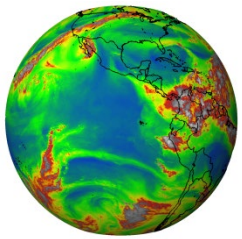
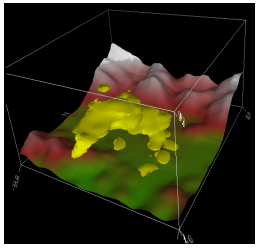
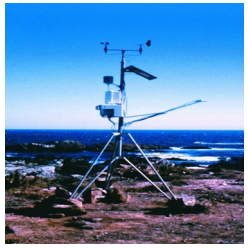

Convección
Conducción
Radiación
Rico el sol…

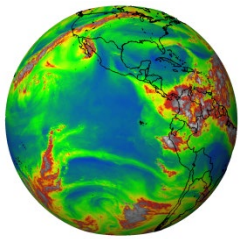
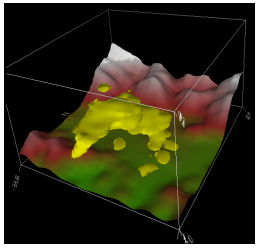
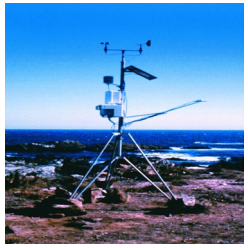






Universidad de Chile
Departamento de Geofísica

Introducción a la Meteorología

Transferencia Radiativa I (Radiación Solar)

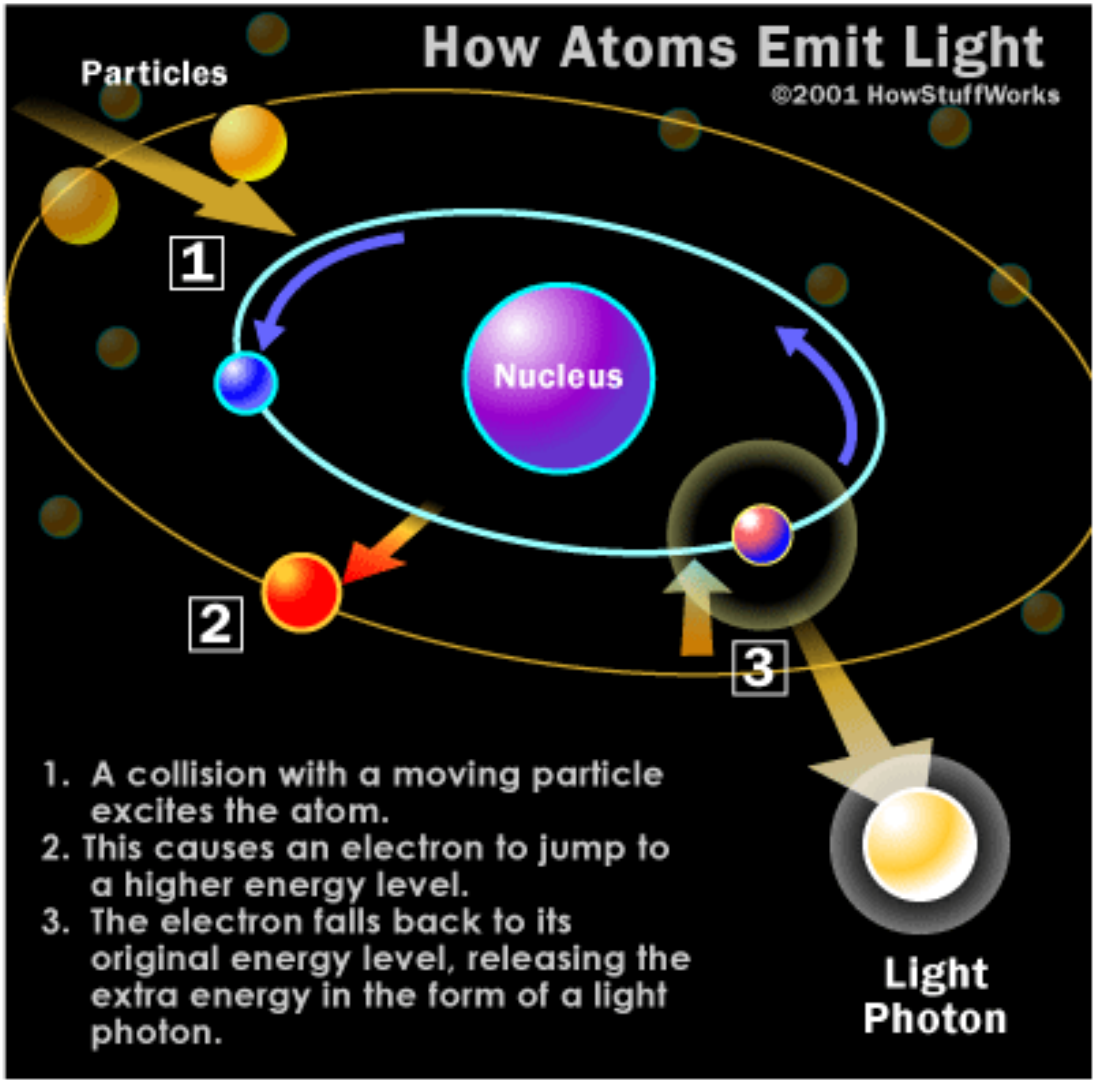
Prof. René Garreaud
www.dgf.uchile.cl/rene


Radiación Solar (2 clases)

- Leyes básicas de la radiación (Plank, Wien, Boltzman)
- Espectro observado
- Constante solar
- Terminología Radiación Solar
- Mediciones
- Estimaciones

Recuerdan algo de física cuántica?



ΔE: Emisión de energía debido a cambio orbital…esto altera el campo electromagnético y genera una onda (o fotón) de frecuencia *f* y longitud de onda λ

$$\Delta E = h \times f$$

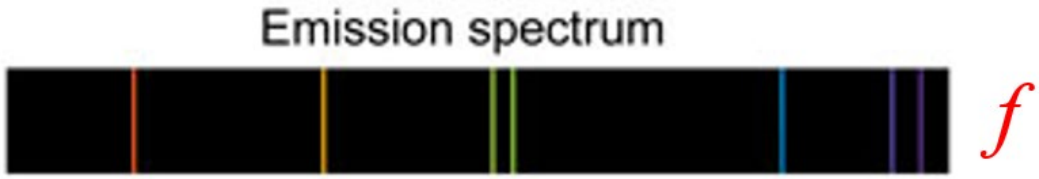
$$c = \lambda \times f$$

f

Espectro discreto

Si en vez de un solo átomo tenemos un conjunto de moléculas hay emisión de ondas con diversas longitudes de onda. El espectro se complica con muchas líneas y eventualmente ser convierte en un espectro continuo…cuanta energía lleva cada onda?

Espectro discreto



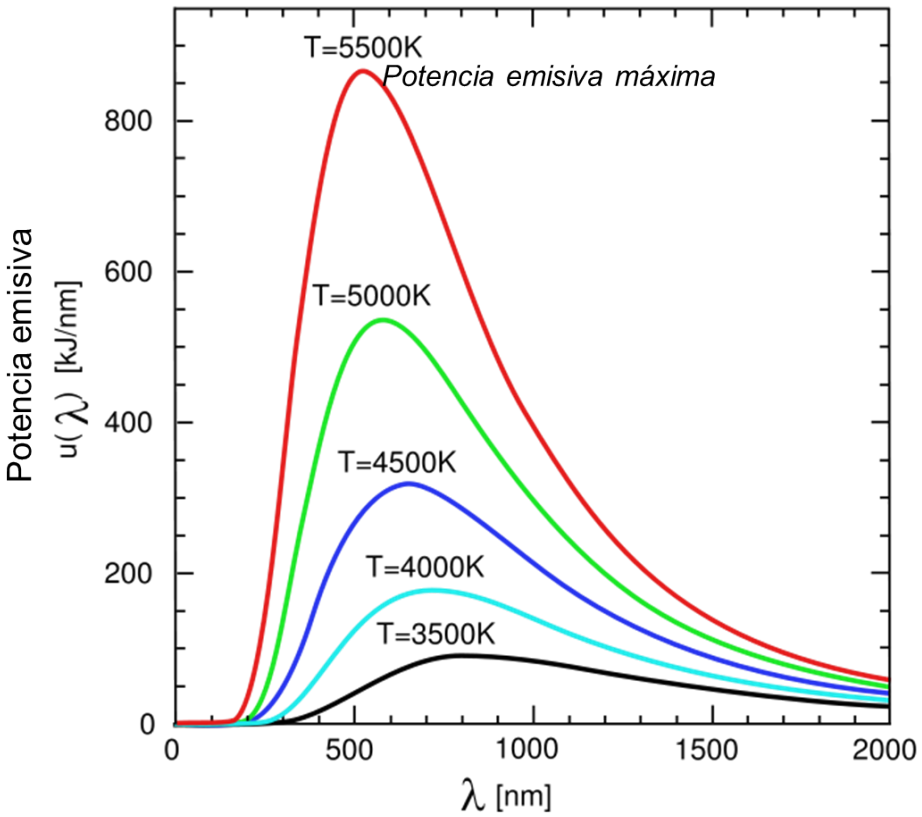
Función de Planck (~1901)

Las paredes del cuerpo negro están hechas de átomos que absorben/emiten en quantas como osciladores electromagnéticos

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/K\lambda T} - 1)} = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\pi(e^{C_2/\lambda T} - 1)},$$

Energía portada por cada onda emitida por un cuerpo/gas

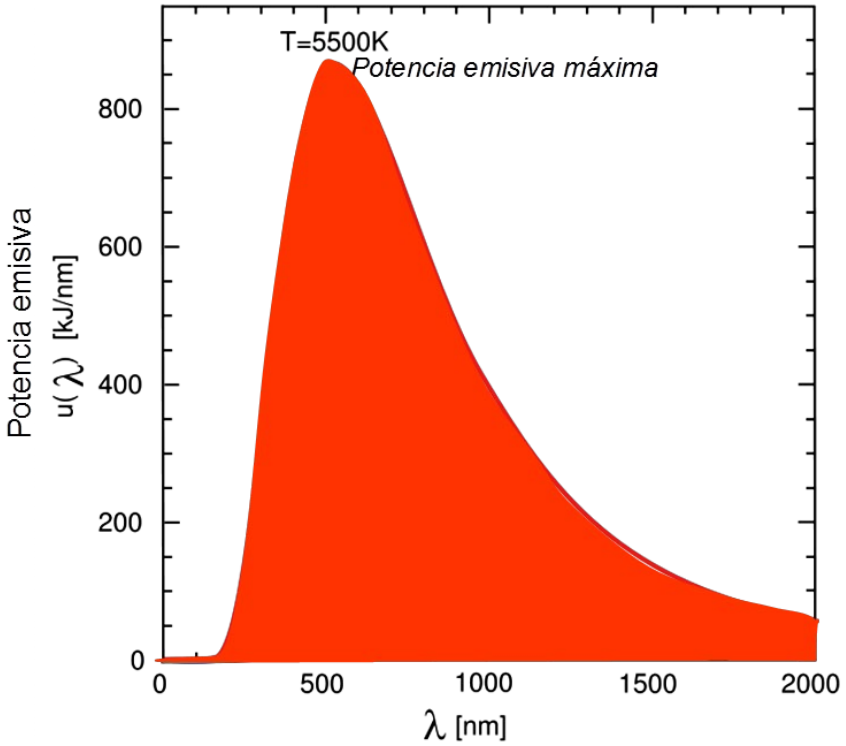
Notar dependencia en la temperatura del emisor

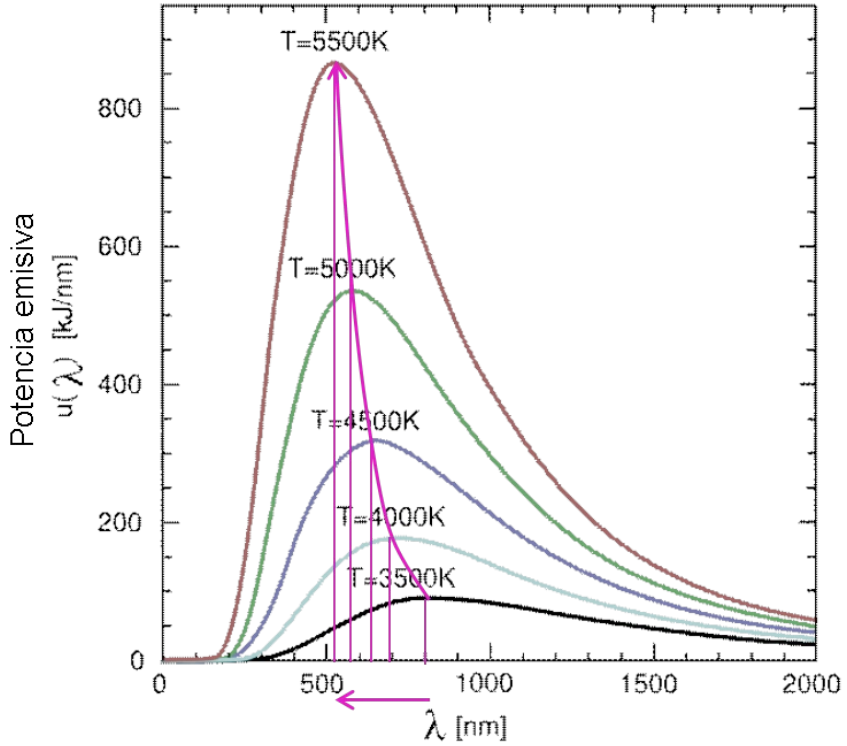


Usando la ley de Planck…

Ley de Stefan-Boltzmann $\int_{\lambda}$

Ley de Wien $\frac{\partial}{\partial \lambda}$





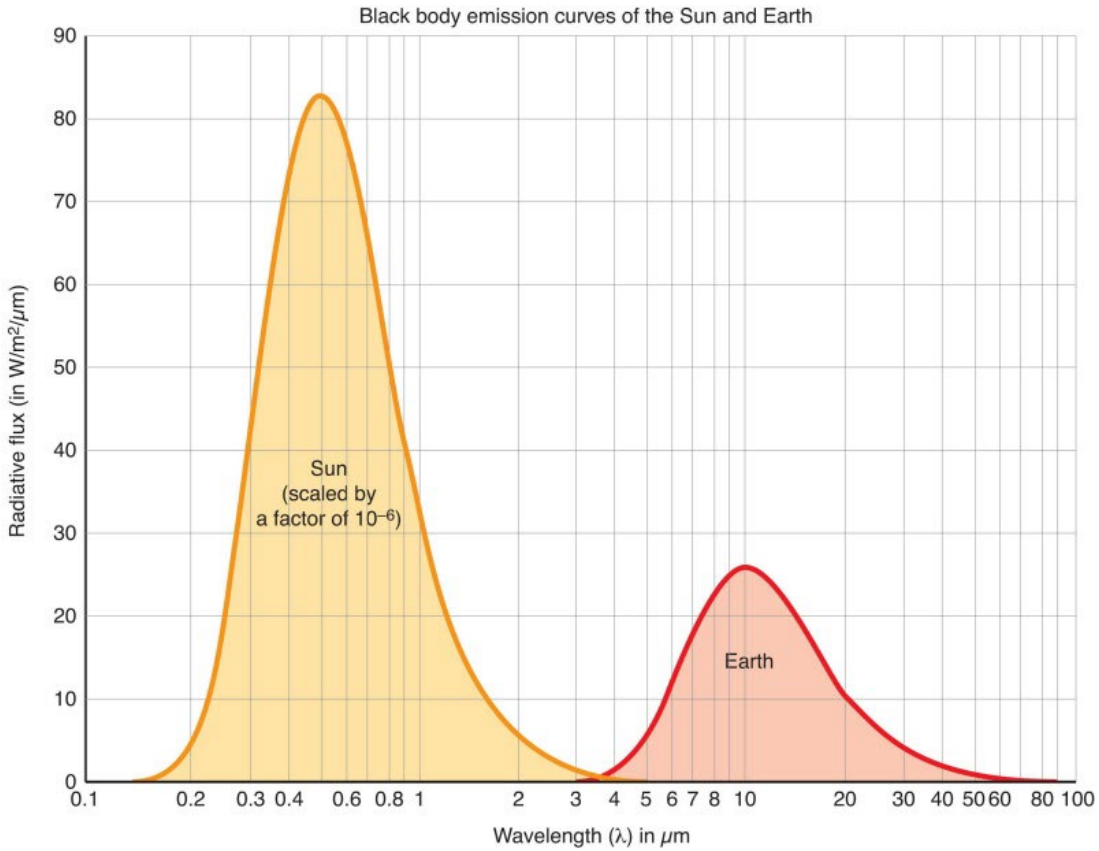
$$E^* = \sigma T^4 \quad (T\ en\ K, E\ en\ W m^{-2})$$

