



docente: Gonzalo Abal - Laboratorio de Energía Solar
Facultad de Ingeniería/UDELAR

1. Radiación solar extraterrestre.

Movimiento aparente del Sol.

Tiempo solar y tiempo estándar.

Irradiancia extraterrestre.

2. Efecto de la atmósfera.

Índice de claridad. Espectro de irradiancia.

Medidas en superficie: RMCIS y Año meteorológico típico.

3. Modelado de radiación solar.

Modelos para separar las componentes directa y difusa.

Modelos de transporte a plano inclinado (Hay y Davies).



Notas Radiación Solar (G. Abal, v 3.1)

<https://eva.fing.edu.uy/mod/resource/view.php?id=42191>

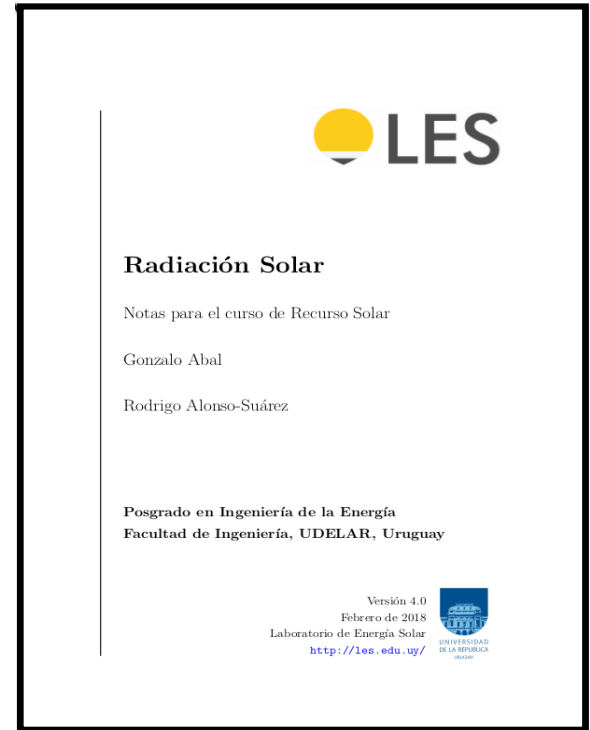
Manual Técnico de Energía Solar Térmica (Abal, Durañona)

