



MEDICIONES DE RADIACIÓN SOLAR

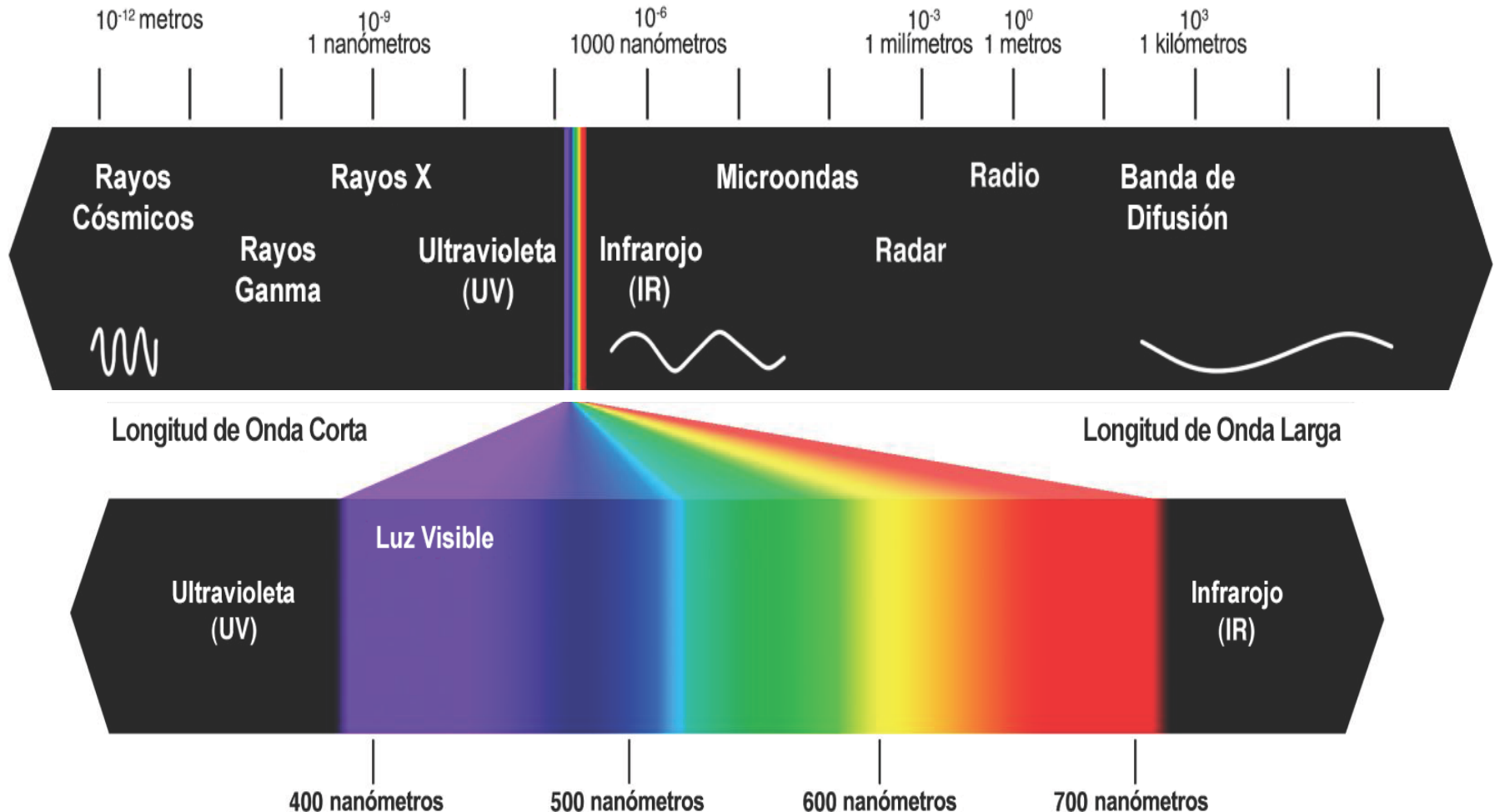
Ing. Luis Suarez Salas

RADIACIÓN SOLAR

- La energía solar es la energía electromagnética emitida por el Sol. La radiación solar que incide en el límite superior de la atmósfera terrestre se denomina radiación solar extraterrestre; el 97% de ella se encuentra confinado en el intervalo espectral comprendido entre 290 y 3 000 nm y se denomina radiación solar (en ocasiones, radiación de onda corta). (OMM, 2007)
- La radiación solar se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.
- Considerando las mediciones:
 - Es la energía incidente sobre una unidad de superficie por unidad de tiempo.
 - Para el SI usamos las unidades de Watt por metro cuadrado (W/m^2).
 - Integrado sobre un periodo de tiempo se totaliza en Joules (J) o KiloWatts por hora (Kw-h).

Espectro Solar

Al conjunto de todas las longitudes de onda se le denomina **espectro electromagnético**. La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.



El conjunto de las longitudes de onda emitidas por un cuerpo se denomina **espectro de emisi3n** y en el caso del sol, **espectro solar**.

Espectro solar y la atmósfera

La extinción y la emisión son los dos procesos principales que afectan la radiación solar en la atmósfera. El Sol es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura media de 5778 K.

Extinción:

Este es el proceso por el cual se reduce la irradiancia solar que alcanza la superficie de la tierra y está dado por la **absorción** o **dispersión**.

Absorción: corresponde a la fracción de energía que se absorbe y se transforma en algo más.

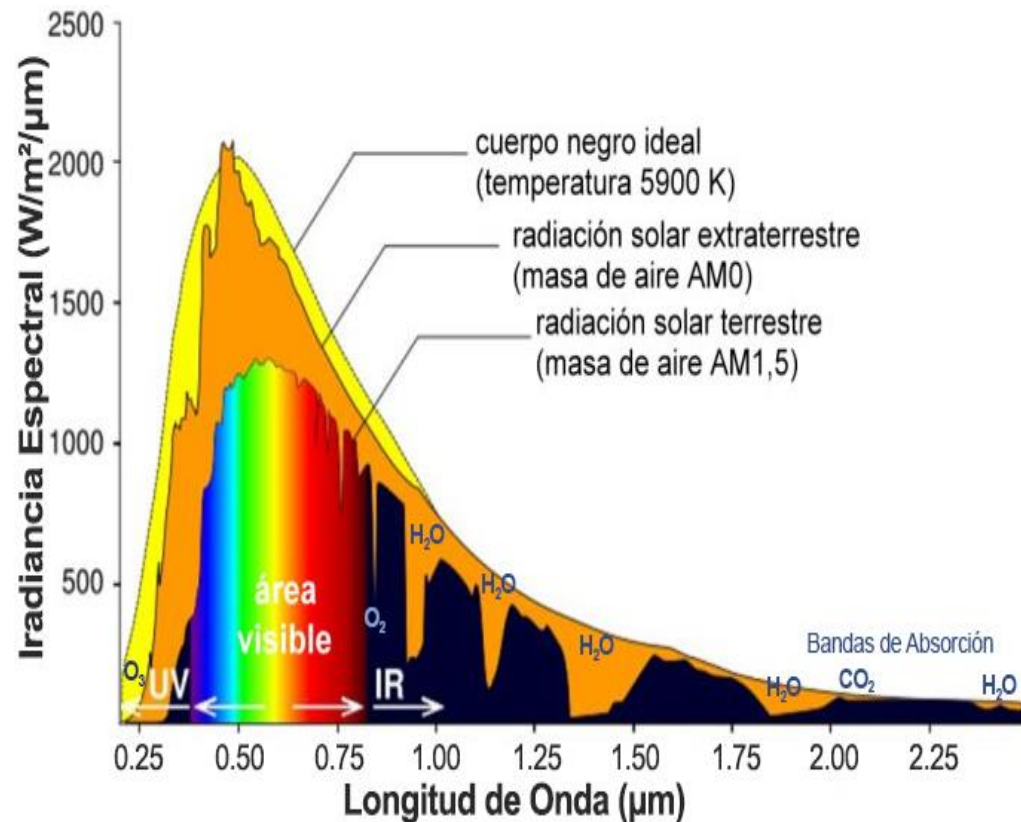
Dispersión: cambia la dirección de propagación.

Emisión:

Este es un proceso que incrementa la irradiancia.

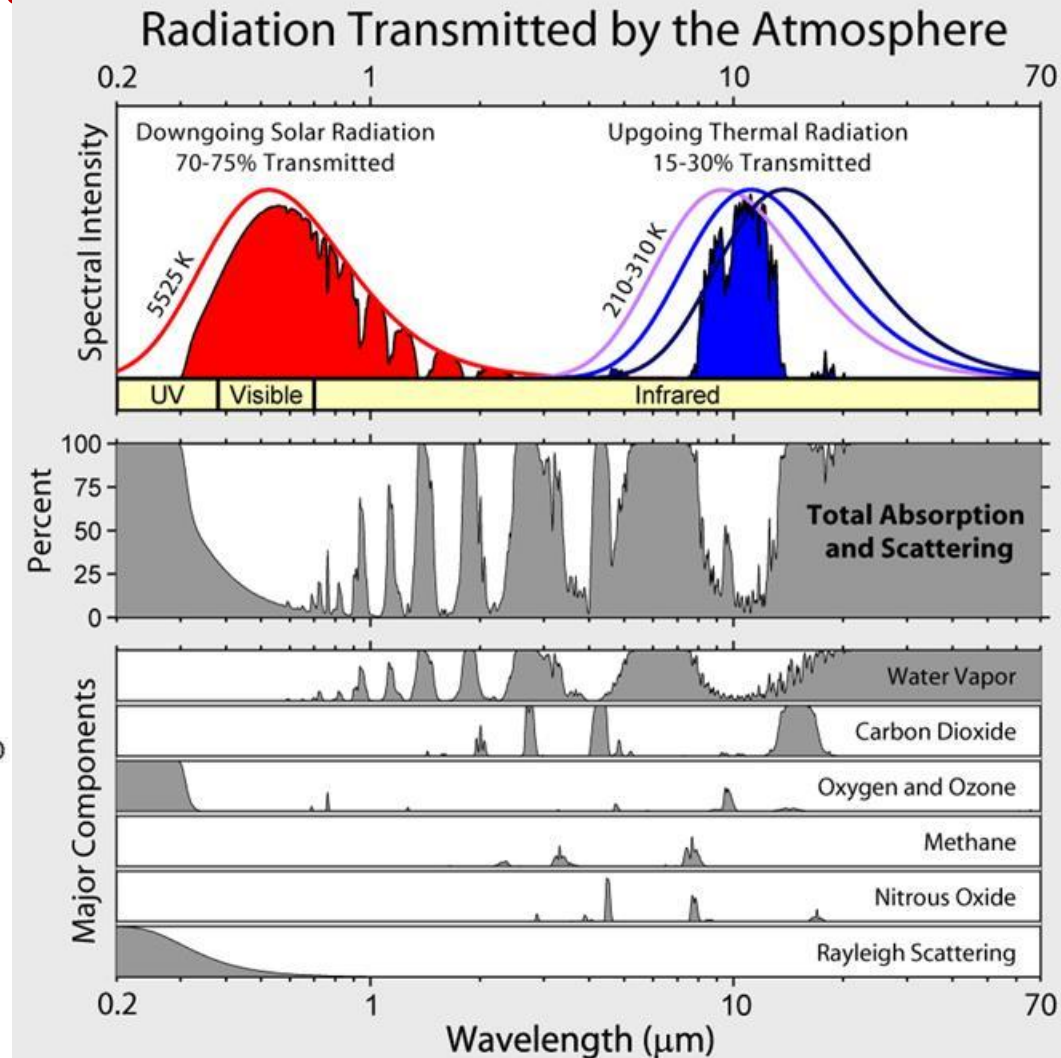
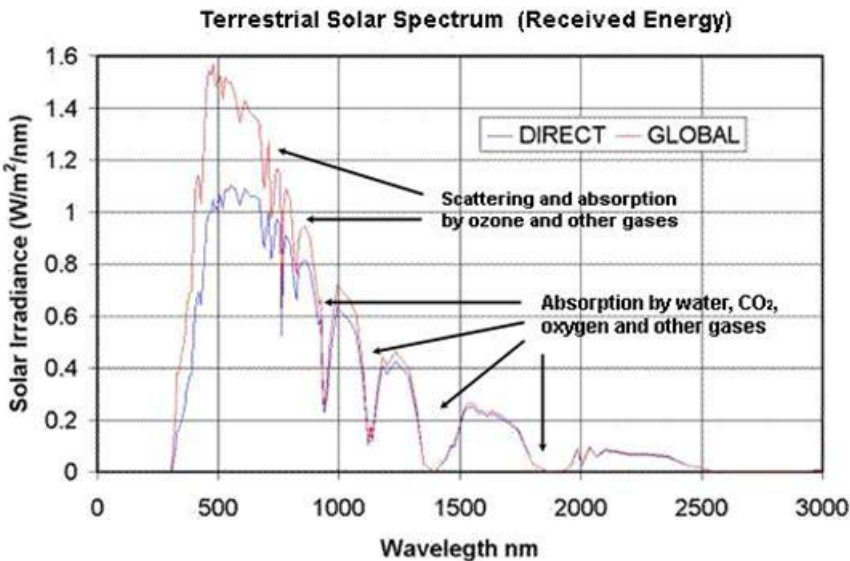
Todos los cuerpos con $T > 0K$ emiten radiación.

Puede haber radiación dispersa en la dirección del haz.



