

# **CAMBIO CLIMATICO**

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Astronómicas y  
Geofísicas

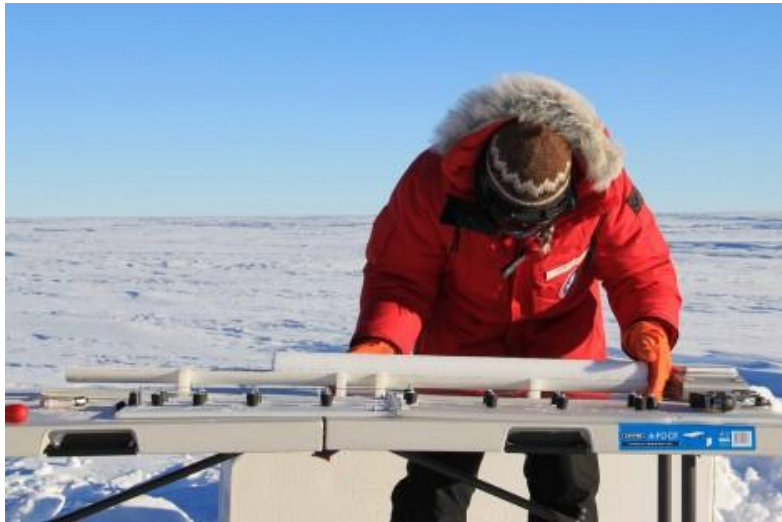
Curso de divulgación

*Lic. Rubén Horacio Sarochar*

## EL CLIMA EN EL PASADO

- El clima de la Tierra esta en constante cambio.
- Tan sólo hace 18.000 años se experimento una era glacial que cubrió prácticamente todo el hemisferio Norte.
- Se piensa que hubo al menos 10 glaciaciones en los últimos 2,5 millones de años.
- En los períodos interglaciales, las temperaturas medias fueron levemente superiores a las actuales.
- Hay quienes piensan que estamos en un período calido interglacial.
- Actualmente, en la Tierra hay unos 25 millones de km<sup>3</sup> de hielo, la mayor parte sobre Groenlandia y la Antártida.

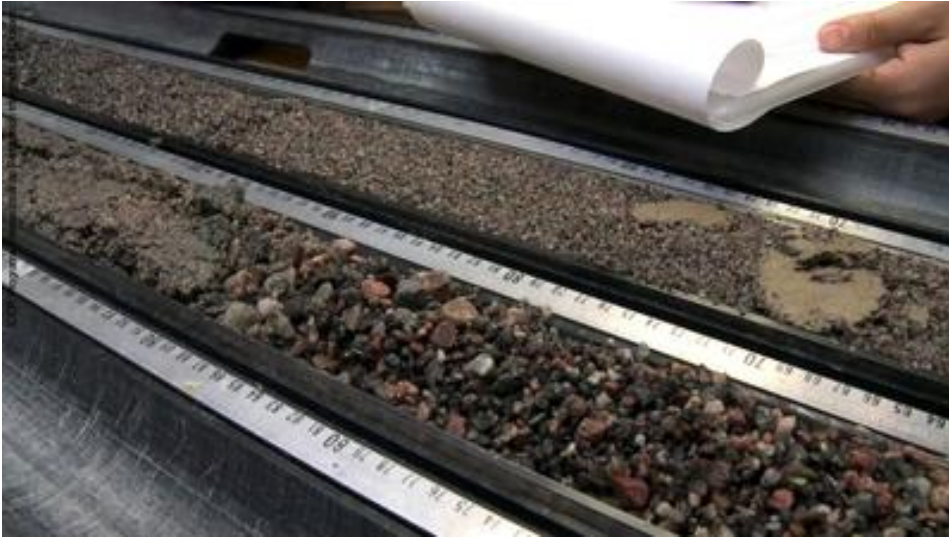
- Si la temperatura global subiera lo suficiente como para fundir esas masas de hielo, el nivel del mar se elevaría 65 a 70m de los niveles actuales.
- Grandes ciudades en todo el mundo quedarían bajo el agua.
- Las evidencias fósiles sólo dan datos parciales del clima pasado y permiten saber si este ha sido o no mas frío y húmedo que el actual.
- El estudio de hielos antiguos en las barreras árticas y antárticas permiten investigar sobre el clima pasado.
- Otra fuentes de información son los sedimentos de los fondos marinos, los cuales contienen restos de crustáceos y bivalvos de caparzones calcáreos.



Extracción de núcleos de hielo en la Antártida para estudio del Paleoclima



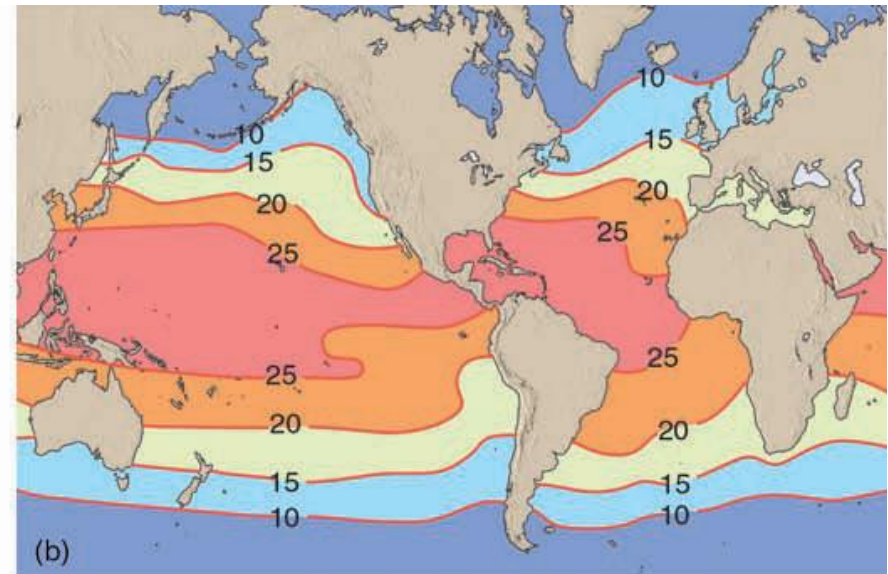
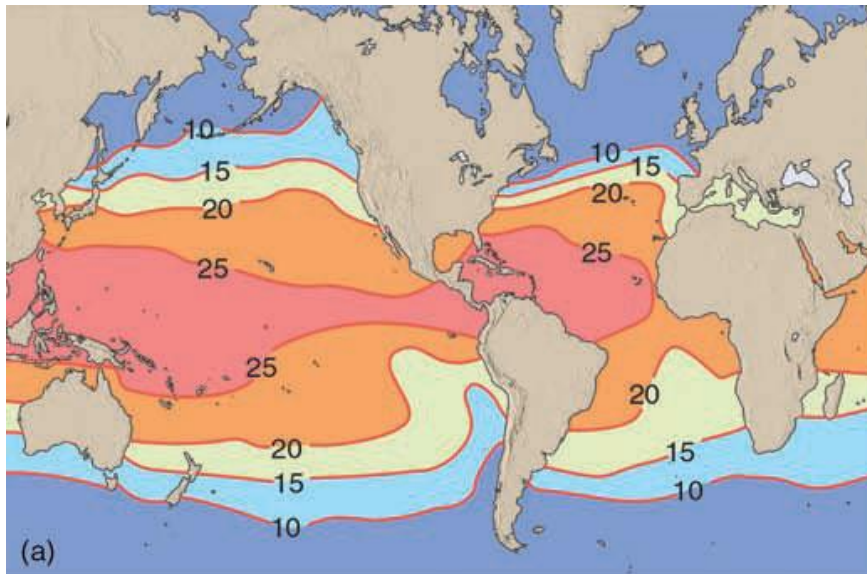
- Ciertos organismos solo pueden vivir dentro de estrechos rangos de temperaturas,.
- La distribución y tipo de restos de estos organismos dan información de la temperatura de a superficie del mar de la época en que vivieron.
- Otro trazador es el Oxígeno 18 ( $_{18}\text{O}$ ), un isótopo inestable del Oxígeno que queda como remanente en las rocas al evaporarse los océanos.
- Estudiando la relación con el  $_{16}\text{O}$  de las valvas fósiles de tiene información obre el clima e ese período.
- Una alta relación para el  $_{18}\text{O}$  implica clima frío, en tanto que una baja relación de este isótopo es indicadora de clima cálido en el pasado.



Sedimentos extraídos de  
fondos marinos en la Antártida



- Las muestras de hielo extraídas de las barreras de Antártida y Groenlandia describen los patrones de temperaturas en el pasado.
- Examinando los isótopos de Oxígeno y pequeñas burbujas de aire atrapadas en las muestras de hielo antiguo se obtiene también información acerca de las tendencias de la temperatura y su distribución espacial.
- También dan indicios sobre las causas que cambiaron el clima.
- Existen en esas muestras delgadas capas de ácido sulfúrico, el cual se genera en la atmósfera cuando el agua presente en la misma reacciona con el dióxido de azufre, que proviene de erupciones volcánicas.
- Eventualmente este ácido cae a la superficie bajo a forma de lluvia o nieve ácida y queda preservado en los casquetes polares.



Isotermas de Temperatura de la superficie del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante Agosto, 18.000 años atrás (a) y en la actualidad (b). En la edad de hielo (a) la Corriente del Golfo se movía más hacia el Este, privando a Norte América y Norte de Europa de una importante fuente de calor. El gradiente de temperaturas era más intenso.



- El hielo de Groenlandia también tiene vestigios de sulfuros de origen humano.
- Por otro lado, los núcleos de hielo de ambos polos están siendo analizados en busca de registros físicos y biológicos en el sistema climático.
- Por ejemplo la presencia de Berilio 10 ( $_{10}\text{Be}$ ) es indicativa de una fuerte actividad solar.
- Otros tipos de aerosoles encontrados en los núcleos de hielo indican épocas con climas secos o áridos.
- Otras evidencias de cambios climáticos en el pasado se obtienen por el crecimiento de los anillos de los árboles, técnica llamada *dendrocronología*.
- Cada año se agrega un anillo más, los cambios en sus espesores dan señales de como fue el clima en esos años.
- El crecimiento de estos anillos en los troncos de los árboles guardan correlación con los patrones de temperatura y precipitación de cientos de años en el pasado en muchas regiones del planeta.



