

GF3003

Introducción a la Meteorología y  
Oceanografía

**Ciencias Atmosféricas**

Laura Gallardo Klenner

Departamento de Geofísica de la  
Universidad de Chile

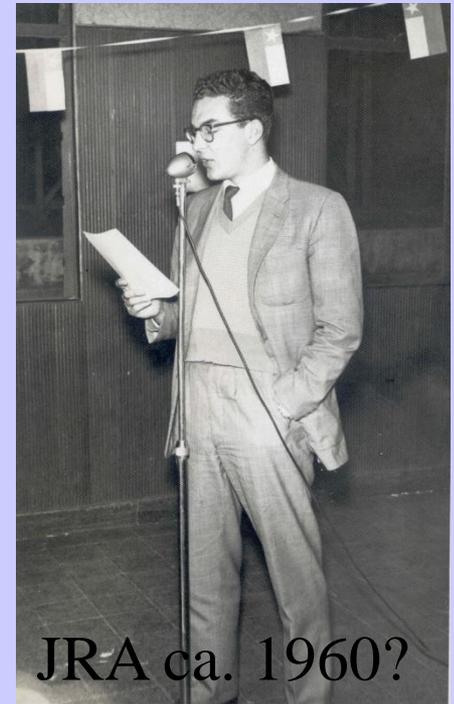
Primavera 2010

# HOY

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



# El curso: GF3003



JRA ca. 1960?



# Objetivos

*“Al final del curso el alumno demuestra que comprende la física básica de fenómenos observables en la atmósfera baja y en el océano superficial que condicionan el clima y el ambiente en el que se insertan las actividades propias de la ingeniería civil, la geología y la geofísica”.*

# Más específicamente, 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**



# 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 ))
- Lucía Scaff (Ing. Civ. Hidráulica & MSc Meteorología ( C ))





# Evaluación



**Controles (3)+Examen (70%)**

**y**

**Tareas/Laboratorios (~3) (30%)**

NB. Se deben aprobar por separado

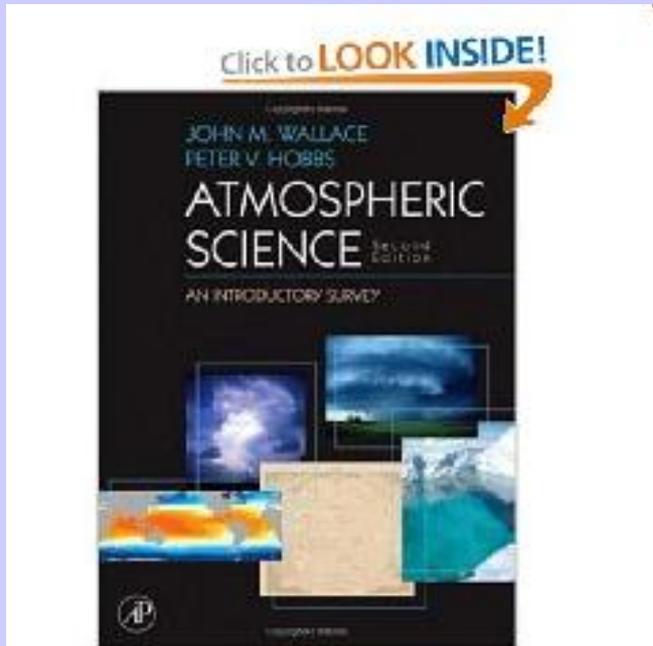
Material del curso: U-cursos y biblioteca y etc

3 horas de cátedra

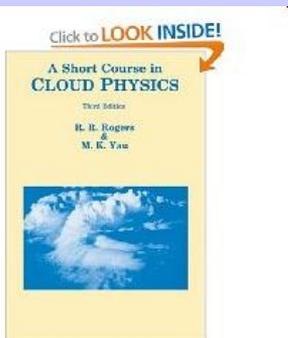
2 horas de auxiliar

**5 horas de trabajo personal SISTEMÁTICO**

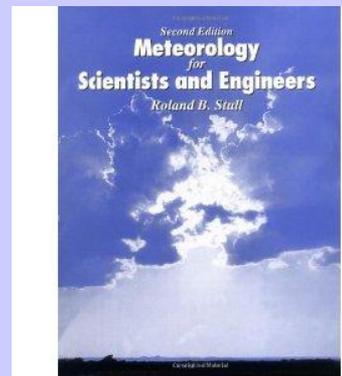
# Literatura



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



+Literatura especializada



LGK 2010

# Sistema Climático

## – Clima

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

## – Forzantes naturales

- Parámetros orbitales (Milankovitch)
- Volcanes

## – Forzantes antrópicas

- Gases de efecto invernadero
- Aerosoles

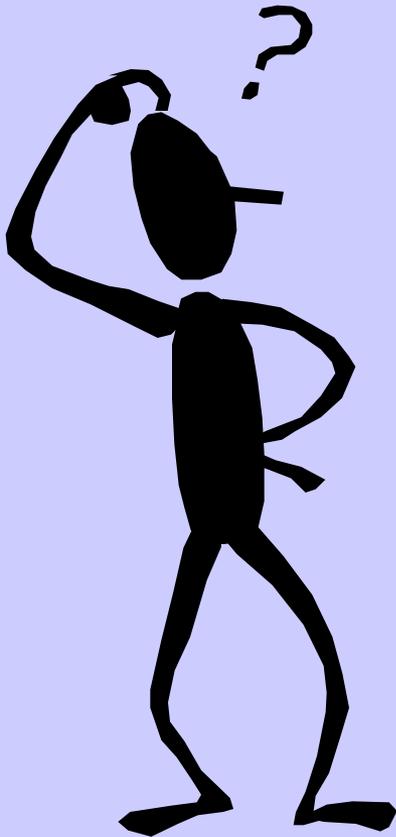
## – Evolución del clima

- 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.

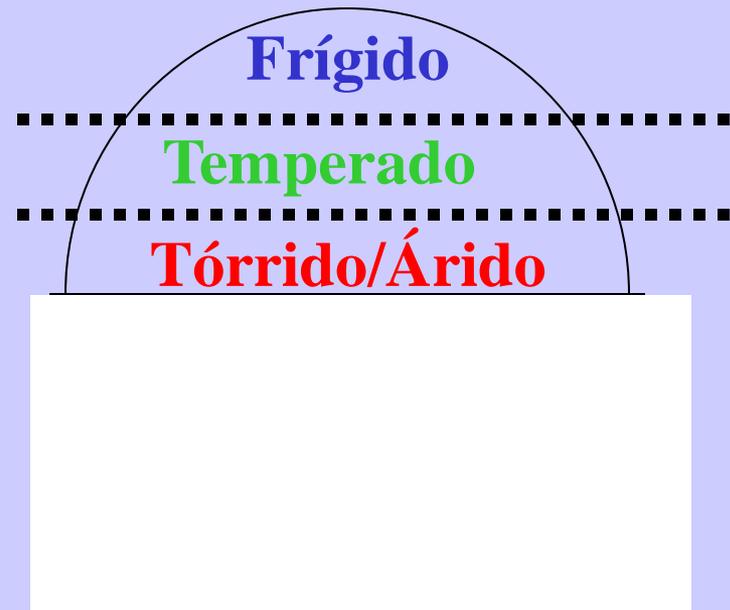
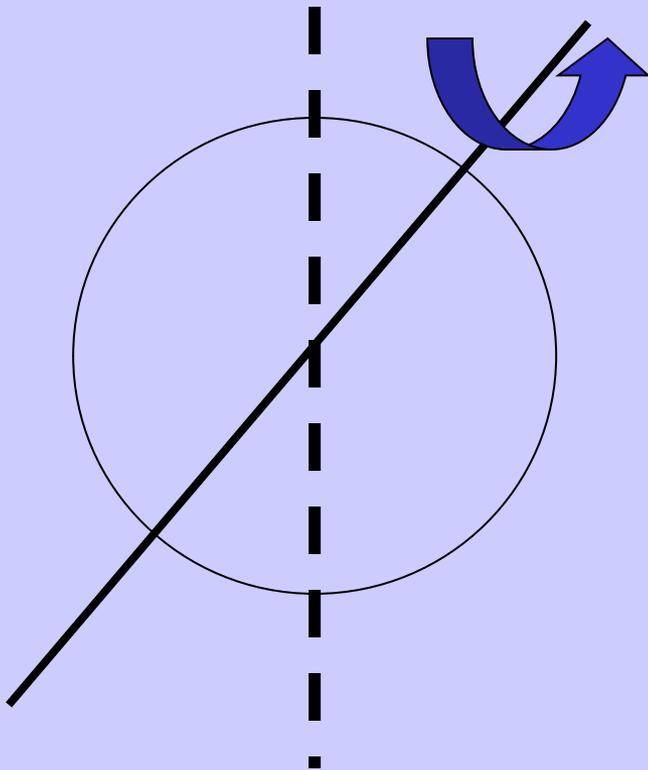


# Clima

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

clima...κλίμα...=inclinación

$\Omega$



# Teorema

$\forall$  *idea*  $\exists$  *grieg@s*  $\in$  *Grecia Clásica*  
*que la dijeron primero*

Corolario: leer las fuentes originales





# Componentes del clima

- Nubes
- Cerros
- Mar
- Volcanes
- Hielo
- Lagos
- Ríos
- Nieve
- Gente
- Plantas
- etc, etc, etc....