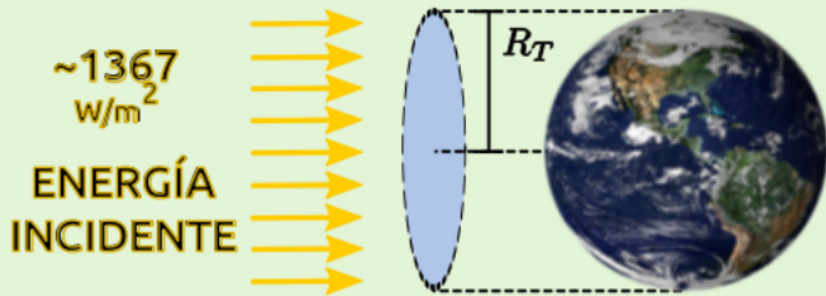
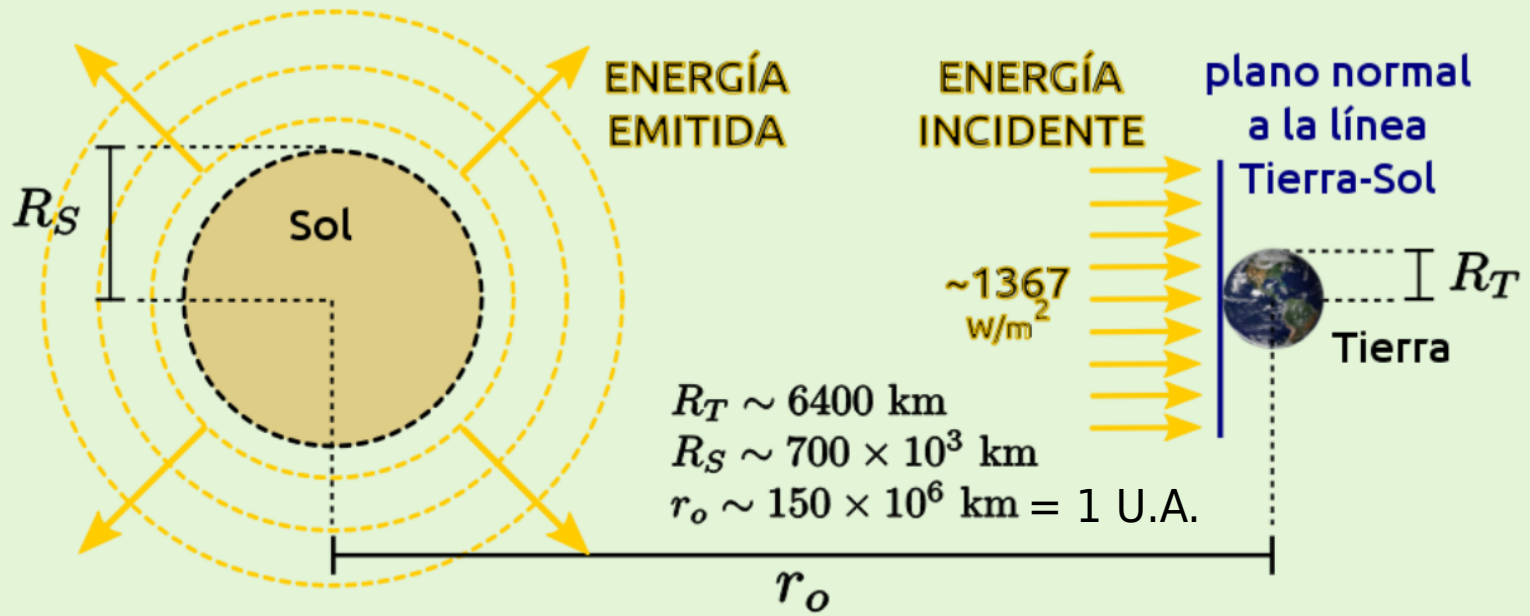
<https://eva.fing.edu.uy/mod/resource/view.php?id=42196>

Libro (en biblioteca IF)

Solar Engineering of Thermal Processes, (inglés)

J.A. Duffie and W.A. Beckman, John Wiley and Sons.





El Sol es prácticamente una fuente puntual para la Tierra:

$$G_{cs} = \frac{P_{Sol}}{4\pi r_o^2} \approx 1367 \text{ W/m}^2$$

valor convencional de la constante solar

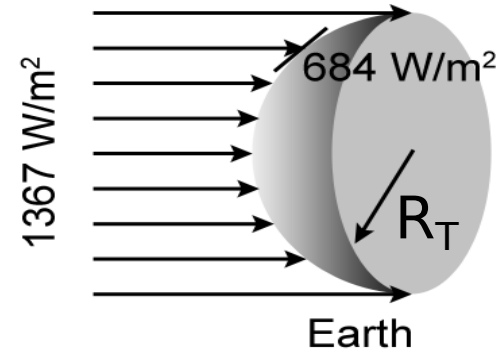


irradiancia media sobre la superficie diurna de la Tierra

$$\bar{G} = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega_0} G_{cs} \cos \theta d\Omega = \frac{1}{2} G_{cs} \approx 684 \text{ W/m}^2$$

o también

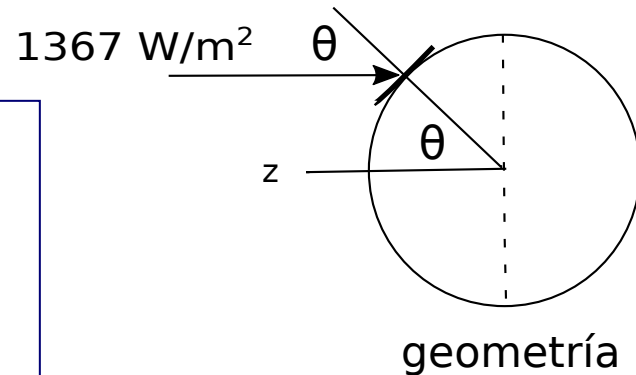
$$\bar{G} = \frac{\text{energía incidente}}{\text{área}} = \frac{G_{cs} \times \pi R_T^2}{2\pi R_T^2} = \frac{1}{2} G_{cs}$$