El estudio de los anillos de los troncos arbóreos permite inferir las condiciones climáticas en las que se desarrollaron

Otras fuentes para reconstruir los climas pasados han sido:

- 1.- Sedimentos en los fondos de los grandes lagos.
- 2.- Polen, sedimentos de tierra y sales marinas atrapados en cuevas de hielo.
- 3.- evidencias geológicas como mantos de carbón, dunas de arena y fósiles, como también el cambio en los niveles del mar.
- 4.- Registros de sequías, inundaciones, campos de cultivo lluvias, nevadas y otros datos obtenidos de lagos antiguos, secos actualmente.
- 5.- El estudio de los isótopos del Oxígeno en el hielo antiguo.
- 6.- Datación de las capas de Carbonato de calcio en las capas de estalactitas en las cavernas.
- 7.- Alta relación de Deuterio en el hielo antiguo, lo que indica cambios importantes en la temperatura.

## EL CLIMA A TRAVES DE LAS ERAS

- En el pasado lejano, la temperatura del aire en superficie llegó a ser entre 8 y 15 °C más alta de lo que es hoy.
- Durante esas épocas, las regiones polares se vieron libres de hielo.
- Estos períodos cálidos se vieron interrumpidos por varios períodos fríos o glaciaciones.
- La evidencia geológica sugiere que uno de esos períodos se dio alrededor de 700 millones de años atrás (m.a.a) y otro hace unos 300 millones de años.
- Uno de los más recientes, en el Pleistoceno, o simplemente llamado *la edad de hielo*, comenzó hace unos 2,5 millones de años y duró gran parte de esa época hasta hace unos 11.000 años.



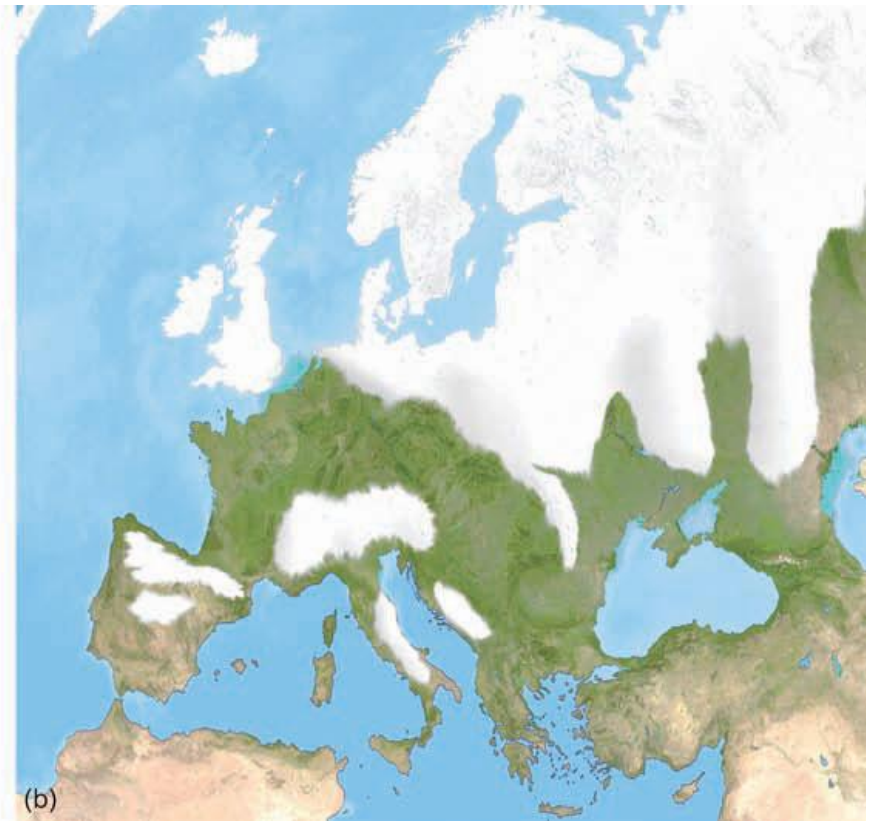
Las estalactitas y estalagmitas de las cavernas antiguas guardan indicios de los patrones de temperatura en los que se generaron, debido al contenido de  $^{14}\text{C}$  en el carbonato de calcio que las compone.

- Alrededor de 65 m.a.a. la Tierra fue mucho más cálida de los que es hoy.
- No existían los hielos polares.
- Pero 55 m.a.a. el planeta comenzó un largo período de enfriamiento.
- Luego de millones de años, los hielos polares aparecieron.
- Debido a que la temperatura global continuó en descenso, los mantos de hielo polar se hicieron más gruesos y extensos hasta unos 10 m.a.a.
- Todo el continente Antártico quedó cubierto por un grueso manto de hielo, tal como lo vemos hoy.

- También comenzaron a acumularse el hielo y la nieve en las montañas altas de hemisferio Norte de tal modo que gran parte del mismo se hallaba cubierto de hielo unos 2,5 m.a.a.
- Aparecieron los glaciares continentales.
- El pleistoceno no fue sin embargo, un período de continua glaciación.
- Pero si un tiempo en el que los glaciares avanzaban y retrocedían alternativamente hacia el Sur, sobre grandes porciones de Norte América, Asia y Europa.
- Entre esos avances y retrocesos se dieron períodos más o menos cálidos que se denominaron *interglaciales* y que duraron unos 10.000 años o más.

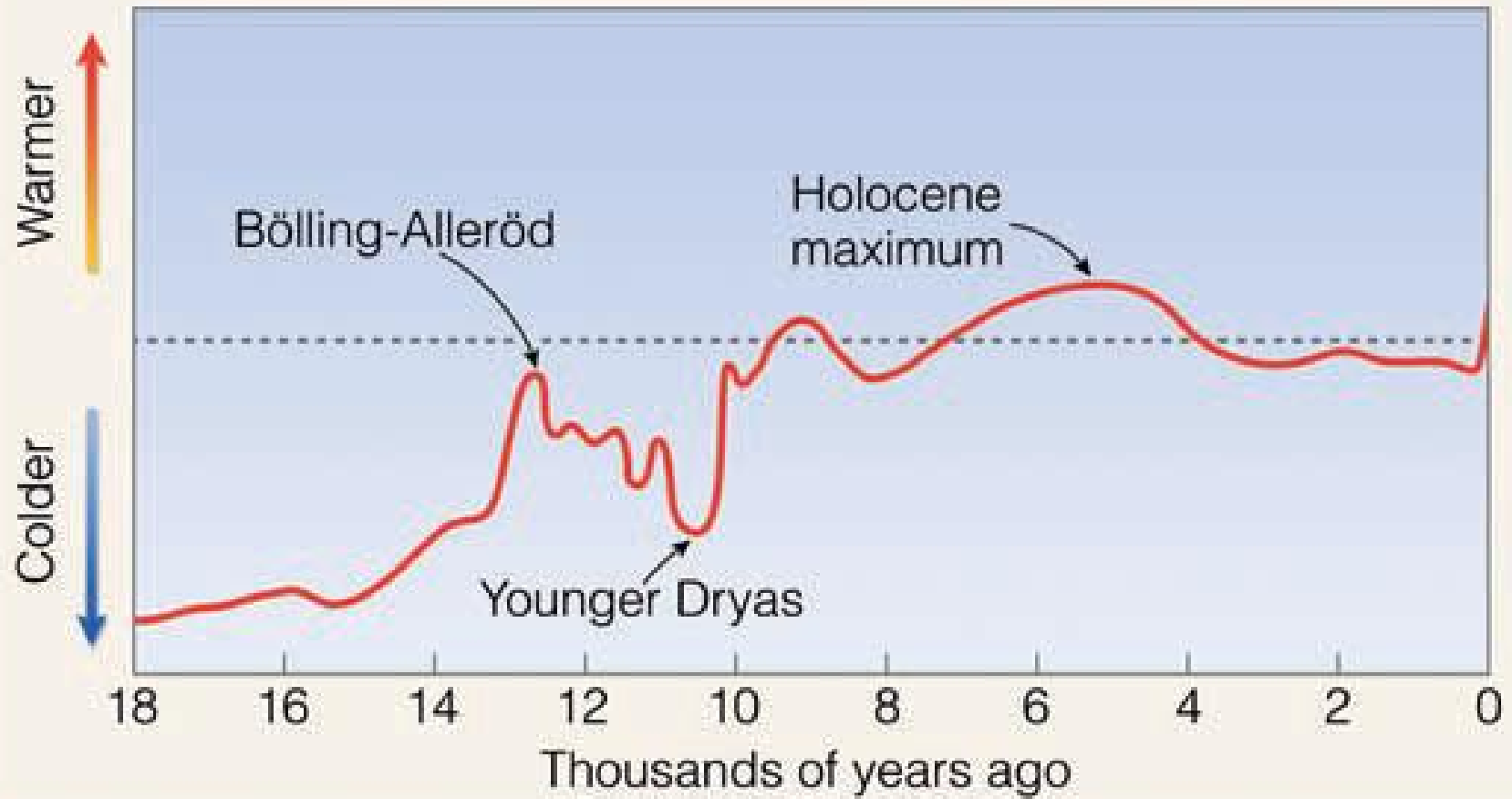
- Los períodos interglaciales no siempre fueron estables en cuanto a temperaturas.
- Se considera que los glaciares de Norte América alcanzaron sus máximos espesores entre 18.000 y 22.000 años atrás, cuando las temperaturas medias en Groenlandia eran 10 °C menores que las actuales y en las regiones tropicales esa diferencia era de unos 4 °C.
- Esto pudo haber causado que el nivel del mar sea unos 120 m menor de lo que es ahora.
- Esta baja en los niveles de las aguas dejó expuestas grandes porciones de tierras costeras y aparecieron “puentes de tierra”.
- Uno de esos puentes cerró el estrecho de Bering y permitió la llegada de los seres humanos y otras especies animales desde Asia al continente Americano, hace unos 14.000 años.





Hace 14.000 años toda Norteamérica y el Norte de Europa pasaban por una era glacial que ocasionó que esas regiones quedaran prácticamente cubiertas de gruesos mantos de hielo.

- Posteriormente el hielo comenzó a retraerse por un suave pero continuo aumento de las temperaturas.
- Se produjo una etapa cálida llamado *período Bölling - Alleröd*.
- Luego, hace unos 12.700 años las temperaturas cayeron rápidamente en Norte América y el norte de Europa y Asia, volviendo a condiciones glaciales, en un período llamado *Younger Dryas*.
- Unos 1.000 años después el enfriamiento se detuvo abruptamente y las temperaturas medias subieron en muchas regiones.
- Hace unos 8.000 años se existió otro enfriamiento en el centro de Europa de unos 2 °C en promedio.



