

Cambio climático

Sus bases físicas, causas y que hacer

Gino Marceca

El efecto invernadero

(Principios físicos)

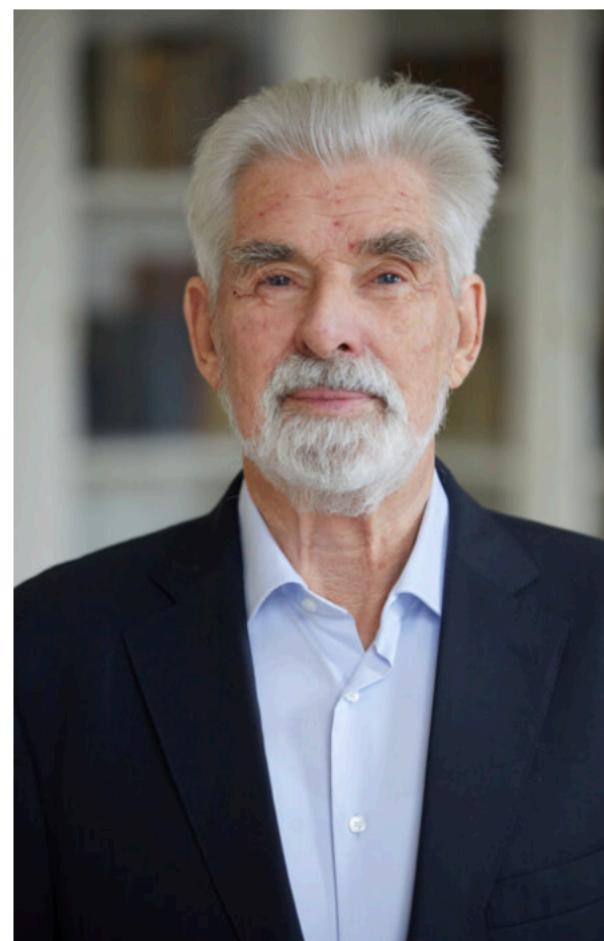
- Física compleja que involucra:
 - Física de la radiación
 - Física de la luz y la materia (espectroscopia)
 - Física cuántica
 - Termodinámica
 - Física de la atmósfera

Calentamiento global se debe al ser humano!

The Nobel Prize in Physics 2021



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Risdon Photography
Syukuro Manabe



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Bernhard Ludewig
Klaus Hasselmann



© Nobel Prize Outreach. Photo:
Stefan Bladh
Giorgio Parisi

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>

Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann "por la modelización física del clima terrestre, la cuantificación de la variabilidad y la predicción fiable del calentamiento global".

Calentamiento global:

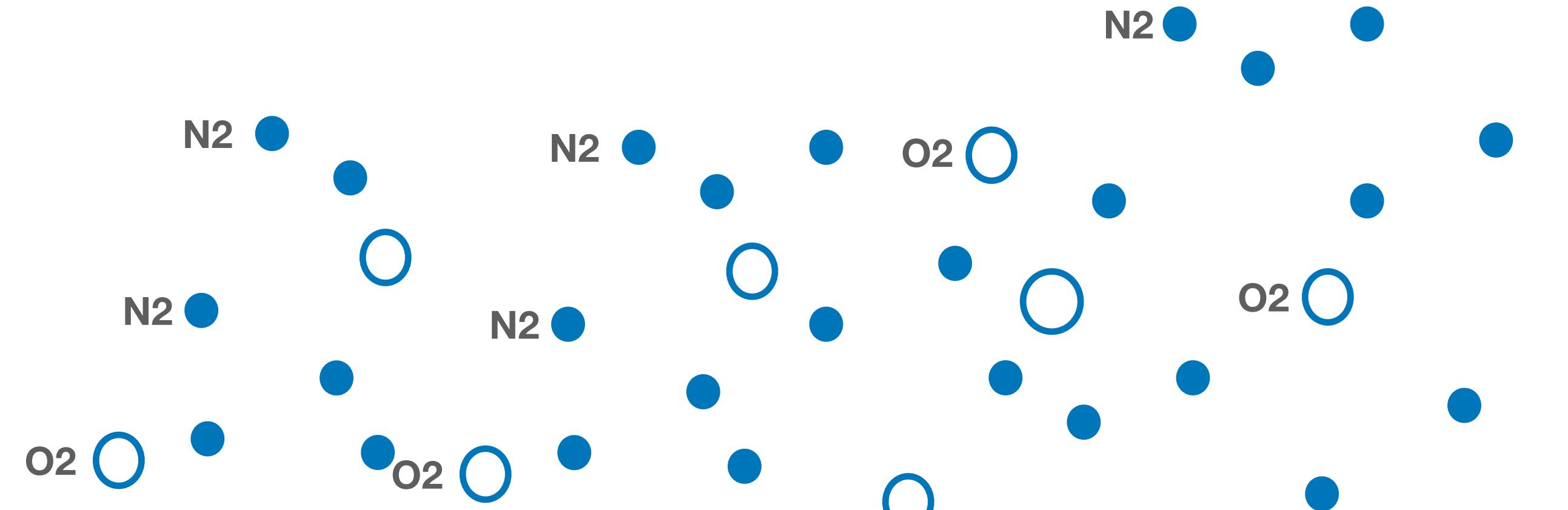
Fenómeno explicado de forma precisa y cuantitativa gracias a la **teoría de la transferencia de la radiación**.

https://en.wikipedia.org/wiki/Radiative_transfer



Crucial para entender que la disrupción global del clima del planeta se debe a las emisiones de CO₂ y otros gases antropogénicas

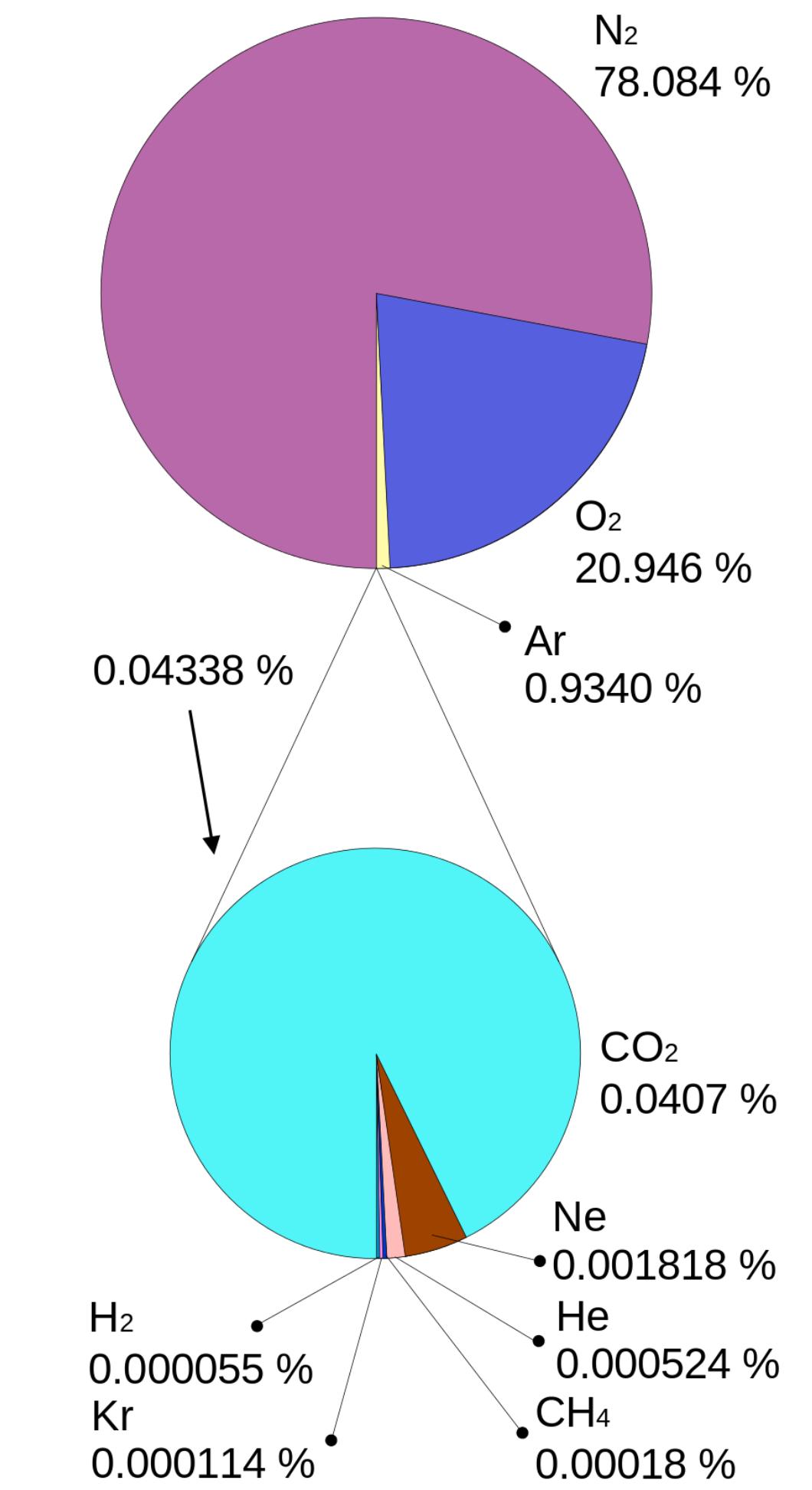
Composición atmosférica



El N₂ y O₂ no contribuyen
a la temperatura terrestre por mas
que estos sean por lejos los mas abundantes!

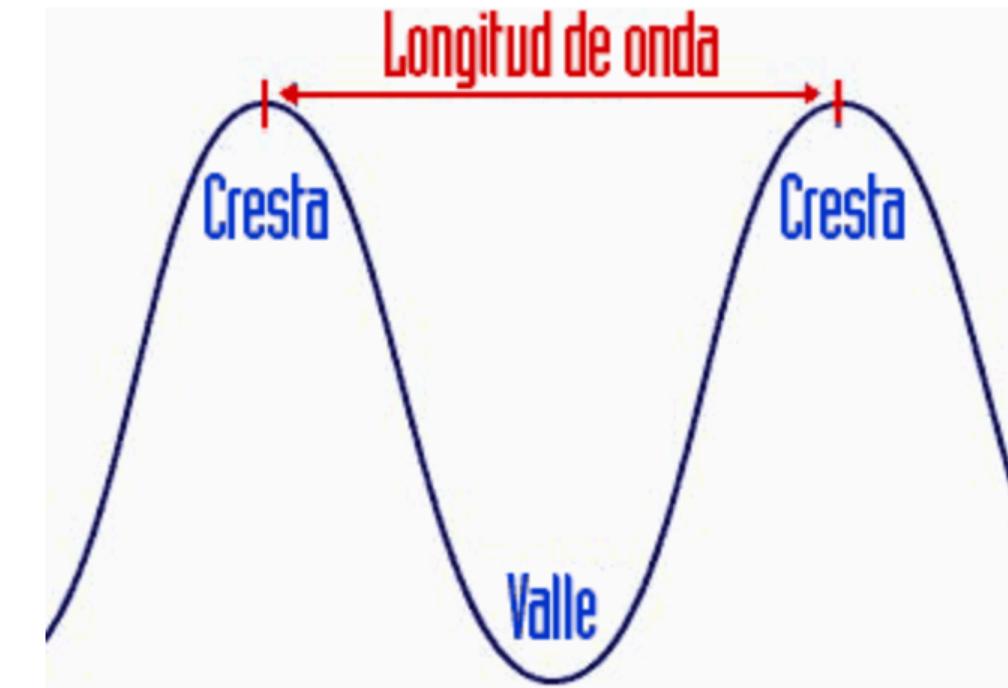
Los gases de efecto de invernadero son: H₂O, CO₂, O₃

Que hay en el aire?

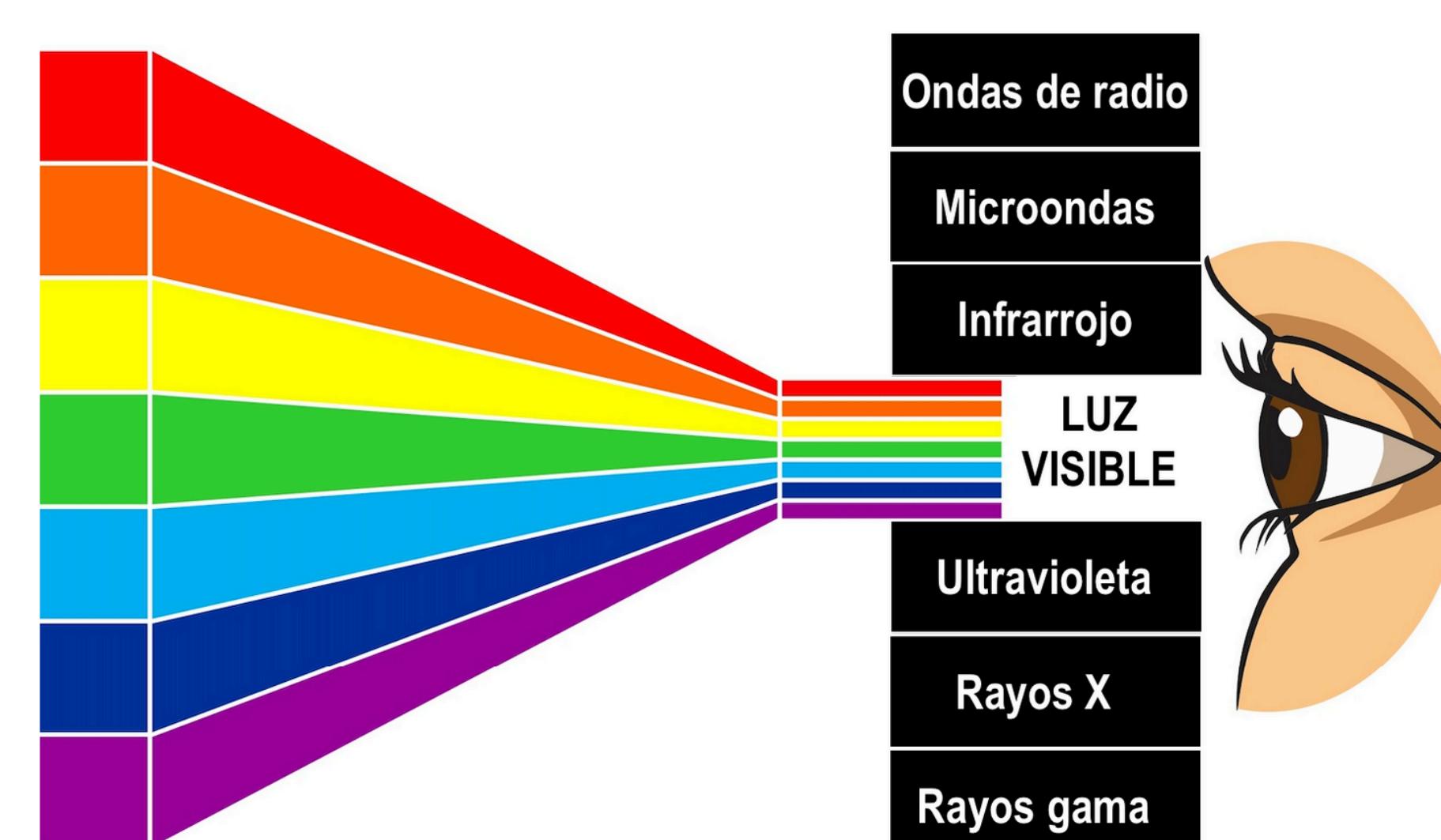


Que es la luz?

La luz es una onda (radiación) que interactúa con las cargas eléctricas, en particular con los electrones de los átomos.



Espectro de radiación de la luz

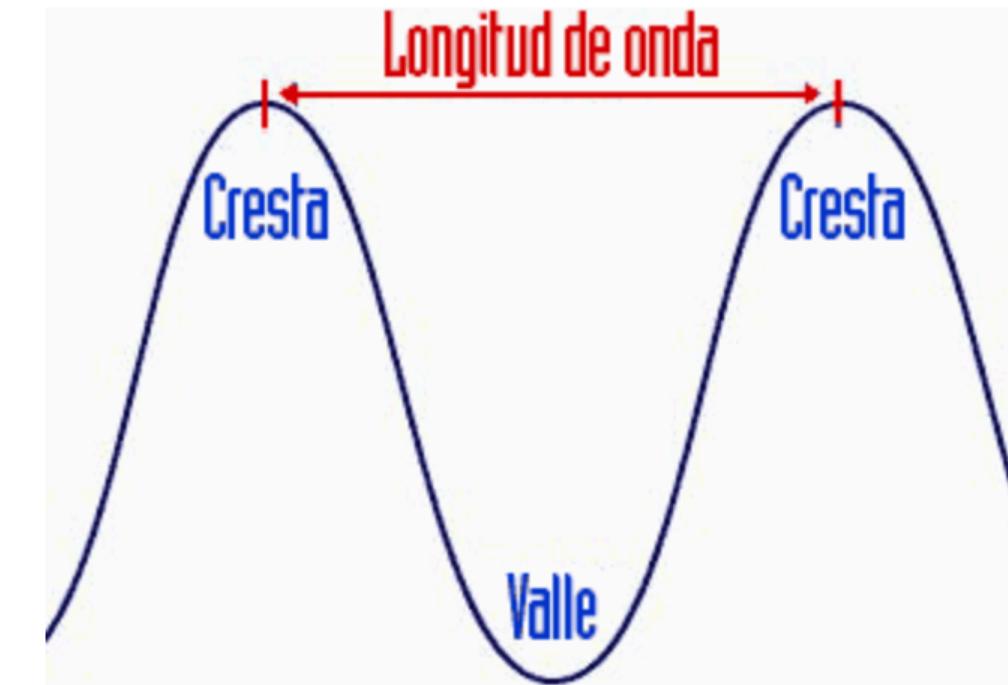


Mayor longitud de onda
Onda con menos energía

Menor longitud de onda
Onda con mas energía

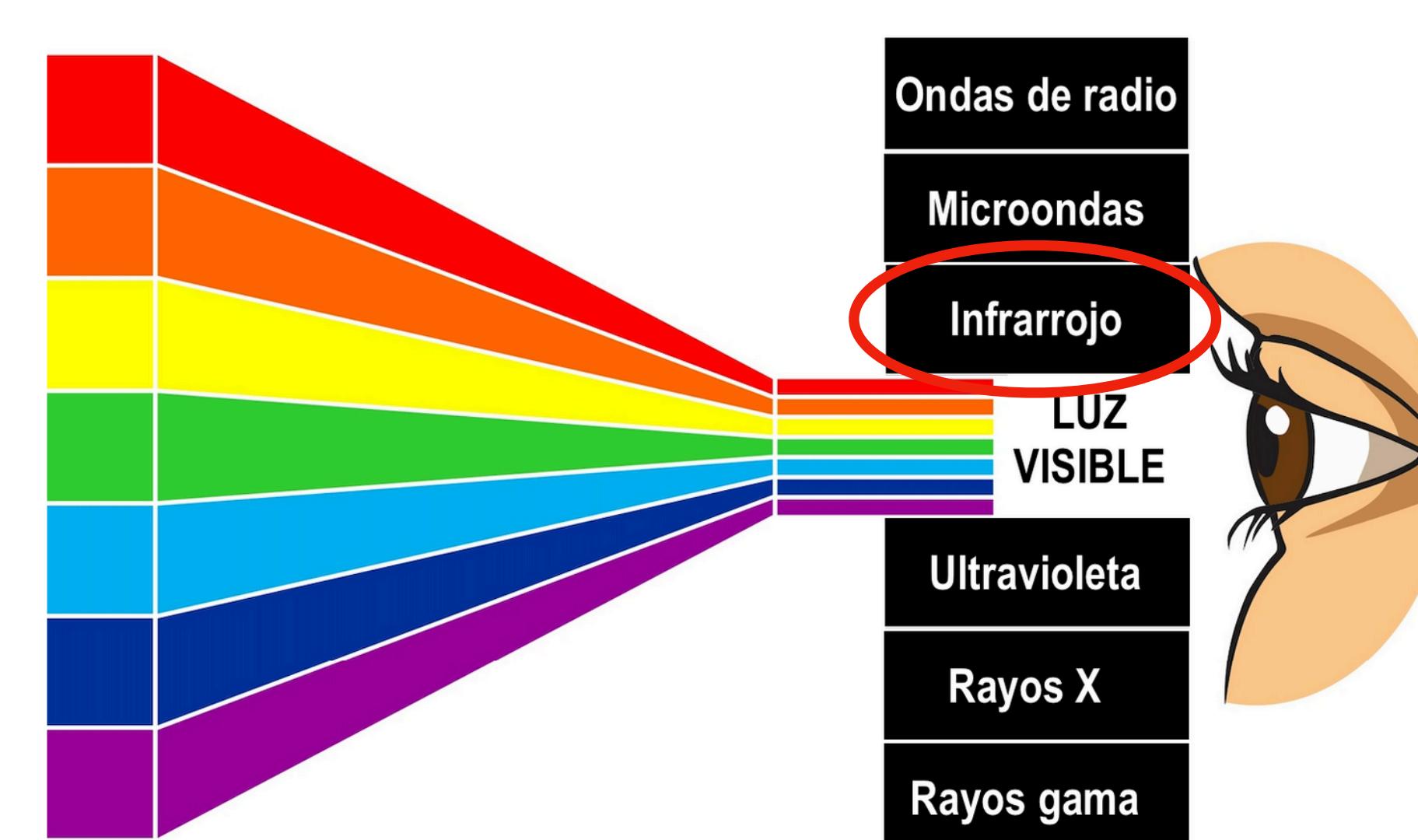
Que es la luz?

