



- Balance radiante de la Tierra
- Absorción y dispersión. Radiación difusa.
- Masa de aire
- Espectro estándar AM 1.5
- Índice de claridad
- Medidas de irradiancia solar. Instrumentos.
- Incertidumbre en las medidas
- Calibración. Trazabilidad al patrón mundial (WRR).



mezcla gaseosa de mas de  
20 componentes

The Composition of the Atmosphere<sup>a</sup>

Permanent constituents		Variable constituents	
Constituent	% by volume	Constituent	% by volume
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78.084	Water vapor (H <sub>2</sub> O)	0–0.04
Oxygen (O <sub>2</sub> )	20.948	Ozone (O <sub>3</sub> )	0–12 × 10 <sup>-4</sup>
Argon (Ar)	0.934	Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	0.036	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Neon (Ne)	18.18 × 10 <sup>-4</sup>	Ammonia (NH <sub>3</sub> ) <sup>b</sup>	0.004 × 10 <sup>-4</sup>
Helium (He)	5.24 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric oxide (NO) <sup>b</sup>	0.0005 × 10 <sup>-4</sup>
Krypton (Kr)	1.14 × 10 <sup>-4</sup>	Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S) <sup>b</sup>	0.00005 × 10 <sup>-4</sup>
Xenon (Xe)	0.089 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric acid vapor (HNO <sub>3</sub> )	Trace
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0.5 × 10 <sup>-4</sup>	Chlorofluorocarbons	Trace
Methane (CH <sub>4</sub> )	1.7 × 10 <sup>-4</sup>	(CFCl <sub>3</sub> , CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O) <sup>b</sup>	0.3 × 10 <sup>-4</sup>	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> , CCl <sub>4</sub> , etc.)	
Carbon monoxide (CO) <sup>b</sup>	0.08 × 10 <sup>-4</sup>		

<sup>a</sup> After the U.S. Standard Atmosphere (1976) with modifications.

<sup>b</sup> Concentration near the earth's surface.

Fuente: Liou, An introduction to atmospheric radiation



The Composition of the Atmosphere<sup>a</sup>

Permanent constituents		Variable constituents	
Constituent	% by volume	Constituent	% by volume
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78.084	Water vapor (H <sub>2</sub> O)	0–0.04
Oxygen (O <sub>2</sub> )	20.948	Ozone (O <sub>3</sub> )	0–12 × 10 <sup>-4</sup>
Argon (Ar)	0.934	Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	0.036	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Neon (Ne)	18.18 × 10 <sup>-4</sup>	Ammonia (NH <sub>3</sub> ) <sup>b</sup>	0.004 × 10 <sup>-4</sup>
Helium (He)	5.24 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric oxide (NO) <sup>b</sup>	0.0005 × 10 <sup>-4</sup>
Krypton (Kr)	1.14 × 10 <sup>-4</sup>	Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S) <sup>b</sup>	0.00005 × 10 <sup>-4</sup>
Xenon (Xe)	0.089 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric acid vapor (HNO <sub>3</sub> )	Trace
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0.5 × 10 <sup>-4</sup>	Chlorofluorocarbons	Trace
Methane (CH <sub>4</sub> )	1.7 × 10 <sup>-4</sup>	(CFCl <sub>3</sub> , CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O) <sup>b</sup>	0.3 × 10 <sup>-4</sup>	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> , CCl <sub>4</sub> , etc.)	
Carbon monoxide (CO) <sup>b</sup>	0.08 × 10 <sup>-4</sup>		

<sup>a</sup> After the U.S. Standard Atmosphere (1976) with modifications.

<sup>b</sup> Concentration near the earth's surface.