- Luego, alrededor de 6.000 años atrás las temperaturas volvieron a aumentar y los mantos de hielo sobre Norte América desaparecieron.
- A este período se o denomina el *máximo del Holoceno medio*, que favoreció un gran desarrollo de la vida vegetal, principalmente.
- Vastas áreas de Europa y centro de Asia se cubrieron de frondosos bosques.
- Hace unos 5.000 las temperaturas medias volvieron a descender, retornaron los glaciares alpinos pero no los continentales.
- Lo datos revelan que este calentamiento fue súbito (unos pocos años), patrón que parece repetirse al final de cada época glacial.

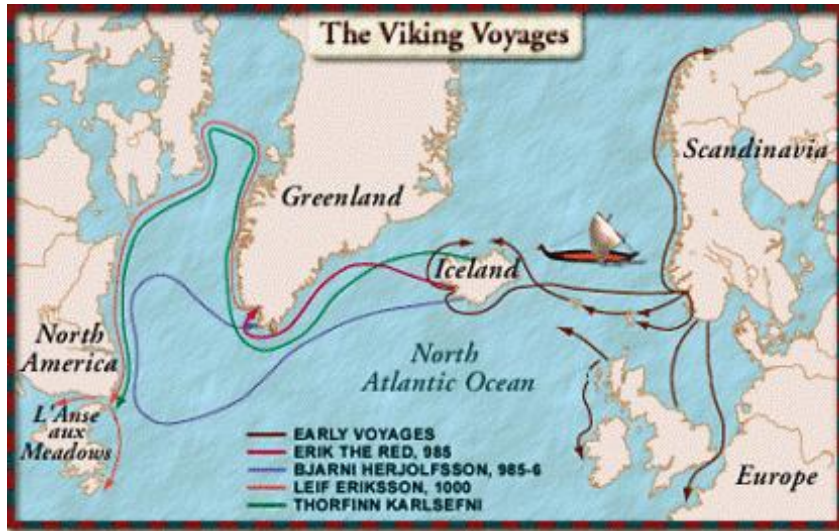
## EL CLIMA EN LOS ULTIMOS 1000 AÑOS

- Para reconstruir las fluctuaciones de temperaturas en los últimos 1.000 años en el Hemisferio Norte se utilizaron varias fuentes como anillos de troncos de árboles, corales marinos, núcleos de hielo, reportes históricos y datos de termómetros.
- Si se toma como valor medio de referencia para la temperatura en superficie al promedio entre 1961 y 1990, se que el último milenio resulto ser levemente más frío que ese promedio.
- Pero ciertas regiones en el hemisferio Norte se calentaron más que otras.
- Por ejemplo alrededor del año 1.000 d.C. y los siglos posteriores, Europa experimento un clima relativamente más cálido (aunque algo más frío que el el siglo XX).

- Se construyeron las grandes catedrales en el centro de Europa.
- Los viñedos florecieron en Inglaterra, la economía agropecuaria prosperó.

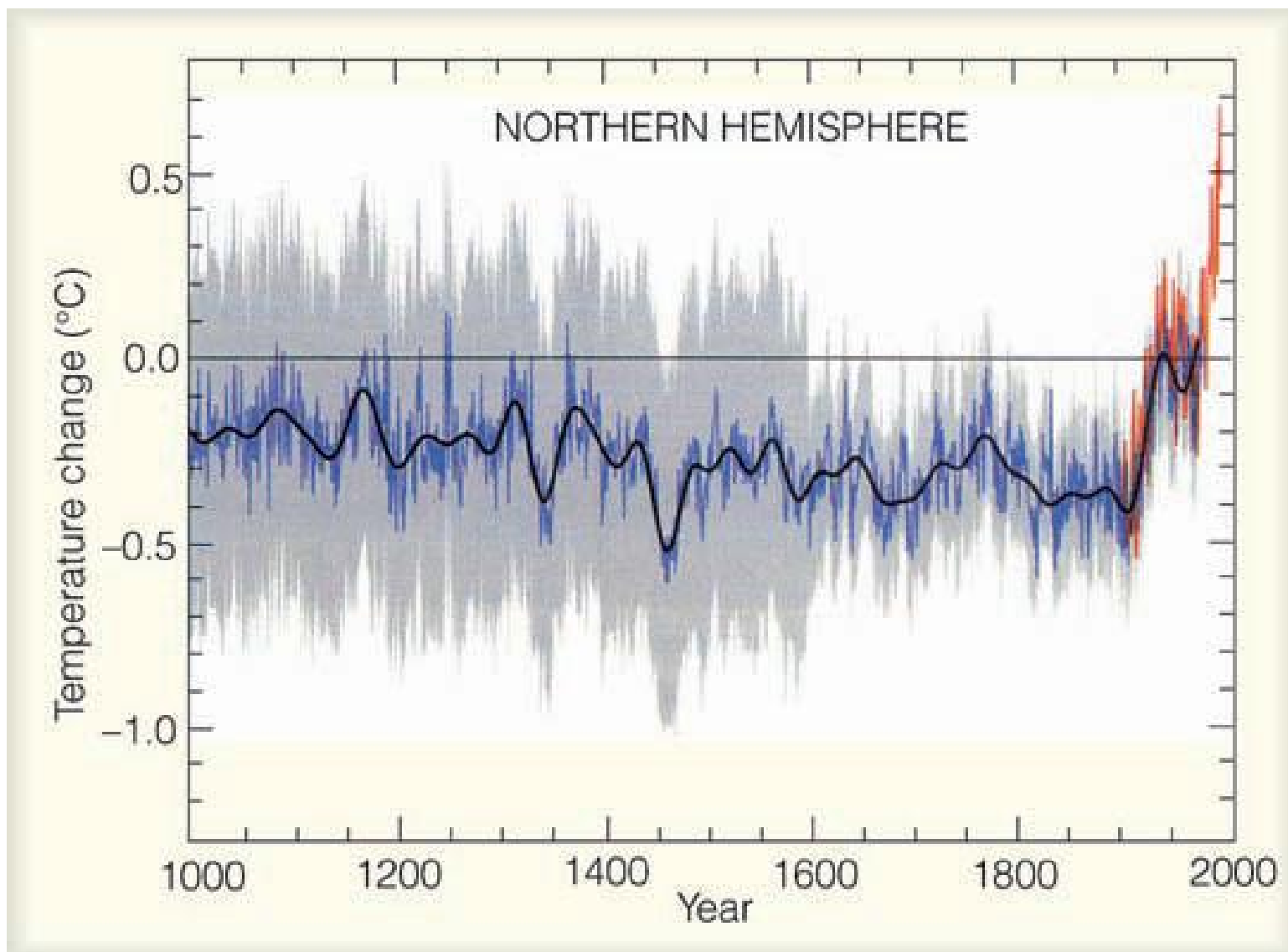


- Navegantes Nórdicos invadieron los reinos anglos, colonizaron Islandia e incluso Groenlandia y viajaron hasta América del Norte.



- Sin embargo no se trató de un período estable.
- En el Oeste de Europa la evidencia indica que hubo variaciones de largo plazo.
- Por varios siglos el clima fue tormentoso, hubo episodios de inundaciones y sequías e inviernos extremadamente fríos.
- A mediados del siglo XIV las temperaturas fueron muy bajas y la bonanza de los primeros siglos se invirtió.
- Entre los siglos XV y XIX el hemisferio Norte experimentó un enfriamiento más acentuado en unas regiones que en otras.
- Se incrementaron los glaciares alpinos.
- Hubo inviernos muy severos en algunas áreas de Europa central, con veranos cortos y húmedos.





Variaciones de la temperatura en el hemisferio Norte, en los últimos 1.000 años

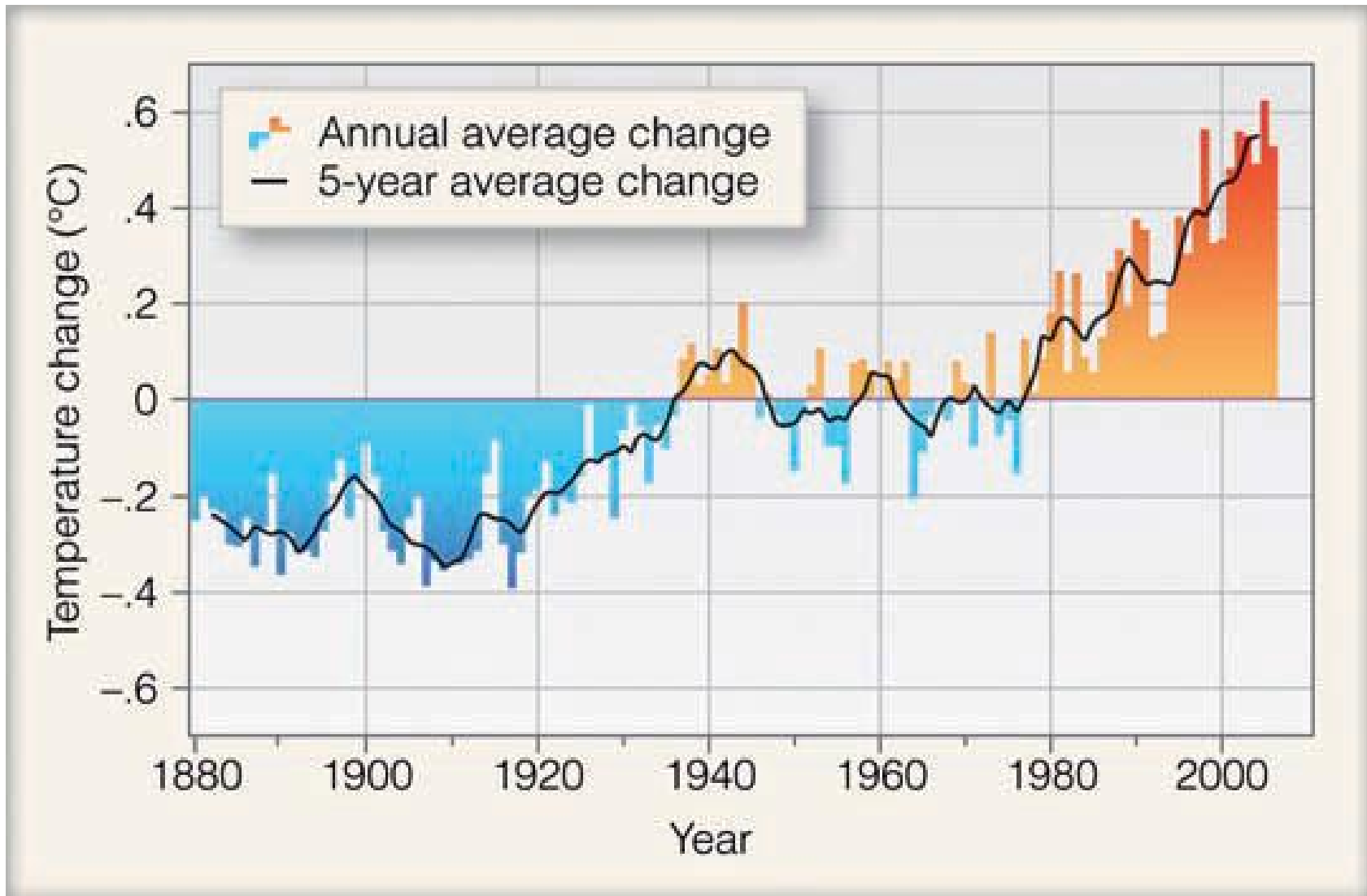
- Desaparecieron los viñedos en Inglaterra y la agricultura se volvió imposible en muchas zonas del norte de Europa.
- Las colonias nórdicas en Groenlandia perecieron y apenas lograron sobrevivir en Islandia.
- No hay evidencias de que este período frío se diera en todo el mundo.
- Pero en Europa este período se conoce como *la pequeña edad de hielo (de mediados del siglo XVII a mediados del XVIII)*.
- Particularmente frío resultó el año 1816 denominado *el año sin verano*.