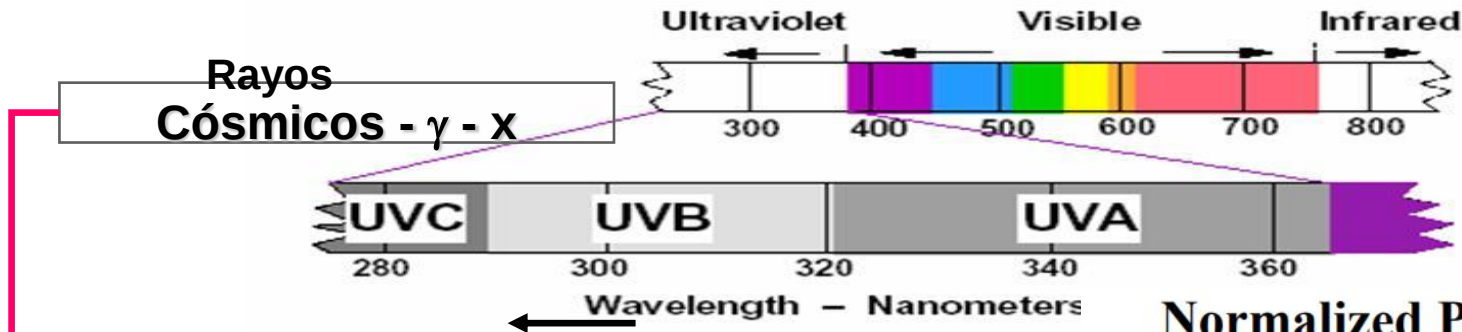
Espectro solar y la atmósfera

La radiación solar tiene una importante interacción con la atmósfera en función de su longitud de onda y la respuesta espectral de cada compuesto presente en su trayectoria.

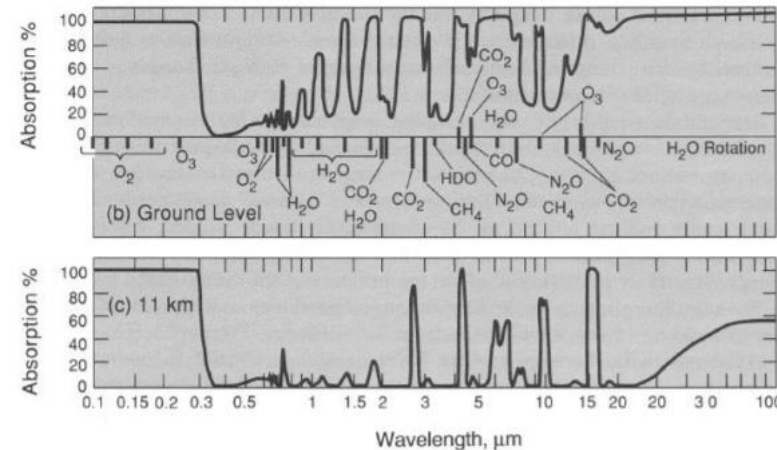
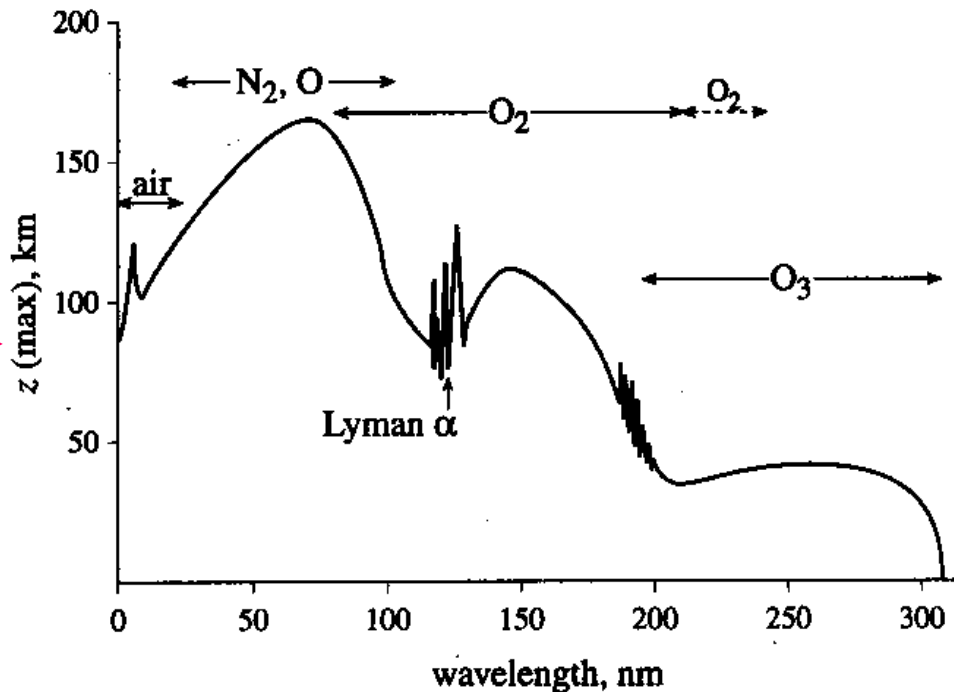
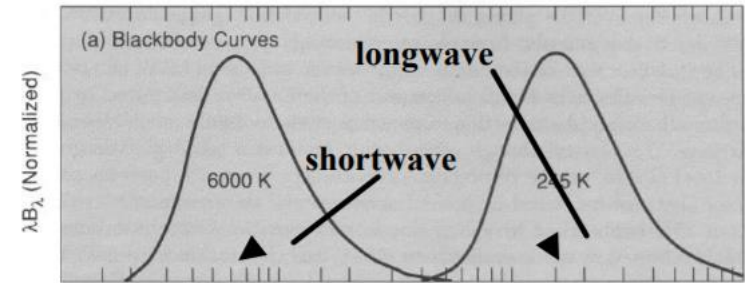


RADIACION SOLAR

- Radiación solar recibida en la superficie de la Tierra.



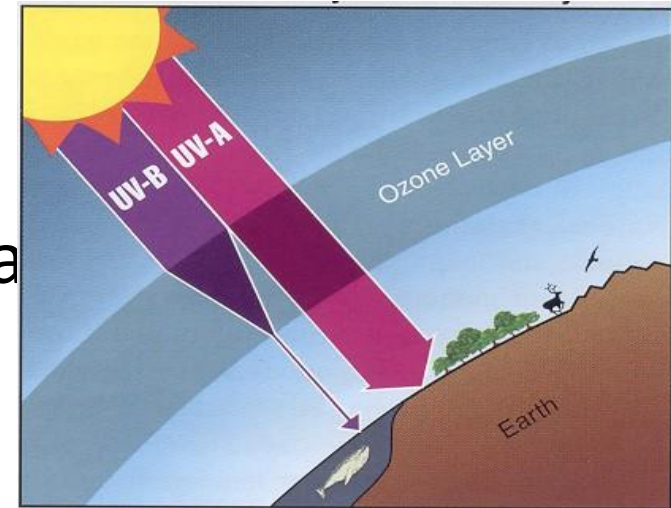
Normalized Planck Function



(from *Climate System Modeling*)

RADIACIÓN SOLAR

- La radiación solar contiene porciones diferentes según la región espectral atravesando la atmósfera.



Región de radiación solar	Constante solar	% fuera de la atmósfera	% a nivel del mar	% relativo a la región UV
UV-C(100 - 280 nm)	6.4	0.5	0	0
UV-B(280 - 315 nm)	21.1	1.5	0.25	5
UV-A(315 - 400 nm)	85.7	6.3	4.75	95
Total RUV	113.2	8.3	5	100
Luz + IR	1253.6	91.7	95	
Total RUV+luz+IR	1367	100.0	100	

MARCAS COMERCIALES

apogee
INSTRUMENTS



**KIPP &
ZONEN**



LI-COR



EKO Beyond
Accuracy.



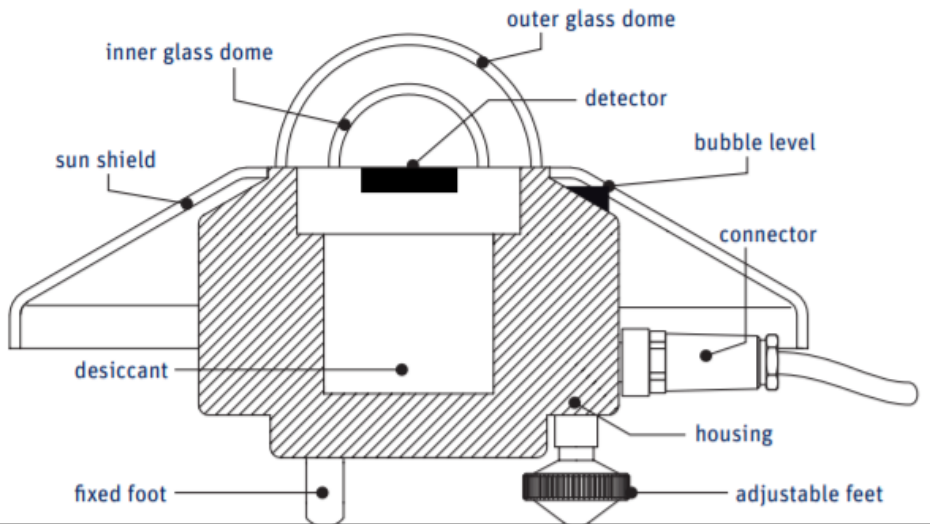
MEDIDORES DE RADIACIÓN SOLAR

- **Piranómetro:** componente sensible para medir la radiación solar sobre una superficie horizontal, cubriendo la región de onda corta de la energía electromagnética del sol.
- **Pirgeómetro:** componente sensible para medir la región de onda larga de la energía.
- **Pirheliómetro:** componente sensible para medir la radiación solar directa a través de un haz de luz perpendicular al sol.



MEDIDORES DE RADIACIÓN SOLAR

- **Estructura de un piranómetro:**
- ASTM E2848 “Standard Test Method for Reporting Photovoltaic Non-Concentrator System Performance”.
- The ISO 9060 - 1990 standard, “Solar energy - specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”, que distingue entre 3 clases; secondary standard (alta precision), first class (segunda precision mas alta) y second class (tercera precision mas alta).



1. La radiación solar de todo el cielo es transmitido a través del domo de cristal (o cuarzo o teflón)
2. Luego es absorbido por la cobertura negra (detector)
3. De este modo es convertido en calor.
4. El calor fluye a través de un detector térmico generando una pequeña diferencia de temperatura
5. Lo cual es convertida a voltaje.

MEDIDORES DE RADIACIÓN SOLAR

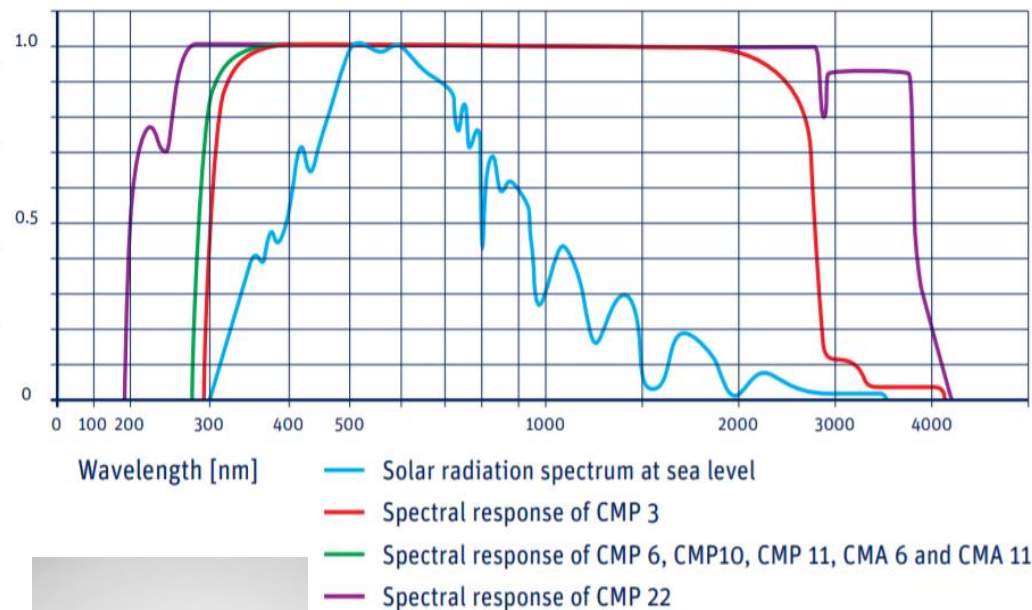
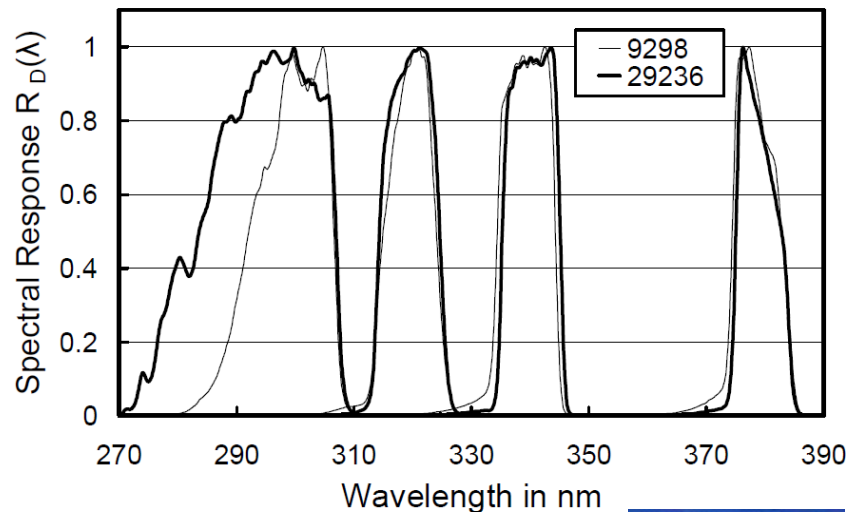


Table 3. Main characteristics of the radiation instrumentation installed in the HYO.