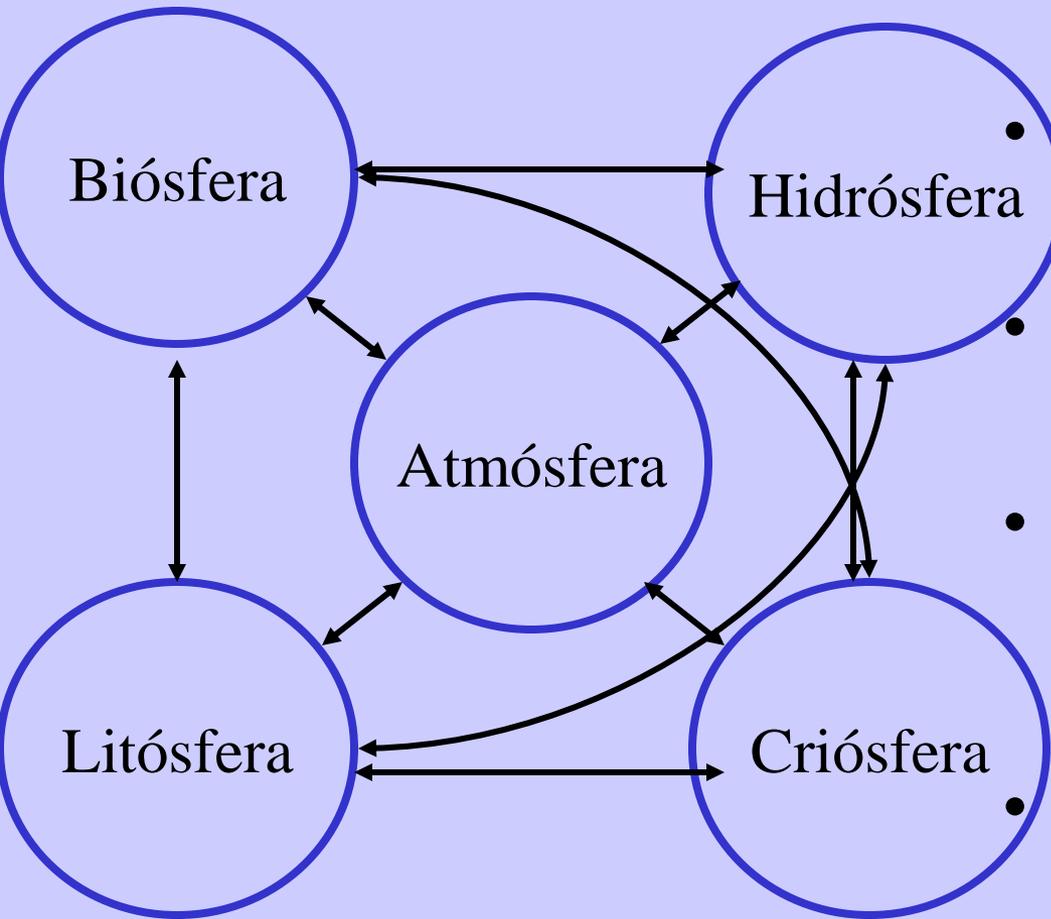
- Hidrósfera
- Atmósfera
- Litósfera
- Criósfera
- Biósfera

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

- Hidrósfera
- Atmósfera
- Litósfera
- Criósfera
- Biósfera

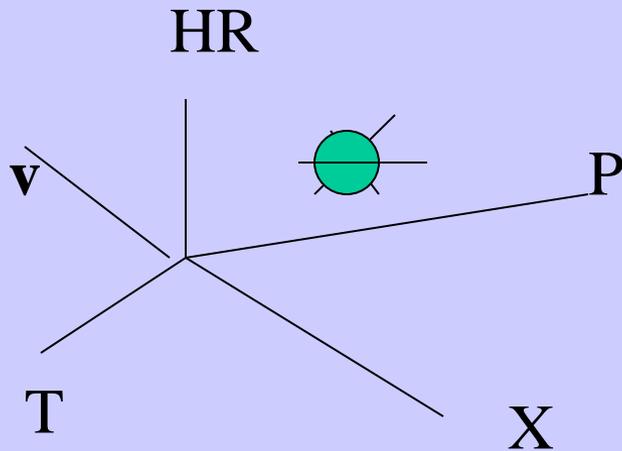
- Fotosíntesis
- Erupción pliniana
- Evapotranspiración
- Crecimiento urbano
- Transporte aéreo
- Respiración vegetal
- Rompimiento de olas
- Actividad solar

# 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:**

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

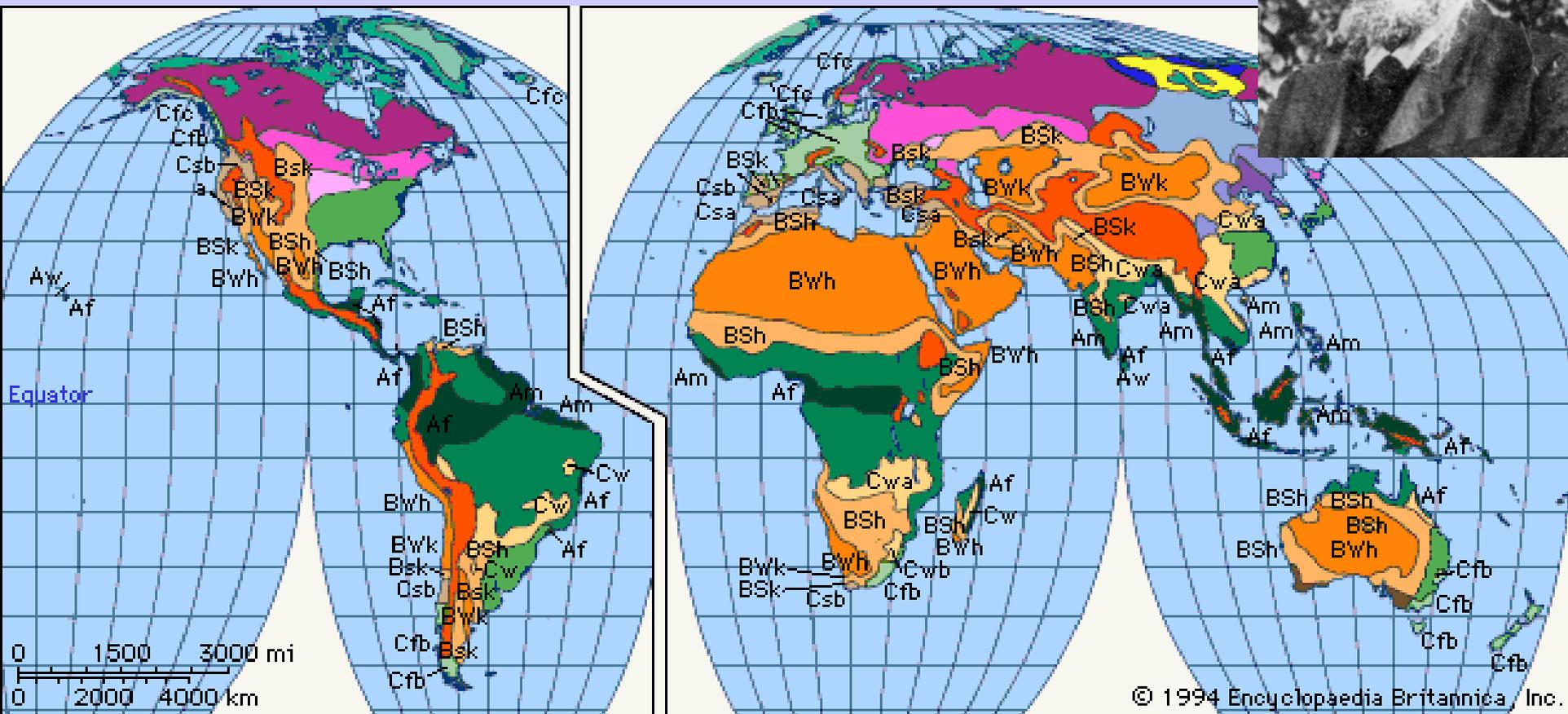
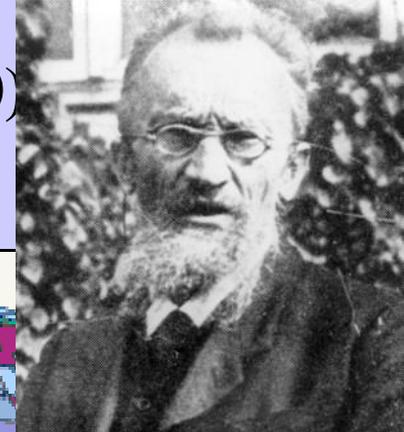
**Cambio Climático:**

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

**Variabilidad climática:**

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

# Clasificación del clima de W. Köppen (1846-1940)



© 1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

|               |          |             |              |     |     |    |
|---------------|----------|-------------|--------------|-----|-----|----|
| Af, Am        | BWh, BWk | Cfb, Cfc    | Cw, Cwa, Cwb | Dfc | Dwb | EF |
| Aw            | Cf       | Cs          | Dfa          | Dfd | Dwc | ET |
| BSk, BSh, Bsk | Cfa      | Csa, Csb, a | Dfb          | Dwa | Dwd | H  |

LGK 2010

A: Trópico, húmedo; B:Seco; C:templado; D: Severo; E: Polar; H: Montañ

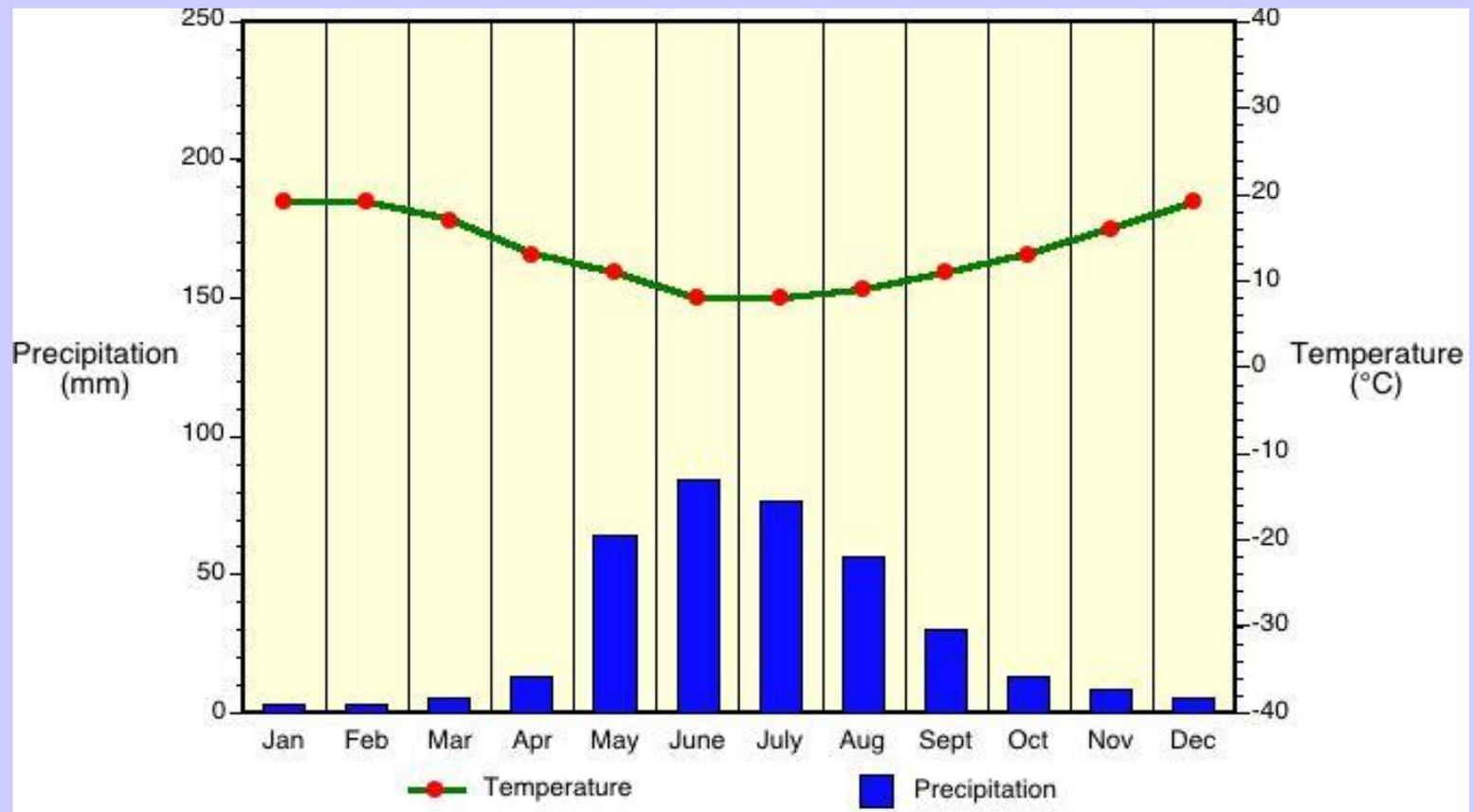
# Köppen usa la vegetación como variable sintética