Fuente: Liou, An introduction to atmospheric radiation



The Composition of the Atmosphere<sup>a</sup>

0.034%

Permanent constituents		Variable constituents	
Constituent	% by volume	Constituent	% by volume
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78.084	Water vapor (H <sub>2</sub> O)	0–0.04
Oxygen (O <sub>2</sub> )	20.948	Ozone (O <sub>3</sub> )	0–12 × 10 <sup>-4</sup>
Argon (Ar)	0.934	Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	0.036	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	0.001 × 10 <sup>-4</sup>
Neon (Ne)	18.18 × 10 <sup>-4</sup>	Ammonia (NH <sub>3</sub> ) <sup>b</sup>	0.004 × 10 <sup>-4</sup>
Helium (He)	5.24 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric oxide (NO) <sup>b</sup>	0.0005 × 10 <sup>-4</sup>
Krypton (Kr)	1.14 × 10 <sup>-4</sup>	Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S) <sup>b</sup>	0.00005 × 10 <sup>-4</sup>
Xenon (Xe)	0.089 × 10 <sup>-4</sup>	Nitric acid vapor (HNO <sub>3</sub> )	Trace
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0.5 × 10 <sup>-4</sup>	Chlorofluorocarbons	Trace
Methane (CH <sub>4</sub> )	1.7 × 10 <sup>-4</sup>	(CFCl <sub>3</sub> , CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O) <sup>b</sup>	0.3 × 10 <sup>-4</sup>	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> , CCl <sub>4</sub> , etc.)	
Carbon monoxide (CO) <sup>b</sup>	0.08 × 10 <sup>-4</sup>	aerosoles varios	

crece a 0.4%/año !

crece 1-2%/año !

<sup>a</sup> After the U.S. Standard Atmosphere (1976) with modifications.

<sup>b</sup> Concentration near the earth's surface.

de especial importancia en el balance radiante

Fuente: Liou, An introduction to atmospheric radiation



Aerosoles de origen antropogénico  
(principalmente quema de Carbón)  
Beijing, China, invierno

además, causan graves perjuicios  
a la salud humana

También existen aerosoles de  
origen natural (volcanes,  
tormentas de polvo, incendios  
forestales).