	CMP10 Pyranometer	CHP1 Pyrheliometer	CGR4 Pirgeometer
Company	Kipp & Zonen	Kipp & Zonen	Kipp & Zonen
Spectral range (50% points)	285 to 2800 nm	200 to 4000 nm	4500 a 42000 nm
Sensitivity	7 to 14 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^{-2}$	7 to 14 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^{-2}$	5 a 15 $\mu\text{V W}^{-1} \text{m}^{-2}$
Response time	<5 s	<5 s	<18 s
Directional response (up to 80° with 1000 W m^{-2} beam)	<10 W m^{-2}	-	-
Temperature dependence of sensitivity (-20 °C to +50 °C)	<1%	<0.5%	-
Operational temperature range	-40 °C to +80 °C	-40 to +80 °C	-40 a +80 °C
Maximum solar irradiance	4000 W m^{-2}	4000 W m^{-2}	-
Limites de irradiancia neta	-	-	-250 a + 250 W m^{-2}

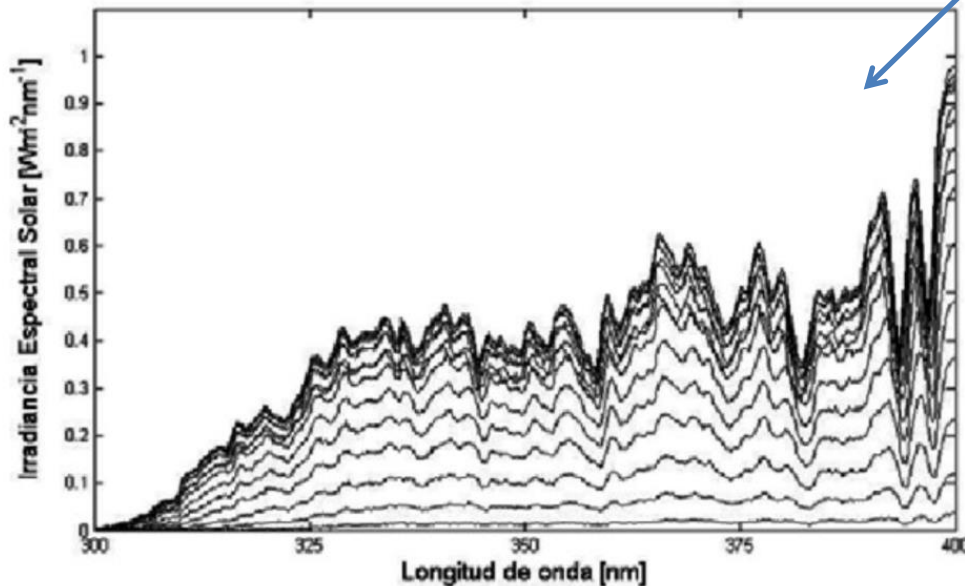
MEDIDORES DE BANDA ANCHA Y ESTRECHA

- **Medidores de banda ancha** están diseñados para responder a la radiación solar en una región del espectro solar en particular (infrarrojo, visible PAR, UV, etc)
- **Medidores de banda estrecha** responden en una region muy puntual de hasta 10 nm de ancho de banda (FWHM) y hay hasta del orden de 2 nm de FWHM (OMM, 2010a).

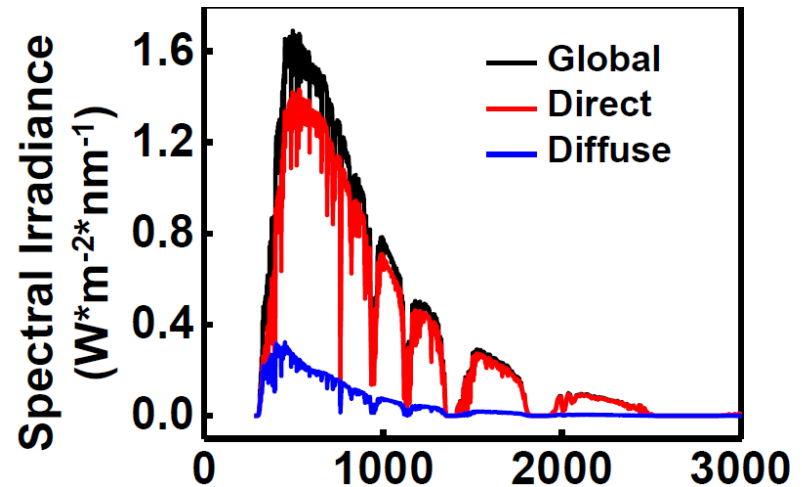
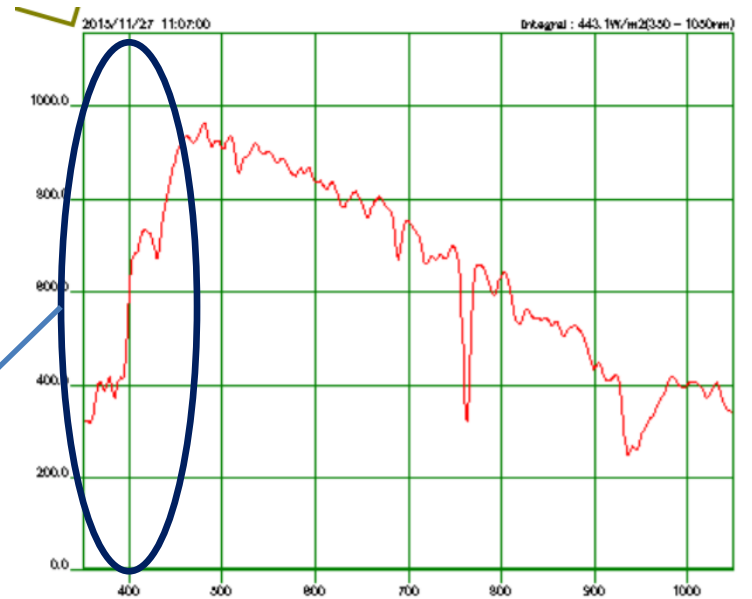


MEDIDORES DE ESPECTRORADIOMETROS

- Es el mas sofisticado sistema y utiliza rejillas cuadriculadas u holográficas para dispersar la energía incidente en un espectro es particular.
- La anchura de banda de las mediciones suele estar comprendida entre 0,5 y 2,0 nm.
- Tiempo de respuesta: de 1 a 10 minutos



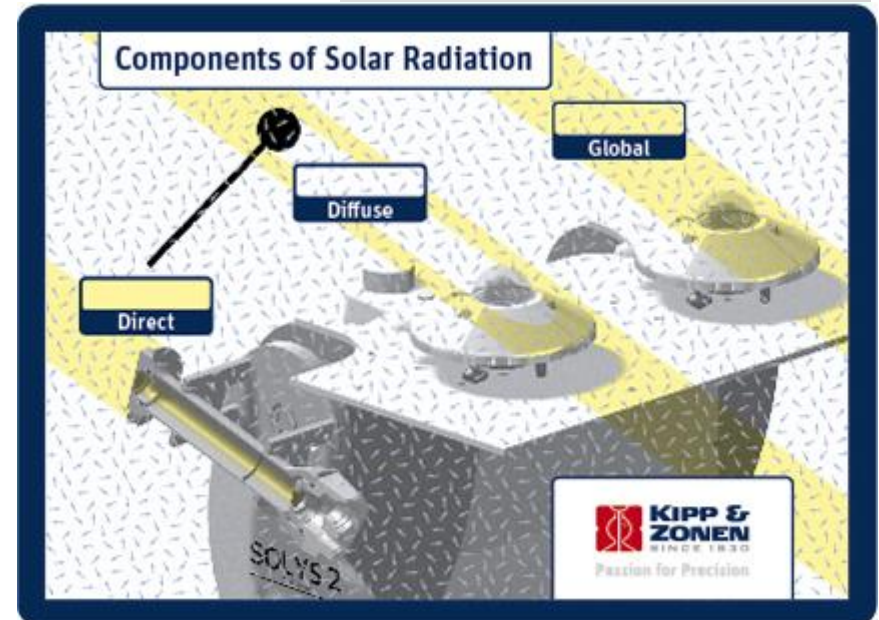
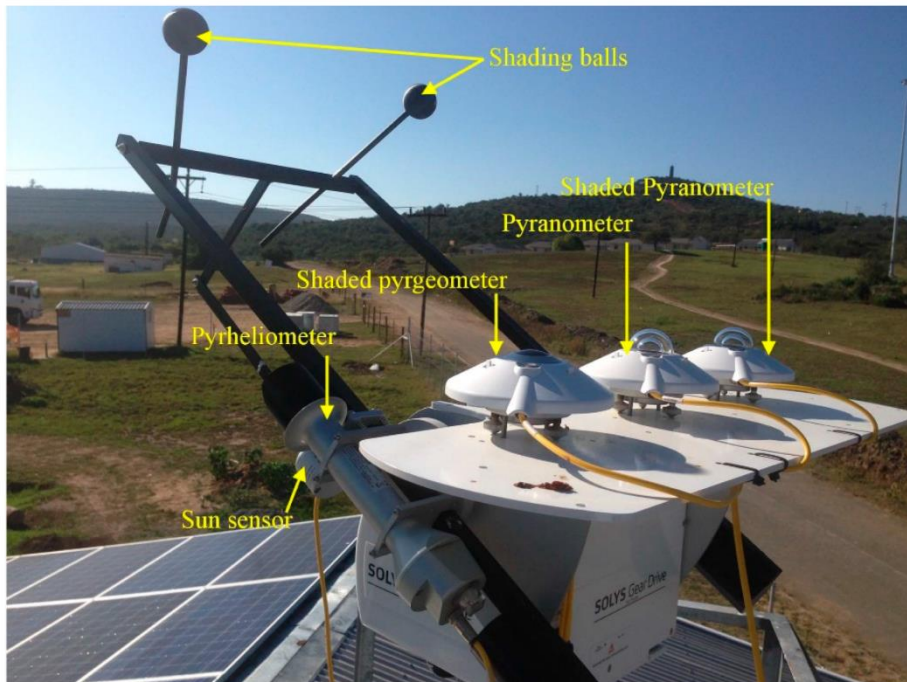
Variación horaria de la radiacion UV espectral por un radiometro



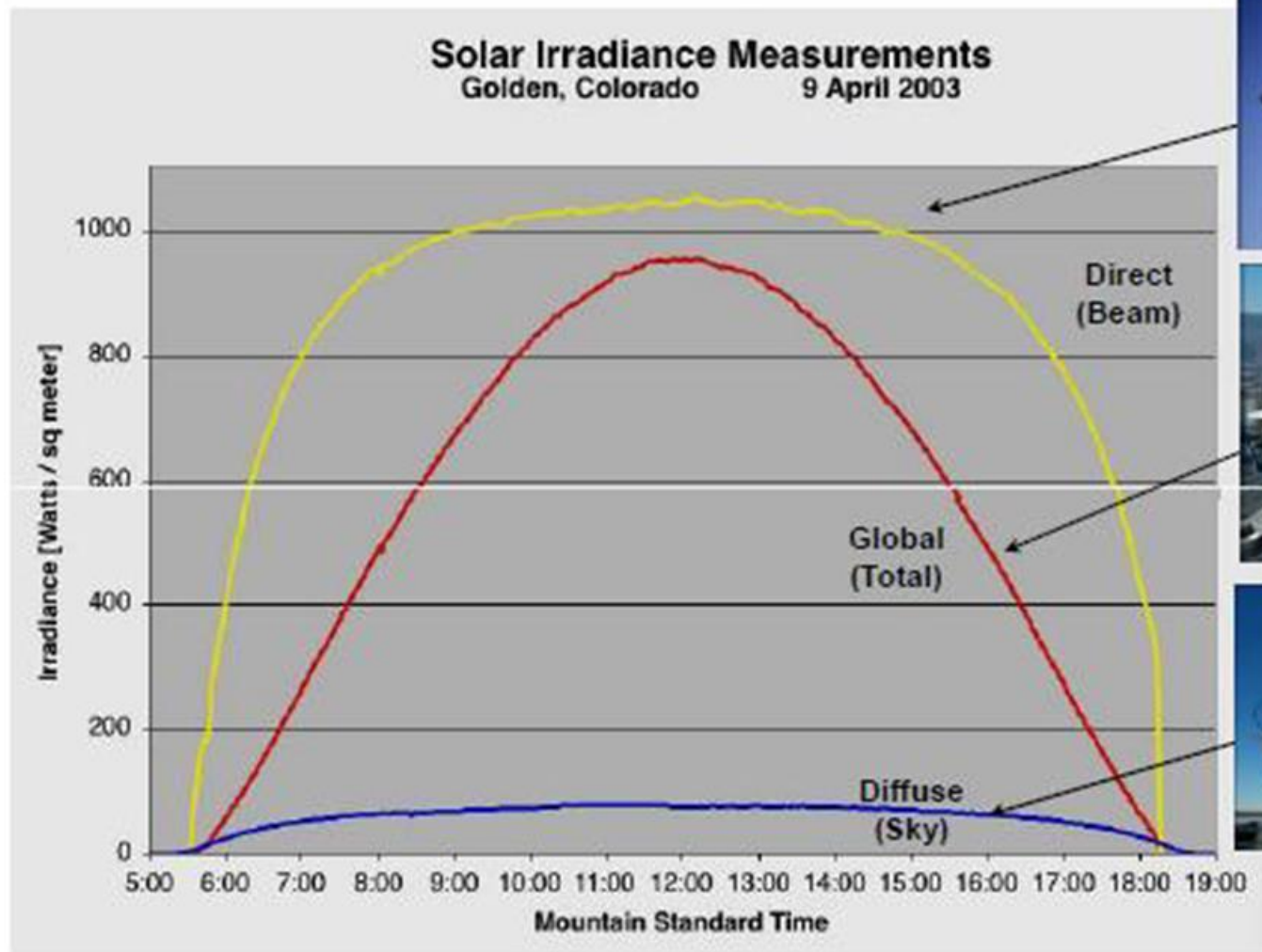
Variacion espectral de la radiación solar

COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

- **Radiación global = Radiación directa + radiación difusa**
- **Radiación directa** es medida por el pirheliómetro unido al seguidor solar.
- **Radiación difusa** es medida por un piranómetro tapado por una bola negra unida al seguidor solar.



