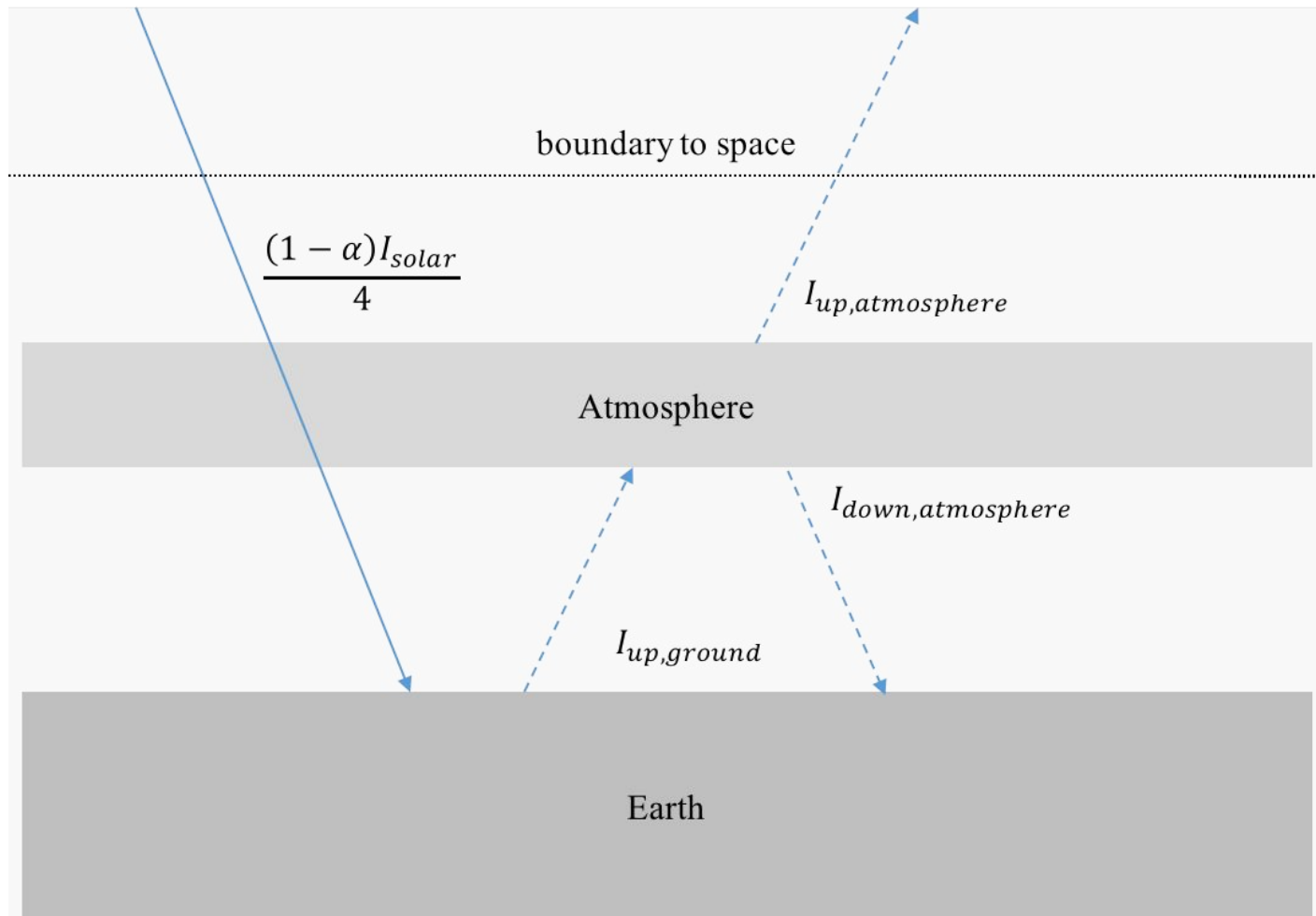


## Balance energético en la atmósfera planetaria



*Es posible estimar la magnitud del efecto invernadero en una atmósfera planetaria con un modelo simplificado de la atmósfera*