La pintura de Abraham Hondius, de 1684, retrata una de las muchas ferias sobre el Río Támesis congelado durante la mini edad de hielo.

# TENDENCIAS DE TEMPERATURA DURANTE LOS ULTIMOS 100 AÑOS

- A principios del siglo XX la temperatura global media comenzó a subir.
- Entre 1900 y 1945 ese incremento promedio fue de unos 0,5 °C.
- Luego de este período de calentamiento, la temperatura disminuyó ligeramente por los siguientes 25 años.
- A finales de la década del '60 y principios de los '70 el enfriamiento se detuvo en la mayoría del hemisferio Norte.
- A partir de mediados de los '70, la temperatura media en el hemisferio Norte se ha ido incrementando hasta bien entrado el siglo XXI.



Evolución de la temperatura media global en el hemisferio Norte desde 1880 hasta 2005

- De hecho, la década de los '90 fue la más cálida de todo el siglo XX en el hemisferio Norte.
- 1998 y 2005 surgen como los años más cálidos en 1.000 años.
- A su vez, el incremento de temperaturas experimentado por el hemisferio Norte ha sido, probablemente el mayor del pasado milenio.
- Este calentamiento promedio evidenciado en casi todo el globo no ha sido uniforme.
- El mayor calentamiento ha ocurrido en el Ártico y sobre las regiones continentales del hemisferio Norte ubicadas en latitudes medias, especialmente durante el invierno y la primavera.

- El incremento medio total durante el siglo XX es cercano a 1 °C.
- Sin embargo, unas pocas áreas como los océanos en el hemisferio Sur y vastas regiones de la Antártica, no han experimentado calentamiento en las últimas décadas.
- El crecimiento de las ciudades, el aumento de la población junto con el mayor consumo de energía pueden afectar en forma artificial esta tendencia evidenciada en el último siglo.
- Si se filtra del espectro el efecto humano, el valor del incremento queda en unos 0,6 °C.
- Este incremento puede parecer escaso, pero comparado con el estimado para los últimos 10.000 años de 2 ° C, implica una tasa considerable del 33 % en 100 años.

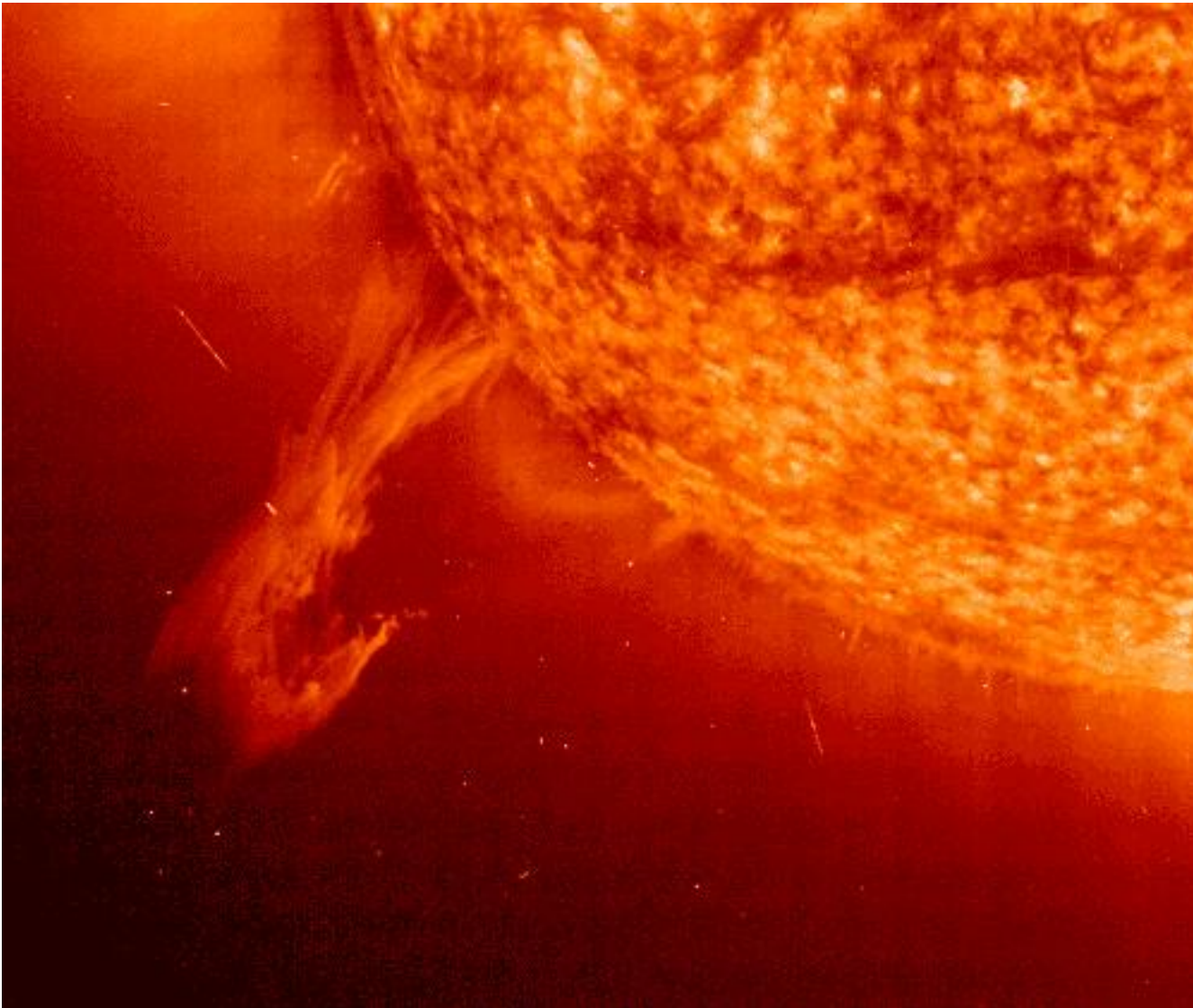
# FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CAMBIO CLIMATICO

- Naturales:
  - Astronómicos externos:
    - Variaciones en las emisiones Solares
    - Variaciones orbitales de la Tierra
    - Acción de Meteoritos
  - Planetarios internos:
    - Deriva continental
    - Corrientes Oceánicas
    - Vulcanismo
    - Cambios en la composición de la Atmósfera
    - Variaciones en el Magnetismo terrestre
- Antropogénicos:
  - La acción directa de la especie humana sobre el Planeta y sus recursos