$$\sigma = 5.6703x10^{-8}\ watt\ /\ m^2 K^4$$

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T}$$

$$(T\ en\ K, \lambda\ en\ \mu m)$$

Usando la ley de Planck…



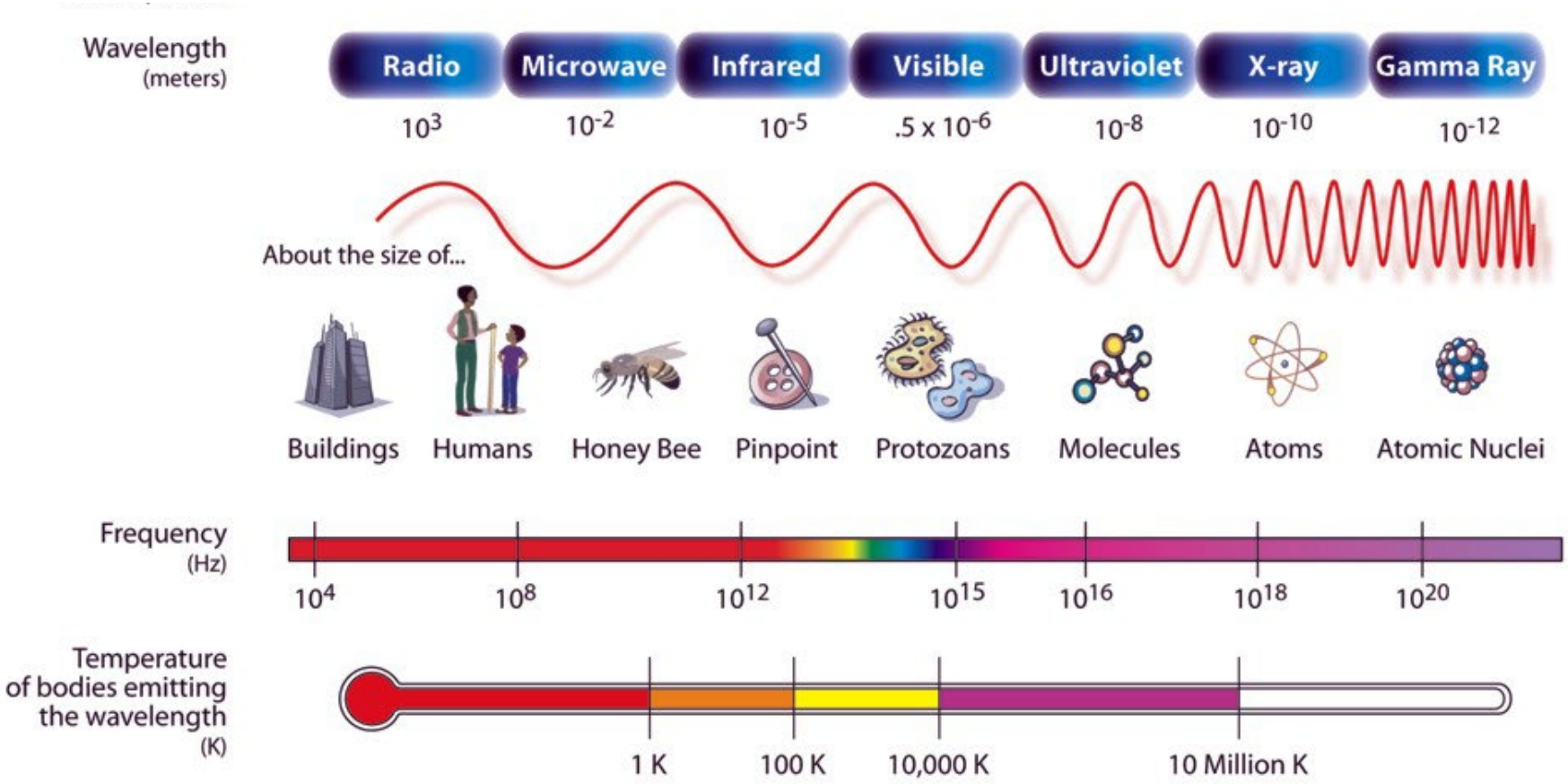
$$T_{sol} = 5800\,K\ (en\ superficie)$$

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \approx 0.5\,\mu m$$

$$T_{usted} = 27°C = 300\,K$$

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \approx 10\,\mu m$$

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



http://mynasadata.larc.nasa.gov/images/EM_Spectrum3-new.jpg

Constante Solar: Cuanta energía recibimos del sol

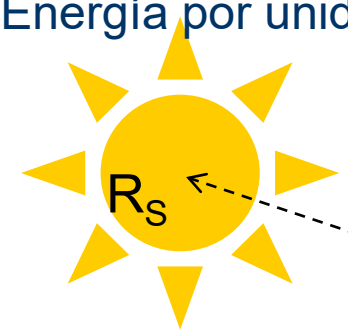
La energía emitida por el sol por unidad de área

$$E_s^* = \sigma T_s^4$$

Energía total que emite el sol

$$IS = 4\,\pi\,R_S^2\,E_s^*$$

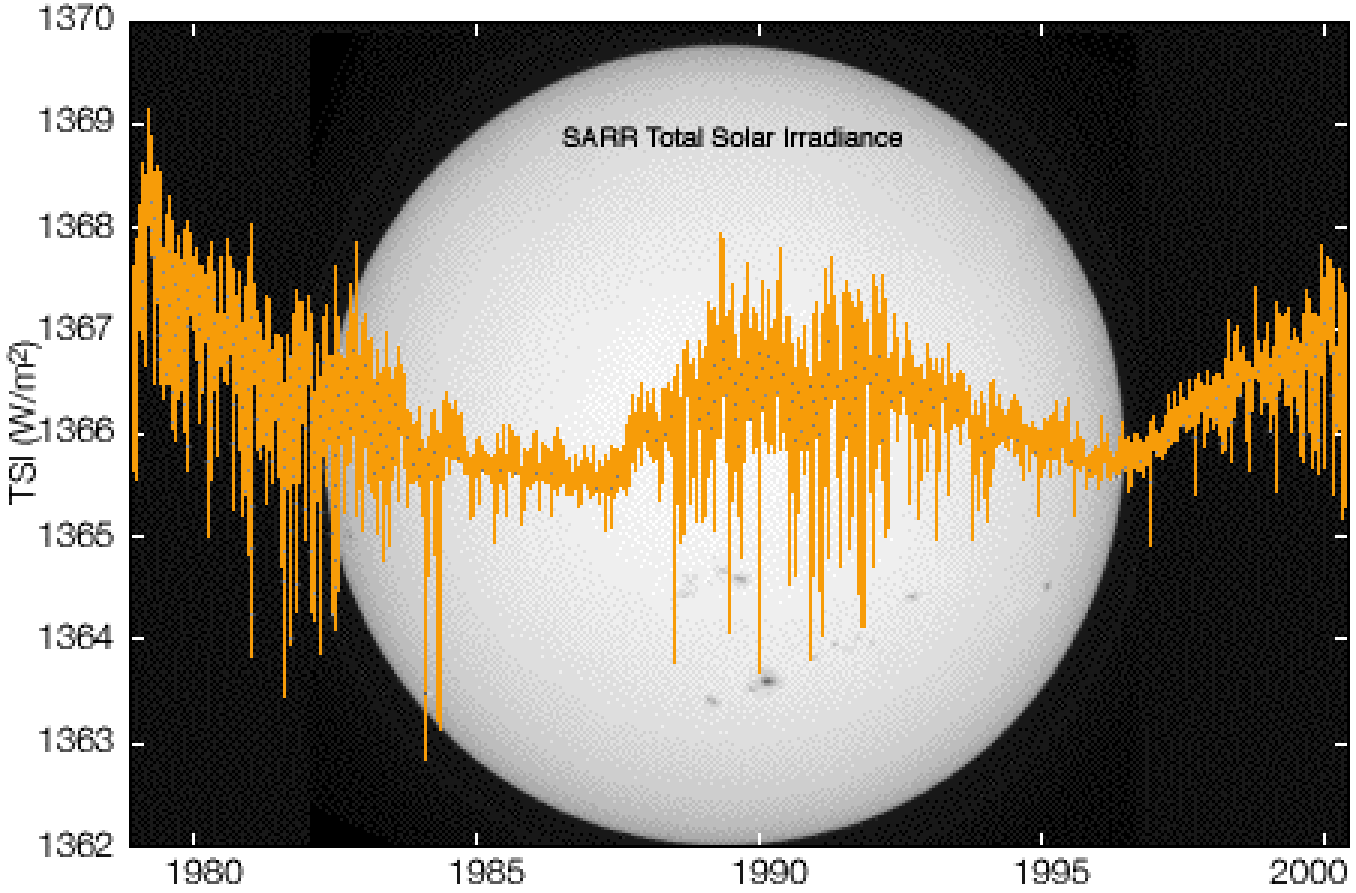
Energía por unidad de area a la distancia de la tierra:



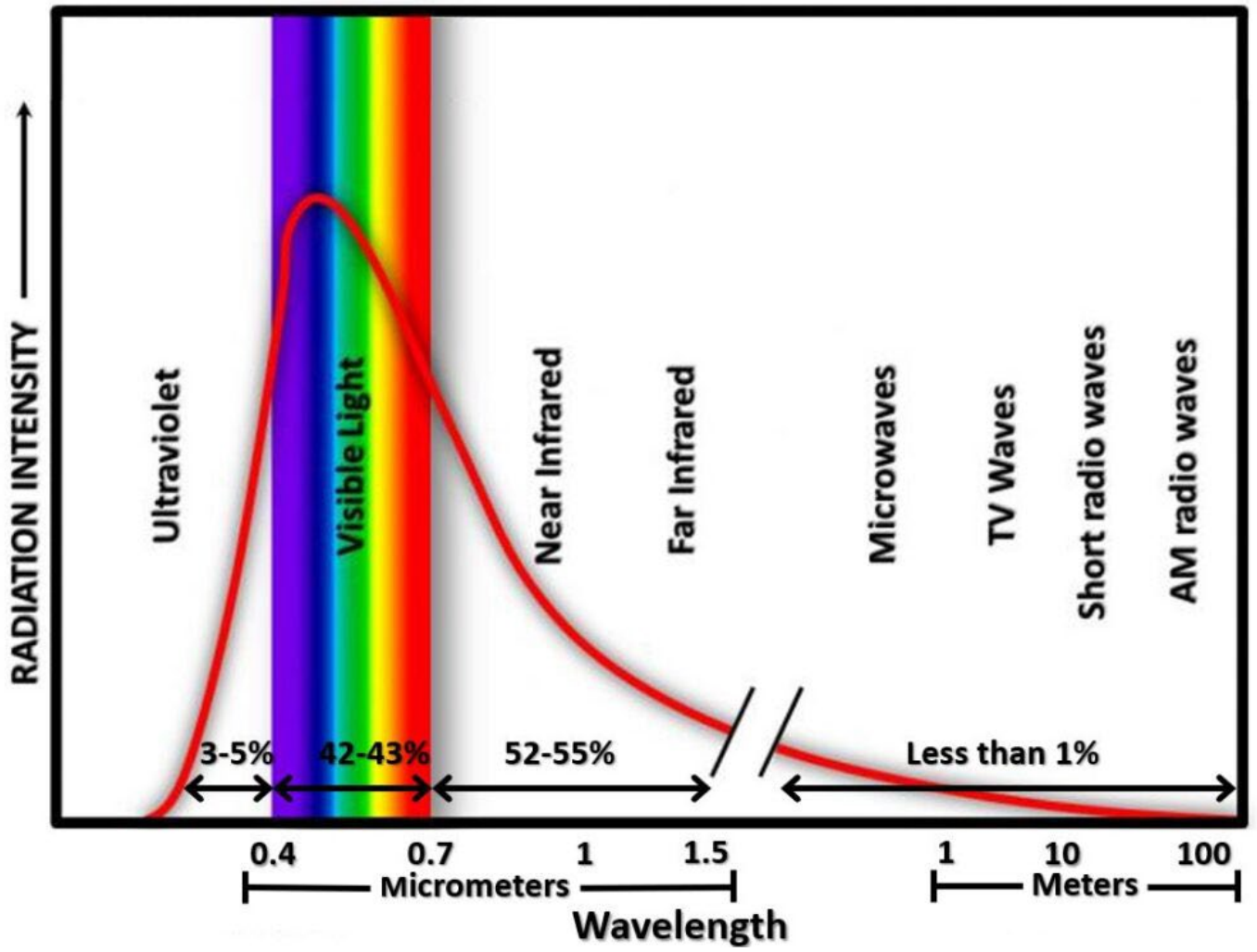
$$CS = \frac{IS}{4\,\pi\,D_{TS}^2} \approx 1360\ Wm^{-2}$$