## 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?

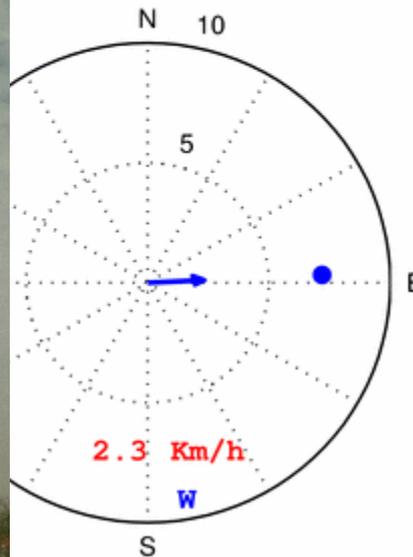


# El tiempo hoy en Santiago



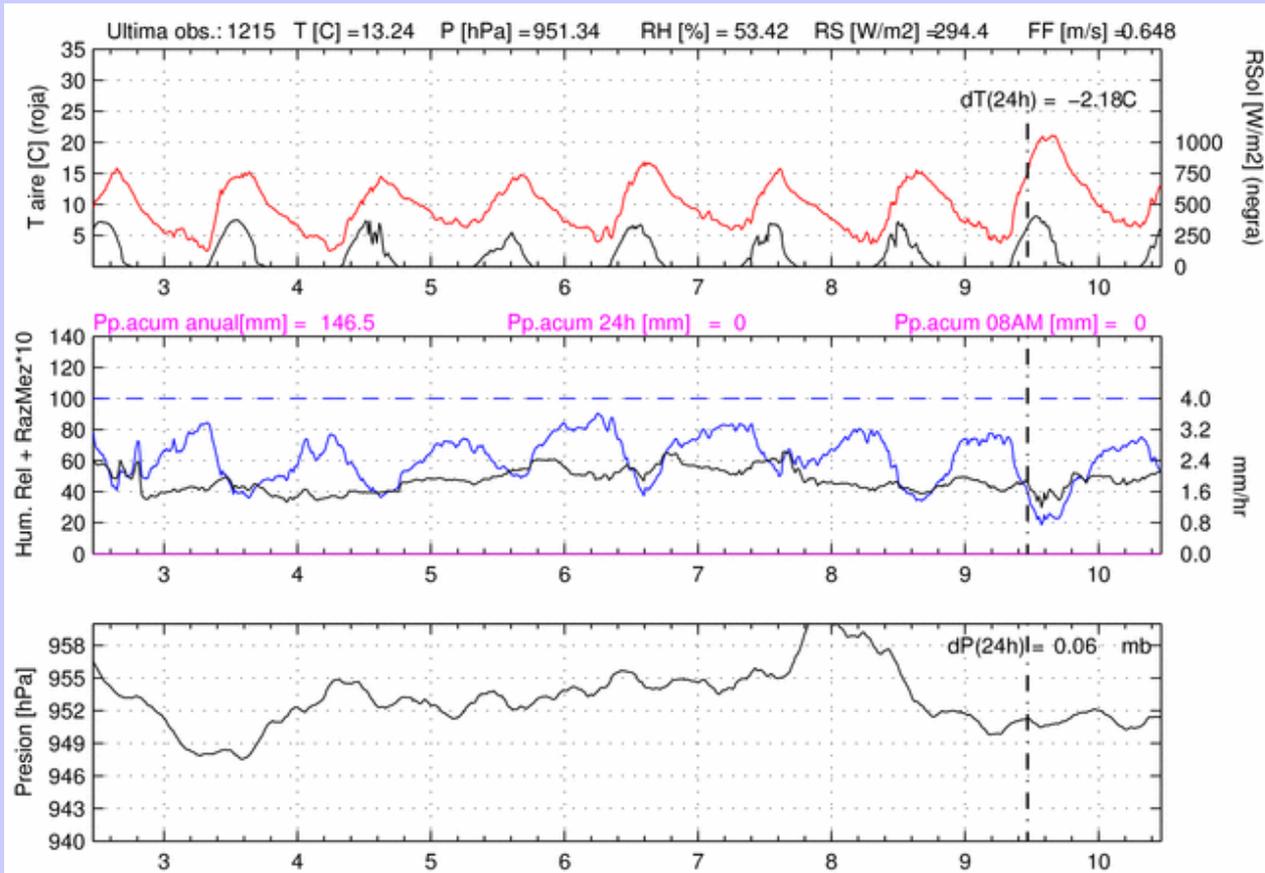
## Estacion DGF-FCFM

### Ultimas Observaciones



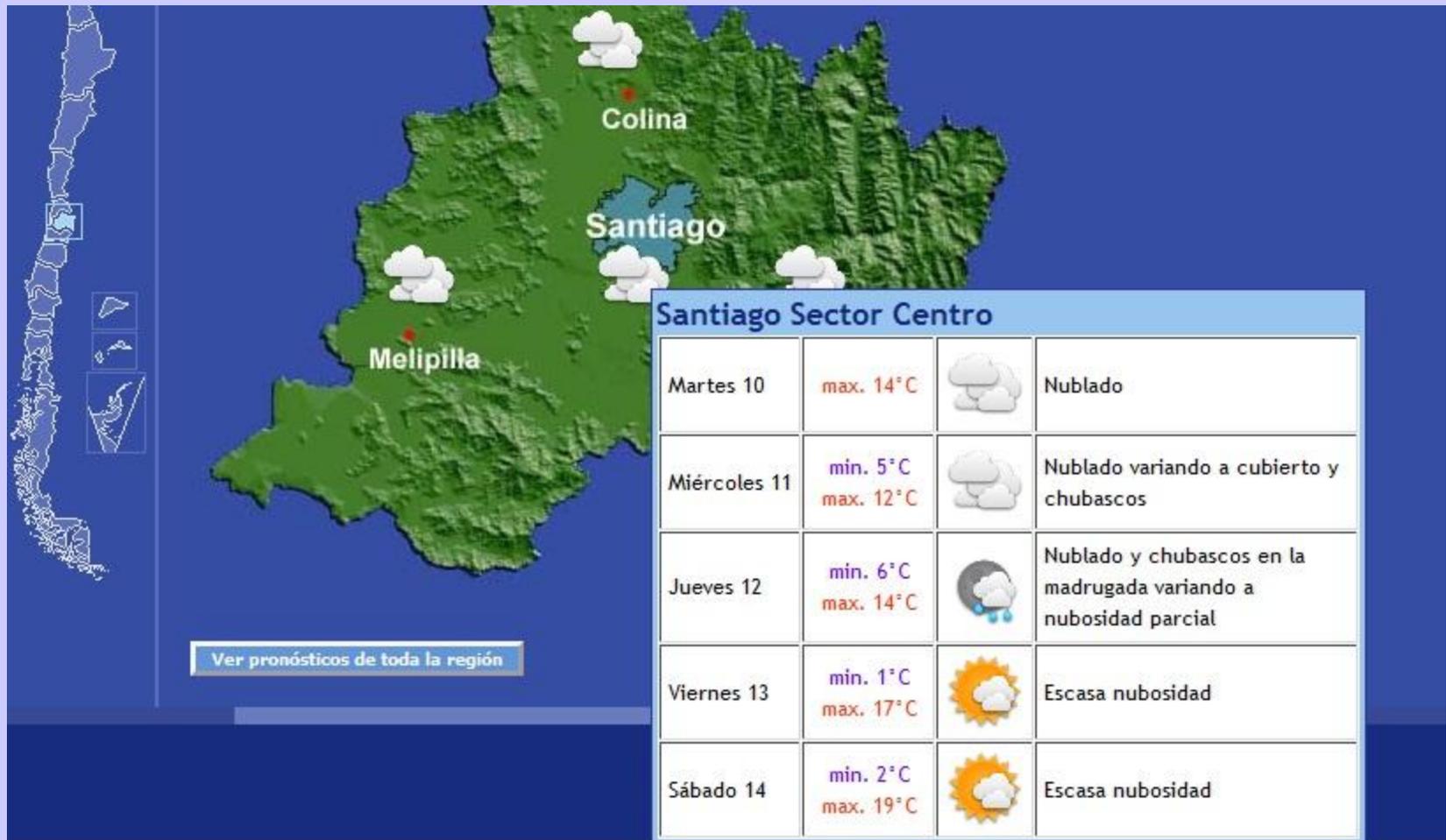
|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Hora Local              | 12:10 5 |
| Temp. aire [C]          | 13.0    |
| Hum. Relativa [%]       | 54.2    |
| Hum. especifica [g/Kg]  | 5.4     |
| Lluvia ultima hora [mm] | 0.0     |
| Lluvia ultimas 24h [mm] | 0.0     |
| Lluvia a la fecha [mm]  | 146.5   |

# El tiempo en Santiago la última semana



<http://met.dgf.uchile.cl/tiempo/OBSERVACIONES/observaciones.html>

# El tiempo de Santiago en estos días



LGK 2010

<http://www.meteochile.cl/pronostico.html>

# Tarea

- ¿Cómo ha estado el tiempo en estos días en:
  - Arica, Chile
  - Ushuaia, Argentina?