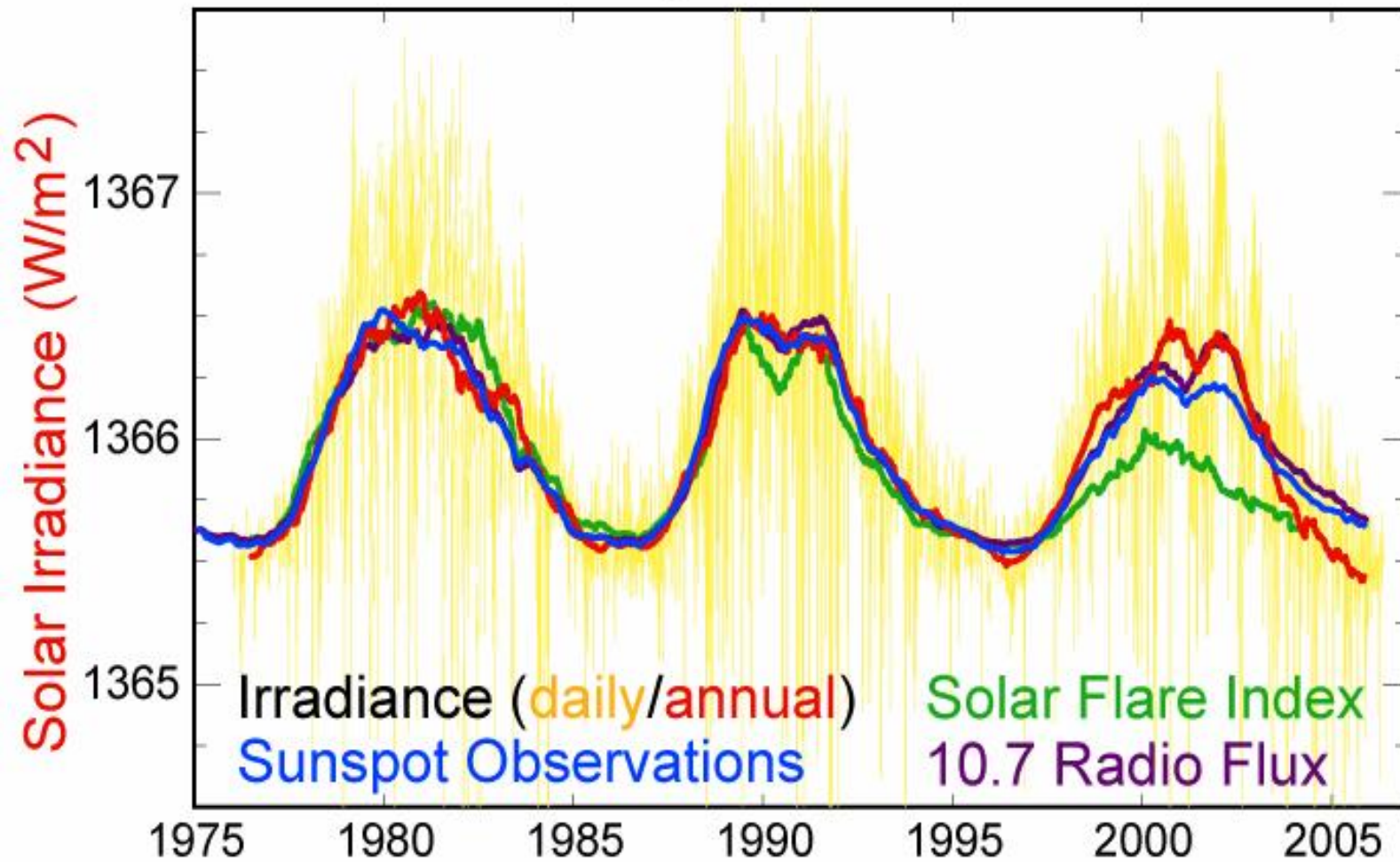
# VARIACIONES EN LAS EMISIONES SOLARES

- El Sol no emite radiación en forma constante.
- La radiación total que llega hasta la Tierra procedente del Sol sufre altibajos durante el ciclo solar de 11 años que afectan levemente al clima en la Tierra.
- Existen otros ciclos de mayor período (de 72 a 83 años).
- La variación de intensidad de estos ciclos es, más o menos, del mismo orden que el de los ciclos de 11 años.
- Un periodo más dilatado de tiempo es suficiente como para ocasionar cambios climáticos apreciables.
- El Sol ha tenido períodos en los cuales no presenta manchas solares, como el mínimo de Maunder que fue de 1645 a 1715 en los cuales se produjo la mini era de hielo.



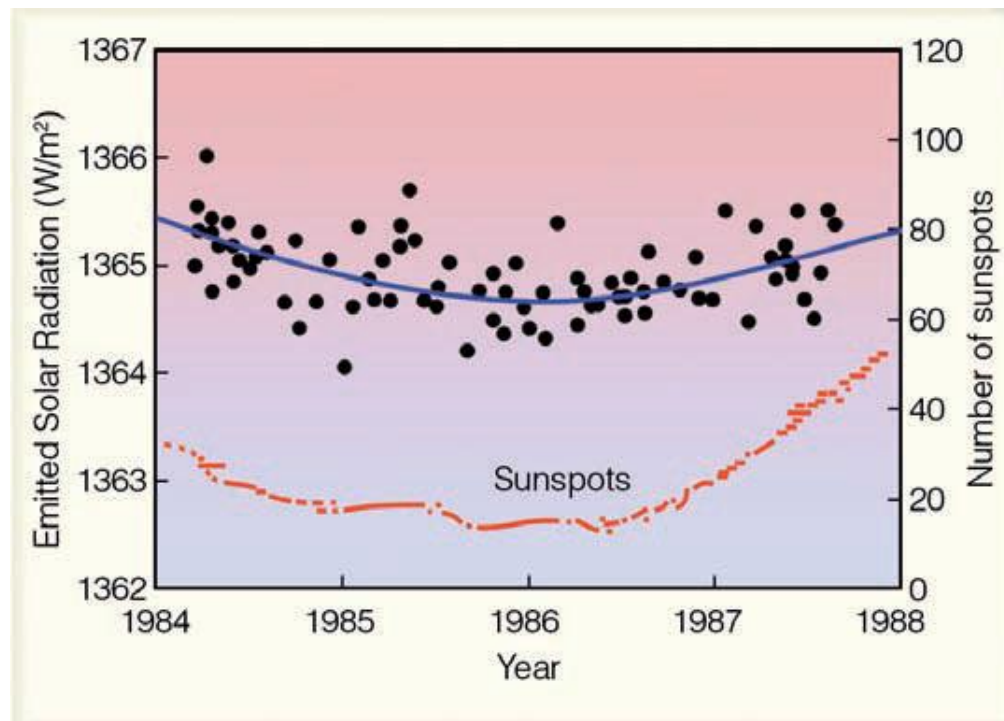
Las tormentas solares afectan el campo magnético terrestre y aumentan el patrón de radiación recibida por el planeta.

# Solar Cycle Variations



Ciclos solares de 11 años

- Fluctuaciones en las cantidades de energía salientes del Sol podrían provocar cambios climáticos en escalas temporales de décadas a siglos.
- Se ha comprobado por observaciones satelitales que la energía emitida por el Sol, efectivamente varía.
- El problema es que se disponen de pocos años de datos concretos, por lo que no es definitivo relacionar cambios en el clima con las emisiones solares.

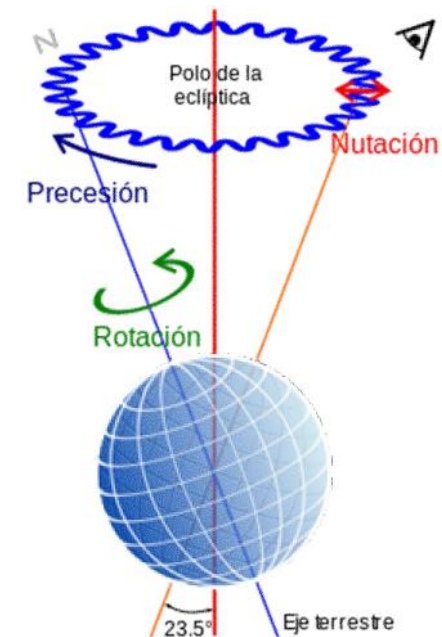
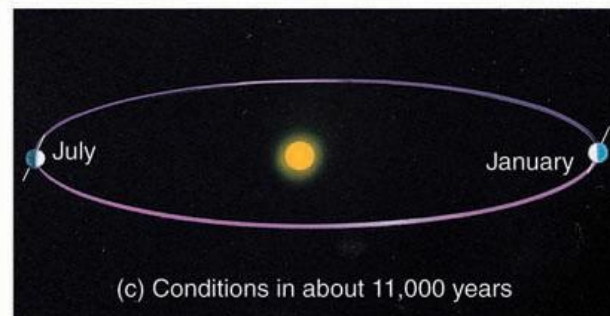
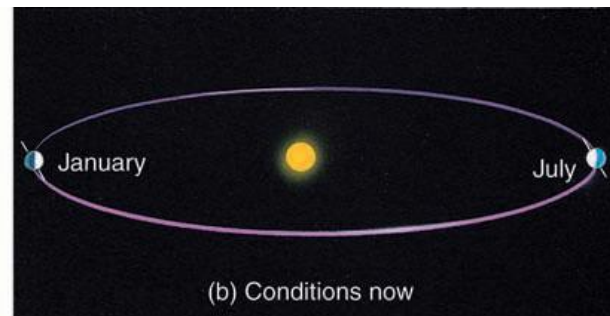
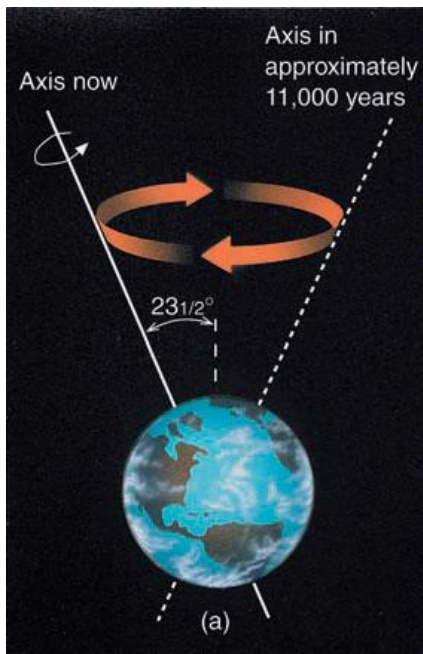


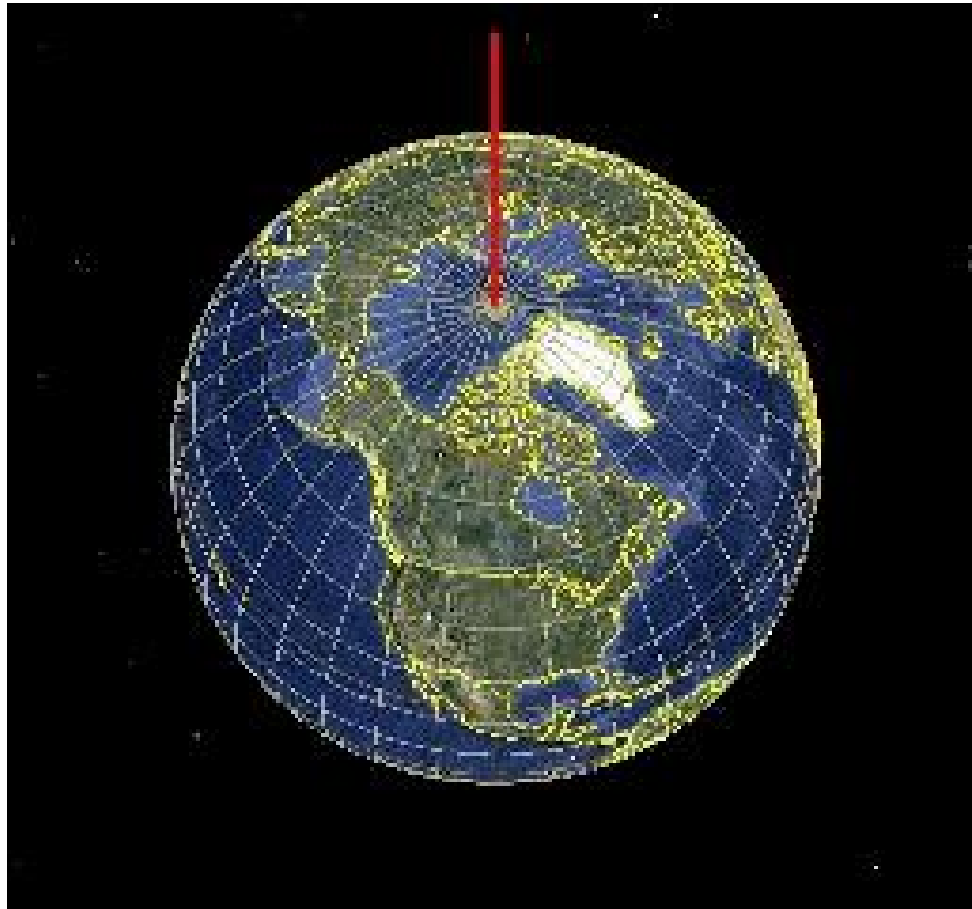
# VARIACIONES ORBITALES DE LA TIERRA

- La órbita terrestre oscila periódicamente, haciendo que la cantidad media de radiación que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo.
- Estas variaciones provocan las pulsaciones a modo de veranos e inviernos de largo período.
- Generan en el clima los llamados períodos glaciares e interglaciares.
- Hay tres factores que contribuyen a modificar las características orbitales haciendo que la insolación en ambos hemisferios varíe:
  - La *precesión de los equinoccios*.
  - La *excentricidad orbital*.
  - La *oblicuidad de la órbita* o inclinación del eje terrestre.

