

trigonometría de radiación solar

GF3003

Primavera 2009

Martín Jacques Coper
mjacques@ing.uchile.cl

links

traslación y rotación:

http://www.mesoscale.iastate.edu/agron206/animations/01_EarthSun.html

rotación y duración del día:

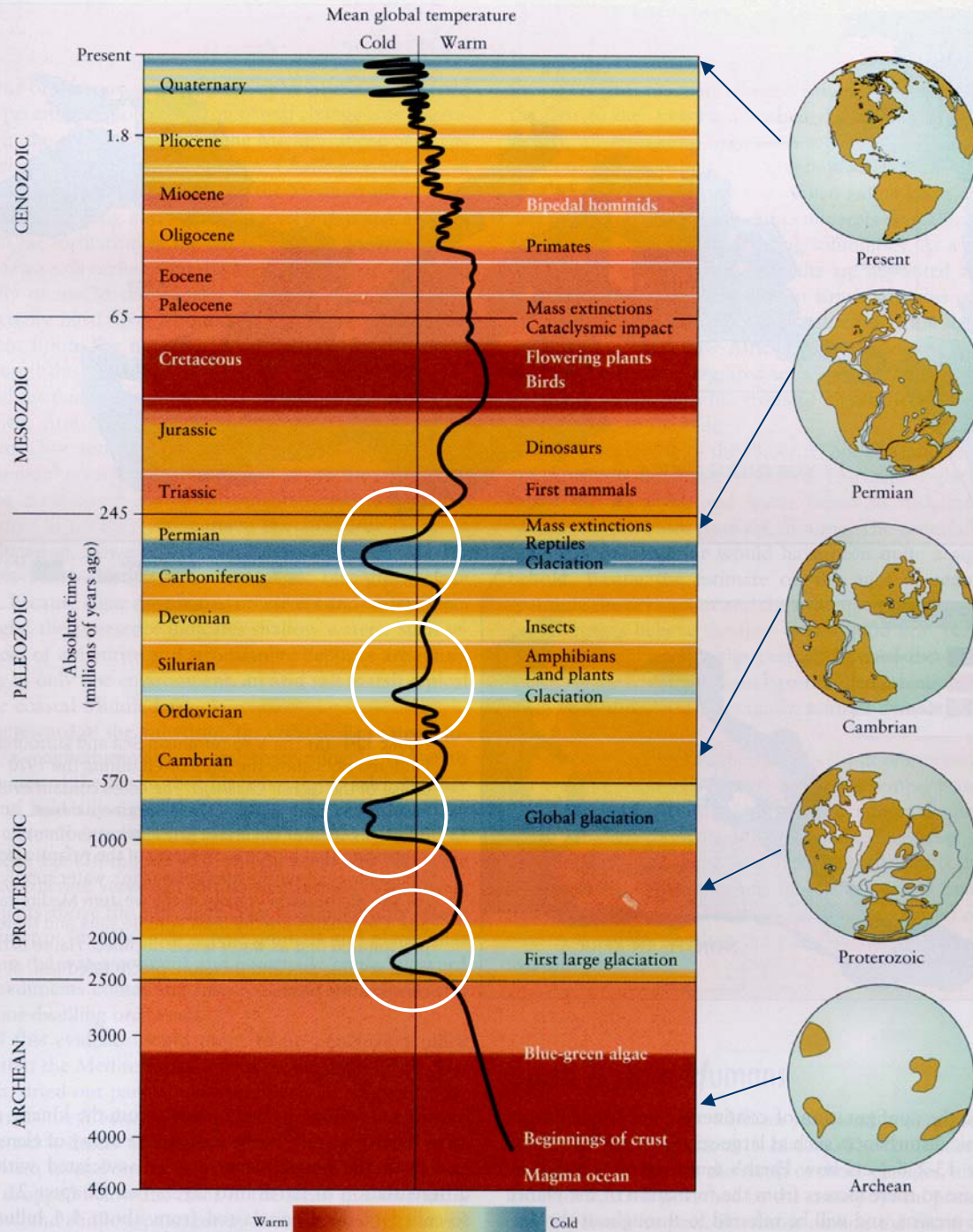
<http://www.cs.sbccc.cc.ca.us/~physics/flash/LengthofDay.swf>

ciclos radiativos:

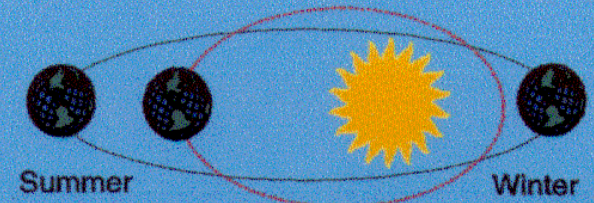
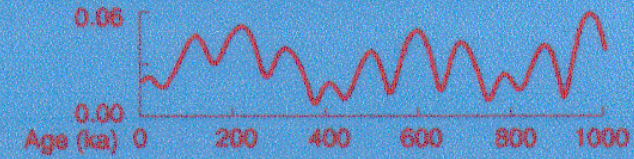
http://geography.uoregon.edu/envchange/clim_animations/index.html#Global%20Energy%20Balance

ciclos de Milankovitch:

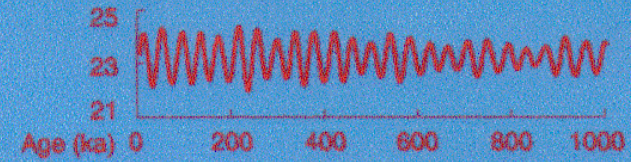
<http://cimss.ssec.wisc.edu/wxfest/Milankovitch/earthorbit.html>



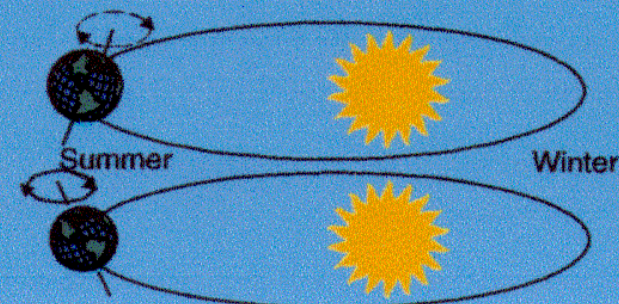
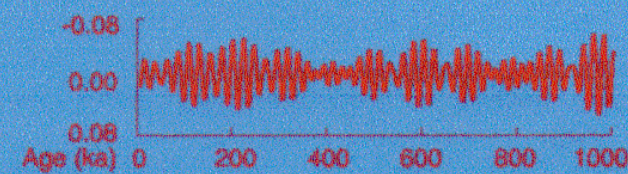
A Eccentricity: 400 ka and 100 ka