Definiciones:

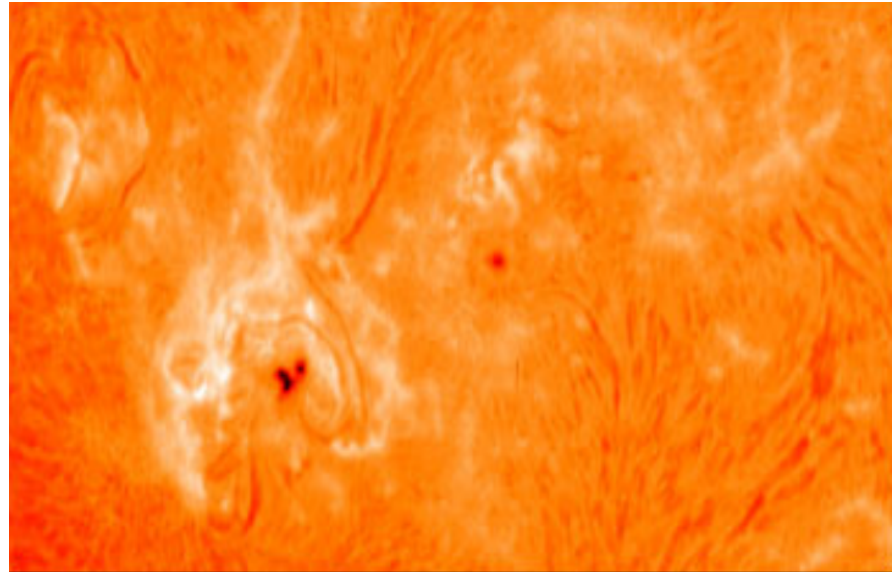
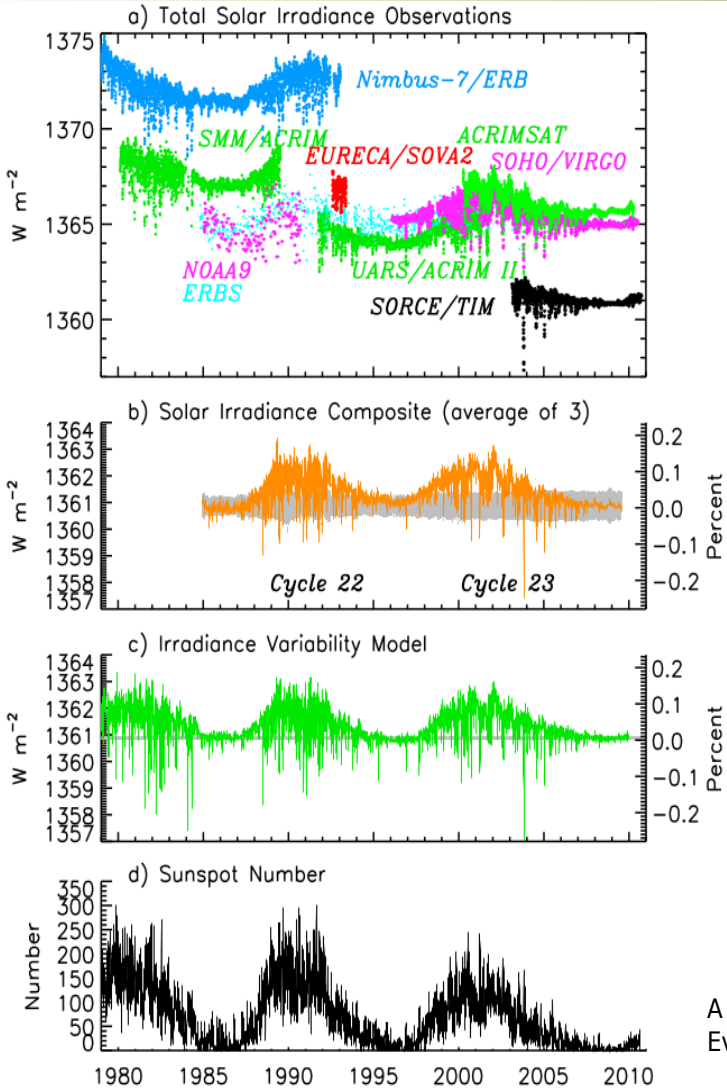
Irradiancia: flujo de energía sobre un plano específico (W/m^2)

Constante Solar: irradiancia solar promedio en incidencia normal fuera de la atmósfera cuando la distancia Tierra-Sol es 1 U.A.