# LA PRECESIÓN DE LOS EQUINOCIOS

- La precesión de los equinoccios es el cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la Tierra, trazando un cono y recorriendo una circunferencia completa cada 25.776 años.
- Esto causa una inversión en las estaciones cada mitad de ese período, aproximadamente.

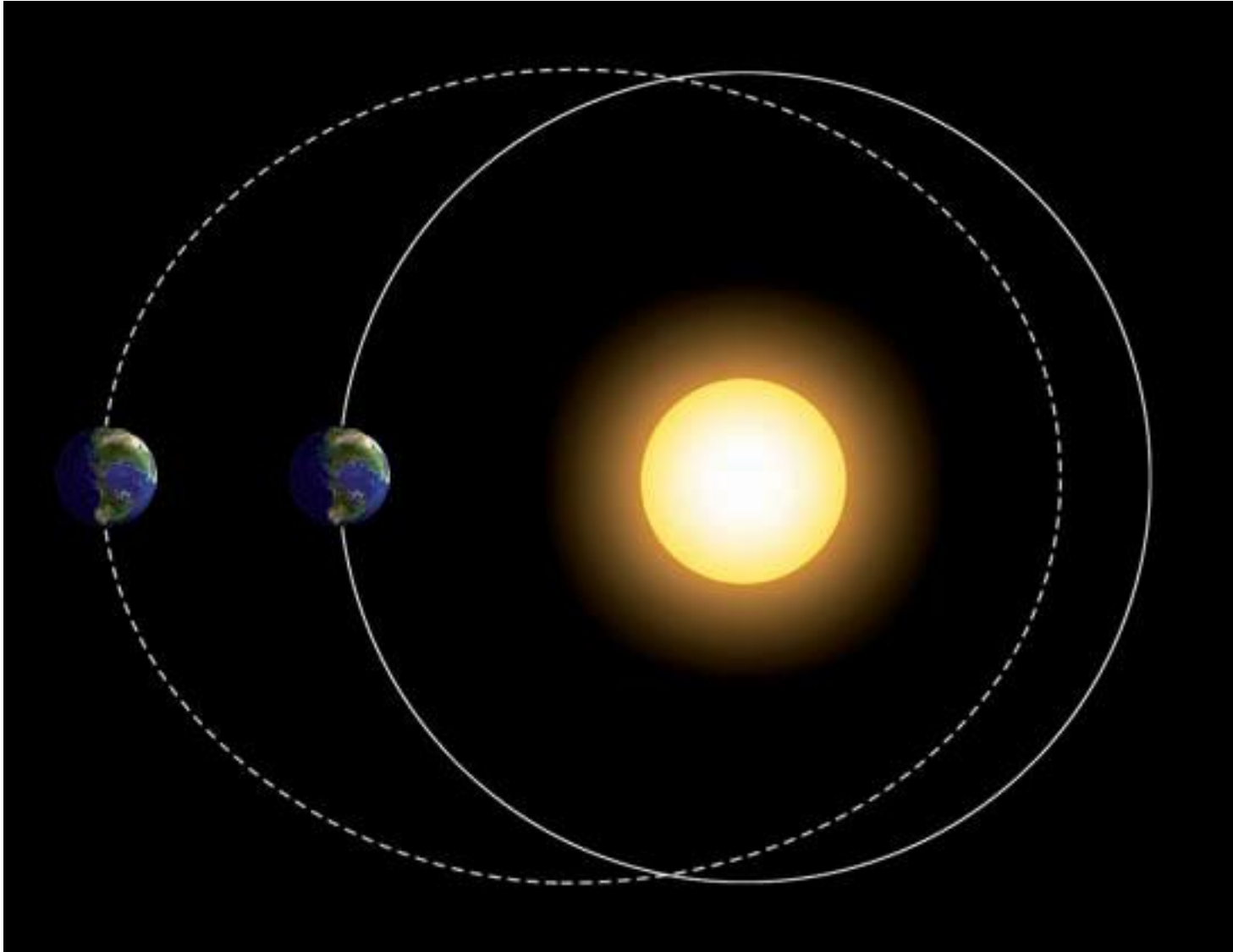




## EXCENTRICIDAD ORBITAL

- La forma de la órbita de la Tierra, varía de ser casi circular a ser ligeramente elíptica.
- El componente mayor de estas variaciones ocurre en un período de 413.000 años.
- También hay ciclos de entre 95.000 y 136.000 años, siendo el ciclo más conocido de unos 100.000 años.
- La excentricidad actual es tal que la diferencia entre el mayor acercamiento al Sol (perihelio) y la mayor distancia (afelio) es sólo 3,4% (5,1 millones de km).
- Esta diferencia supone un aumento del 6,8% en la radiación solar entrante.
- El perihelio ocurre actualmente alrededor del 3 de enero, mientras el afelio es alrededor del 4 de julio.





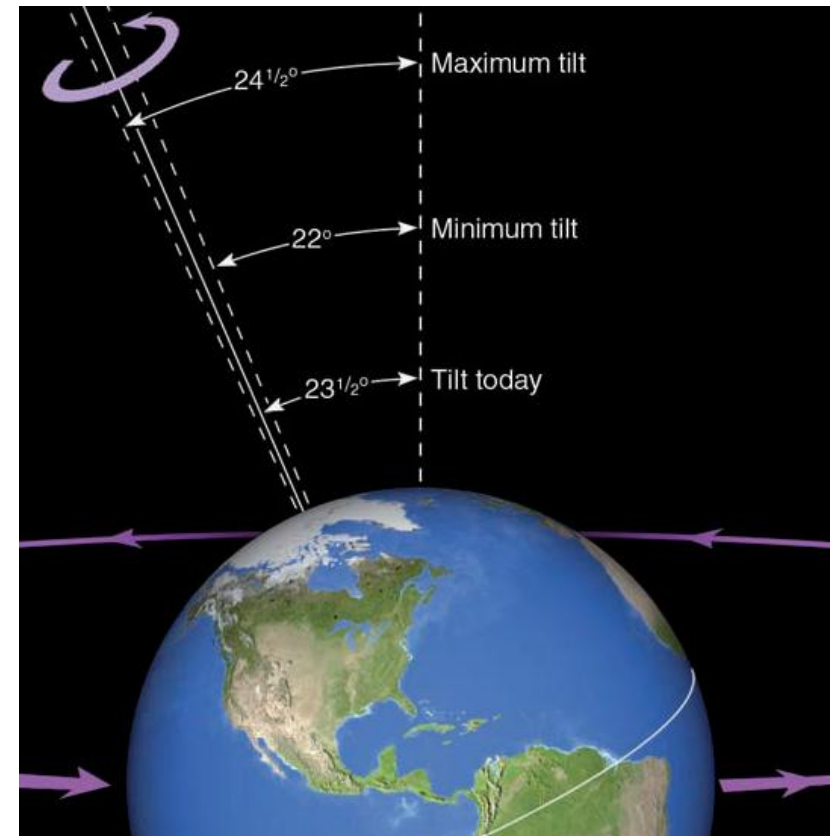
Cambios en la excentricidad de la Tierra

- Hay consenso con respecto a que los periodos de gran excentricidad tendrían relación con las "eras glaciales".
- En cambio los momentos de órbita casi circular como el actual serían "épocas interglaciales".
- El hecho es que la insolación global una vez más permanecería constante pero no así la de cada hemisferio por separado.
- El efecto albedo realimentaría los inviernos crudos y los hielos avanzarían.
- Pero esta hipótesis se reveló incompleta cuando se demostró que durante la última glaciación, hace tan solo 10.000 años, la excentricidad de la órbita terrestre era casi igual que la actual.

# LA INCLINACIÓN DEL EJE TERRESTRE

- El eje de giro de la Tierra cambia su inclinación lentamente con el tiempo. (oblicuidad de la eclíptica).
- La amplitud del movimiento es de  $2,4^\circ$ .
- Esta inclinación del eje sigue un ciclo de aproximadamente 41.000 años.
- Cuando la inclinación aumenta a  $24,5^\circ$ , los inviernos son más fríos y los veranos son más calurosos.
- Cuando la inclinación es menor ( $22,1$  grados), los inviernos son más apacibles y los veranos más frescos.

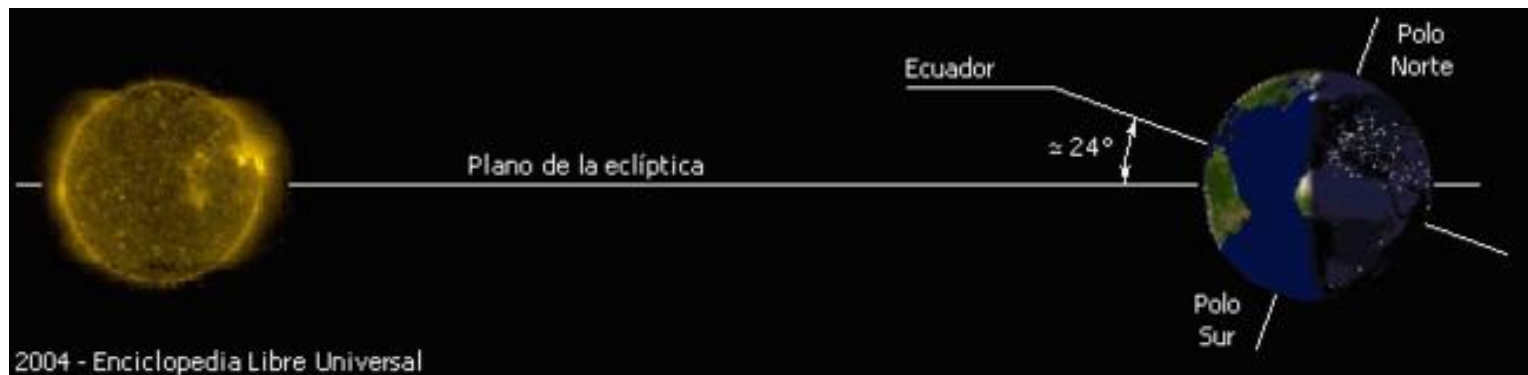
- Actualmente el eje de rotación de la Tierra tiene una inclinación de  $23,5^\circ$  sobre el eje de la órbita.
- La inclinación del eje y la precesión de los equinoccios no son suficientes para producir una glaciación.
- Pero que, en conjunto podían superponerse sus efectos y desencadenar un período glacial.