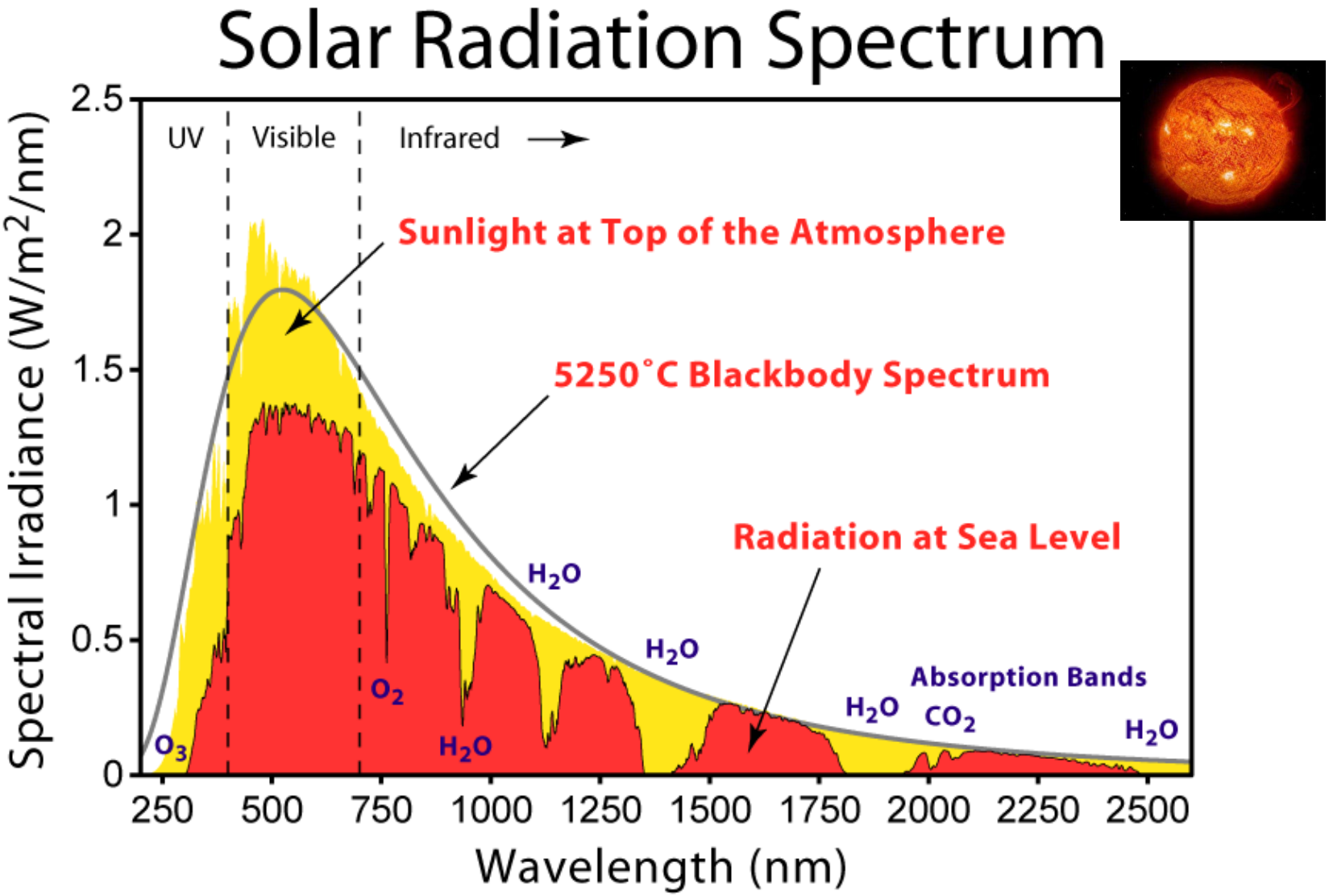
D_{TS}

Tarea: Determinar CS para cada planeta


SARR Total Solar Irradiance
TSI (W/m²)
1370
1369
1368
1367
1366
1365
1364
1363
1362
1980
1985
1990
1995
2000

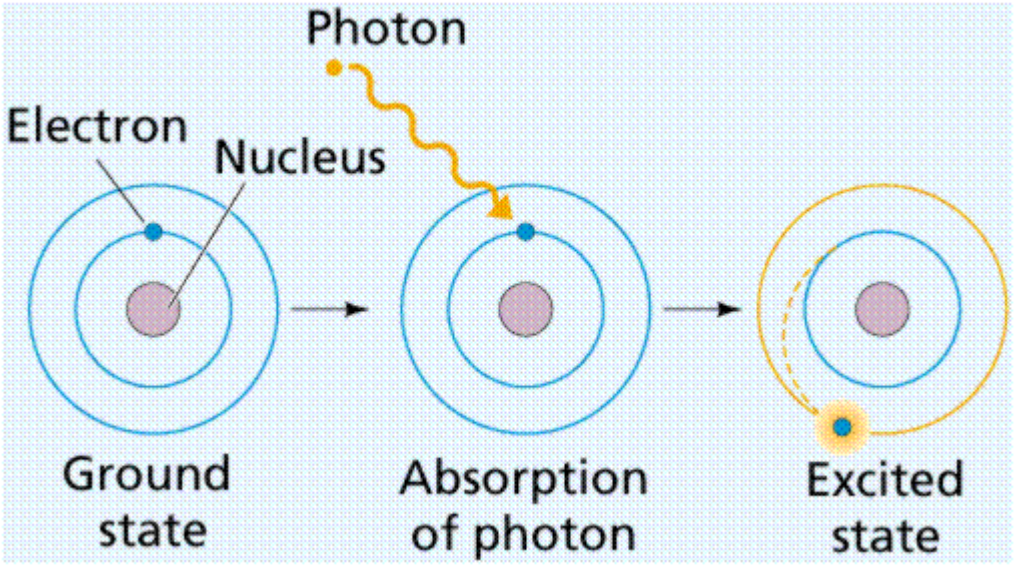
Los colores percibidos por el ojo humano corresponden a ondas de distinta longitud/frecuencia (e.g., rojo ~ 0.7 μm)





http://physweb.bgu.ac.il/COURSES/Astronomy1/Graphics/solar_spectrum.png

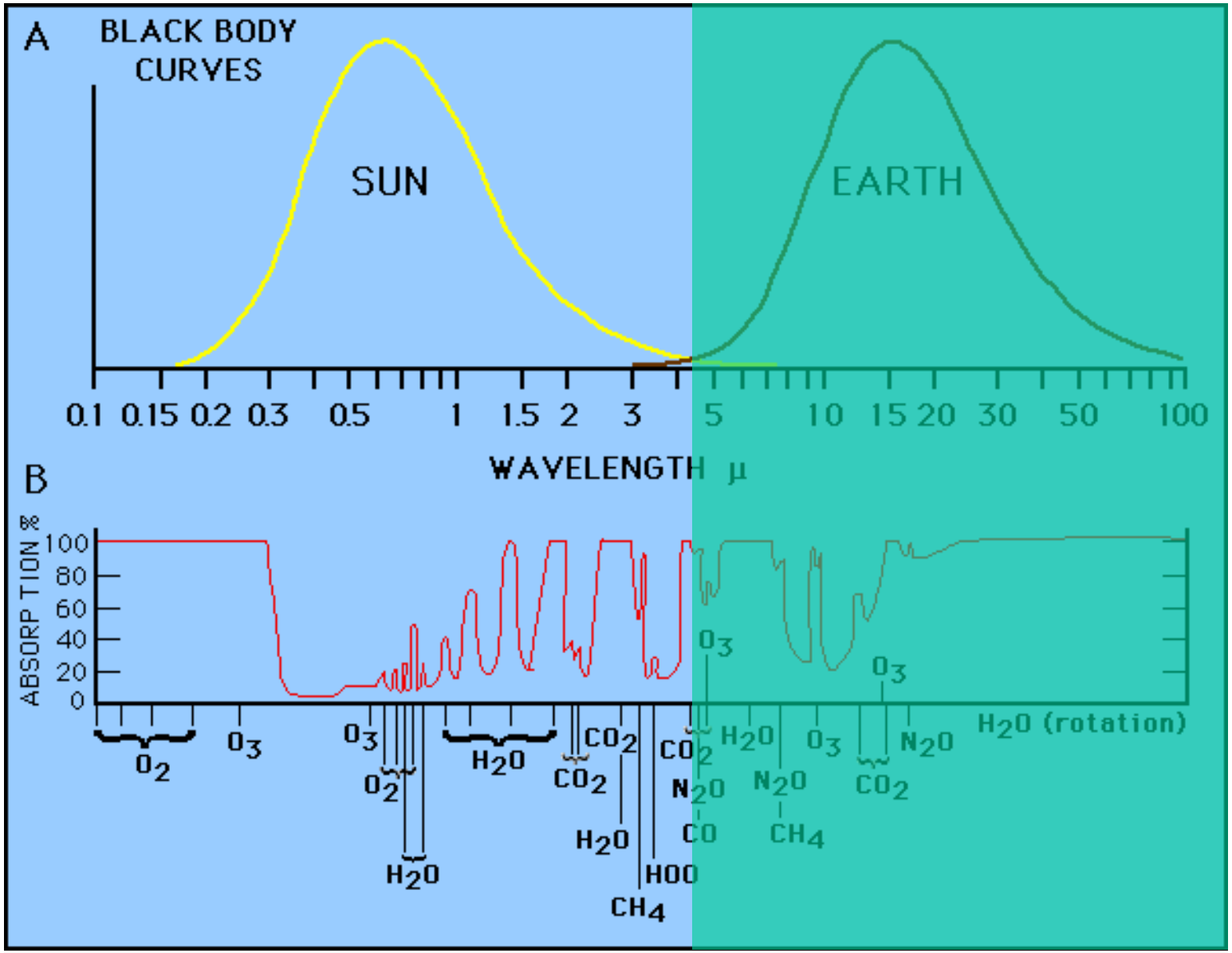
Los átomos también absorben radiación



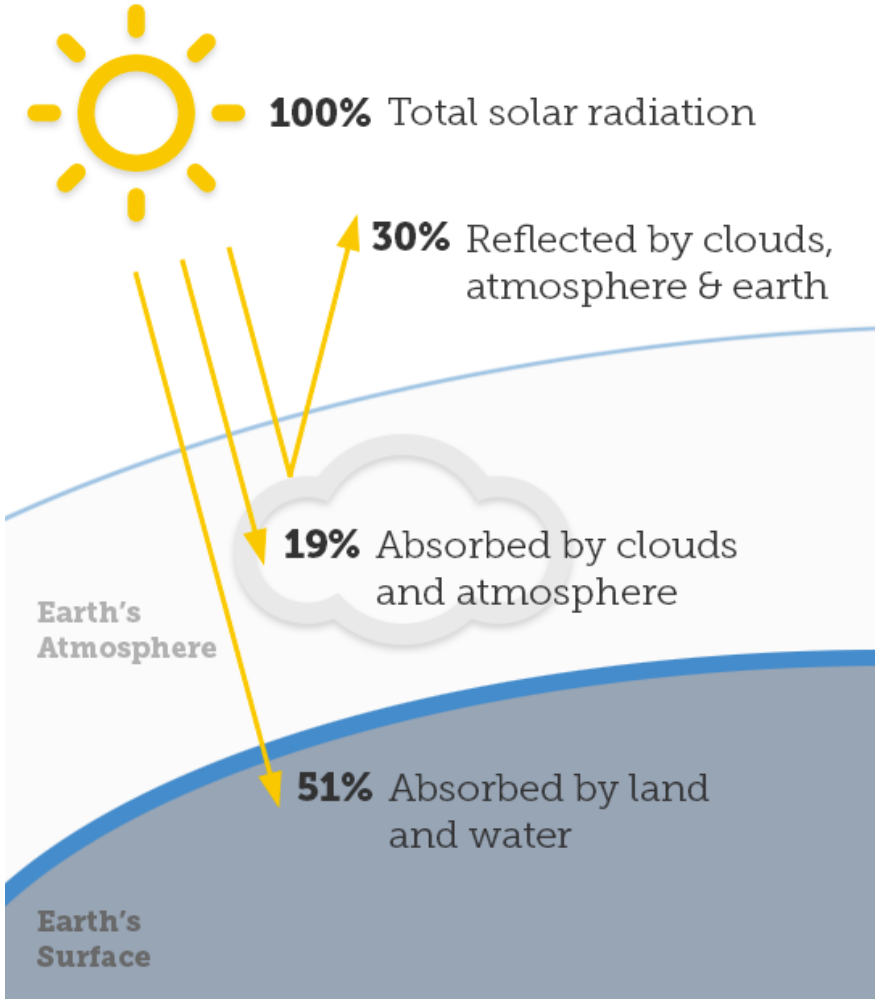
Westra

The three types of spectra and their origin. Solids, fluids and high-pressure gases emit a continuous spectrum (top). A low-density hot gas (middle) emits a line spectrum. Finally, when light with a continuous spectrum passes through a low-density cold gas, specific colours of light are absorbed, leaving dark lines in an absorption spectrum.

Image courtesy of Mark Tiele Westra

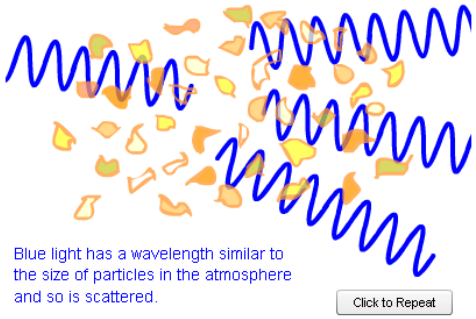


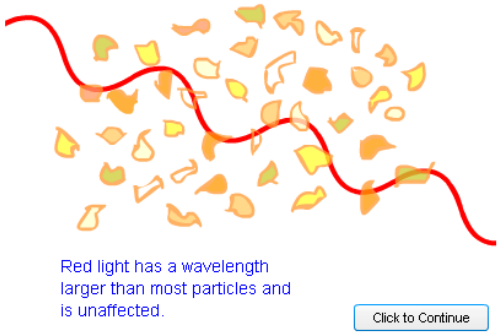
En su paso por la atmósfera, la radiación solar sufre absorción y dispersión debido a las moléculas de aire y aerosoles. En promedio, la absorción de la RS es solo de un 20%, pero muy efectiva en el rango de los rayos gama y UV.