Tamaños muy variables:  
entre 20 nm y 20 micras

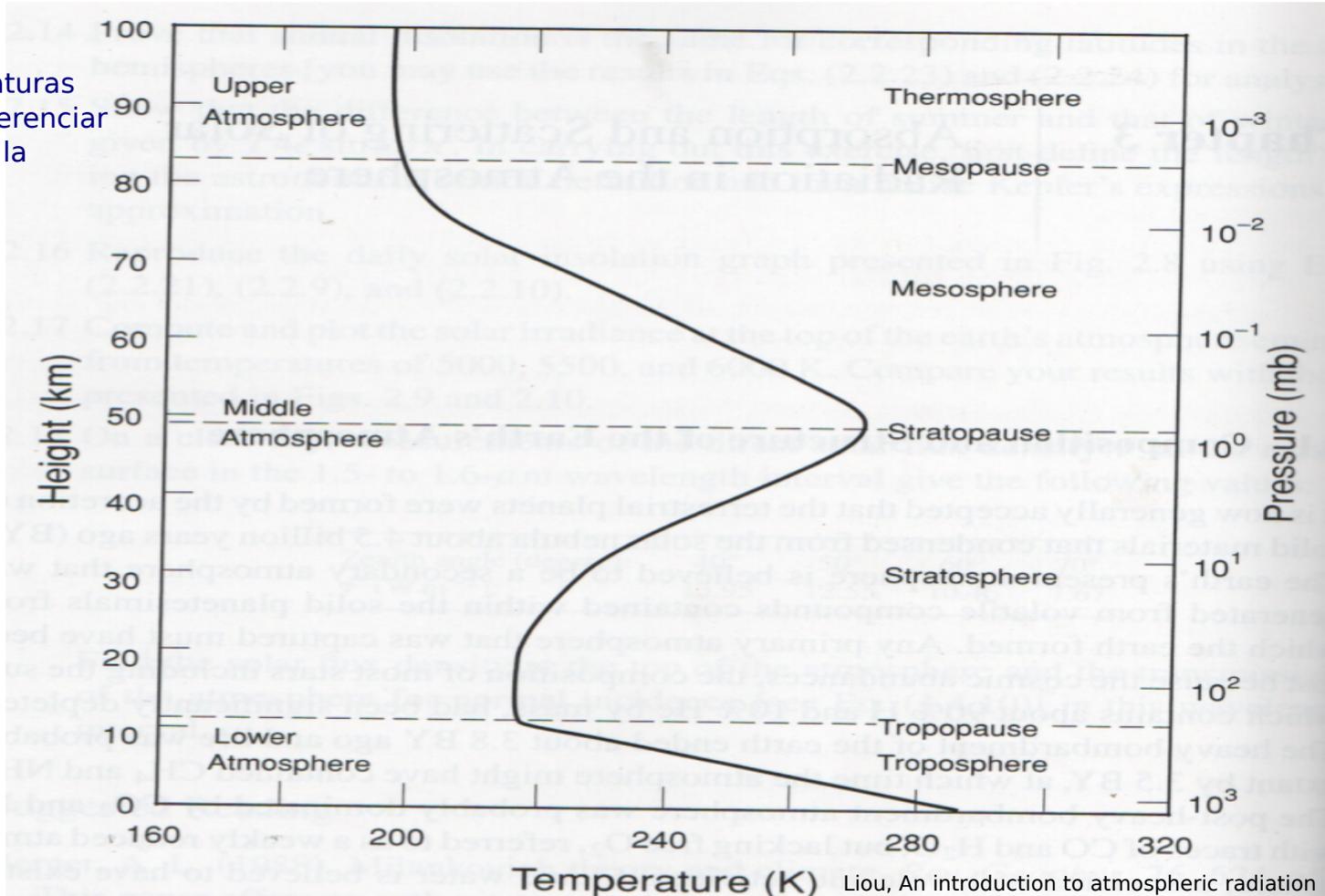


Más imágenes:

<http://thebricspost.com/beijings-environmental