



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO

# Energía Solar





PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO

# Energía Solar

- Parte I**                      **Conceptos Básicos de Energía Solar**
- Parte II**                    **Sistemas de baja y media temperatura**
- Parte III**                  **Sistemas de alta temperatura. Plantas de  
Generación Solar Térmica (CSP)**
- Parte IV**                  **Sistemas Fotovoltaicos**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO



# Energía Solar

## Parte I: Conceptos Básicos de Energía Solar





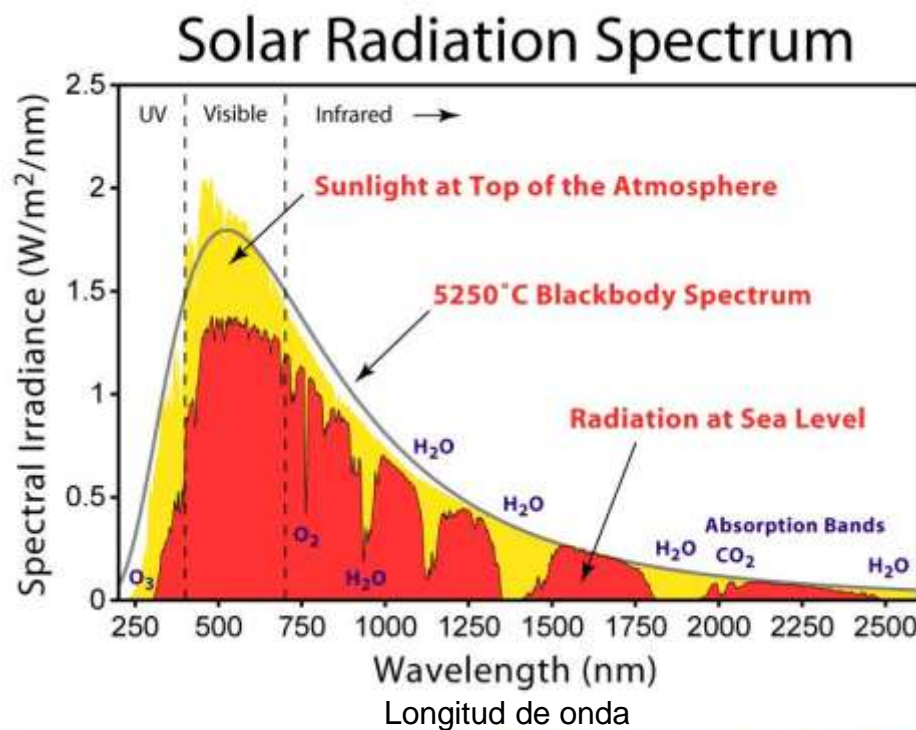
## **TEMARIO PARTE I**

- CONCEPTOS DE ENERGÍA SOLAR**
- FACTORES QUE AFECTAN LA MAGNITUD DE LA RADIACIÓN**
- TIPOS DE RADIACIÓN INCIDENTE**
- MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR**
- DATOS DE RADIACIÓN**
- USOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR**
  - SEGÚN TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA**
  - SEGÚN RANGO DE TEMPERATURA**

## Energía Solar:

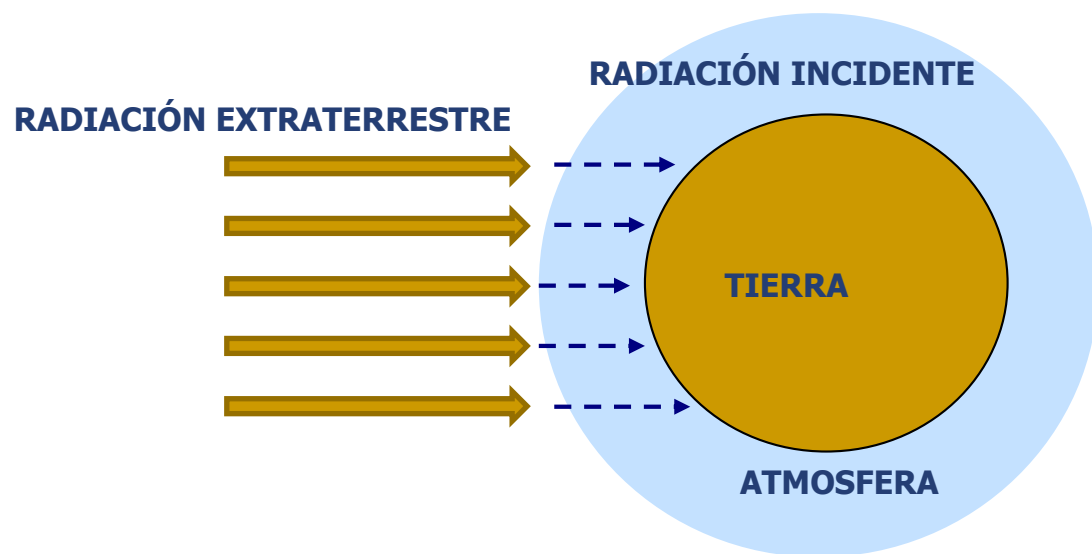
Es la energía emitida en la forma de radiación electromagnética en la superficie del sol, en diferentes frecuencias que constituyen el espectro solar (luz visible + infrarrojo + ultravioleta)

La energía solar utilizable es la fracción de la energía solar que llega a la superficie de la tierra





**La magnitud de la radiación unitaria instantánea que llega a la tierra, antes de entrar a la atmósfera, es llamada **CONSTANTE SOLAR**, su valor es igual a  $1.353 \text{ W/m}^2$  (1.373, según la organización internacional de meteorología)**



**La radiación antes de entrar a la atmósfera es llamada radiación extraterrestre, en tanto que la que llega a la superficie de la tierra es llamada radiación incidente sobre la superficie de la tierra.**



## CONCEPTO:

Normalmente se denomina radiación o irradiación indistintamente tanto a la potencia como a la energía solar incidente.

La potencia solar incidente, también llamada irradiancia, es la magnitud de la radiación instantánea, por unidad de área, tiene unidades de potencia unitaria ( $\text{W/m}^2$  o  $\text{J/m}^2$ ).

La energía solar incidente es la cantidad de radiación que llega a una unidad de área en un período definido de tiempo. Tiene unidades de energía unitaria o energía específica ( $\text{Wh/m}^2$  ó  $\text{KWh/m}^2$  ó  $\text{cal/m}^2$ )

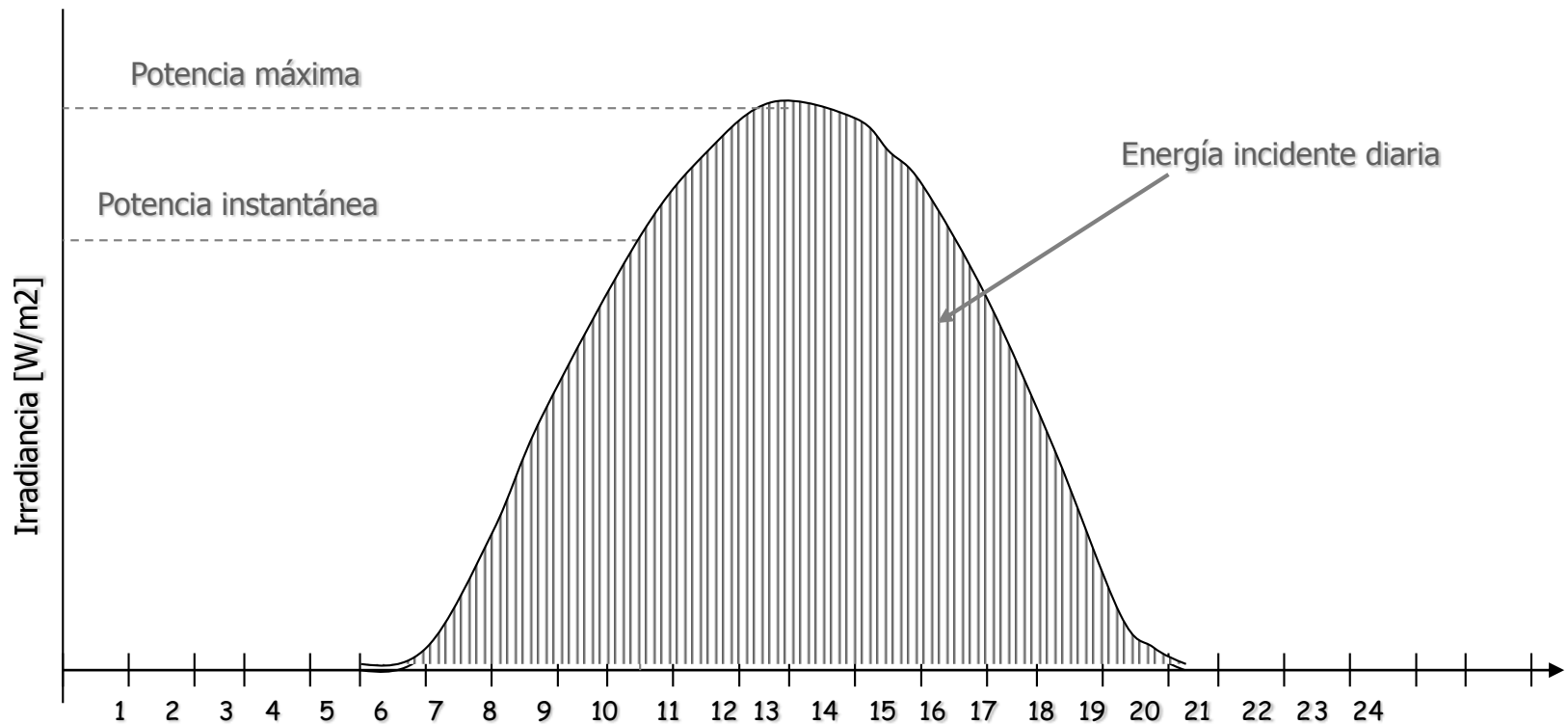
La irradiancia que llega a la superficie de la tierra, llamada radiación incidente, es de entre 800 y 1.000  $\text{W/m}^2$ , en los mejores lugares, en tanto que la energía solar incidente diaria es de entre 5.000 y 8.000  $\text{Wh/m}^2$ , como máxima anual (1).