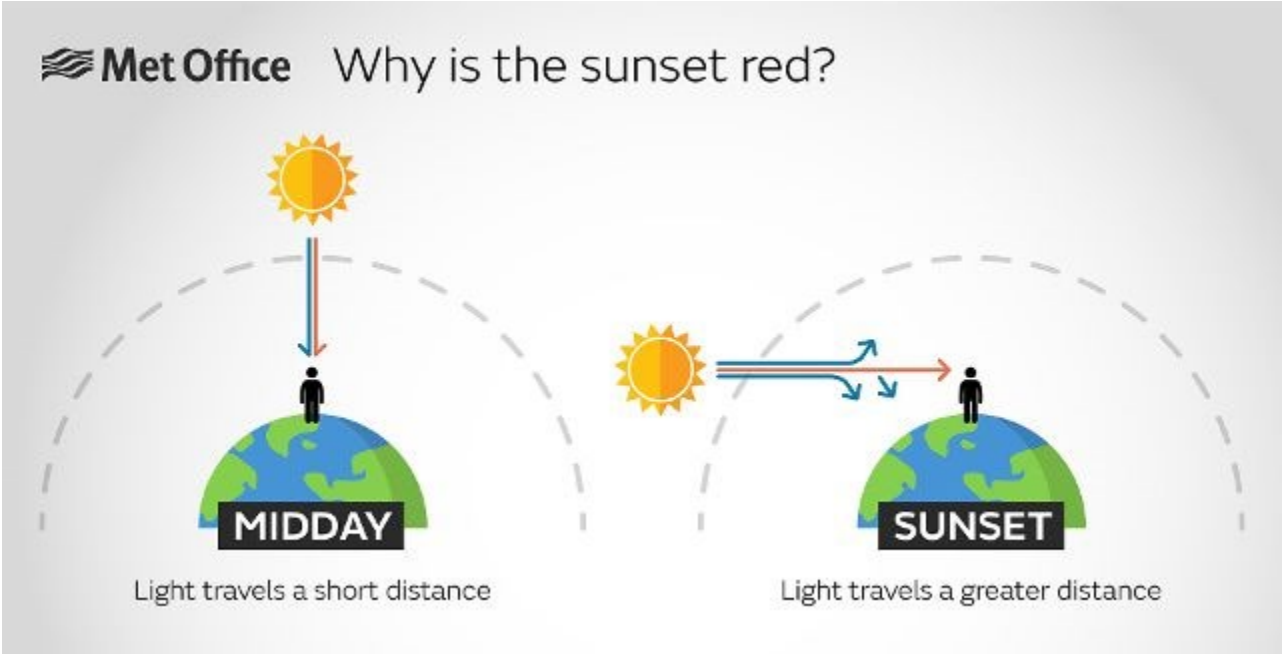


En la atmosfera terrestre la Radiación Solar (también llamada radiación de onda corta) también es dispersada (reflejada en distintas direcciones) por las moléculas de aire, aerosoles (pequeñas partículas), gotas de agua y cristales de hielo.

Las ondas cortas (azul, violeta) se dispersan mas que las ondas largas (rojo)….eso explica el azul del cielo y los atardeceres rojizos







Aplicación importante: Energía solar / hidrología / Salud / Agricultura / etc…

- Terminología y unidades
- Mediciones
- simulaciones

Radiación Solar? Irradianza

Integrada en rango espectral y ángulo sólido: Wm-2

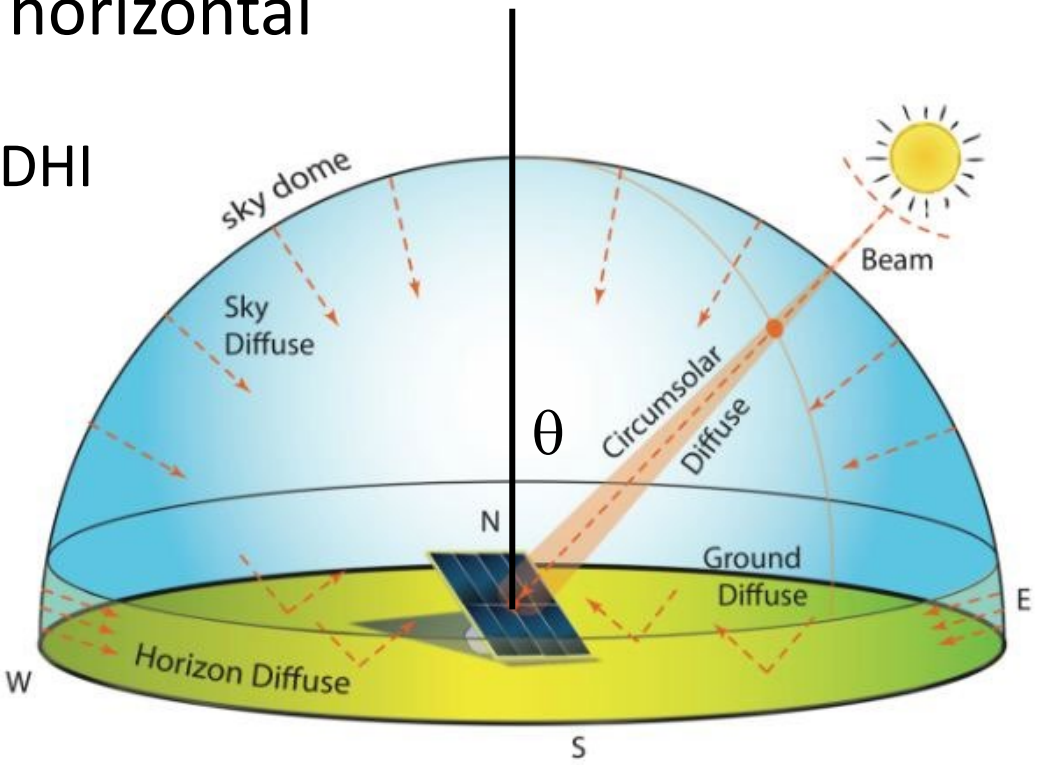
DNI: Irradianza Directa Normal

DHI: Irradianza horizontal difusa

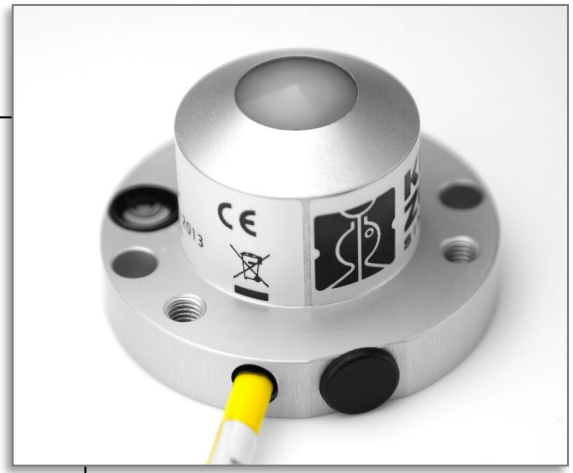
GHI: Irradianza Global horizontal

(GHI) = DNI. Cosθ + DHI

θ: Angulo cenital



Medición de GHI: Piranómetro



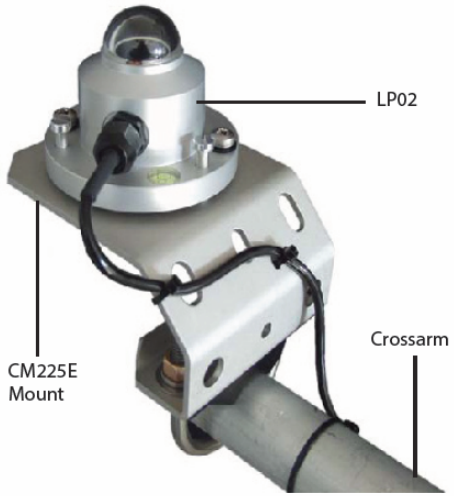
Ordering Information

Solar Radiation Sensor

LP02 Hukseflux pyranometer with standard 5 m cable length.

Mount

CM225E Solar Sensor Mounting Stand for attaching the sensor to a tripod or tower mast or to a CM202, CM204, or CM206 crossarm.

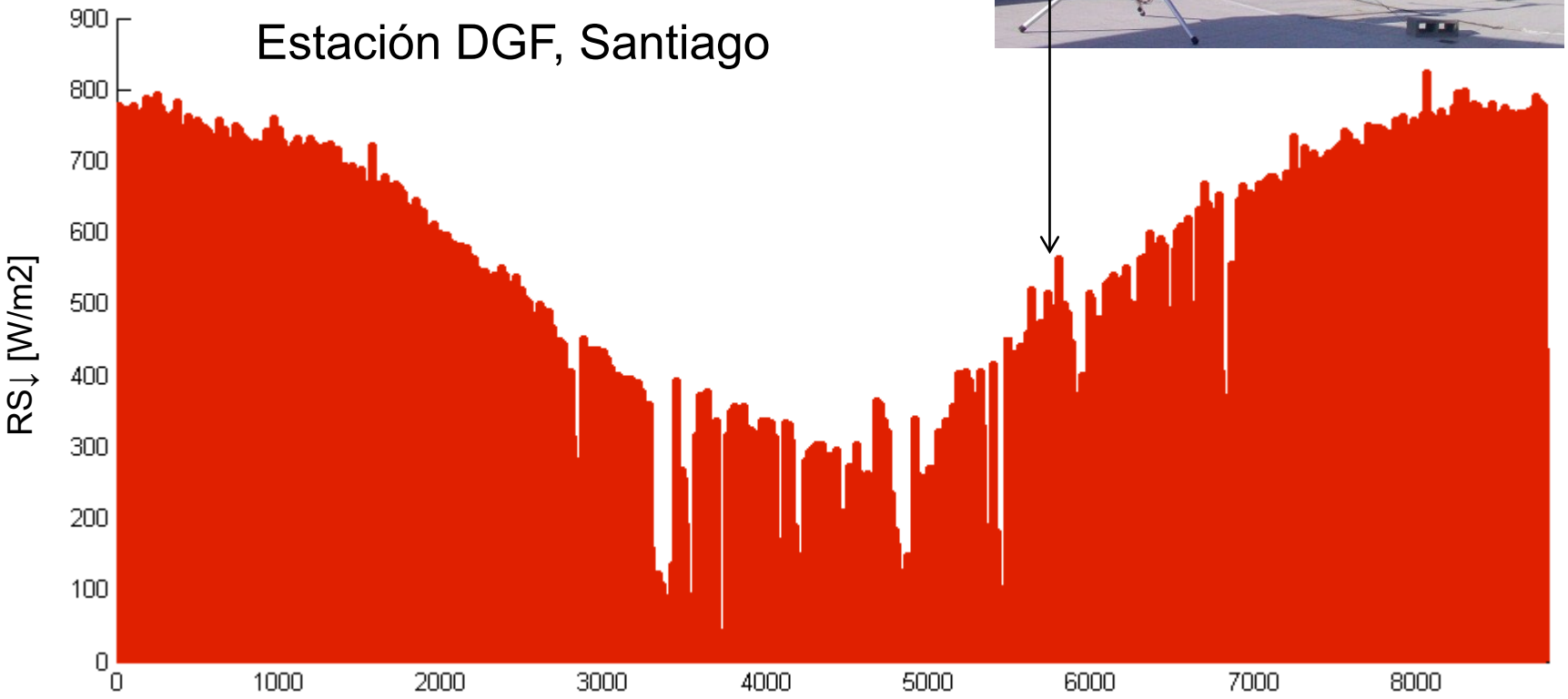


To attach the CM225E to a CM202, CM204, or CM206 crossarm, place the U-bolt in the holes on the bottom of the bracket (shown). If the CM225E is attached to a mast, place the U-bolt in the holes in the side of the bracket.

Specifications

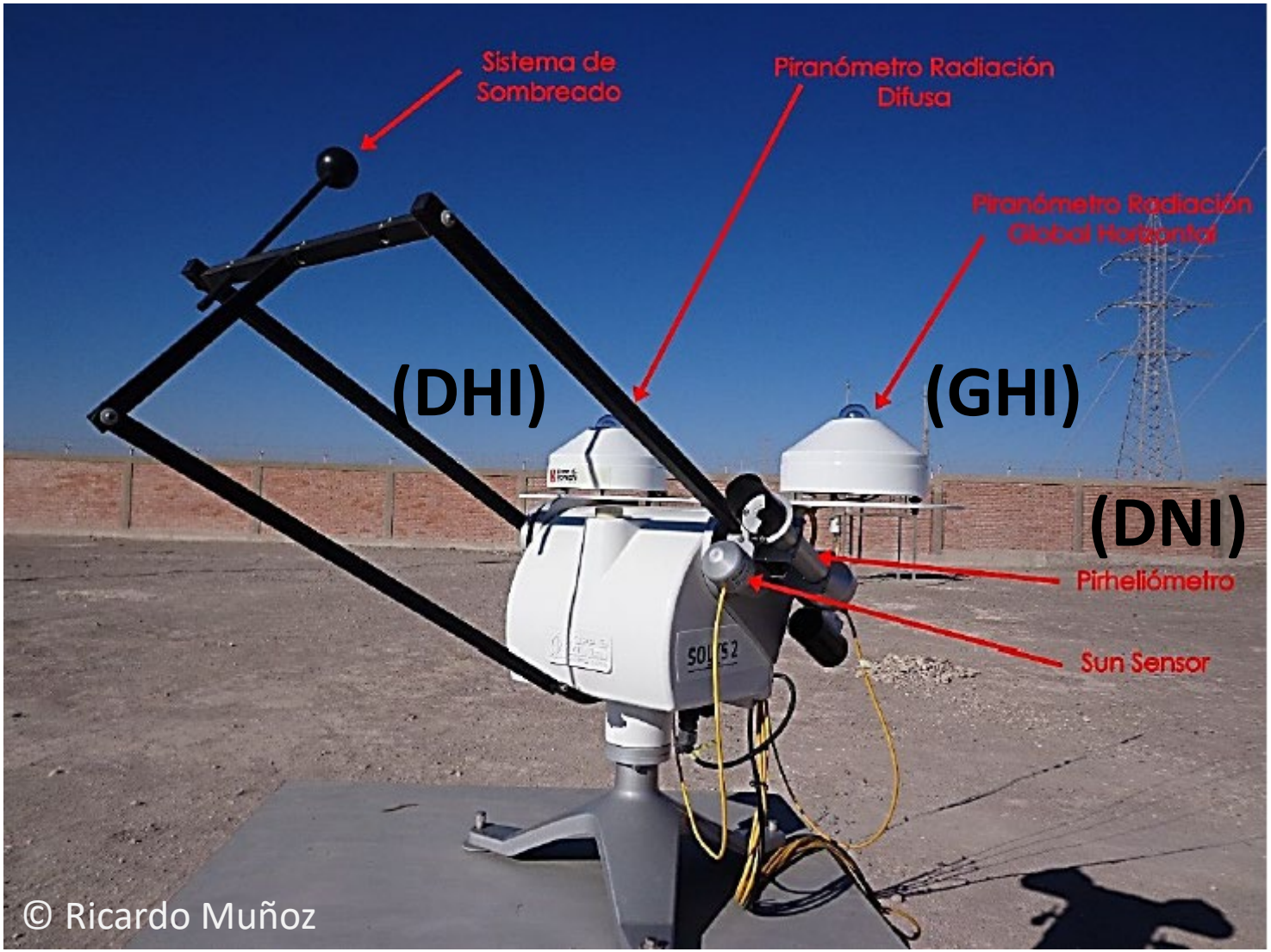
- Light Spectrum Waveband: 285 to 3000 nm
- Maximum Irradiance: 2000 W/m²
- Sensitivity (nominal): 15 µV/W/m⁻²
- Operating Temperature Range: -40° to +80°C
- Temperature Dependence: < 0.15% per °C
- ISO Classification: Second Class
- Width: 7.8 cm (3.1 in)
- Height: 5.9 cm (2.3 in)
- Dome Diameter: 3.0 cm (1.2 in)
- Weight with 5 m (15 ft) cable: 363 g (0.8 lb)