-police-force-to-begin-work/>



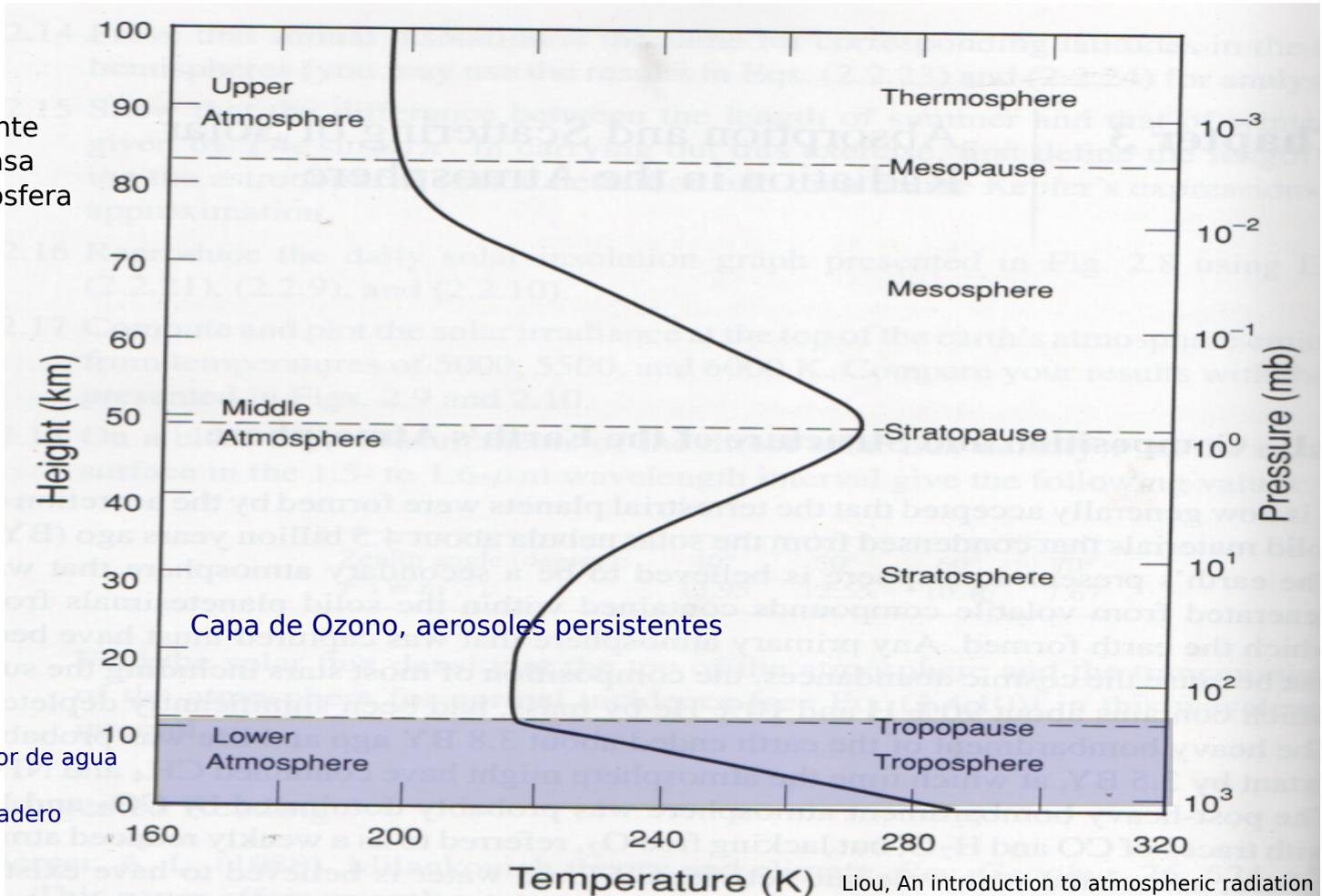
El perfil de temperaturas permite diferenciar 4 capas en la atmósfera