La luz es una onda (radiación) que interactúa con las cargas eléctricas, en particular con los electrones de los átomos.



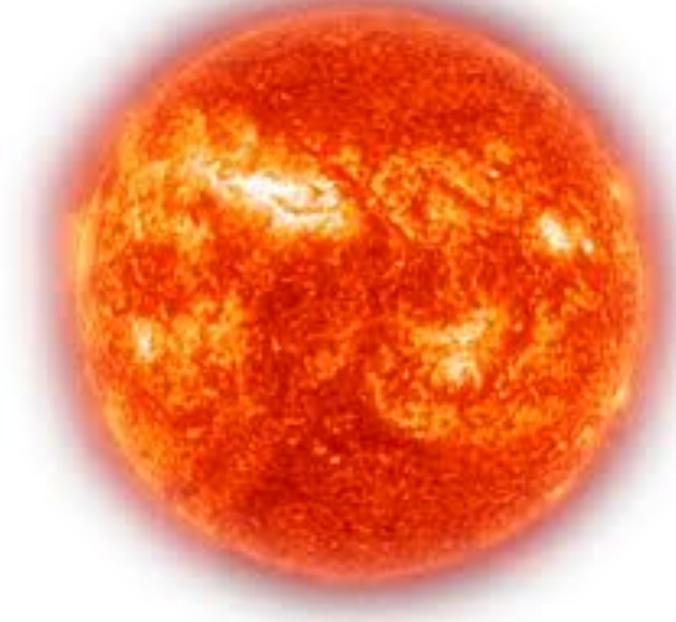
Espectro de radiación de la luz

Lo mas relevante al efecto invernadero
Y calentamiento global es el infrarrojo



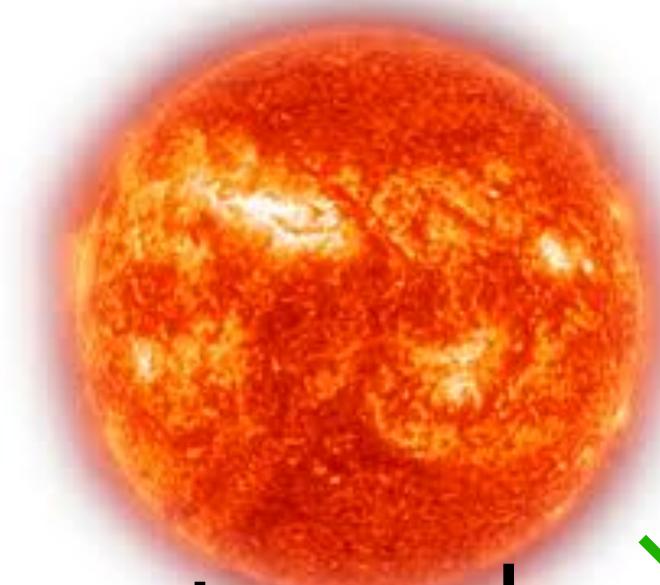
Mayor longitud de onda
Onda con menos energía

Menor longitud de onda
Onda con mas energía

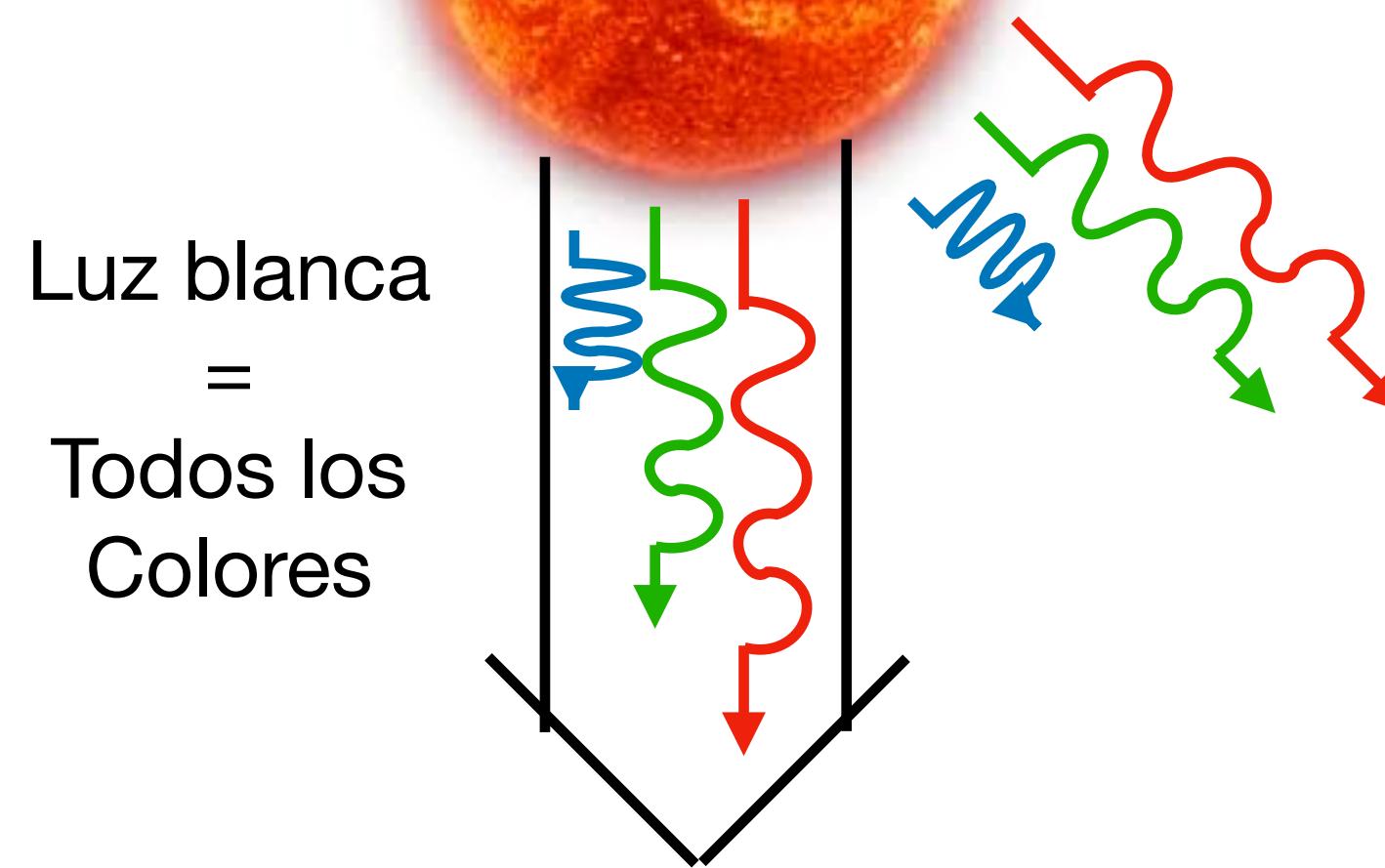


De que color es el Sol?

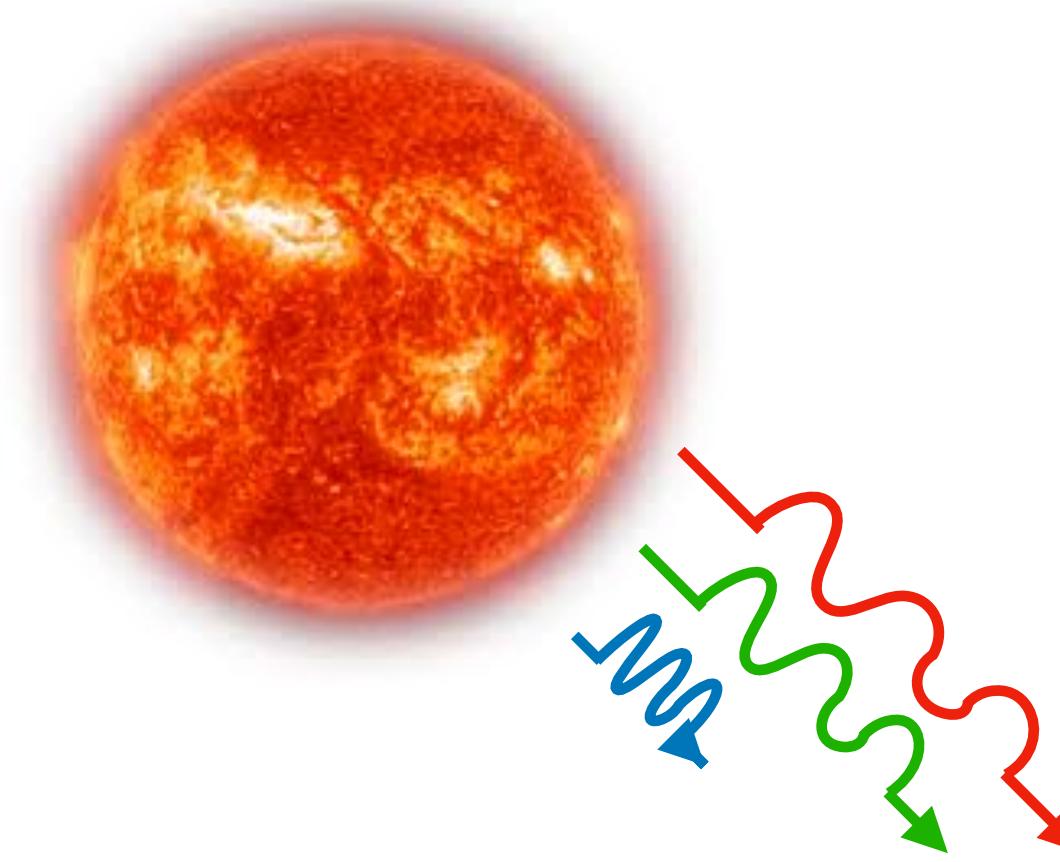




De que color es el Sol?

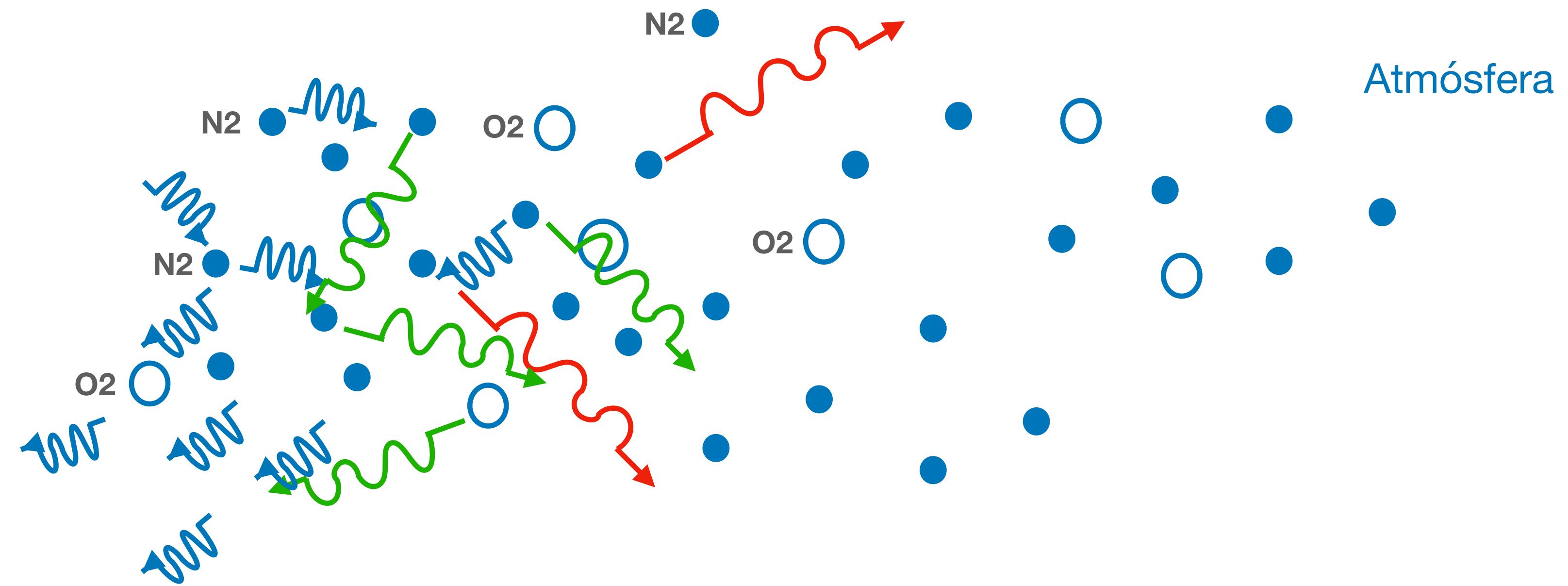


Si miramos desde el espacio (sin atmósfera) veríamos al Sol de color blanco.



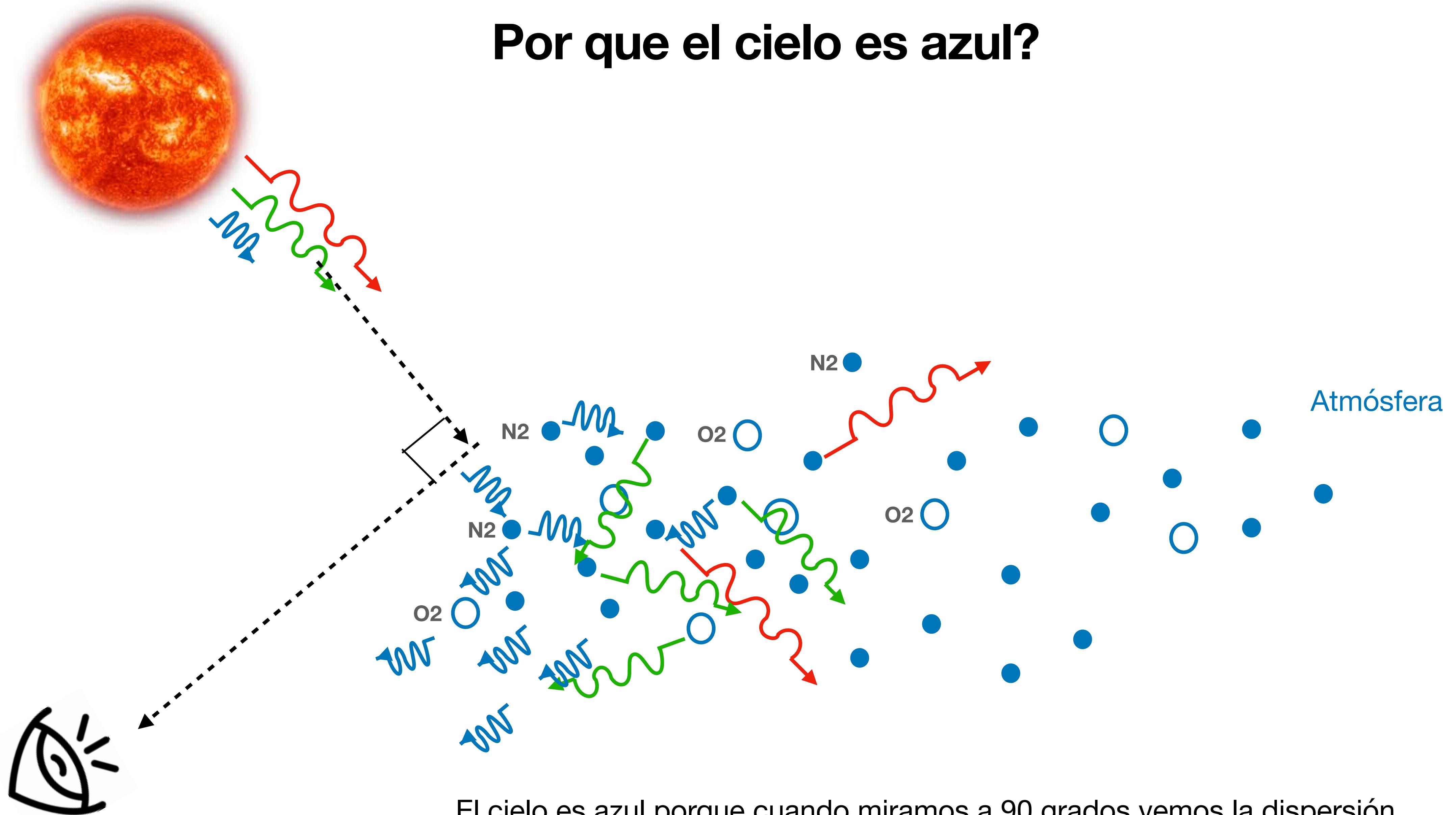
Dispersión de la luz

Fenómeno de dispersión de la radiación del Sol en la atmósfera



La longitud de onda corta (azul) se dispersa mas que la larga (verde o rojo)

Por que el cielo es azul?



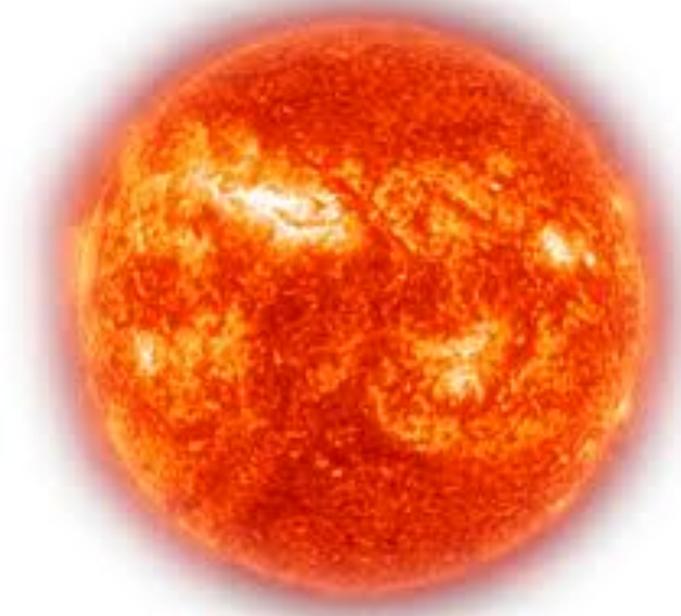
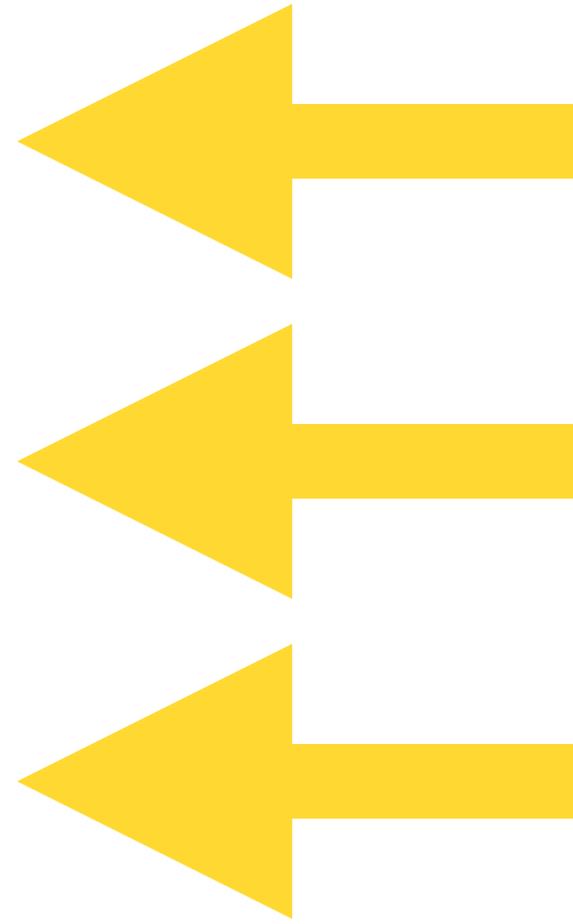
El cielo es azul porque cuando miramos a 90 grados vemos la dispersión del azul que es mayor que el rojo o verde.

Balance energético tierra-sol



Balance energético tierra-sol

La tierra no es un sistema aislado!