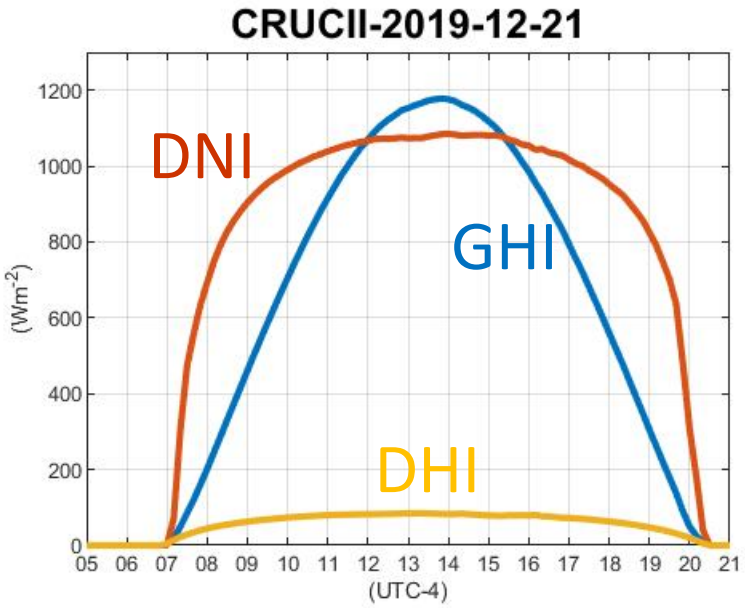
Estación DGF, Santiago

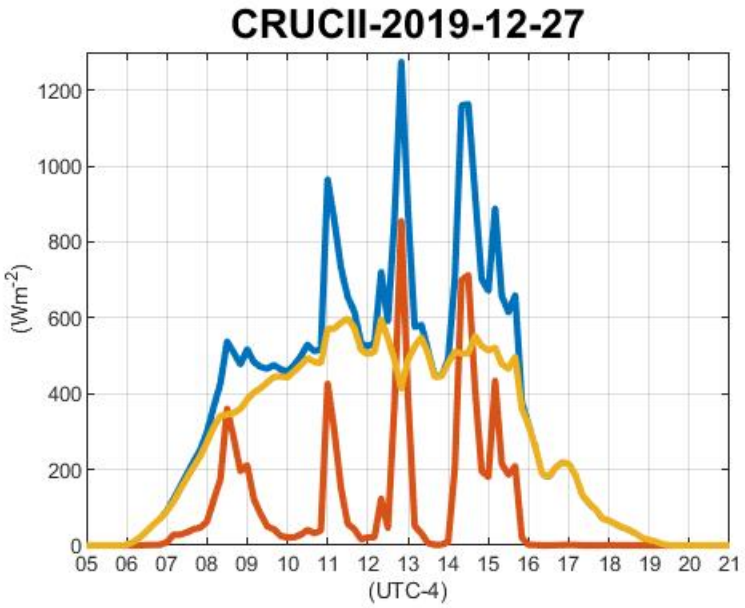


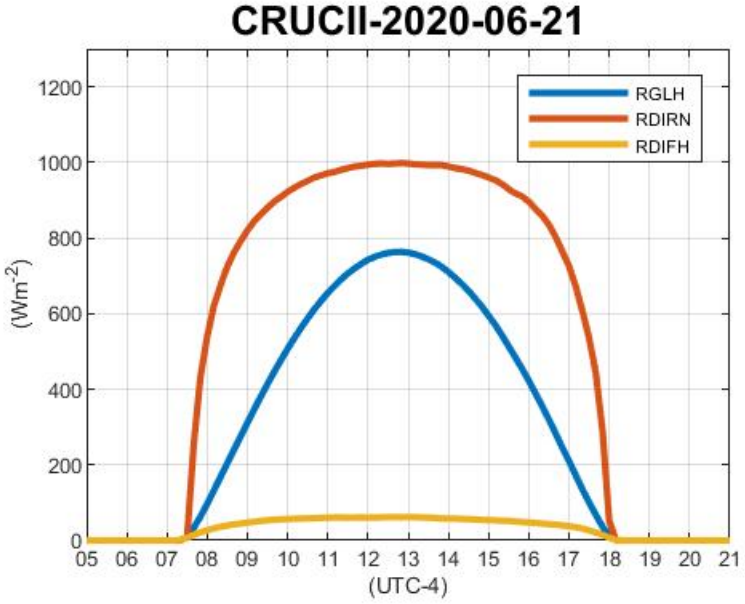
Terminología Rad. Solar

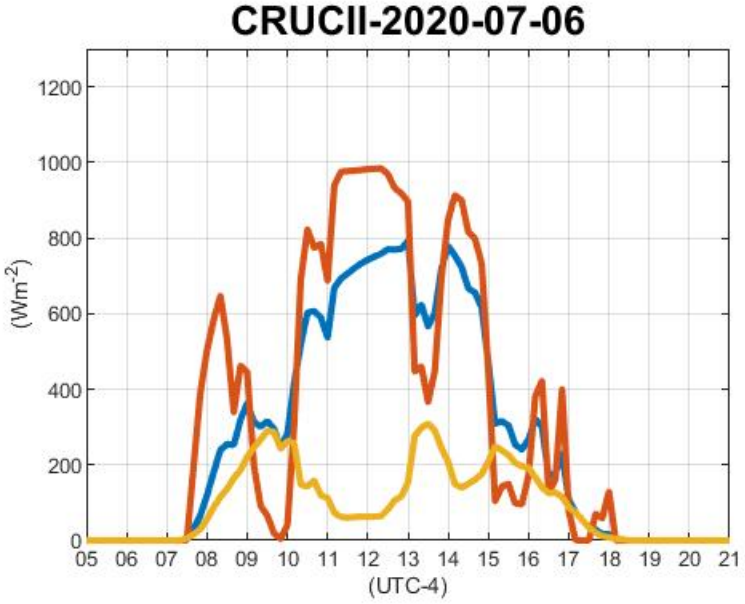
Mediciones de Radiación Solar en Estación Crucero-II, Región de Antofagasta







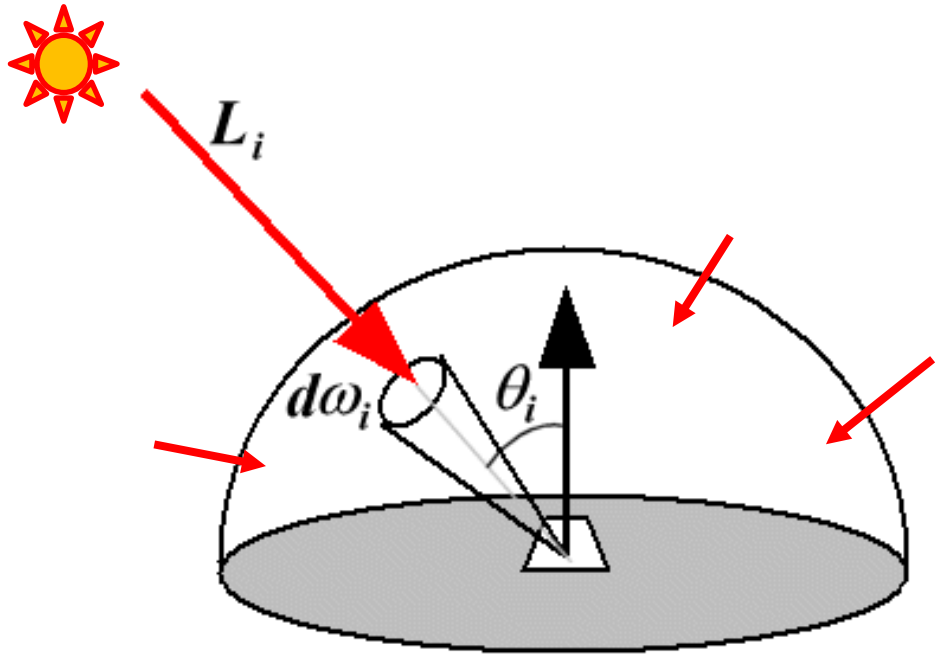




Terminología Radiación Solar

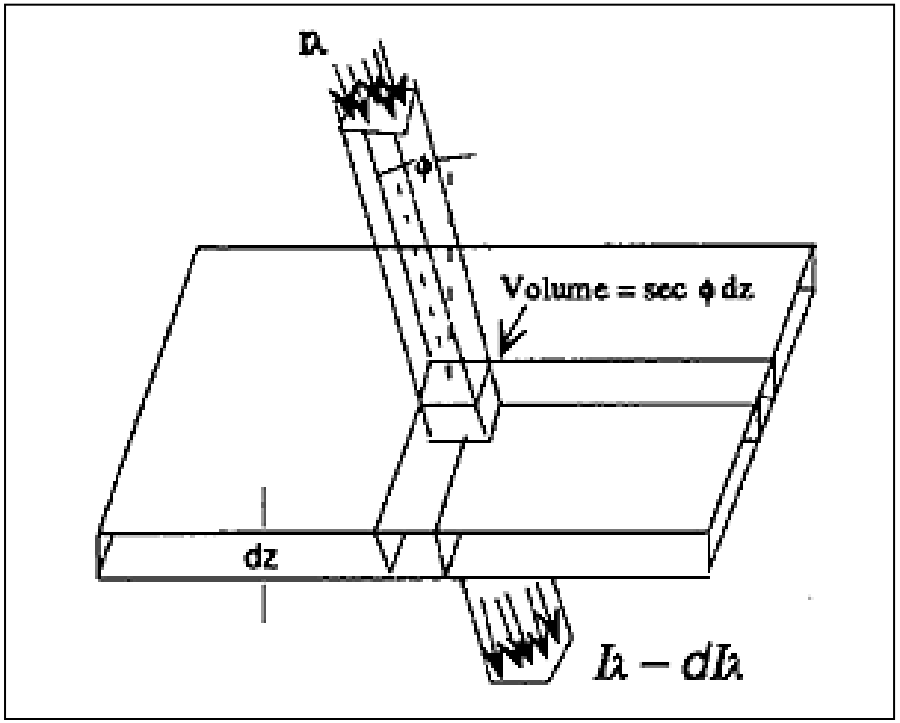
L, I = **Intensidad** o radianza [$Wm^{-2}sr^{-1}$]

E, F = densidad de flujo o **irradianza** [Wm^{-2}]



$$E_i = \int_{\Omega_i} L_i \cos\theta_i d\omega_i$$

Calculo completo (I(z)): Se puede pero cuesta!



$$dI_\lambda = -I_\lambda \rho k_\lambda ds$$

$$I_\lambda(z) = -I_\lambda(\infty)\exp(-\tau_\lambda \sec\phi)$$

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty k_\lambda \rho dz$$

$$I(\nu) = I_b(\nu)\, e^{-\tau(\nu,s)} + \int_0^{\tau(\nu,s)} B(\nu, T(\tau'))\, e^{-\tau'}\, d\tau' \qquad (1)$$

$$= I_b(\nu)\mathcal{T}(\nu, s_b) - \int_0^{s_b} B(\nu, T(s'))\, \frac{\partial \mathcal{T}(\nu, s')}{\partial s'}\, ds', \qquad (2)$$

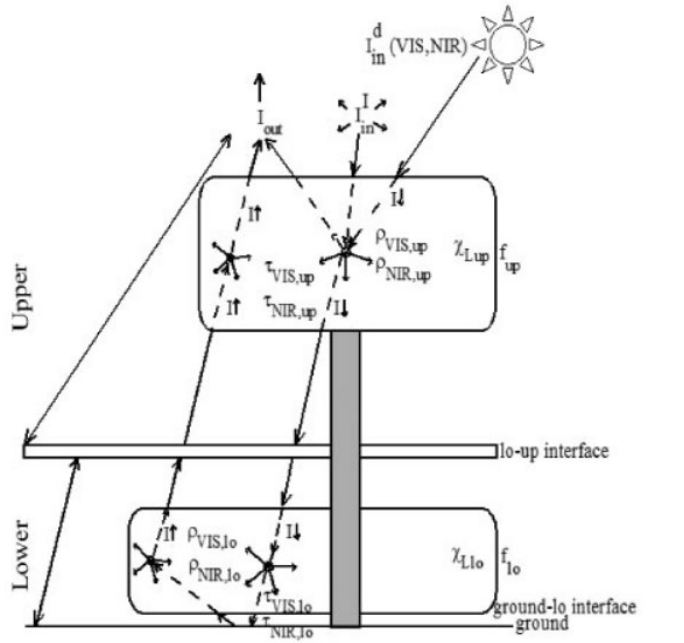
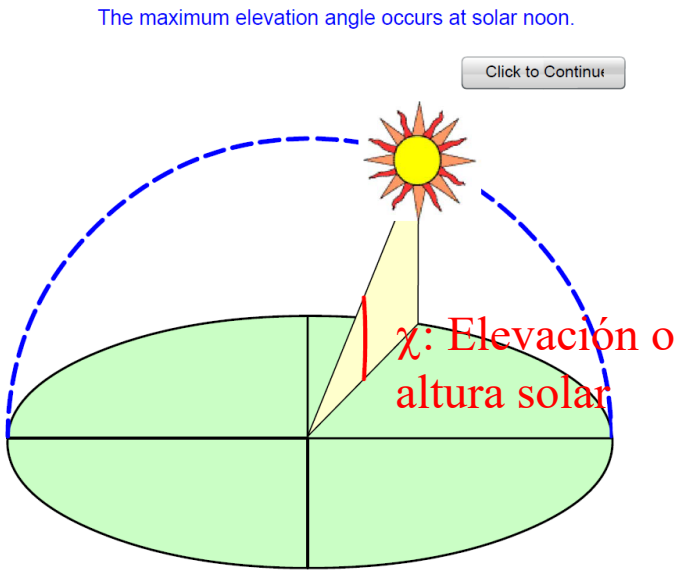


Fig. 1 – Schematic representation of the radiative transfer model in IBIS.