Liou, An introduction to atmospheric radiation



casi todo lo importante para RS pasa en la Tropósfera



nubes  
90 % del vapor de agua  
precipitación  
efecto invernadero

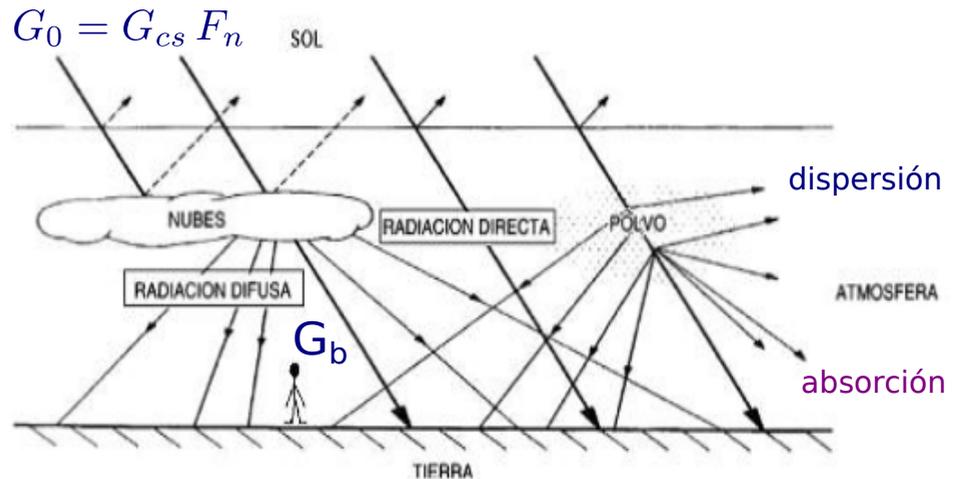
Liou, An introduction to atmospheric radiation

Dos componentes de la irradiancia sobre un plano horizontal:

$$G_h = G_b \cos \theta_z + G_{dh}$$

global horizontal      directa horizontal      difusa horizontal

**Norma ISO 9488:1999**  
**Energía Solar - vocabulario**  
Regula y unifica la nomenclatura en el tema.

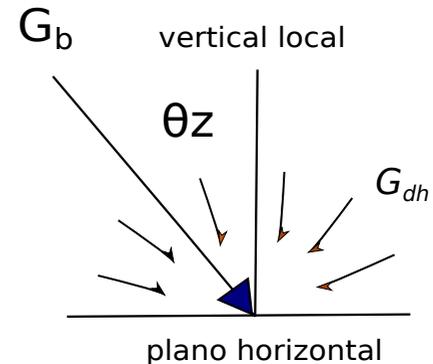


**irradiancia solar global o hemisférica:**  $G$   
irradiancia incidente en un plano dado, proveniente de un ángulo sólido de  $2\pi$  sobre la superficie.