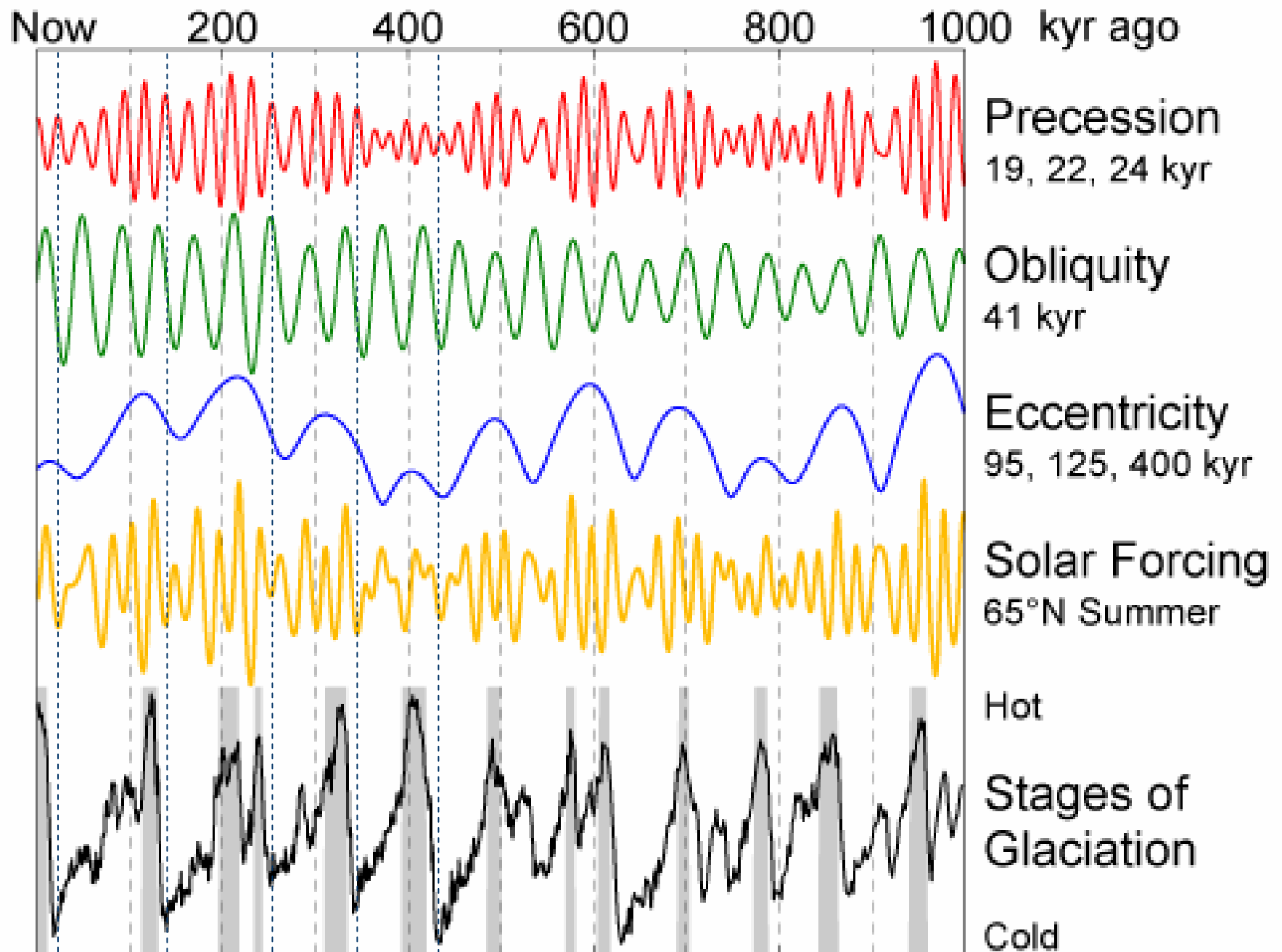


B Obliquity: 41 kyr



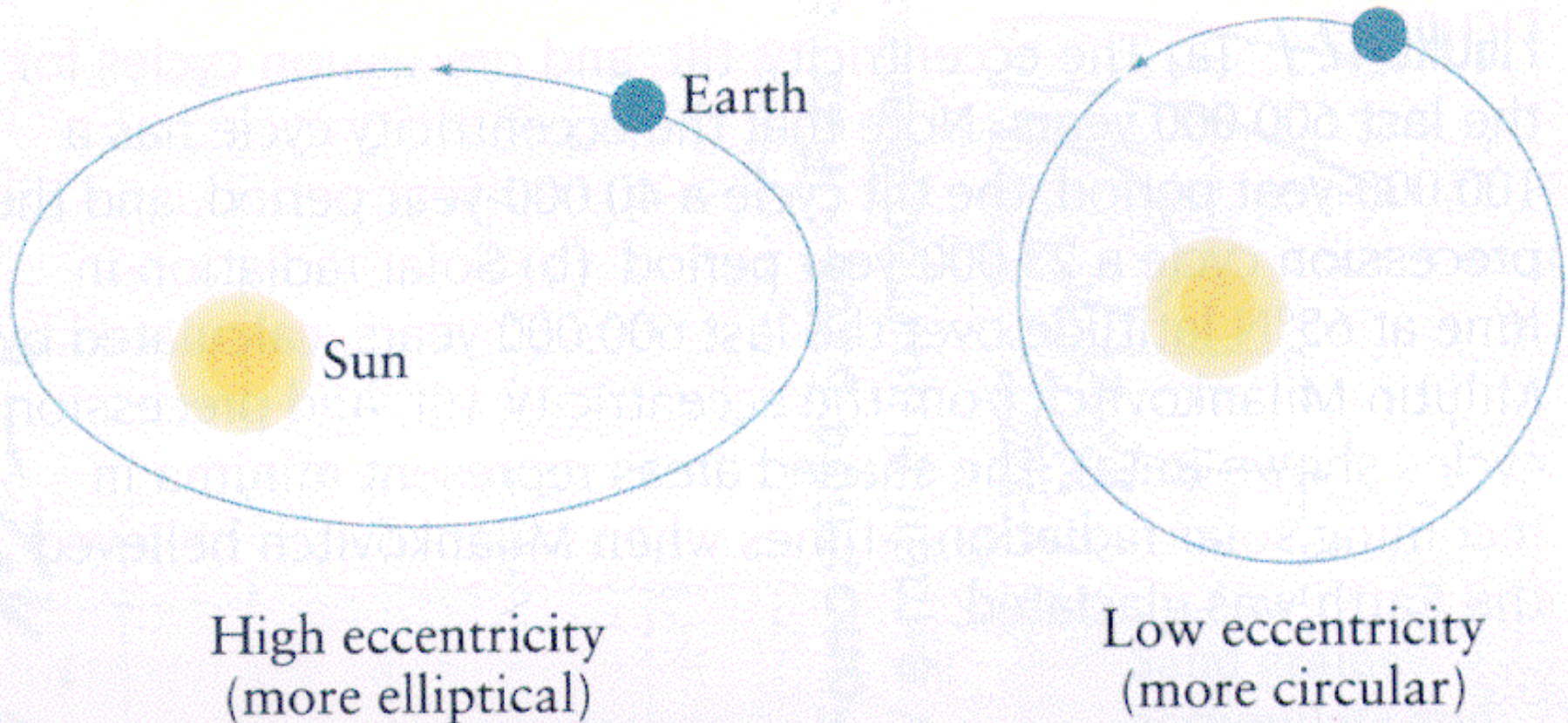
