

GF3003

Introducción a la Meteorología y  
Oceanografía

Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner

Departamento de Geofísica de la  
Universidad de Chile

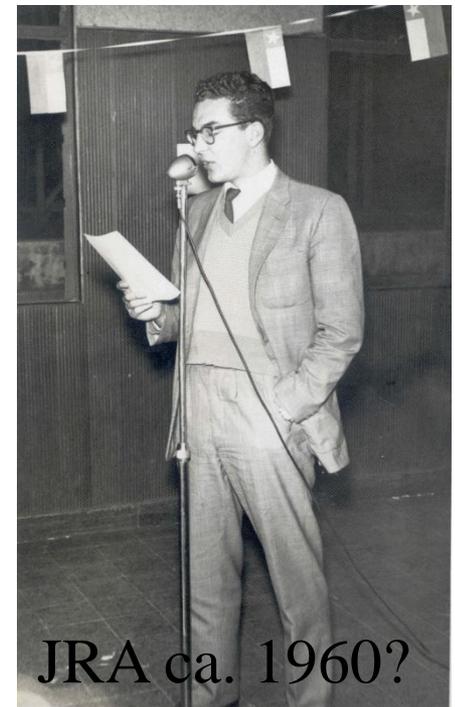
Primavera 2011

# HOY

- El curso
  - Contenidos y objetivos
  - Equipo docente
  - Evaluación
- Sistema climático
  - Clima
  - Forzantes naturales
  - Evolución del clima



# El curso: GF3003

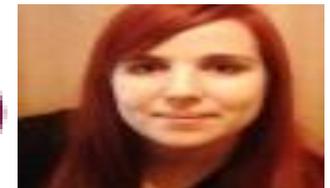


JRA ca. 1960?



# Equipo docente

- Laura Gallardo ( BSc Física, PhD Meteorología Química, U. de Estocolmo, 1996)
- Constanza Maturana (Ing. Civ. Matemática & MSc Meteorología ( C ))
- Constanza Paredes (Ing. Civ. Minas & MSc Meteorología ( C ))
- Rodrigo Estay (Ing. Civ. Minas & MSc Geofísica (C) )





# Evaluación



Controles (**2**)+Examen (**60%**)

y

Tareas/Laboratorios (~4) (**40%**)

NB. Se deben aprobar por separado

Material del curso: U-cursos y biblioteca y etc

3 horas de cátedra

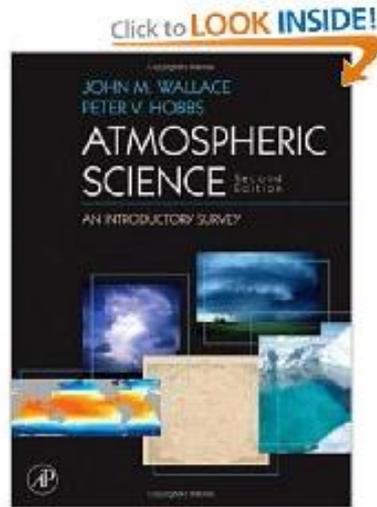
2 horas de auxiliar

5 horas de trabajo personal **SISTEMÁTICO**

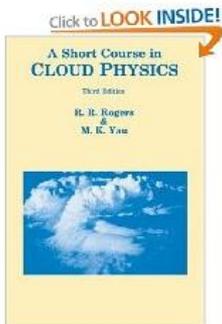
**NB. Clases suspendidas se recuperan preferentemente la misma semana**

# Literatura: la presumo leída

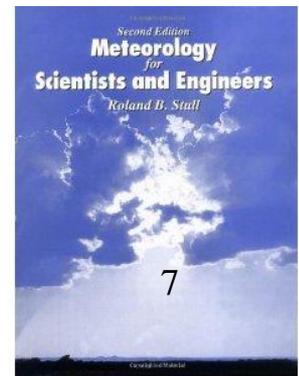
NB. Las clases no son necesarias pero recomendables para mejor hacer las lecturas



**Wallace & Hobbs, 2006 “Atmospheric Sciences, An Introductory Survey” (second edition, with Peter V. Hobbs) Academic Press / Elsevier, 483 pp.**



+Literatura especializada



# Hoy...El/la alumno/a será capaz de:

- **Identificar los componentes del sistema climático y describir interacciones**
- **Describir la asociación entre parámetros orbitales y clima**
- **Reconocer y describir forzantes climáticas naturales y antrópicas**



# Sistema Climático

## – Clima

- ¿qué es?
- Clima (*climate*) vs. Tiempo (*weather*)

## – Forzantes naturales

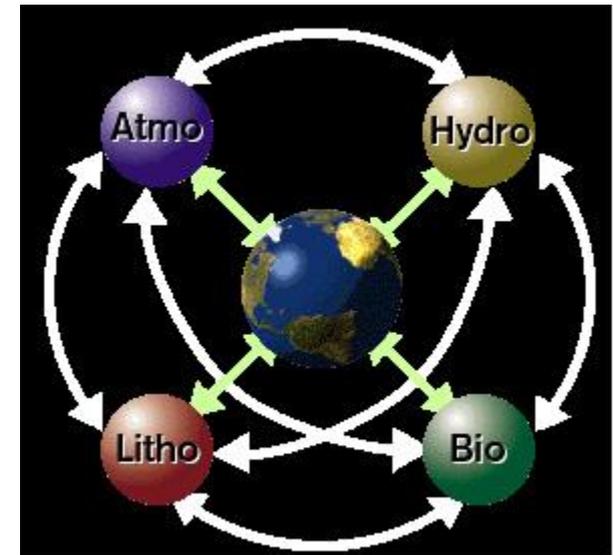
- Parámetros orbitales (Milankovitch)
- Volcanes
- Tectónica

## – Forzantes antrópicas

- Gases de efecto invernadero, aerosoles, etc.

## – Evolución del clima

- Desde el X-ceno al antropoceno



# Χλιμα

- Χονδιχιονεσ  
ατμοσφριχασ □ μεδιασ□  
εν υνα ρεγι ρν. Προμεδιοσ  
χαλχυλαδοσ σοβρε  
μυχηοσ αλοσ (30). Ελ  
χλιμα δετερμινα μυχηα δε  
λασ χαραχτριστιχασ  
εχολογιχασ (βιο-  
γεογραφια) εινχυλοσο  
σοχιαλεσ ψ εχονομιχασ δε  
υνα ρεγι ρν.

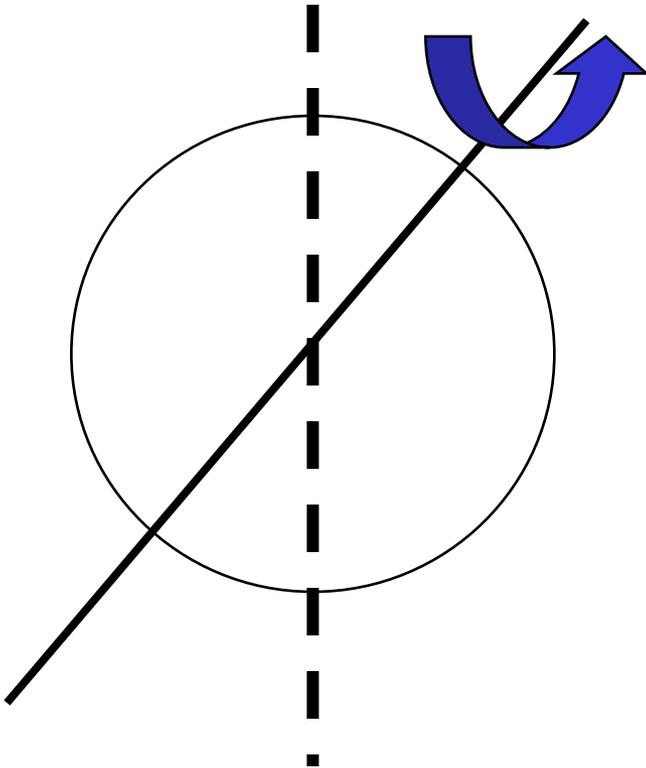


# Clima

(Del lat. *clima*, y este del gr. κλίμα).

clima...κλίμα...=inclinación

$\Omega$





# Componentes del clima

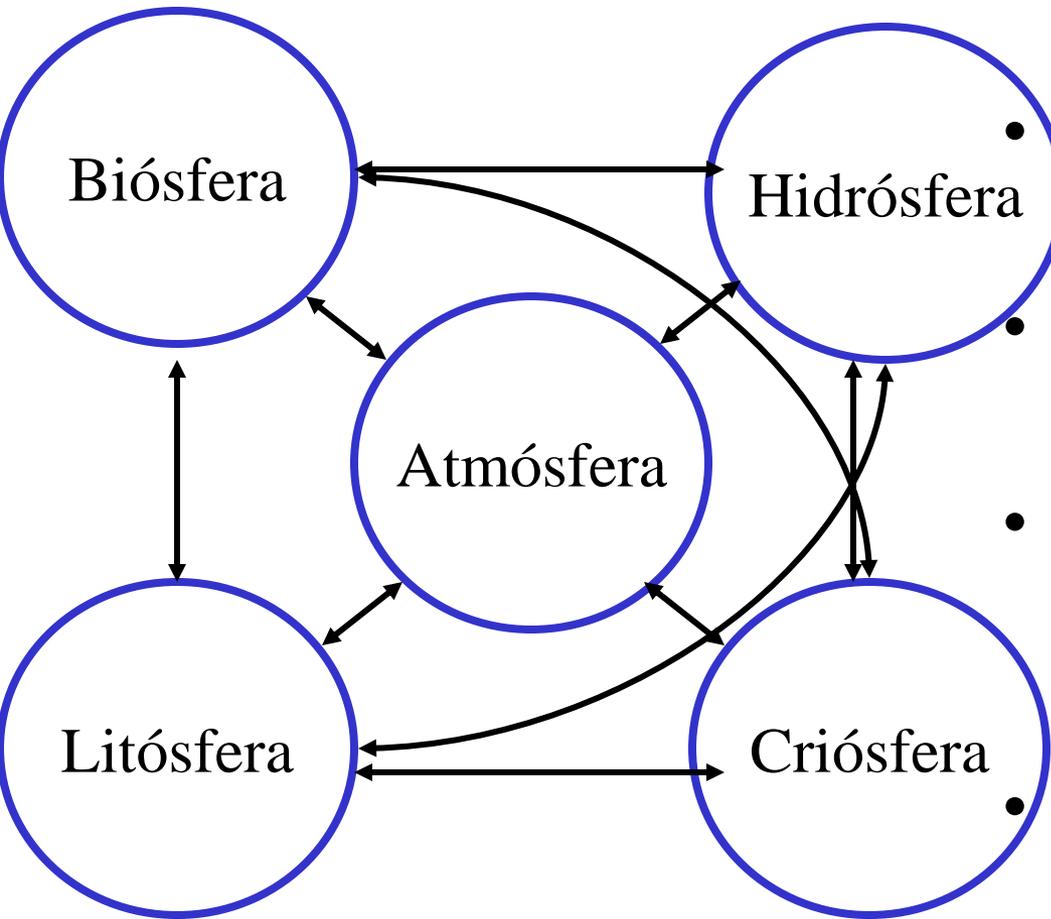
- Nubes
  - Cerros
  - Mar
  - Volcanes
  - Hielo
  - Lagos
  - Ríos
  - Nieve
  - Gente
  - Plantas
  - etc, etc, etc....
- Hidrósfera
  - Atmósfera
  - Litósfera
  - Criósfera
  - Biósfera

# ¿Cuáles “esferas” vinculan estos procesos? ¿Cómo?

- Hidrósfera
- Atmósfera
- Litósfera
- Criósfera
- Biósfera

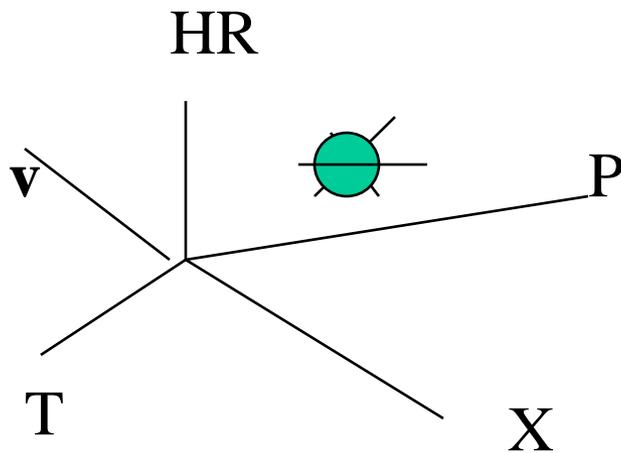
- Fotosíntesis
- Erupción pliniana
- Evapotranspiración
- Crecimiento urbano
- Transporte aéreo
- Respiración vegetal
- Rompimiento de olas
- Actividad solar

# Interacciones y cambios...



- ... en la composición de la atmósfera
- ... en suelos, orografía, vegetación, albedo, etc.
- ... en las cuencas hídricas, salinidad del mar, etc.
- ... en la radiación solar

**Clima:** descripción estadística del estado atmosférico y sus consecuencias en un período de tiempo



**Clima:**

$$C = C(X_i \pm \sigma_i)$$

**Cambio Climático:**

$$dC/dt = \sum_i \delta C / \delta X_i$$

**Variabilidad climática:**

$$\sigma^2 = \sum_i \sigma_i^2$$



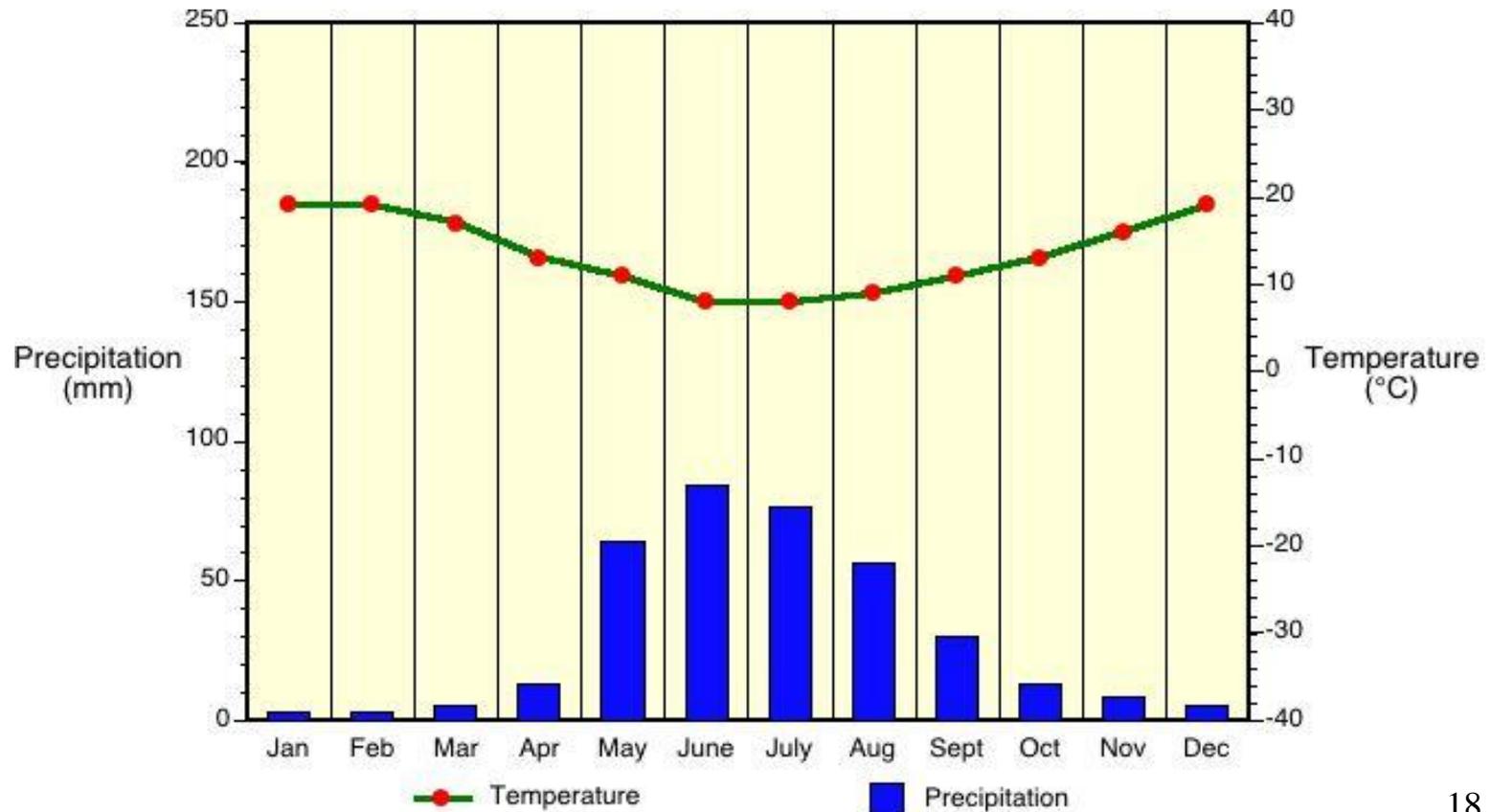
# Köppen usa la vegetación como variable sintética

Ej. Clima de Chile Central (BSh)

El **bosque esclerófilo** es una formación vegetal propia de Chile... Se caracteriza por especies con características xeromórficas con el tipo de hojas perenne, duras, que les permiten resistir las sequías veraniegas ...