Clear Sky Measurements



RADIÓMETRO MULTIFILTRO CON BANDA DE SOMBRA ROTANTE (MFRSR)

- MFRSR es un instrumento pasivo que mide componentes global y difuso de la radiación solar en seis bandas espectrales estrechas centrados en 416, 496, 615, 673, 869, and 940 nm, respectivamente .
- El ancho de banda (FWHM) es de cerca de 10 nm.
- Ancho de banda espectral de 10 nm y 2 nm.

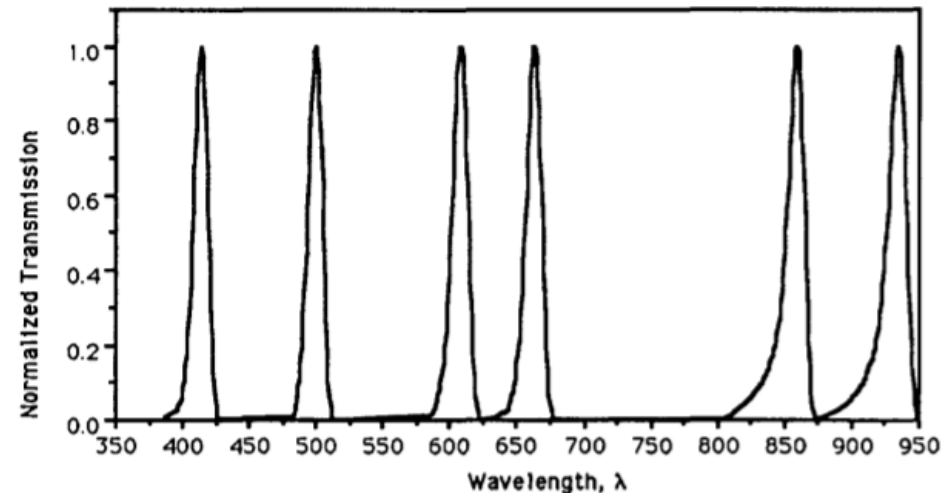
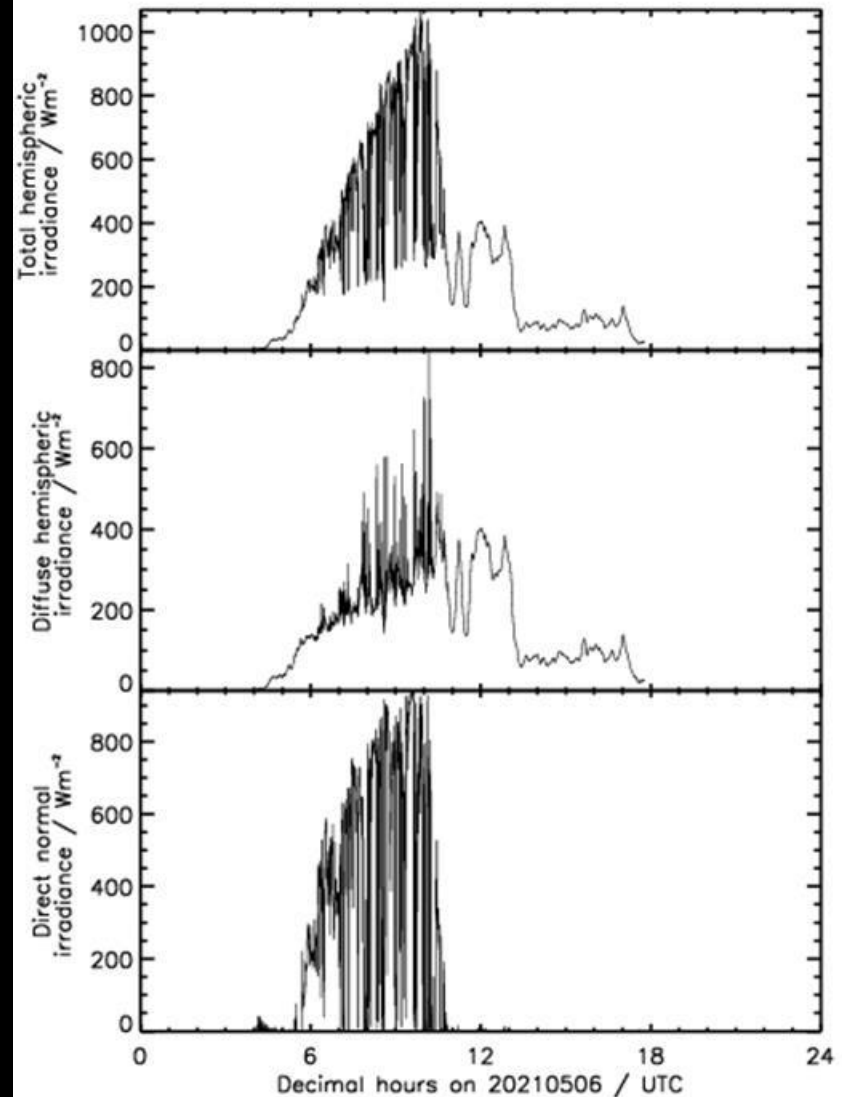
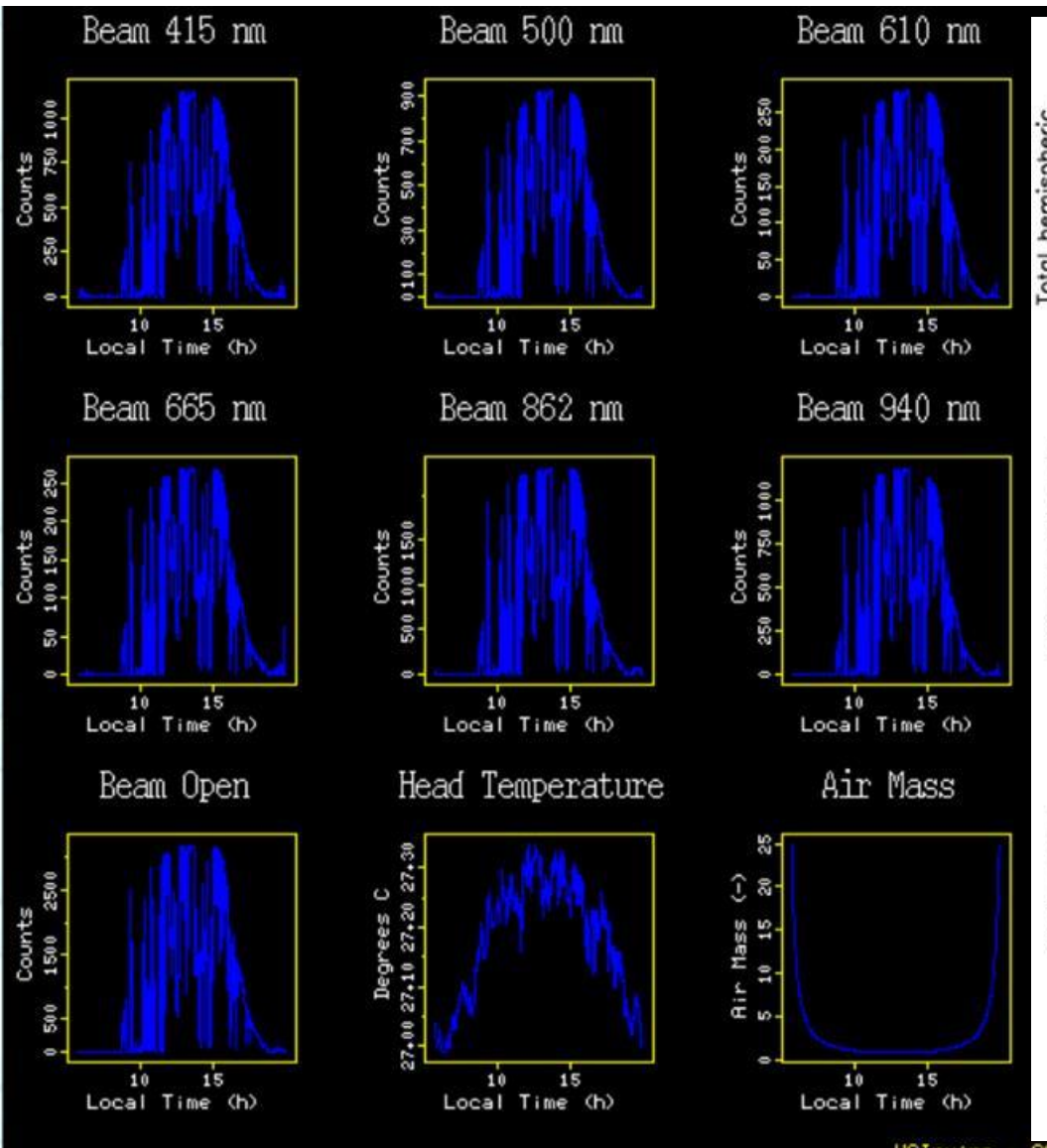


Fig. 3. Filtered passbands of the MFRSR.

MFRSR: Mediciones espectrales – banda ancha



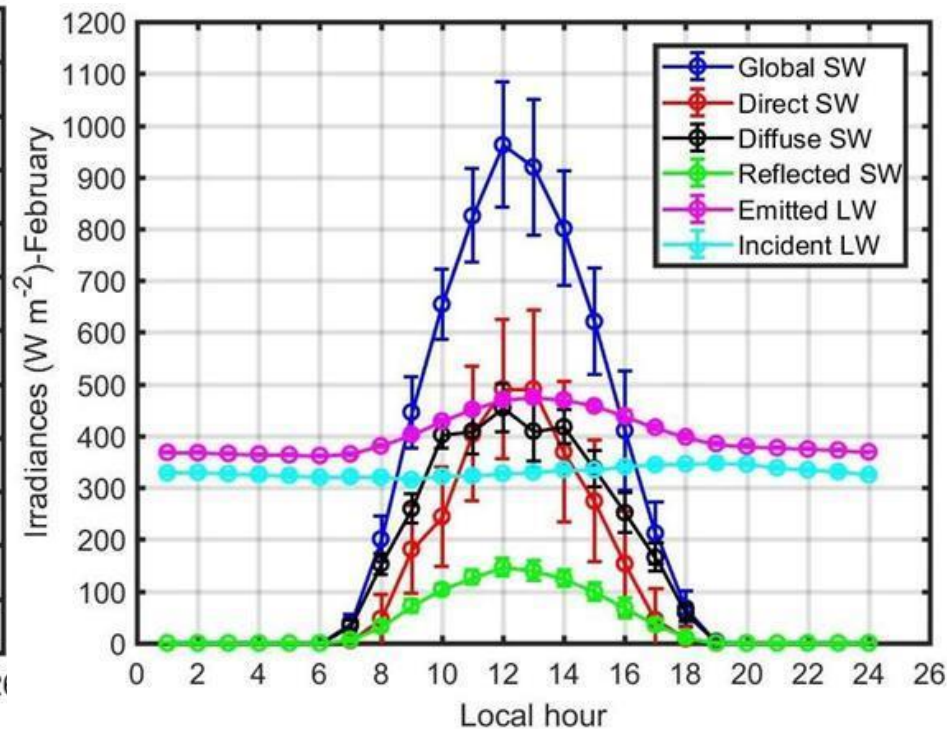
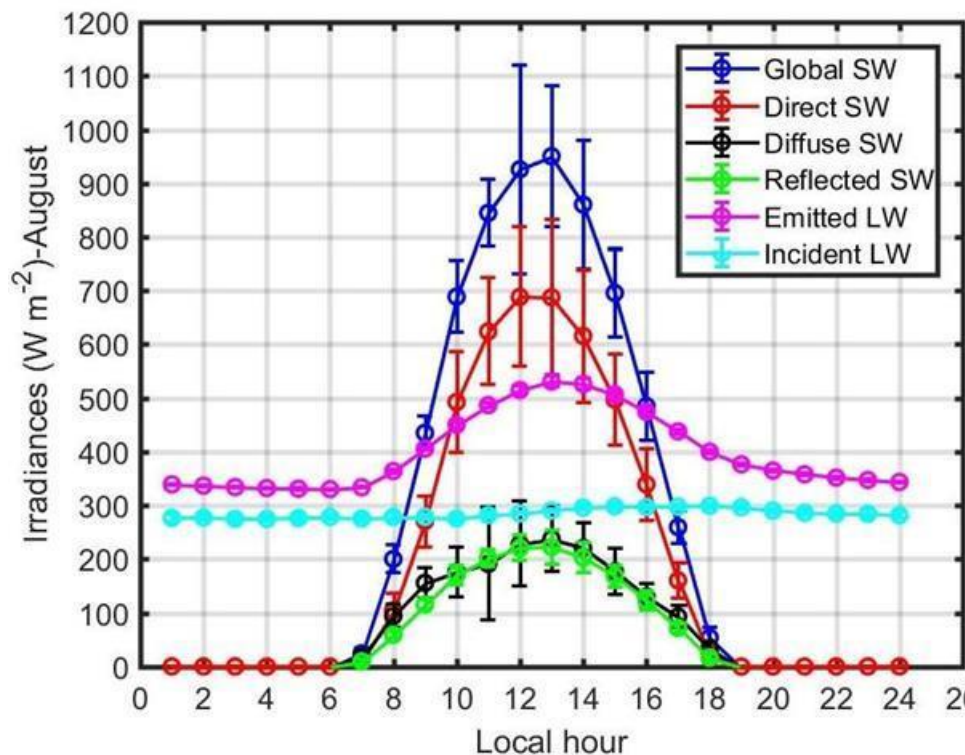
COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

- **Radiación neta** = Radiación incidente (onda corta y larga)
 - Radiación reflejada (onda corta y larga)
- **Radiación incidente** es la suma de la radiación de onda corta mas la radiación de onda larga registrada sobre la superficie.
- **Radiación reflejada** es la radiación reflejada por la superficie terrestre y la emitida debido a la transformación de la energía recibida.