C Axial precession: 23 kyr





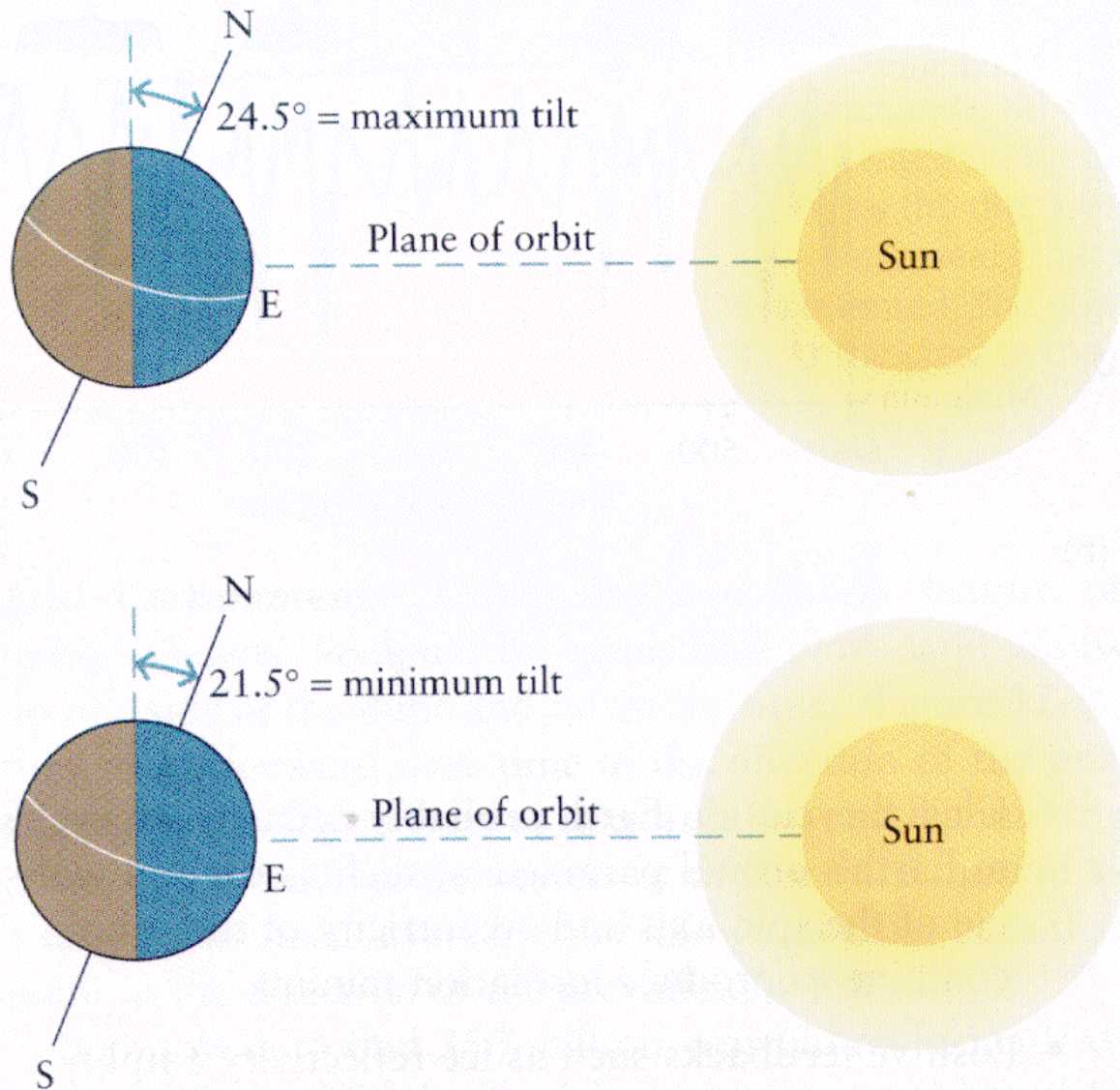
Variaciones en la excentricidad de la elipse