# BSh: Clima templado con lluvias invernales y una estación seca prolongada (7 a 8 meses)



# Tarea

- Identificar y explicar el clima, en términos de T y P para:
  - Los Angeles, California, EEUU
  - Cuibá, Mato Grosso, Brasil
- ¿Qué tipo de vegetación se da en cada llugar? ¿Cómo se clasifican según Köppen?

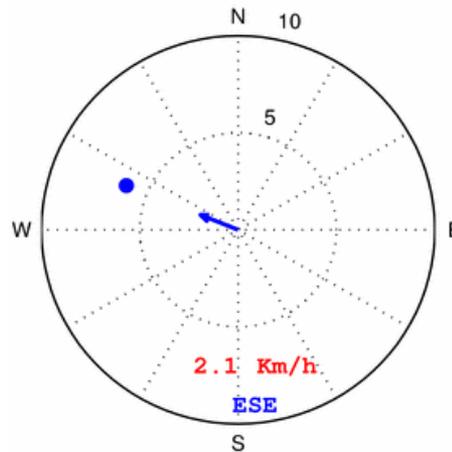


# El tiempo hoy en Santiago



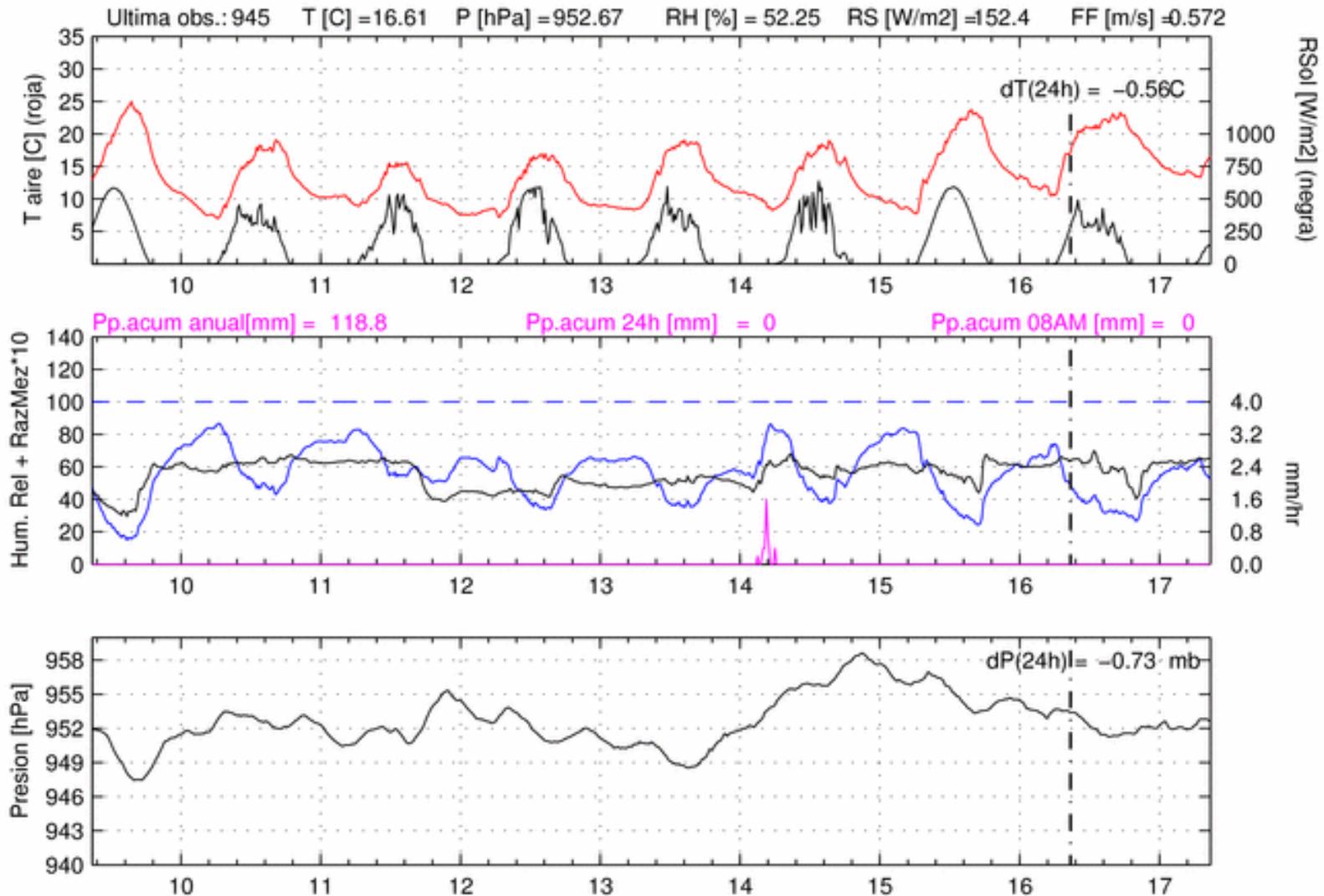
## Estacion DGF-FCFM

Ultimas Observaciones



Hora Local	9:40 5
Temp. aire [C]	16.9
Hum. Relativa [%]	51.8
Hum. especifica [g/Kg]	6.6
Lluvia ultima hora [mm]	0.0
Lluvia ultimas 24h [mm]	0.0
Lluvia a la fecha [mm]	118.8

# El tiempo en Santiago la última semana



# El tiempo de Santiago en estos días

Dirección General de Aeronáutica Civil  
Dirección Meteorológica de Chile

Pronóstico para la Región Metropolitana de Santiago



## Santiago Sector Centro

Lunes 17	max. 24°C		Nublado, ocasionalmente nubosidad parcial
Martes 18	min. 7°C max. 28°C		Nubosidad parcial variando a despejado
Miércoles 19	min. 8°C max. 30°C		Despejado
Jueves 20	min. 9°C max. 27°C		Escasa nubosidad
Viernes 21	min. 9°C max. 25°C		Nubosidad parcial

Información redactada el día Lunes 17 a las 6:01 hrs

# Tarea

- ¿Cómo ha estado el tiempo en estos días en:
  - Concepción, Chile
  - Buenos Aires, Argentina?



# 10 minutos

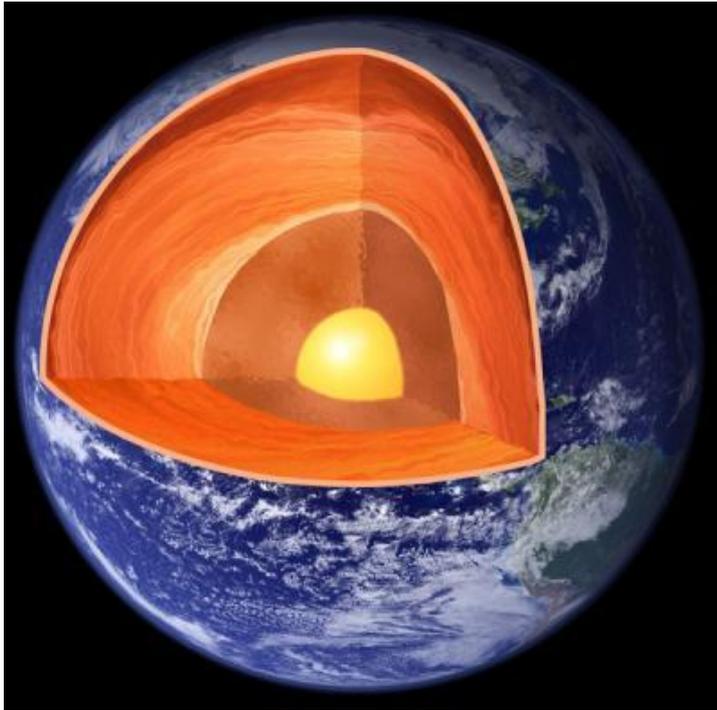


# ¿Cómo se fuerza el clima?

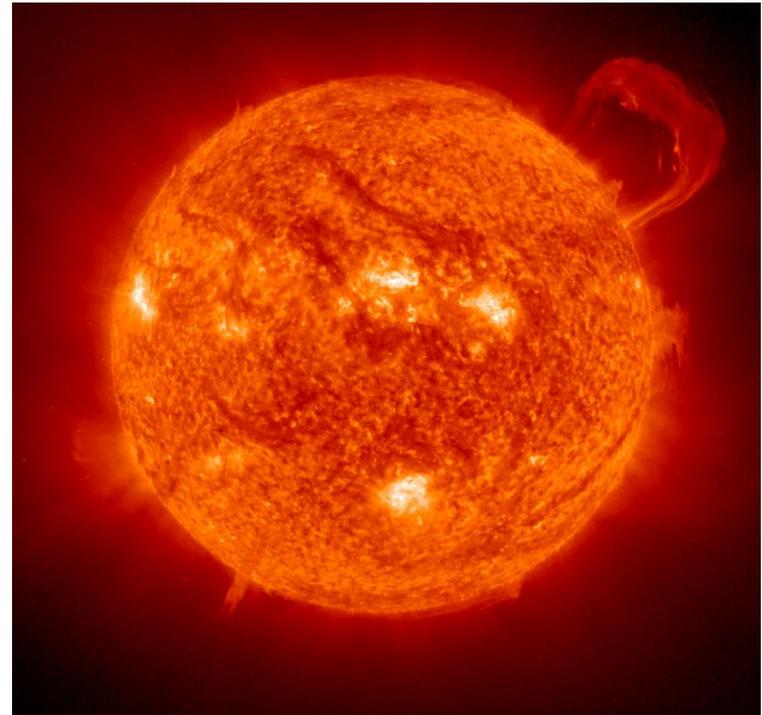


...Hay que cambiar la cantidad de energía que entra o sale del sistema...

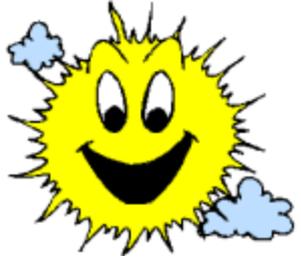
# Fuentes de energía externas al sistema climático



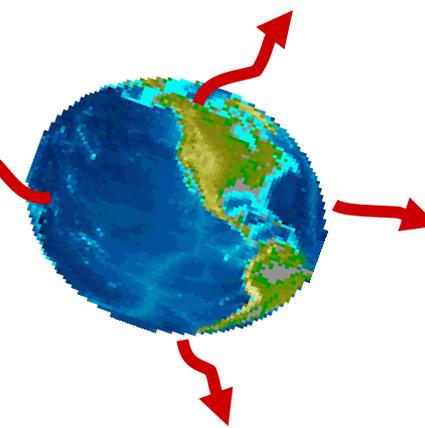
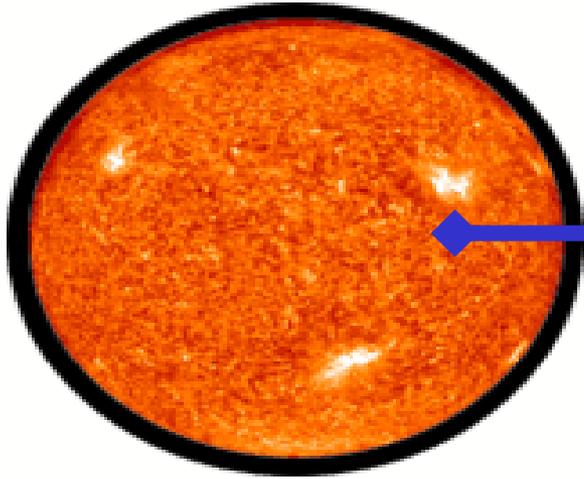
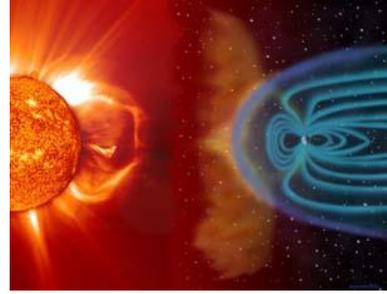
$\sim 0.025\% \sim 0.08 \text{ W/m}^2$