También se suele hacer referencia a la radiación total anual, valor que en los lugares más aptos para proyectos solares es de entre 1.800 y 2.400  $\text{KWh/m}^2$  (1)

En el norte de Chile la radiación total anual alcanza, en los mejores lugares a 2.500  $\text{KWh/m}^2$ , y la irradiancia media alcanza los 1.050  $\text{W/m}^2$ , lo que hace que el norte de Chile sea uno de los lugares de más alta irradiación solar del mundo.

(1) Radiación global sobre superficie horizontal

## POTENCIA O IRRADIANCIA Y ENERGÍA INCIDENTE SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL







## **FACTORES QUE AFECTAN LA RADIACIÓN INCIDENTE**

**Factores Astronomicos:**                      **Latitud, día del año, hora del día**

**Estado del cielo:**                              **Nubosidad, transparencia (Kt),**

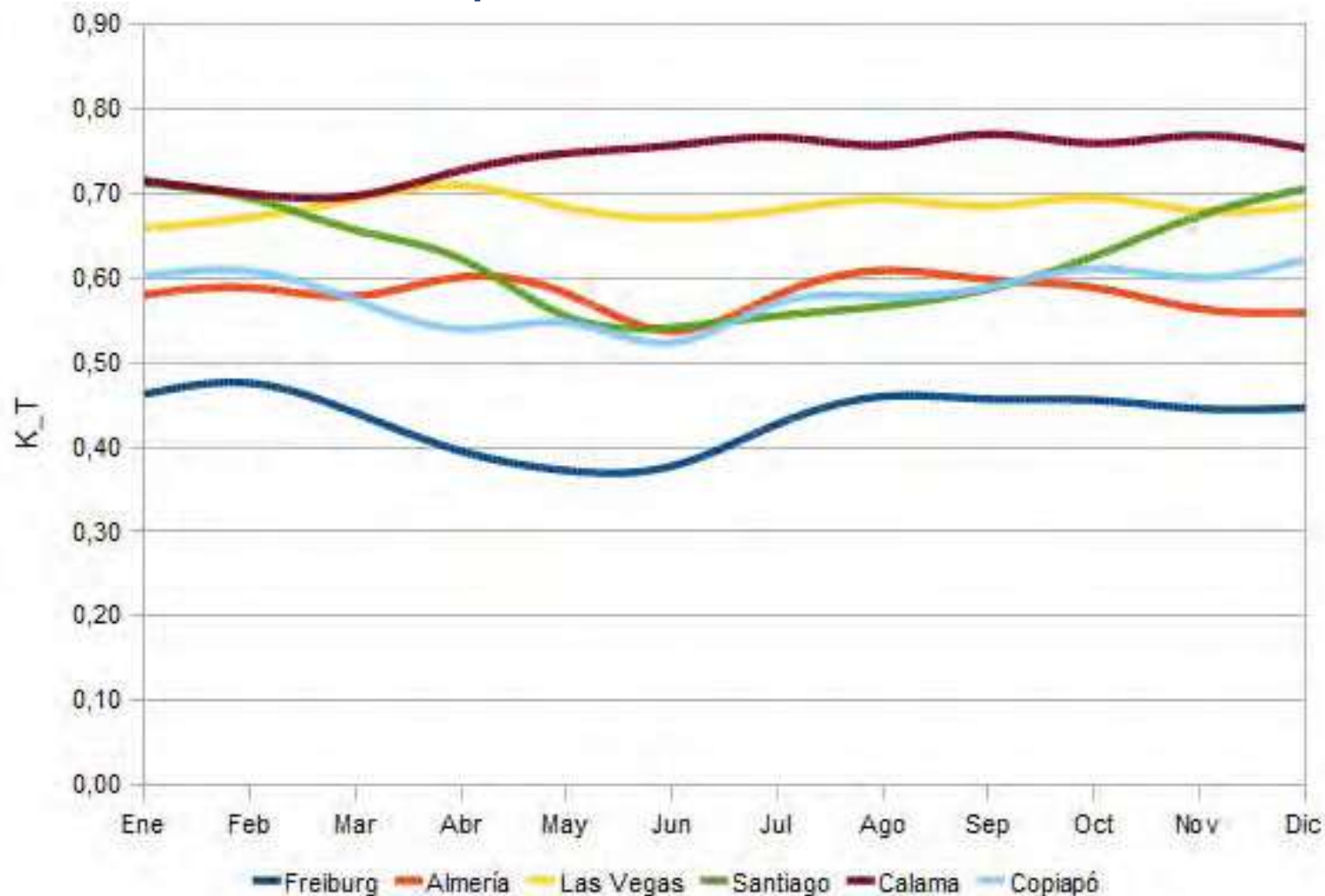
**Factores atmosfericos:**                      **Turbiedad, polución, columna de agua precipitable**

**Índice de transparencia atmosférica: Kt**

$$Kt = \frac{\text{radiación a nivel del suelo}}{\text{radiación extraterrestre}}$$

- Los lugares nubosos tienen transparencias promedio mensual del orden de 0,40.
- Lugares muy nubosos y lluviosos pueden tener valores en torno a 0,30.
- Valores más pequeños se observan solo en invierno en latitudes muy elevadas.
- Cuando KT es mayor que 0,60, implica cielos muy claros.
- Valores de KT mayores a 0,70 implica que casi no hay nubes.