→ Período: 100-400 ka (1ka= 1000 años)



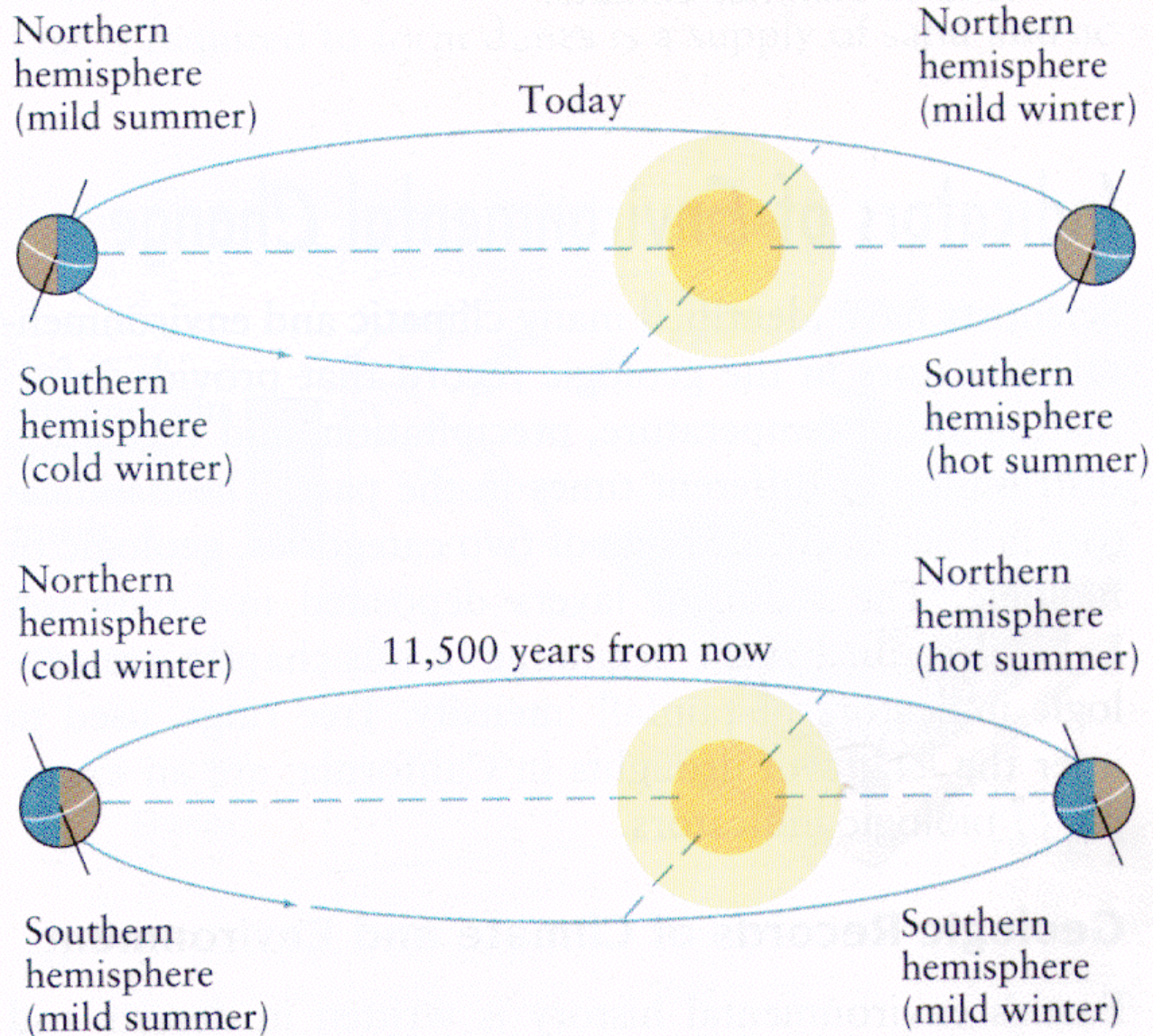
(a) Ellipticity (dominant period = 100,000 years)