$\sim 99.97\% \sim 340 \text{ W/m}^2$



El sol: nuestra fuente de energía  
ca.  $1368 \text{ W/m}^2$



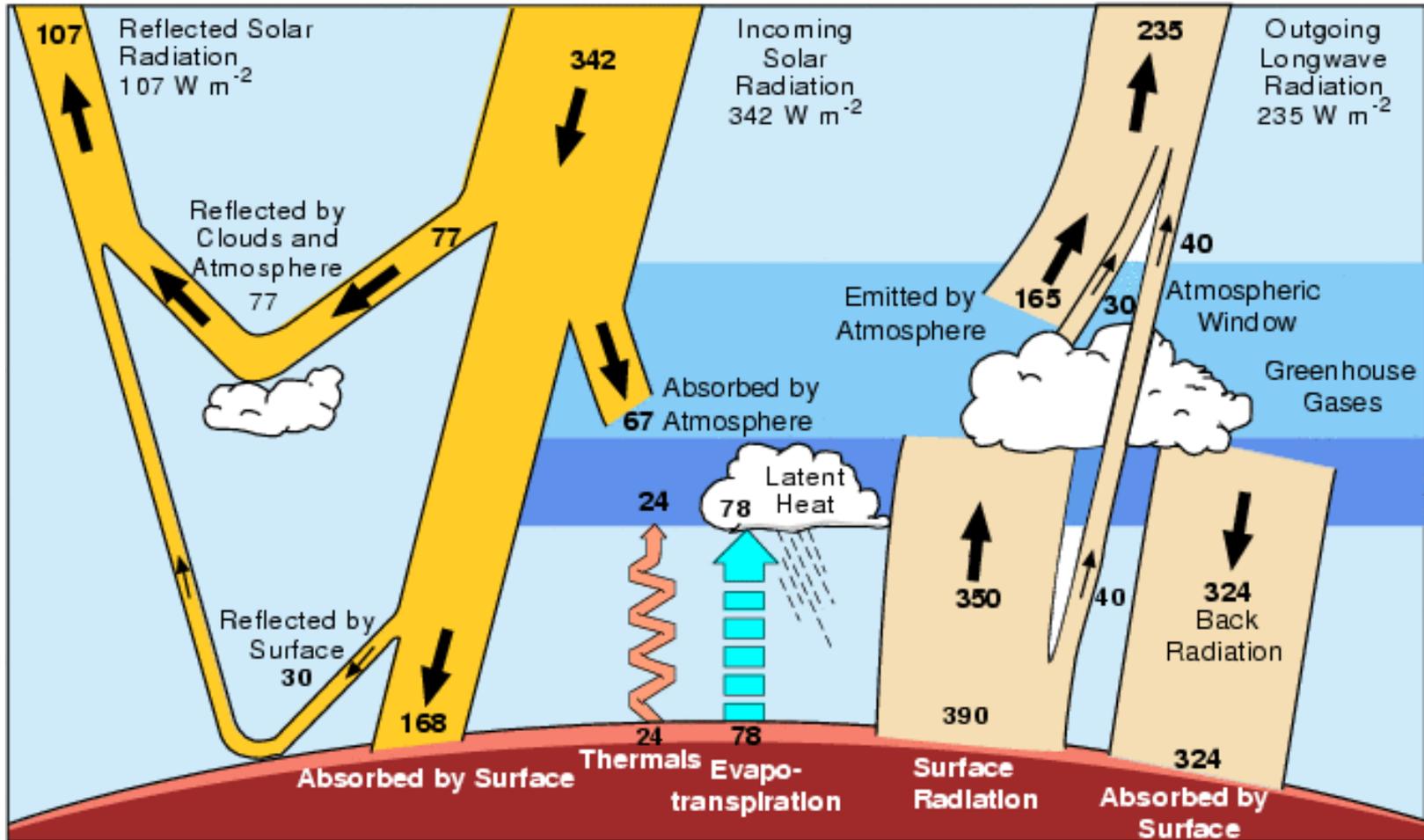
$$1368 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$$

$$\pi R^2$$

$$4\pi R^2$$

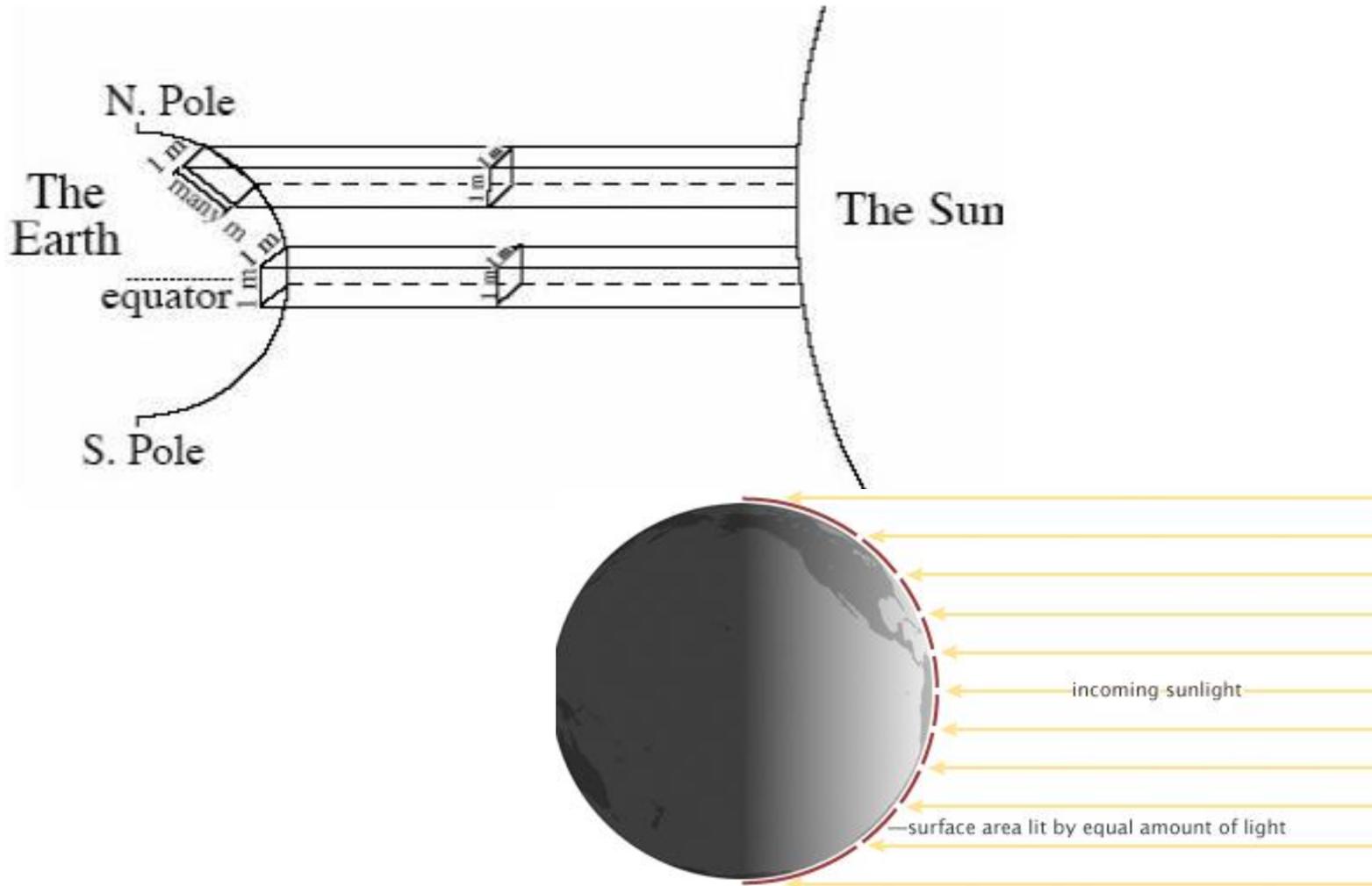
La energía solar (**ondas cortas**) es parcialmente reflejada y absorbida por la atmósfera pero en su mayoría calienta la superficie terrestre dando lugar a emisión térmica (**ondas largas**)

# Global Heat Flows



*Kiehl and Trenberth 1997*

# Pero no llega la misma energía a todo el globo...



# Balance radiativo sólo con albedo

$$E_{\text{entra}} = S(1 - \alpha)\pi R^2$$

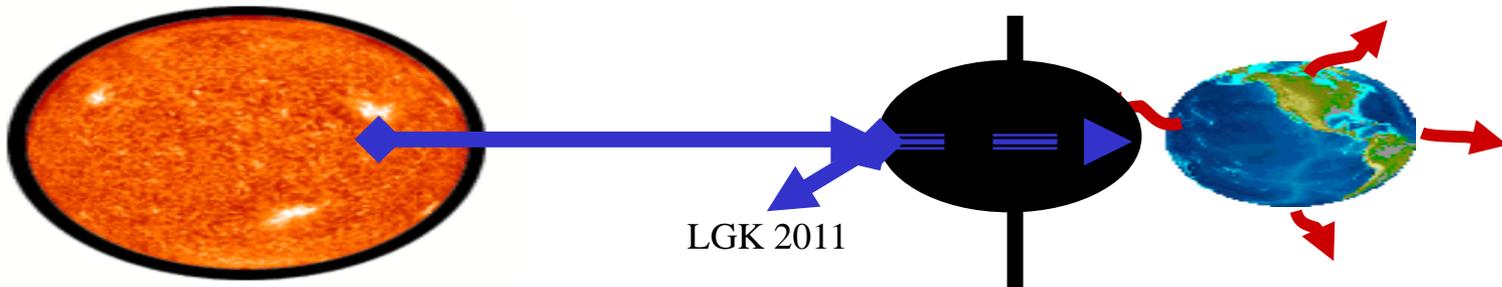
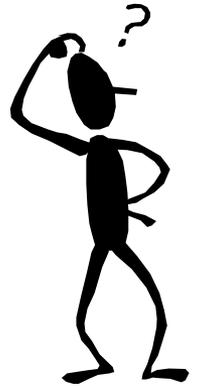
$$E_{\text{sale}} = \sigma T^4 4\pi R^2$$

$$E_{\text{entra}} = E_{\text{sale}}$$

$$\Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{S(1 - \alpha)}{4\sigma}} \approx 255\text{K} = -18\text{C}$$

$$\alpha \approx 0.3$$

$$S \approx 1368\text{[W / m}^2\text{]}$$

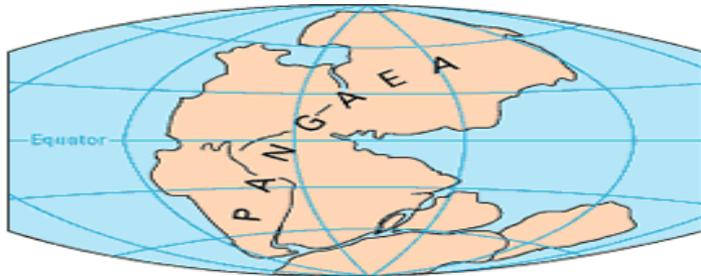


# Forzantes del sistema climático



- Tectónica de placas
- Parámetros orbitales
- Actividad solar
- Actividad volcánica
- Actividad biológica
- Actividad antrópica

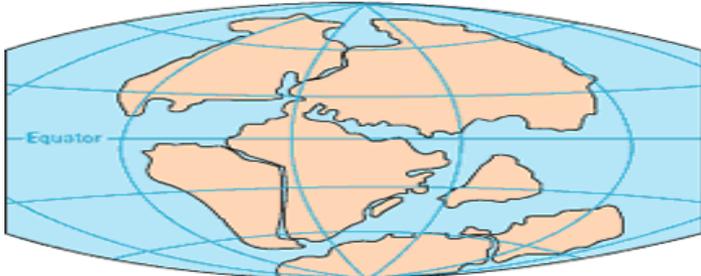
# Cambios tectónicos



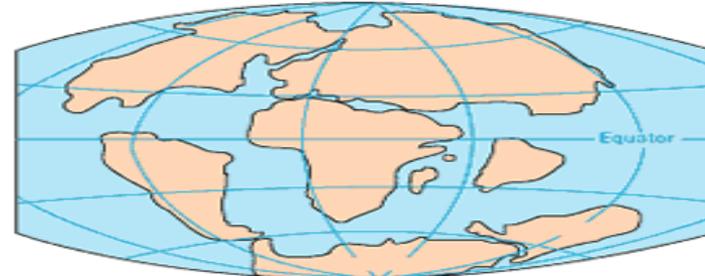
**PERMIAN**  
225 million years ago



**TRIASSIC**  
200 million years ago



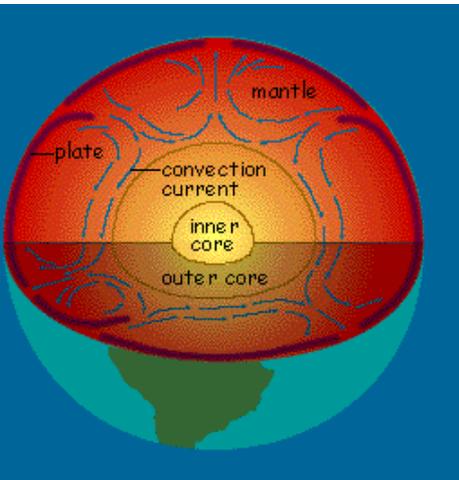
**JURASSIC**  
135 million years ago



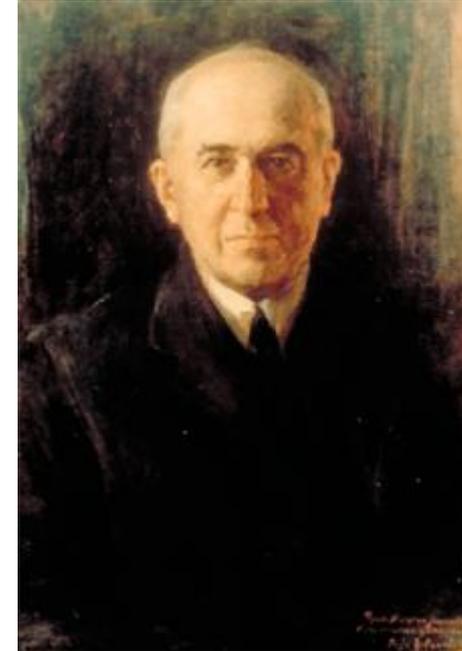
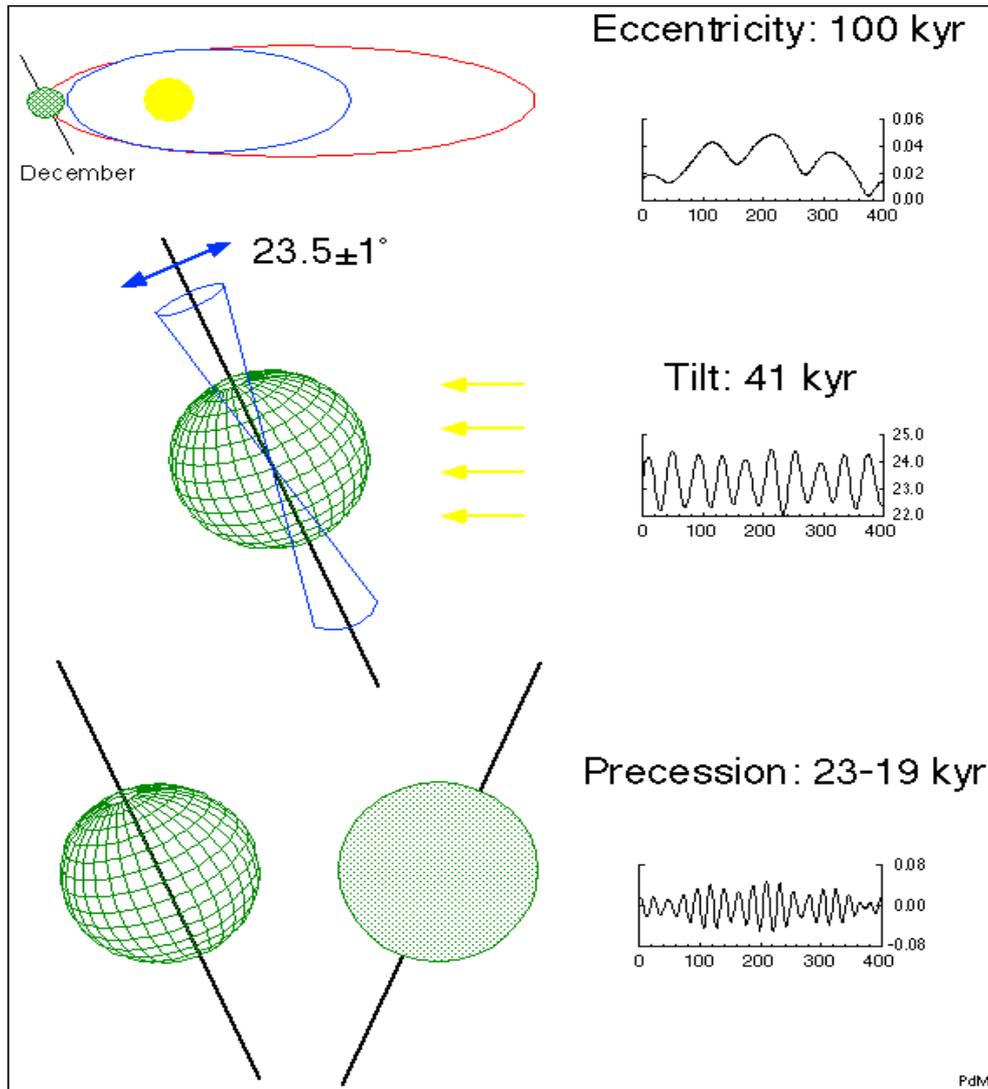
**CRETACEOUS**  
65 million years ago