## Índice de transparencia atmosférica: $K_t$



## Disminución de la radiación incidente por factores astronómicos

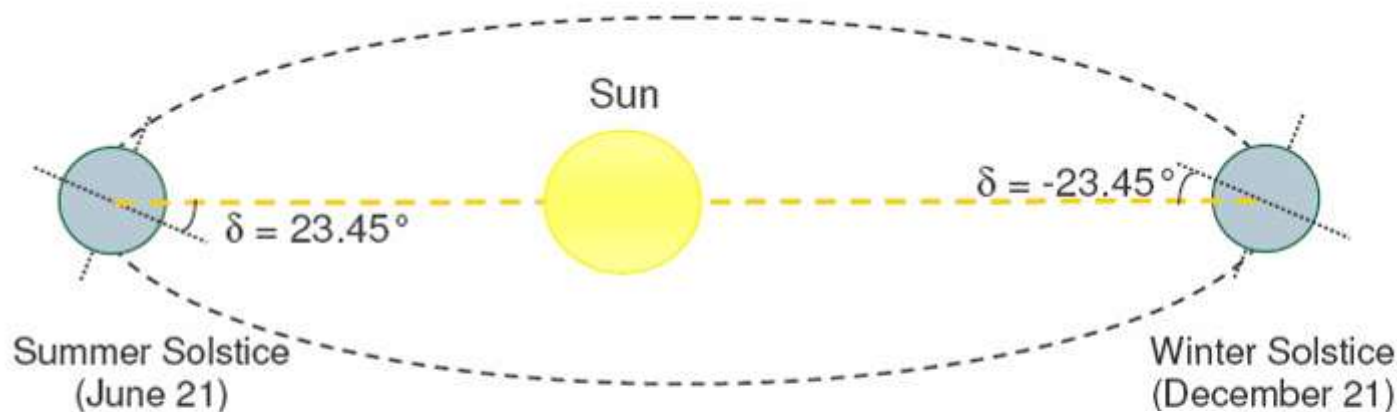


Figure 2.7. Declination angle due to Earth's tilt

**Días más cortos**

**Disminución radiación  
(inclinación terrestre)**

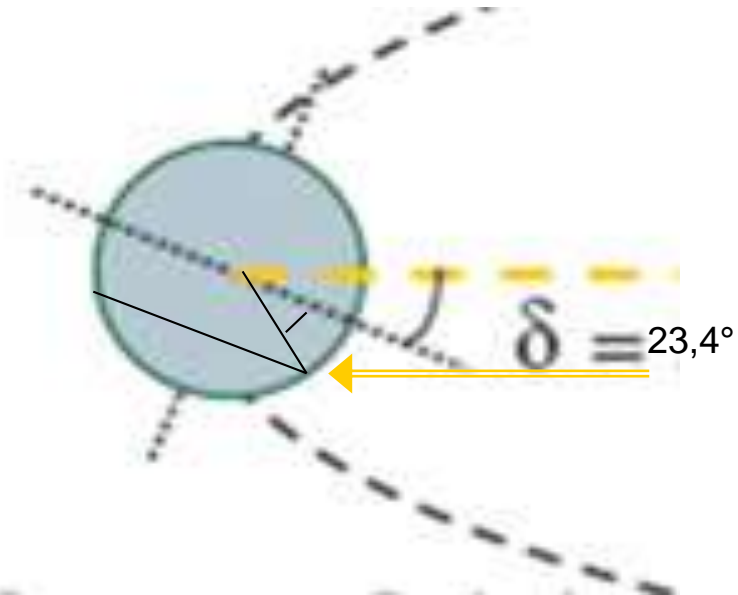
**Menor cantidad de horas de Sol**

**Días más largos**

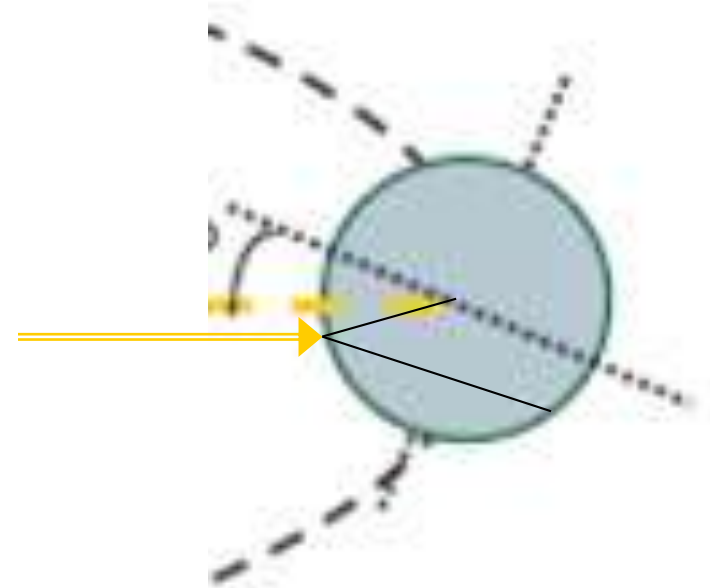
**Aumento radiación**

**Mayor cantidad de horas de Sol**

**La radiación incidente cambia debido a un cambio en el ángulo de incidencia, producto de la declinación solar, así como a una diferente duración del día solar**



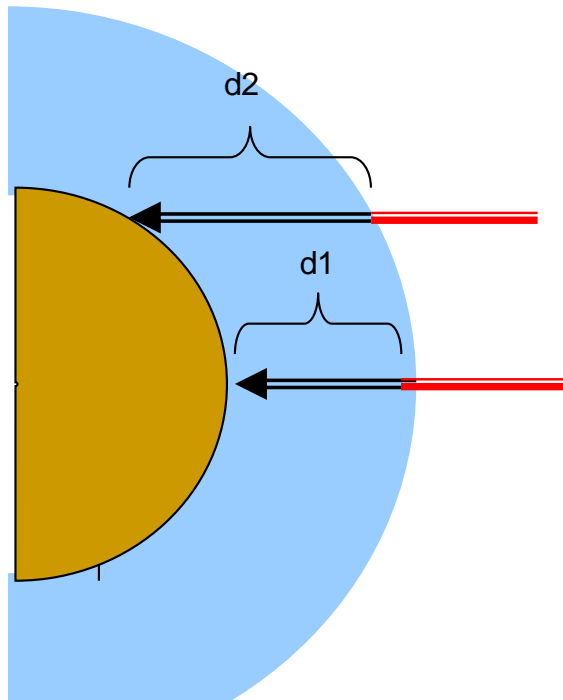
Situación en Junio 21  
(solsticio de invierno en el  
hemisferio sur)



Situación en Diciembre 21  
(solsticio de verano en el  
hemisferio sur)

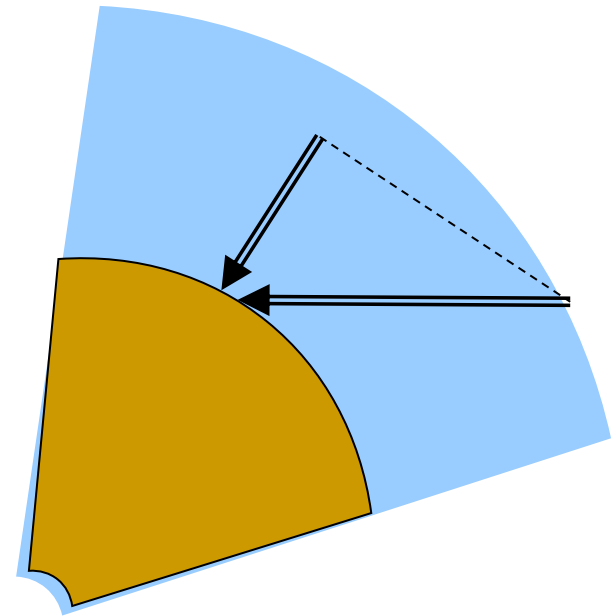
## Disminución de la radiación incidente por factores astronómicos

### ANGULO DE INCIDENCIA



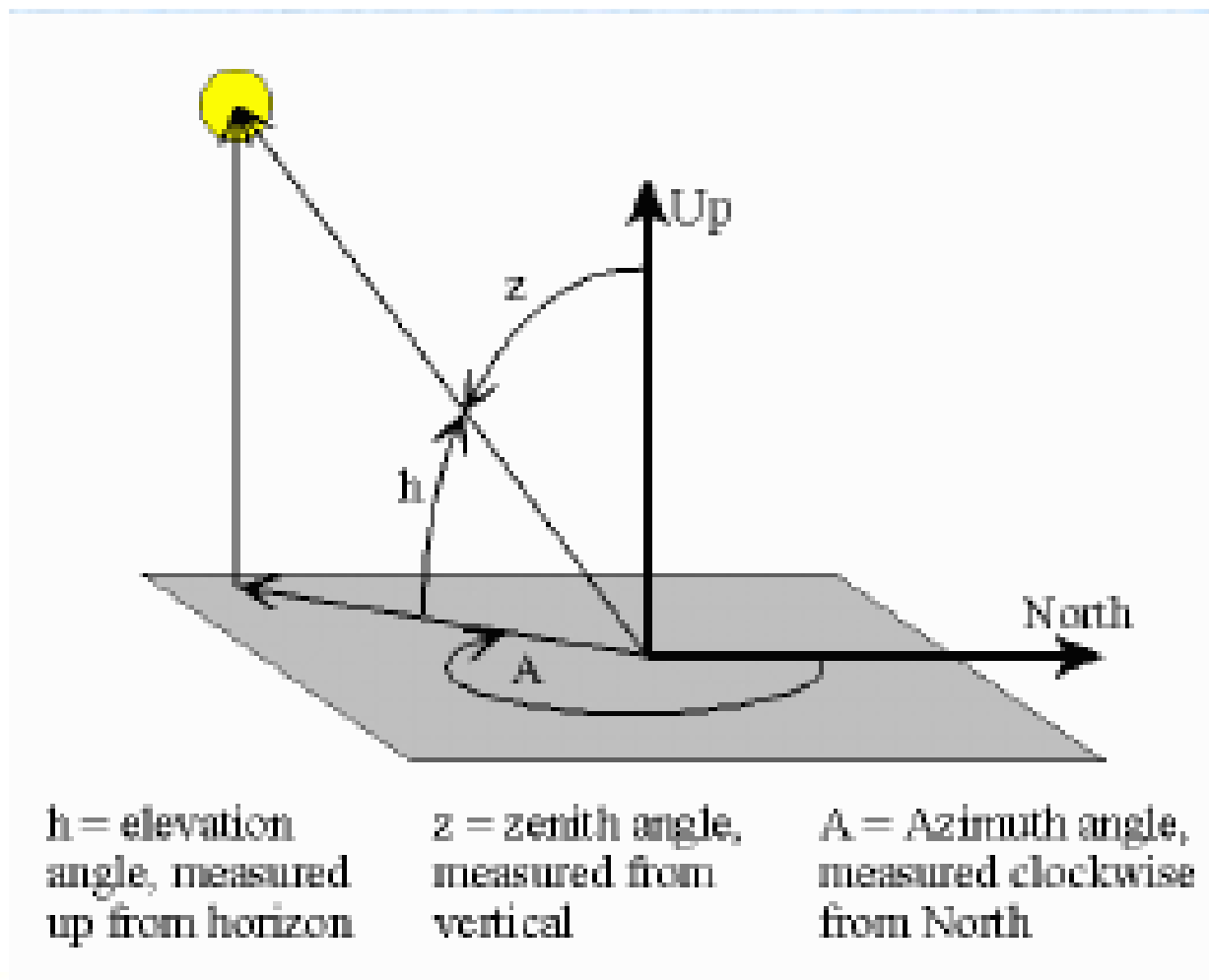
Los rayos solares atraviesan una distancia mayor a través de la atmósfera cuando inciden en latitudes mayores (d2) que cuando inciden cerca del ecuador (d1)

### COMPONENTE NORMAL



La radiación normal o perpendicular a la superficie horizontal es menor mientras mayor sea la latitud