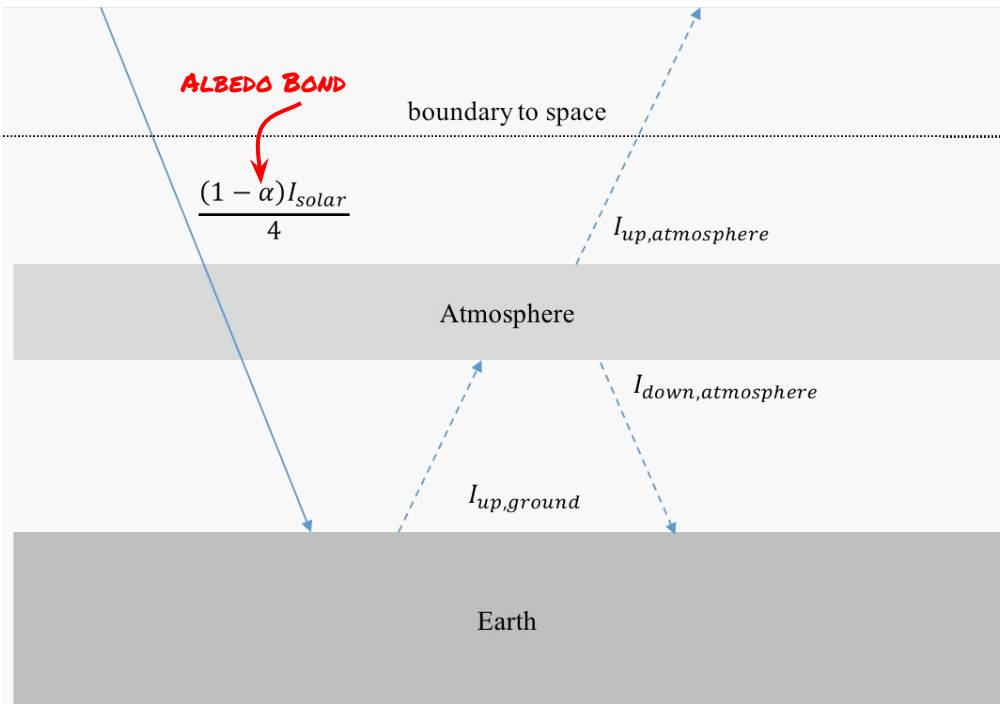
*Modelo atmosférico de capa única*

<https://bit.ly/3B8batR>

# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$



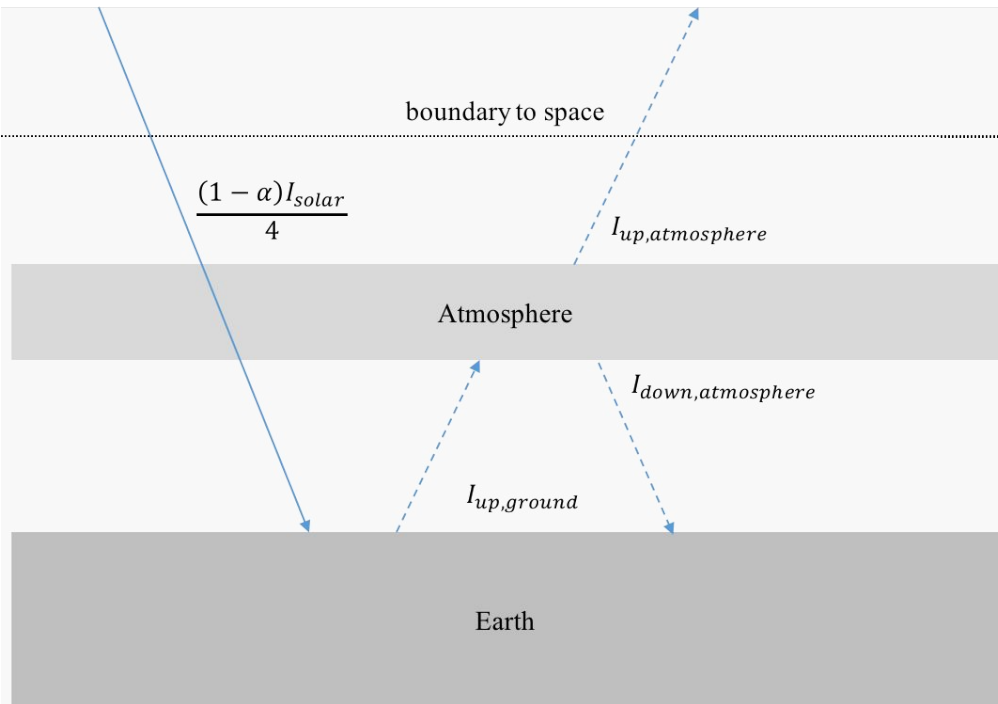
# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$



# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

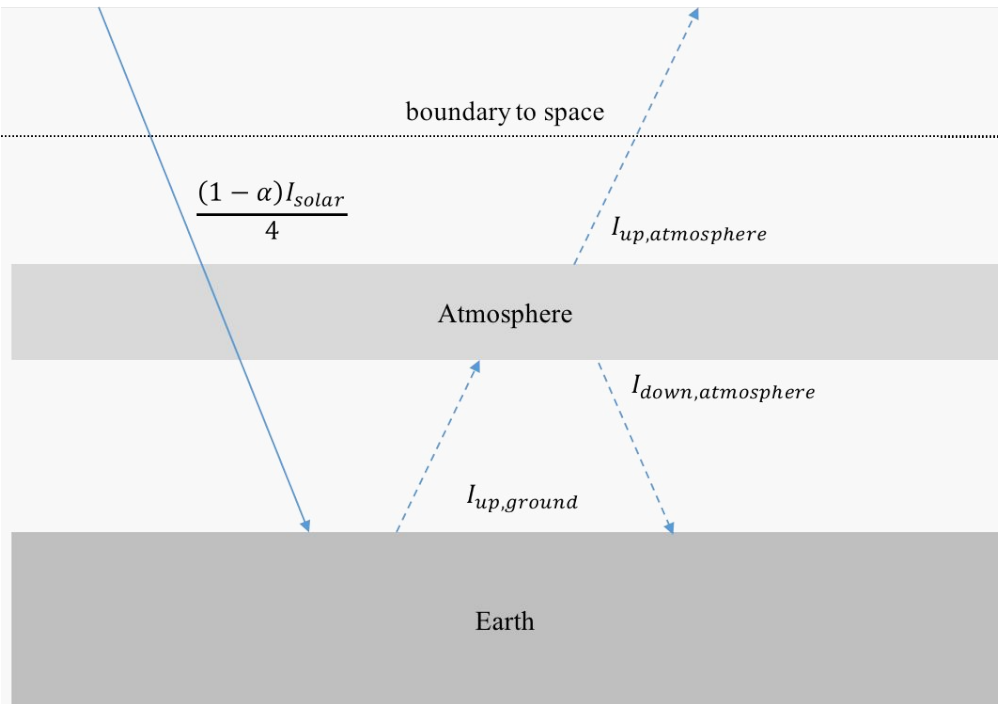
**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