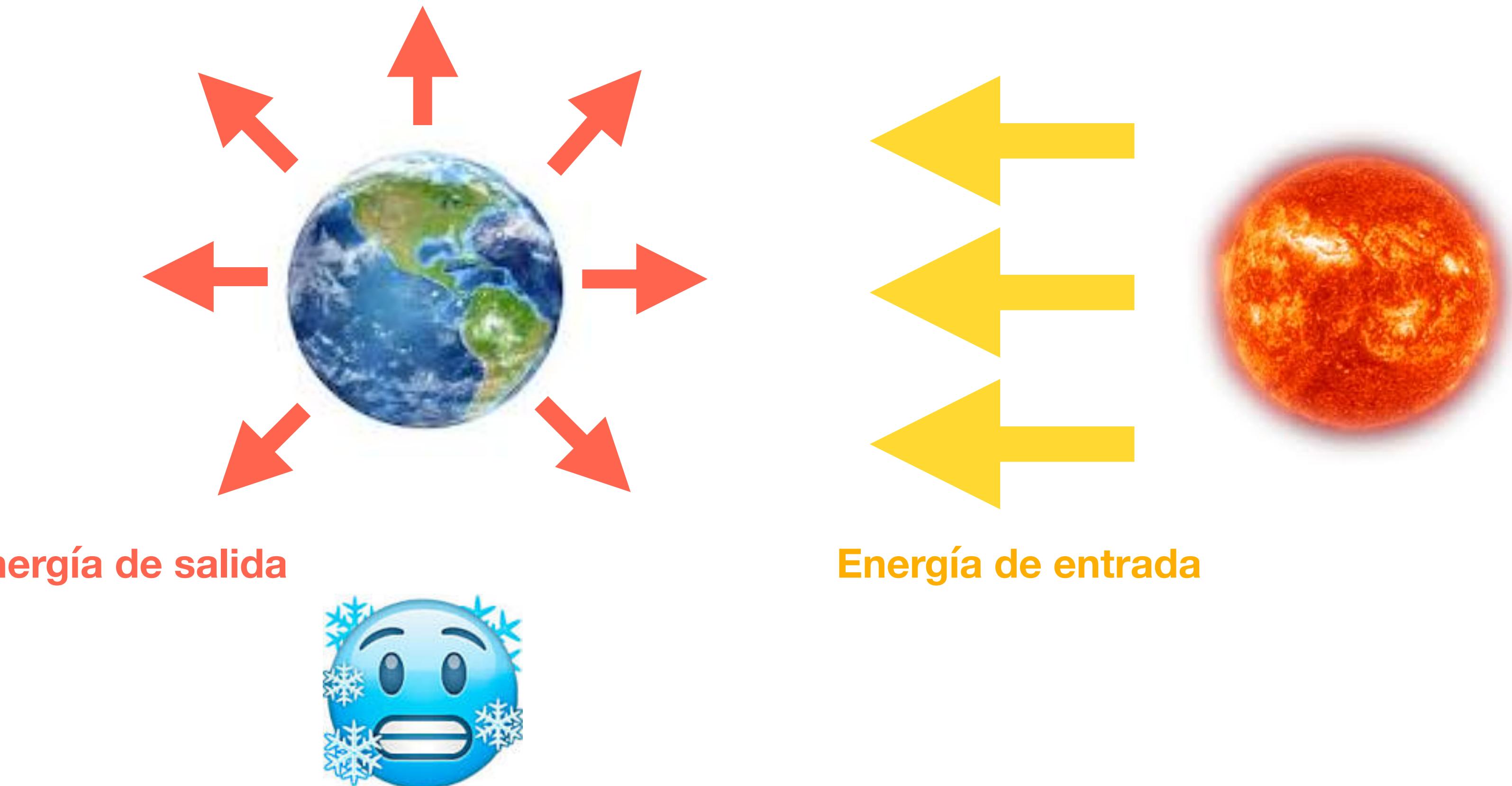
Energía de entrada

Balance energético tierra-sol

Si la tierra no tuviese vía de escape de esa energía, hoy estaría a 3 millones de grados!



**La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma...
(energía de salida = energía de entrada)**



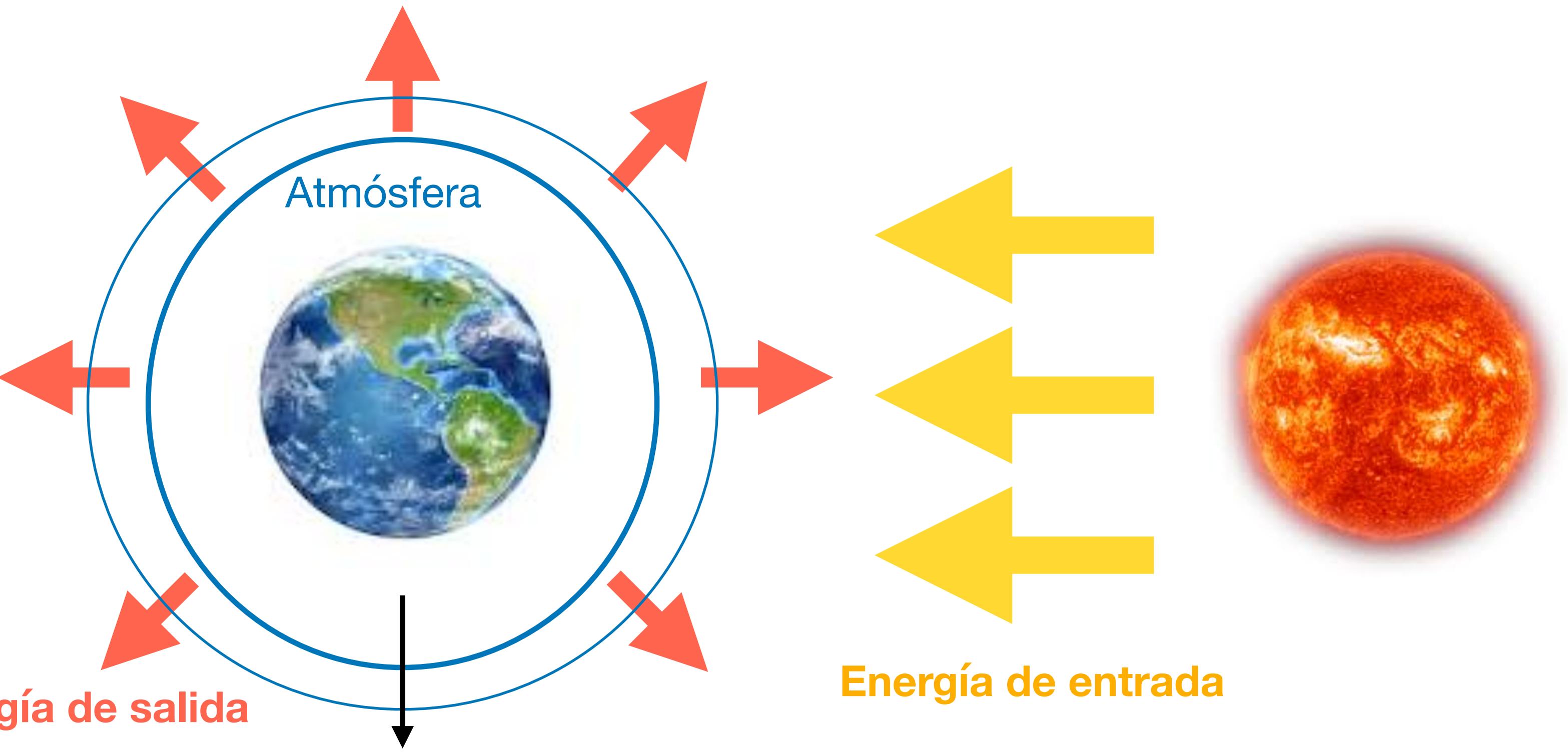
**Si la tierra no tuviera atmósfera, su temperatura promedio seria de -18 grados!
un planeta de hielo!**

(energía de salida = energía de entrada)



Joseph Fourier (1768 - 1830)

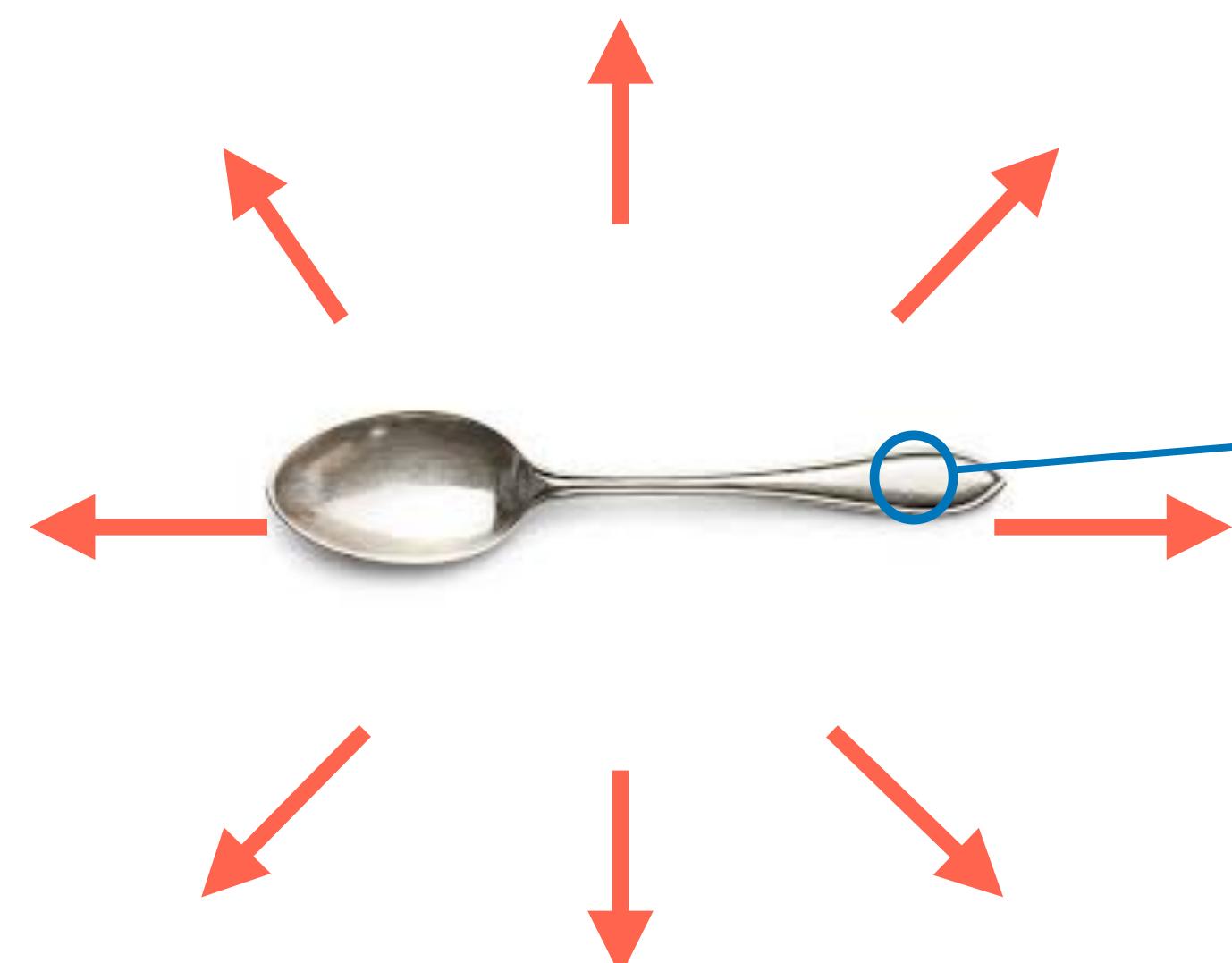
- Primero en proponer que la atmósfera terrestre actúa como un aislante a la radiación del sol (**efecto de invernadero** - 1827)



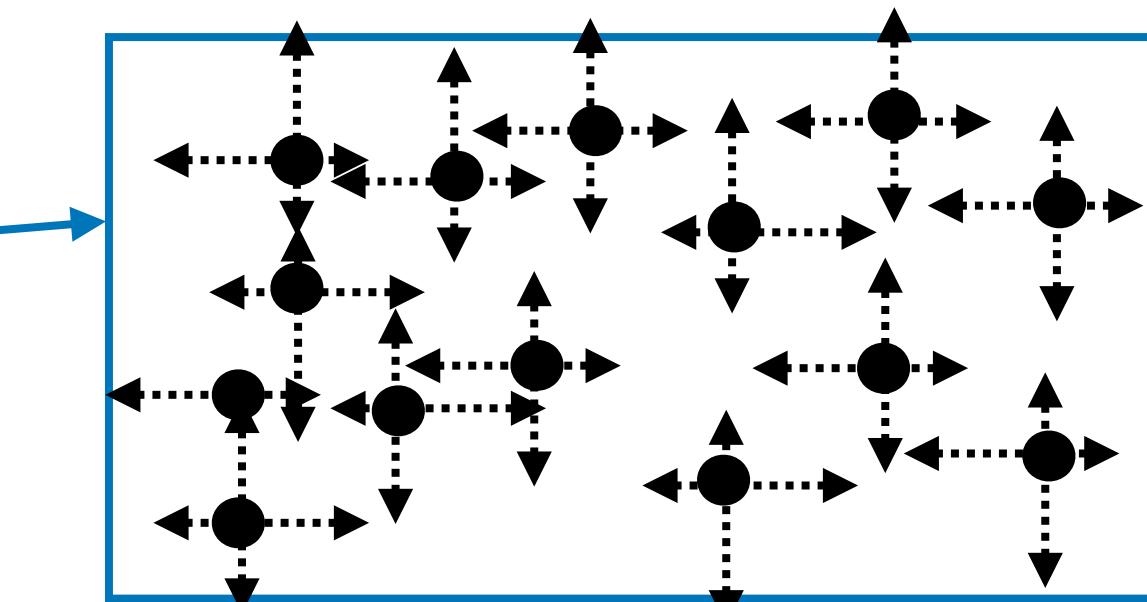
Transformaciones / cambio:

- **Fotosíntesis**
- **Evaporación**
- **Calentamiento**
- **Descomposición orgánica**
- **Vida ...**

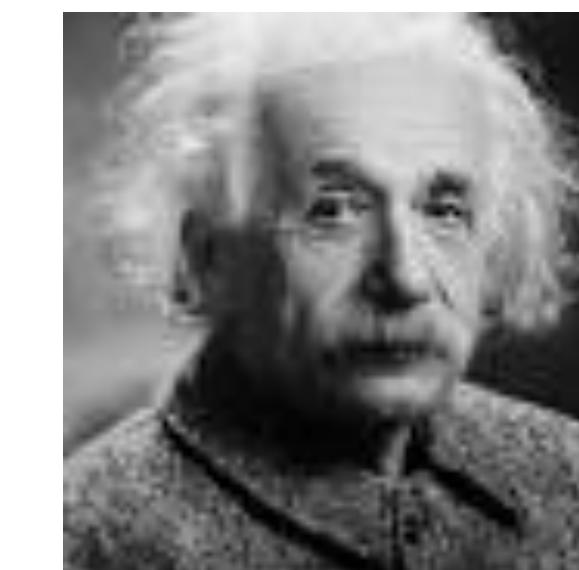
- Todo objeto que este a una temperatura mayor al cero absoluto emite radiación!



La temperatura es una medida del movimiento
(vibración) de los átomos



Las vibraciones de los átomos generan emisiones espontáneas
de radiación (fenómenos cuánticos)



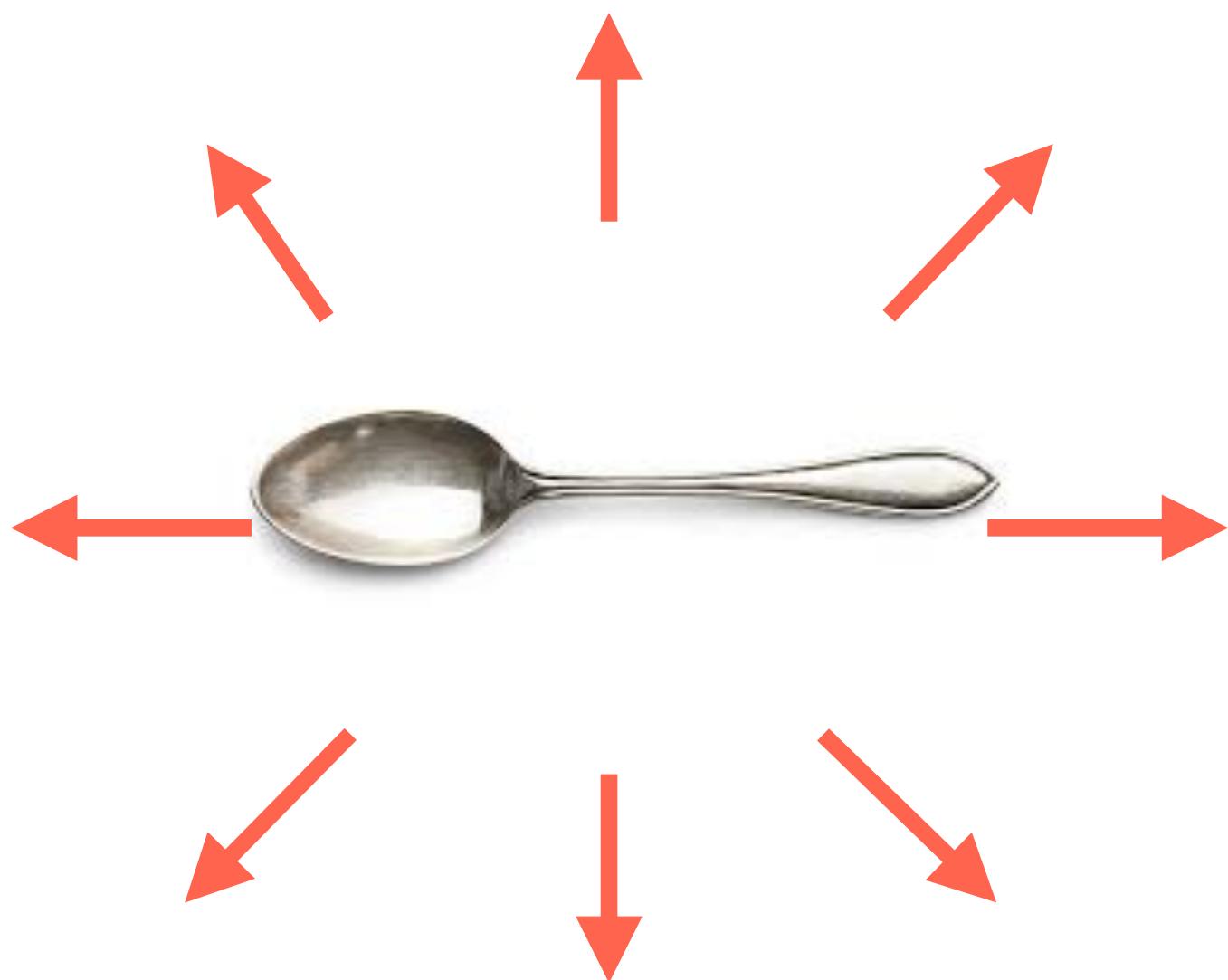
A. Einstein (1855-1955)



Max Planck (1858-1947)

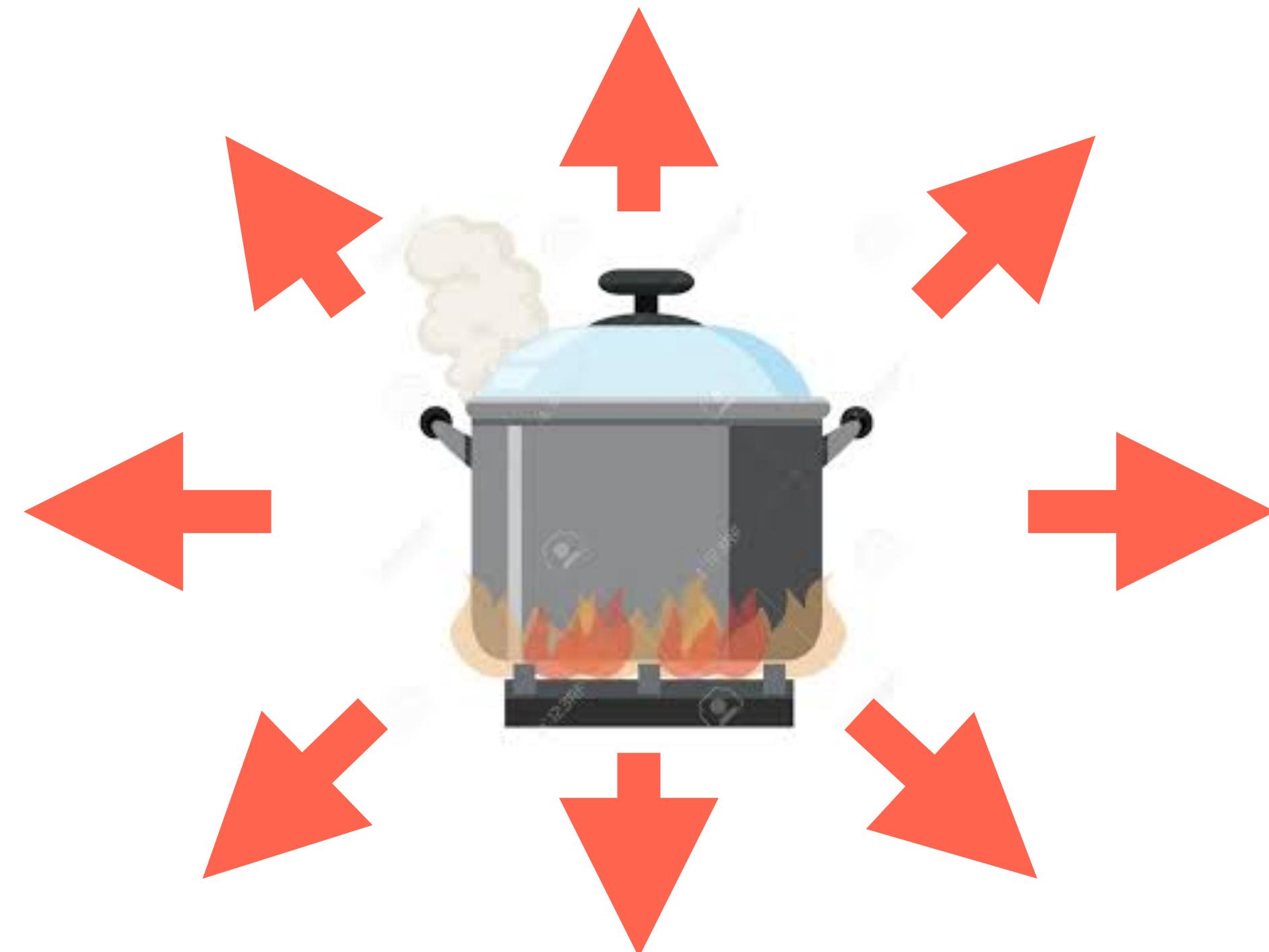
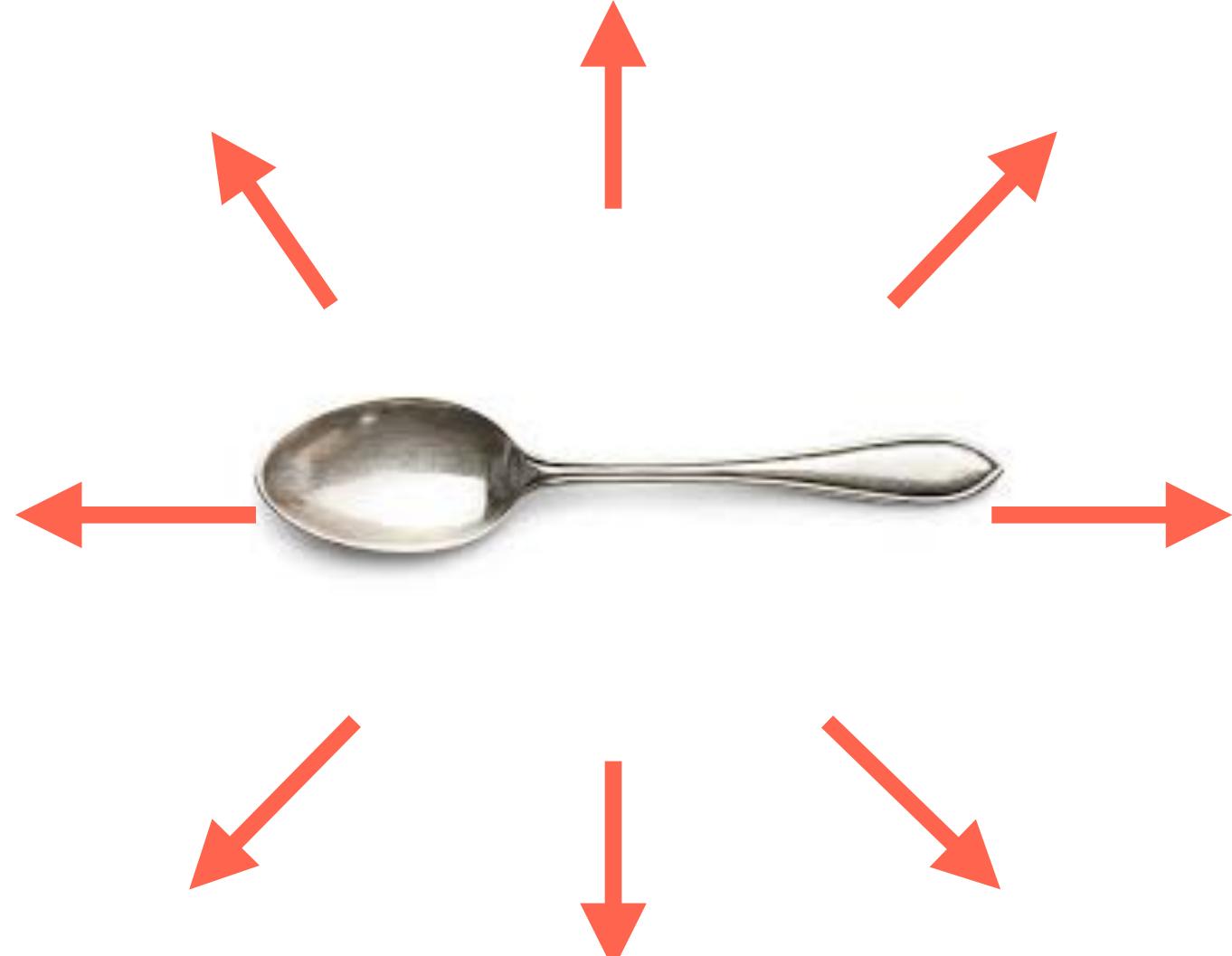
La física cuántica surgió de estudiar la radiación en 1900