## ANGULOS IMPORTANTES





## Modificación de la radiación incidente por factores astronómicos

**Variación del ángulo de incidencia  
según la época del año:**

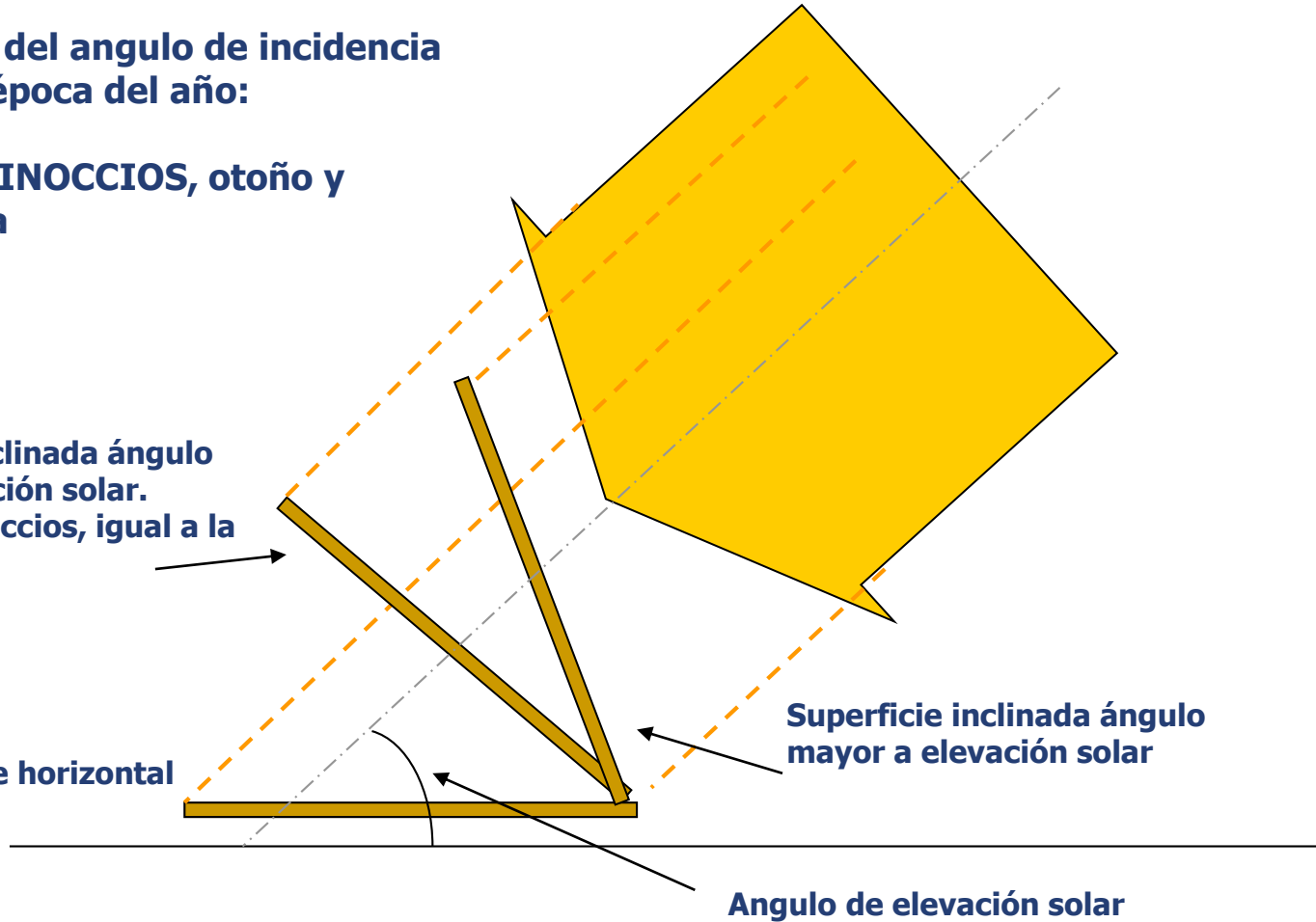
**Caso EQUINOCCIOS, otoño y  
primavera**