Aproximación Ingenieril para Irradianza Global Horizontal



$$GHI = CS^{*}\cos(\theta)T_{atmos} \qquad GHI = CS^{*}\sin(\chi)T_{atmos}$$

θ: Angulo cenital; χ: Elevación

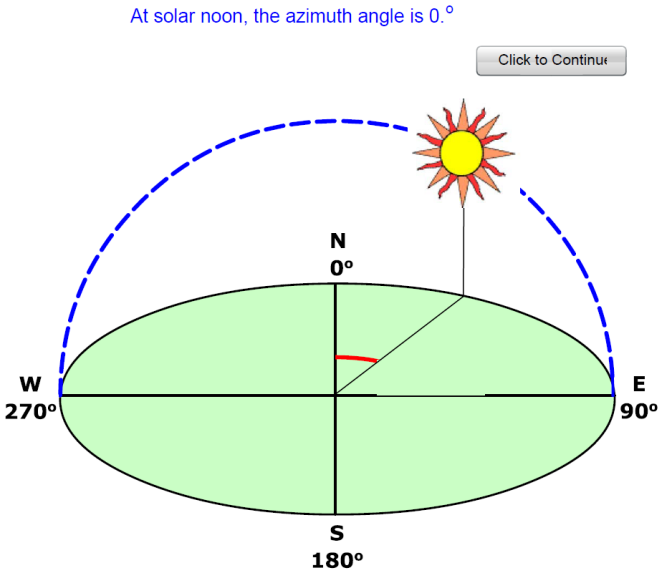
$$\sin(\chi) = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos(h)$$

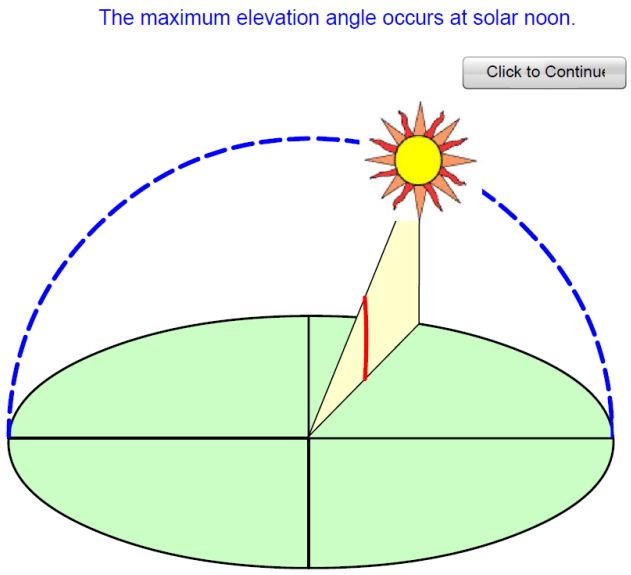
Problema Geometrico (lat,día,hora)

$$T = T(\chi, nubes, altura, etc.....)$$

T = Transmisividad: 0 – 0.8

Todo lo que necesita saber sobre calculo de RSOL: http://pvcdrom.pveducation.org/index.html





$$Elevation = \sin^{-1}[\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos(HRA)]$$

$$Azimuth = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\delta \cos\phi - \cos\delta \sin\phi \cos(HRA)}{\cos\alpha}\right]$$

χ: Elevación; φ: latitud (-90:90); δ: Declinación solar f(día)

HRA: Angulo horario = 0 al mediodía solar

El Planeta Tierra es (aprox) esférico e inclinado respecto al plano orbital (23.5º actualmente)

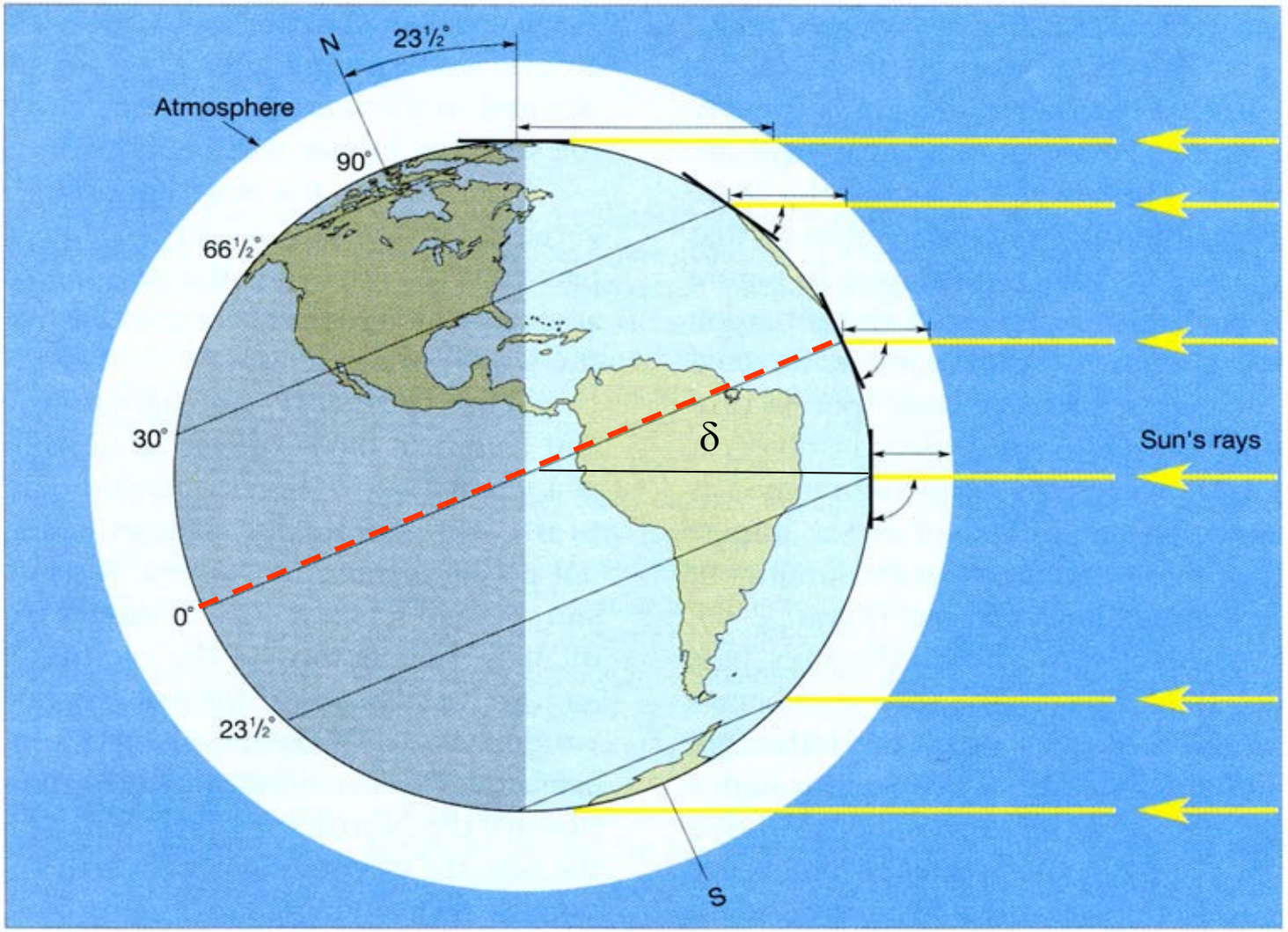


Figure 2•2 Rays striking the earth at a low angle must traverse more of the atmosphere than rays striking at a high angle and thus are subject to greater depletion by reflection and absorption.

La inclinación de la tierra, combinado con el movimiento de traslación de la tierra produce la alternancia de las estaciones: máxima energía solar en HS o HN. Factor de segundo orden: excentricidad de la orbita terrestre (4% menos que el promedio en Enero, actualmente)

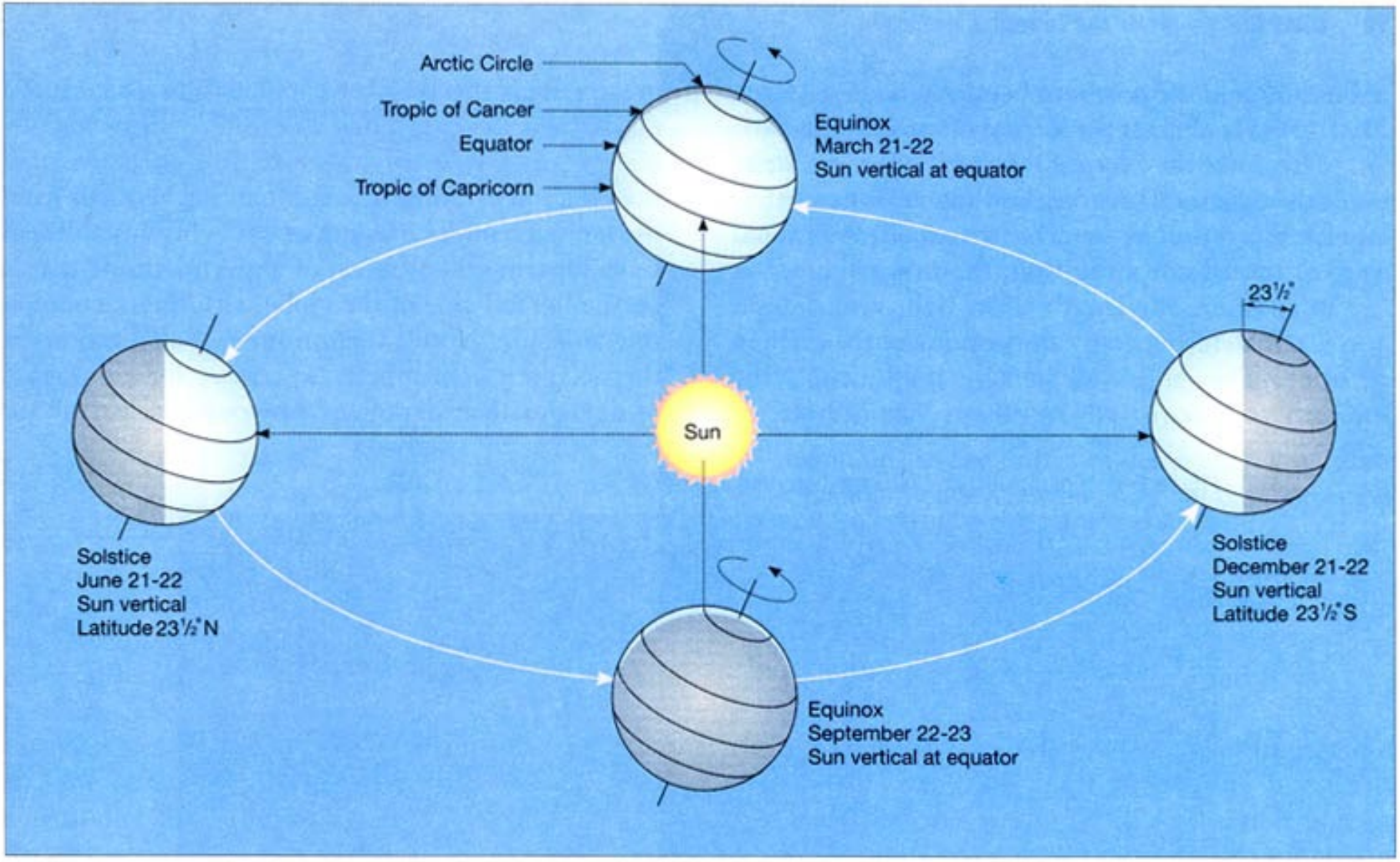


Figure 2•3 Earth–sun relationships.

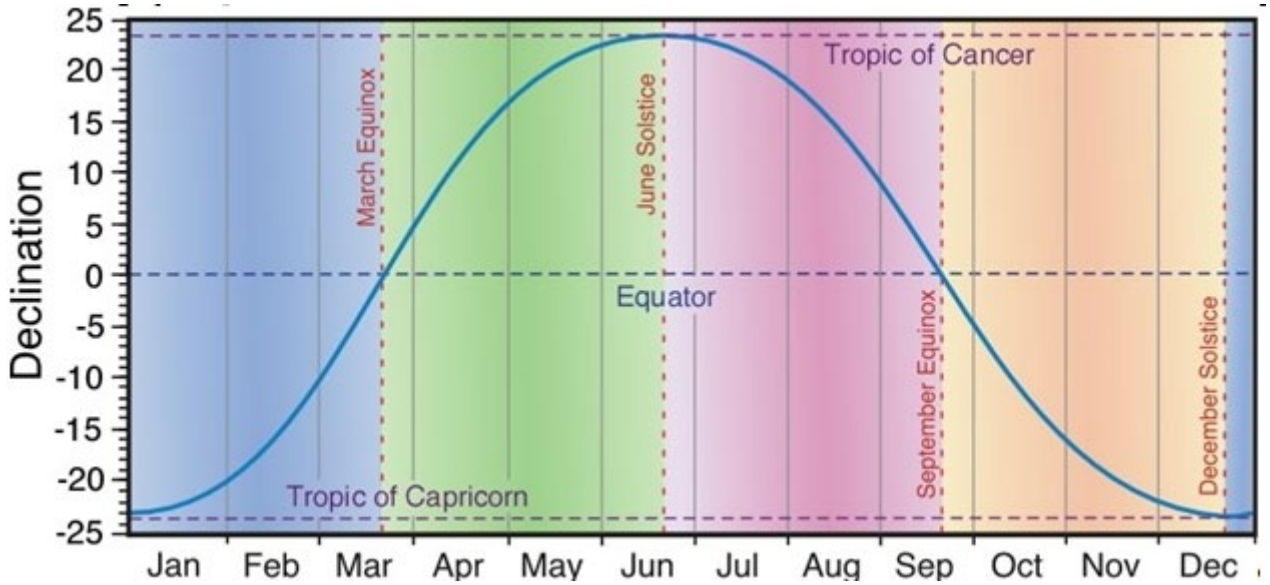
δ: declinación solar : Latitud a la cual los rayos solares llegan normales

The declination angle can be calculated by the equation [1]:

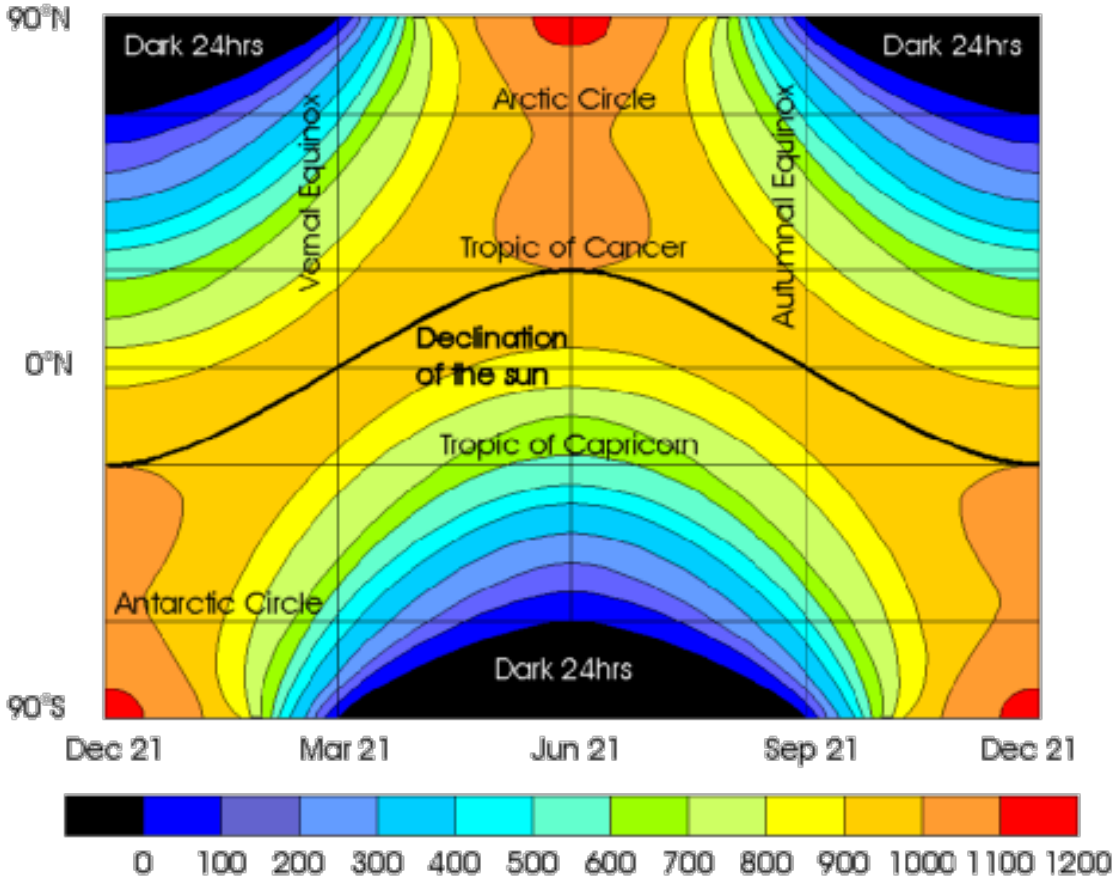
$$\delta = 23.45° \sin\left[\frac{360}{365}(d - 81)\right]$$

where d is the day of the year with Jan 1 as d = 1. A more accurate expression is:

$$\delta = \sin^{-1}\left\{\sin(23.45°)\sin\left[\frac{360}{365}(d - 81)\right]\right\}$$