**PRESENT DAY**



# Cambios en parámetros orbitales



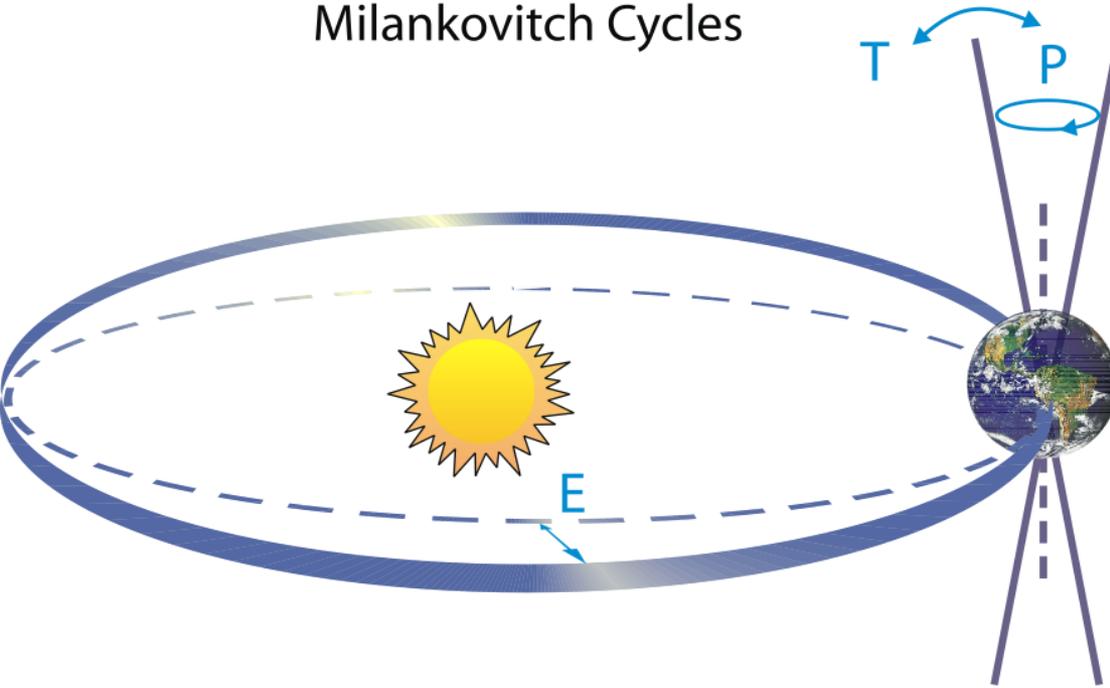
**Milutin Milanković**  
Милутин Миланковић

Milankovitch, M. 1920. Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire. Gauthier-Villars Paris. 33

LGK 2011

# ¿Cómo se explican las estaciones?

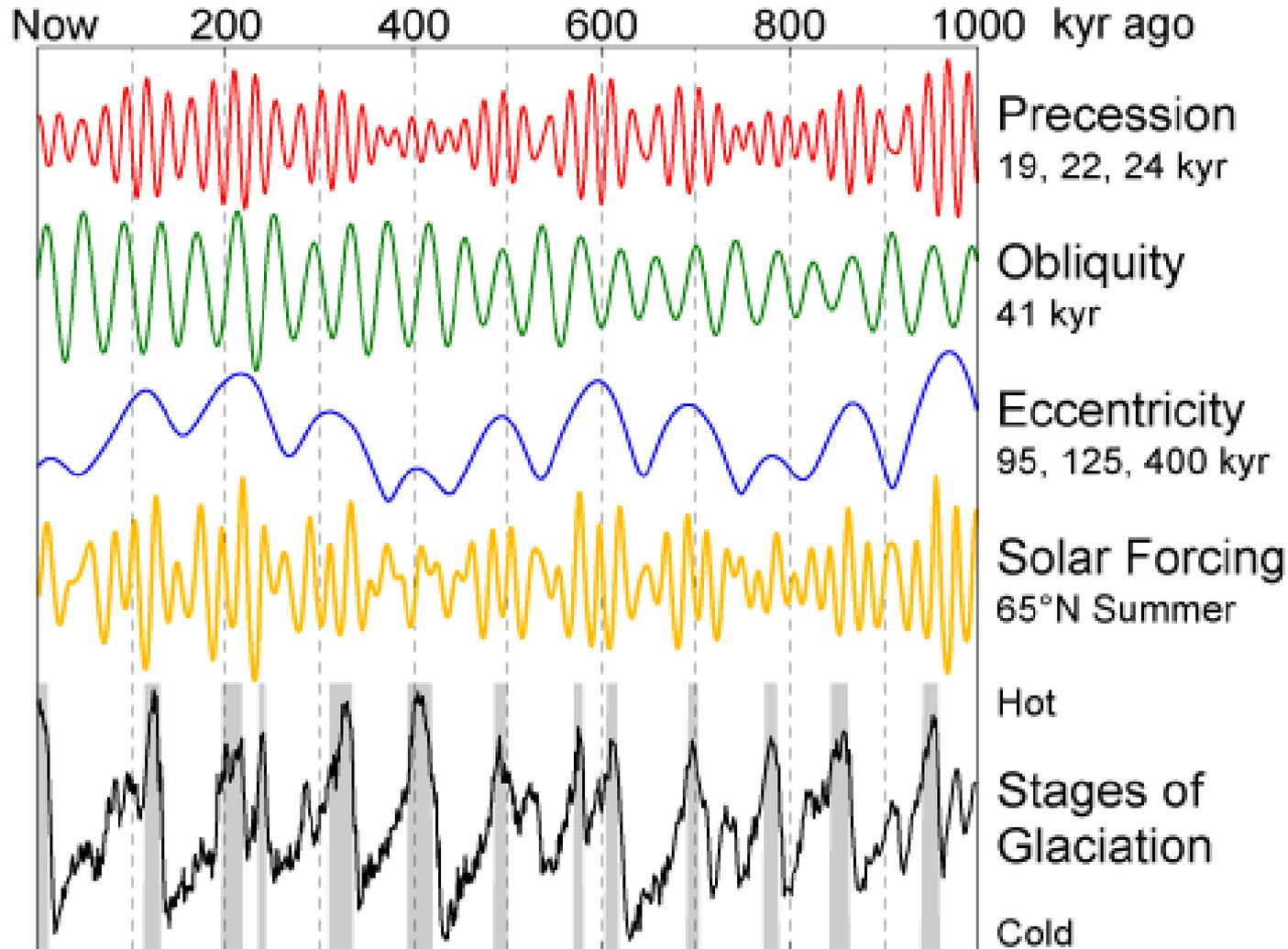
Milankovitch Cycles



¿Cómo cambiarían las estaciones si la inclinación del eje de rotación fuera mayor/menor?

©IPCC

# Las glaciaciones se explicarían por teoría de Milankovitch

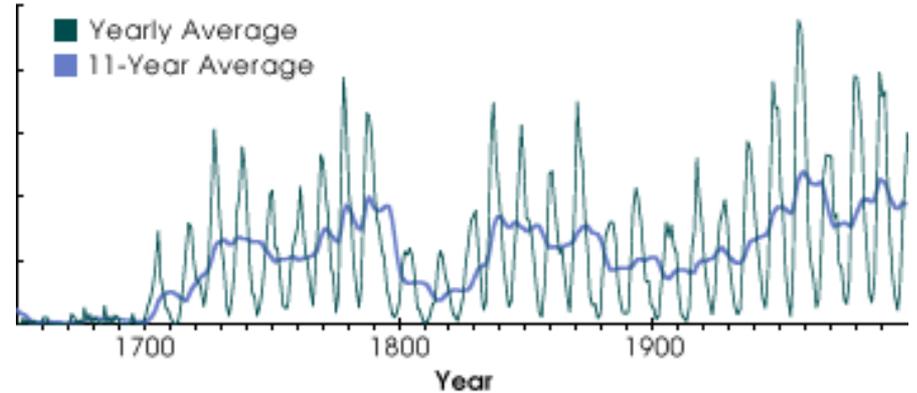
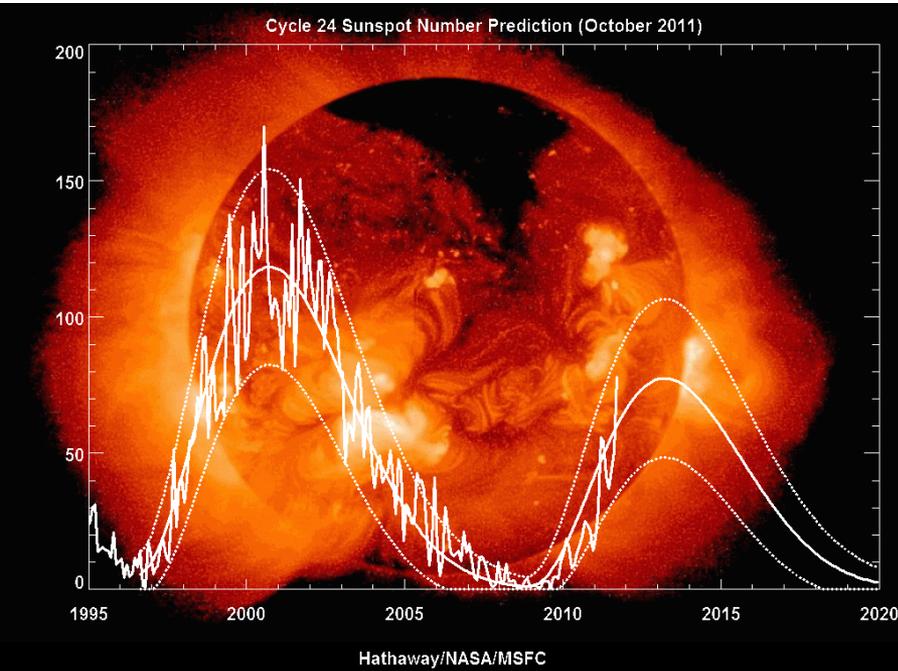


LGK 2011

35

# Cambios en actividad solar

(La fuente principal de energía)



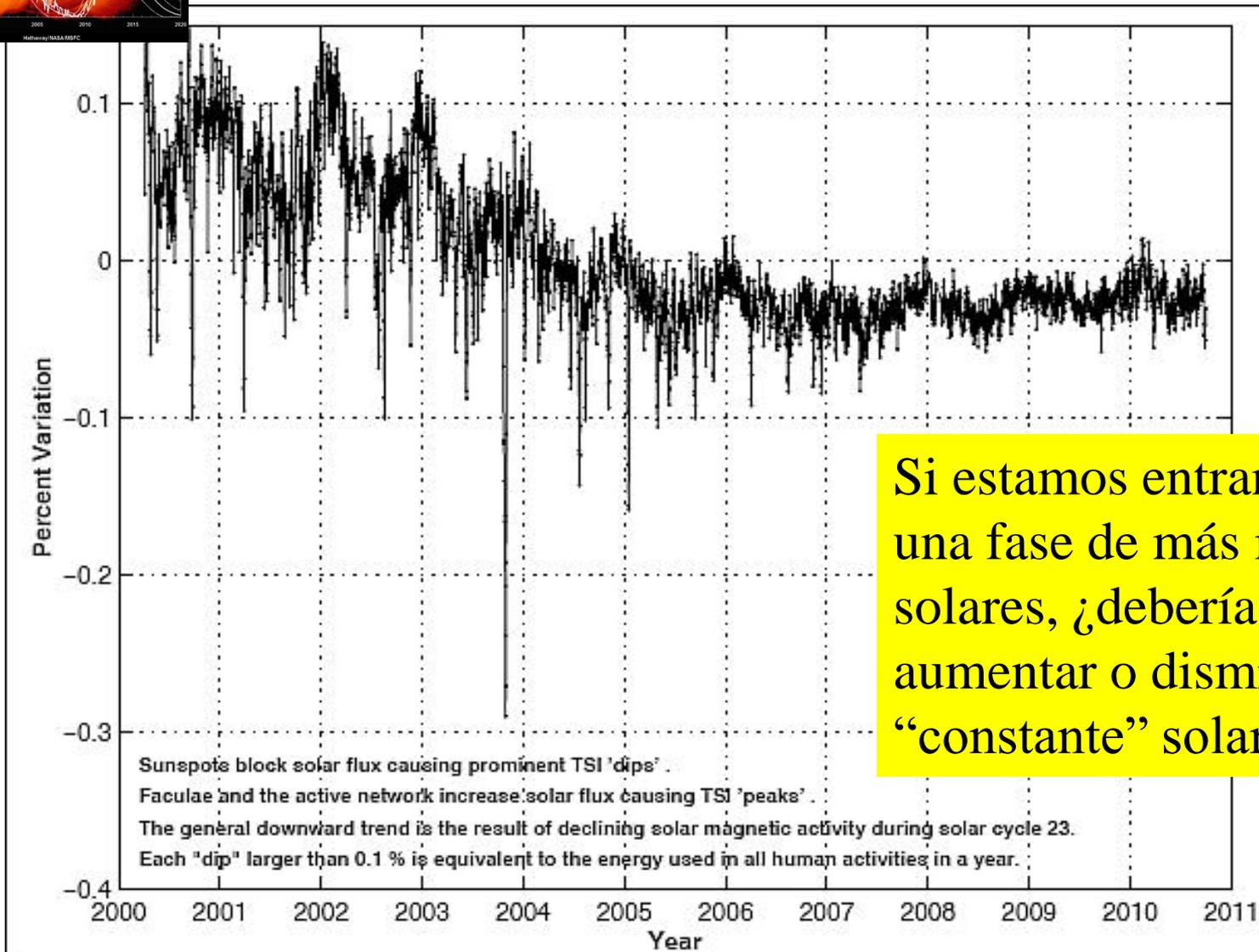
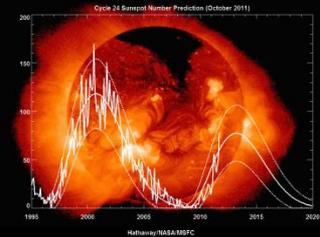
El fuerte campo magnético solar da origen a manchas y fáculas.