La constante solar no es constante



mancha solar, rodeada de faculae

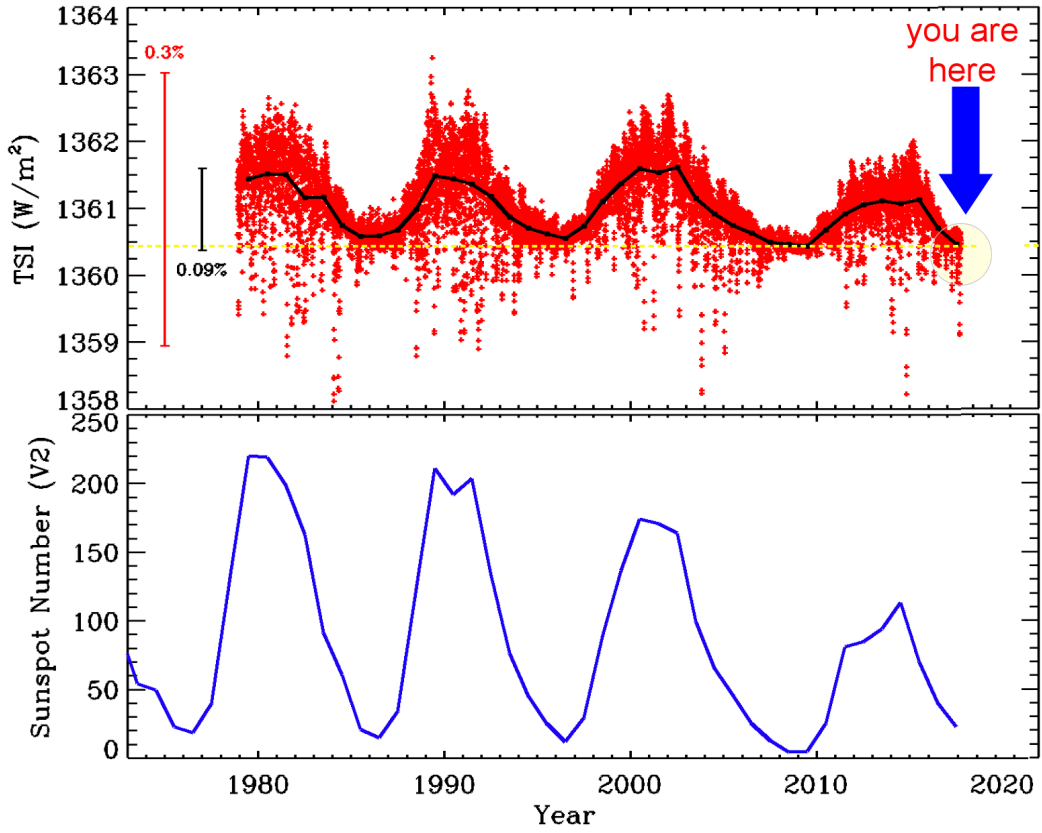
variaciones del orden del 0.1 % ($1.4 W/m^2$) asociadas a los ciclos de actividad solar de 11 años, involucran una gran cantidad de energía, suficiente para generar cambios detectables en el balance energético de la Tierra.

A new, lower value of total solar irradiance:
Evidence and climate significance



Distribución espacial

Total Solar Irradiance (1978 - present)



mejor valor: 2011

$G_{CS} = 1361.0 \pm 0.5 \text{ W/m}^2$

Kopp & Lean (2011), TIM measurements
GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS,
2011, v.38, L01706

valor convencional (WRC):