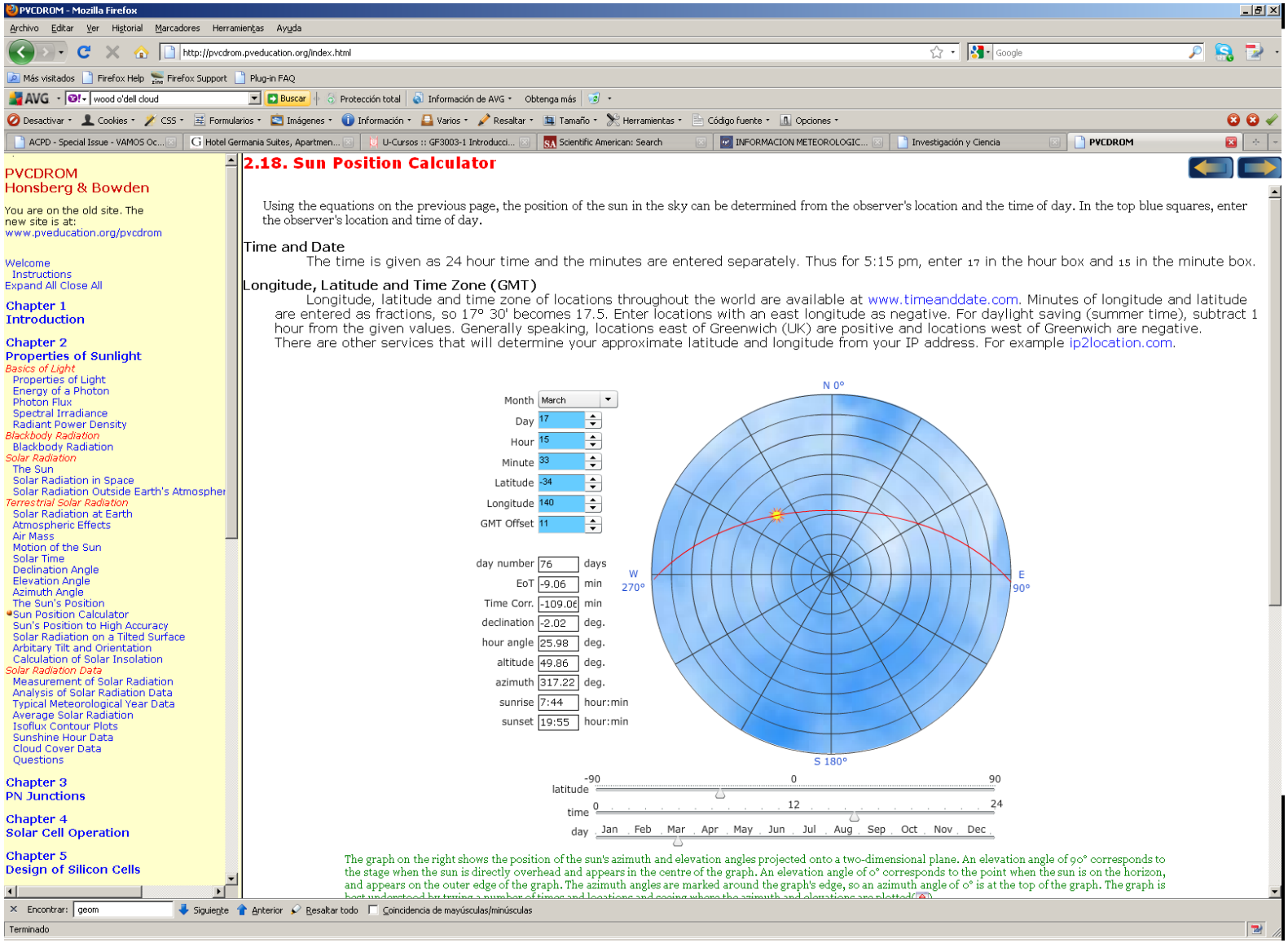


Alternancia de estaciones produce cambios en la energía solar (al tope de la atmósfera) que reciben distintas latitudes a lo largo del año



Todo lo que necesita saber sobre calculo de RSOL:

https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/welcome-to-pvcdrom/bienvenido-a-pvcdrom



Recibidos (11.807) - rgarreau@uc | How Streamflow is Measured | SunCalc - sunrise, sunset, shadow

suncalc.org/#/-81.2193,-82.3828,2/2021.12.04/04:16/1/3

Aplicaciones | 21Grams Hombre... | GIMMS | Global Ag... | NASA Earth Observ... | Encuesta Diaria de... | Climate Prediction... | ->CR2 | Lista de lectura

00:00 01:00 02:00 03:00 04:00 05:00 06:00 07:00 08:00 09:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00

Computation path of the sun for:

West Antarctica, ATA

04.Dec.2021 | 04:16 UTC-3 | >|<

Solar data for the selected location

Dawn:	undef
Sunrise:	circumpolar
Culmination:	14:19:54
Sunset:	circumpolar
Dusk:	undef
Daylight duration:	24h0m0s
Distance [km]:	147.444.672
Altitude:	14.61°
Azimuth:	152.33°
Shadow length [m]:	3.84
at an object level [m]:	1

Geodata for the selected location

Height: n/a | Set Lat/Lon

Lat: S 81°13'9.57" -81.21933°

Lng: W 82°22'58.09" -82.38281°

UTM: ...

TZ: Antarctica/Rothera -03

More solar data

Print

Contact

Help & API

here Total solar eclipse: **04.12.2021 | 100.0%** more

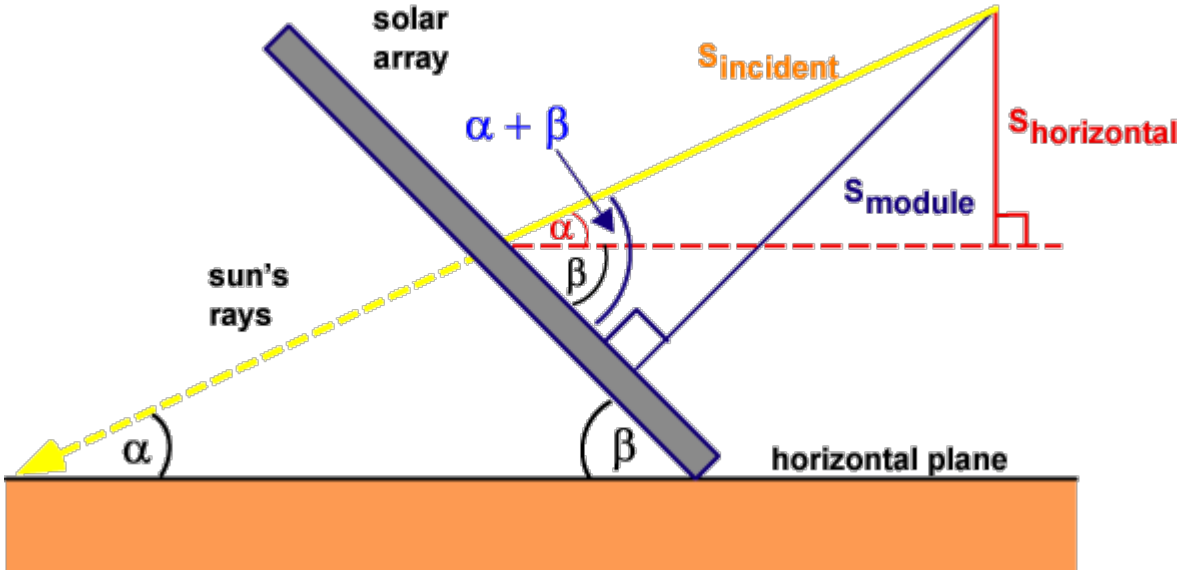
N W E S

ANTARCTI

500 km

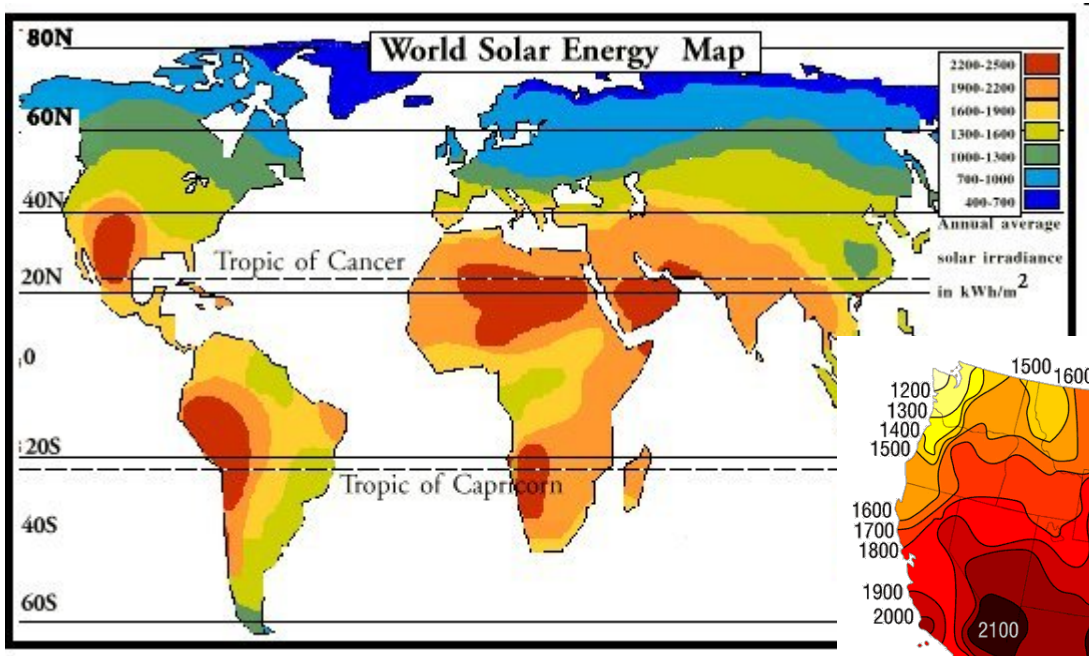
Todo lo que necesita saber sobre calculo de RSOL:

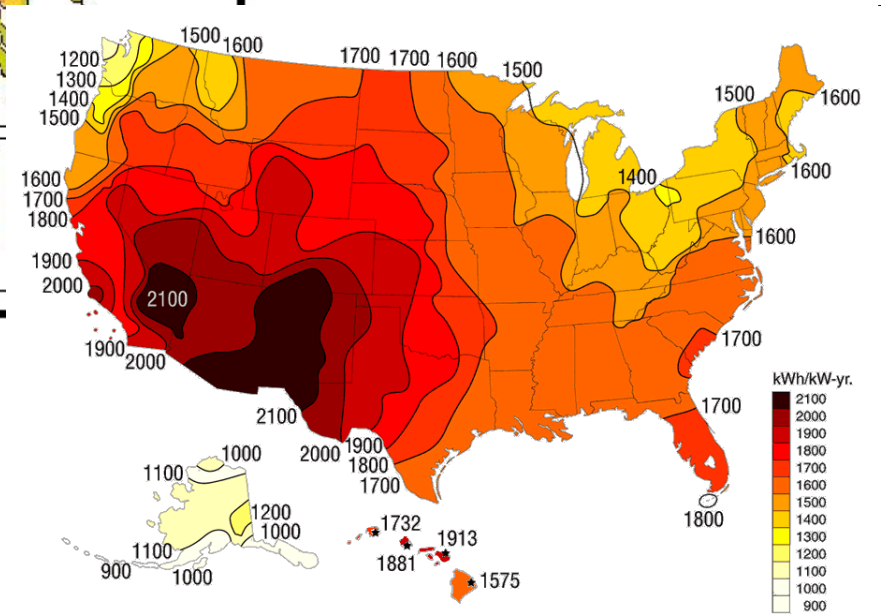
https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/welcome-to-pvcdrom/bienvenido-a-pvcdrom



$$Elevation = \sin^{-1}[\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos(HRA)]$$

$$Azimuth = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\delta \cos\phi - \cos\delta \sin\phi \cos(HRA)}{\cos\alpha}\right]$$





Para Chile, ver el explorador de Energía solar y eolica en:
http://quique.dgf.uchile.cl/EnergiaRenovable/Explorer2/