- Todo objeto que este a una temperatura mayor al cero absoluto emite radiación!



- Por que la cuchara no llega al cero absoluto entonces?
- Porque esta en un entorno que esta a temperatura ambiente, la cuchara si bien emite, tambien absorbe radiacion y recibe calor por conduccion.
- La cuchara esta en **equilibrio térmico con el entorno**

- Todo objeto que este a una temperatura mayor al cero absoluto emite radiación!



- La cantidad de radiación que emite un objeto por unidad de tiempo es proporcional a su temperatura.

Ley de Stefan-Boltzmann

Temperatura \longleftrightarrow Radiación

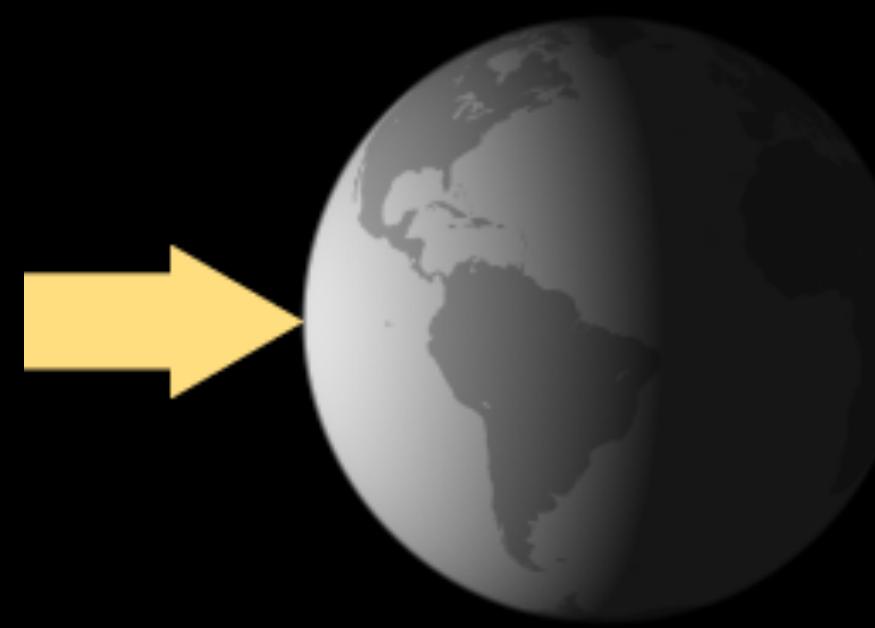
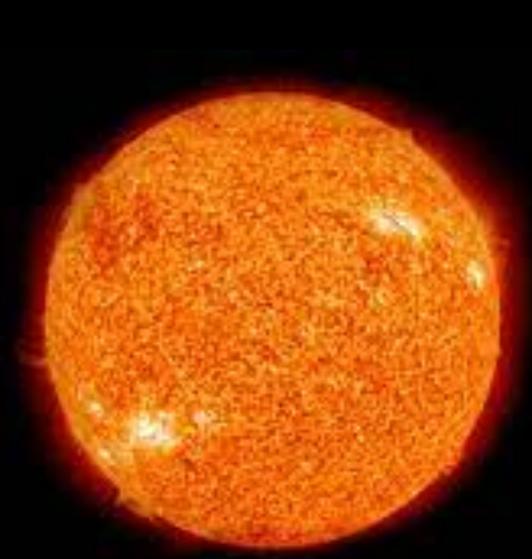


Stefan
1835-1893



Boltzmann
1844-1906

Energía de entrada (infrarrojo, visible, UV, rayos gamma)



Temperatura del Sol
en superficie: 5500 grados

- El Sol calienta mas el ecuador que los polos.
La atmósfera y los océanos redistribuyen esta energía de forma equitativa.
- Lo hace generando el viento atmosférico, corrientes oceánicas, evaporación, lluvias, convección.

Energía de salida (infrarrojo)

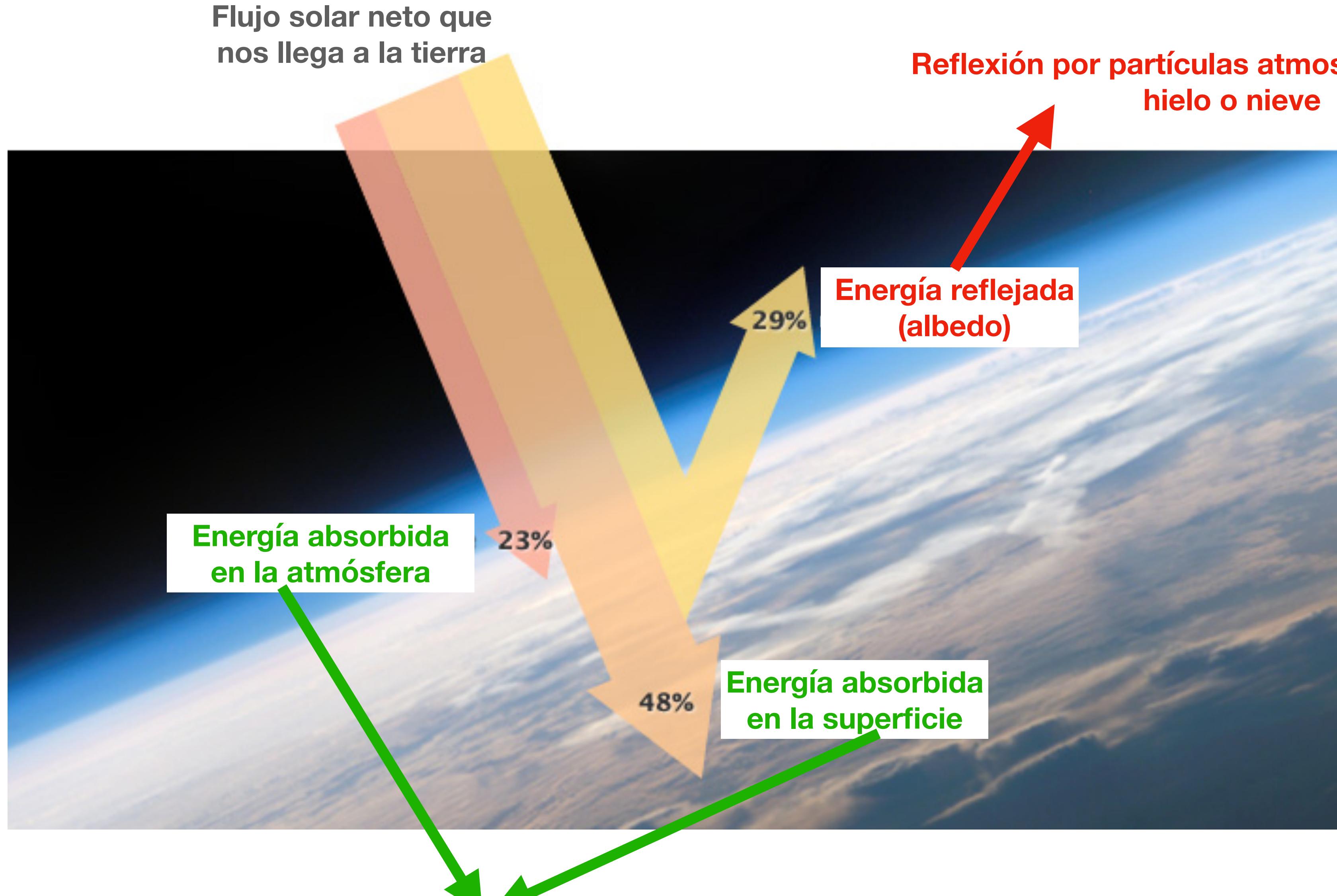


Temperatura “efectiva” en superficie promedio
de la tierra: 16 grados

“maquina térmica” terrestre

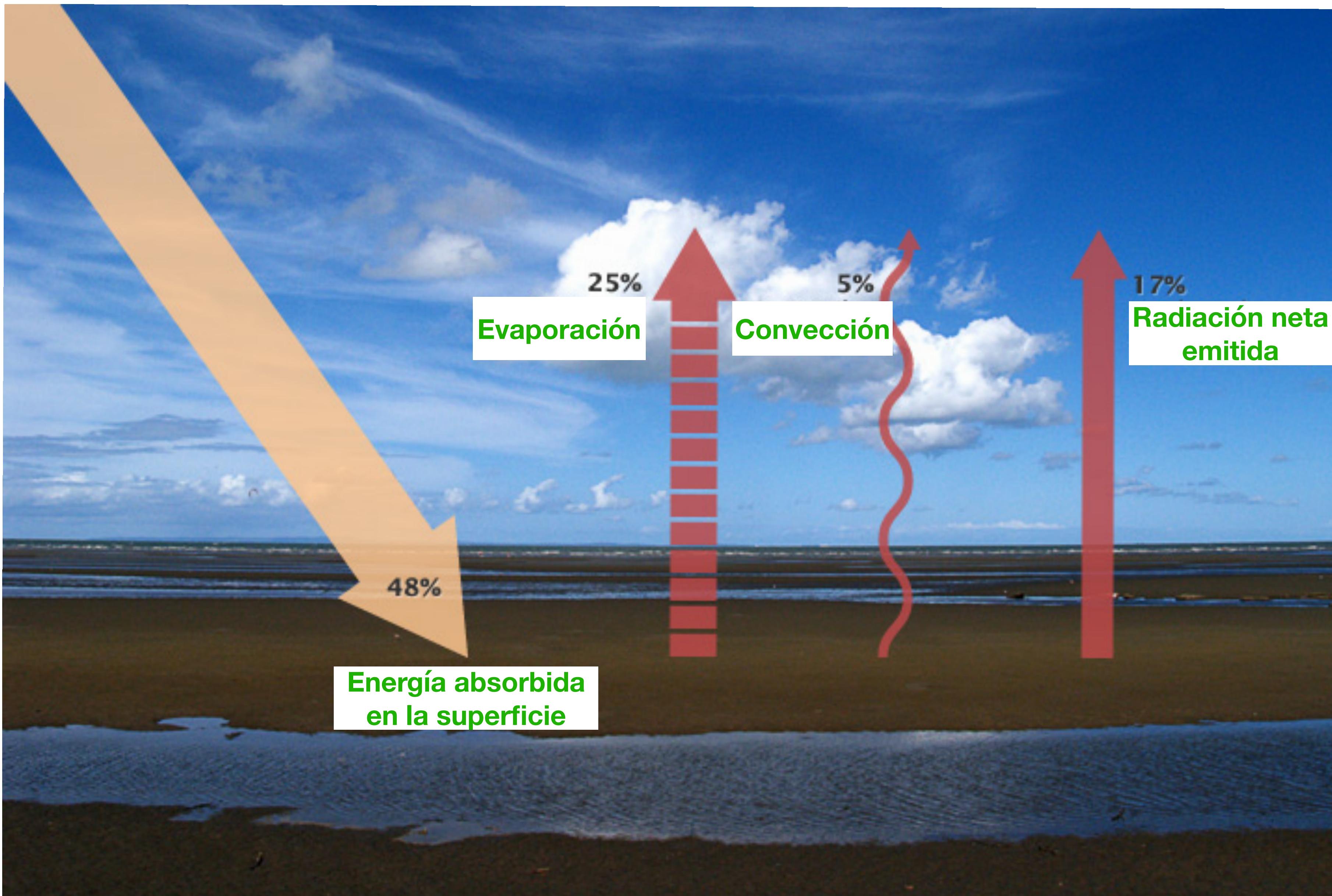
- La Tierra envía de vuelta la energía absorbida en la superficie / atmósfera al espacio exterior

Enfriamiento radiativo



Son los únicos factores
que contribuyen al clima
terrestre

Emisión y absorción en la superficie



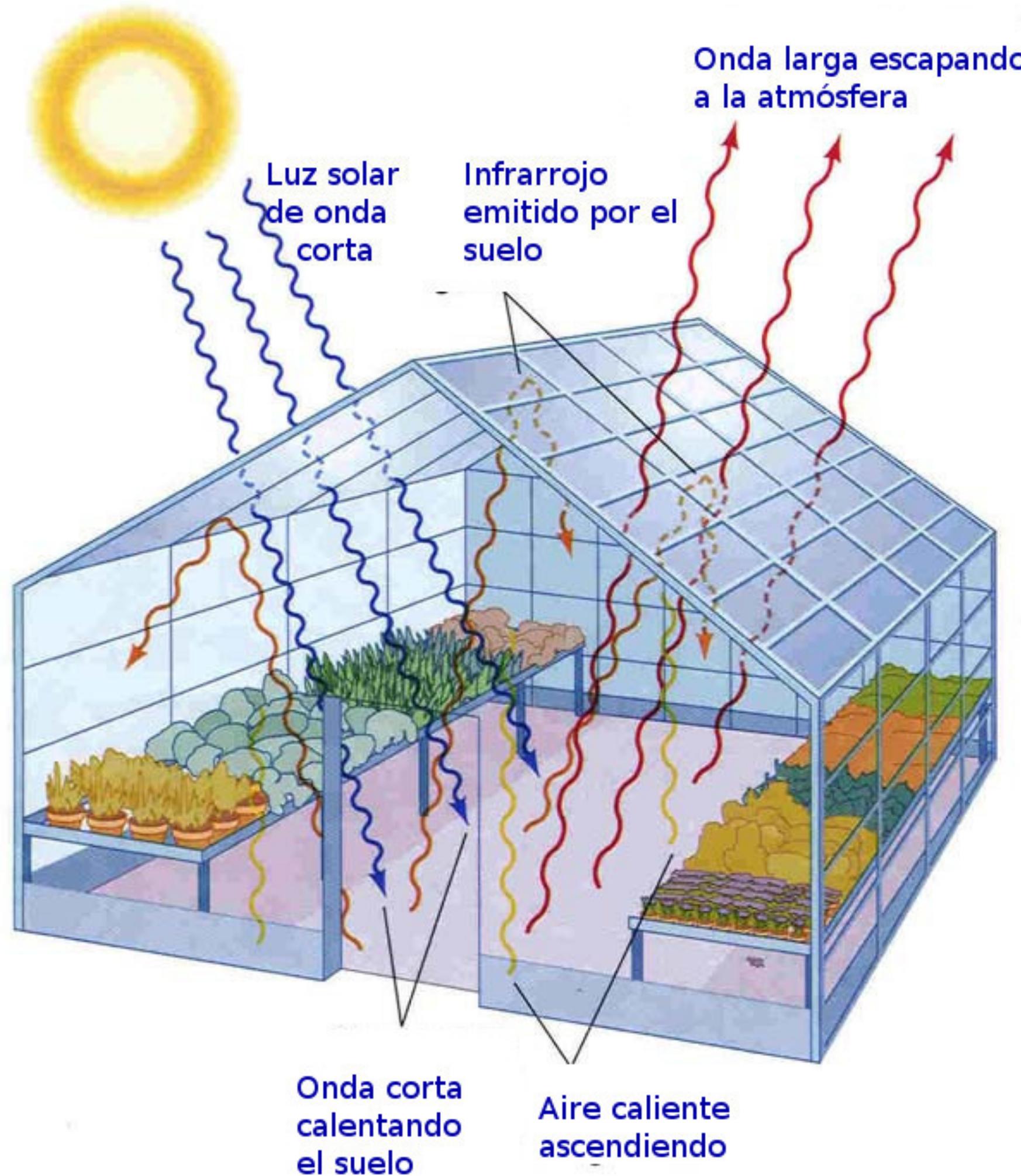
Como funciona un invernadero?



Camara en infrarrojo

- El vidrio es transparente a la radiación visible pero opaco al infrarrojo

Como funciona un invernadero?



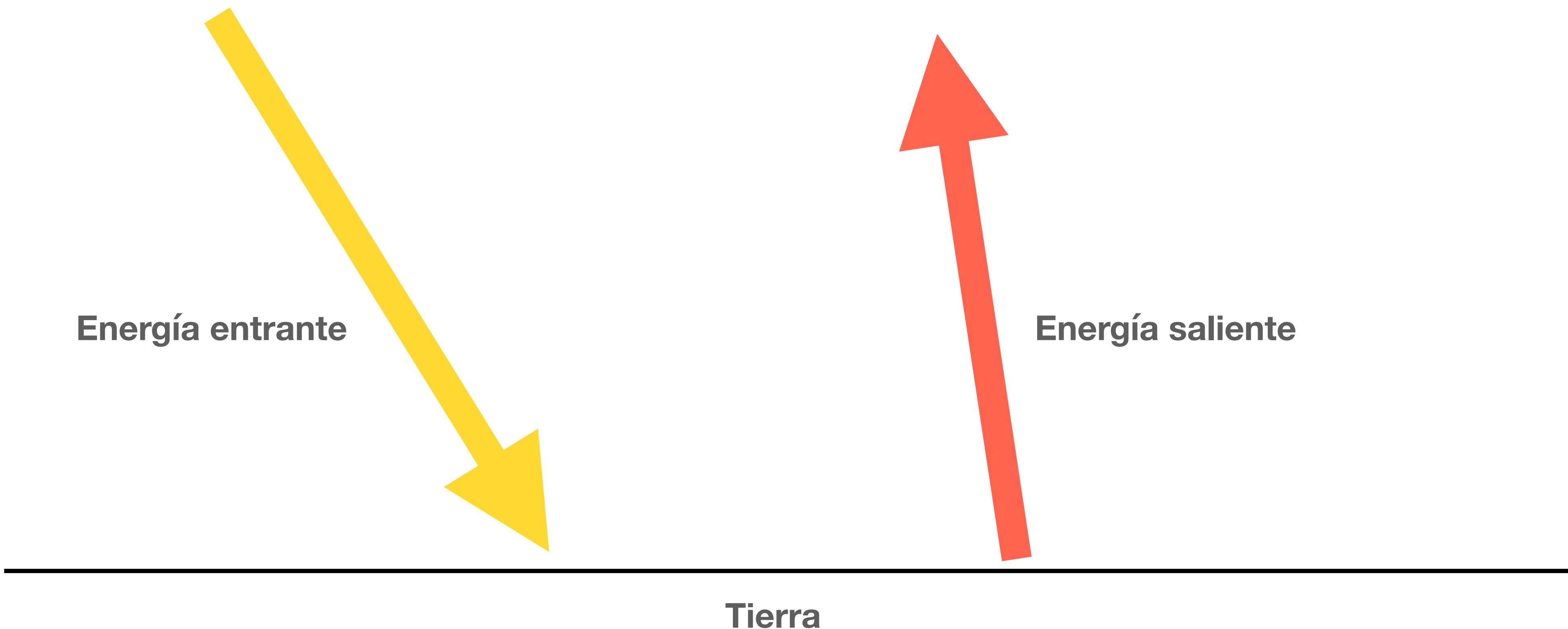
- El vidrio es **transparente** a la radiación visible del sol pero **opaco** al infrarrojo.
- Las plantas del interior emite en infrarrojo y la radiación queda atrapada.
- La temperatura interior aumenta y el aire caliente sube.
- El habitáculo impide que el aire caliente se escape.