## Tiempo, Clima, Sistema Climático

**Tiempo:** Condiciones atmosféricas “instantaneas”: temperatura, presión, humedad, precipitación, viento, etc. Las variaciones más importantes del tiempo ocurren en la escala inter-diaria. Cambios de tiempo controlados por dinámica interna de la atmósfera.

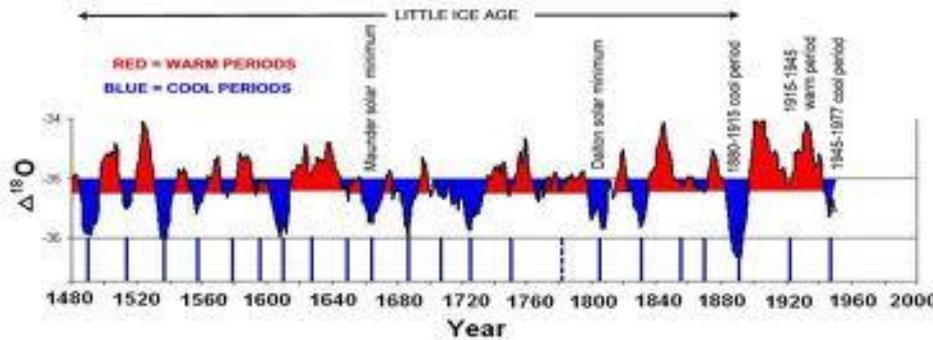
**Clima:** Condiciones atmosféricas “medias” en una región. Promedios calculados sobre muchos años (30). El clima determina mucha de las características ecológicas (bio-geografía) e incluso sociales y económicas de una región.

**Sistema Climático:** Incluye a los subsistemas terrestres (atmósfera, hidrosfera, criosfera, biosfera, litosfera), las interacciones entre y sus forzamientos externos (e.g., actividad solar) que determinan el clima terrestre.

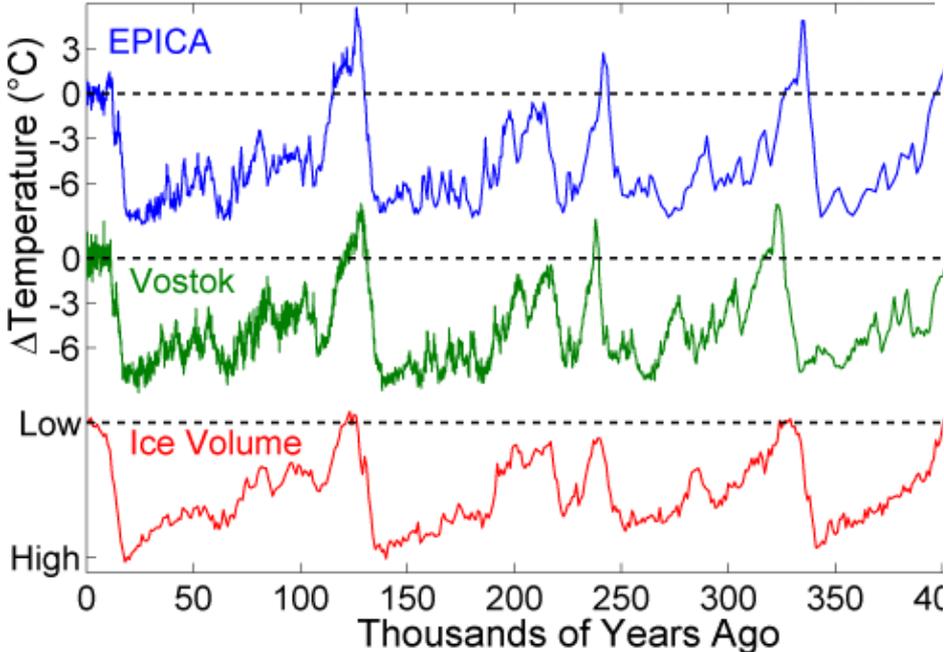
10 minutos



# El clima ha cambiado, cambió, cambia y cambiará



Ice Age Temperature Changes



Influence of Dramatic Climate Shifts on European Civilizations:

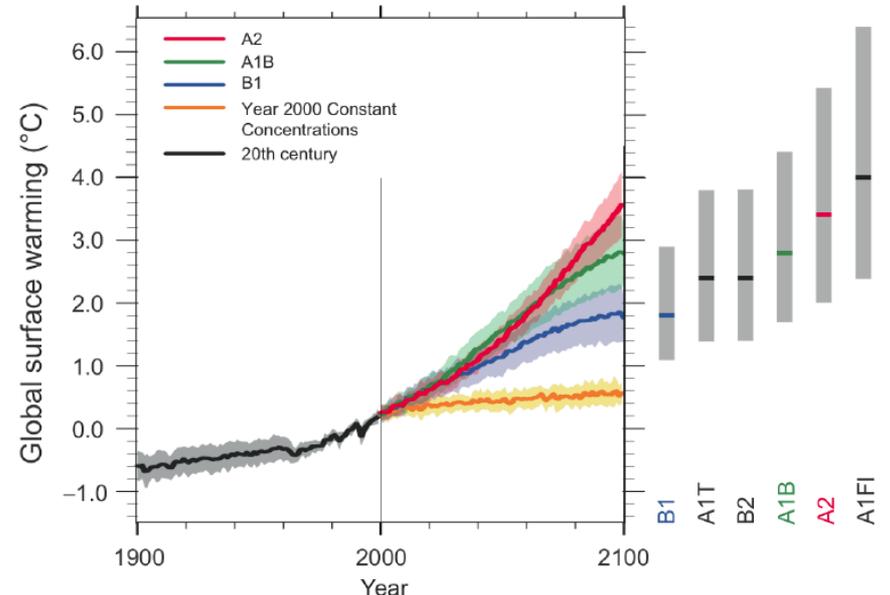
**THE RISE AND FALL OF THE VIKINGS**

and

**THE LITTLE ICE AGE**



Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming



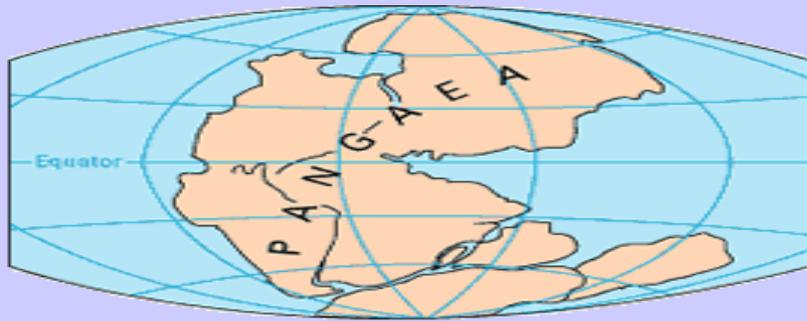
# Forzantes del sistema climático



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



# Cambios tectónicos



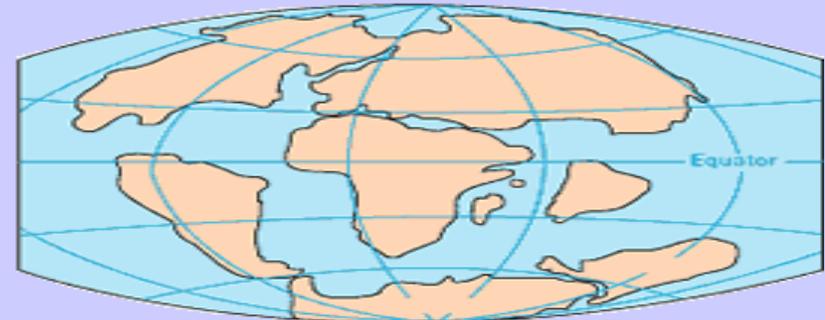
**PERMIAN**  
225 million years ago



**TRIASSIC**  
200 million years ago



**JURASSIC**  
135 million years ago

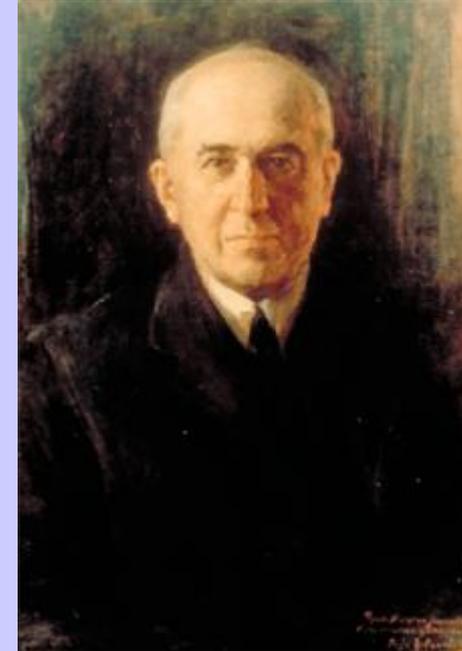
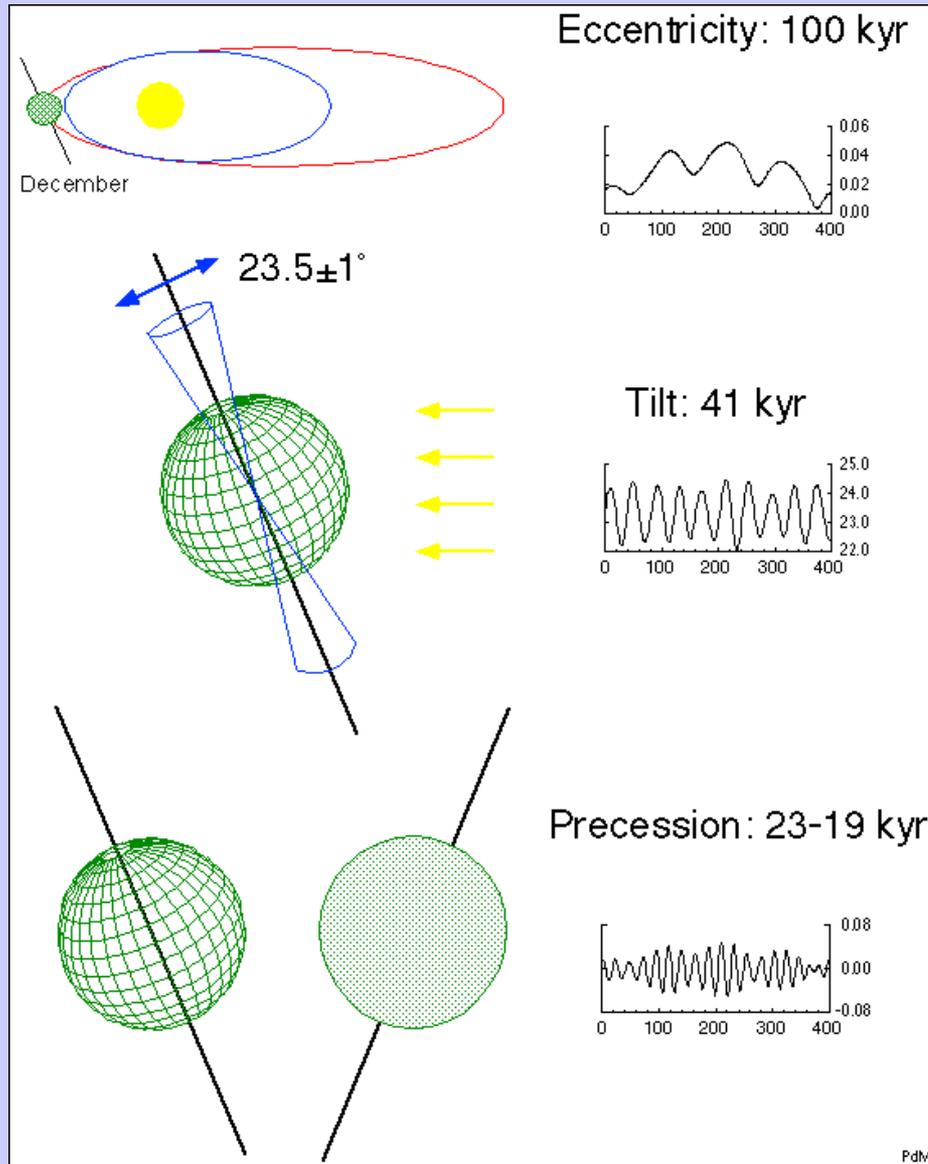


**CRETACEOUS**  
65 million years ago



LGK 2010  
**PRESENT DAY**

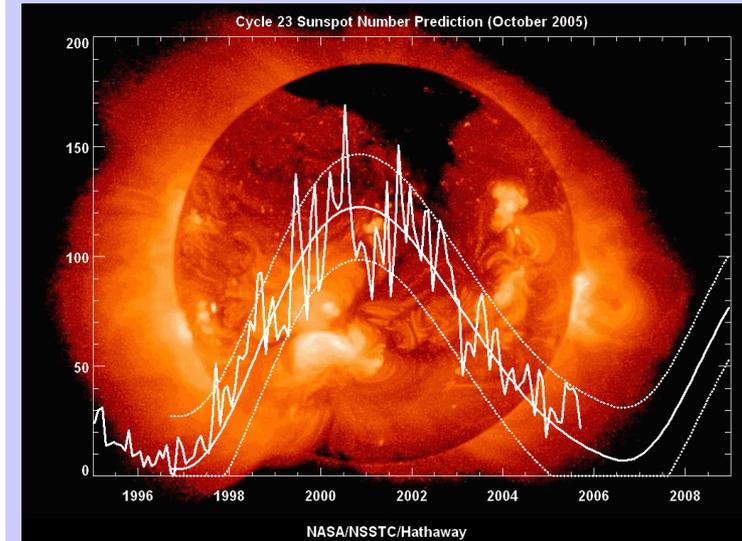
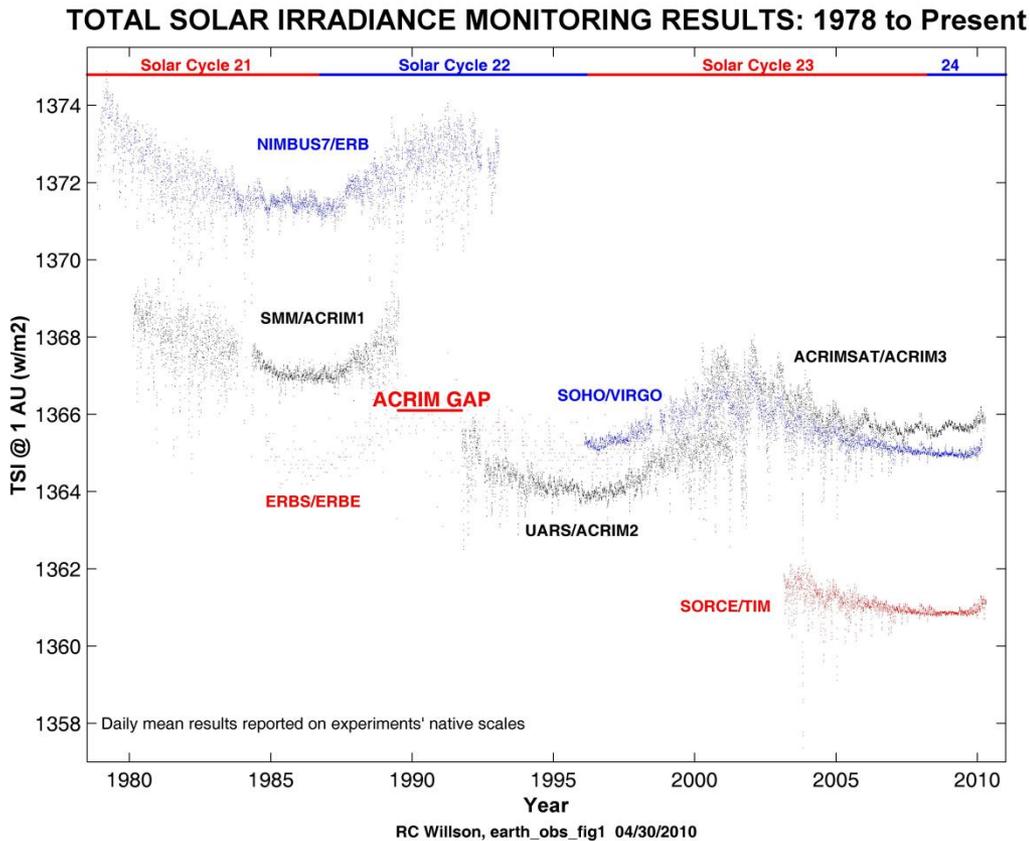
# Cambios en parámetros orbitales



**Milutin Milanković**  
Милутин Миланковић

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

# Cambios en actividad solar (La fuente principal de energía)

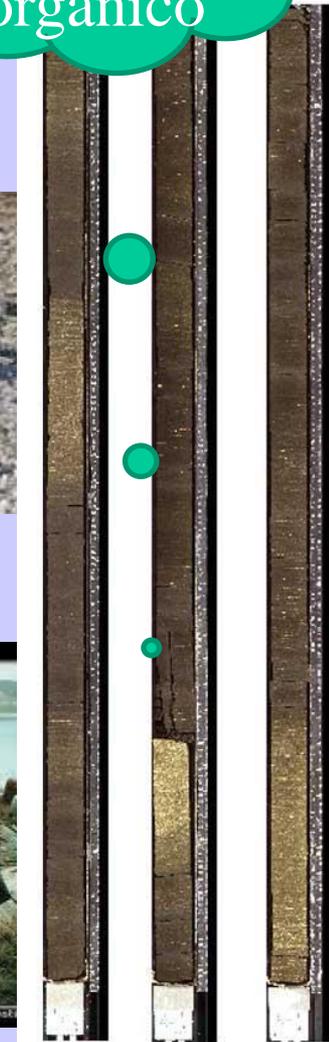
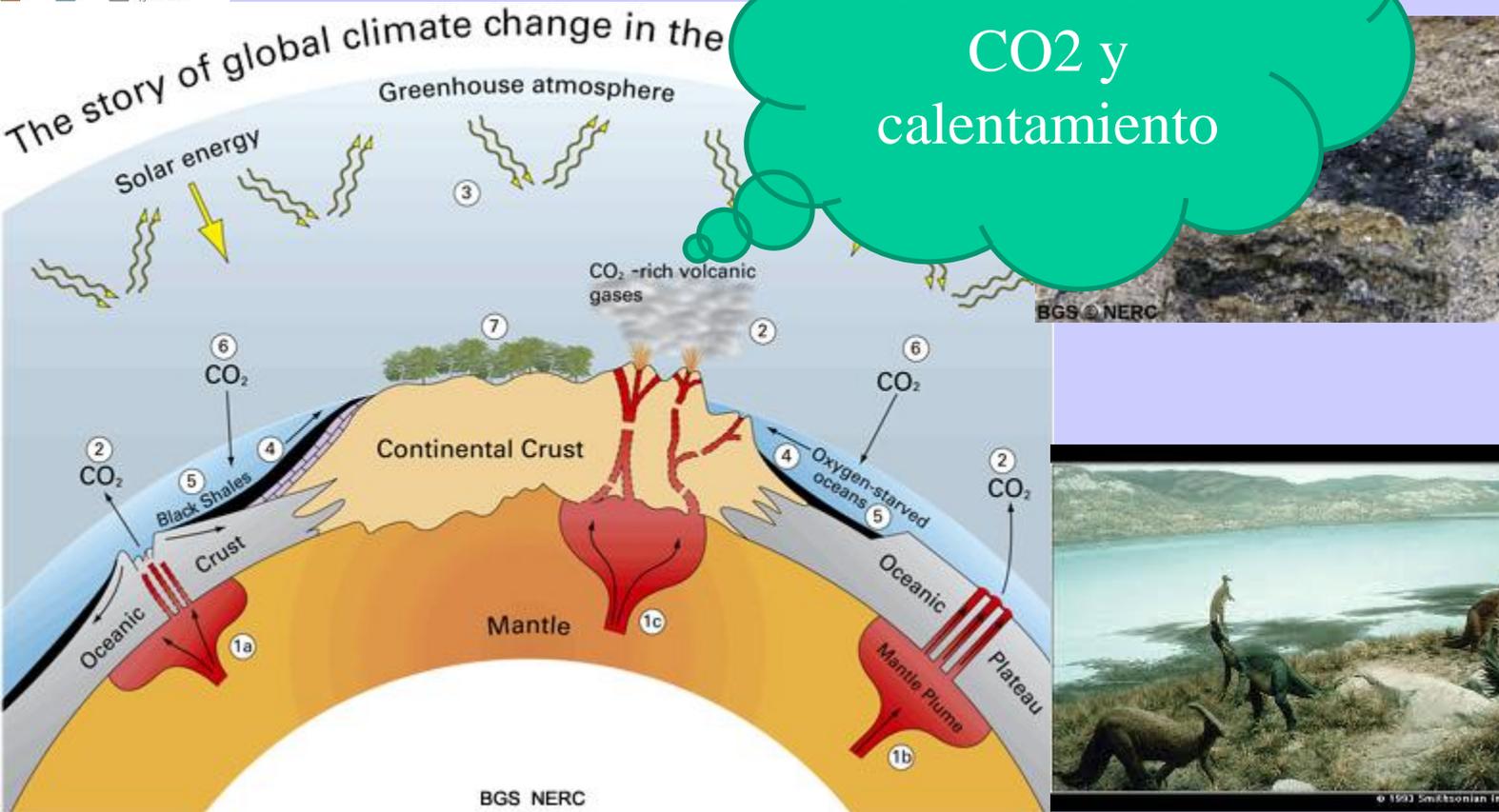
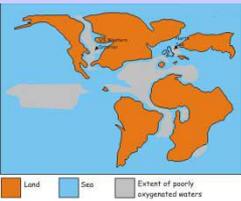


