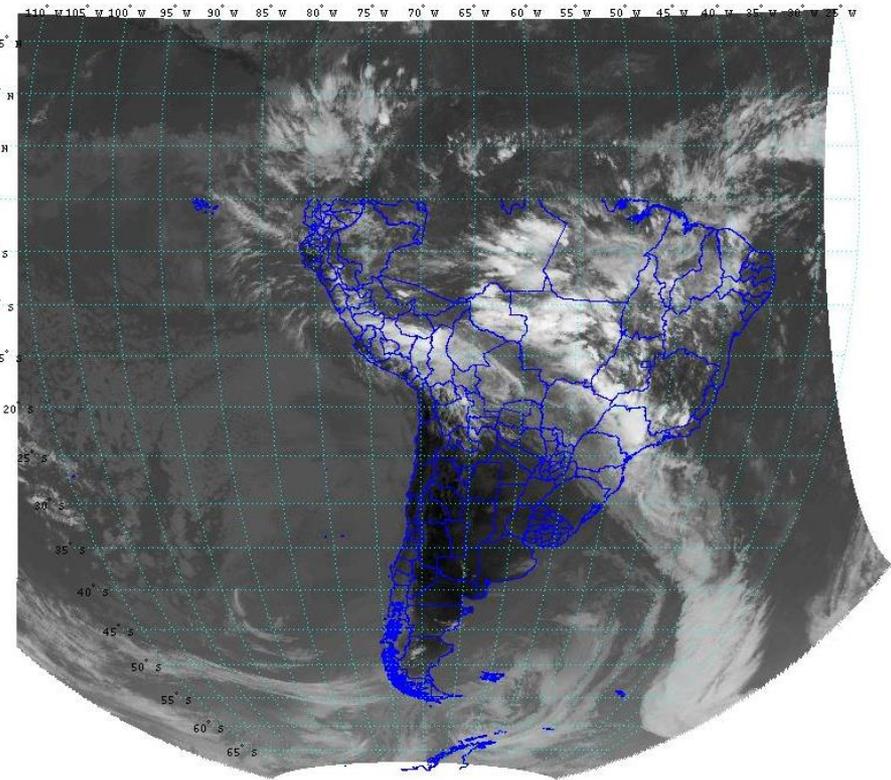


Comparación de resultados de Irradiancia Difusa Horizontal



Modelo Chile-SR: Trabajo a Futuro

- Completar cobertura territorial
- Mejorar estimación de aerosoles
- Mejorar estimación de irradiancia Difusa y DNI
- Incorporar distintos tipos de nubes
- Procesar una mayor cantidad de imágenes



Conclusiones

- Existe una amplia variedad de modelos satelitales disponibles para estimar el recurso solar
- Este tipo de información abarca un gran territorio
- A mayor intervalo temporal se incrementa la precisión de la estimación
- Permite procesar información histórica
- En Chile se debe proceder con cautela dada la gran variedad de climas en el territorio



Gracias!



Cristian Cortés

Center for Solar Energy Technologies
Fraunhofer Chile Research



14 de agosto de 2015