Las manchas disminuyen el flujo de energía

Las fáculas aumentan el flujo de energía

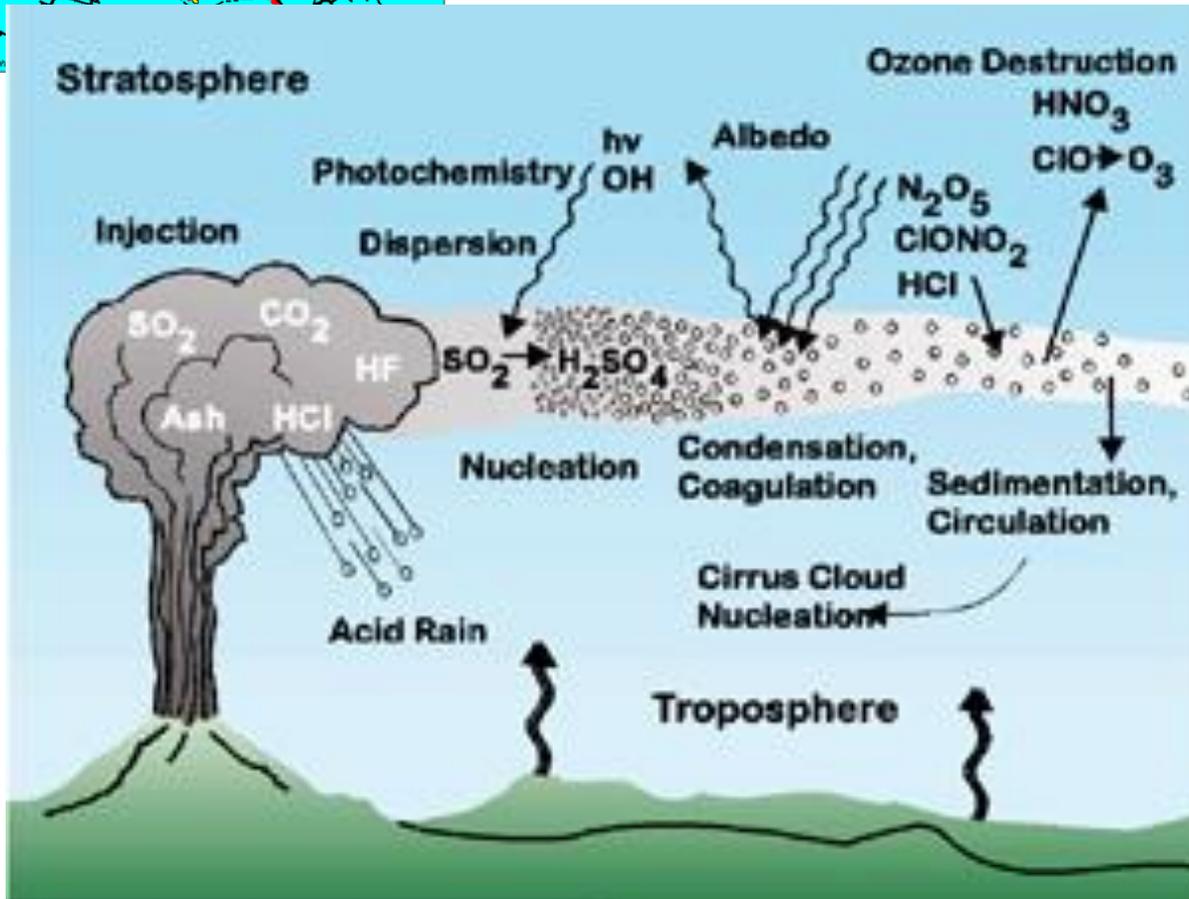
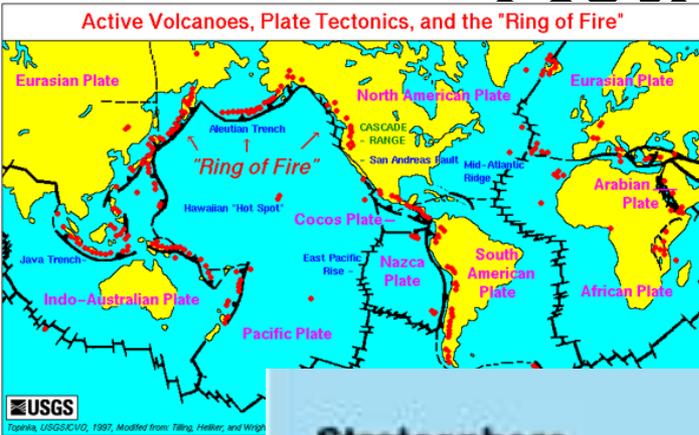
Hay un ciclo característico de 11 años.

# “Constante” solar

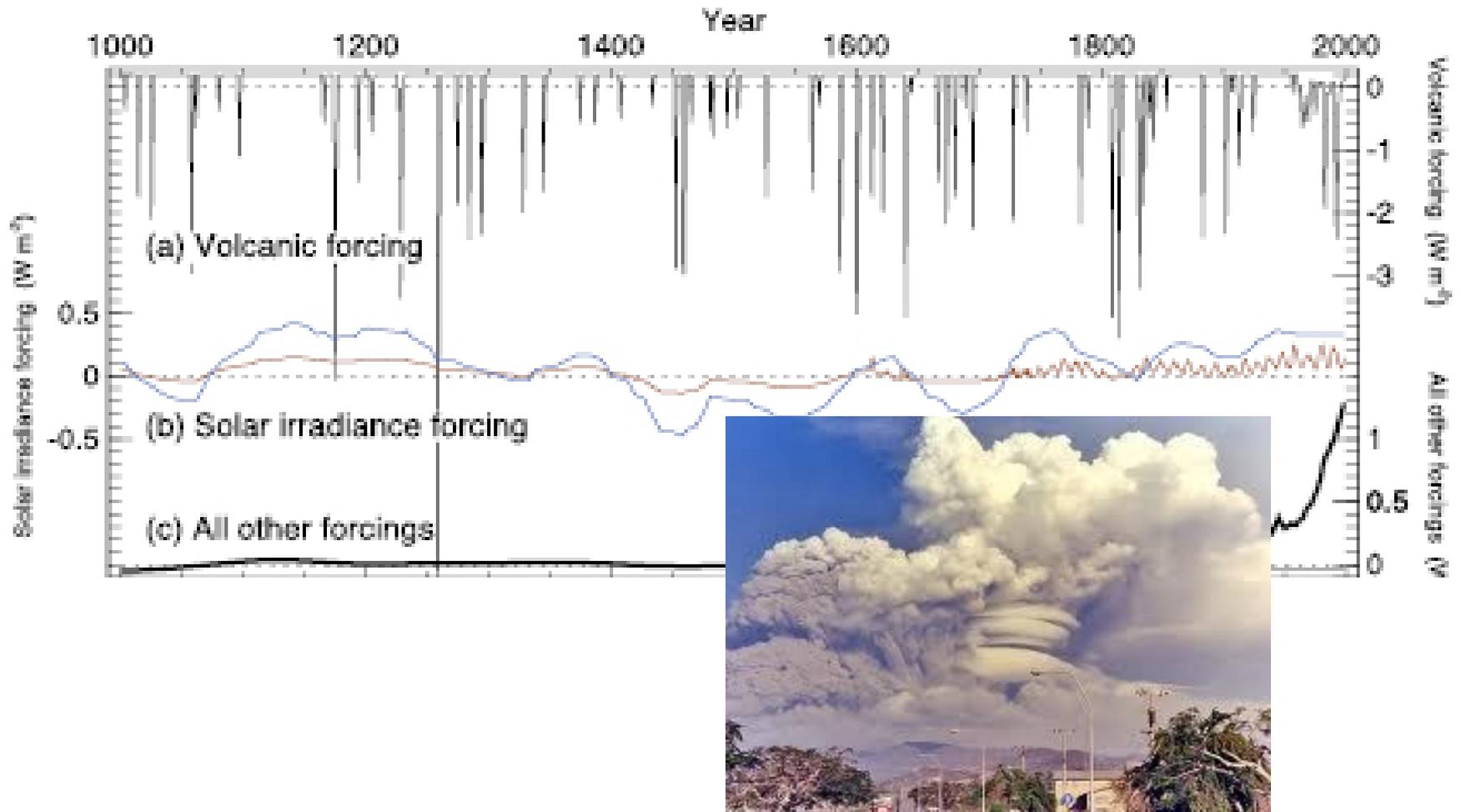


Si estamos entrando en una fase de más manchas solares, ¿debería aumentar o disminuir la “constante” solar?

# Actividad volcánica

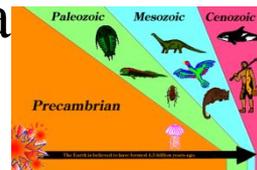
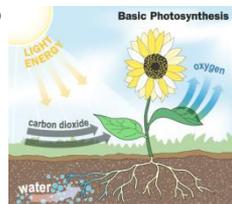


# 1000 de variabilidad solar y volcánica

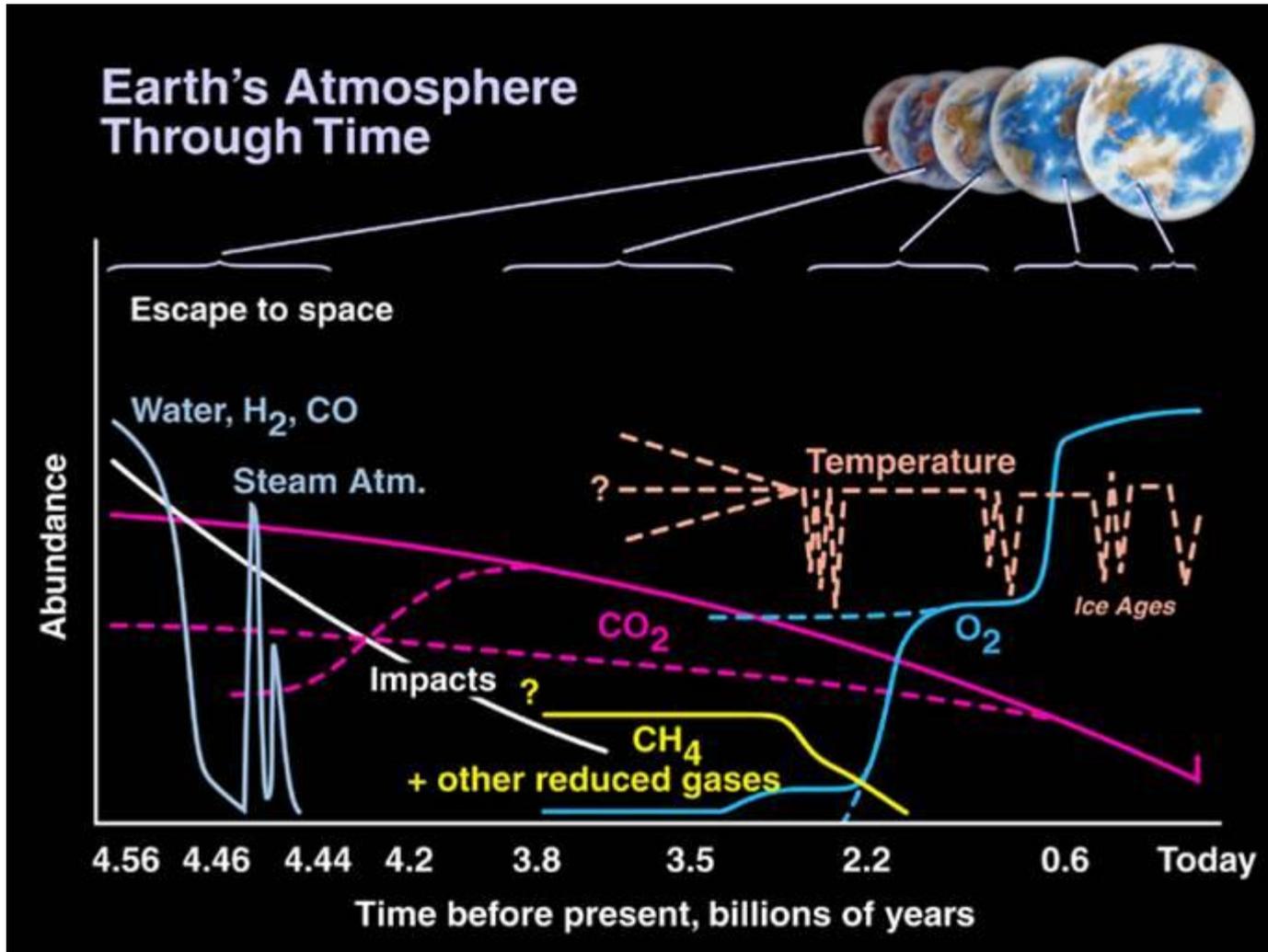


# La formación y evolución de la atmósfera

- Hace 4.6 Ga se formó el planeta...desde un protoplaneta por acreción
- La primera atmósfera tenía nitrógeno, hidrógeno y agua, con trazas de ácido sulfídrico, amoniaco y metano.
- Hace ca.  $3.5 \times 10^9$  años aparecen las primeras bacterias que vivían en condiciones anaeróbicas (bajo el agua)...algunas empiezan a desarrollar capacidades **fotosintéticas**
- El oxígeno producido en la fotosíntesis era inicialmente consumido en oxidar fierro...hasta que se rompió el equilibrio y la atmósfera empieza acumular oxígeno (**letal para la mayoría de las formas vivas**)..
- La presencia de oxígeno da pie a la formación de **ozono** y a la protección de la radiación ultravioleta...aparece la vida fuera del agua...