$$I = \sigma T_{eq}^4$$

**LEY DE STEFAN DEL  
CUERPO NEGRO**

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$$



# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

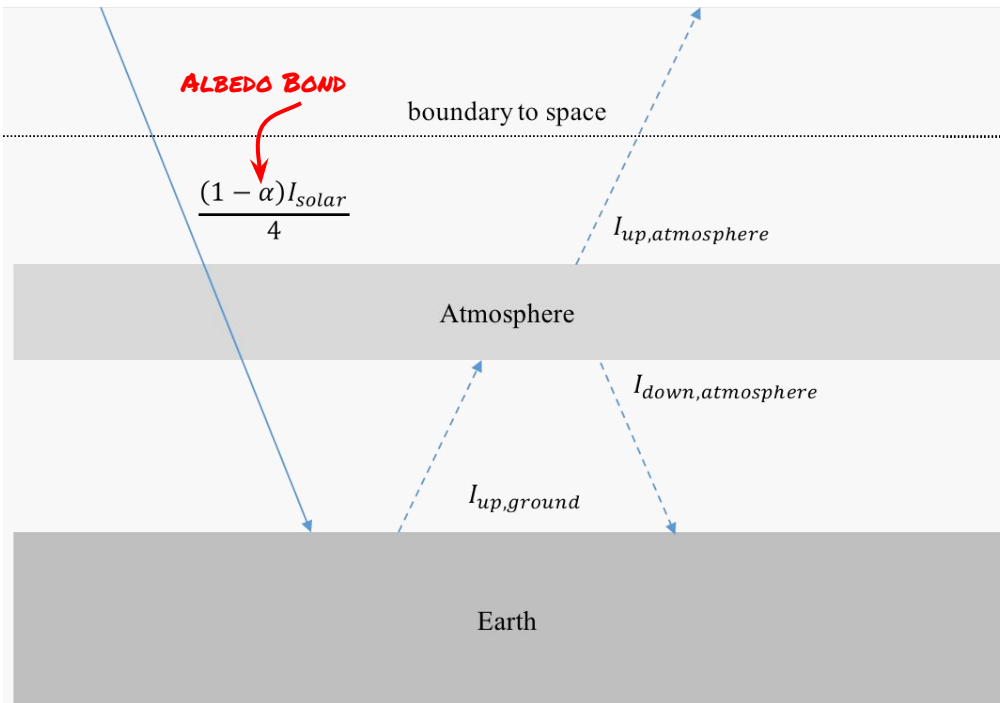
EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

$$I = \sigma T_{eq}^4$$

LEY DE STEFAN DEL  
CUERPO NEGRO

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$$



# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

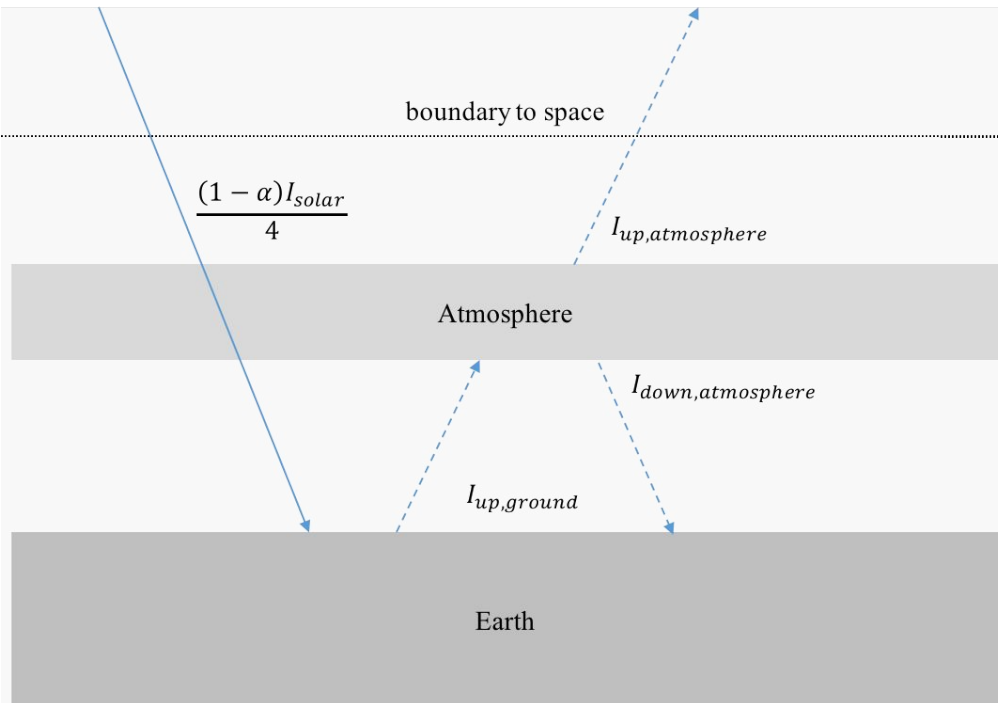
$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

**EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA**

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

**RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA**

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$



# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

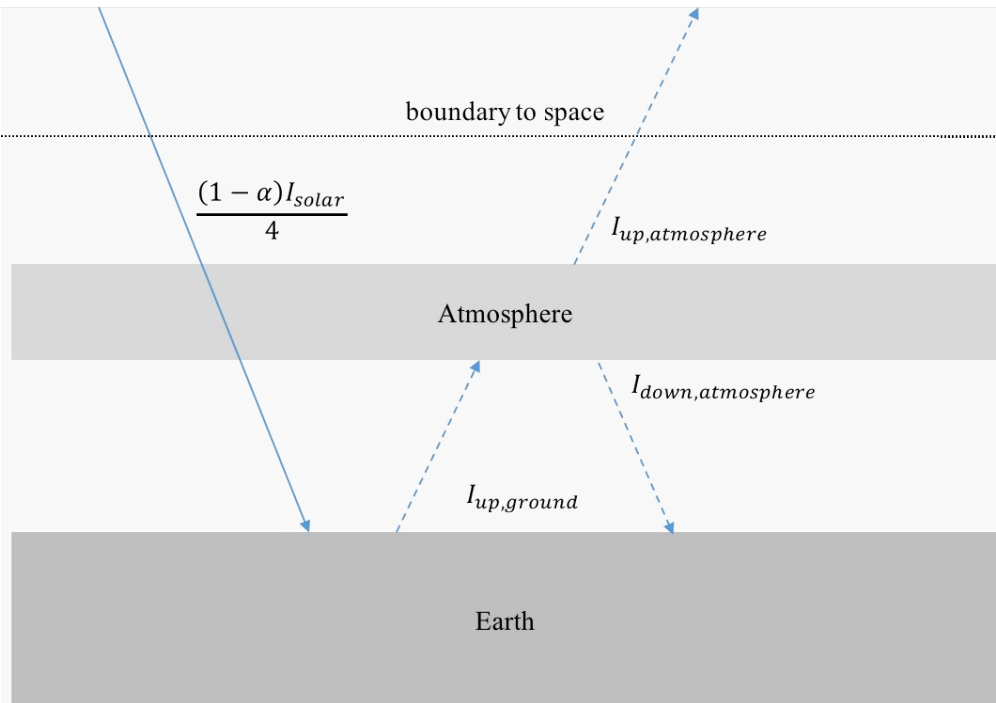
**EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA**

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

**RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA**

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

**LA MISMA ENERGÍA QUE LLEGA DEBE SER LA QUE SALE DE MODO QUE  $T_{atm} = T_{eq}$**



# Balance energético en la atmósfera planetaria

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA

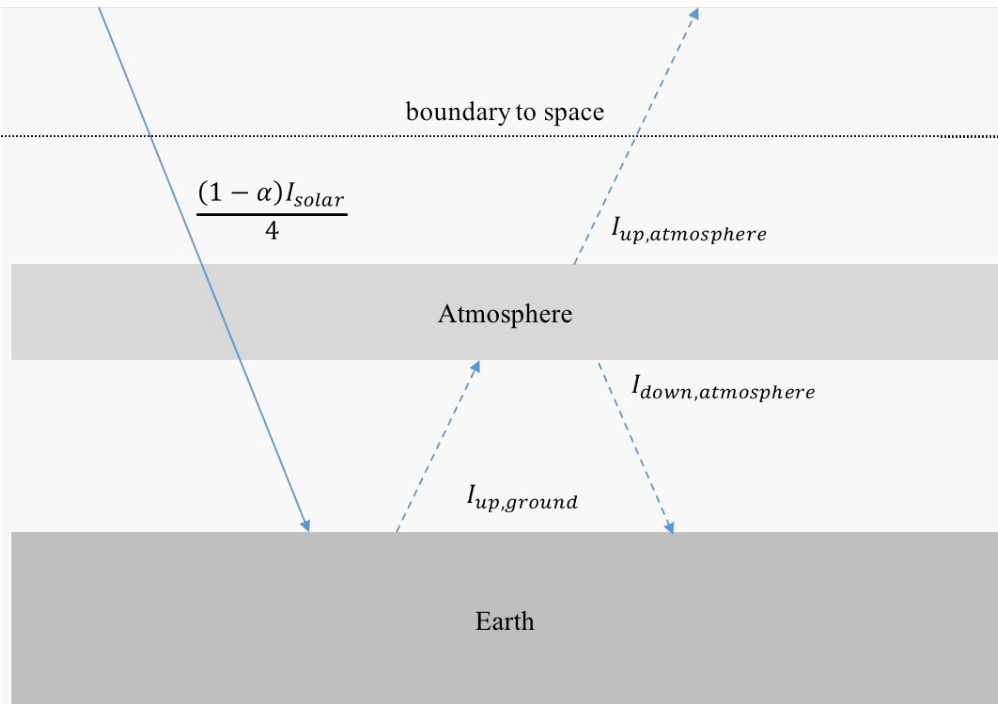
$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

LA MISMA ENERGÍA QUE LLEGA DEBE SER LA QUE  
SALE DE MODO QUE  $T_{atm} = T_{eq}$

Tierra:

$$T_{atm} = 257 \text{ K}, T_{ground} = 2^{1/4} T_{atm} = 305 \text{ K} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