Cabeceo del eje de rotación → Período: 41 ka

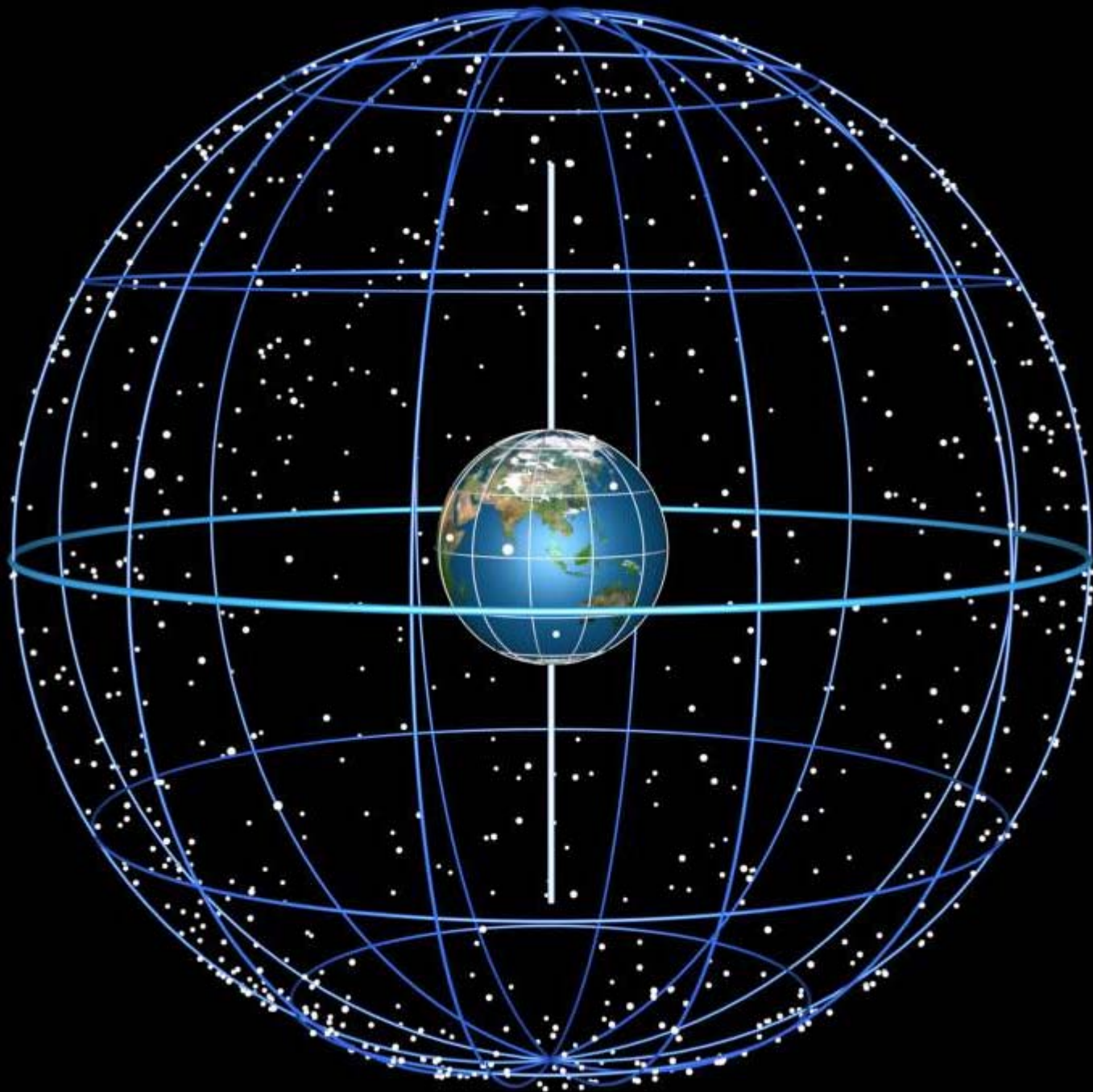


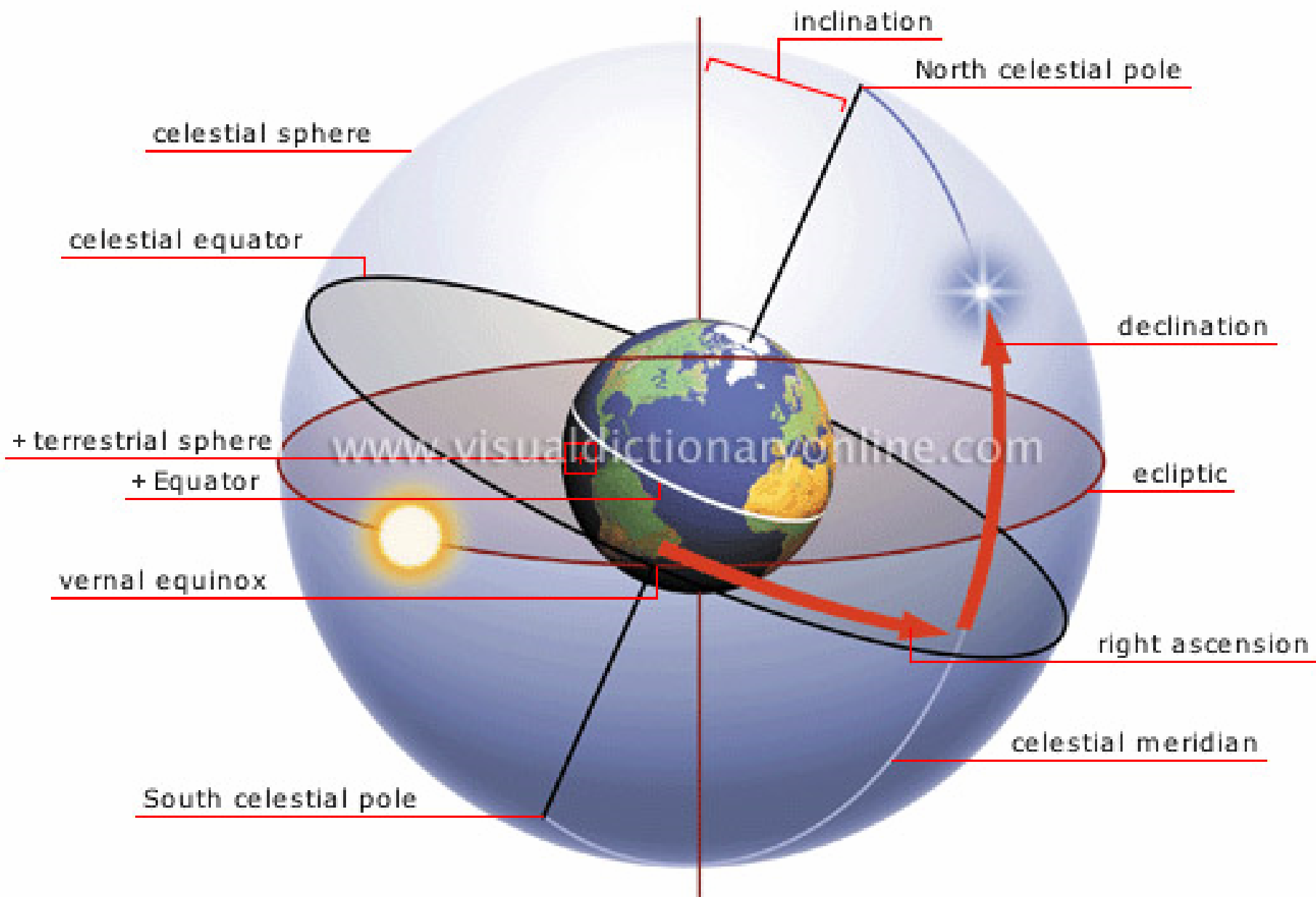
(b) Tilt of the axis (period = 41,000 years)

Precesión del eje de rotación → Período: 23 ka



(c) Precession of the equinoxes (period = 23,000 years)





algunas relaciones...

$$CS' = CS (d / d_m)^2.$$

- **Constante solar CS**

- **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:

$$\cos \chi = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cosh$$

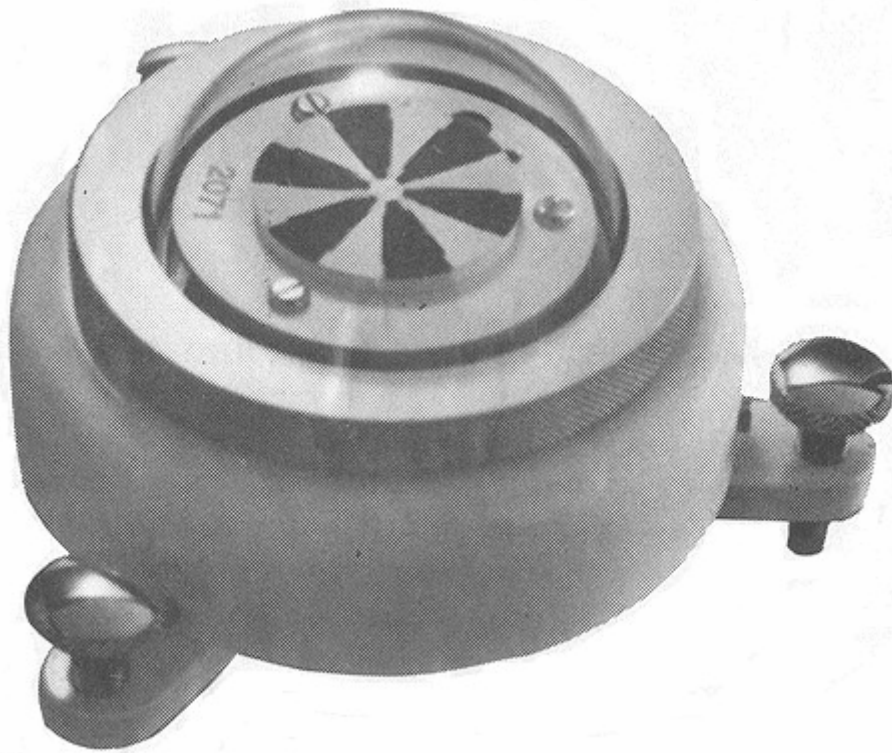
en que h está expresado en radianes (24 horas = 360 grados = 2π radianes):

más definiciones

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

- Ángulo horario (h): 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 $\downarrow$**) 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***): reflectividad de una superficie horizontal a la radiación solar:
 $a^* = \text{OC}\uparrow / \text{OC}\downarrow$
 - Radiación absorbida en la superficie: **$\text{OC}\downarrow(1 - a^*)$**
- Albedo planetario (**a****): tierra (0.30), luna (0.10), venus (0.80), marte (0.16).

piranómetros



albedo

Tipo de suelo	Albedo (α)	Emisividad (ϵ_{IR})
Tierra/cemento	0,05-0,40	0,90-0,98
Desierto	0,20-0,45	0,84-0,91
Cesped	0,16-0,26	0,90-0,95
Suelo agrícola	0,15-0,25	0,90-0,99
Bosque	0,15-0,20	0,97-0,98
Agua	0,03-0,10	0,92-0,97
Nieve	0,40-0,95	0,82-0,99
Hielo	0,20-0,45	0,92-0,97

albedo

Table 1: Reflectivity values of various surfaces

Surface	Details	Albedo
Soil	Dark & wet versus Light & dry	0.05 - 0.40
Sand		0.15 – 0.45
Grass	Long versus short	0.16 - 0.26
Agricultural crops		0.18 – 0.25
Tundra		0.18 – 0.25
Forests	Deciduous	0.15 – 0.20
	Coniferous	0.05 – 0.15
Water	Small zenith angle versus Large zenith angle	0.03 – 0.10 0.10 – 1.0
Snow	Old Fresh	0.40 - 0.95
Ice	Sea Glacier	0.30 – 0.45 0.20 – 0.40
Clouds	Thick Thin	0.60 – 0.90 0.30 – 0.50

Sources: Oke, 1998; Ahrens, 2001

finalmente...

- **Transmisividad neta** : Aplicando la **ley de Beer** a una atmósfera homogénea incide verticalmente $CS' \cos \chi$,
 - atenuación de la radiación por reflexión (nubes), absorción (UV e IR cercano) y dispersión (visible)
 - “absorción equivalente” con un coeficiente de absorción **K** independiente de la altura y de la longitud de onda

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

- **T_N** de la atmósfera se puede estimar mediante expresiones empíricas que incluyen la fracción de cielo con nubosidad alta (fsH), media (fsM) y baja (fsL) (e.g. Stull , 1998):

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

referencias:

Rutllant, J.A.: Apuntes del curso Introducción a la Meteorología y Oceanografía, FCFM, U. de Chile

ejercicios – aux. 1

1. Deducir una expresión trigonométrica (*fórmula del ángulo cenital*) que relacione los ángulos cenital χ , horario h , declinación δ y longitud φ . (Indicación: emplear coordenadas esféricas).
2. Calcular la densidad de flujo radiante emitido por el Sol en su superficie (*fotósfera*).
3. Calcular la insolación diaria en función de la longitud para el equinoccio.
4. Calcular la insolación diaria en el Polo Sur en el solsticio de verano y de invierno (HS).