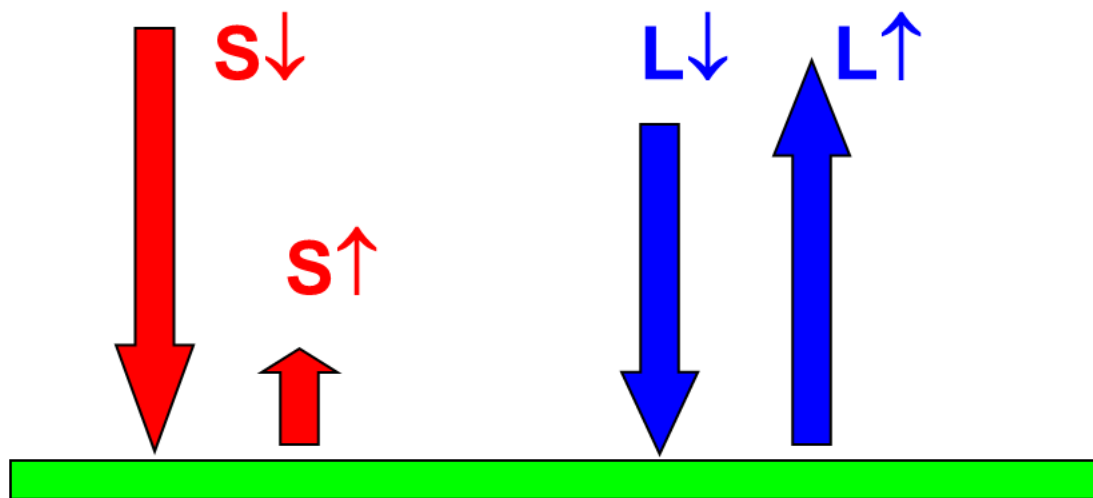


ESTACIÓN BSRN EN HUANCAYO

- La red BSRN es la referencia mundial apoyada por la OMM para mediciones de radiación solar basadas en altos requerimientos de instrumentación.
- Gráficos muestran promedios de mediciones durante los primeros 6 meses donde se muestran altos valores de radiación global y directa



Balanço de Radiação

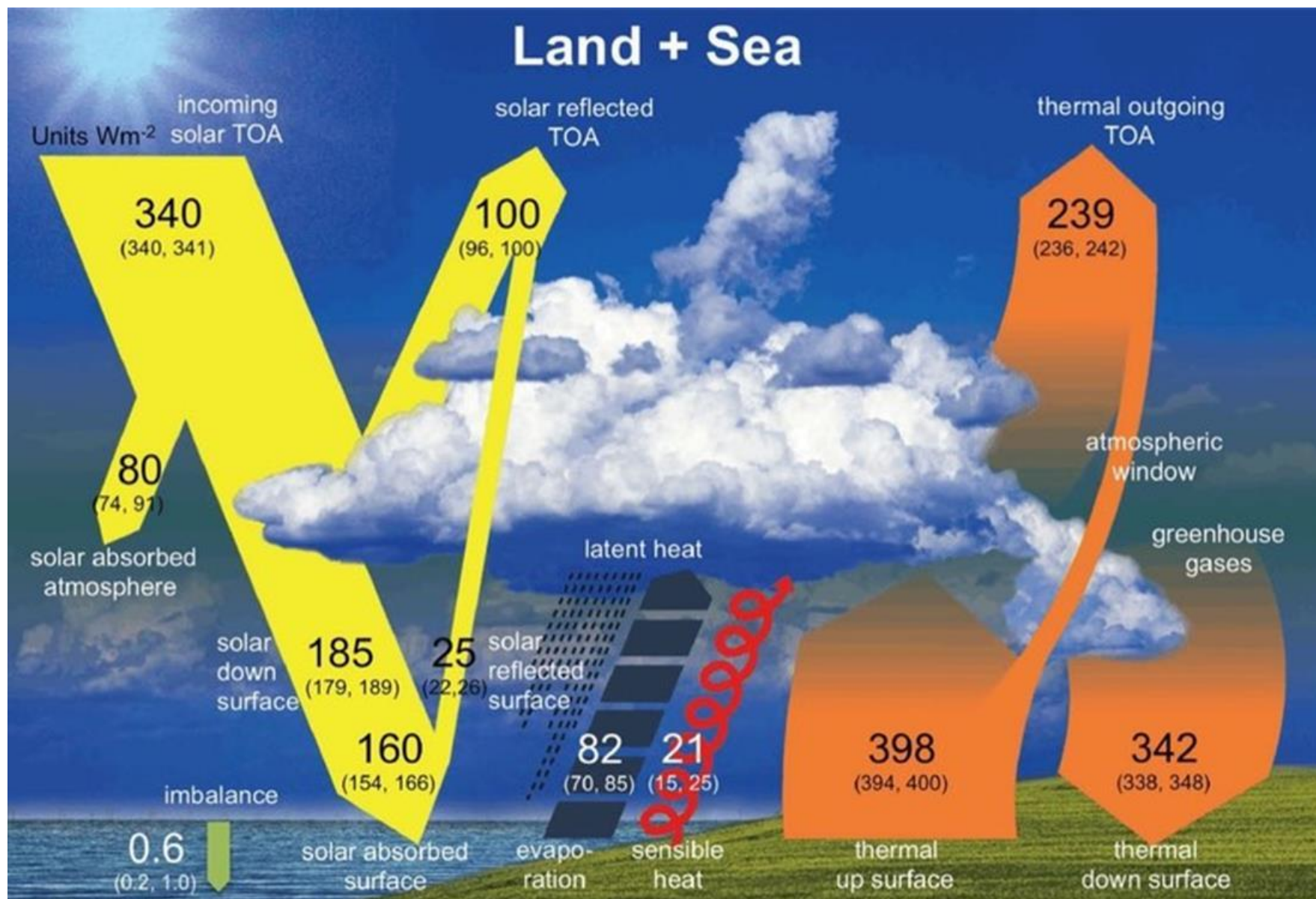


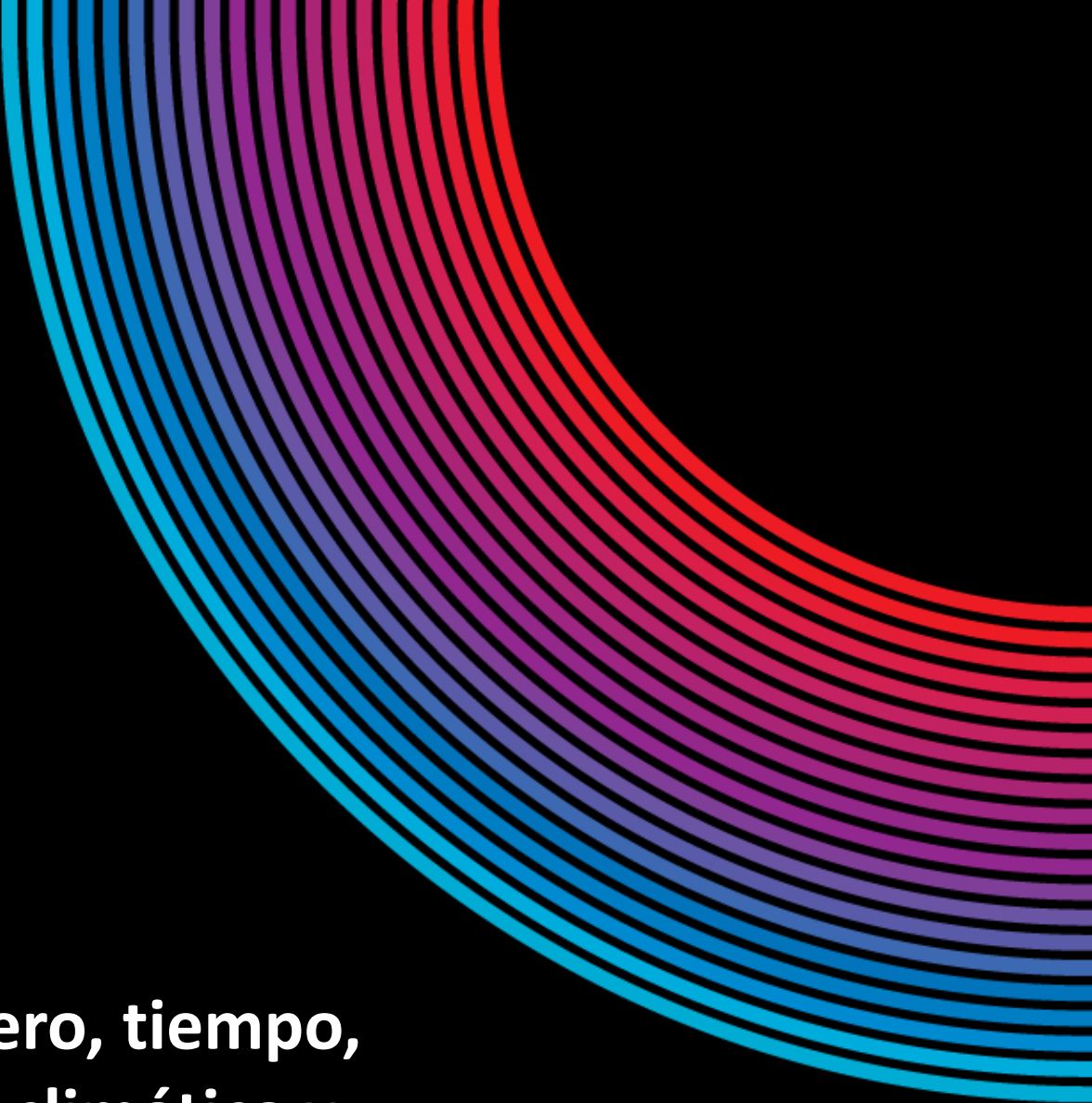
$$R_n = S\downarrow - S\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$

$$L\uparrow = \varepsilon \sigma T_s^4$$



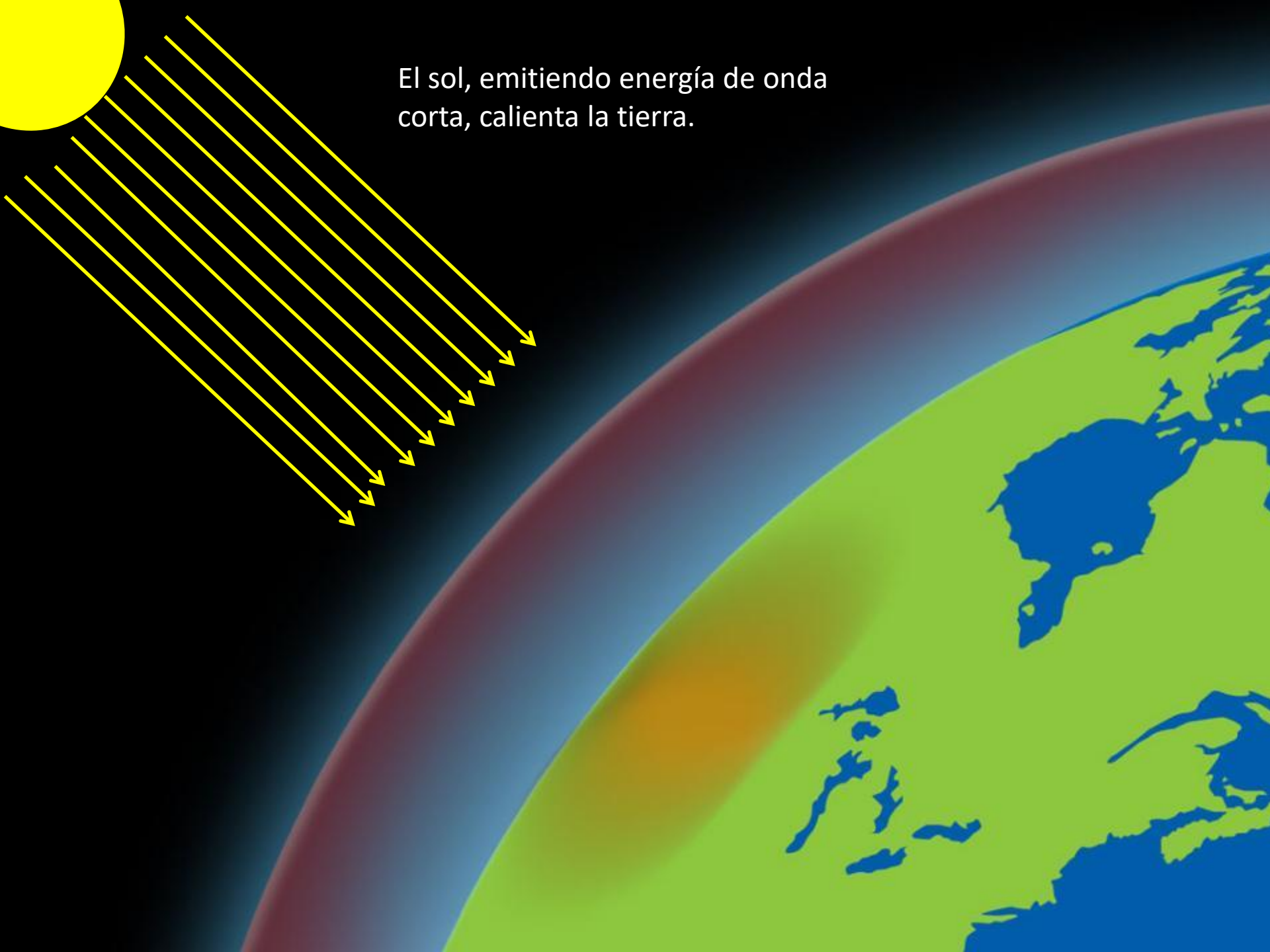
El balance de energia global (wild, 2015)