Cambios en la inclinación del eje terrestre

# LA OSCILACIÓN DEL PLANO DE LA ECLÍPTICA

- La inclinación de la órbita terrestre varía hacia arriba y abajo respecto a su situación actual.
- Se conoce como: *precesión de la eclíptica*, o *precesión planetaria*.
- La inclinación de la órbita terrestre tiene un ciclo de 100.000 años respecto al plano fijo, muy parecido al período de la excentricidad, 100.000 años.
- El plano considerado como fijo es el de la órbita de Júpiter.
- Este ciclo de 100.000 años coincide estrechamente con la pauta de 100.000 años de las eras glaciales.



# IMPACTOS DE METEORITOS

- En raras ocasiones ocurren eventos de tipo catastrófico que cambian la faz de la Tierra para siempre.
- El último de tales acontecimientos catastróficos sucedió hace 65 millones de años y marcó entre otras, la desaparición de los grandes dinosaurios.
- Esto ocurre con impactos de meteoritos de gran tamaño.
- Es indudable que tales fenómenos pueden provocar un efecto devastador sobre el clima al liberar grandes cantidades de  $\text{CO}_2$ , polvo y cenizas a la atmósfera debido a la quema de grandes extensiones boscosas.

- De la misma manera, tales sucesos podrían intensificar la actividad volcánica en ciertas regiones.
- Tras un impacto suficientemente poderoso la atmósfera cambiaría rápidamente, al igual que la actividad geológica del planeta e, incluso, sus características orbitales.



# FACTORES PLANETARIOS INTERNOS

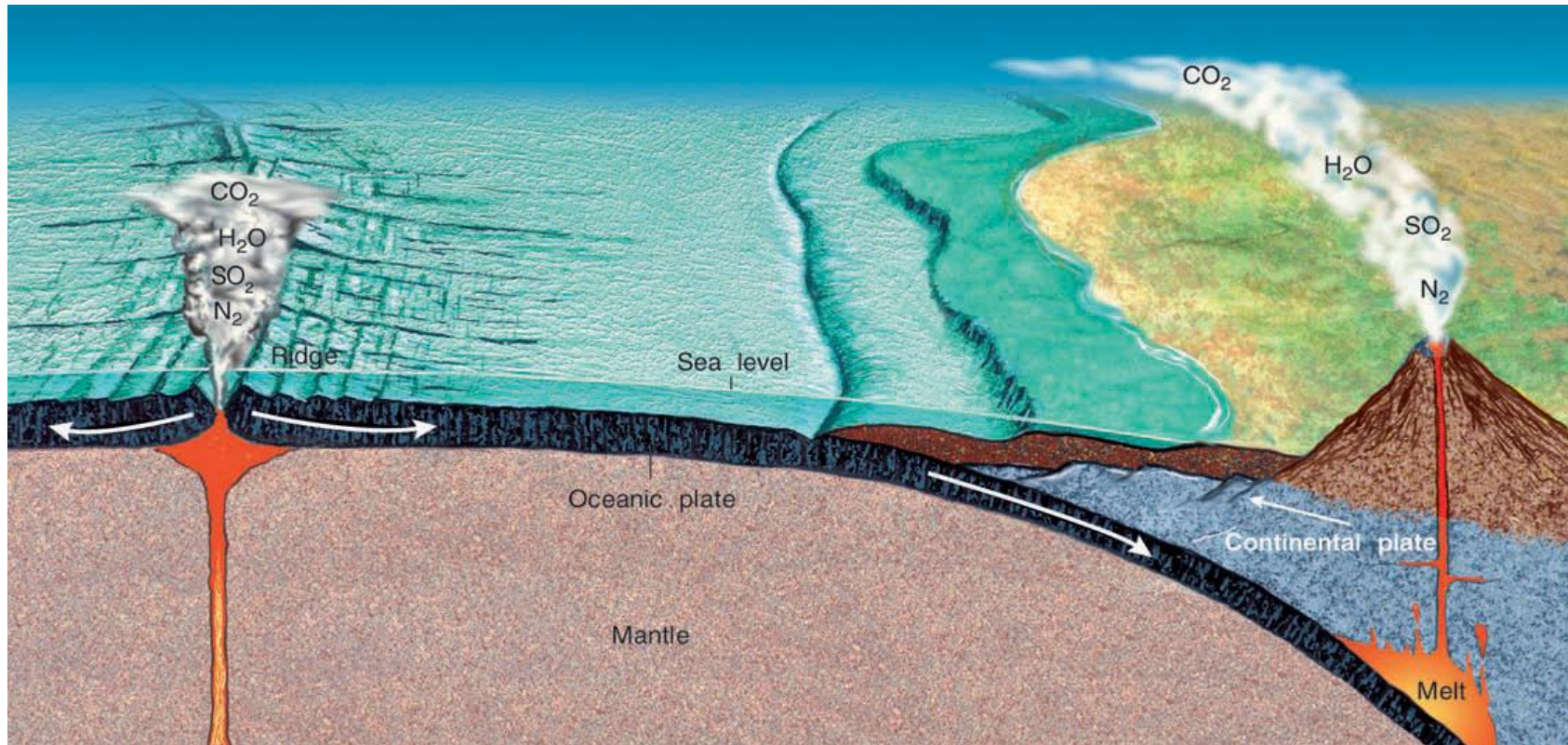
## La deriva continental

La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4600 millones de años. Hace 225 millones de años todos los continentes estaban unidos, formando lo que se conoce como Pangea, y había un océano universal llamado Panthalassa.

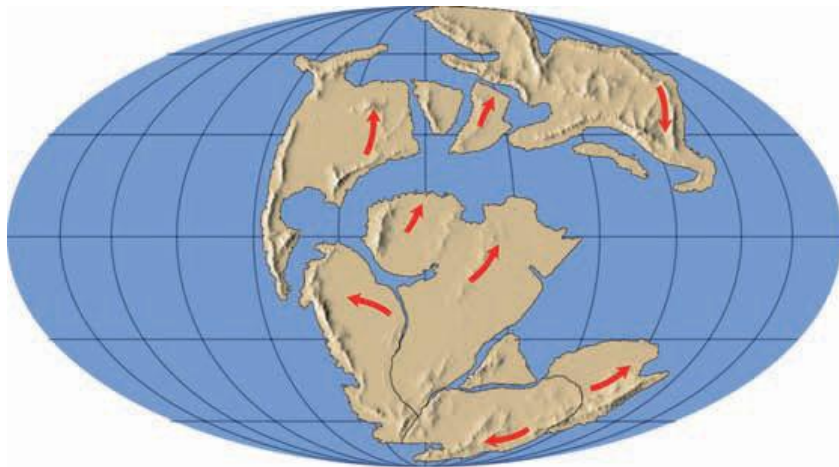




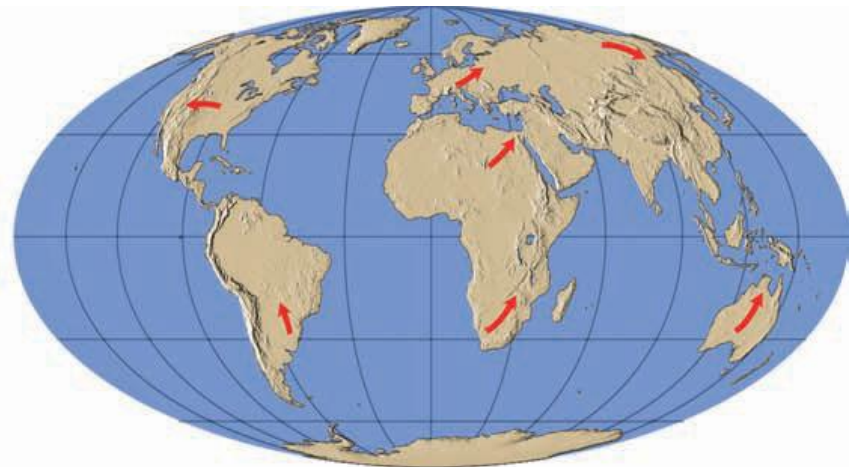
- La tectónica de placas ha separado los continentes y los ha puesto en la situación actual.
- Es un proceso sumamente lento, por lo que la posición de los continentes fija el comportamiento del clima durante millones de años.



- La deriva continental actúa de dos modos sobre el clima.
  - Si la masa continental se concentra en latitudes bajas el clima será más calido.
  - Si los continentes se hallan muy fragmentados habrá menos continentalidad.