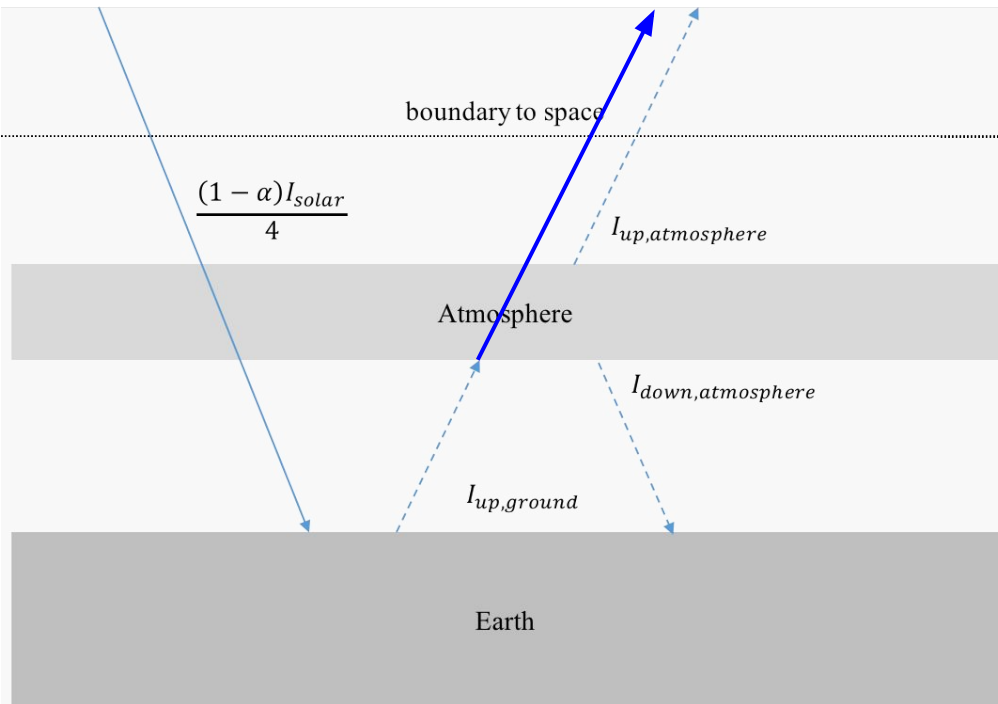
TOO MUCH!





# Balance energético en la atmósfera planetaria

LUZ DEL SUELO TRANSMITIDA POR  
LA ATMÓSFERA  
TRANSMITANCIA  $\tau I_{up,ground}$



## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

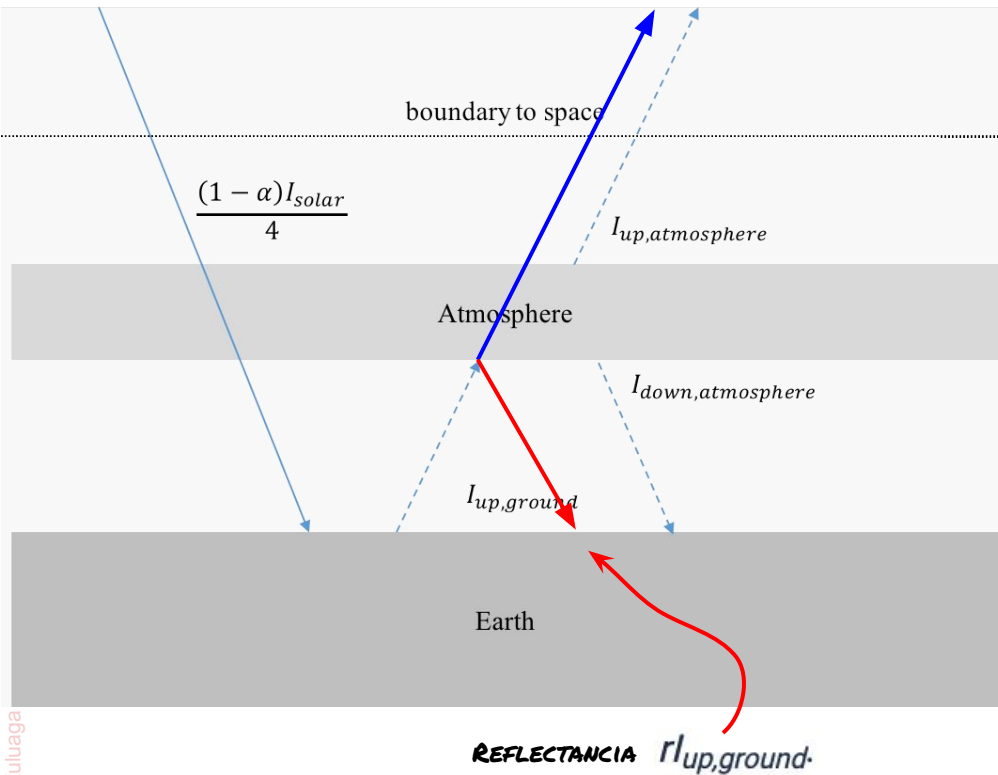
RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES  
TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA

# Balance energético en la atmósfera planetaria

LUZ DEL SUELO TRANSMITIDA POR  
LA ATMÓSFERA  
TRANSMITANCIA  $\tau I_{up,ground}$



REFLECTANCIA  $\tau I_{up,ground}$

LUZ DEL SUELO REFLETADA  
EN LA ATMÓSFERA

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

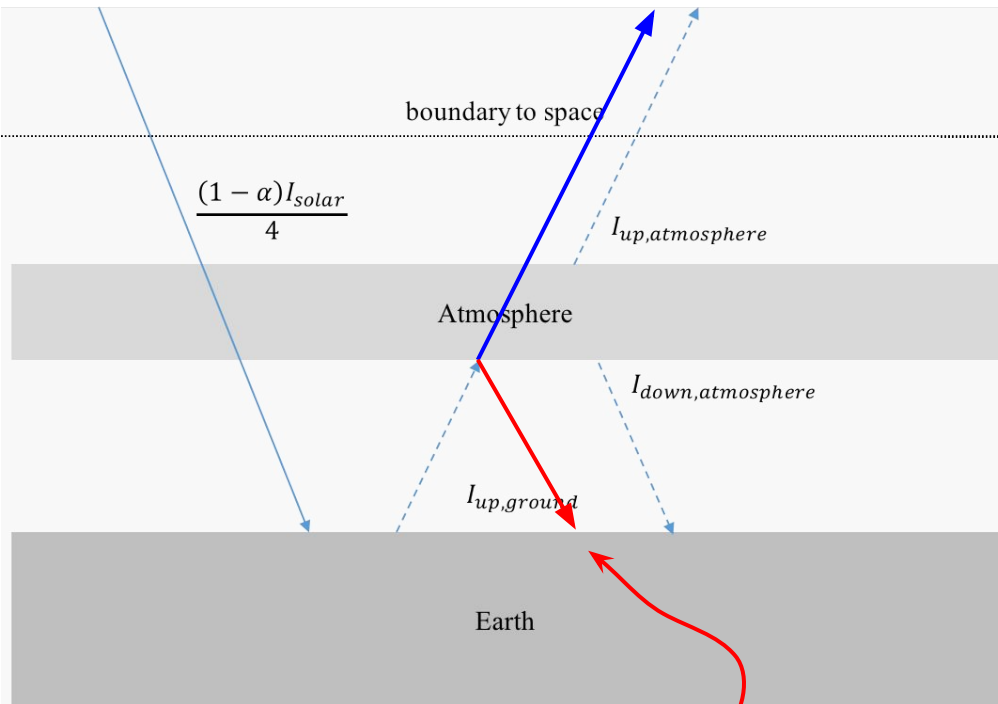
RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES  
TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA

# Balance energético en la atmósfera planetaria

LUZ DEL SUELO TRANSMITIDA POR  
LA ATMÓSFERA  
TRANSMITANCIA  $\tau I_{up,ground}$



REFLECTANCIA  $r I_{up,ground}$

LUZ DEL SUELO REFLETADA  
EN LA ATMÓSFERA

**BALANCE DE ENERGÍA**

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

**EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA**

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

**RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA**

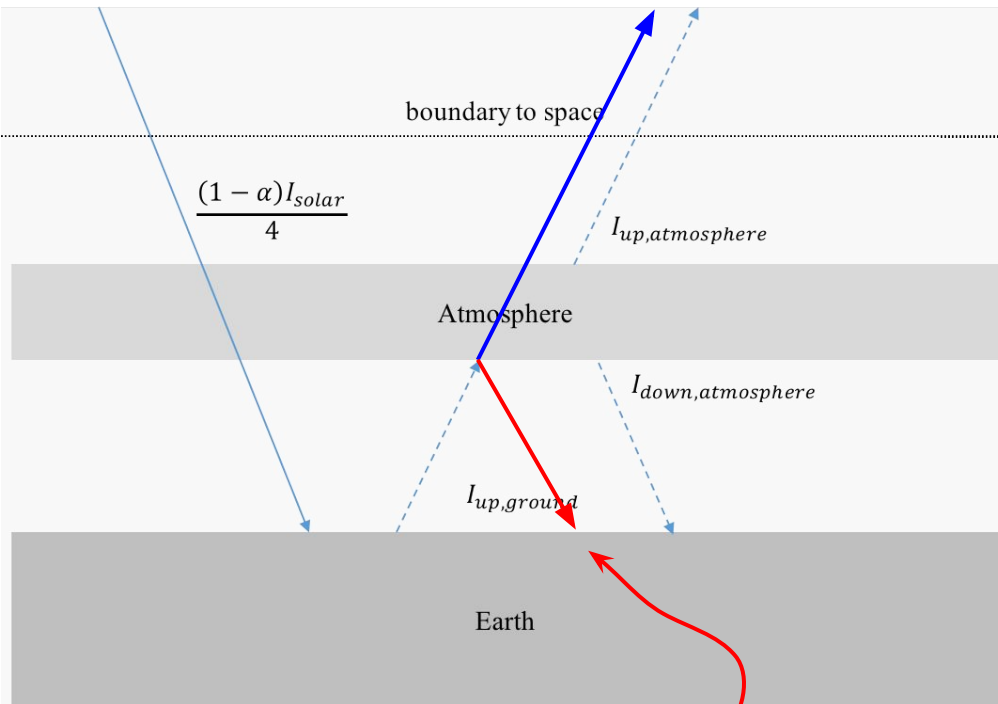
$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

**PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES  
TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA**

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + (r + \tau) \epsilon\sigma T_{ground}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

# Balance energético en la atmósfera planetaria

LUZ DEL SUELO TRANSMITIDA POR  
LA ATMÓSFERA  
TRANSMITANCIA  $\tau I_{up,ground}$



REFLECTANCIA  $rI_{up,ground}$

LUZ DEL SUELO REFLETADA  
EN LA ATMÓSFERA

## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES  
TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA

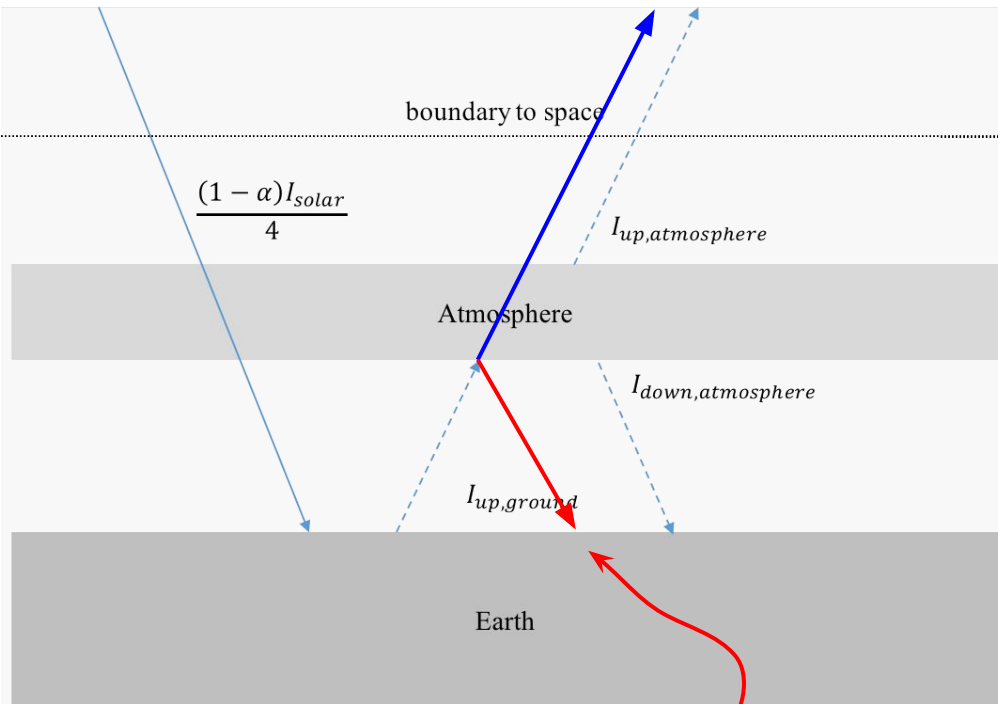
$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + (r + \tau)\epsilon\sigma T_{ground}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

EQUILIBRIO APLICADO AL SUELO

$$I_{up,ground} = I_{in,solar} + I_{down,ground}$$

# Balance energético en la atmósfera planetaria

LUZ DEL SUELO TRANSMITIDA POR  
LA ATMÓSFERA  
TRANSMITANCIA  $\tau I_{up,ground}$



REFLECTANCIA  $r I_{up,ground}$

LUZ DEL SUELO REFLETADA  
EN LA ATMÓSFERA

(Ec. 1)

**BALANCE DE ENERGÍA**

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

**SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO  
PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO**

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

**EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA**

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

**RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA**

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

**PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES  
TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA**

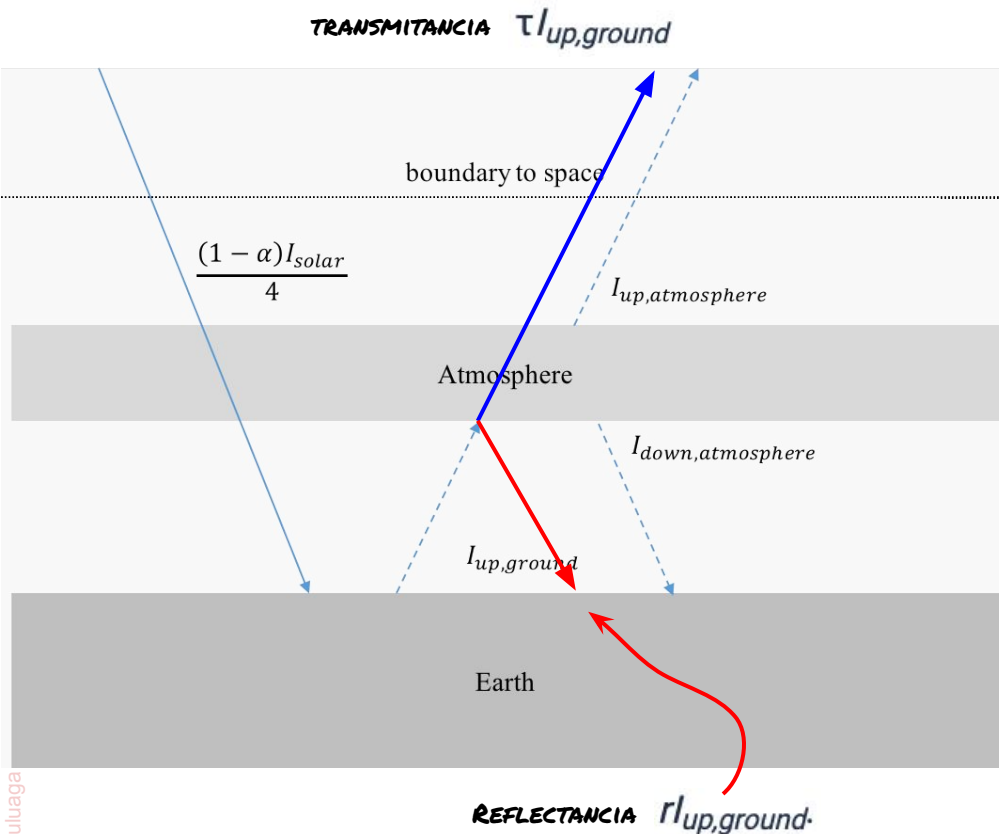
$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + (r + \tau)\epsilon\sigma T_{ground}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