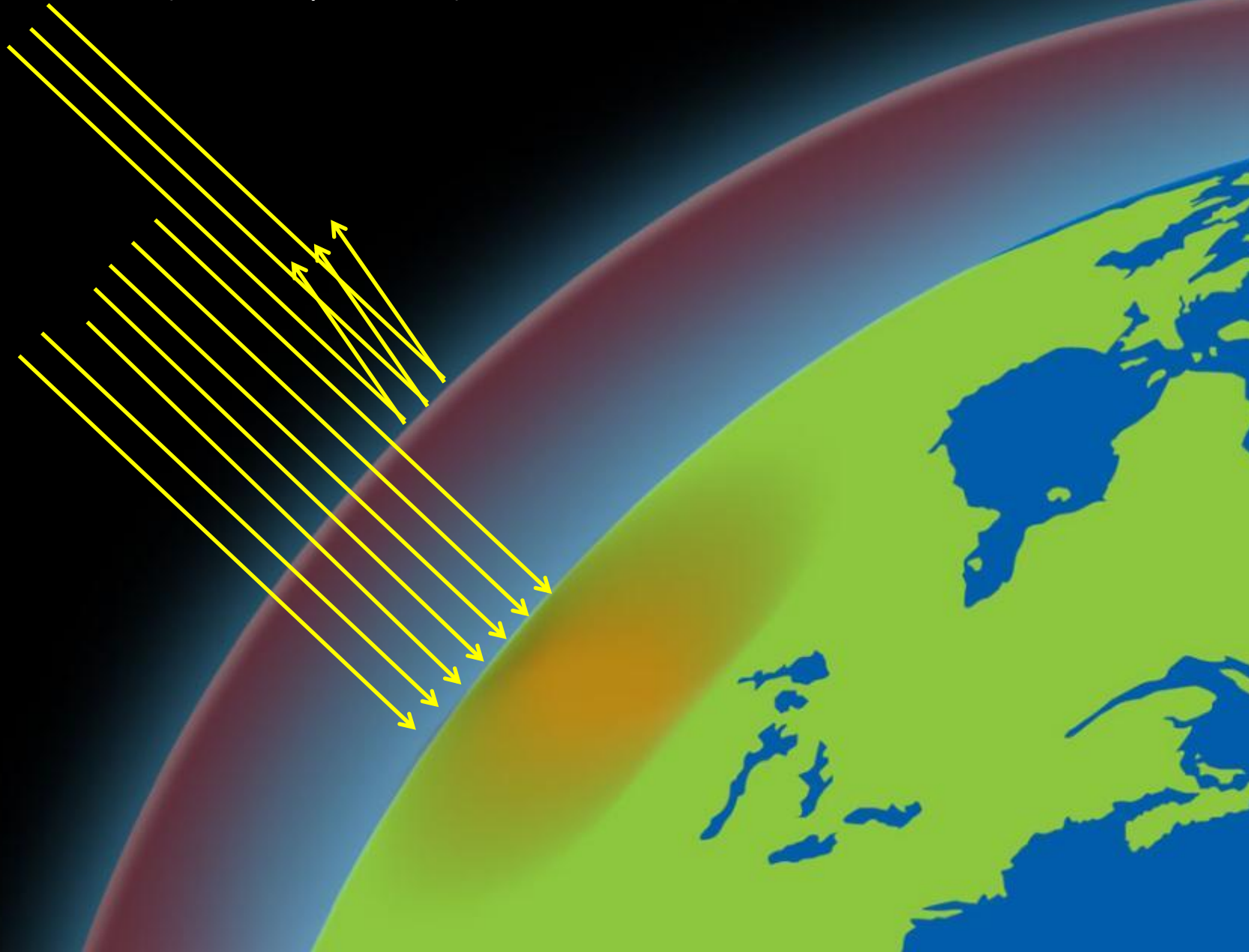


1. Efecto invernadero, tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático

El sol, emitiendo energía de onda corta, calienta la tierra.

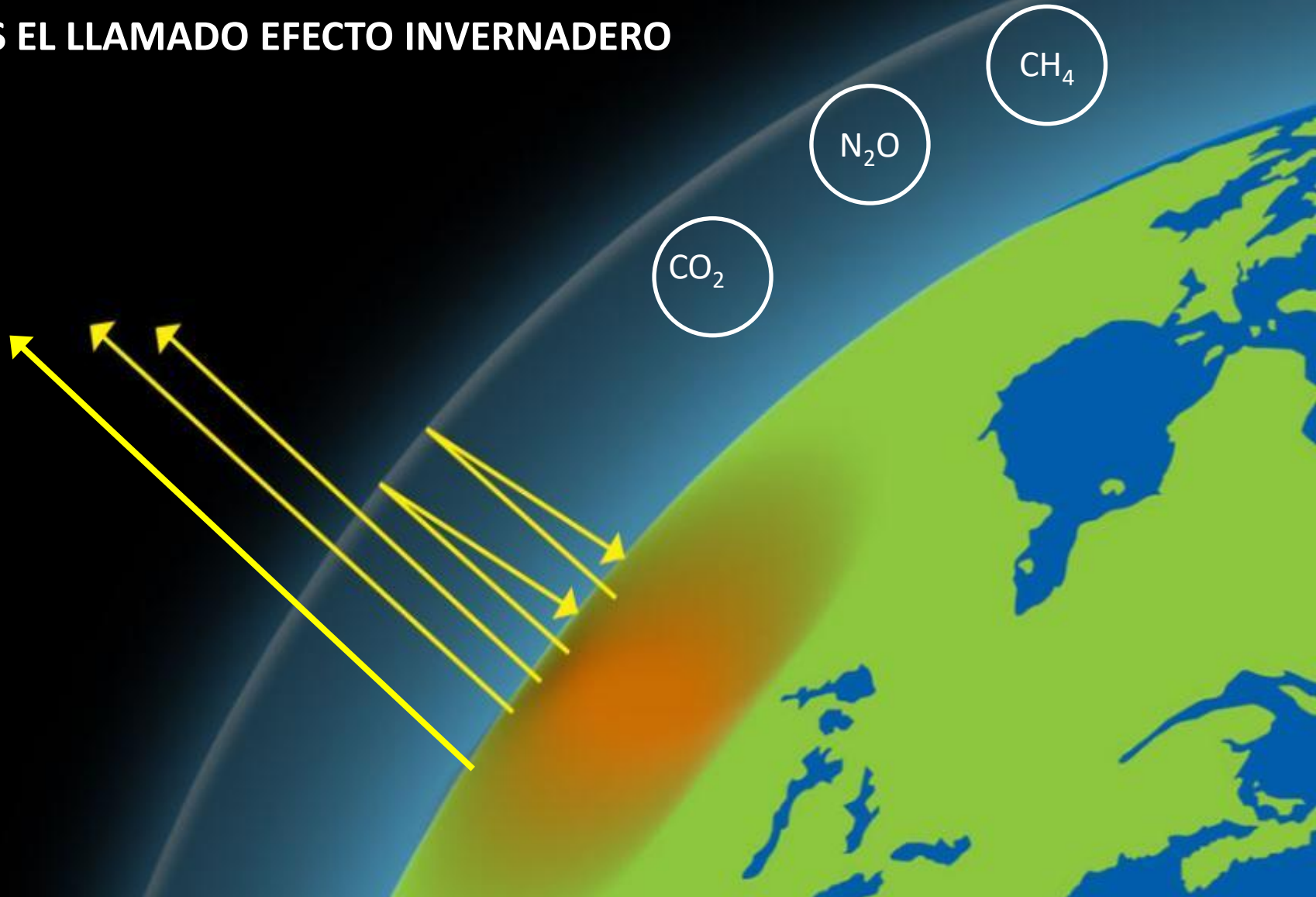


Una parte de la energía recibida desde el sol es reflejada al espacio (albedo, aprox. 30%).



El restante es transformada, y una parte es reflejada como energía de onda larga (infrarroja) y atrapada por los gases de efecto invernadero.

ESTE ES EL LLAMADO EFECTO INVERNADERO



Sin embargo, los últimos años la concentración de los gases de efecto invernadero ha aumentado y con ello mayor calor esta siendo atrapado en la atmósfera baja provocando el **calentamiento global** indicador principal del **CAMBIO CLIMÁTICO**.

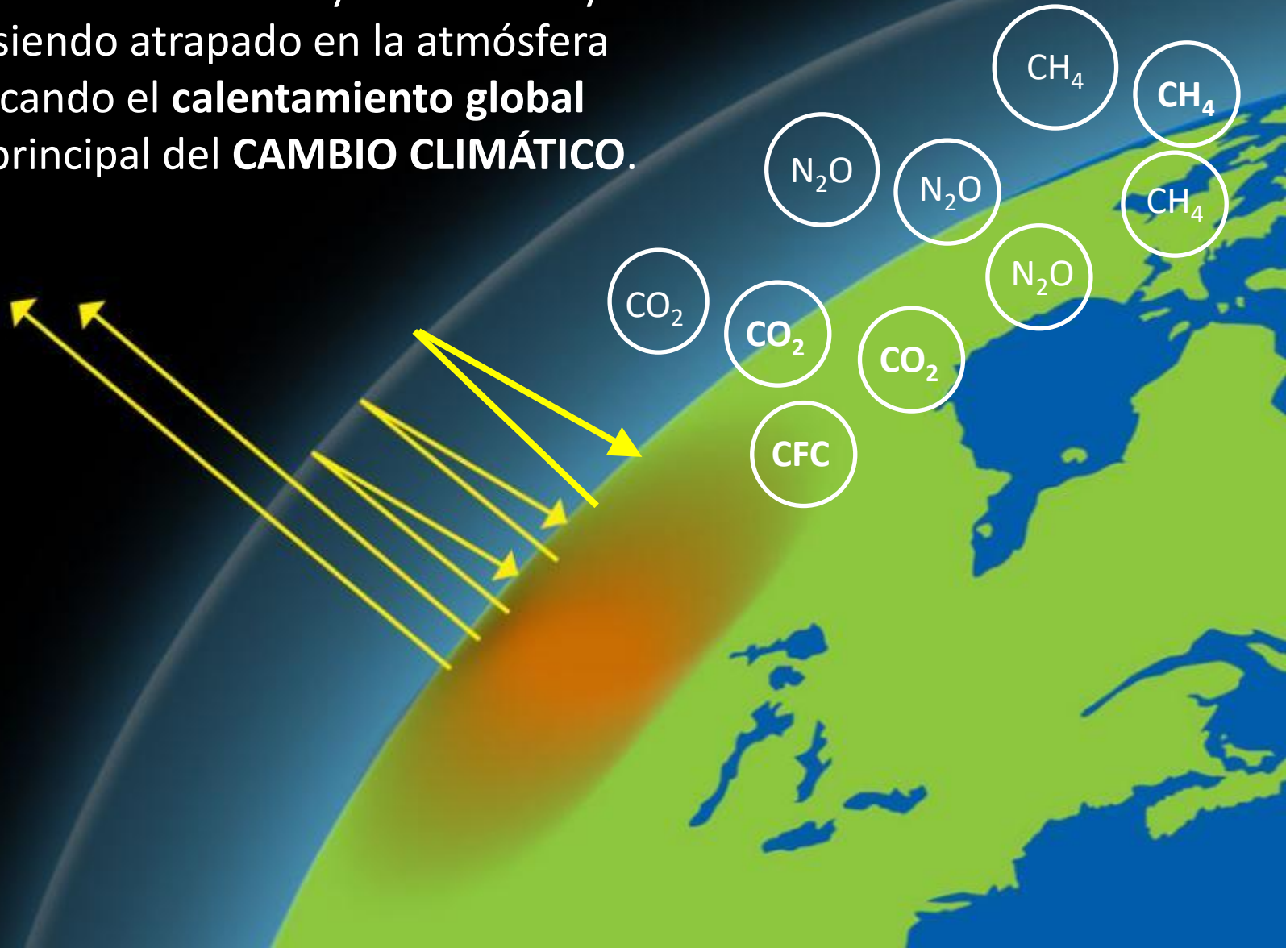
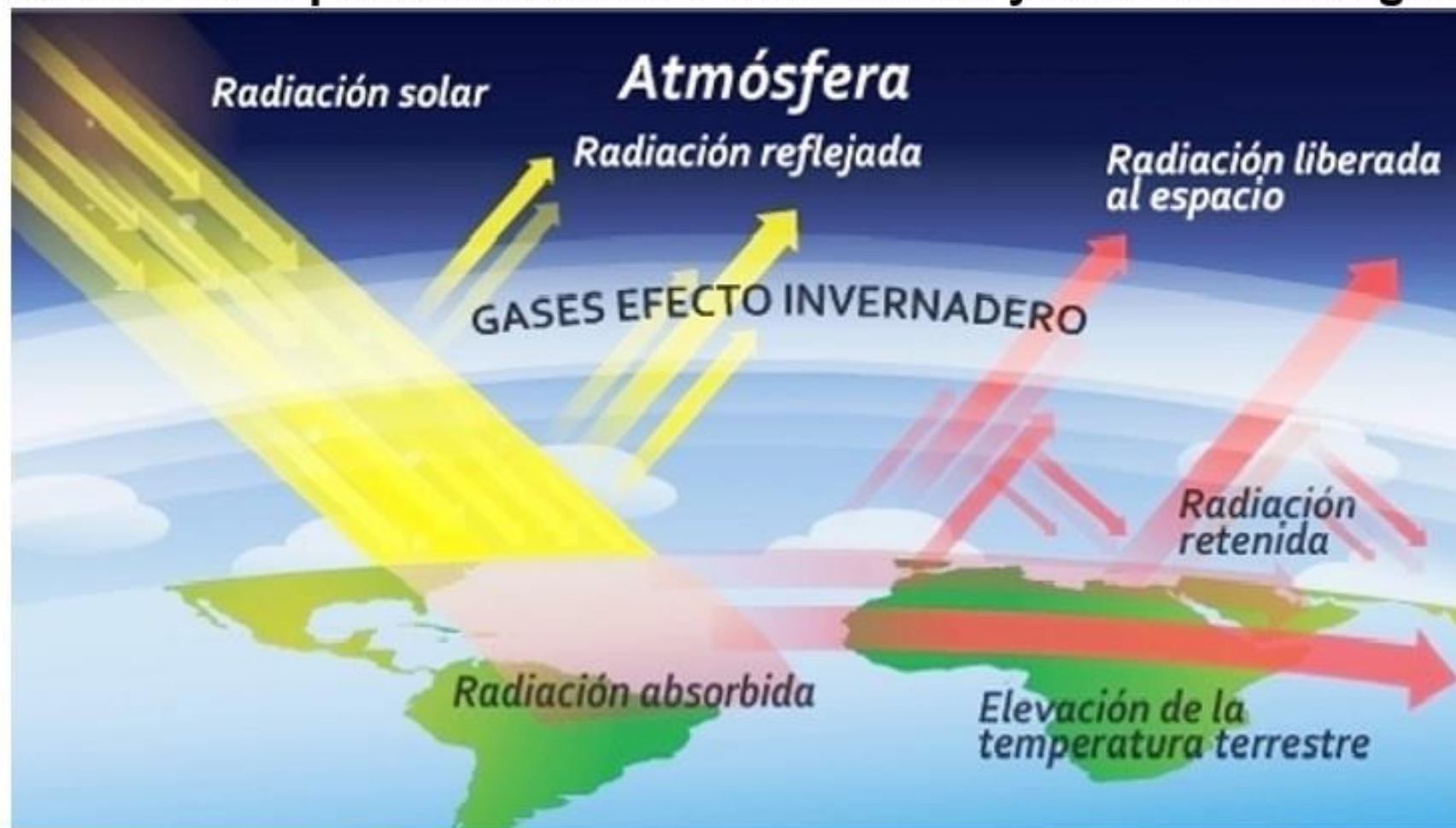