$G_{SC} = 1367 \pm 3 \text{ W/m}^2$

al 0.2 % <https://www.pmodwrc.ch/en>

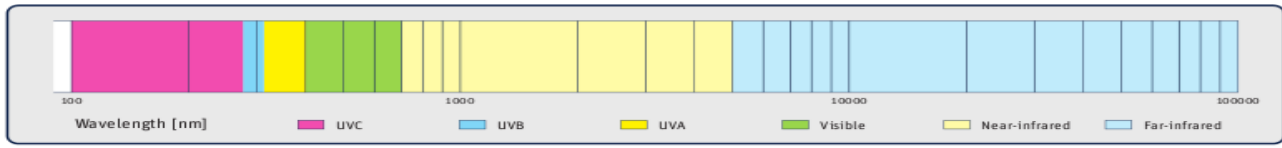
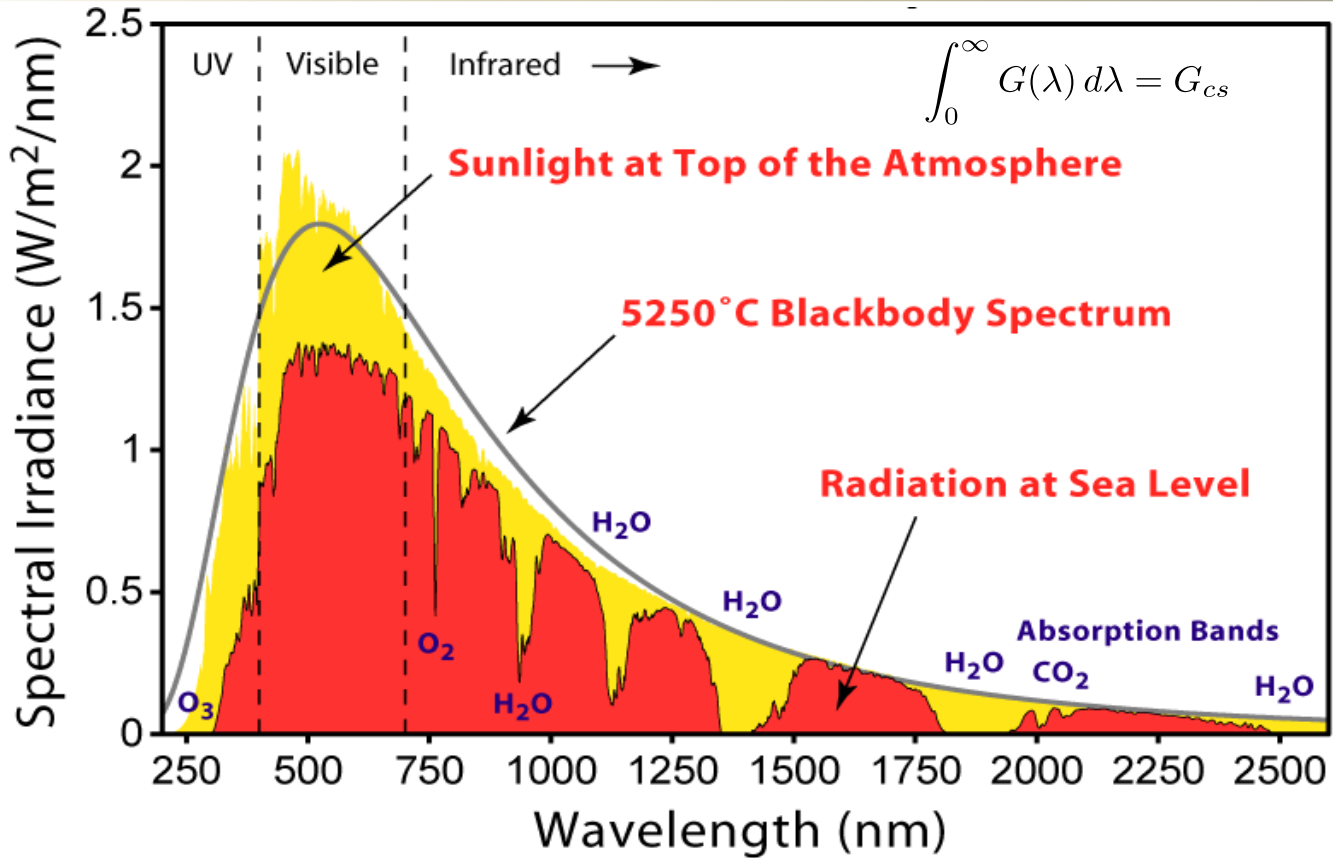
es el que adoptamos para este curso.