# Actividad volcánica

Depósitos  
de C  
orgánico

Hace ca. 95 Ma

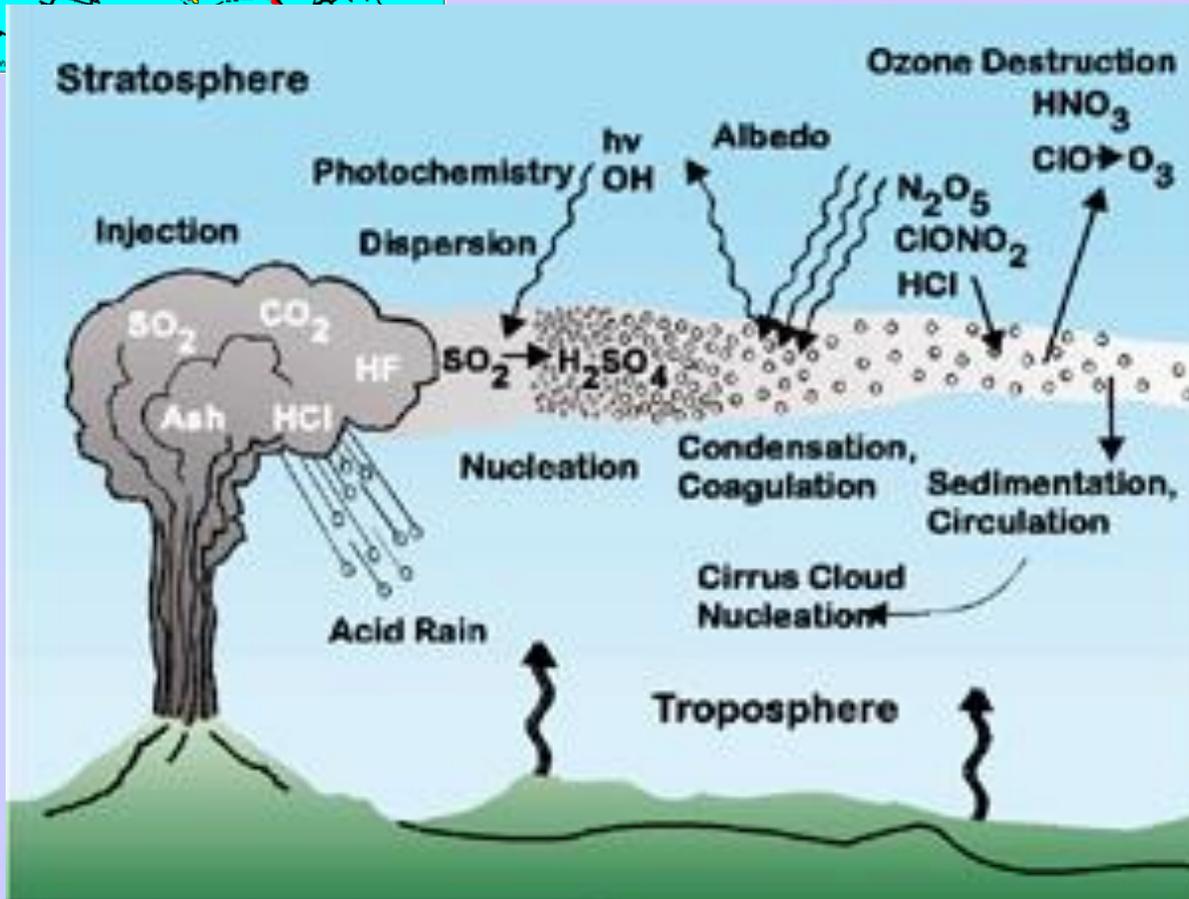
Acumulación de  
CO<sub>2</sub> y  
calentamiento



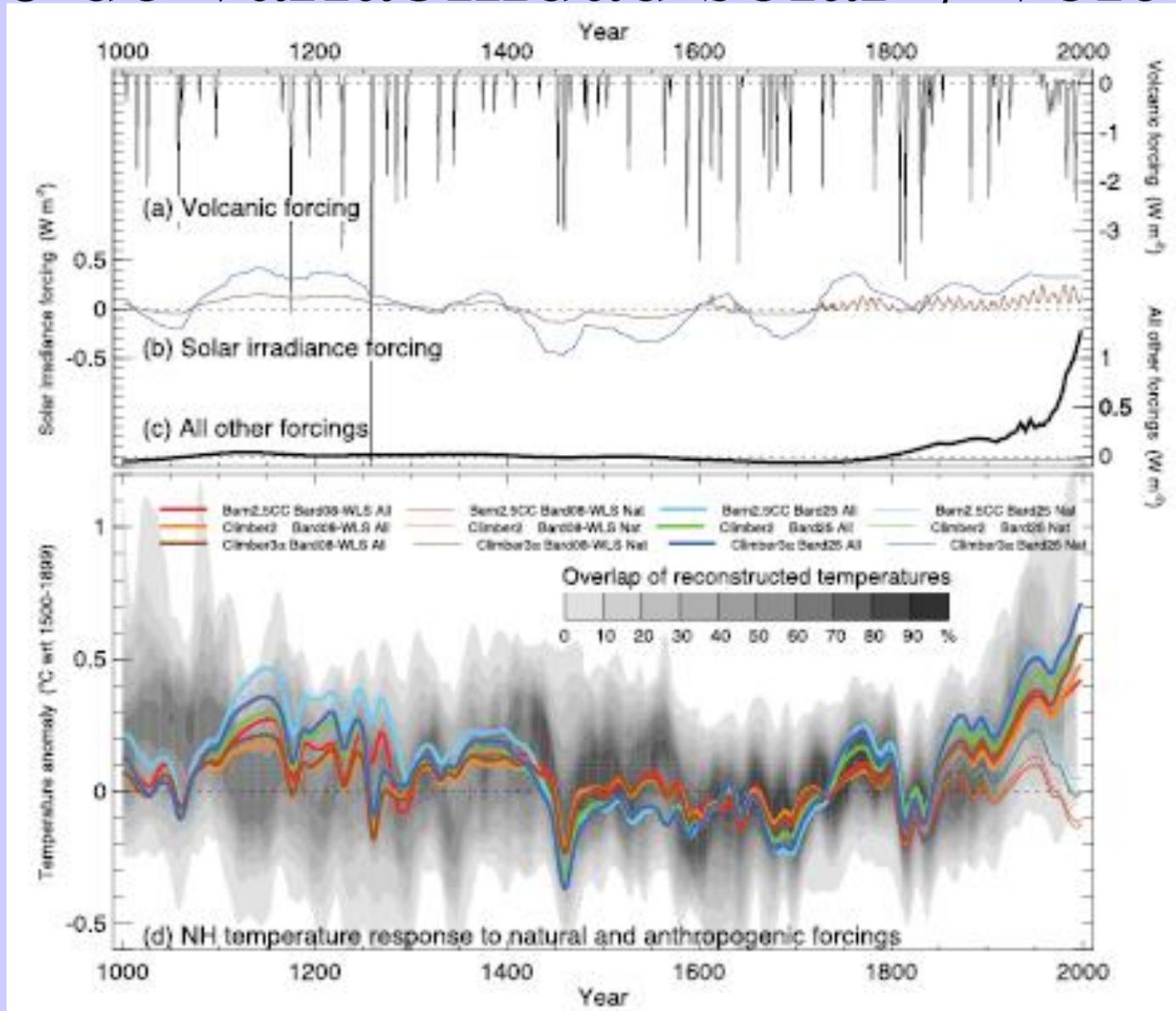
LGK 2010

# Actividad volcánica

Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the "Ring of Fire"