**Superficie inclinada ángulo  
igual a elevación solar.  
En los equinoccios, igual a la  
latitud**

**Superficie horizontal**

**Superficie inclinada ángulo  
mayor a elevación solar**

**Ángulo de elevación solar**



## Modificación de la radiación incidente por factores astronómicos

**Variación del ángulo de incidencia  
según la época del año:**

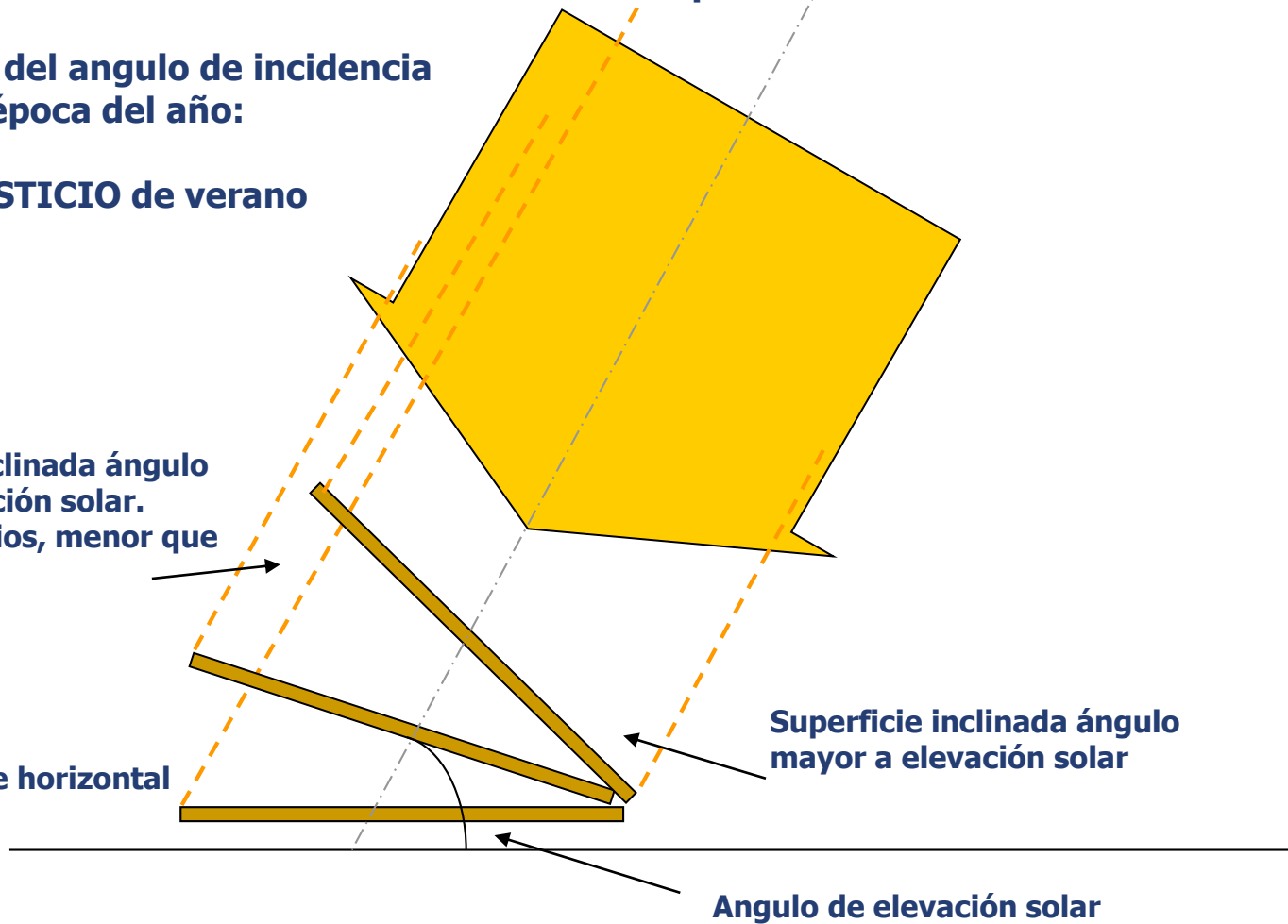
**Caso SOLSTICIO de verano**

**Superficie inclinada ángulo  
igual a elevación solar.  
En los solsticios, menor que  
la latitud**

**Superficie horizontal**

**Superficie inclinada ángulo  
mayor a elevación solar**

**Angulo de elevación solar**

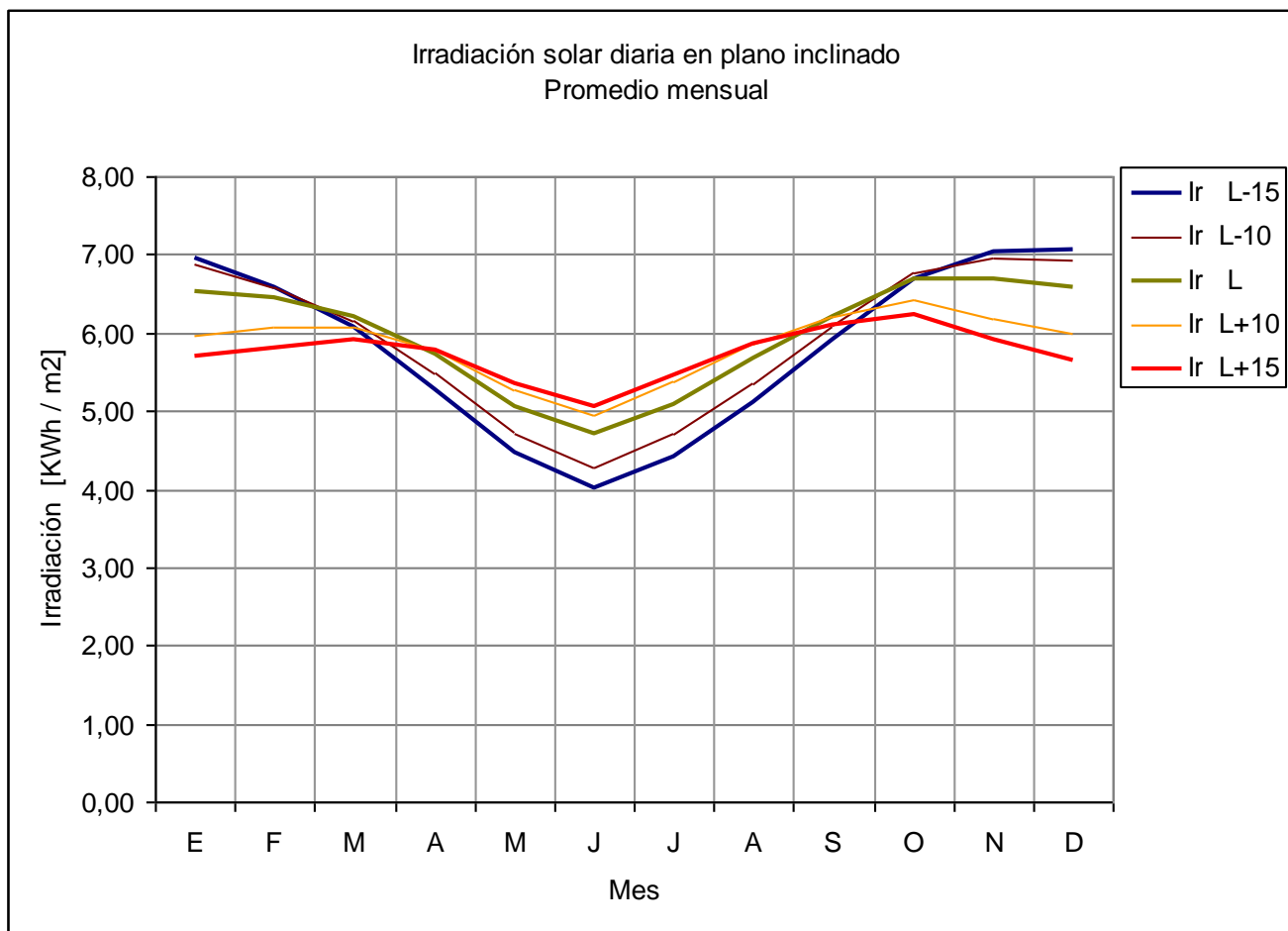




## INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN

COYA SUR

Latitud: 22° 26" S Altura: 1.490 msnm



**Tabla A1.**

Datos Irradiación solar en Chile sobre un plano horizontal, (KWh/m<sup>2</sup>) \*

Localidad/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Parinacota</b> 18°12' S, 69°16' W	5.47	4.86	5.11	5.43	4.83	4.46	4.66	5.44	6.13	6.85	6.90	6.06
<b>Arica</b> 18°30' S, 70°19' W	5.89	5.89	5.37	4.37	3.43	2.81	2.73	3.44	4.09	5.11	5.66	6.71
<b>Iquique</b> 20°13' S, 70° 9' W	6.53	6.53	5.44	4.52	3.42	2.84	2.72	3.25	4.03	5.20	6.07	6.69
<b>Pica</b> 20°30' S, 69°21' W	6.89	6.58	6.16	5.47	4.61	4.13	4.41	5.13	6.03	6.98	7.32	7.31
<b>Quillagua</b> 21°36' S, 69°33' W	6.30	6.08	5.74	4.86	3.98	3.56	3.84	4.60	5.40	6.42	6.72	6.68
<b>Coya Sur</b> 22°26' S, 79°39' W	7.02	6.52	5.85	4.93	4.05	3.59	3.98	4.73	5.64	6.56	7.03	7.14

**Tabla A2a.**

Factores de corrección en Chile para la irradiación sobre un plano inclinado, Latitud v/s mes \*

Latitud	Inclinación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
18°	Lat -15°	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	.99
	Latitud	0.93	0.98	1.04	1.11	1.18	1.22	1.21	1.15	1.07	1.00	.95	.92
	Lat +15°	0.81	0.89	0.99	1.12	1.24	1.32	1.29	1.18	1.05	0.93	0.84	0.79
19°	Lat -15°	0.99	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	0.99
	Latitud	0.93	0.98	1.04	1.12	1.20	1.24	1.23	1.16	1.08	1.01	0.95	0.92
	Lat. +15	0.81	0.89	1.00	1.14	1.28	1.36	1.33	1.21	1.07	0.94	0.84	0.79
20°	Lat -15°	0.99	1.01	1.02	1.05	1.07	1.08	1.07	1.06	1.03	1.01	1.00	0.99
	Latitud	0.93	0.98	1.05	1.13	1.21	1.26	1.24	1.17	1.09	1.01	0.95	0.92
	Lat +15°	0.81	0.89	1.00	1.14	1.28	1.36	1.33	1.21	1.07	0.94	0.84	0.72
21°	Lat -15°	0.99	1.01	1.03	1.06	1.08	1.10	1.09	1.07	1.04	1.02	1.00	0.99
	Latitud	0.93	0.98	1.05	1.14	1.23	1.28	1.26	1.19	1.10	1.01	0.95	0.92
	Lat +15°	0.81	0.89	1.01	1.16	1.30	1.38	1.35	1.22	1.07	0.94	0.84	0.79