Como realmente aumenta la temperatura interior con vidrio?

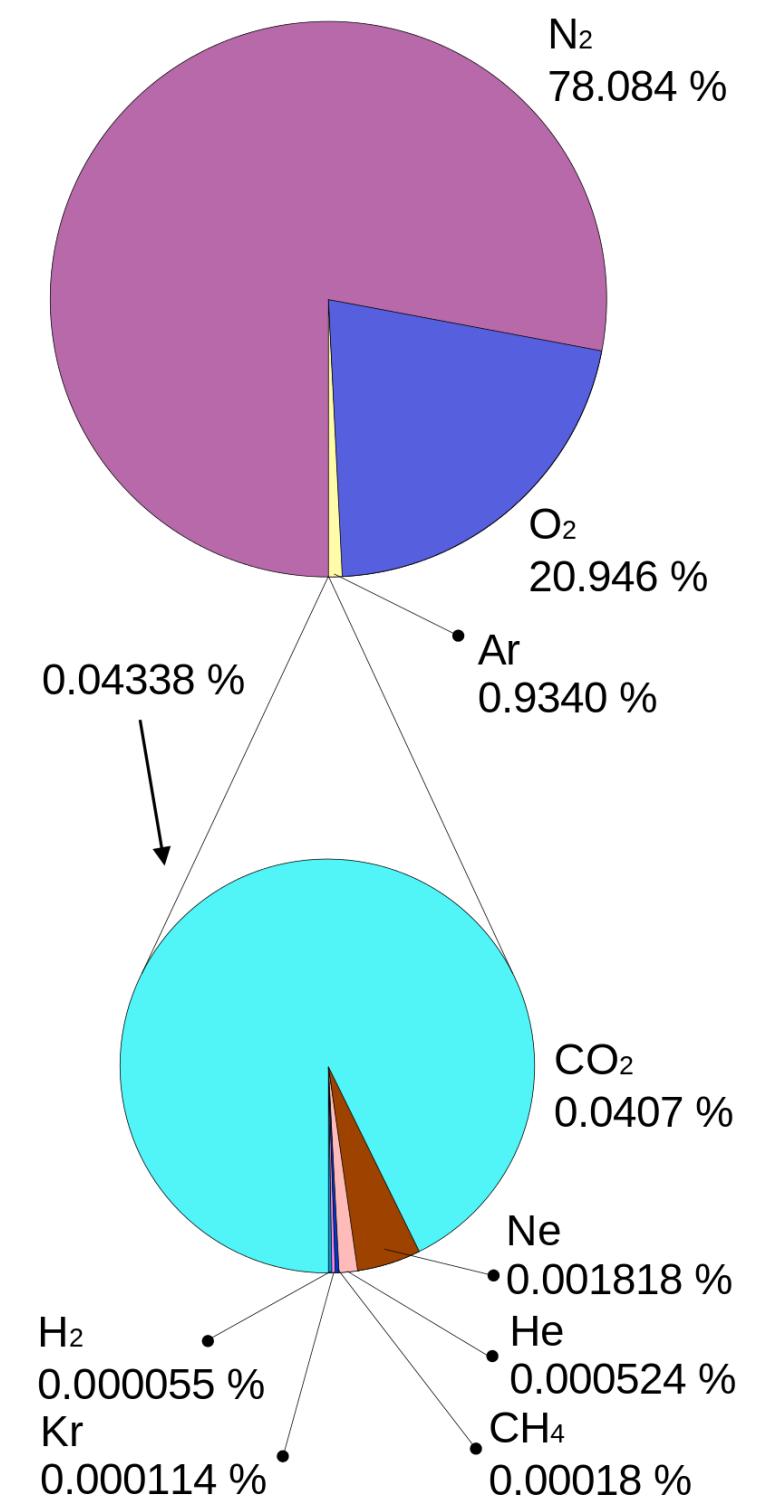
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.193.4249.229>

OJO!: el efecto invernadero en la atmósfera es otra cosa...
tomar esta analogía con el vidrio con de forma cautelosa.

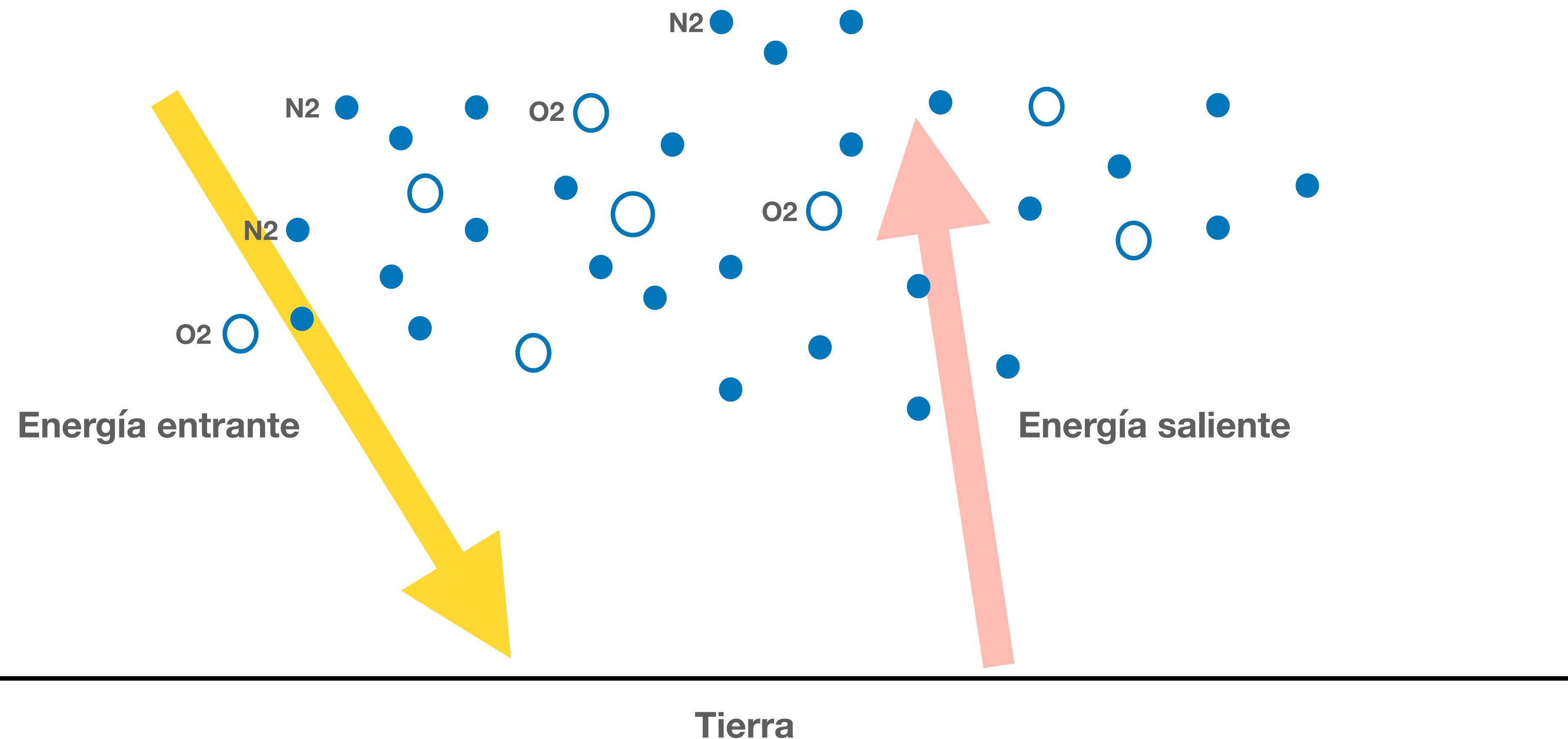
Efecto invernadero en la atmósfera



Efecto invernadero en la atmósfera



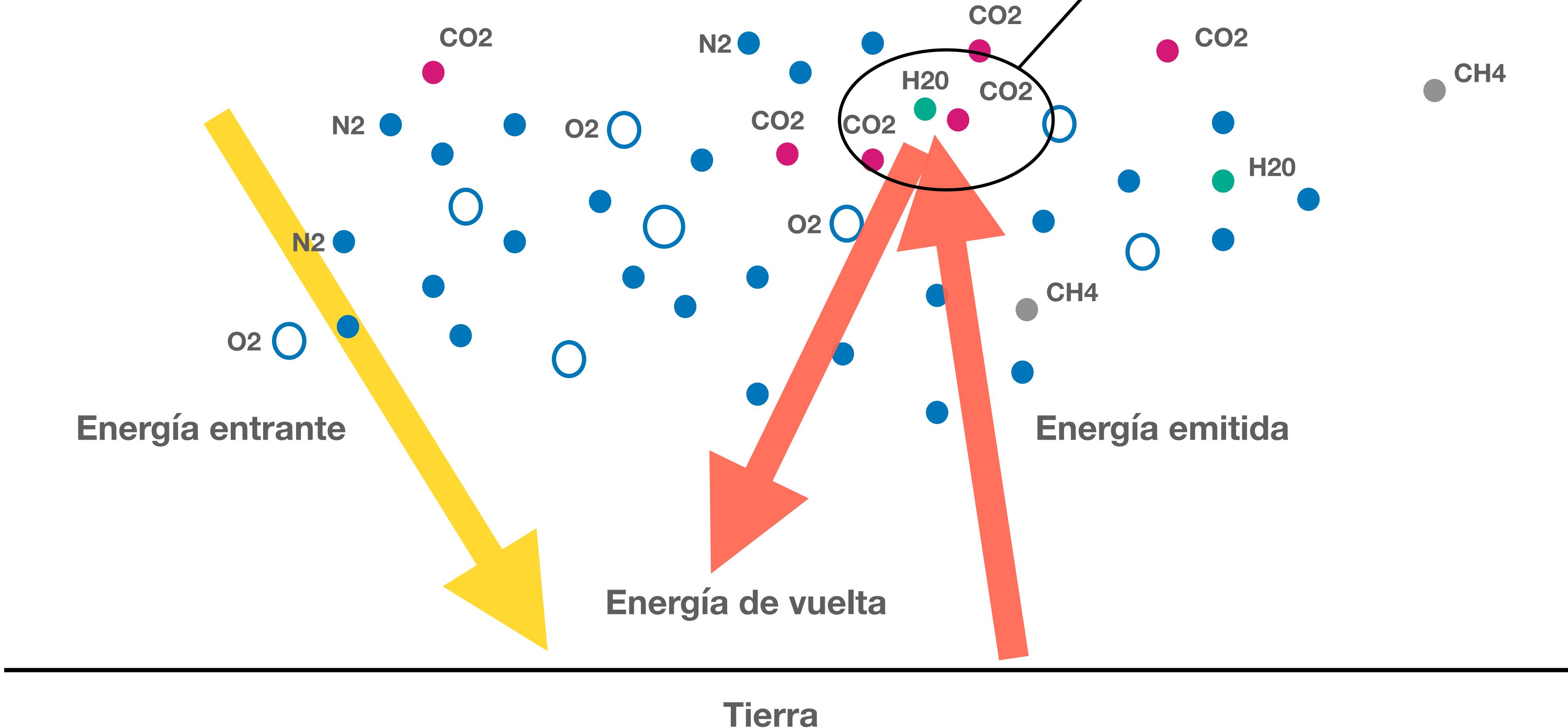
El N₂ y O₂ (99.03% de la atm) son transparentes al infrarrojo!



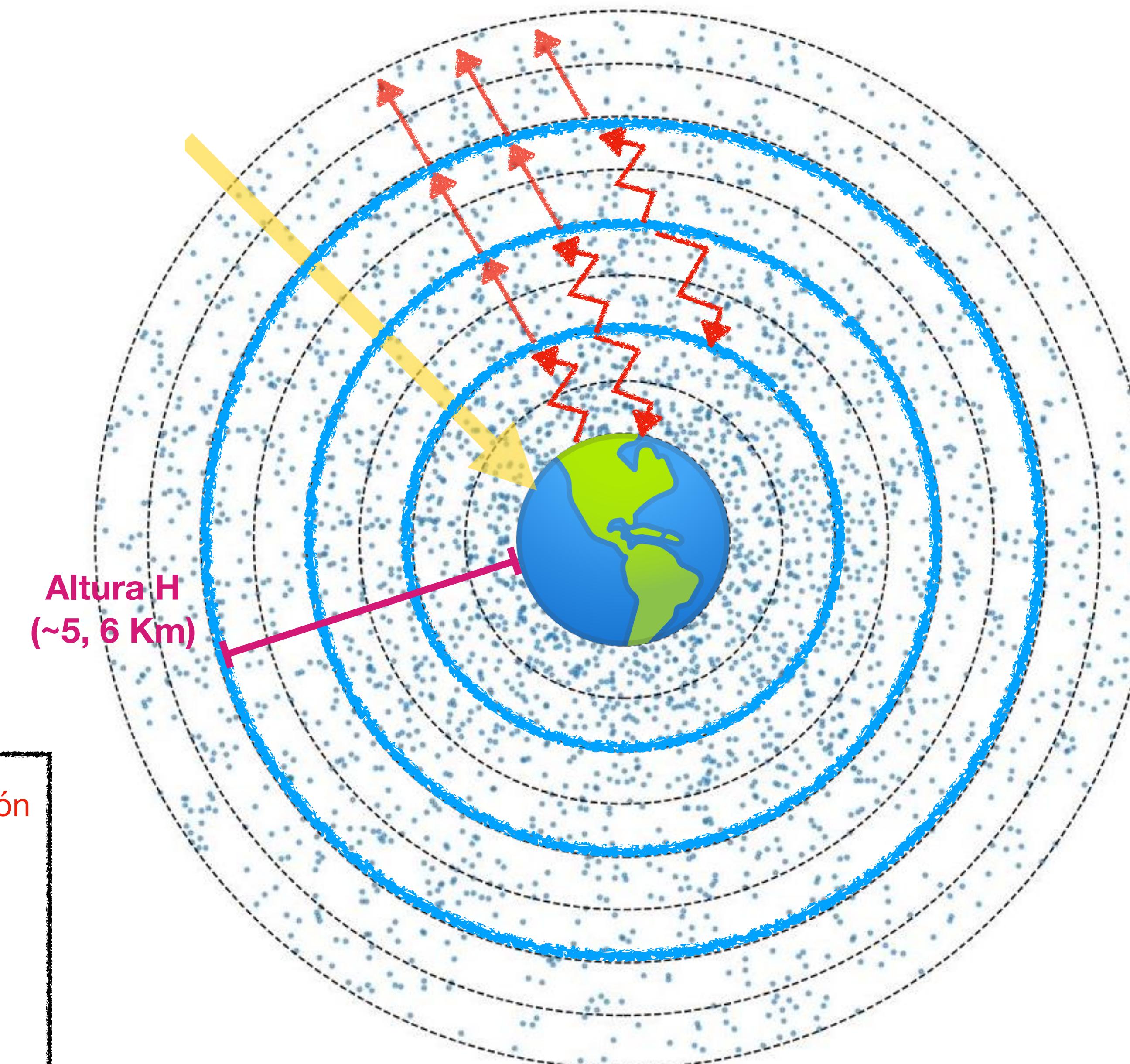
Efecto invernadero en la atmósfera

Pero que pasa con el 0.043% restante (GEI)?

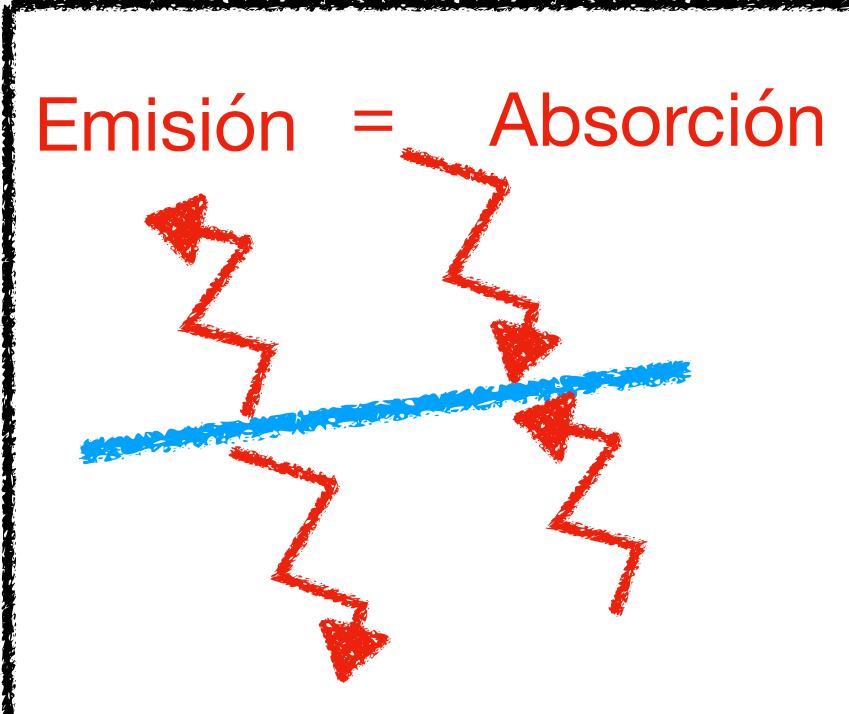
Absorción y emisión del infrarrojo por GEI
(fenómenos cuánticos)



Efecto invernadero en la atmósfera

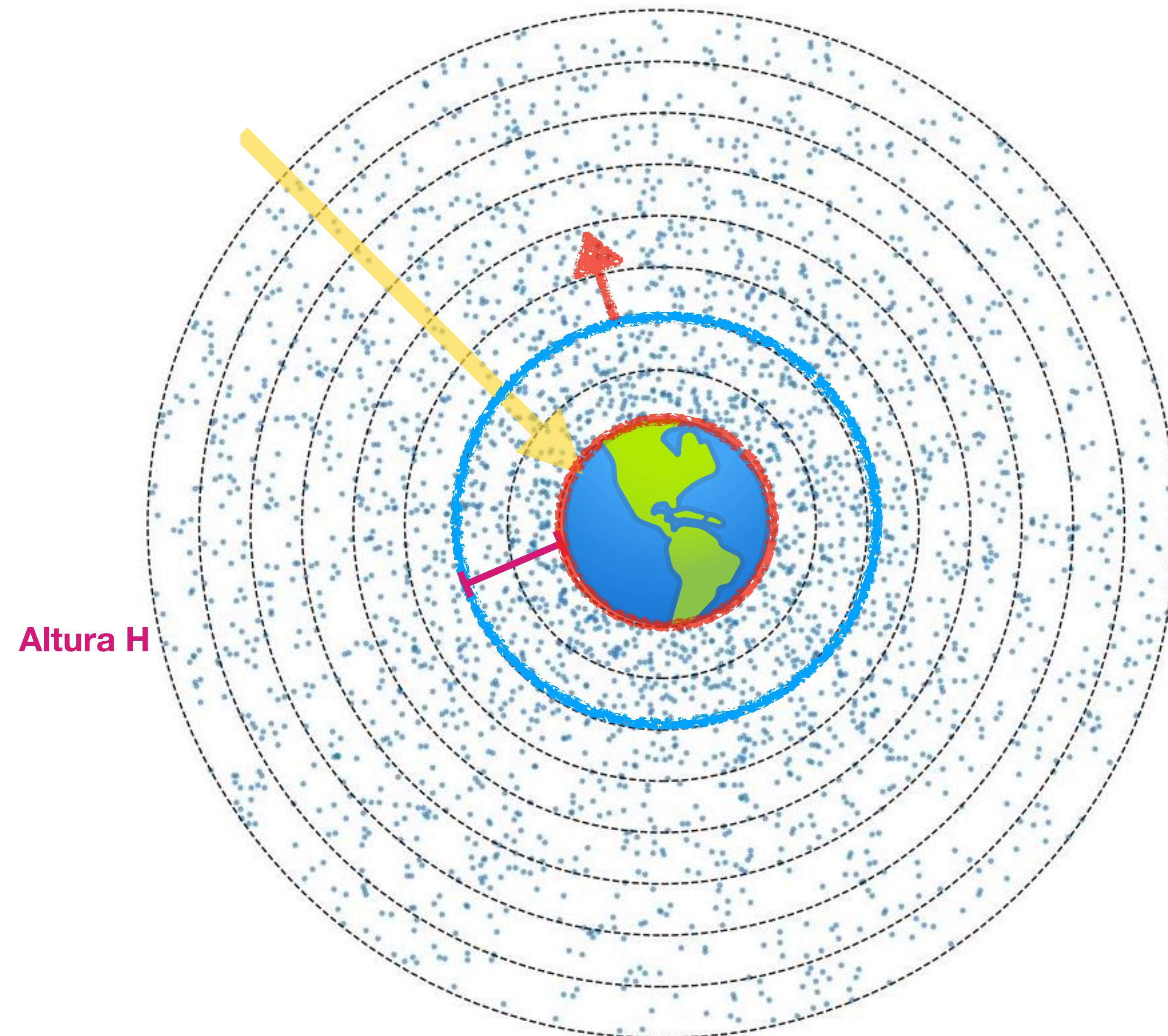


Ley de Kirchoff



- Atmósfera, varias capas que absorben y emiten la radiación.
- La radiación que entra del sol tiene que salir.
- La atmósfera es mas densa cerca de la superficie que en altura.
- A una determinada altura, la densidad es tan pequeña que la radiación logra escapar al espacio.