# 1000 de variabilidad solar y volcánica



# La vida y la atmósfera

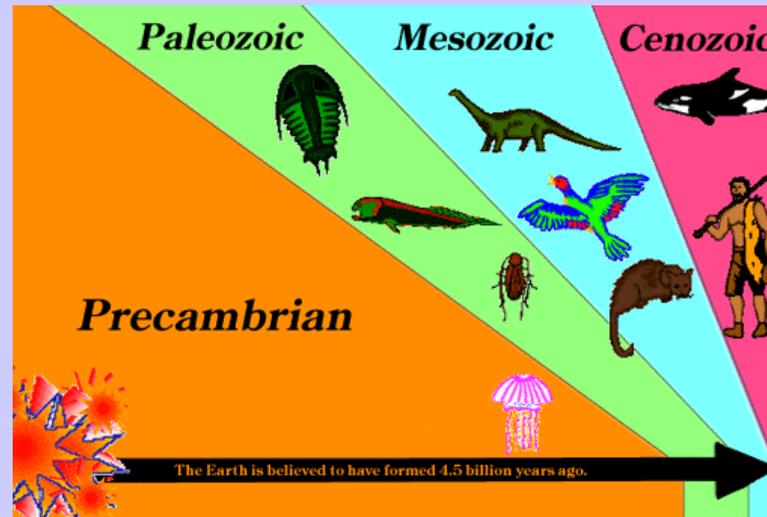
## LIFESPANS OF LIFE ON EARTH

TIME OF ANIMALS

TIME OF EUKARYOTES

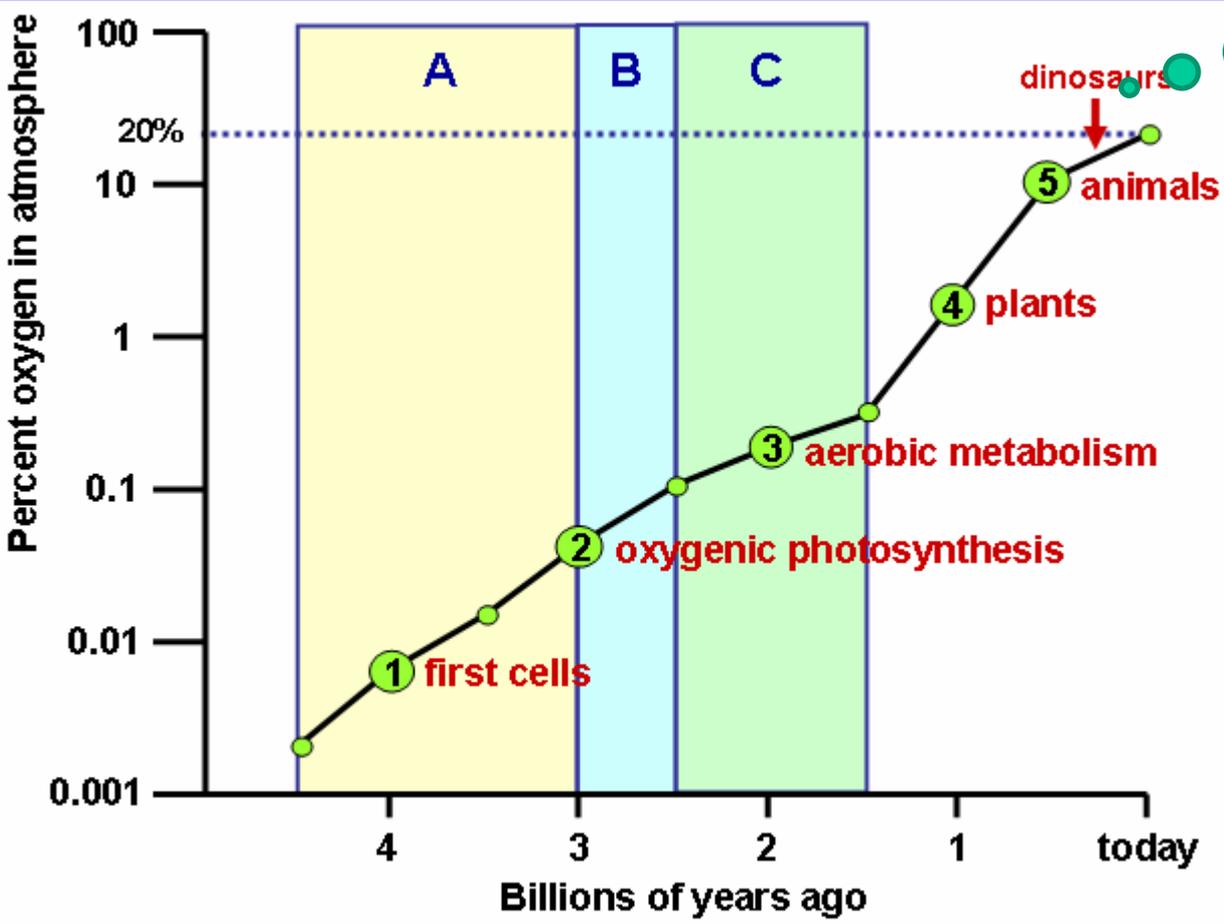
TIME OF BACTERIA

Origin of Earth



# Oxígeno la atmósfera: una historia larga y misteriosa

¿Qué hace que se mantenga en 21%?