Ilustración del proceso de efecto invernadero y calentamiento global



Fuente: UNFCCC. Ilustración recuperada el 10.03.13 de la dirección de Internet:
<http://efectoinvernadero.es/el-efecto-invernadero/efecto-invernadero/>

PREGUNTA DE EVALUACION



► ¿Qué es el **efecto invernadero**?

Es el fenómeno natural por el que determinados gases de la atmósfera (**CO₂, CH₄, NO₂, etc.**) retienen parte de la energía solar absorbida y emitida por la superficie.

Esto permite un incremento de la temperatura media global y condiciones necesarias para el desarrollo de la vida.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EL PERÚ PRIMERO

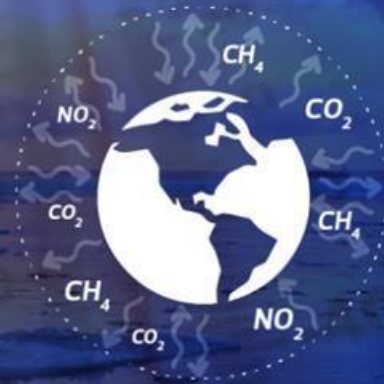
PREGUNTA DE EVALUACION



► ¿Qué es el *efecto invernadero*?

Es el fenómeno natural por el que determinados gases de la atmósfera (CO_2 , CH_4 , NO_2 , etc.) retienen parte de la energía solar absorbida y emitida por la superficie.

Esto permite un incremento de la temperatura media global y condiciones necesarias para el desarrollo de la vida.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

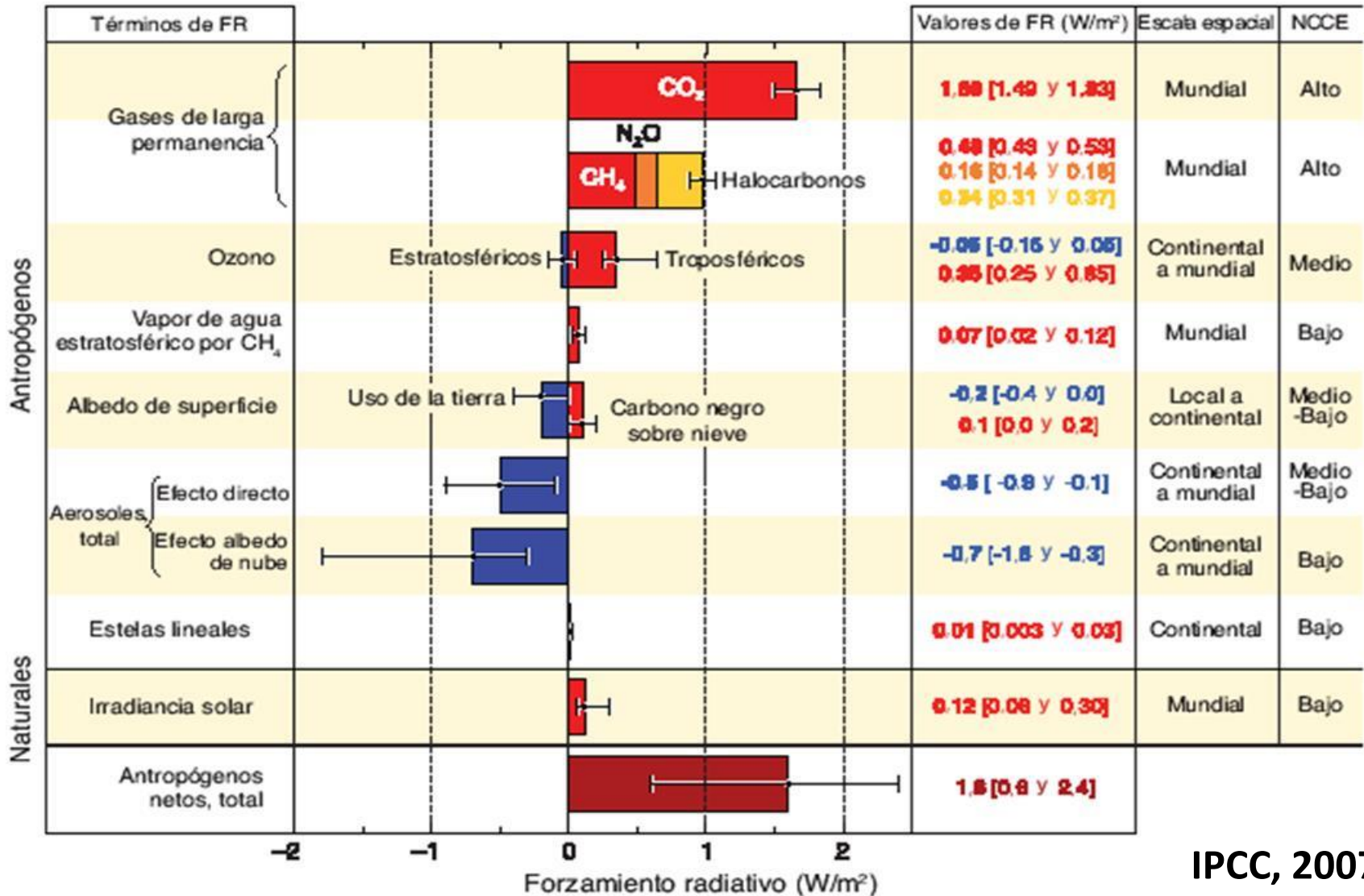


EL PERÚ PRIMERO

CAMBIO CLIMATICO

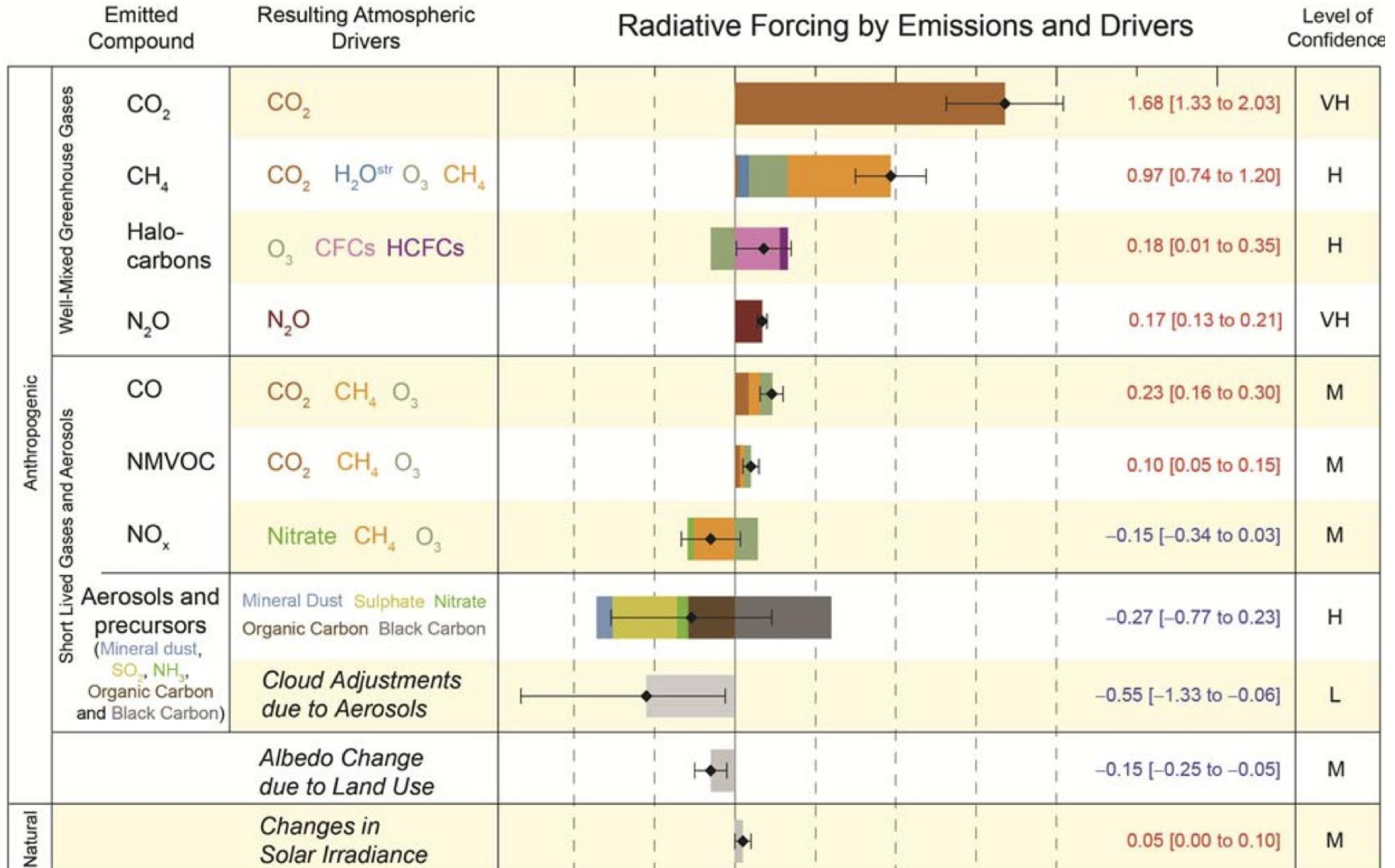
- Existen muchos factores que alteran el clima y también mucha incertidumbre