**EQUILIBRIO APLICADO AL SUELO**

$$I_{up,ground} = I_{in,solar} + I_{down,ground}$$

$$(Ec. 2) \quad \epsilon\sigma T_{ground}^4 = \frac{(1-r_{Earth})}{4} I_{solar} + \epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + r\epsilon\sigma T_{ground}^4$$

# Balance energético en la atmósfera planetaria



## BALANCE DE ENERGÍA

$$I_{up,atmosphere} + I_{down,atmosphere} = I_{up,ground}$$

SUPONEMOS QUE LA ATMÓSFERA EMITE LO MISMO PARA ARRIBA COMO PARA ABAJO

$$I_{up,atmosphere} = I_{down,atmosphere}$$

EN TÉRMINOS DE LA TEMPERATURA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

RELACIÓN TEMPERATURA SUELO-ATMÓSFERA

$$T_{ground} = 2^{1/4} T_{atmosphere}$$

PERO EN REALIDAD PARTE DE LA LUZ DEL SUELO ES TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA

$$2\epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + (r + \tau) \epsilon\sigma T_{ground}^4 = \epsilon\sigma T_{ground}^4$$

EQUILIBRIO APLICADO AL SUELO

$$I_{up,ground} = I_{in,solar} + I_{down,ground}$$

$$\epsilon\sigma T_{ground}^4 = \frac{(1-r_{Earth})}{4} I_{solar} + \epsilon\sigma T_{atmosphere}^4 + r\epsilon\sigma T_{ground}^4$$

RESOLVIENDO SIMULTÁNEAMENTE

$$T_{ground} = \left[ \frac{(1 - r_{Earth})}{2(1 - r + \tau) \epsilon \sigma} I_{solar} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$T_{atmosphere} = \left[ \frac{(1 - r - \tau)(1 - r_{Earth})}{4(1 - r + \tau) \epsilon \sigma} I_{solar} \right]^{\frac{1}{4}}$$

## *Balance energético en la atmósfera planetaria*

$r \backslash \tau$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78	274.02	269.63	265.58	261.81
0.2	311.34	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78	274.02	269.63	
0.3	320.65	311.34	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78		
0.4	331.53	320.65	311.34	303.25	296.11	289.74			
0.5	344.56	331.53	320.65	311.34	303.25				
0.6	360.63	344.56	331.53	320.65					
0.7	381.32	360.63	344.56						
0.8	409.75	381.32							
0.9	453.47								

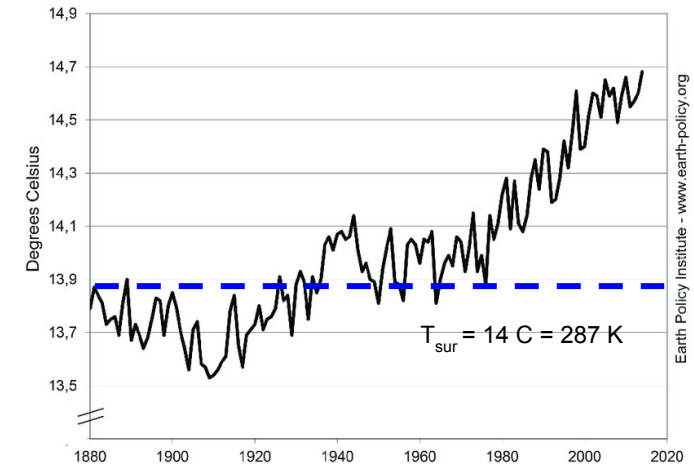
**MENOR TRANSMISIVIDAD Y MAYOR  
REFLECTIVIDAD IMPLICA MAYOR  
TEMPERATURA SUPERFICIAL**



## Balance energético en la atmósfera planetaria

$r \backslash \tau$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78	274.02	269.63	265.58	261.81
0.2	311.34	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78	274.02	269.63	
0.3	320.65	311.34	303.25	296.11	289.74	284.00	278.78		
0.4	331.53	320.65	311.34	303.25	296.11	289.74			
0.5	344.56	331.53	320.65	311.34	303.25				
0.6	360.63	344.56	331.53	320.65					
0.7	381.32	360.63	344.56						
0.8	409.75	381.32							
0.9	453.47								

Average Global Temperature, 1880-2014



*Usando las temperaturas medidas se puede estimar la reflectividad y la transmitancia “efectiva” de la atmósfera*