ernc.dgf.uchile.cl:48080/exploracion

EXPLORADOR SOLAR

INICIO | NOVEDADES | RECURSOS SIG | OTROS EXPLORADORES | SOBRE EL PROYECTO | DOCUMENTACIÓN | TUTORIAL

EXPLORAR RECURSO SOLAR Y DATOS METEOROLÓGICOS

RESUMEN DEL SITIO | GRÁFICOS | DESCARGAS

LATITUD	LONGITUD	ALTURA
-25,36°	-69,26°	3.484 msnm

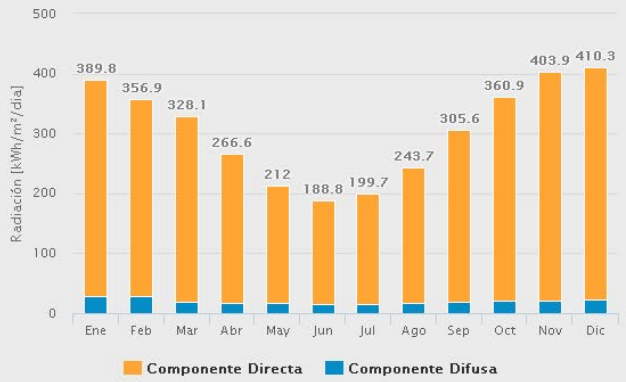
RADIACIÓN ANUAL

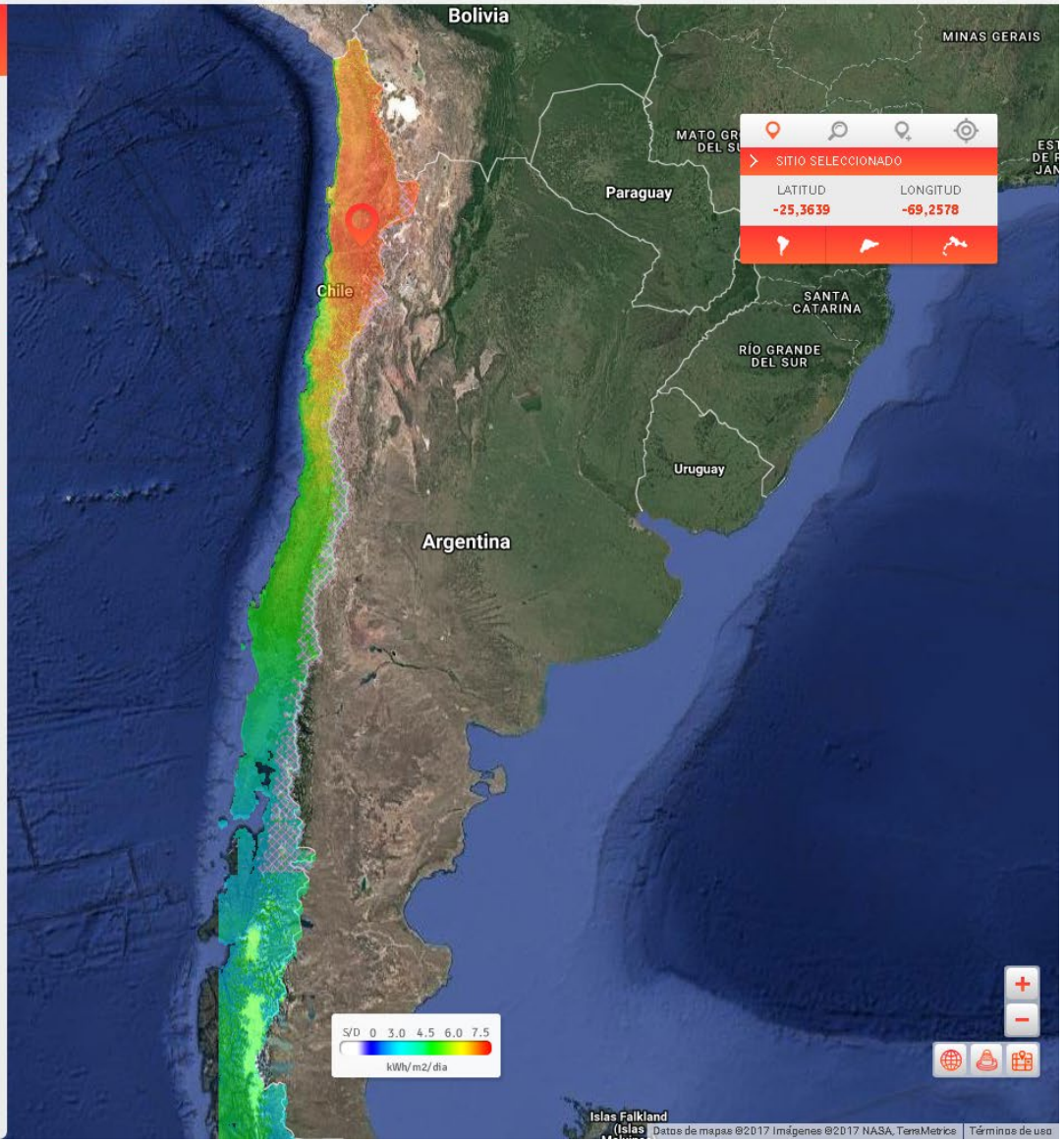
Global Horizontal (kWh/m²/día)	Global Inclinado 25° (kWh/m²/día)	Directa Normal (kWh/m²/día)	Difusa Horizontal (kWh/m²/día)
7,33	7,95	11,00	0,48

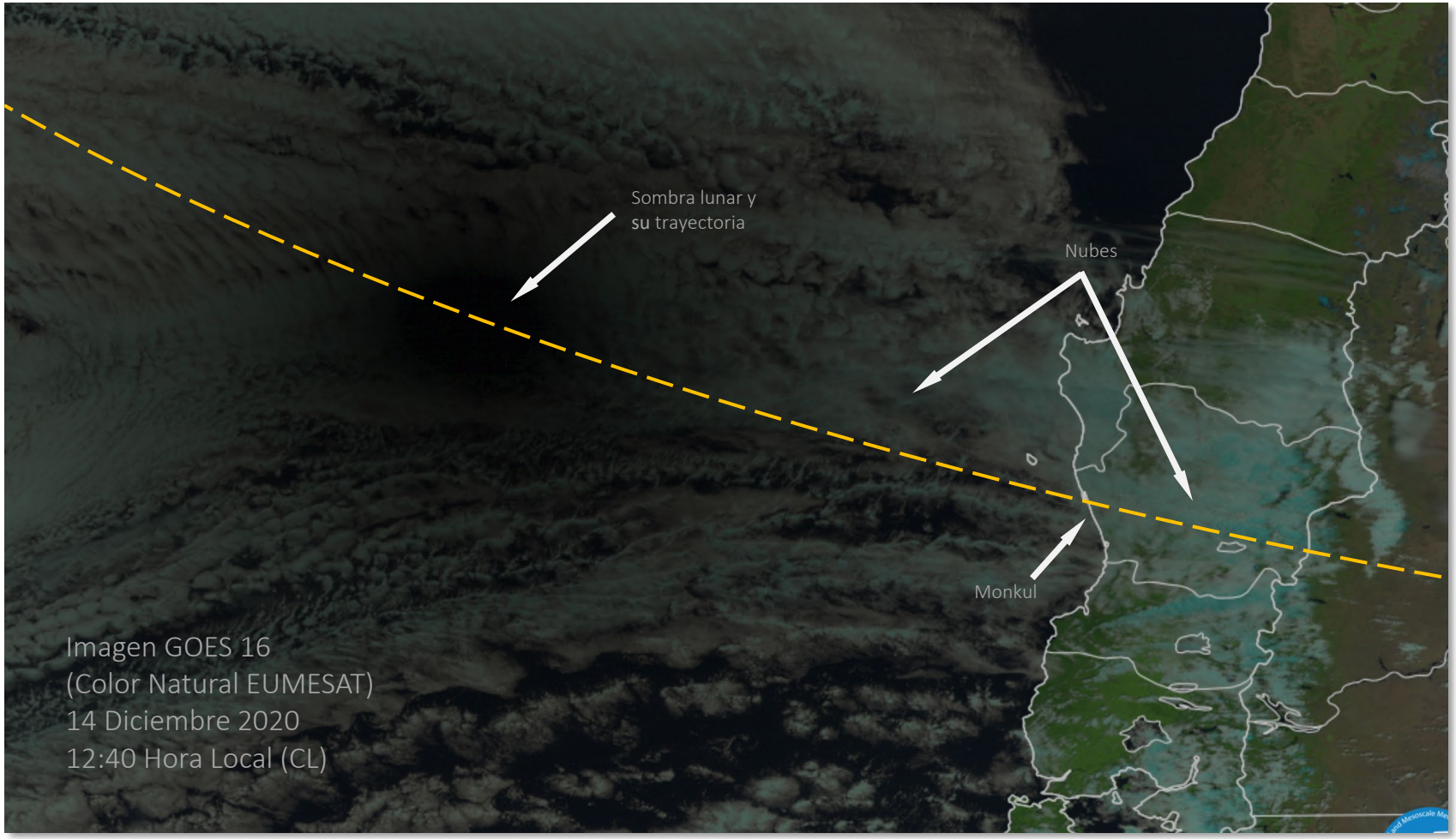
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

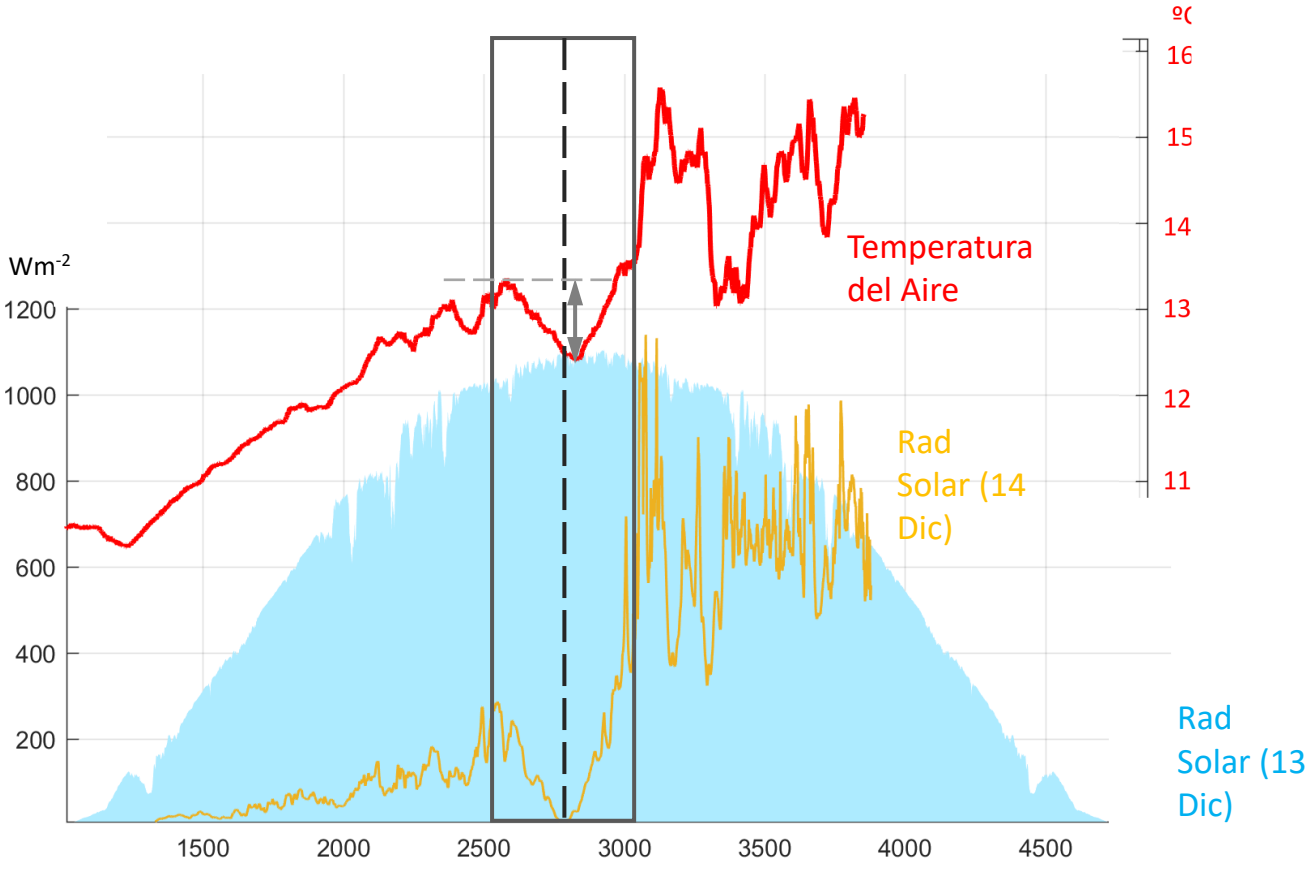
Frecuencia de Nubes (%)	Temperatura Ambiental (°C)	Velocidad del viento (m/s)
2	5,5	6,4

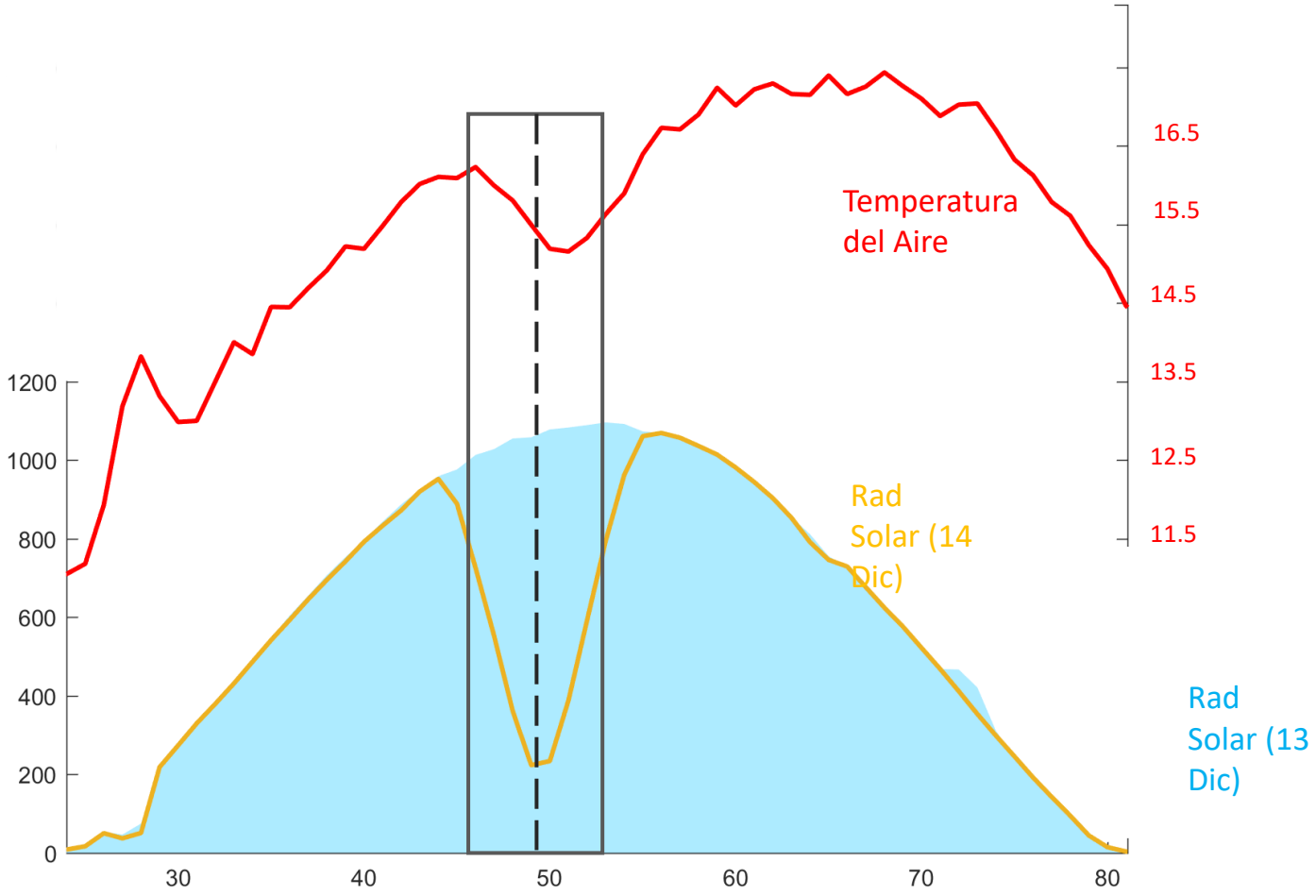
Radiación Global Horizontal






Sombra lunar y
su trayectoria
Nubes
Monkul
Imagen GOES 16
(Color Natural EUMESAT)
14 Diciembre 2020
12:40 Hora Local (CL)


ºC
16
15
14
13
12
11
Wm-2
1200
1000
800
600
400
200
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
Temperatura del Aire
Rad Solar (14 Dic)
Rad Solar (13 Dic)


Temperatura del Aire
Rad Solar (14 Dic)
Rad Solar (13 Dic)
16.5
15.5
14.5
13.5
12.5
11.5
1200
1000
800
600
400
200
0
30
40
50
60
70
80