**irradiancia solar global horizontal:**  $G_h$   
irradiancia solar hemisférica sobre un plano horizontal

**irradiancia solar difusa:**  $G_d$   
irradiancia hemisférica global menos irradiancia directa.

**irradiancia solar directa:**  $G_b$   
irradiancia solar recibida en un plano normal a la línea Tierra-Sol desde un pequeño ángulo sólido en torno a la línea Tierra Sol.





El recorrido en la atmósfera es oblicuo y se cumple:

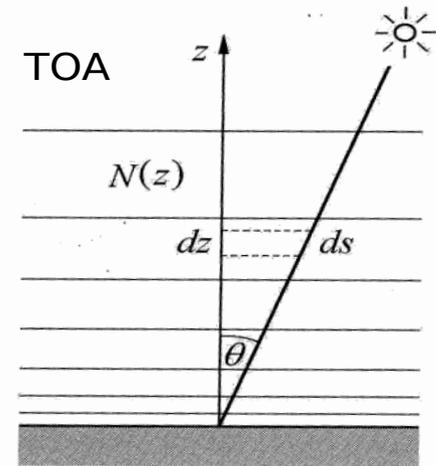
$$ds = \frac{dz}{\cos \theta_z} = m dz$$

La **masa de aire** es el cociente entre el recorrido real y el recorrido vertical

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (\theta_z < 70^\circ)$$

Puede interpretarse como la cantidad de atmósferas equivalentes si fueran recorridas en forma vertical. Varía entre 1 y 30.

Cuando  $\theta_z \rightarrow 90^\circ$  los efectos de la curvatura terrestre y la refracción deben tenerse en cuenta para evitar la divergencia matemática.



masa de aire



## Expresión de Kasten y Young para la masa de aire corregida

$$m = \frac{\exp(-0.1184 h)}{\cos \theta_z + 0.5057(96.080 - \theta_z)^{1.634}}$$

F. Kasten and A. Young. Revised optical air mass tables and approximation formula. Applied Optics, 28:4735, 1989.

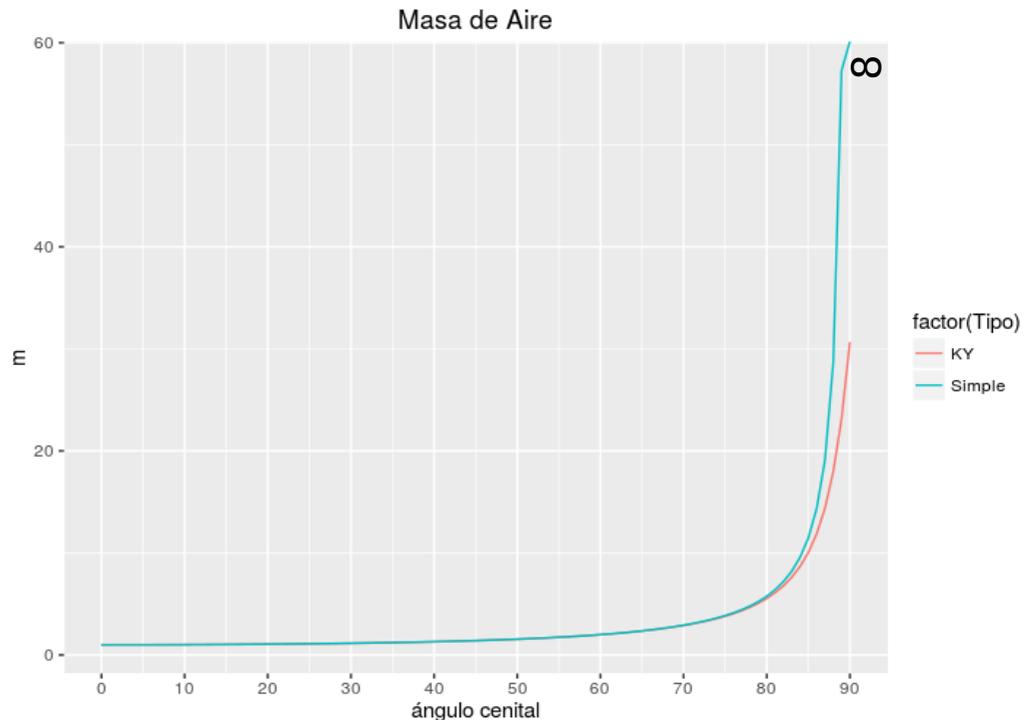
$h$  = altura del observador, snm, en km