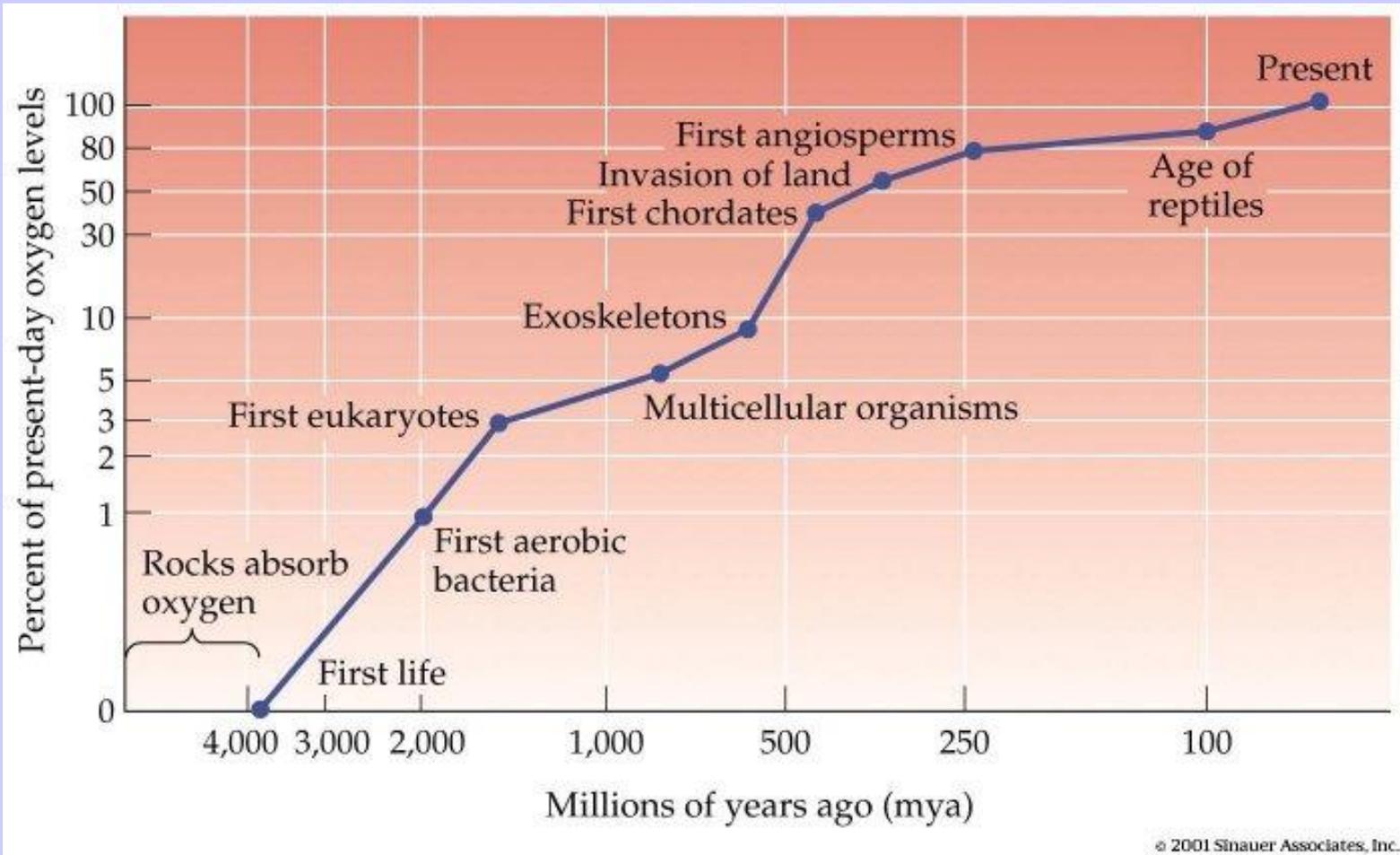
Banded iron formation, BIF  
Australia

LGK 2010

# Introducción a la Meteorología. Sistema Climático

## UCh/FCFM/DGF – R. Garreaud

### Historia de la atmósfera terrestre: Composición



21%

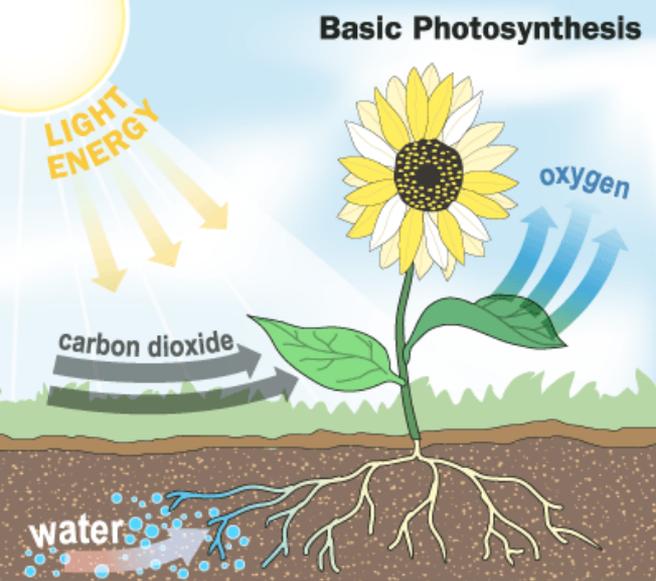
Especies + abundantes

H, He

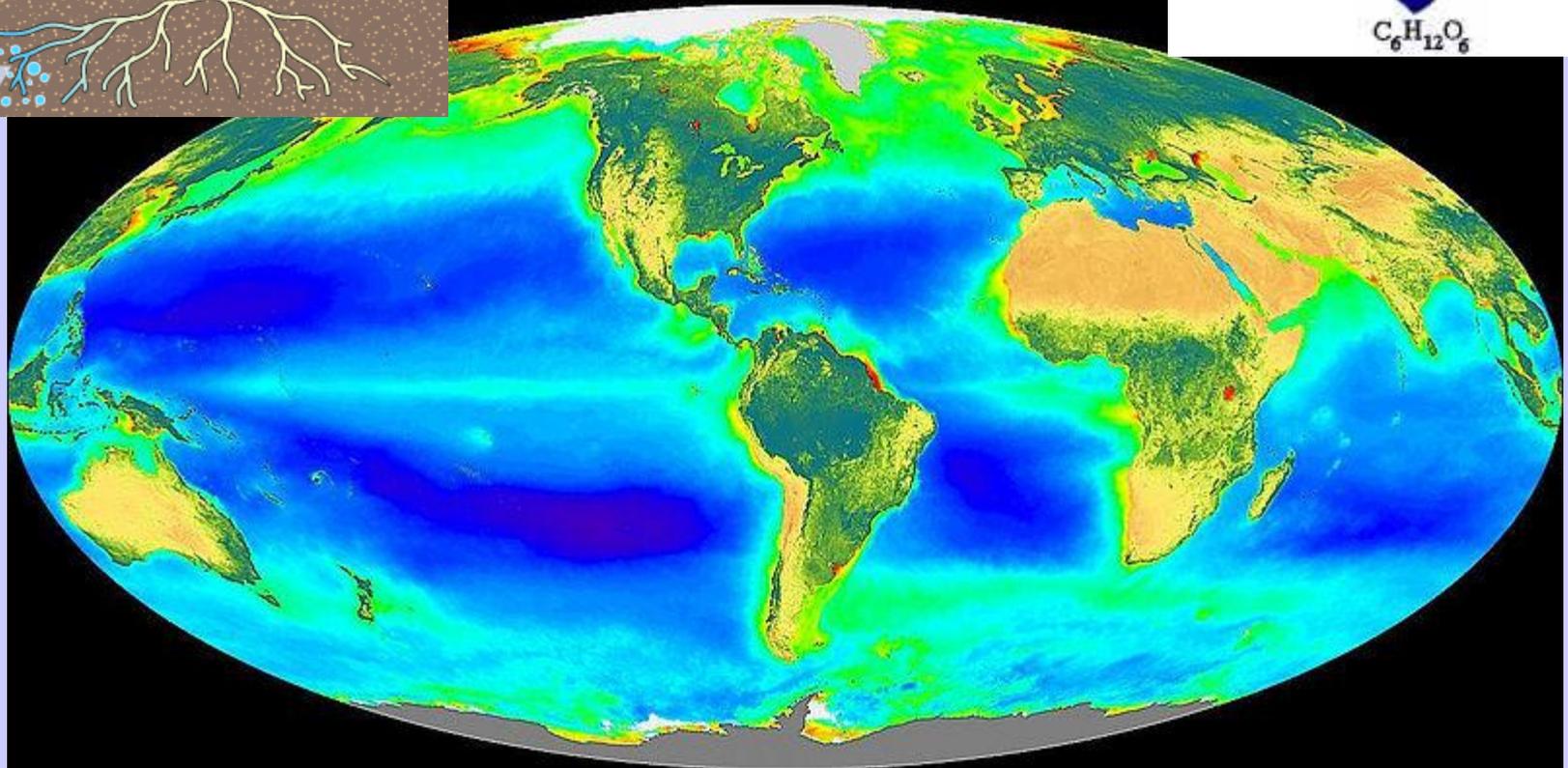
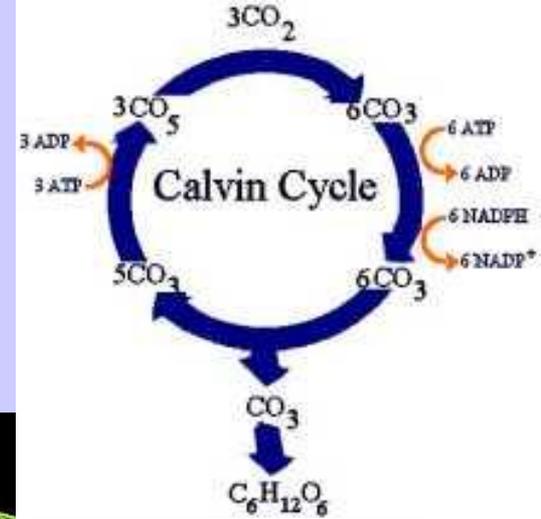
H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>

LGK 2010

N, O<sub>2</sub>, N, H<sub>2</sub>O



# Actividad biológica: fotosíntesis



# 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

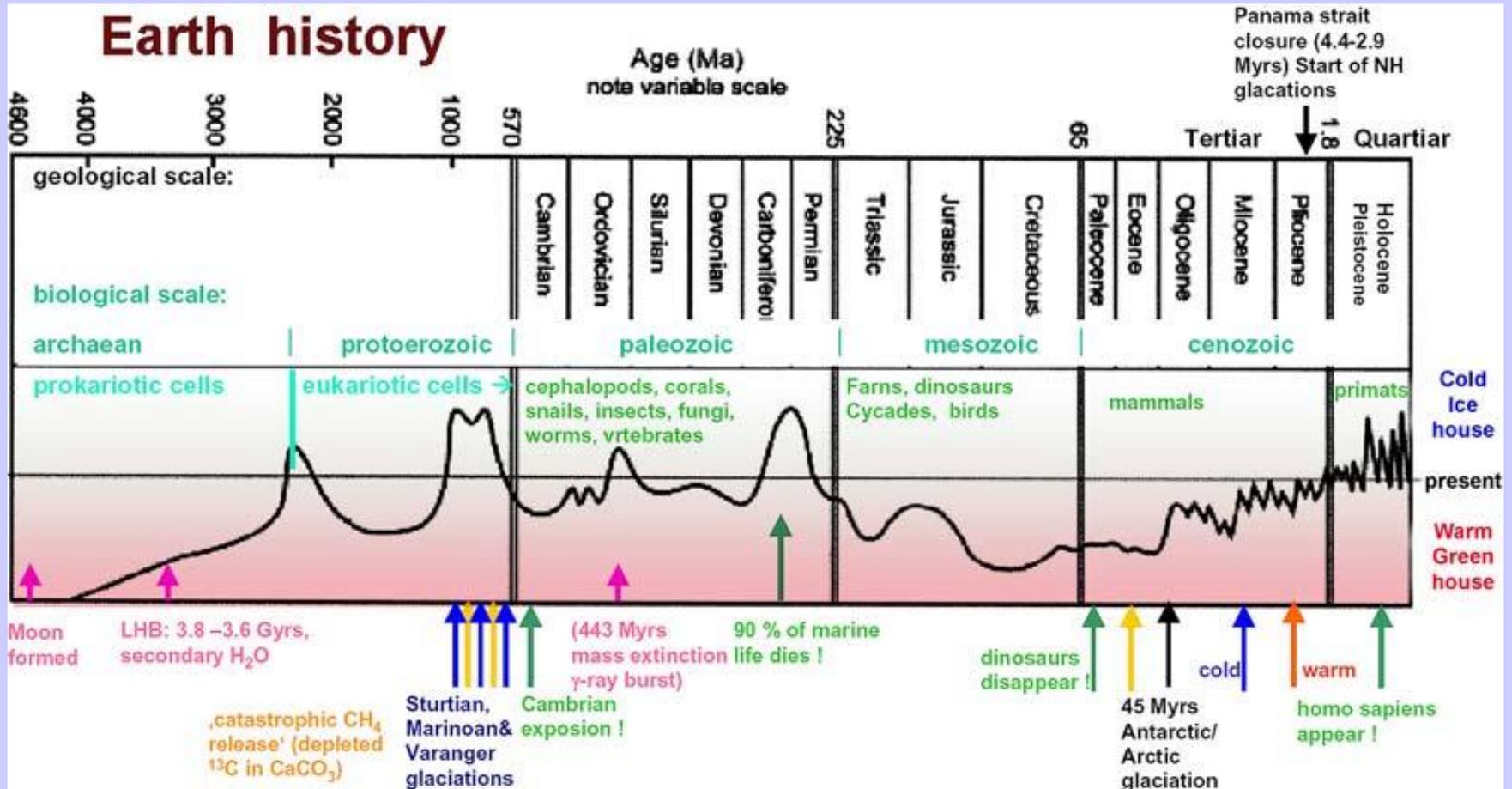
# La formación y evolución de la atmósfera

- Hace 50-100 x10<sup>12</sup> años se formó el planeta...desde una nebulosa rica en hidrógeno
- La primera atmósfera tenía nitrógeno, hidrógeno y agua, con trazas de ácido sulfídrico, amoniaco y metano.
- Hace ca. 3.5 x10<sup>9</sup> 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...

# Introducción a la Meteorología. Sistema Climático

## UCh/FCFM/DGF – R. Garreaud

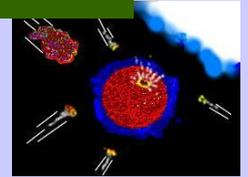
### Historia de la atmósfera terrestre: Temperatura



# Introducción a la Meteorología. Sistema Climático

## UCh/FCFM/DGF – R. Garreaud

### Historia de la Atmósfera



- El planeta tierra se formó hace unos 4.500 millones de años (Ma). Su atmósfera consistía probablemente de gases abundantes en el sistema solar: Hidrogeno (H) y Helio (He). Ambos gases son muy livianos y eventualmente se perdieron hacia el espacio:

Vel. escape campo gravitacional = 11 km/s - Vel. típica de una molécula =  $(2kT / Mm)^{0.5}$

Vel. típica H = 3 km/s (M=1)....probabilidad de escape: 1/1e6

Vel. típica O = 0.8 km/s (M=16)....probabilidad de escape: 1/1e80



- Emisiones volcánicas y enfriamiento del magma inyectaron H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> a la atmósfera primitiva.
- Enfriamiento de la atmósfera primitiva permitió que vapor de agua condensara y precipitara para formar los océanos.
- Parte del CO<sub>2</sub> se disolvió en las gotas y también precipitó, incorporándose al océano.

# Introducción a la Meteorología. Sistema Climático

## UCh/FCFM/DGF – R. Garreaud



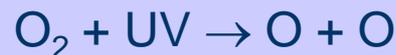
### Aparece la vida....

3.900 millones de años atrás, bacterias anaeróbicas (cianobacterias) en el océano comenzaron a producir  $O_2$  a través de la reacción foto-sintética:



La reacción anterior requiere luz visible. Bacterias ubicadas cerca de la superficie para recibir luz, pero no tan cerca como para “quemarse” con la radiación UV. Otra fuente posible de Oxígeno es la fotodisociación del Hidrógeno:

La acumulación del  $O_2$  en la atmósfera conlleva la formación de una capa de Ozono ( $O_3$ ) a través de las reacciones:



La primera reacción “consume” la radiación Ultravioleta (UV), de forma que la formación de la capa de Ozono permite que los organismos vivos se acerquen a la superficie del océano y eventualmente salgan a la tierra unos 400 Ma atrás.

# 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.
- Más sobre clima: GF3004 (Sistema Climático)

To be continued.



Atmósfera: composición y estructura  
Antropoceno