Componentes del forzamiento radiativo



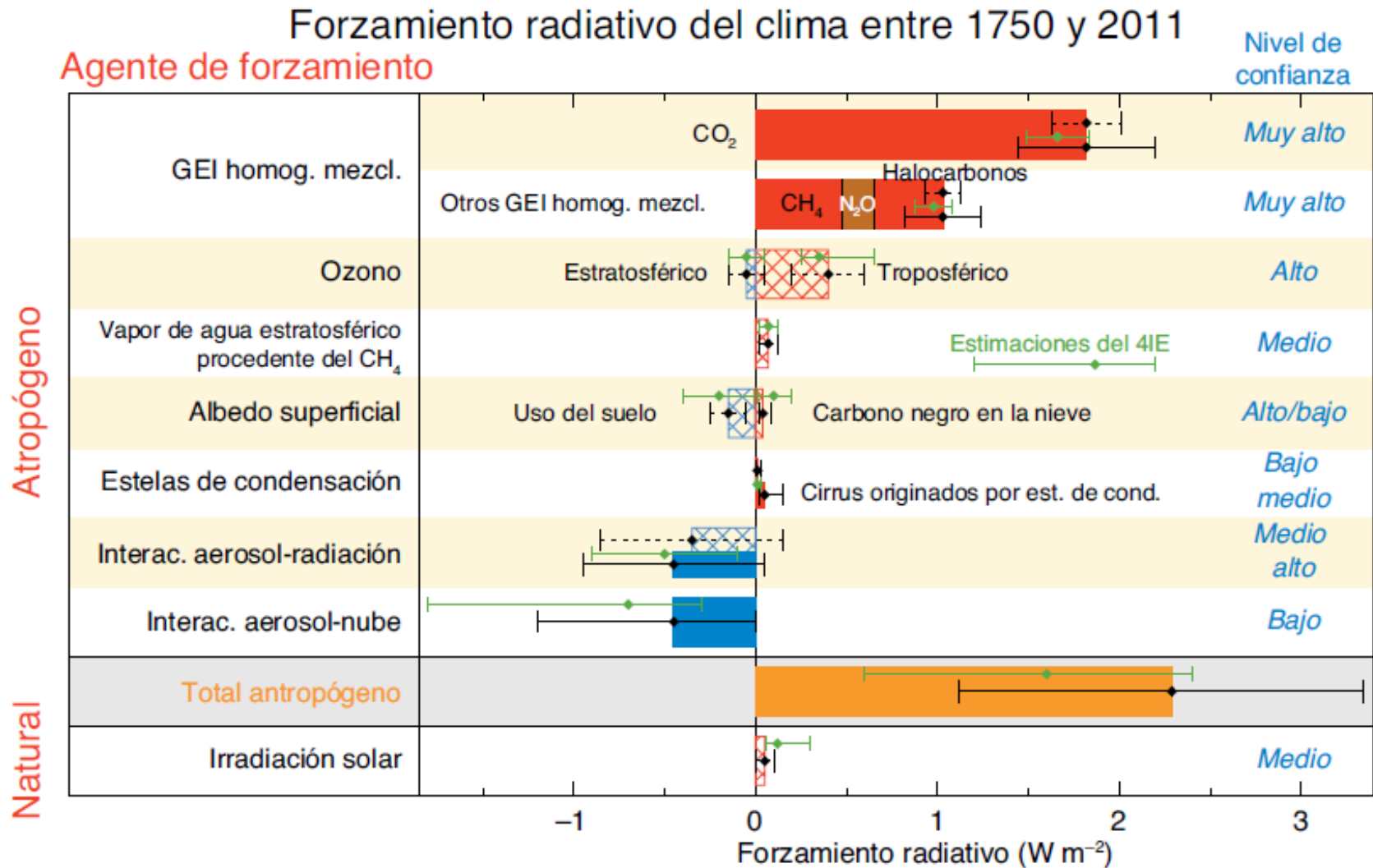
CAMBIO CLIMATICO Y FORZAMIENTO RADIATIVO

- Diversos factores que alteran el clima y generan mucha incertidumbre (IPCC, 2013)

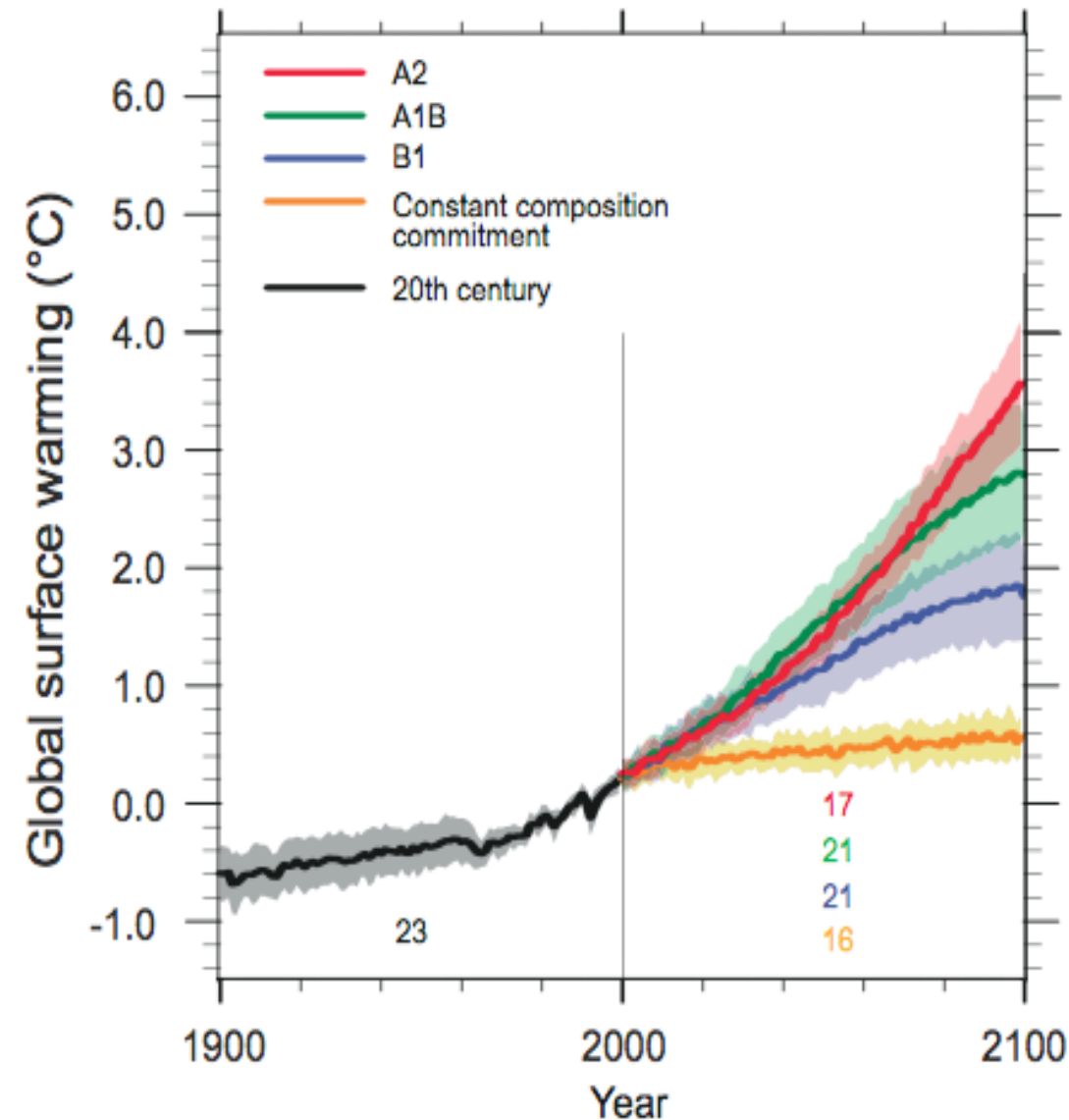


CAMBIO CLIMATICO Y FORZAMIENTO RADIATIVO

- Diversos factores que alteran el clima y generan mucha incertidumbre (IPCC, 2013)



CAMBIO CLIMATICO



- Posible rango del incremento de la temperatura global

FOTOMETRO SOLAR – RED AERONET NASA

- Sistema óptico de 8 regiones de la radiación solar directa que permite determinar una variedad de datos de las propiedades físicas, ópticas y radiativas de los aerosoles tales como: espesor óptico de aerosol, coeficiente de Angstrom, columna de vapor de agua, índice óptico de absorción, albedo simple de dispersión, etc



Fotómetro Solar CIMEL CE-318T (Lunar)

**Rueda de
Filtros**



λ
(nm)

340

380

440

500

675

870

1020

1640

Cabezal

Colimador

Motor de Cenital

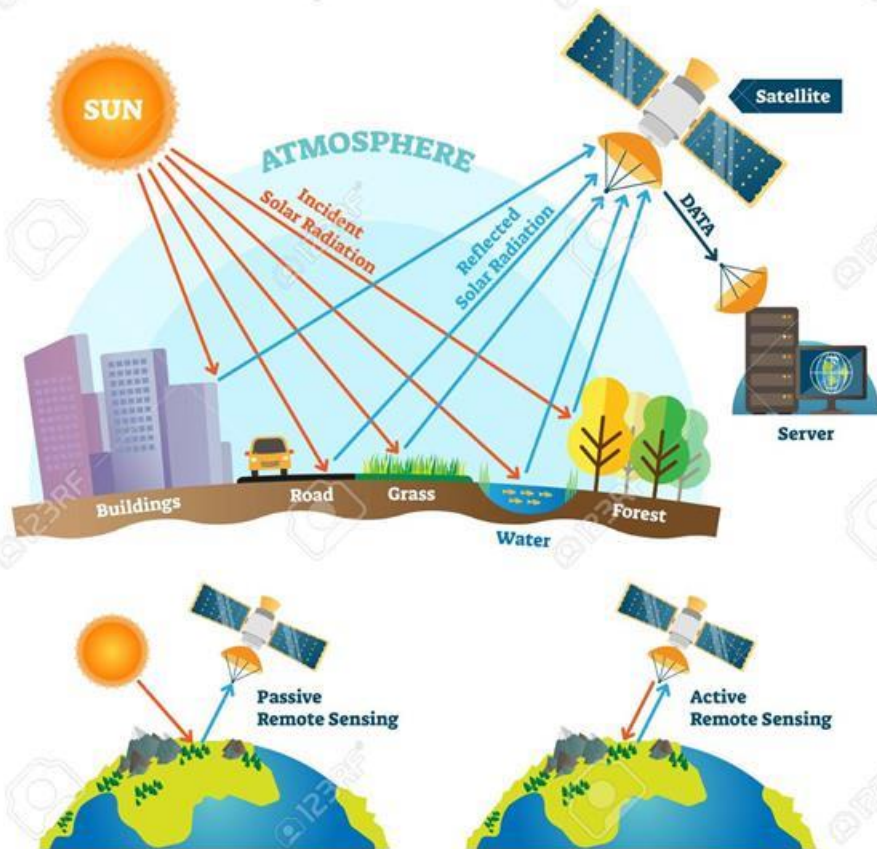
Motor Azimutal

**Sensor de
Precipitación**

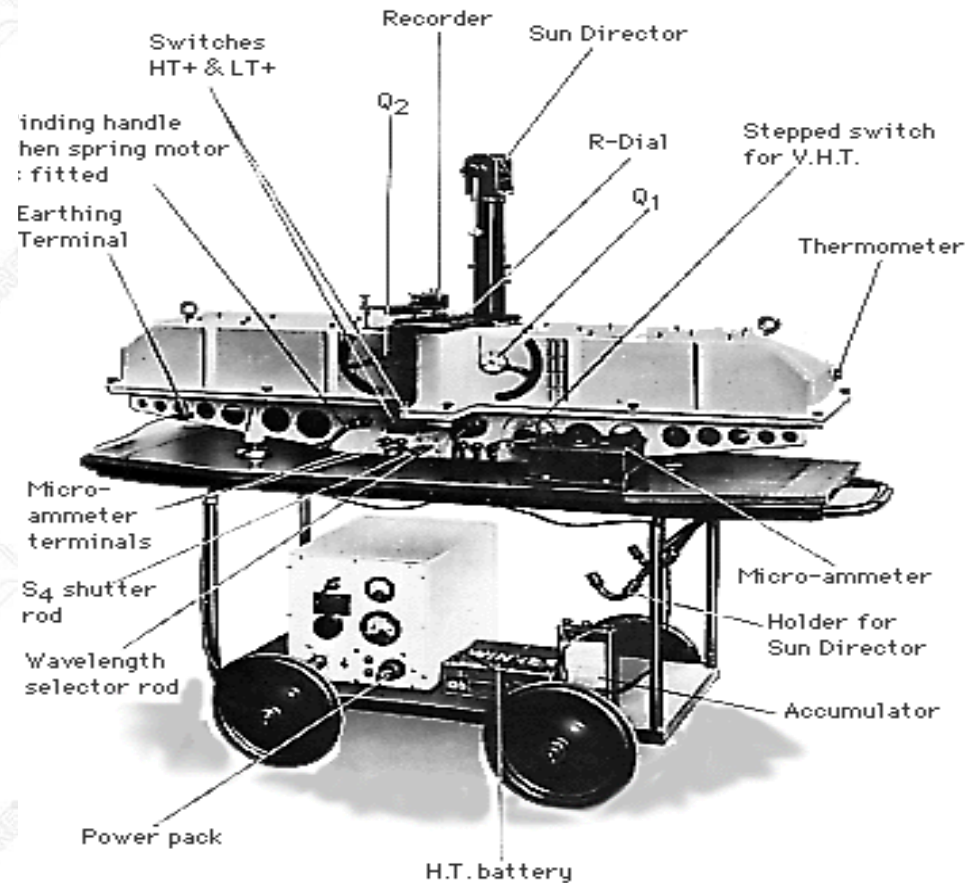


SENSORAMIENTO REMOTO

REMOTE SENSING



1. Monitoreo satelital



THE DOBSON OZONE SPECTROPHOTOMETER

2. Monitoreo en tierra.