ángulo cenital en grados

La diferencia con

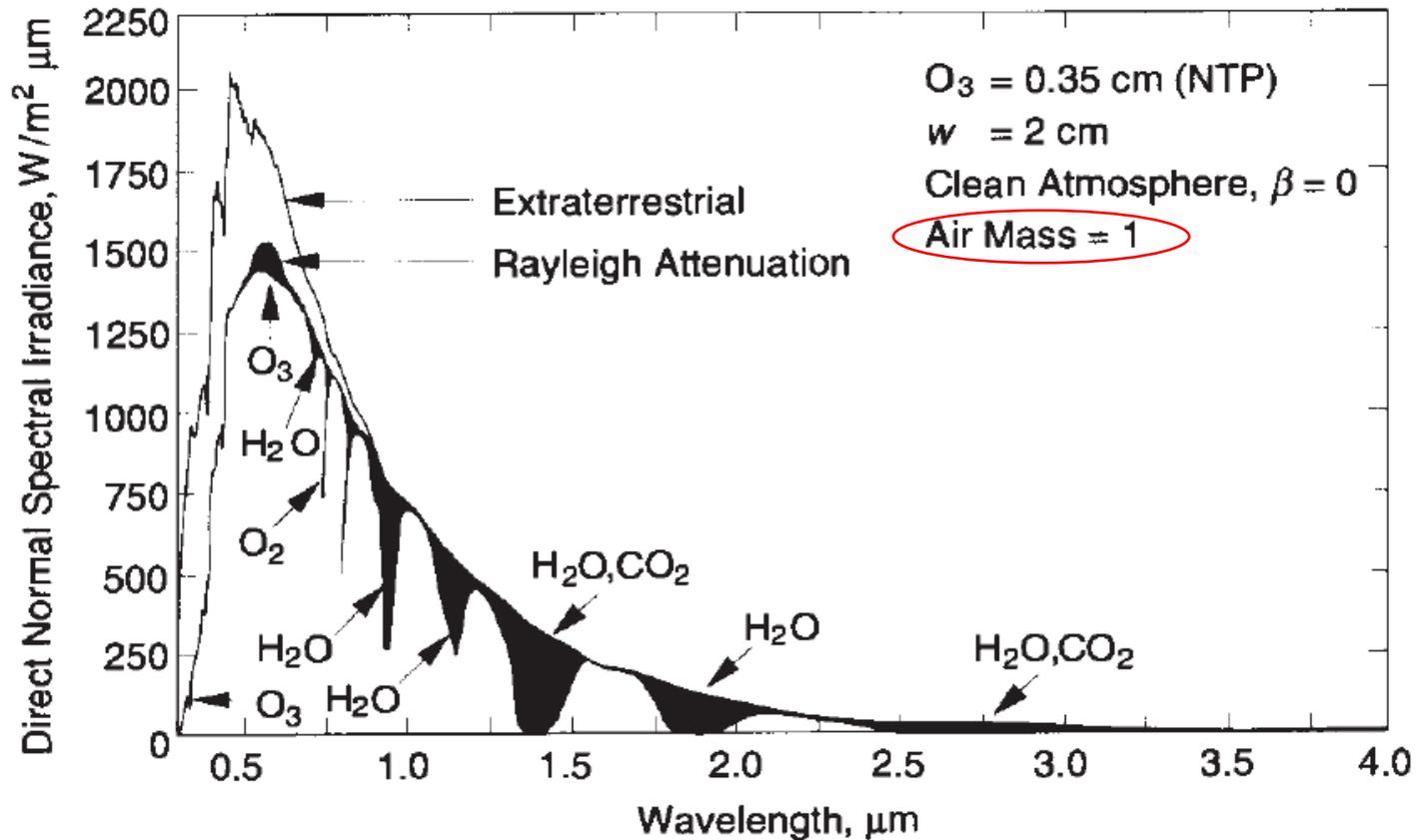
$$m = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

se aprecia a ángulos cenitales elevados.