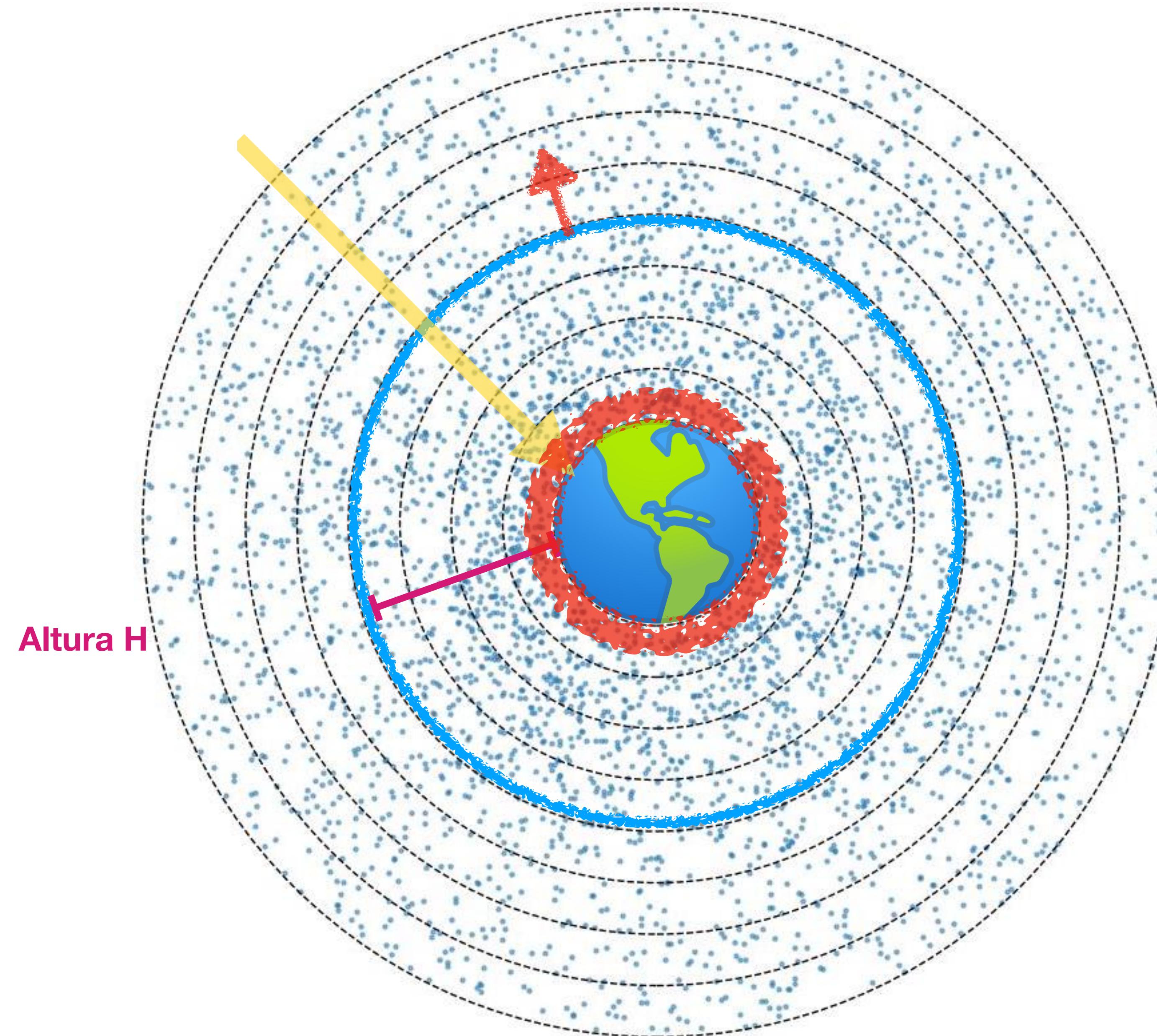
Efecto invernadero en la atmósfera



Efecto invernadero:

Para que toda la radiación entrante pueda escapar desde una altura H , la temperatura en la superficie tiene que aumentar.

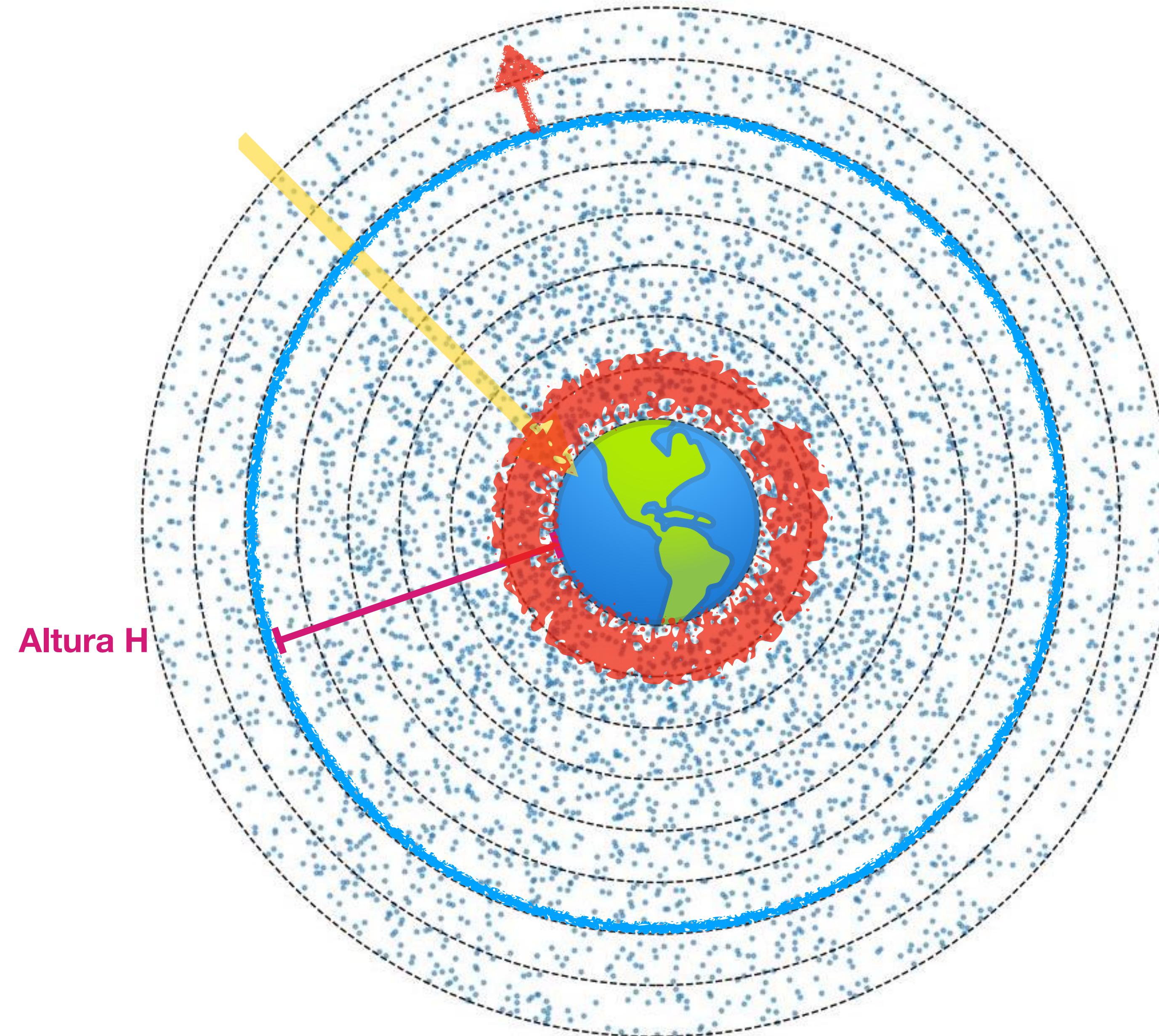
Calentamiento global



Exceso del efecto invernadero:

Al aumentar la concentración de GEI, la radiación tiene que escapar desde mayor altura, generando mayor calentamiento en la superficie

Calentamiento global

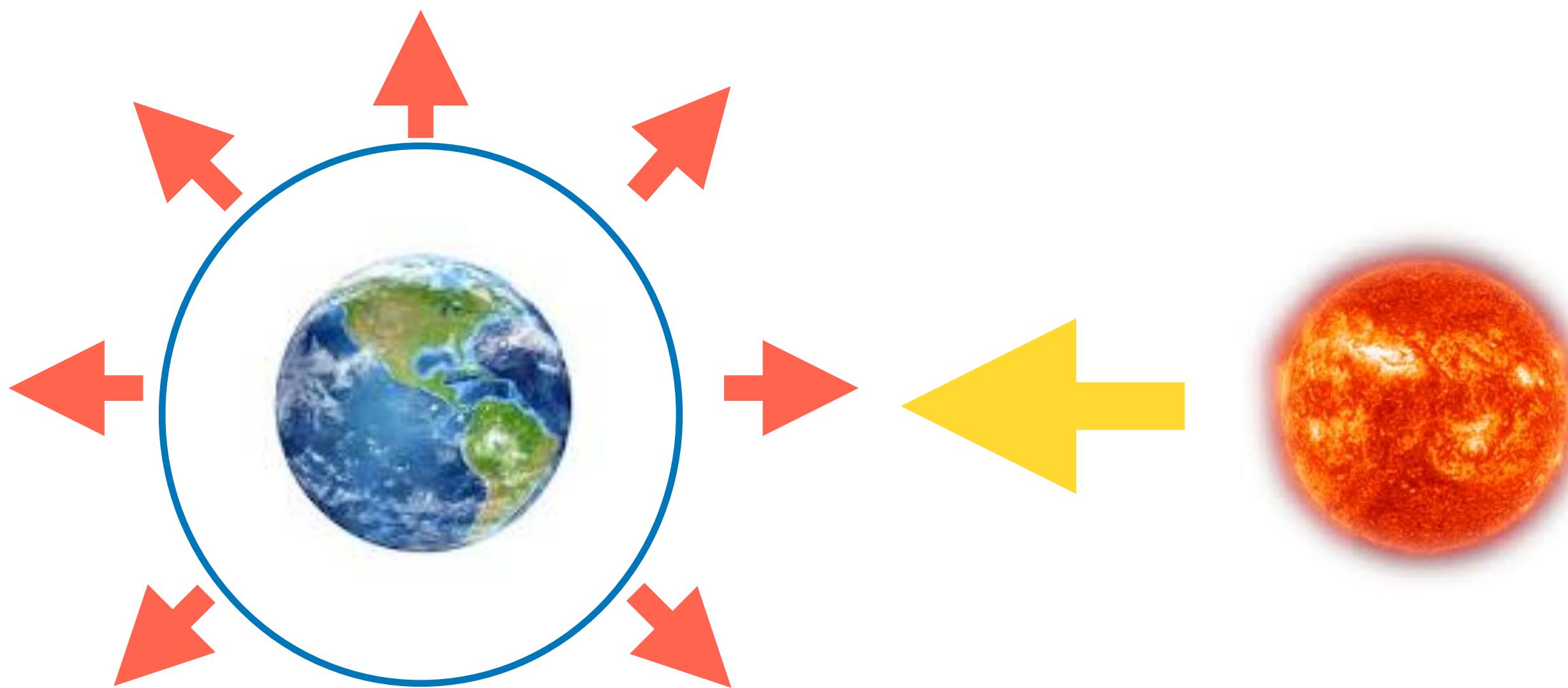


Exceso del efecto invernadero:

Al aumentar la concentración de GEI, la radiación tiene que escapar desde mayor altura, generando mayor calentamiento en la superficie

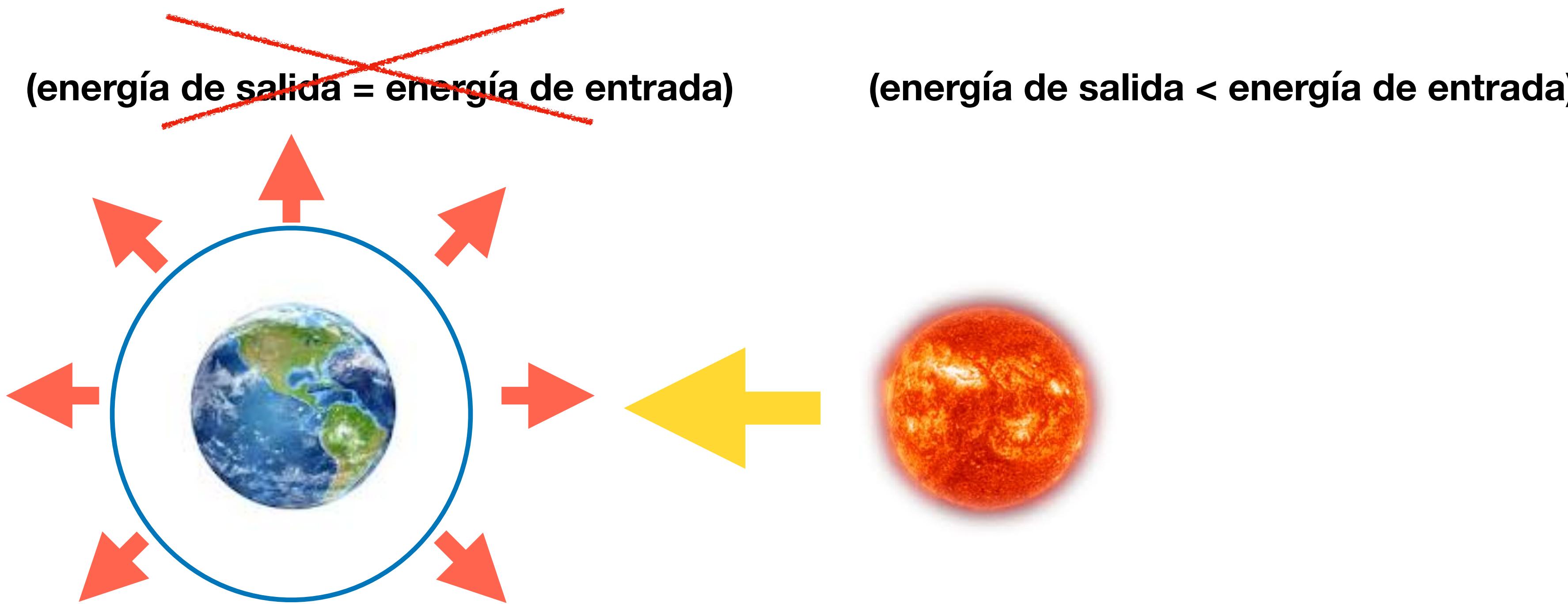
Calentamiento global: desequilibrio radiativo

(energía de salida = energía de entrada)



Calentamiento global: desequilibrio radiativo

- El aumento de GEI no aumenta la temperatura en la superficie instantáneamente, sino que el planeta entra en un desequilibrio donde la energía que sale es menor a la que entra.



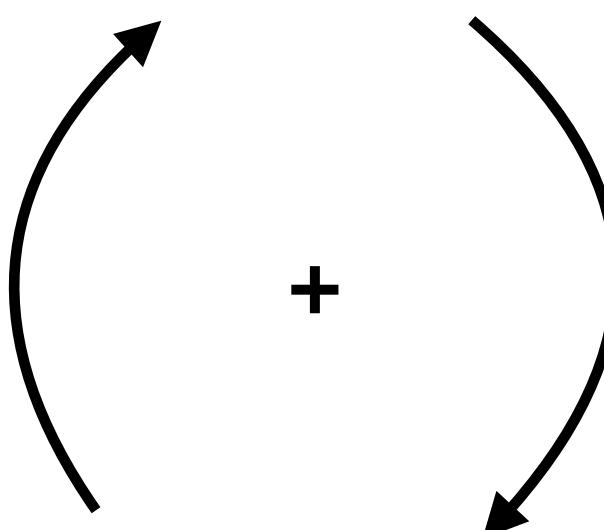
- Los océanos son los encargados de absorber ese exceso de calor.
- Debido a su enorme capacidad calorífica, los océanos tardan en aumentar la temperatura. Incluso si dejásemos de emitir, el planeta seguirá calentándose por décadas.

Feedback loops

- Toda fuerza externa que genera un cambio en el clima puede **retroalimentar (feedback positivo)** o **debilitar (feedback negativo)** la fuerza original:

Feedback del vapor de agua:

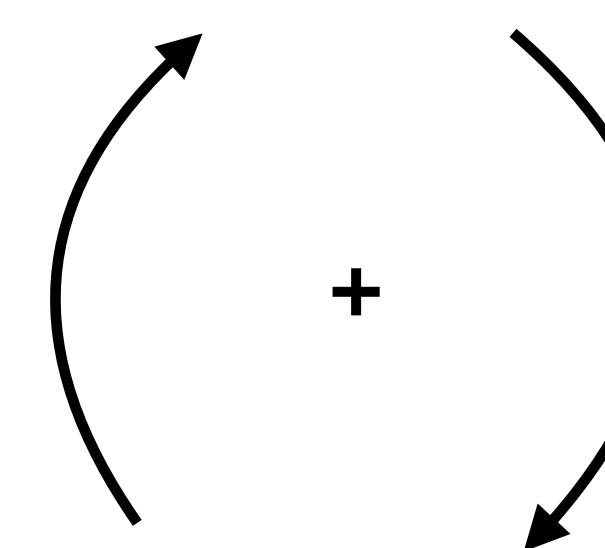
Mayor calentamiento, mayor evaporación del agua, mayor GEI



Mayor GEI, mayor calentamiento

Feedback del hielo:

Mayor calentamiento, derretimiento de los glaciares

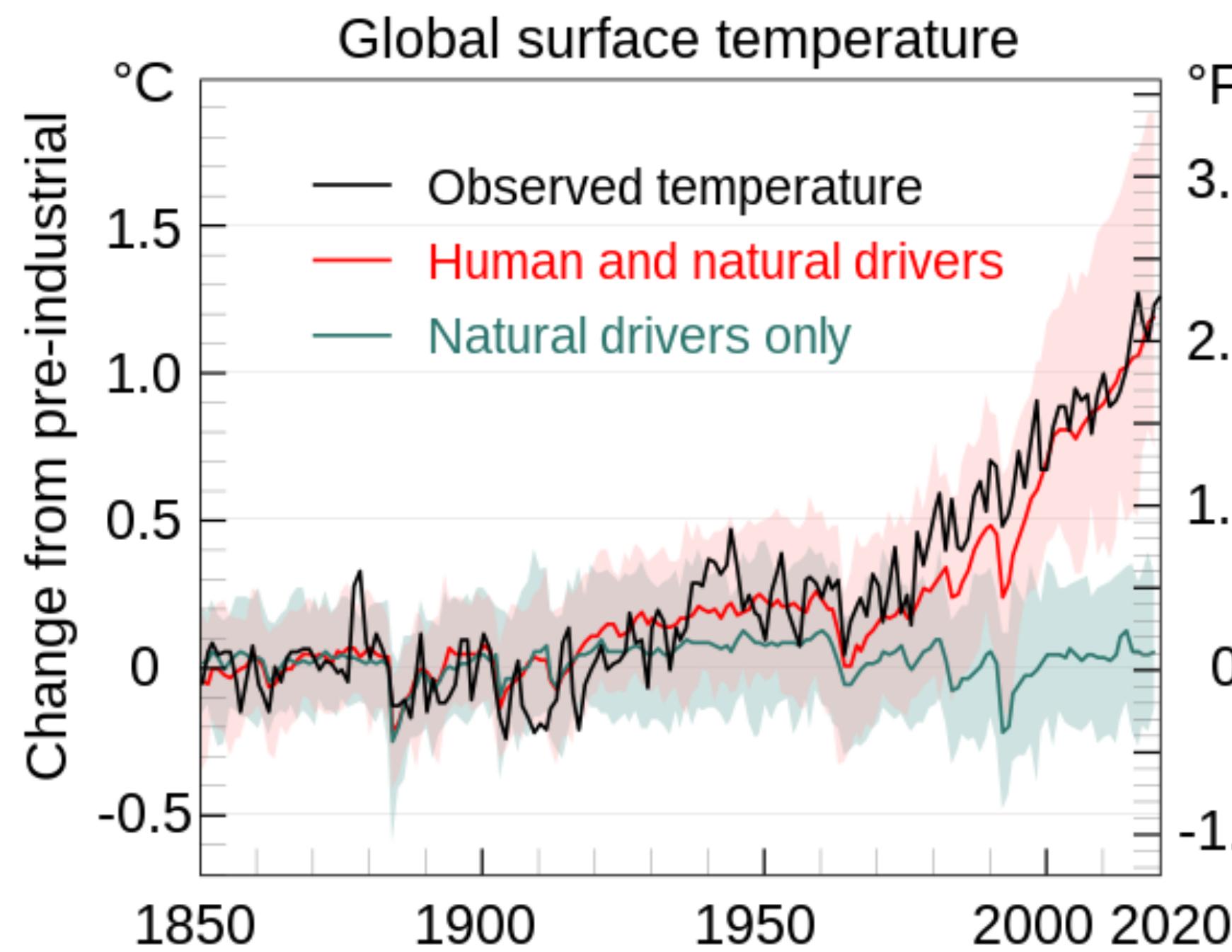


Menos hielo que refleja la luz del sol, mayor calentamiento

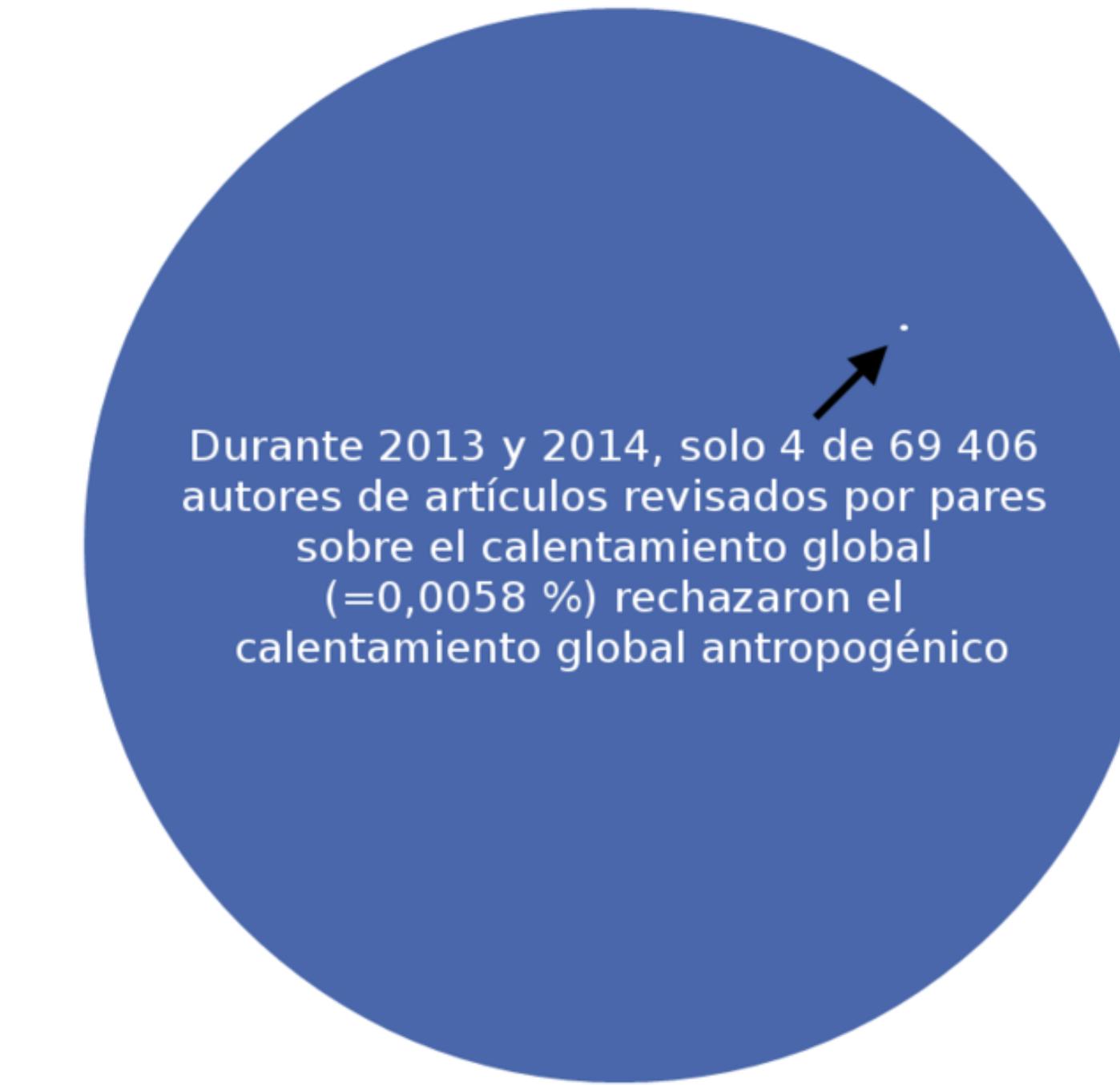
...

Consenso científico sobre el cambio climático

- El consenso científico de que el calentamiento global se debe a los seres humanos es mayor al 99%
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac2966>
- El consenso científico esta en:
 - La tierra se ha calentado con una rapidez sin precedentes desde la revolución industrial.
 - Las actividades humanas son la causa.
 - La continuación de las emisiones aumentará la probabilidad y la gravedad de los efectos globales.
 - **Las personas y las naciones pueden actuar individual y colectivamente para frenar el ritmo del calentamiento global.**

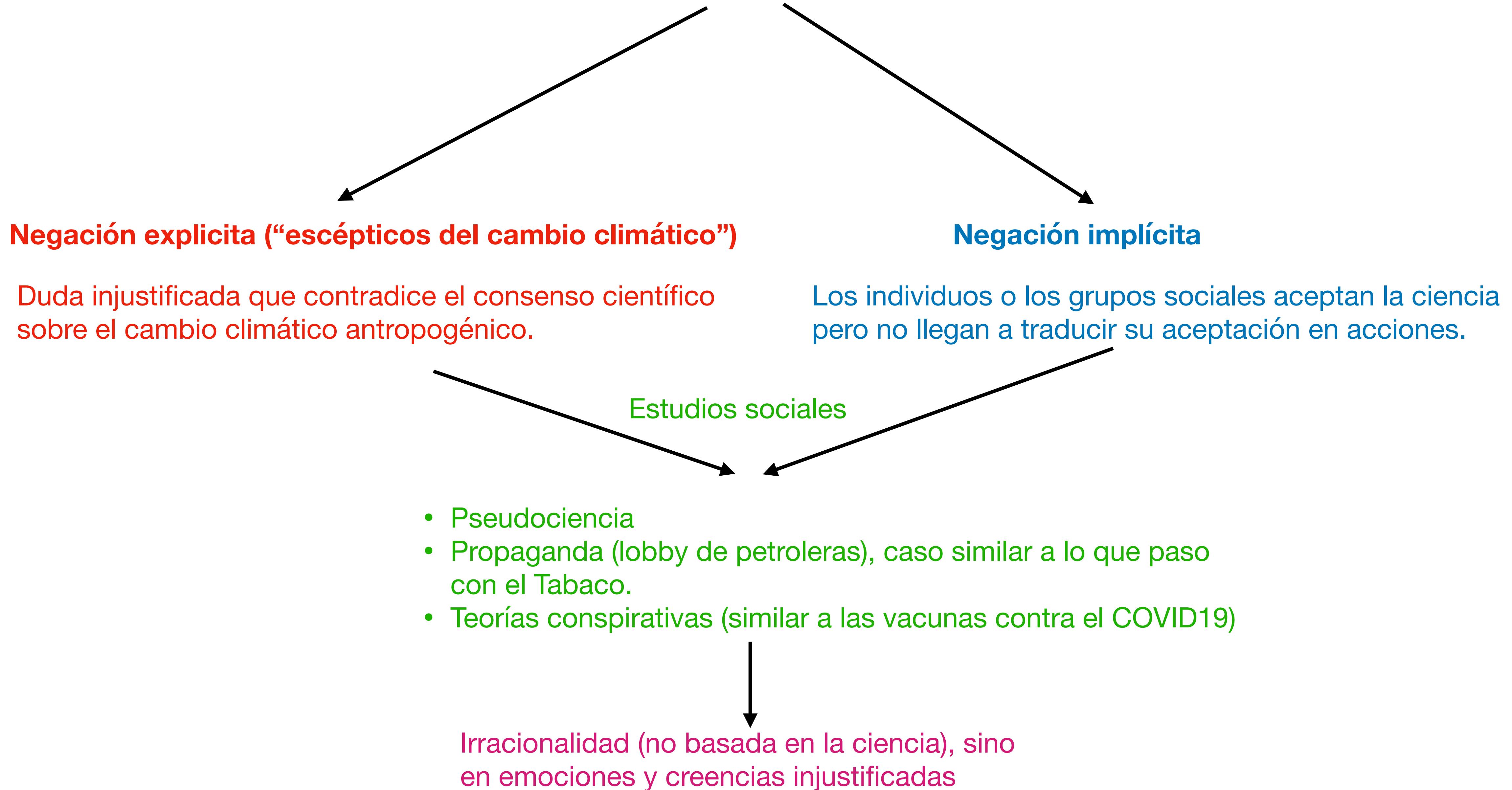


<https://science2017.globalchange.gov/chapter/front-matter-about/>

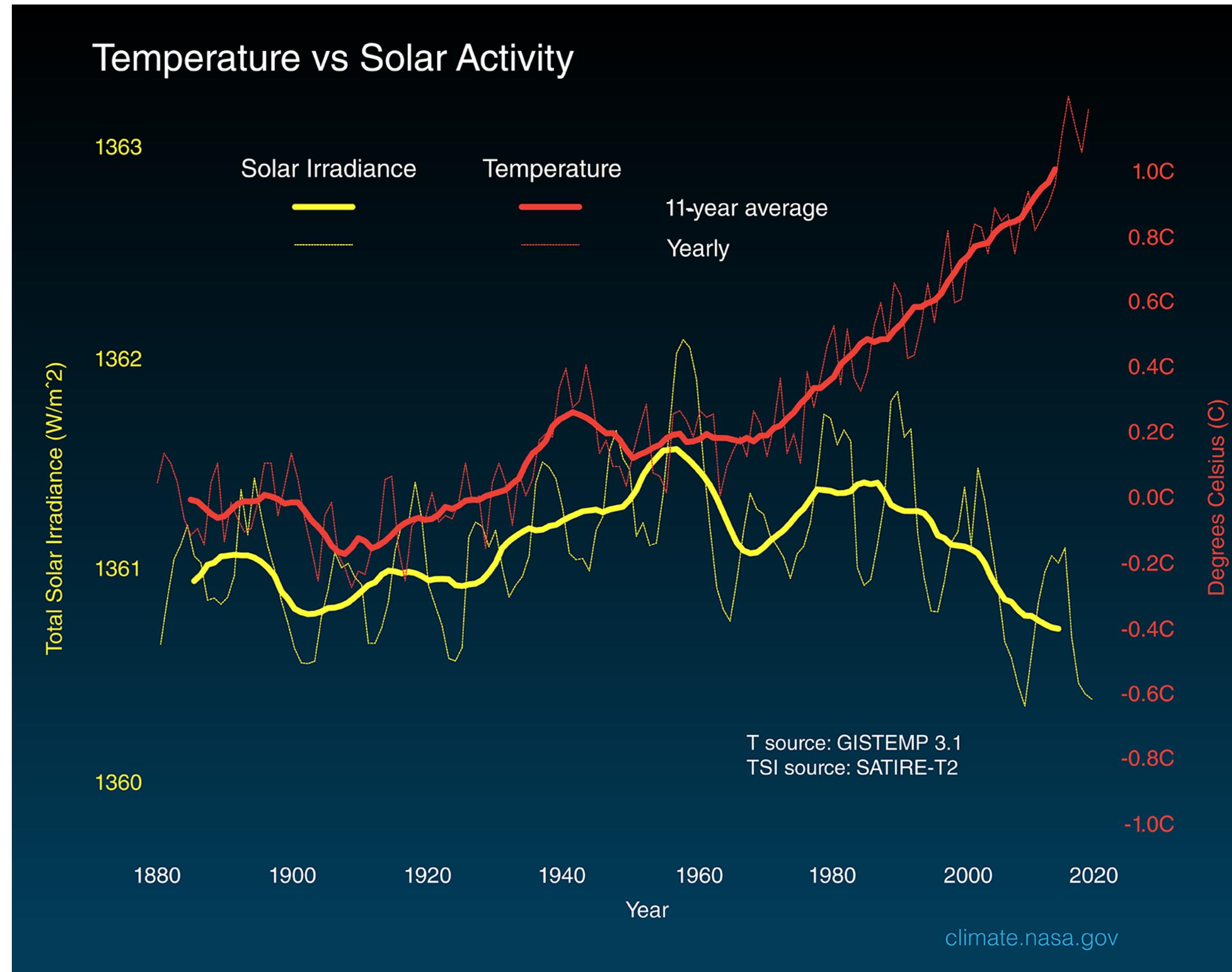


Fuente: Powell (2015), <http://dx.doi.org/10.1177/0270467616634958>

Negacionismo climático



Por que no es el Sol el causante del calentamiento global?



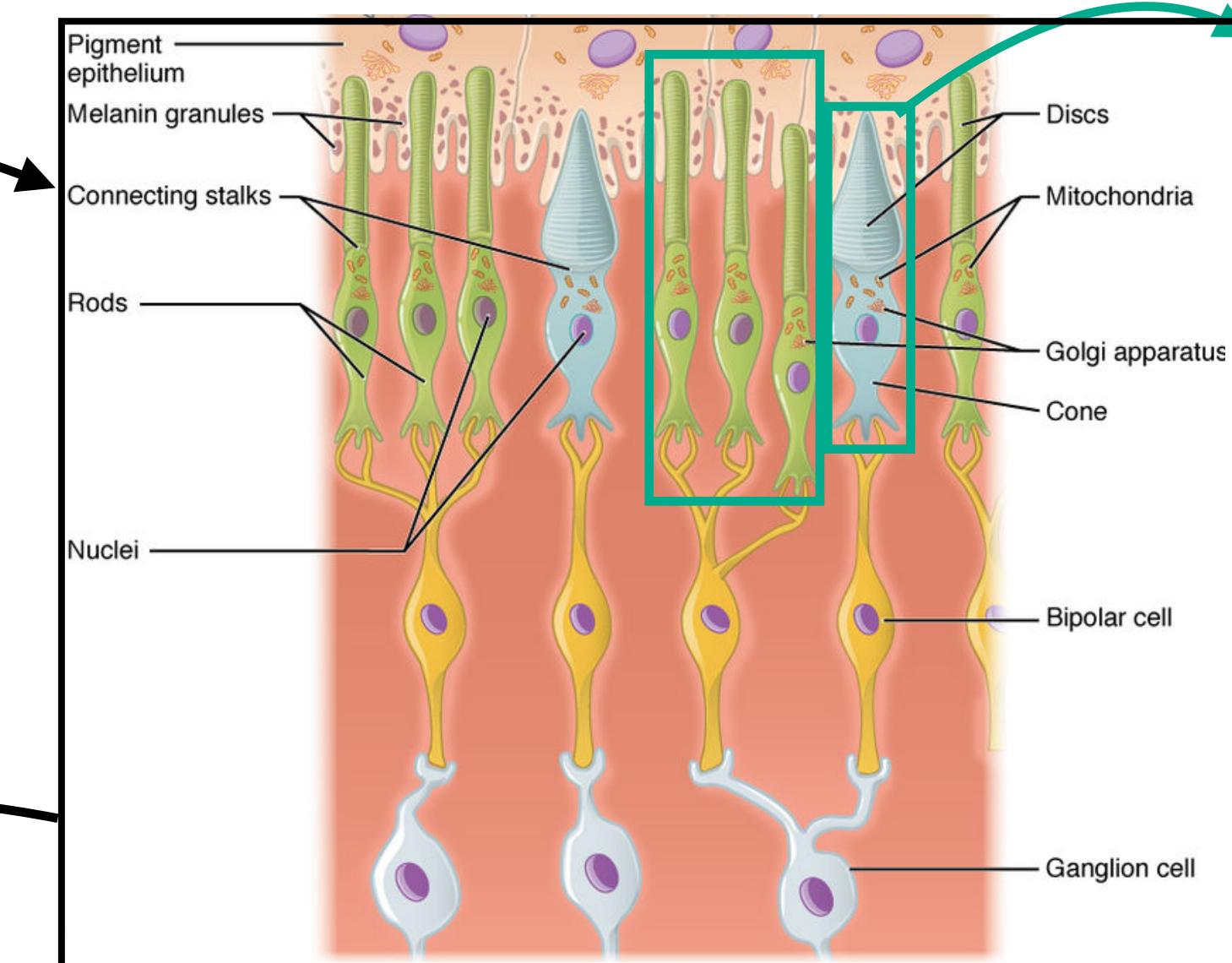
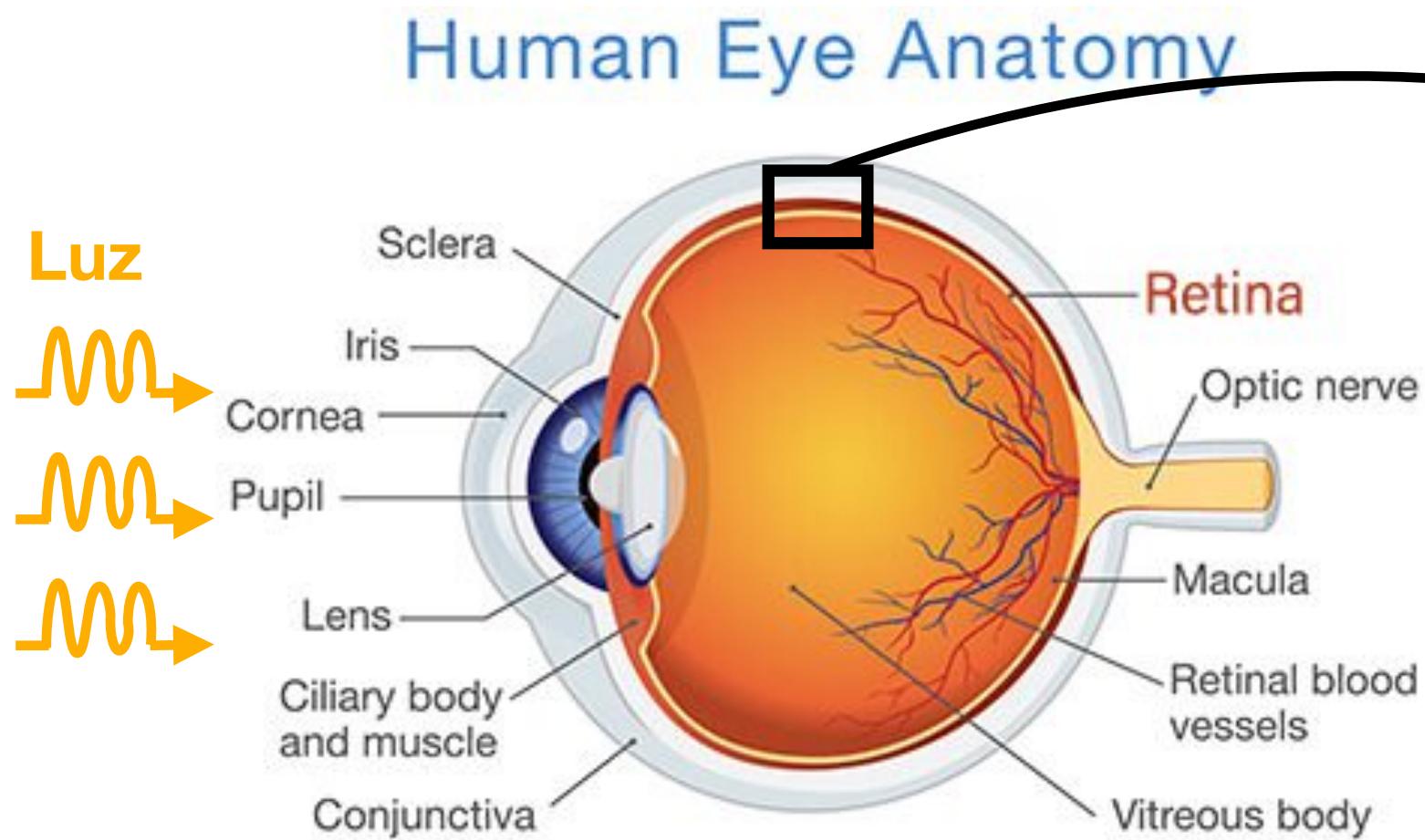
1. Desde 1978, sensores instalados en satélites indican que no se ha producido una tendencia en alza en la cantidad de energía solar que llega a nuestro planeta, todo lo contrario.
2. Si fuese el Sol, se esperaría ver un calentamiento en todas las capas de la atmósfera, desde la superficie hasta la estratosfera. Sin embargo se observa calentamiento solo en la superficie y enfriamiento en la estratosfera, consistente con un exceso del efecto invernadero.

