

RADIACION SOLAR (ONDA CORTA)

Energía solar proviene de fusión atómica: $4H \rightarrow He + \text{energía (radiación + partículas)}$.

- Espectro de radiación solar (~cuerpo negro a ~ 6000 °K). Movimiento de la tierra en torno al sol según leyes de Kepler. Eclíptica. Plano del ecuador a 23,5 ° de la eclíptica. (estaciones del año): equinoccios y solsticios. Perihelio y afelio actual ($\pm 3.5\%$). Parámetros orbitales: excentricidad eclíptica, inclinación del eje de rotación de la tierra, precesión (cabeceo del eje de rotación) (Milankovitch). Luminancia solar vs. Manchas solares.
- *Constante solar (CS)*: Densidad de flujo radiante solar en una superficie perpendicular a rayos solares a la distancia media sol-tierra (1 UA) antes de penetrar en la atmósfera terrestre: $CS = 1368 \pm 10 \text{ Wm}^{-2}$. Para una distancia cualquiera (d), esta densidad de flujo radiante vale $CS' = CS (d/d_m)^2$. En promedio de la densidad de flujo incidente sobre un m^2 perpendicular a la superficie terrestre = $CS \pi R_a^2 / 4\pi R_a^2$. (Figura 3.3)

- *Efecto general de la atmósfera sobre la radiación solar incidente en su tope:*

| | Región Espectral | | |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|
| | U. V. | Visible | I. R. cercano |
| Banda [μm] | 0.3 - 0.4 | 0.4 - 0.7 | 0.7 - 3.0 |
| Efecto principal | absorción | dispersión Rayleigh | absorción |
| Elementos Responsables | Ozono | Moléculas de aire | H ₂ O y CO ₂ |
| % de energía en superficie terrestre | 3 | 50 | 47 |

- **Declinación solar δ** : Es igual a la latitud geográfica φ en que el sol de mediodía cae verticalmente sobre ese lugar. En un día cualquiera del año, aproximadamente:

$$\delta = 23.45^\circ \cos\left(\frac{2\pi(d - d_{sv})}{365.25}\right)$$

donde d es el día juliano (0-365/366) para el cual se calcula la declinación solar y d_{sv} es el día juliano del solsticio de verano para el hemisferio norte ($d_{sv} = \sim 173$).

- **Angulo cenital χ** : En un lugar geográfico dado por su latitud; φ para un día del año con declinación solar δ y a una hora del día expresada a través del ángulo horario h , el ángulo cenital se calcula mediante la expresión:

$$\cos \chi = \text{sen} \varphi \text{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cosh$$

en que h está expresado en radianes (24 horas = 360 grados = 2π radianes):

$$h = \frac{2\pi}{24}(\text{hora}_{UTC} - 12) - \lambda \frac{2\pi}{360} = \frac{\pi}{12} \left((\text{hora}_{UTC} - 12) - \frac{\lambda}{15} \right)$$

en que hora UTC es la hora del meridiano 0 (Greenwich) y λ es la longitud geográfica del meridiano local, positivo hacia el W (ej.: Santiago $\lambda = + 70.5$ (W) $\pi/180$ [radianes]). Verifique que a **mediodía solar** (paso del sol por el meridiano local) $h = 0$

- **Radiación solar global G (OC_{\downarrow})** Es la densidad de flujo radiante solar que incide sobre un plano horizontal: $G = DIRECTA$ (disco solar) + $DIFUSA$ (hemisferio excluyendo disco solar). La proporción $DIFUSA/DIRECTA$ depende de: elevación solar, altitud, nubosidad, dispersión y absorción en gases y aerosoles. Valor típico entre 0.10 y 0.25 para días despejados.
- **Insolación diaria: (ID)** Integral de $G(t)$ entre las horas de salida y puesta del sol (que se calculan tomando $\chi = \pm \pi/2$).
- **Albedo superficial (a^*):** Es la reflectividad de una superficie horizontal a la radiación solar: $OC_{\uparrow}/OC_{\downarrow}$. Valores típicos: nieve fresca (0.75-0.95), arena seca (0.35-0.45), concreto (0.17-0.27), asfalto (0.05-0.10), desierto (0.25-0.30), selva (0.05-0.20), cultivos (0.15-0.25), mar (0.02-0.10). Radiación absorbida en la superficie: $OC_{\downarrow}(1-a^*)$
- **Albedo planetario (a^{**}):** tierra (0.30), luna (0.10), venus (0.80), marte (0.16).
- **Transmisividad neta = τ_N :** Aplicando la **ley de Beer** a una atmósfera homogénea en la que incide verticalmente $CS' \cos \chi$, la atenuación de la radiación por reflexión (nubes), absorción (UV e IR cercano) y dispersión (visible) en la atmósfera, se puede representar mediante una "absorción equivalente" con un coeficiente de absorción K independiente de la altura y de la longitud de onda. La energía solar que alcanza la superficie por unidad de área y de tiempo OC_{\downarrow} se puede expresar como:

$$OC_{\downarrow} = CS' \cos \chi \exp(-K \bar{\rho} z_T) = CS' \cos \chi T_N$$

donde $\bar{\rho}$ es la densidad media del gas absorbente y z_T es el espesor efectivo de la atmósfera.