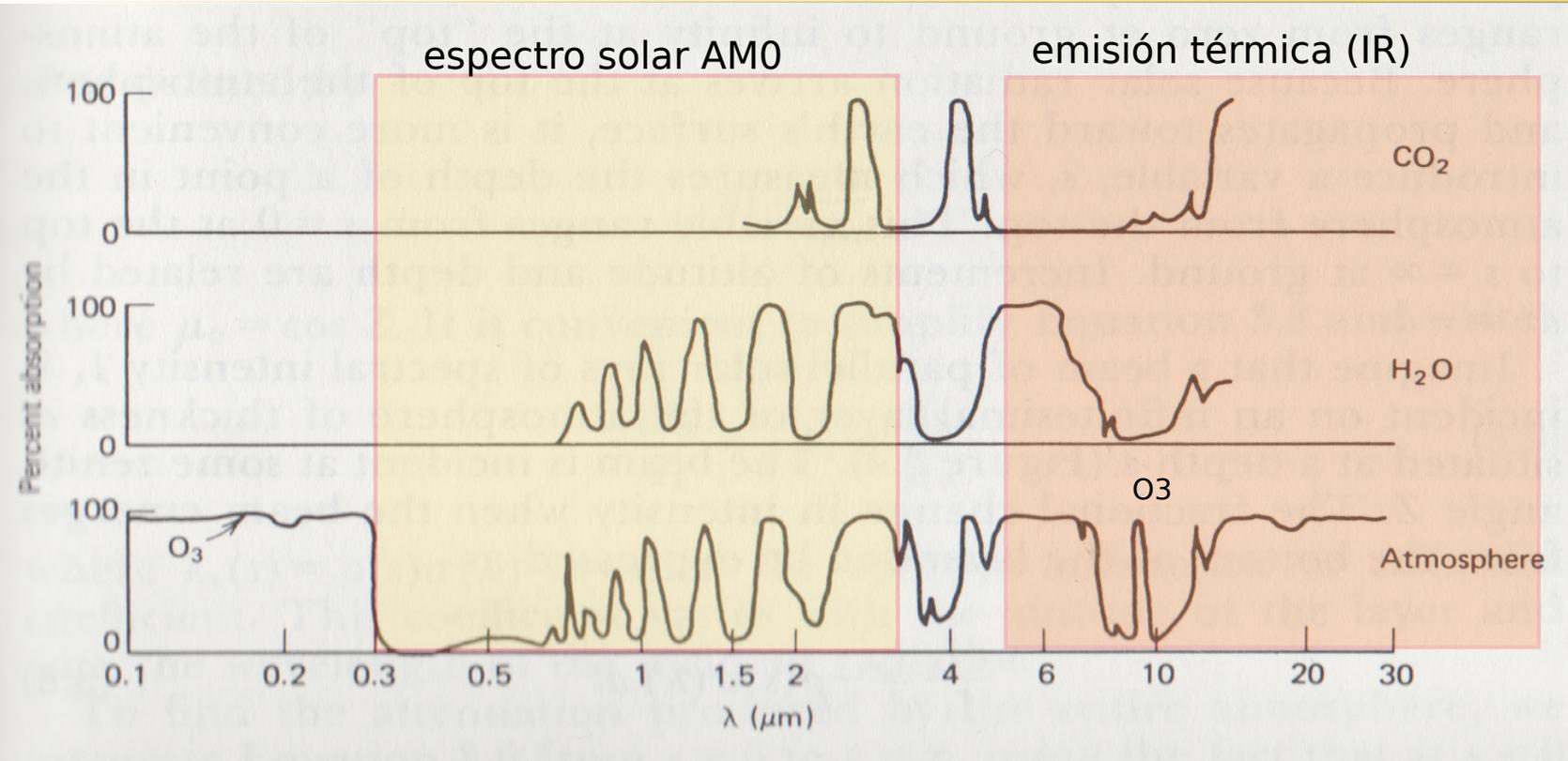


# Atenuación típica por dispersión y absorción

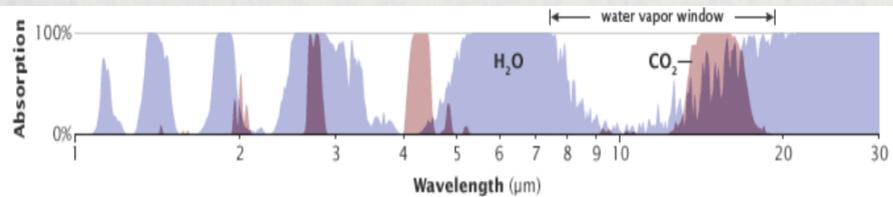


incidencia normal, sin aerosoles

Fuente: Duffie & Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes

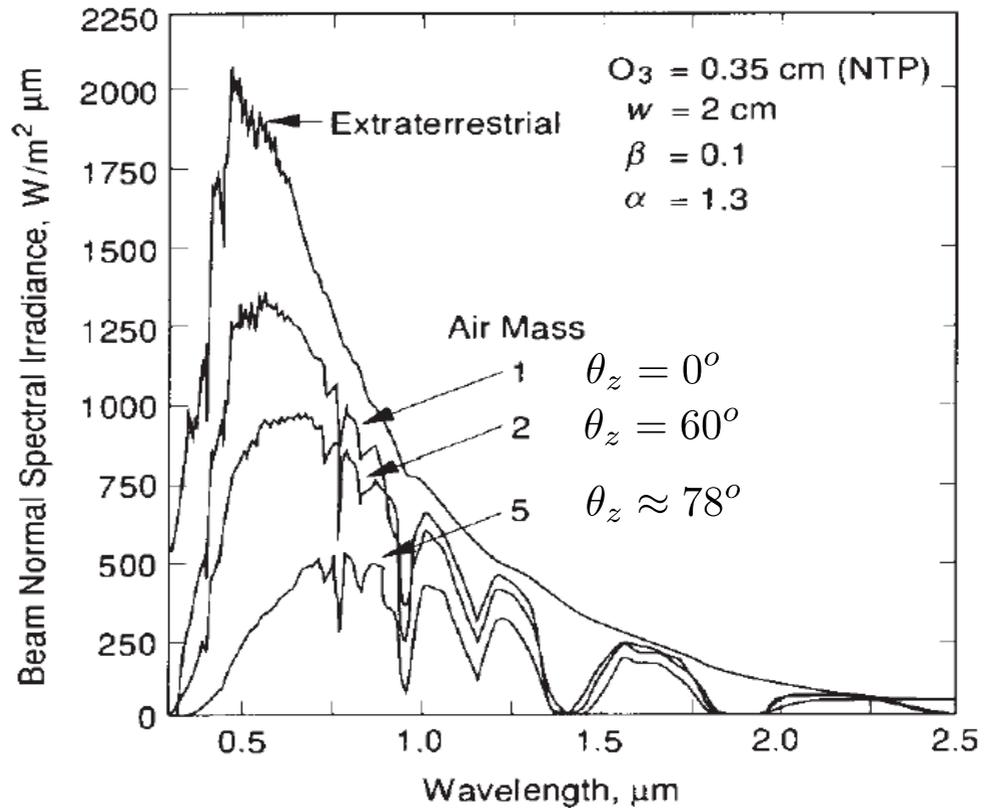


Fuente:  
S. Weider. An introduction to Solar Energy  
for Scientists and Engineers. Krieger, 1992.





En este caso hay algunos pocos aerosoles presentes



Fuente: Duffie & Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes



# Espectro estándar AM 1.5 (ASTM G173)

Terrestrial Reference Spectra for Photovoltaic Performance Evaluation  
Disponibile libre en <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>