<https://climate.nasa.gov/faq/14/is-the-sun-causing-global-warming/>

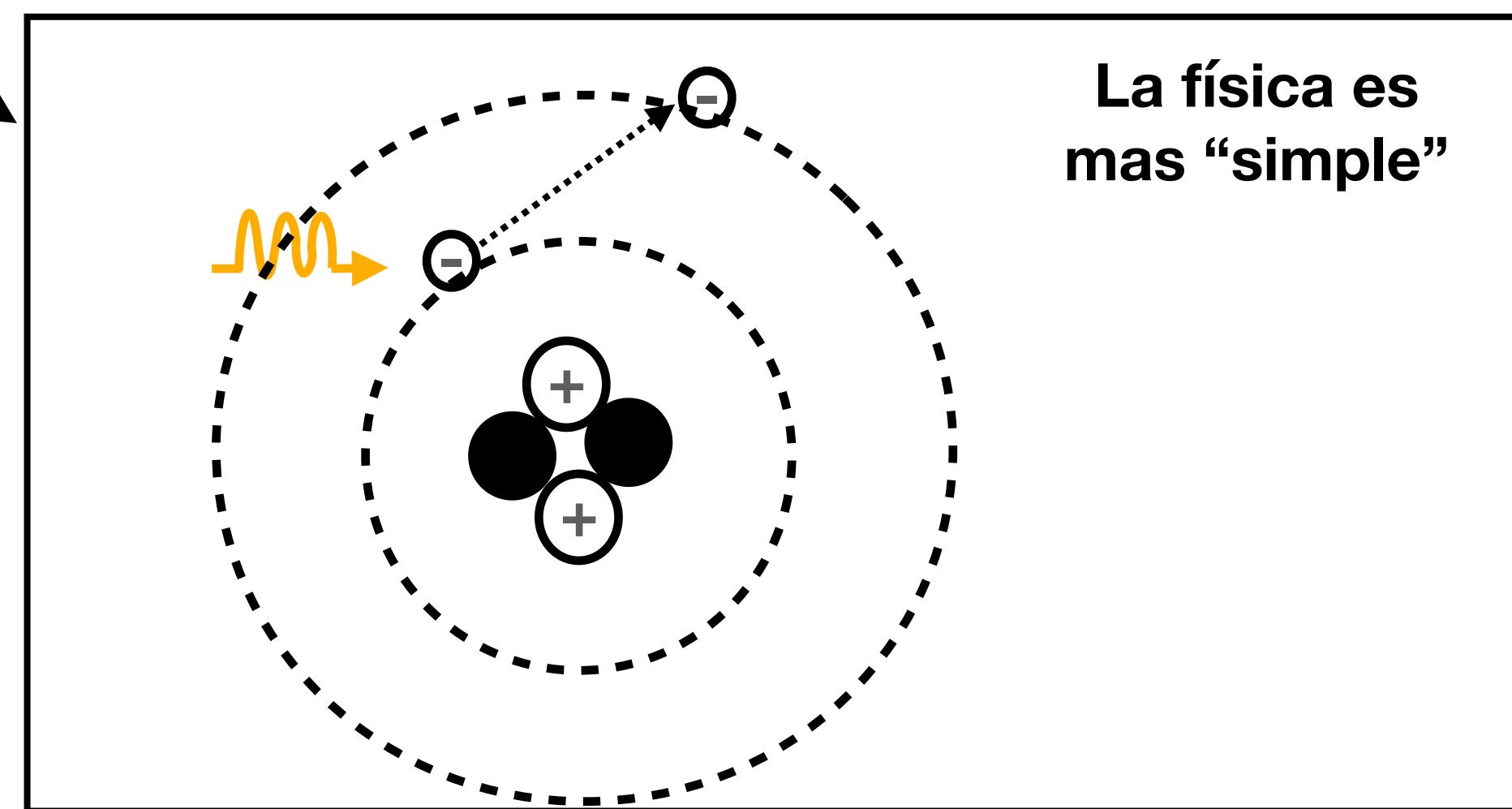
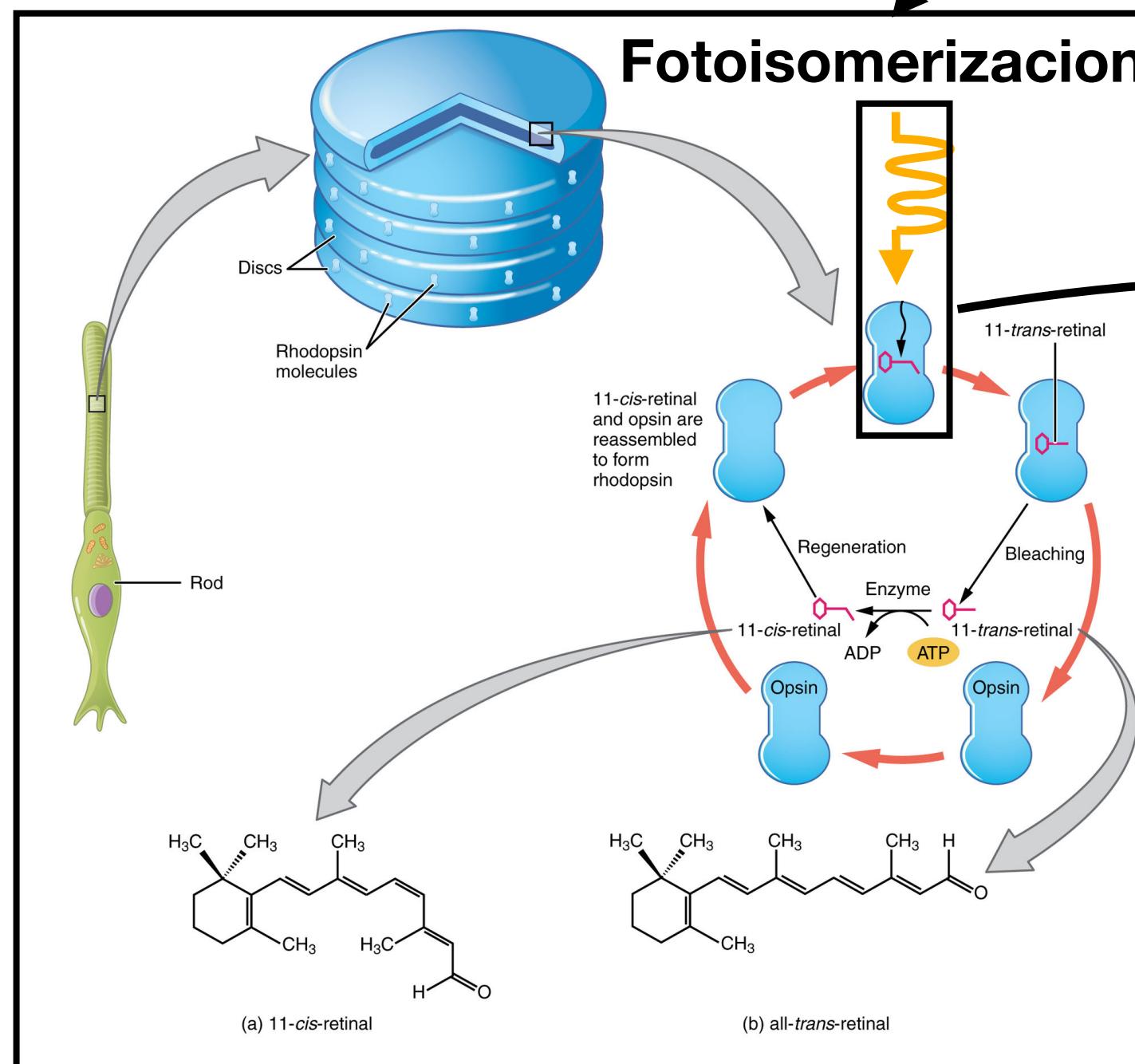
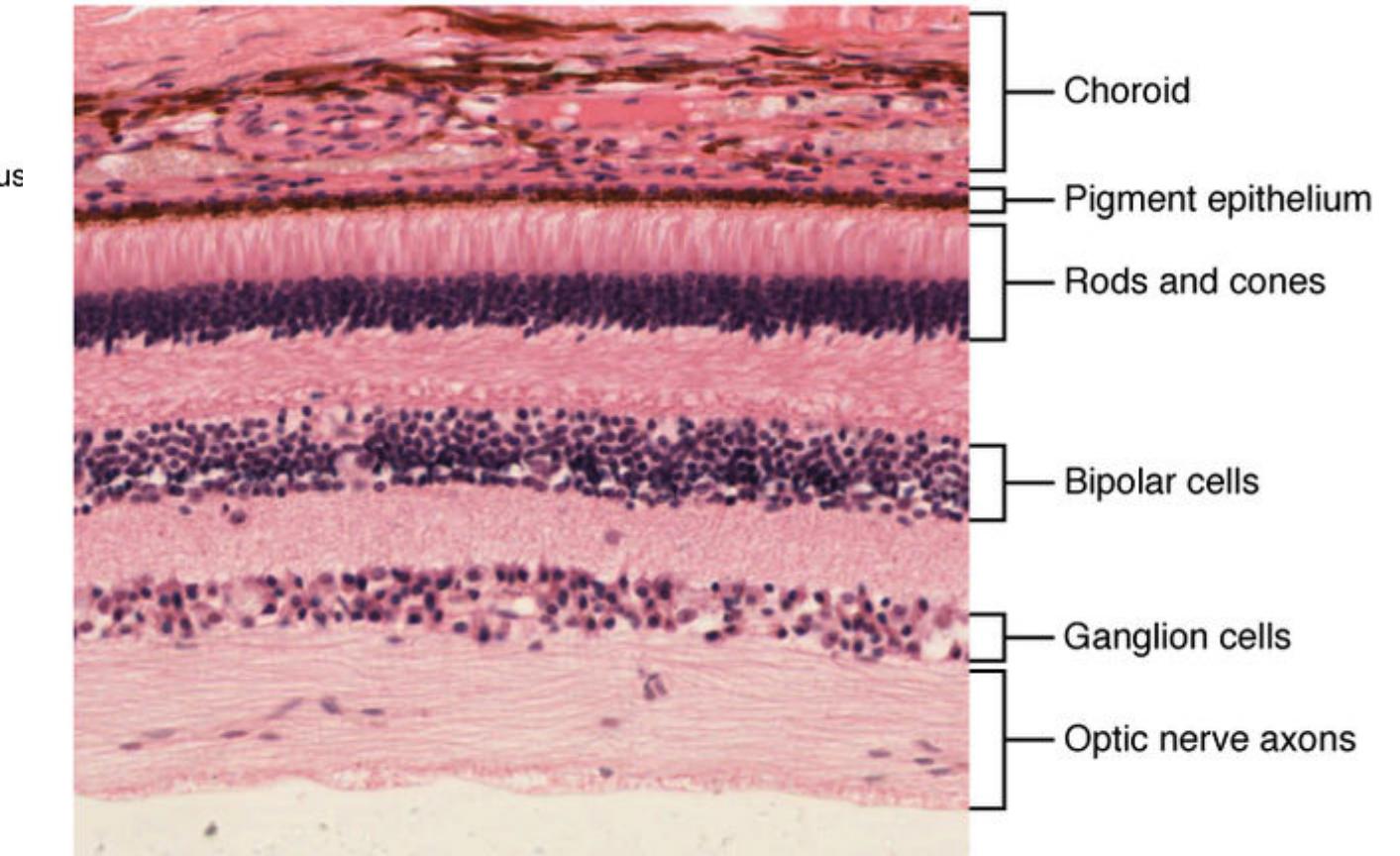
Que hacer?

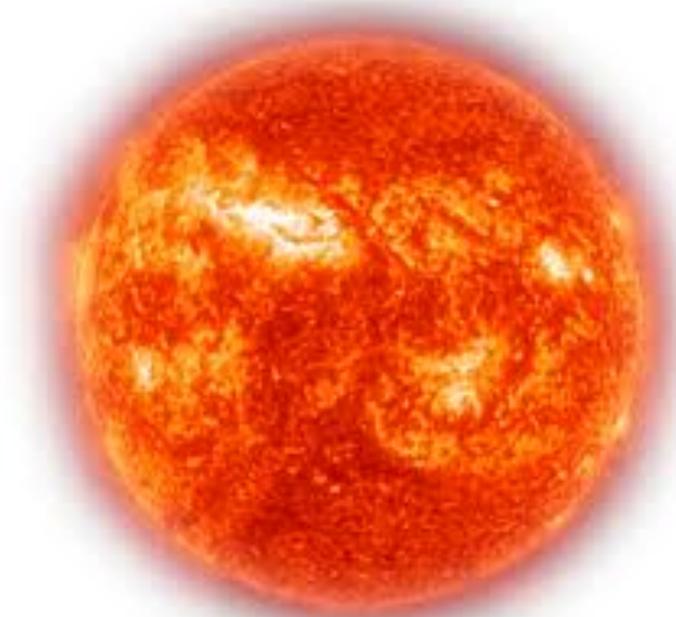
SLIDES DE BACKUP

Por que vemos cosas?

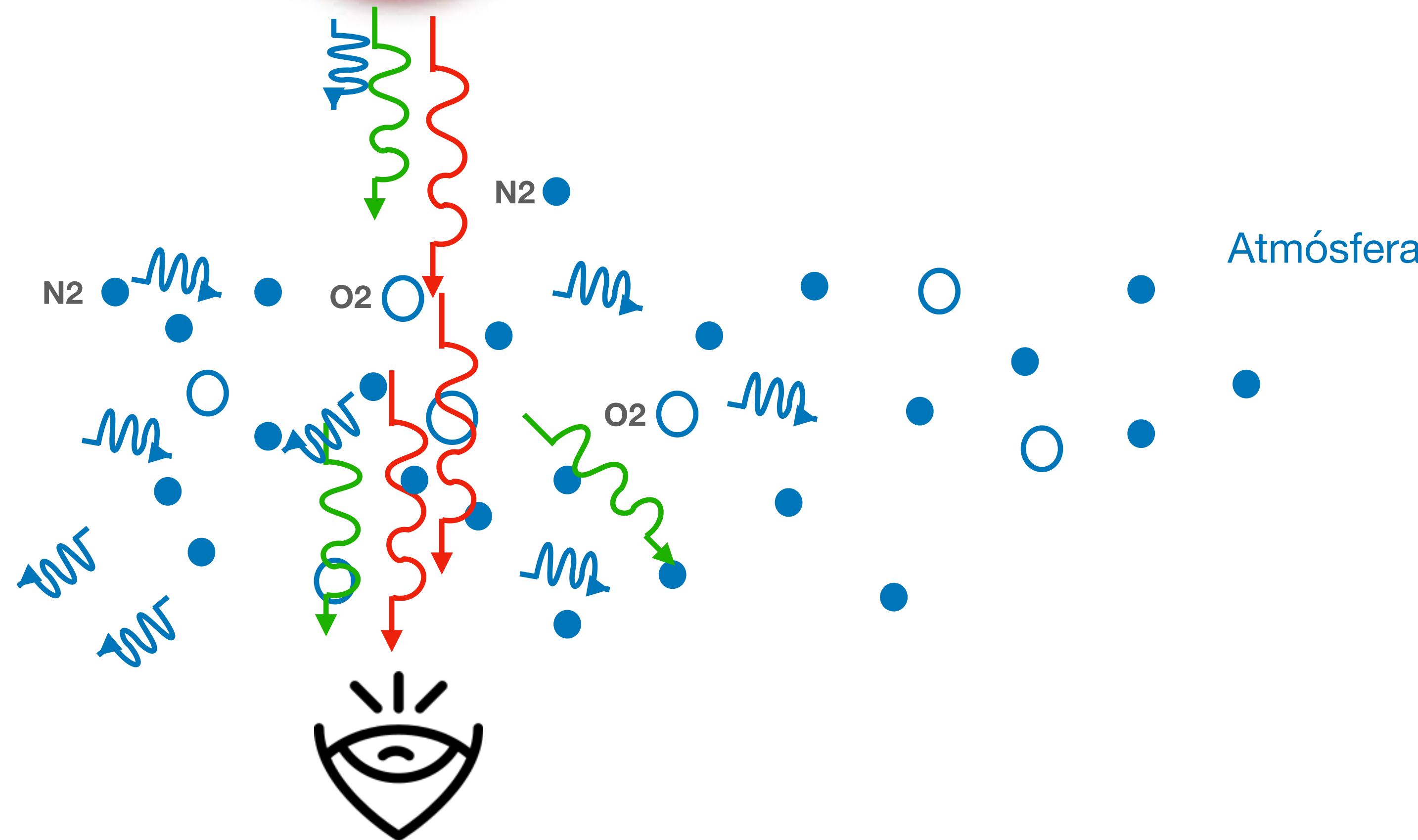


**Células fotoreceptoras en la retina
(fototransducción visual)**



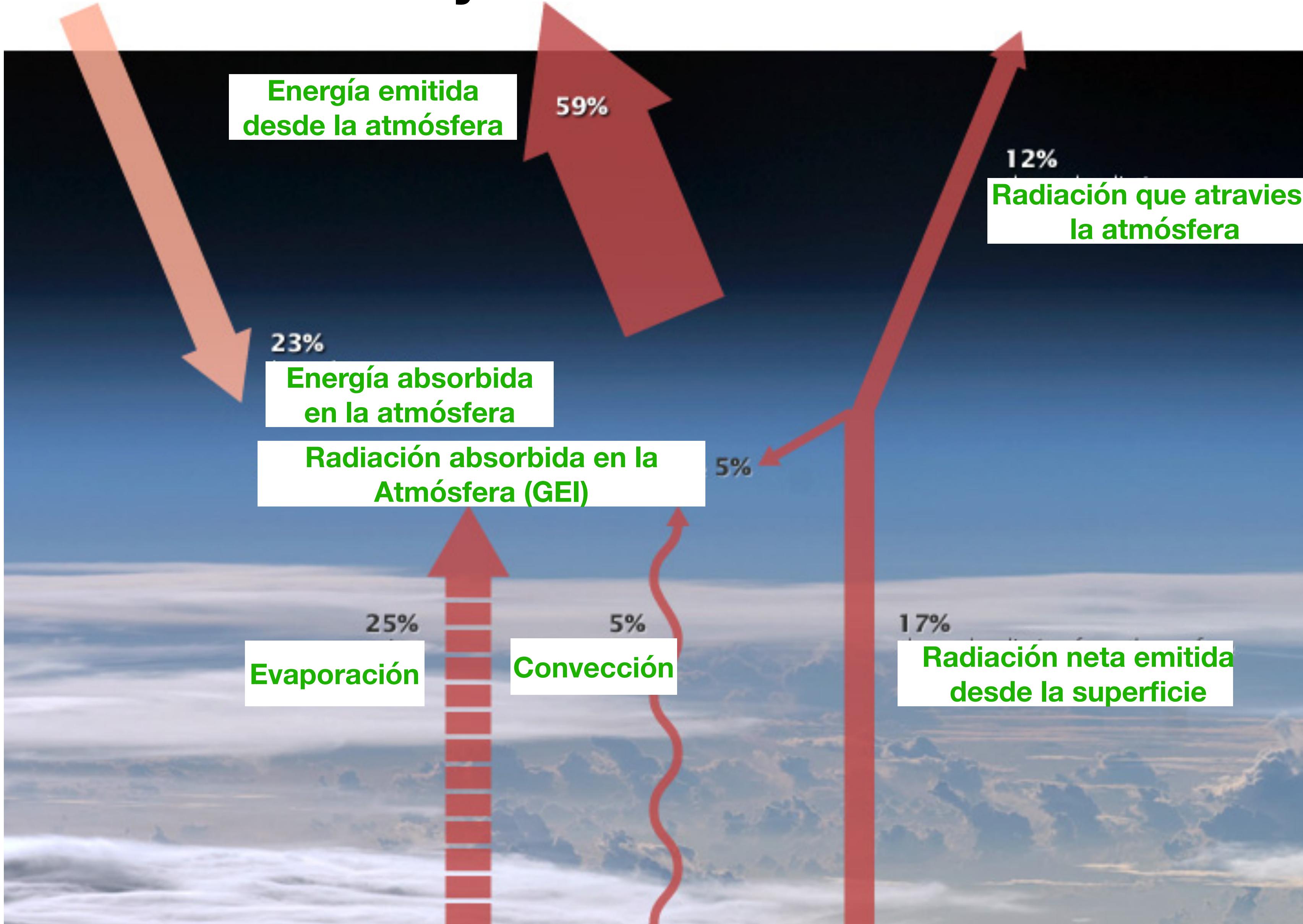


De que color es el Sol?



Si miramos desde la tierra (con atmósfera) vemos el Sol
Amarillo porque la luz azul se dispersa mas.

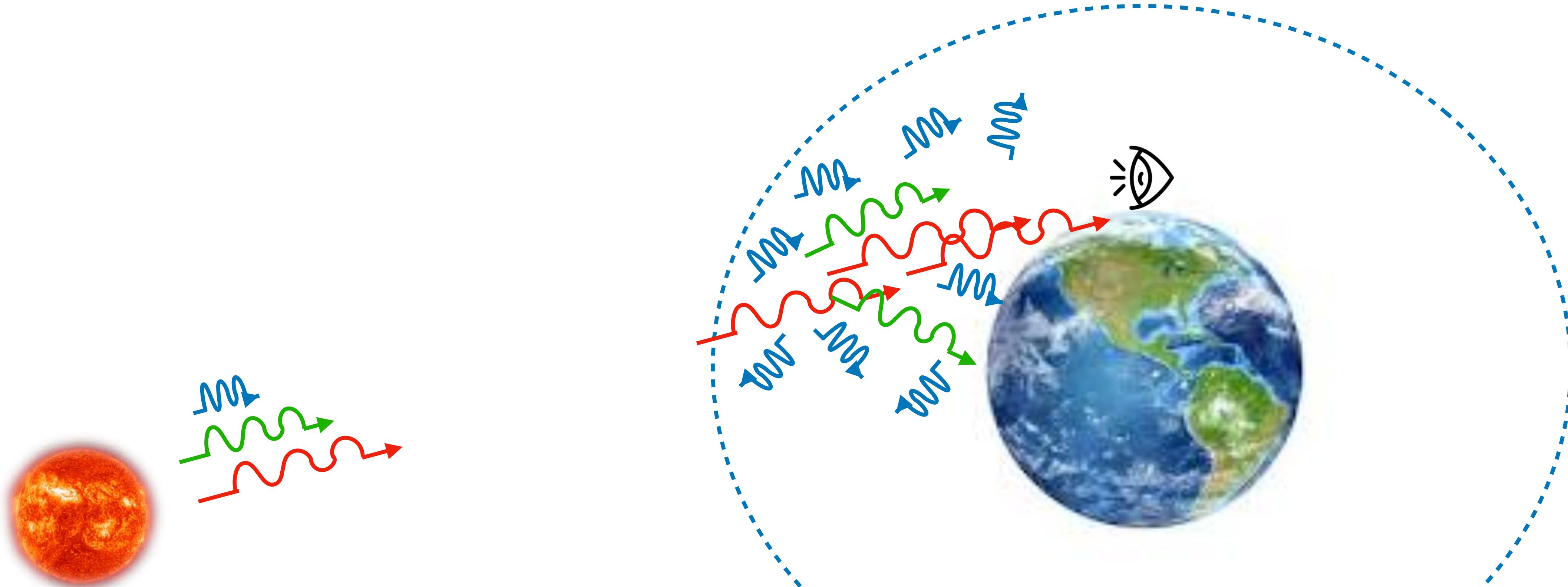
Emisión y absorción en la atmósfera



Por que el atardecer es rojo?



Por que el atardecer es rojo?



La luz tiene que recorrer mayor atmósfera y la luz azul se dispersa
Mas en su trayectoria.