Más información: <http://lasp.colorado.edu/home/sorce/instruments/tim/>





Distribución espectral extra-atmósfera (AM0)





Bandas espectrales según la WMO

banda	sigla	longitud de onda (μm)
ultravioleta C	UVC	0.100-0.280
ultravioleta B	UVB	0.280-0.315
ultravioleta A	UVA	0.315-0.400
visible	VIS	0.390-0.770
infrarrojo cercano	NIR	0.770-25
infrarrojo lejano	FIR	25-1000

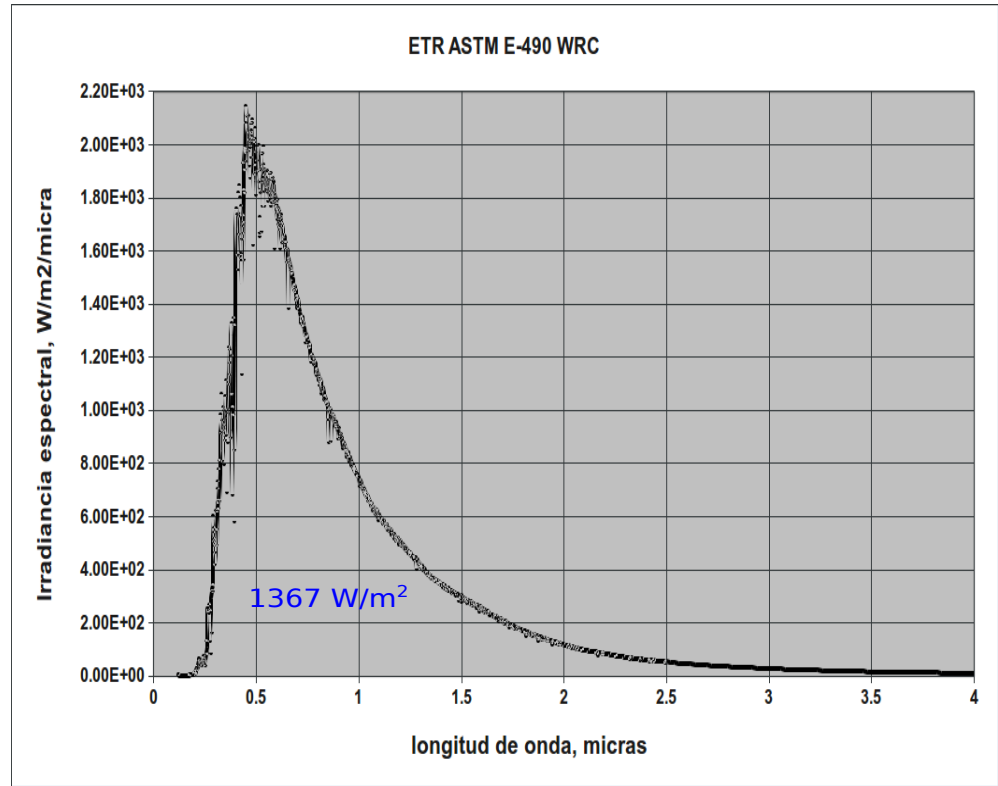
en este curso, adoptamos estas definiciones para las bandas espectrales.

entre 0.1 - 3 micras, es radiación solar incidente
entre 3 y 30000 micras, radiación térmica secundaria



$G_\lambda \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$	$\lambda \mu\text{m}$
0.2715	224.4
0.2725	197.4
0.2735	196.5
0.2745	132.6
0.2755	175.1
0.2765	242.8
0.2775	233.8
0.2785	159.3
0.2795	85.55
0.2805	94.63
0.2815	208.3
0.2825	294.1
0.2835	313.5
0.2845	235.3
0.2855	163.1
0.2865	322.7
0.2875	336.3

$$\int_0^\infty G(\lambda) d\lambda \approx \sum_i G(\lambda) \Delta\lambda_i = G_{CS}$$



planilla E-490 y figuras en <https://eva.fing.edu.uy/mod/resource/view.php?id=76263>



Podemos calcular la irradiancia ET en determinada banda espectral usando un espectro de referencia (E-490 o Wherli)