τ_N de la atmósfera se puede estimar mediante expresiones empíricas que incluyen la fracción de cielo con nubosidad alta (f_{sH}), media (f_{sM}) y baja (f_{sL}) (e.g. Stull, 1998):

$$T_N = (0.6 + 0.2 * \cos \chi) (1 - 0.4 * f_{sH}) (1 - 0.7 * f_{sM}) (1 - 0.4 * f_{sL})$$

- **Medición de OC_{\downarrow} :** mediante un **piranómetro** donde la diferencia de temperatura entre los sectores negros (~ 100 % absorbentes) y los blancos (~ 100 % reflectantes) obtenida de termocuplas en serie resulta proporcional a OC_{\downarrow} . La radiación solar difusa se mide con el mismo instrumento al que se adiciona una huincha en el plano ecuatorial que oculta el disco solar sobre el instrumento. **Buenas mediciones = irremplazables**

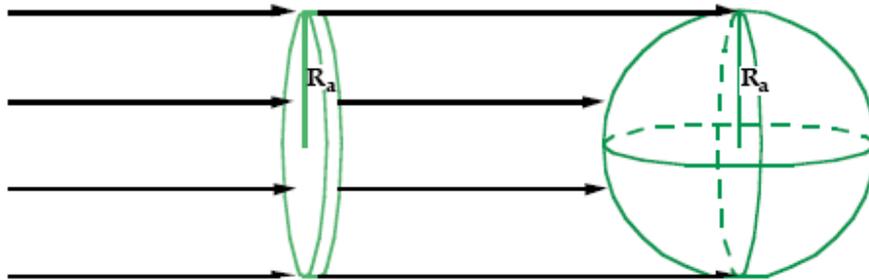


Figura 3.3 Con el sol a una gran distancia a la izquierda de la Figura (rayos paralelos), el disco intercepta la misma cantidad de radiación solar que la cara iluminada de la tierra (radio R_e). Si α^{**} es el albedo planetario, la tierra absorbe $CS (1 - \alpha^{**}) \pi R_e^2$. Para un clima estable, sobre un largo período de tiempo, la tierra debe emitir la misma cantidad de energía: $CS (1 - \alpha^{**}) \pi R_e^2 = \alpha T_e^4 4 \pi R_e^2$; en que T_e es la "temperatura equivalente de cuerpo negro" de la tierra. En *promedio* cada metro cuadrado de la superficie terrestre recibirá $CS/4 \sim 340 \text{ W}$

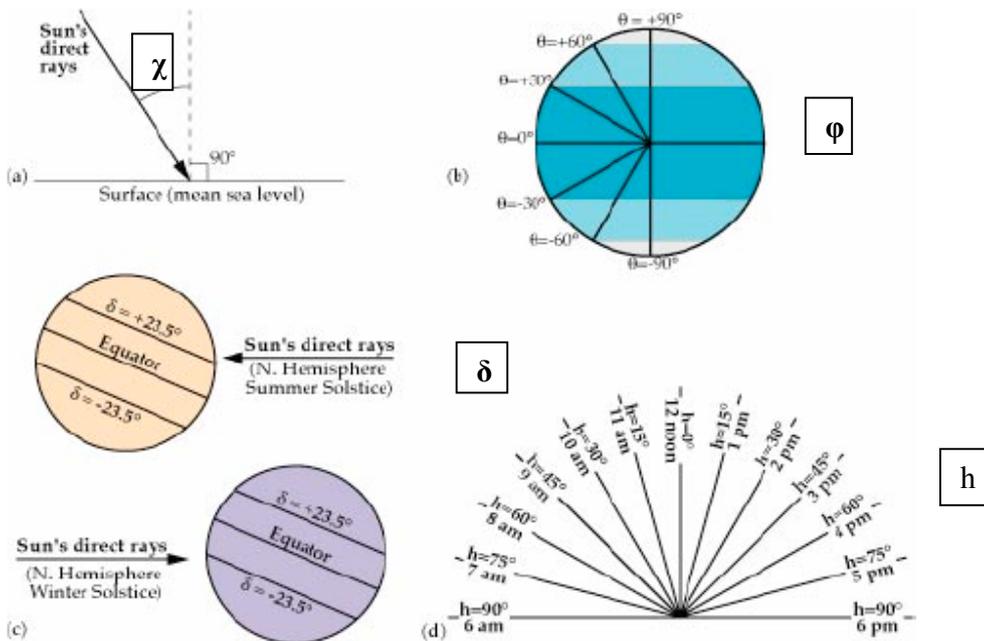


Figura 3.4 Definición de ángulos en la expresión $\cos \chi = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cosh$