# No siempre ha sido la misma composición



# La vida y la atmósfera

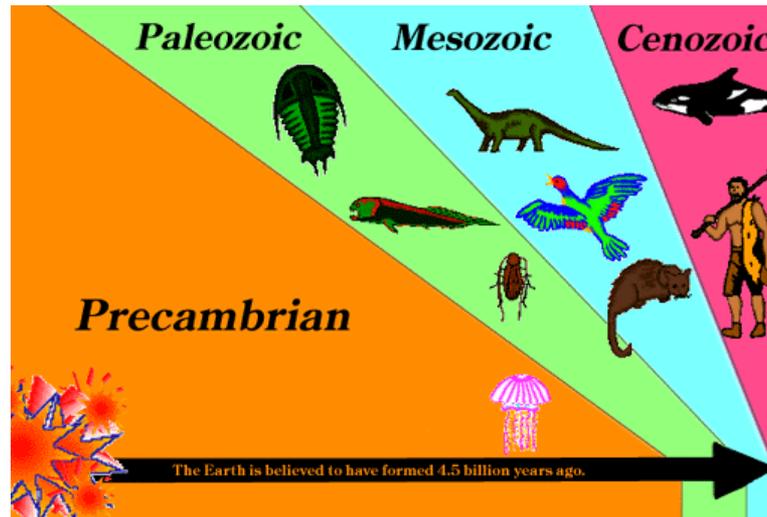
## LIFESPANS OF LIFE ON EARTH

TIME OF ANIMALS

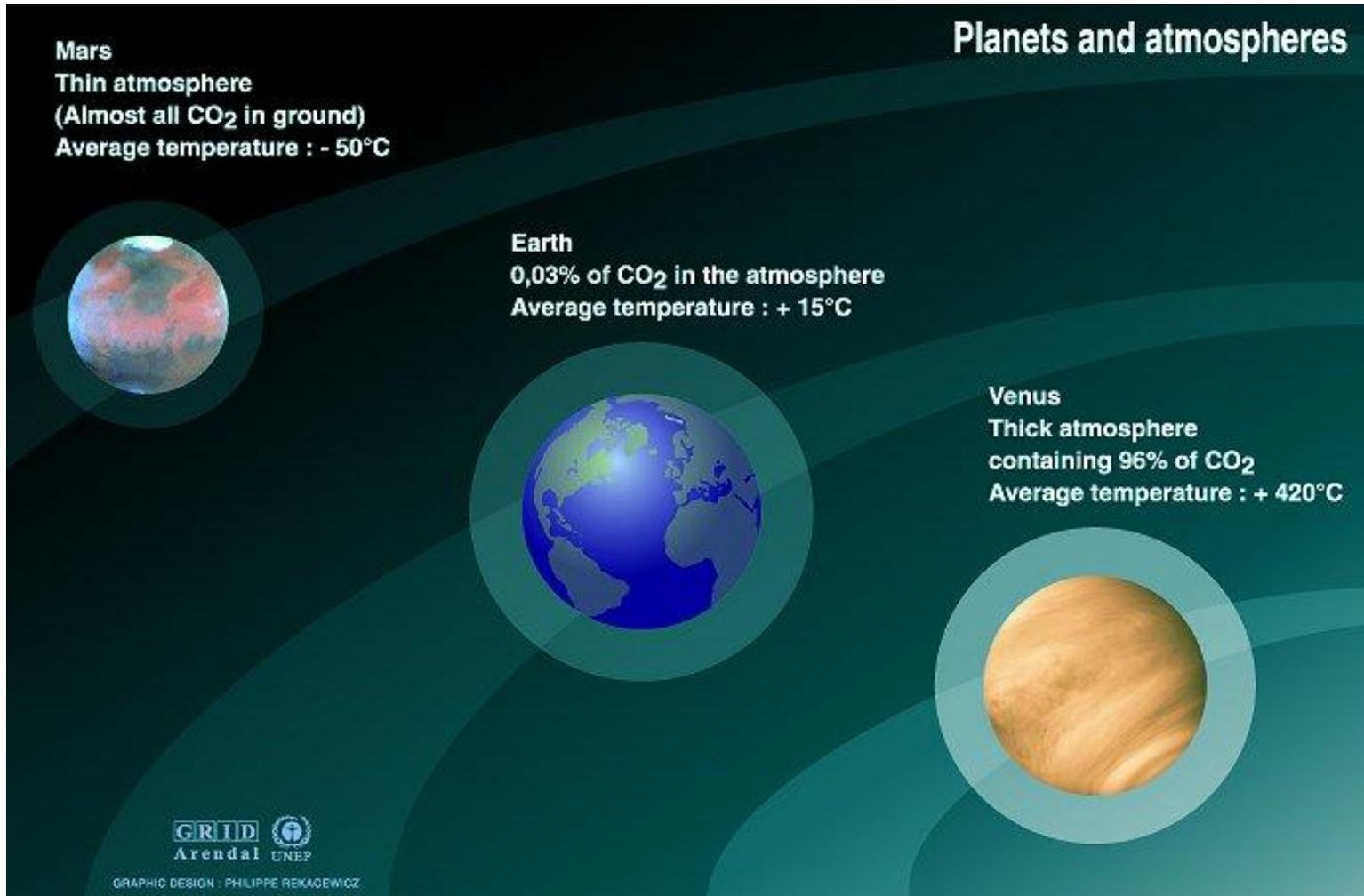
TIME OF EUKARYOTES

TIME OF BACTERIA

Origin of Earth



# Las atmósferas difieren según **biogeoquímica**



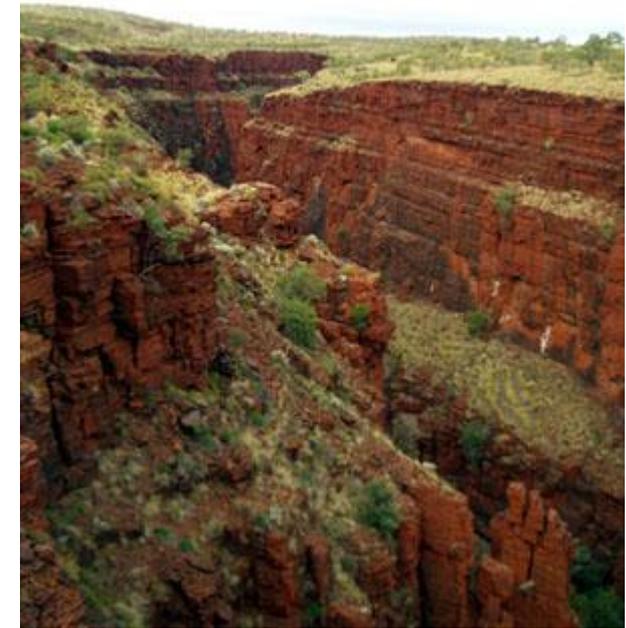
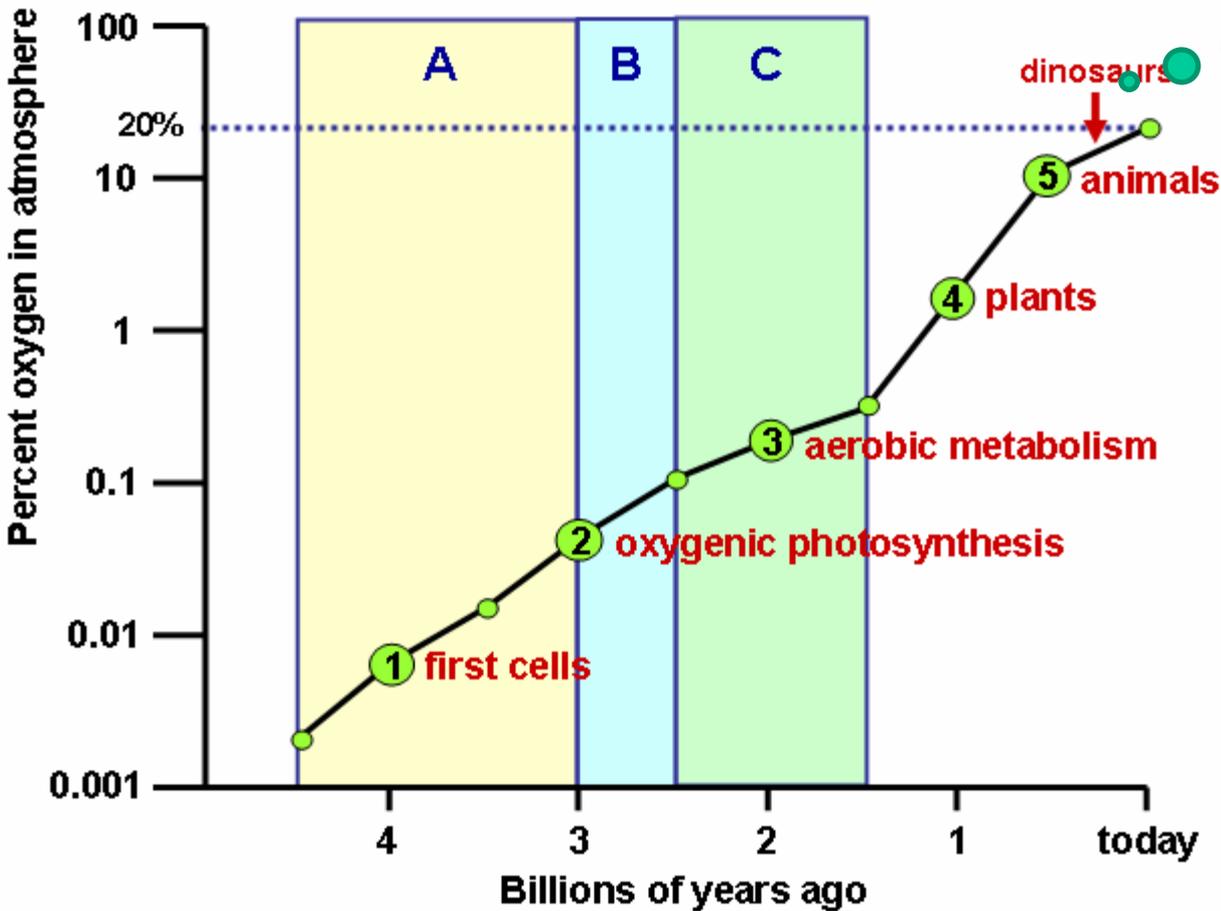
Sources: Calvin J. Hamilton, Views of the solar system, [www.planetscapes.com](http://www.planetscapes.com); Bill Arnett, The nine planets, a multimedia tour of the solar system, [www.seds.org/bills/tnp/nineplanets.html](http://www.seds.org/bills/tnp/nineplanets.html)

LGK 2011

43

# Oxígeno la atmósfera: una historia larga y misteriosa

¿Qué hace que se mantenga en 21%?



Banded iron formation, BIF  
Australia

# Hipótesis GAIA

## James Lovelock & Lynn Margulis



*The atmosphere of the earth differs greatly from that of the other terrestrial planets with respect to composition, acidity, redox potential and temperature history predicted from solar luminosity. From the fossil record it can be deduced that stable optimal conditions for the biosphere have prevailed for thousands of millions of years. We believe that these properties of the terrestrial atmosphere are best interpreted as evidence of **homeostasis** on a planetary scale maintained by life on the surface.*

Lovelock, J.E.; Margulis, L. (1974). "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere- The Gaia hypothesis". *Tellus*, **26** (1): 2–10

# El clima ha cambiado, cambió, cambia y cambiará

Influence of Dramatic Climate Shifts on European Civilizations:

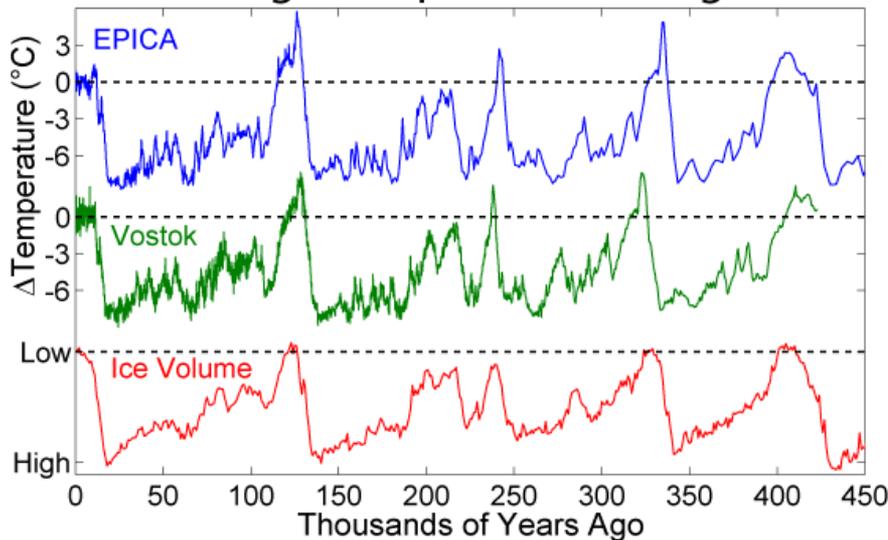
THE RISE AND FALL OF THE VIKINGS

and

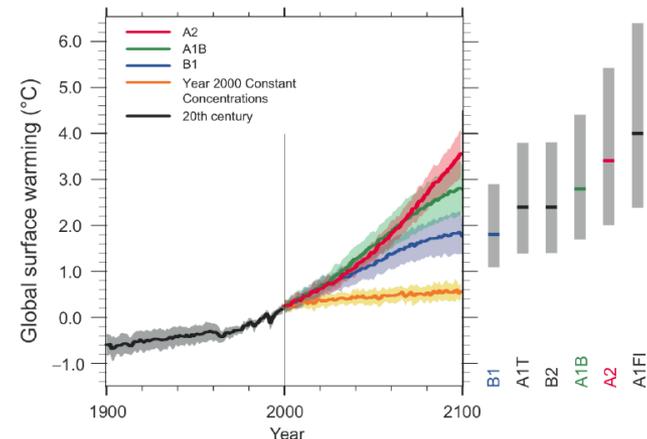
THE LITTLE ICE AGE



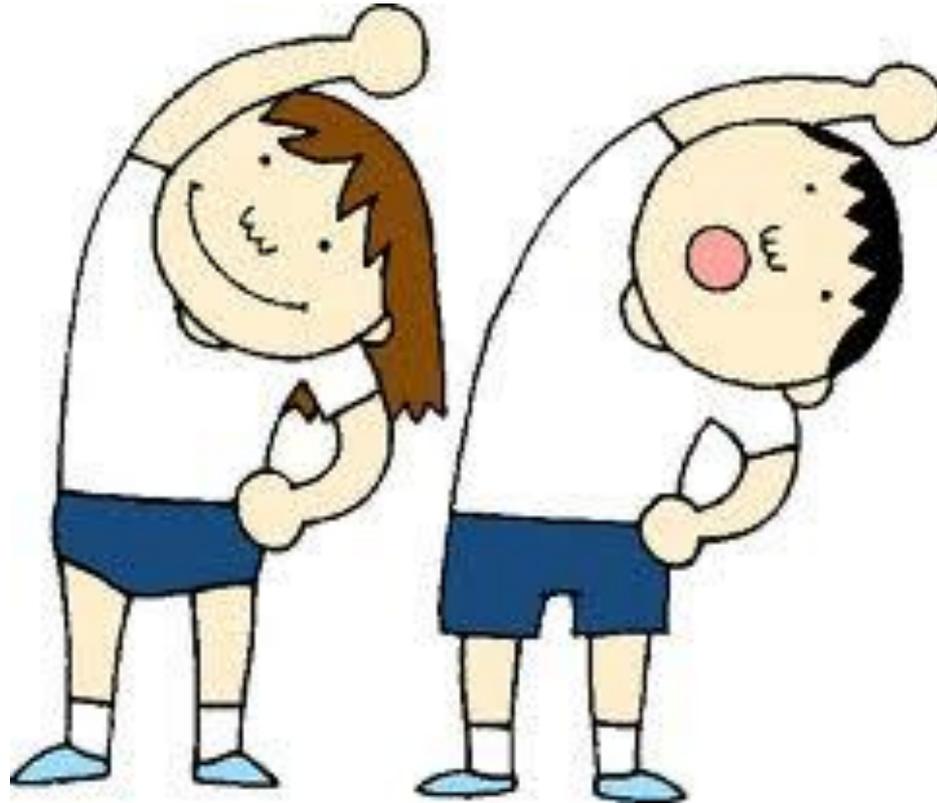
Ice Age Temperature Changes



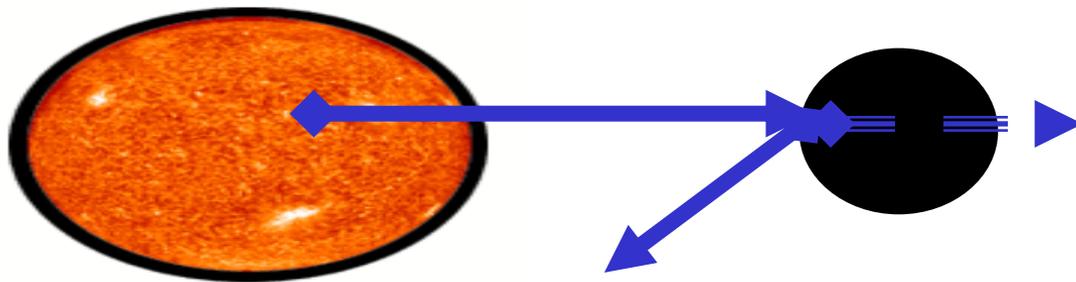
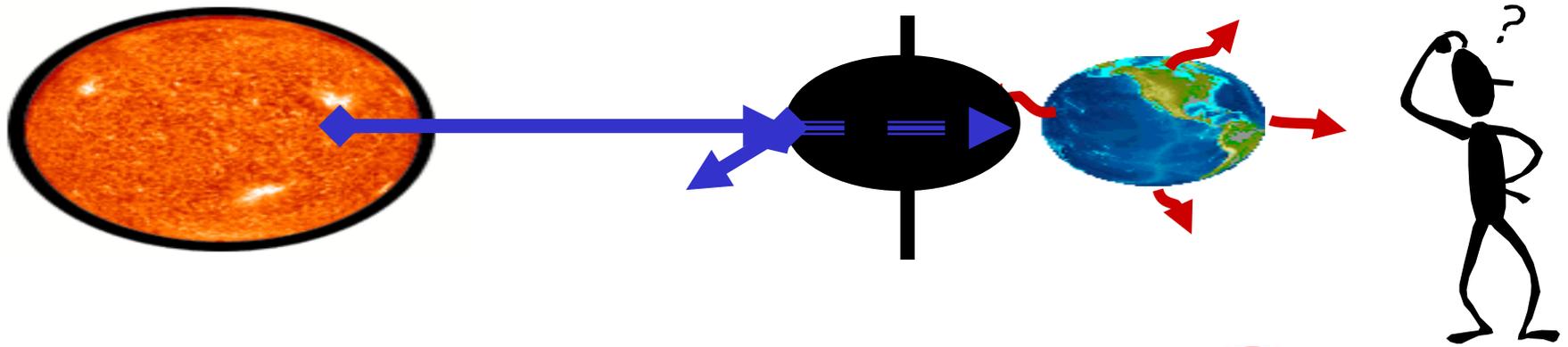
Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming



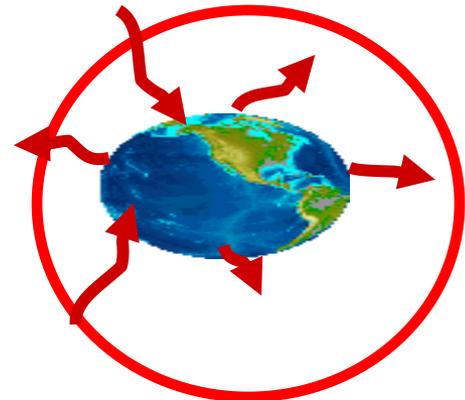
# Pausa 5 minutos



# Cambios antrópicos al balance radiativo



Aerosoles y núcleos  
de condensación



Gases de  
efecto  
invernadero

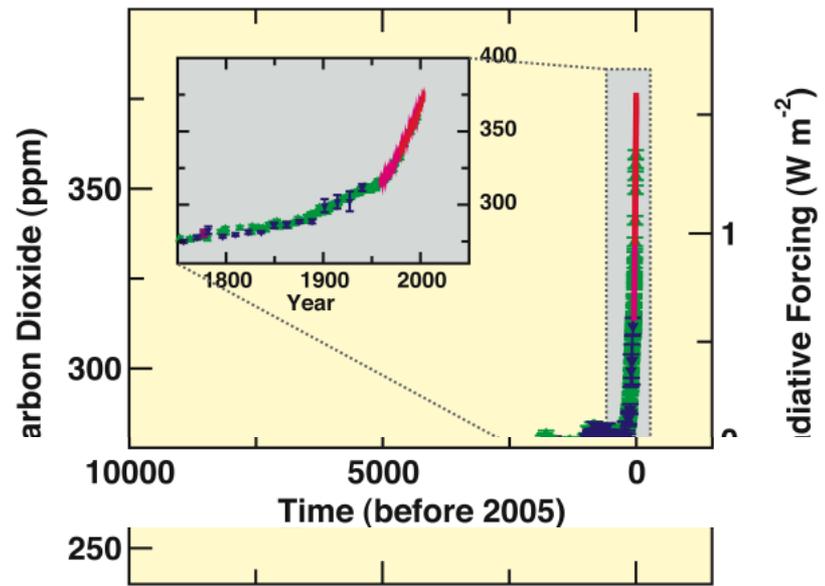
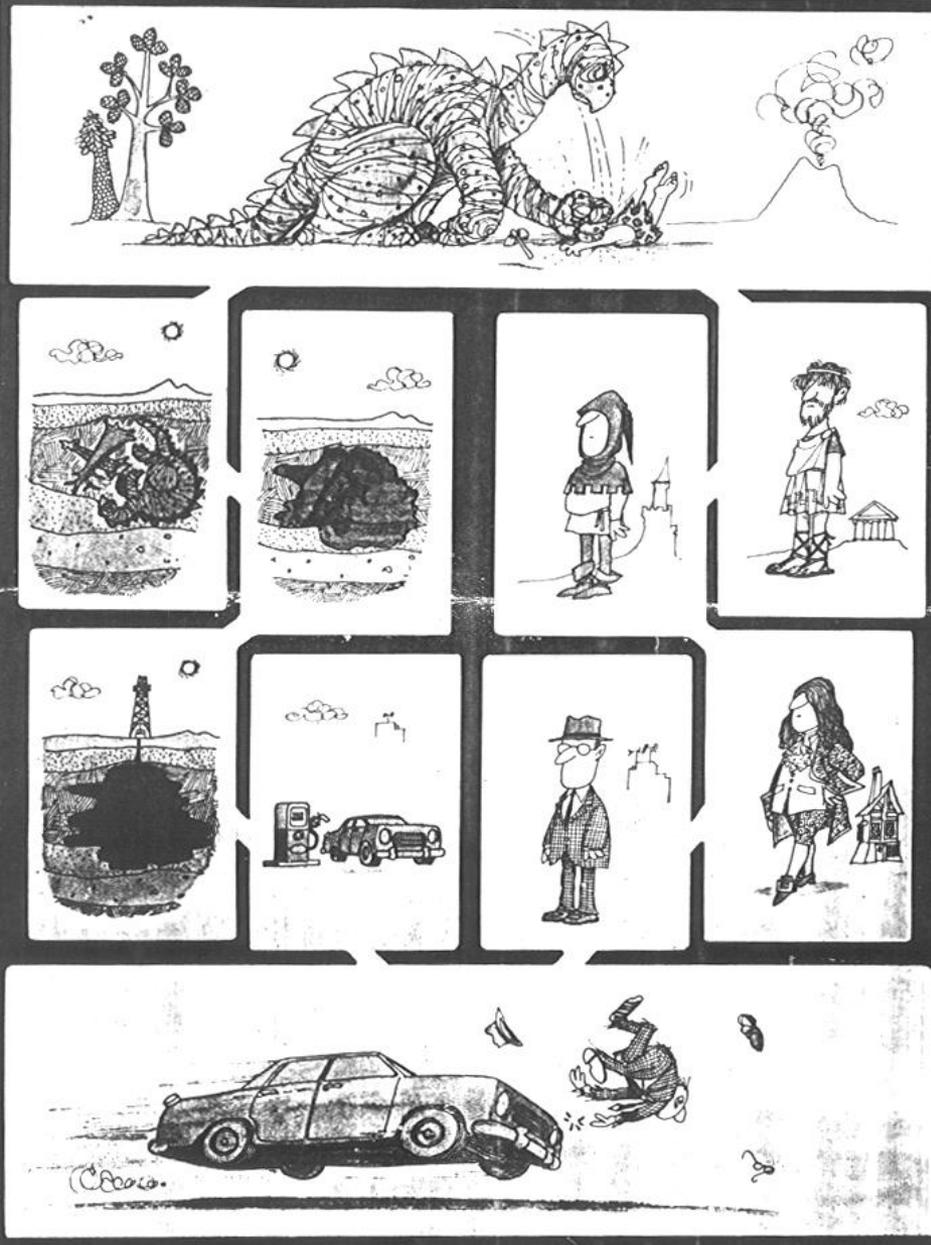


**Antropoceno: la era geológica actual**  
**¿Camino a terra incógnita?**

© Copyright (2004) IGBP - Glynn Gorick

# ¿Perturbaciones antrópicas globales?

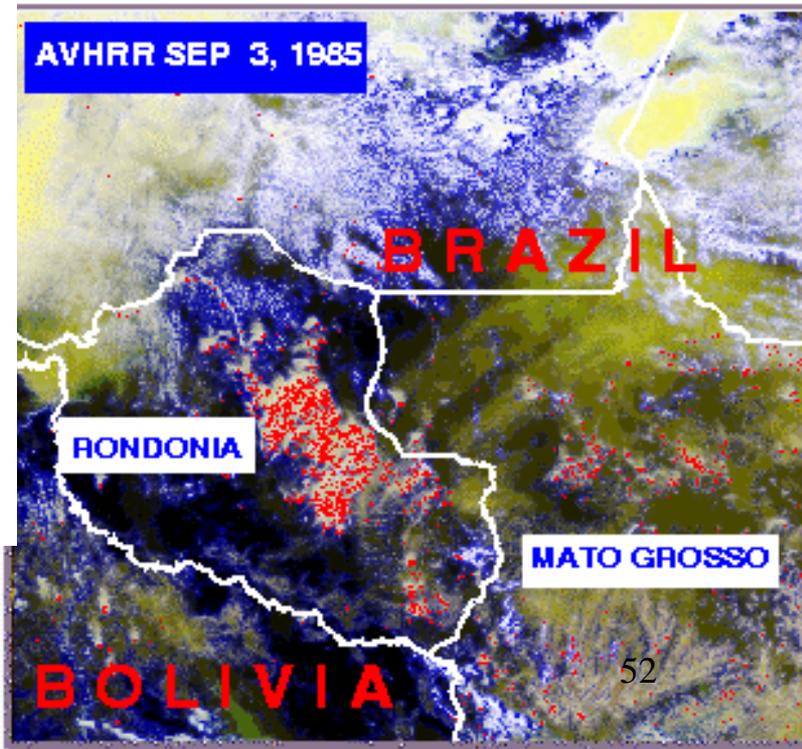
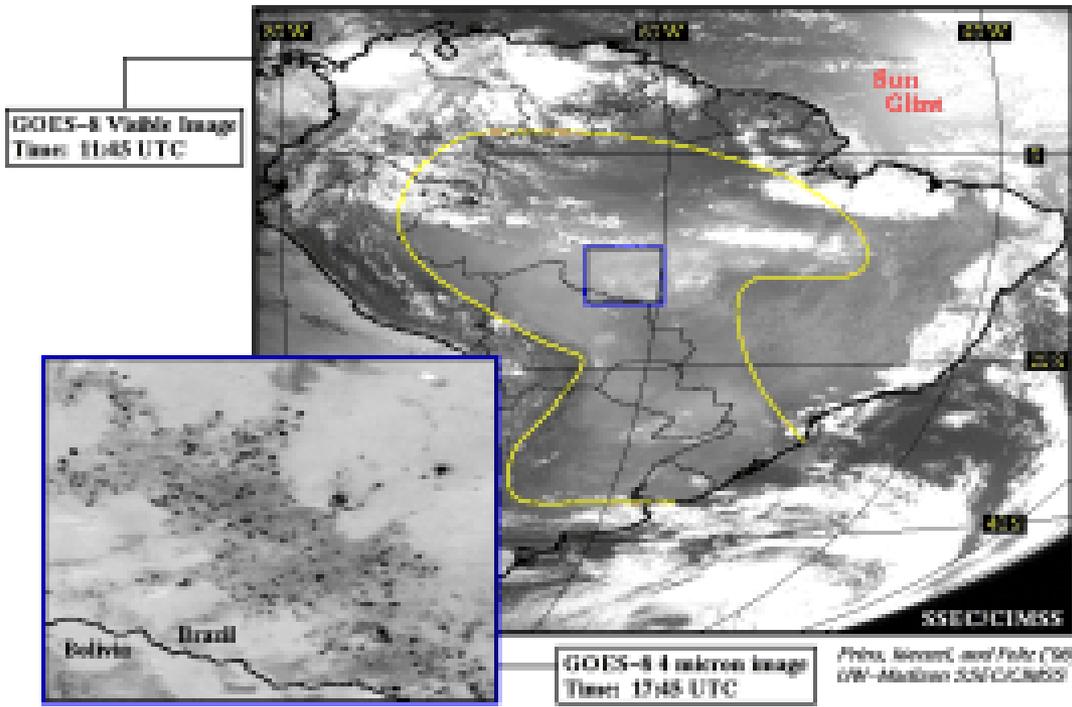


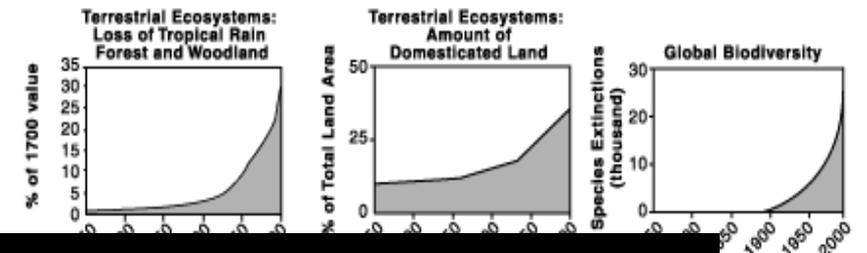
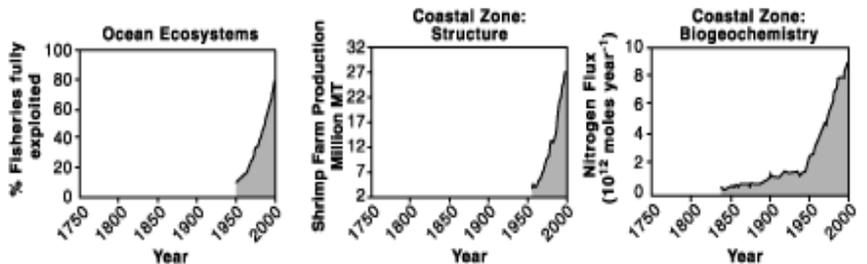
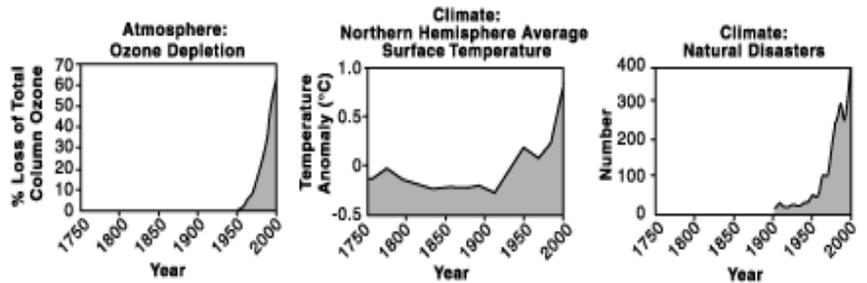
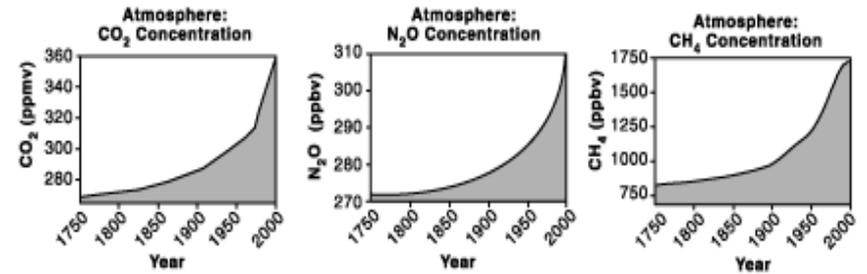
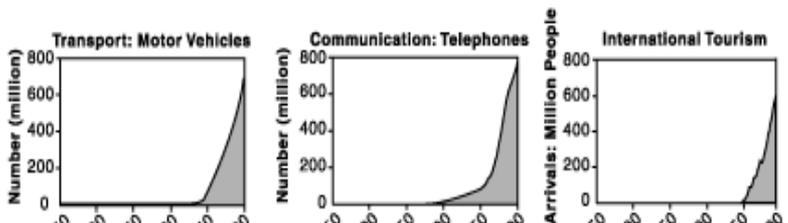
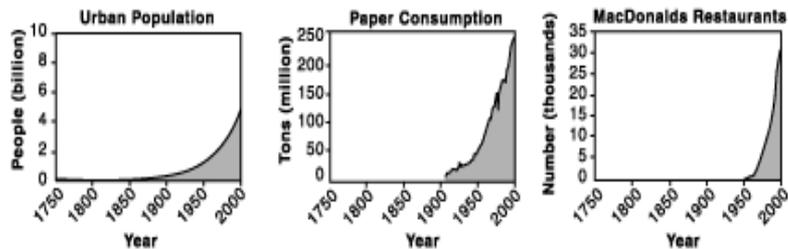
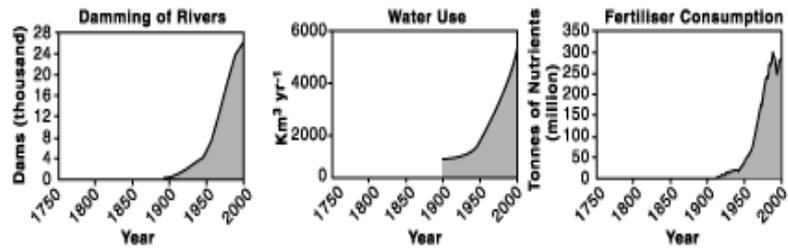
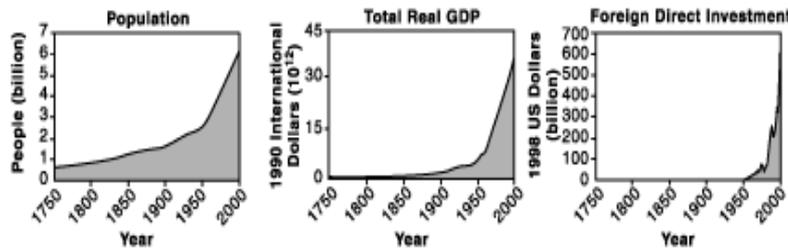