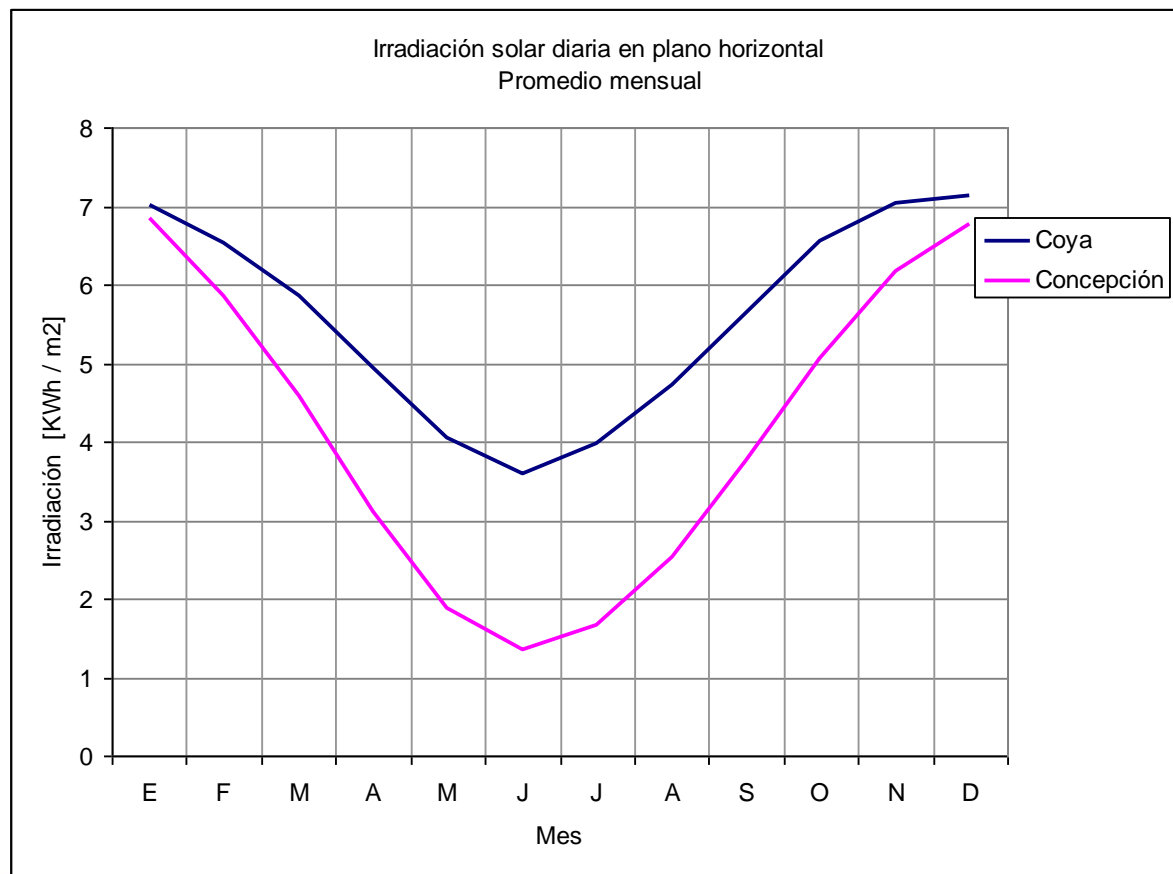


## INFLUENCIA DE LA LATITUD: Datos solarimetricos estaciones:

**COYA SUR  
CONCEPCIÓN**

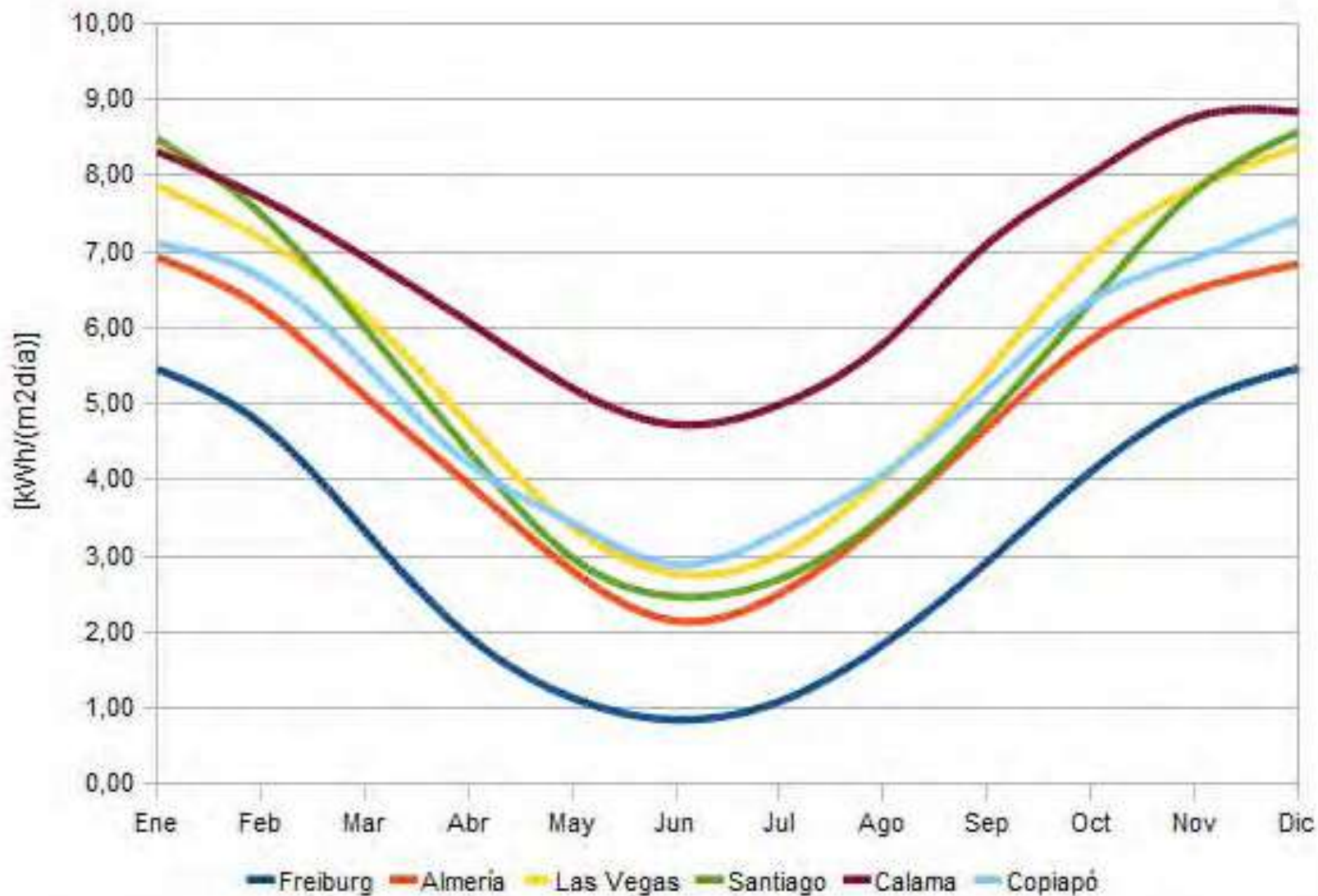
**Latitud: 22° 26" S Altura: 1.490 msnm**

**Latitud: 36° 50" S Altura: 15 msnm**





## RADIACIÓN GLOBAL SOBRE PLANO HORIZONTAL





## **RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA:**

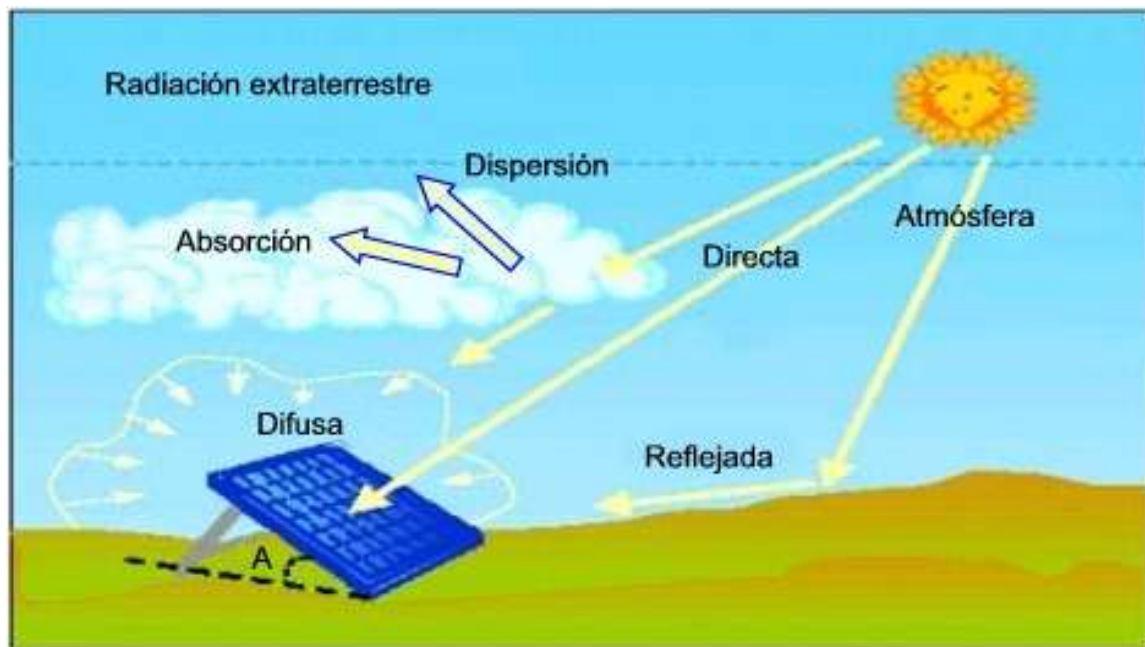
**Directa:** Es aquella que viene del Sol sin cambiar de dirección.

**Difusa:** Es aquella que tiene su origen en el Sol, pero que llega al cuerpo después de cambiar de dirección por reflexión y dispersión.

**Albedo:** Radiación reflejada por el suelo

En día nublado, toda la radiación es difusa en la superficie terrestre, sin embargo, en día totalmente despejado siempre hay algo de radiación difusa además de la directa.

$$\begin{array}{l} \text{Radiación Directa} \\ + \text{ Radiación Difusa} \\ + \text{ Radiación Reflejada (Albedo)} \\ \hline = \text{Radiación Global} \end{array}$$

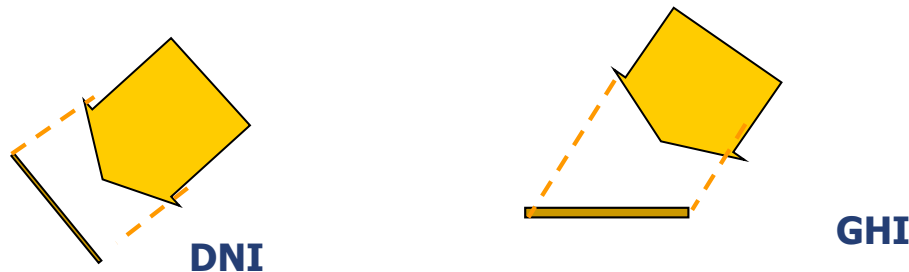


En día nublado, toda la radiación es difusa en la superficie terrestre, sin embargo, en día totalmente despejado siempre hay algo de radiación difusa además de la directa.

$$\begin{aligned} & \text{Radiación Directa} \\ & + \text{Radiación Difusa} \\ & + \text{Radiación Reflejada (Albedo)} \\ & \text{-----} \\ & = \text{Radiación Global} \end{aligned}$$

**DNI** = Irradiación Directa Normal. Es la irradiación directa que incide sobre una superficie normal o perpendicular al rayo incidente

**GHI** = Irradiación Global Horizontal. Es la irradiación total que incide sobre una superficie geográficamente horizontal



## MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Se utilizan distintos instrumentos diseñados específicamente para medir la radiación solar directa o la radiación global

**PIRHELIOMETRO**  
Mide la Radiación Directa



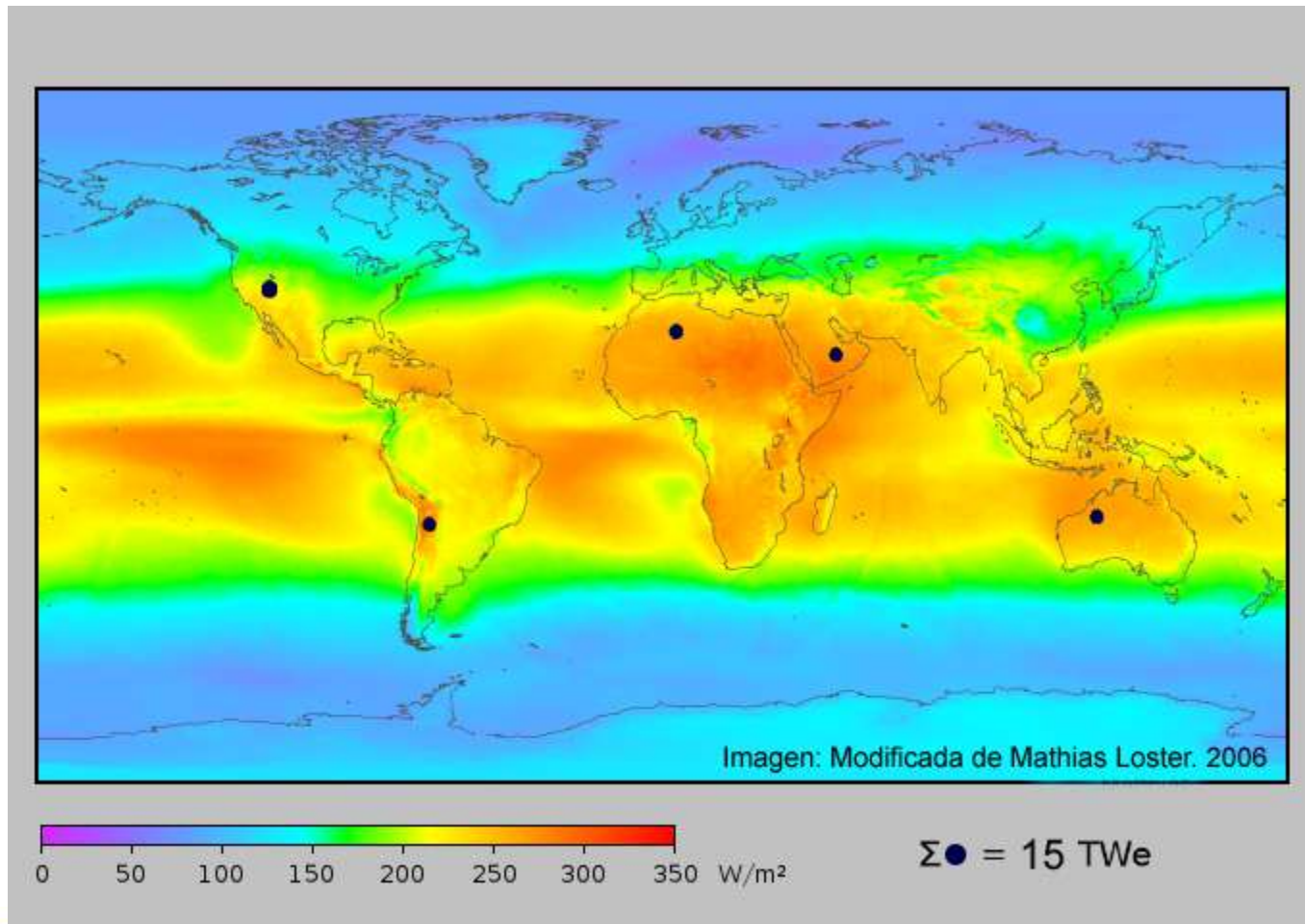
**PIRANOMETRO**  
Radiación Global  
Radiación Difusa