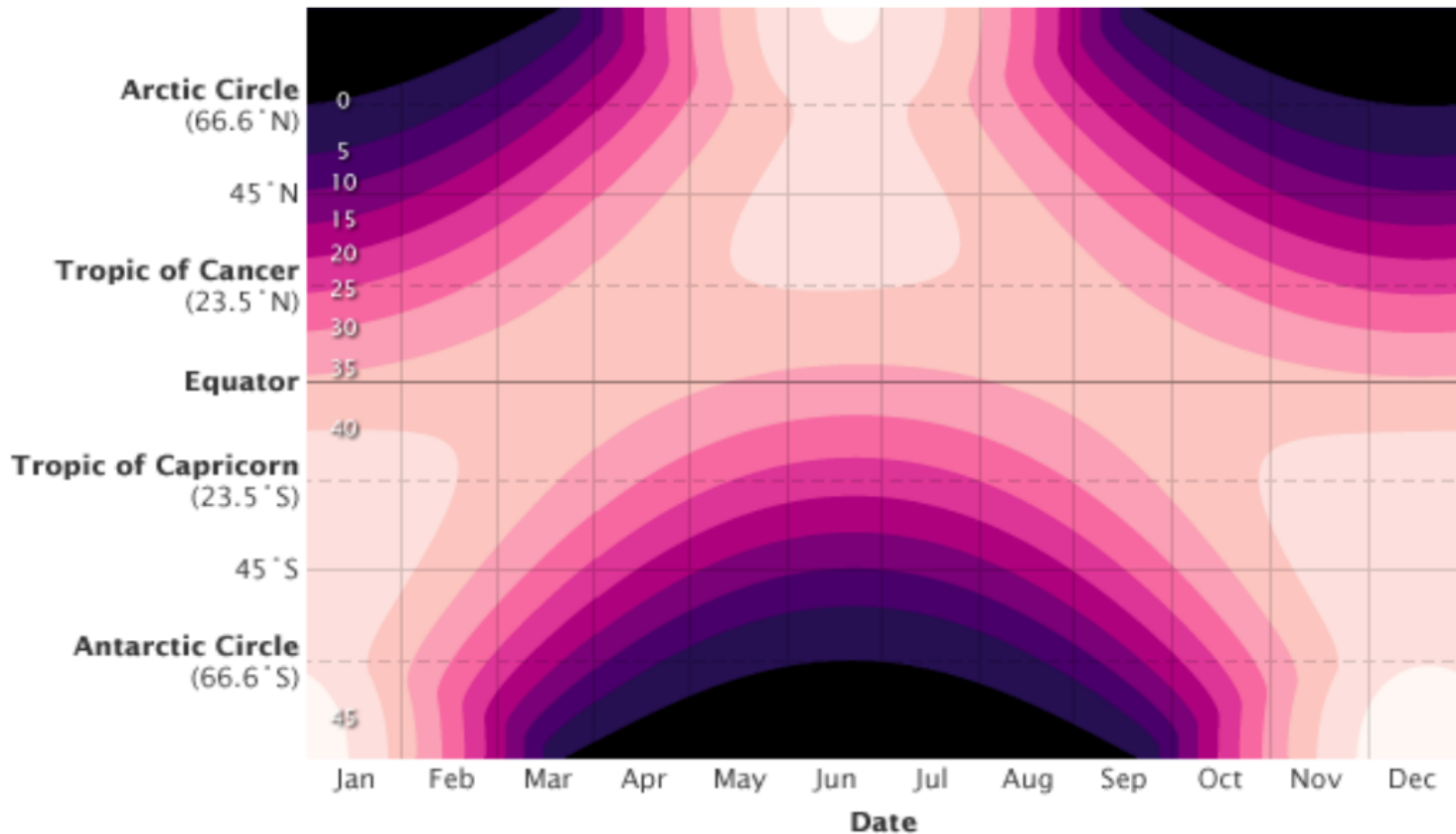
Aproximadamente, la energía solar ET se distribuye

8 % en UVA, UVB

44 % en el visible

48 % en el IR cercano

Esto puede cambiar significativamente al interactuar con la atmósfera.
Es deseable que un radiómetro tenga una **respuesta plana** entre 0.3 y 3 micras



- color indica la franja de irradiancia media diaria TOA en MJ/m²
- maximos en latitudes altas (asociados a la duración del día)
- H.S. recibe más irradiación en diciembre que el H.N. en Junio (asimetría orbital)