**Quema de combustibles  
fósiles  
y aumento de gases  
con efecto invernadero y  
otros**

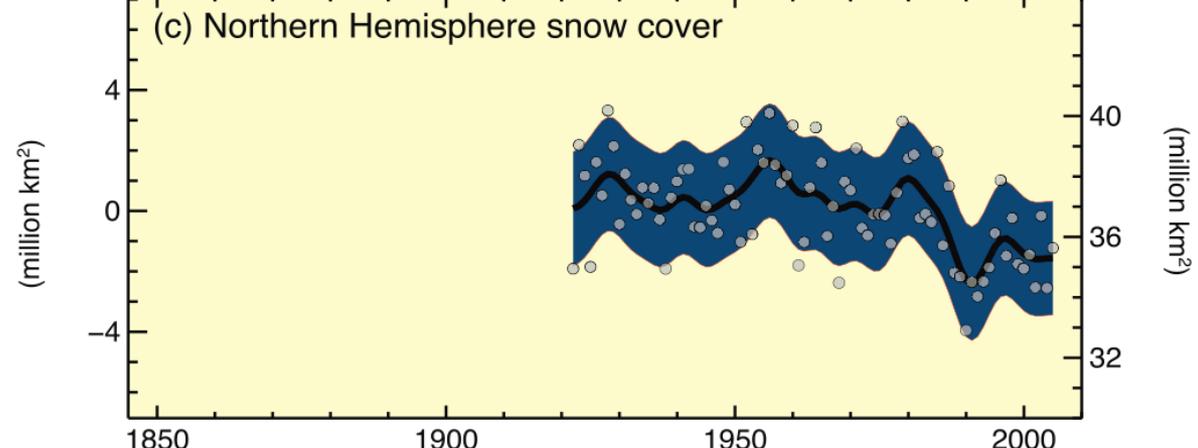
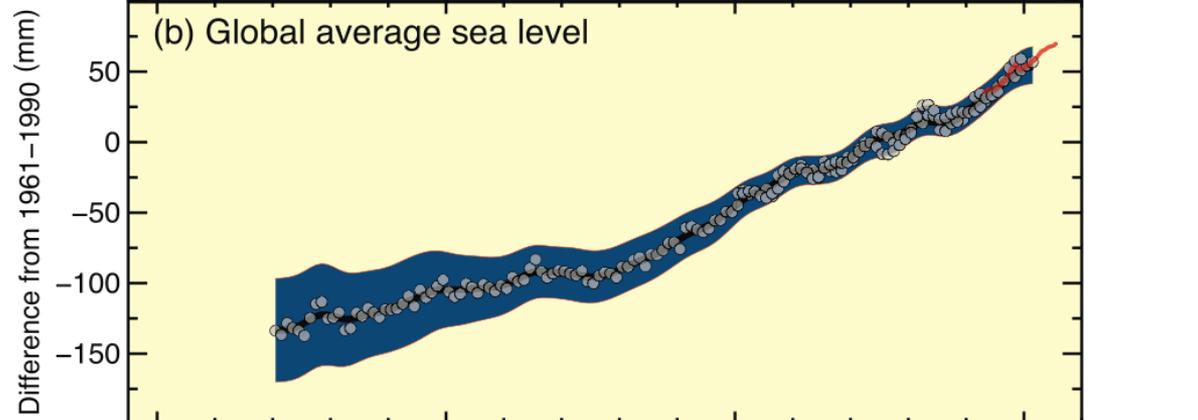
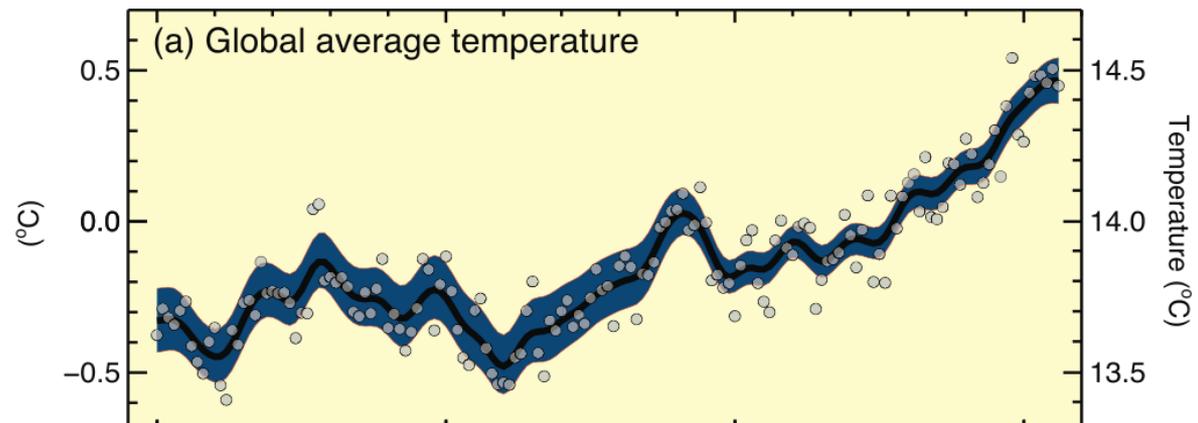
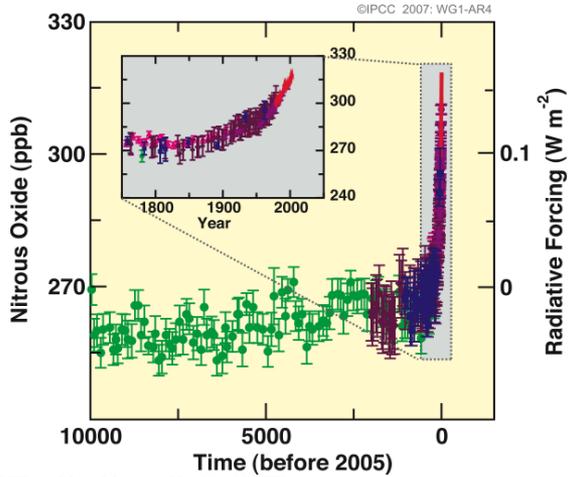
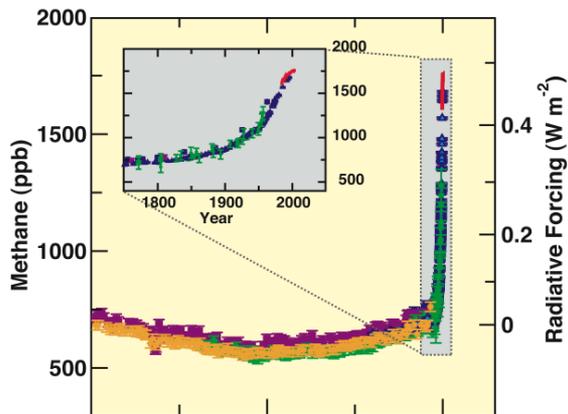
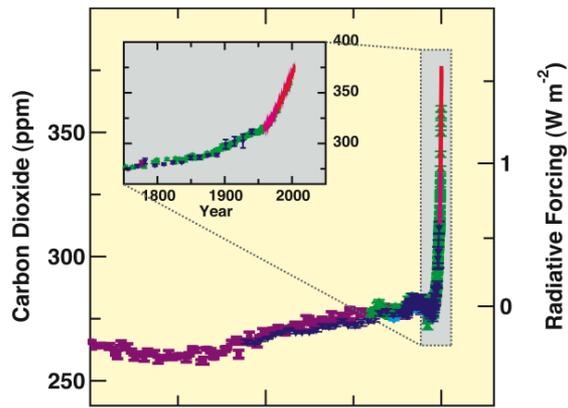
# Quema de biomasa

Smoke Pall and Fires Observed in GOES-8 Imagery  
 Date: 27-Aug-1997      Smoke Coverage: ~ 40 million km<sup>2</sup>



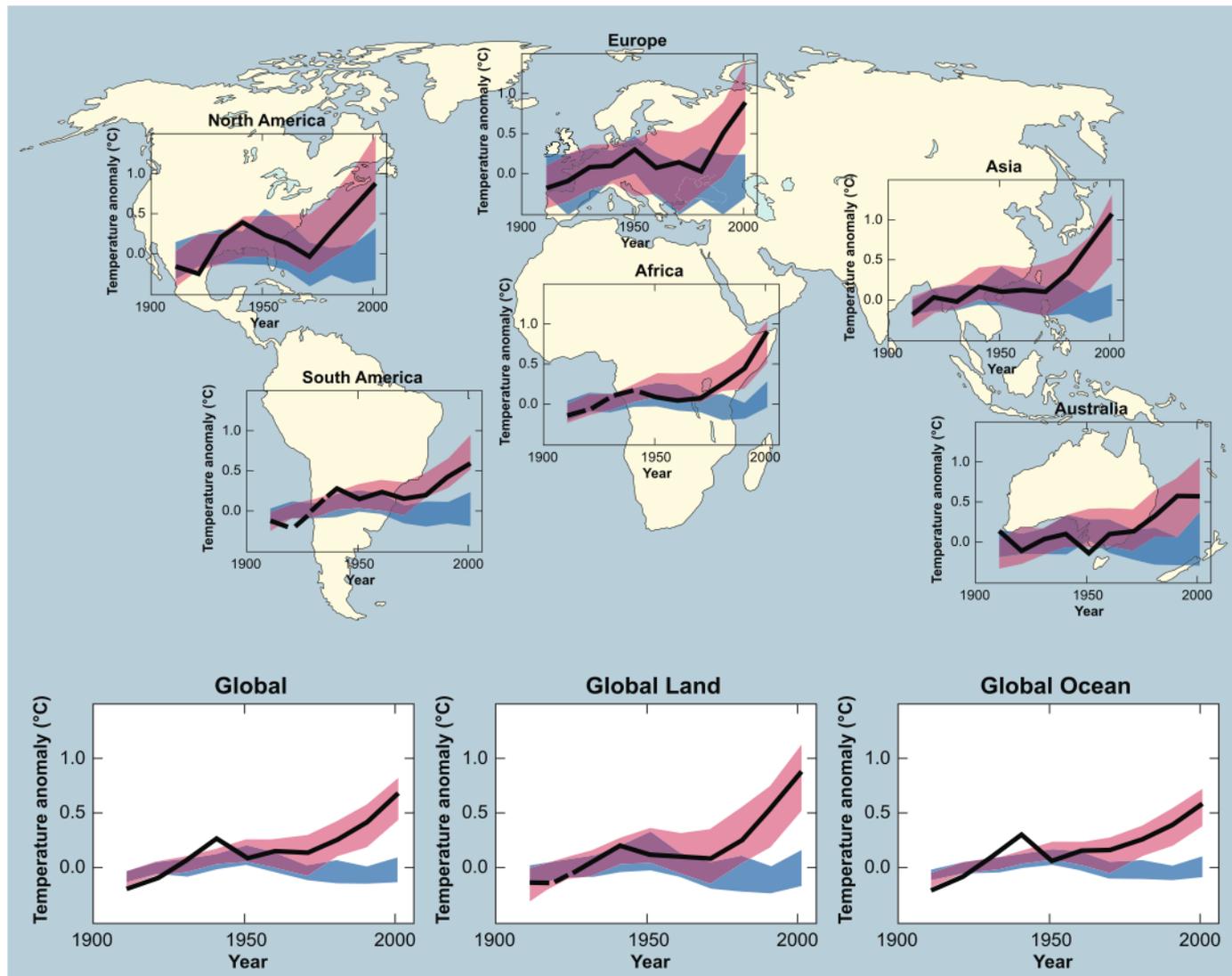


Somos responsables de muchos cambios simultáneos



©IPCC 2007: WG1-AR4

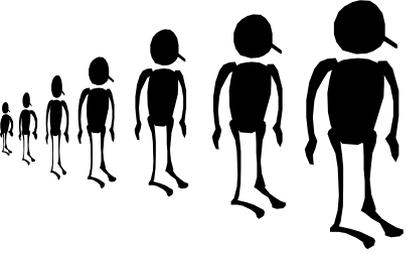
Year



models using only natural forcings  
 models using both natural and anthropogenic forcings

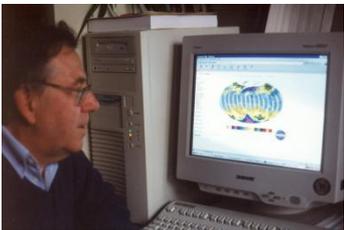
observations

©IPCC 2007: WG1-AR4



# Antropoceno

- Los seres humanos nos hemos convertido en un agente climático comparable a los no antrópicos
- Se verifican cambios climáticos y ellos obedecen, en modo distinguible e inequívoco, a perturbaciones antrópicas.
- Cambio global es mucho más que cambio climático
- El sistema climático es **COMPLEJO** y su respuesta ante múltiples perturbaciones puede llevar a otros equilibrios o desequilibrios momentáneos o permanentes...eso ha ocurrido antes.

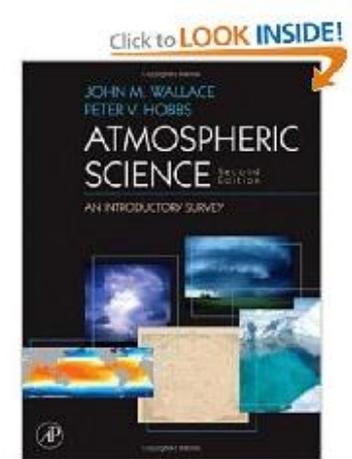


LGK 2011

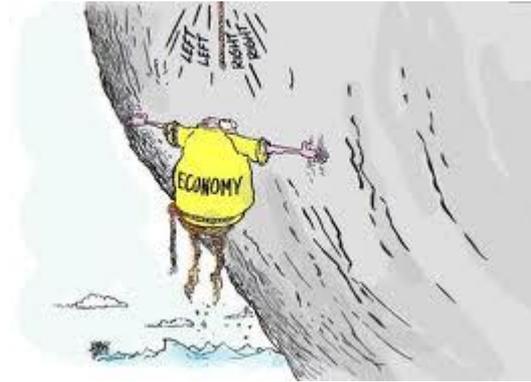




# Lecturas de hoy



- Obligatoria
  - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science, Ch. 2.
- Opcional
  - Vikingos y cambio climático  
<http://www2.sunysuffolk.edu/mandias/lia/index.html>
  - Teoría de Milankovic´ <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/milankovitch.html>
  - Hipótesis GAIA :
    - Lovelock, J.E.; Margulis, L. (1974). "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere- The Gaia hypothesis". *Tellus*, **26** (1): 2–10.
  - Antropoceno(<http://www.mpch-mainz.mpg.de/~air/anthropocene/Text.html>)
- Más sobre clima: GF3004 (Sistema Climático)



*To be continued...*

Atmósfera: composición y estructura  
(Ecuación hipsométrica)