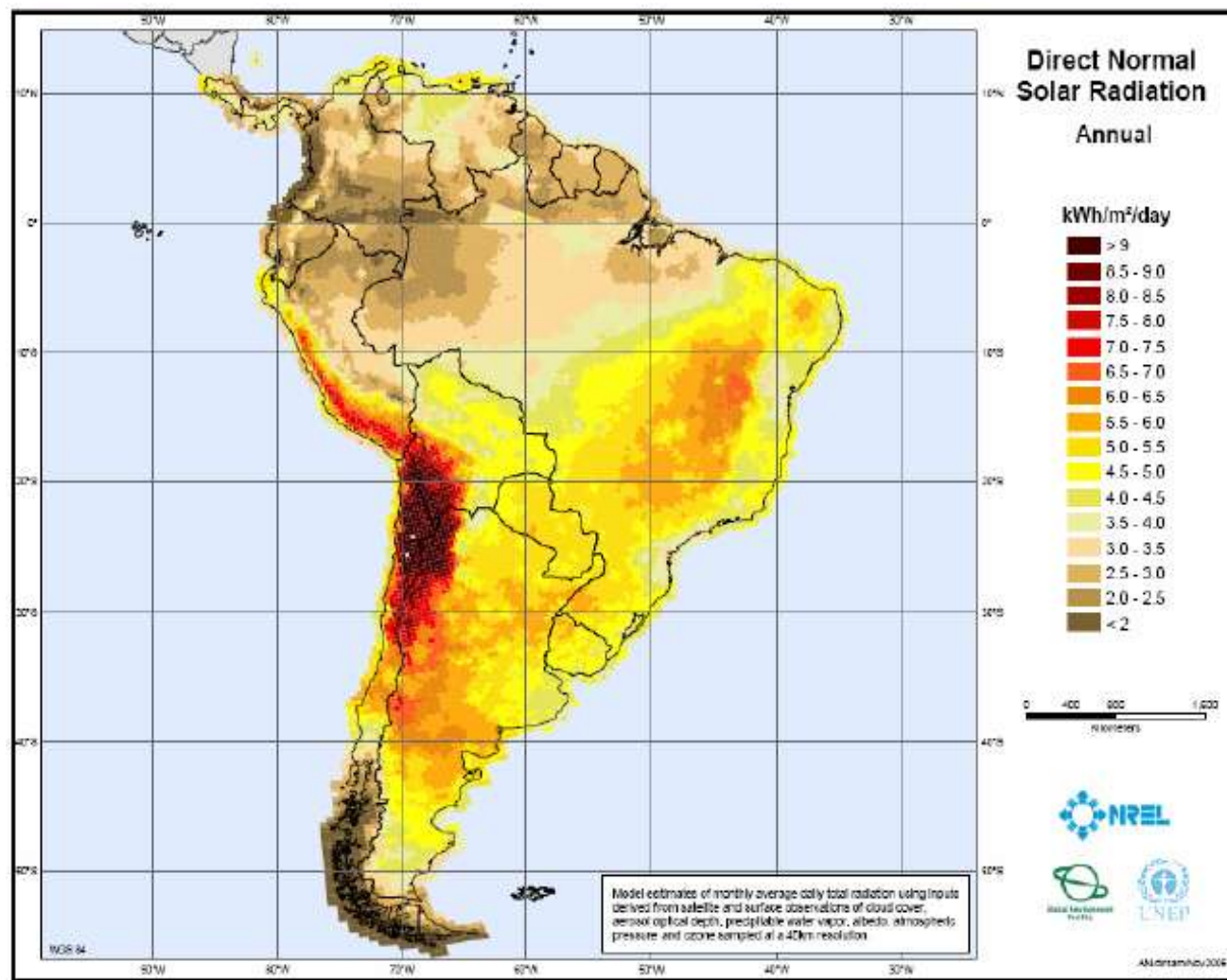


## Radiación Solar en el mundo

**Grafico que muestra la irradiación anual en el mundo. Cinturón solar**



## Y en sudamérica...



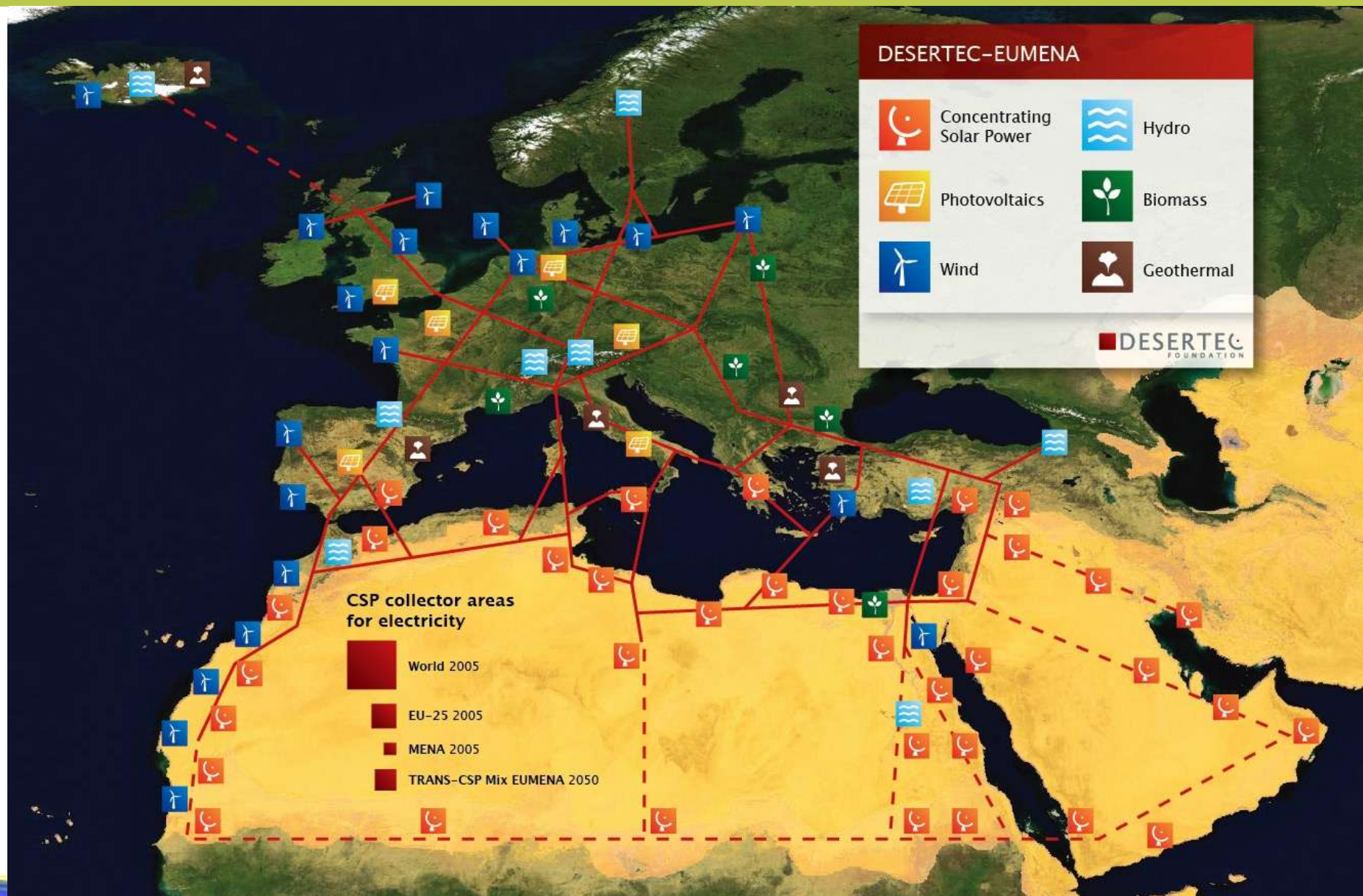
## En Chile...

**En el norte de Chile se produce la mayor irradiación, con media diaria de hasta 8,2 KWh/m<sup>2</sup> e irradiación anual de hasta 2.500 KWh/m<sup>2</sup> (DNI de hasta 3.300 KWh/m<sup>2</sup>)**

**El cuadrado representa la superficie total que sería necesaria para cubrir la demanda energética de Chile (2007), con energía solar**







## **APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR**

**En general, hay dos grandes tipos de utilización de la energía solar, de acuerdo a las transformaciones de la energía que se producen:**

**Transformación FOTOVOLTAICA:** Transforma la energía solar incidente en electricidad que puede ser utilizada en forma directa.



**La energía de las ondas electromagnéticas, produce una corriente eléctrica al impactar sobre una superficie semiconductor, en lo que se conoce como el efecto fotoeléctrico. Este fenómeno es aprovechado, para obtener energía eléctrica a partir de la energía solar, mediante módulos fotovoltaicos.**

**Uso  
industrial  
(generación)**

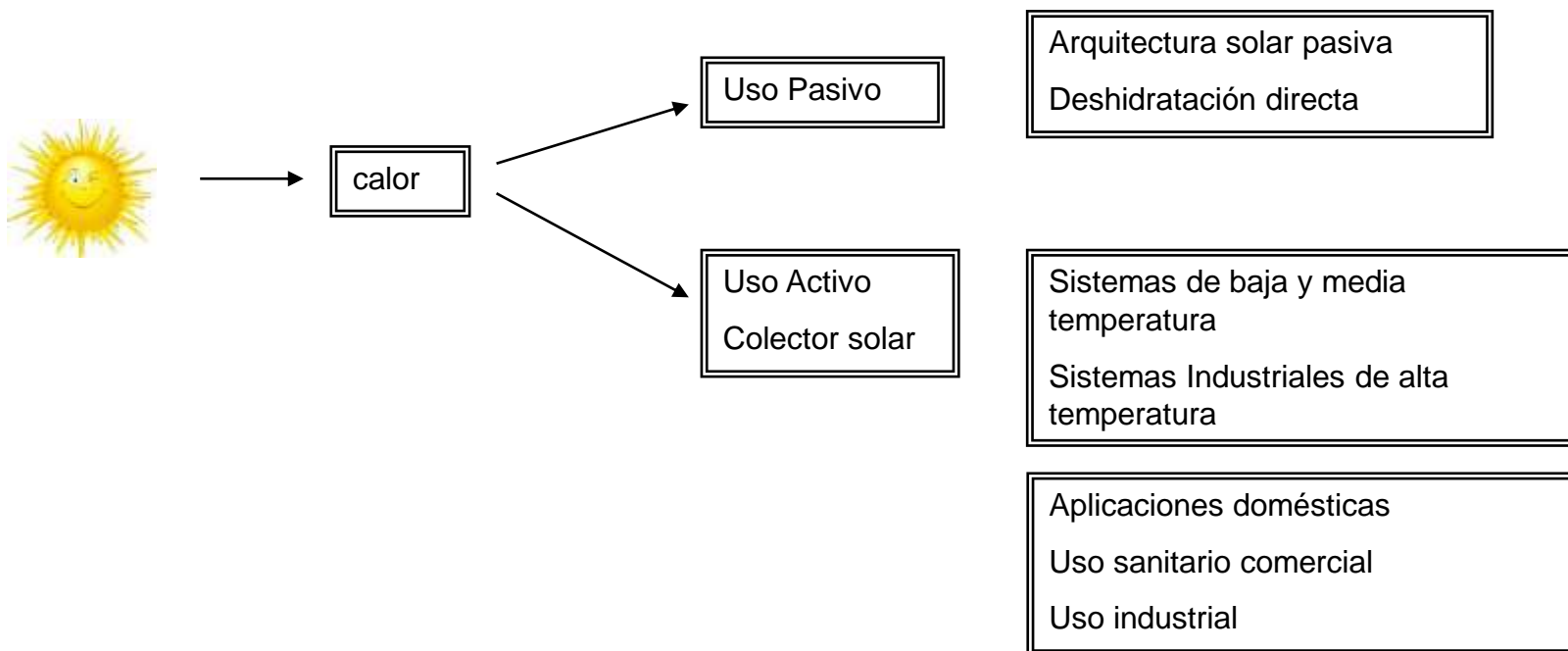


**Uso  
doméstico**



## APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

**Transformación TÉRMICA:** transforma la energía solar en calor, el que puede ser posteriormente utilizado de diversas formas:



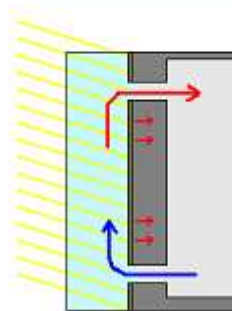
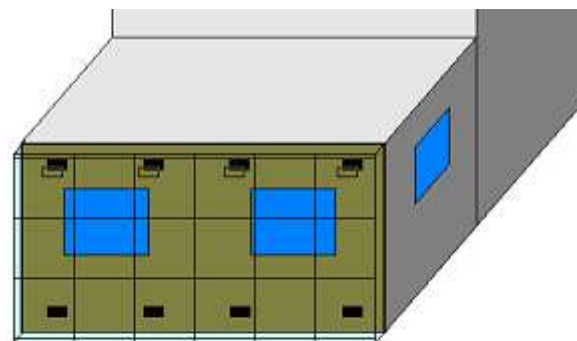


## APLICACIONES: ENERGÍA SOLAR PASIVA

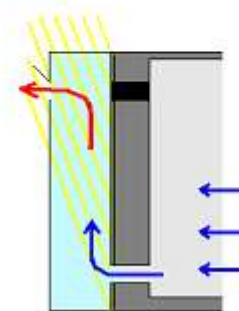
Es el uso directo de la luz y el calor del sol, capturándolos, almacenándolos y distribuyéndolos en forma natural, sin necesidad de elementos mecánicos o eléctricos y sin mediar transformaciones de energía.

Se aplica casi exclusivamente en la edificación, lo que se conoce como "arquitectura solar pasiva" o "arquitectura bioclimática"

La aplicación más conocida de arquitectura solar es el "muro Trombe", que consiste en el calentamiento durante el día de un muro de concreto, que tiene una cubierta de vidrio en su lado norte, entre el muro y el vidrio se produce una circulación de aire por convección natural. En la noche, el muro actúa como un disipador del calor acumulado.

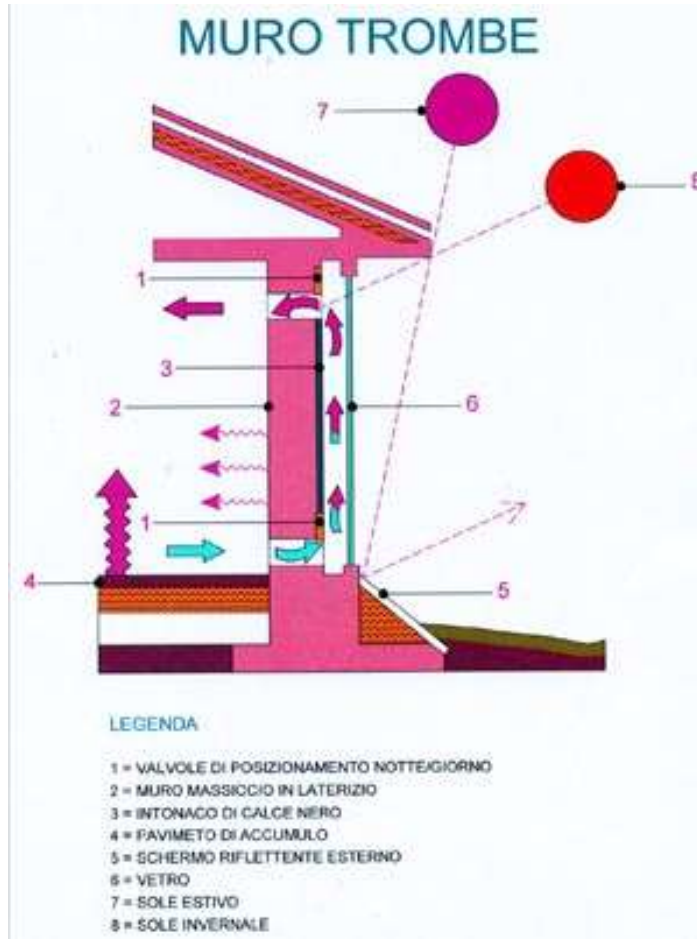


INVIERNO



VERANO

## APLICACIONES: ENERGÍA SOLAR PASIVA – MURO TROMBE





## **APLICACIONES: USO ACTIVO DE LA ENERGÍA SOLAR**

### **Aplicaciones de baja temperatura ( $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

**Calentamiento de piscinas**

**Agua caliente para uso doméstico**

**Desalinización de agua de mar**

**Calefacción doméstica**

**Deshidratado solar**

### **Aplicaciones de media temperatura ( $100\text{ a }350\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

**Calor para procesos industriales (esterilizado de conservas, industria vitivinícola)**

**Calor de precalentamiento de procesos mineros**

**Centrales de generación tecnología Fresnel**

### **Aplicaciones de alta temperatura ( $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

**Calor para procesos industriales**

**Centrales generadoras de Concentración: CSP (Torre de concentración, concentradores cilindro-parabólicos, discos Stirling, Concentrador de fresnel)**





## **FIN DE LA PRIMERA PARTE**