(a)

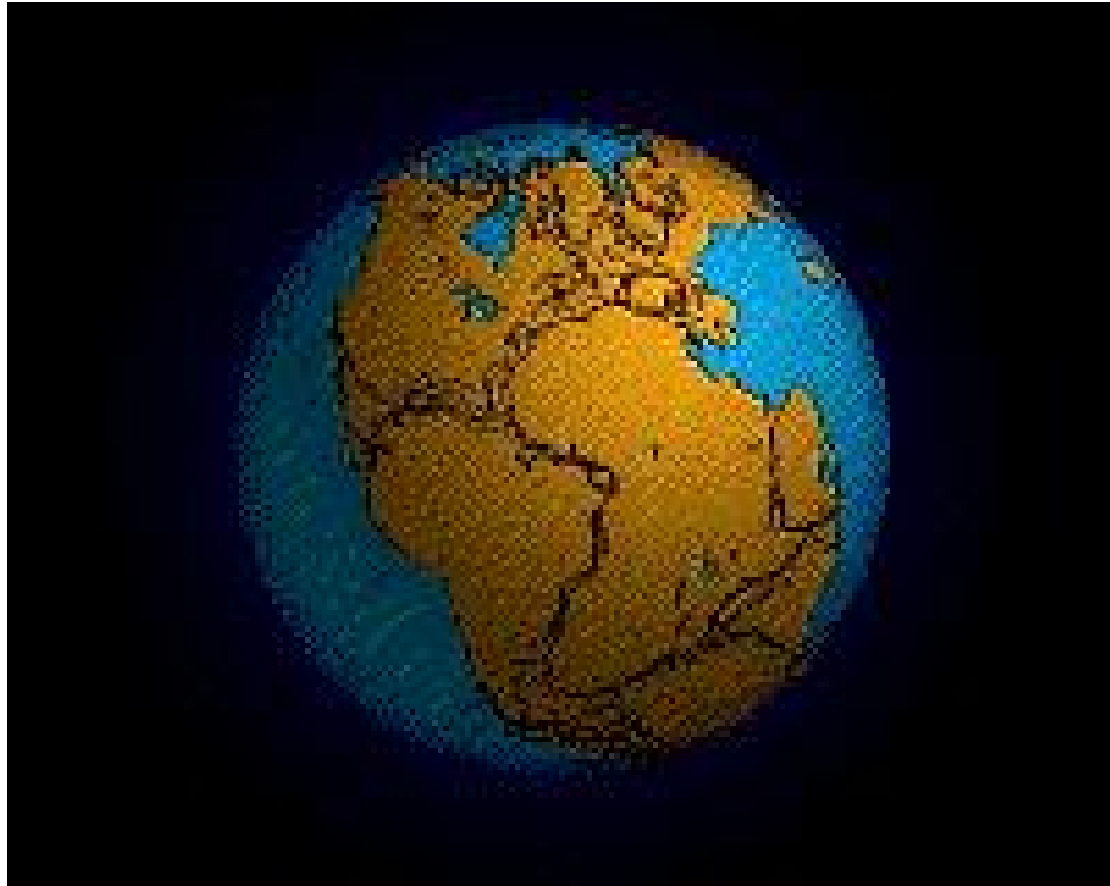


(b)

La existencia de yacimientos de carbón en las islas Svaldbard o Spitbergen, en el Artico, donde ahora no existen árboles por el clima demasiado frío, indica que la placa donde se encuentran dichas islas se movió hacia el norte desde una ubicación más meridional con un clima más cálido



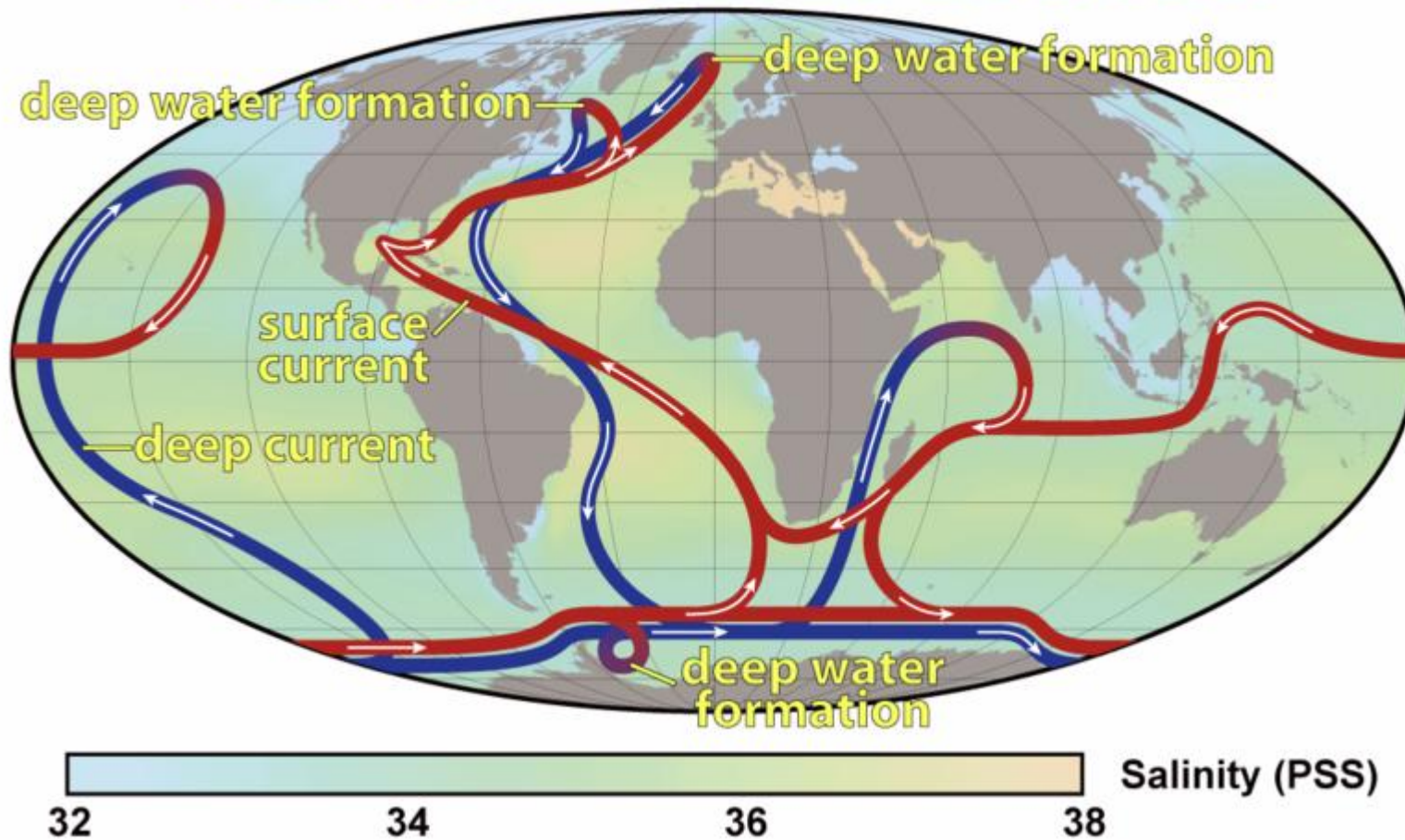
Isla Svaldbard (Noruega) en el mar glacial Artico



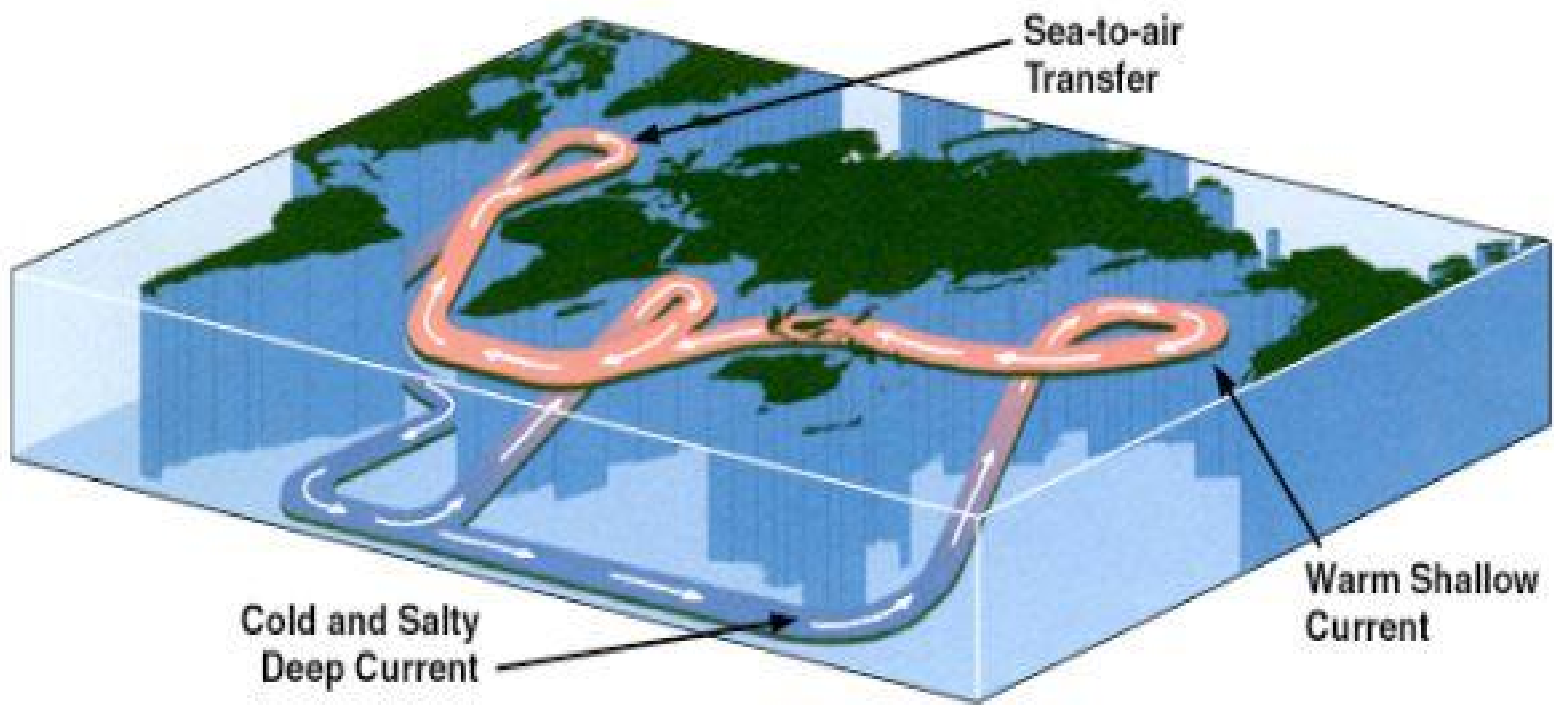
# LAS CORRIENTES OCEÁNICAS

- Las corrientes oceánicas, o marinas, son factores reguladores del clima que actúan como moderador, suavizando las temperaturas de regiones como Europa y las costas occidentales de Canadá y Alaska.
- Las corrientes marinas fluyen por circulación “termohalina”.
- Esto se relaciona con el aumento de densidad del agua por el enfriamiento y por aumento de la salinidad.
- Las corrientes cálidas se mueven de las zonas ecuatoriales hacia las latitudes altas, por la superficie.
- En las latitudes altas, al agua más fría, más salina y densa se hunde y se dirige hacia las regiones ecuatoriales por lo profundo de los océanos.
- Cualquier factor que disminuya la densidad o salinidad de estas masas frías, puede provocar cambios importantes en la circulación.

# Thermohaline Circulation



Modelo de la circulación termohalina a escala global



Modelo 3D de la circulación termohalina a escala global

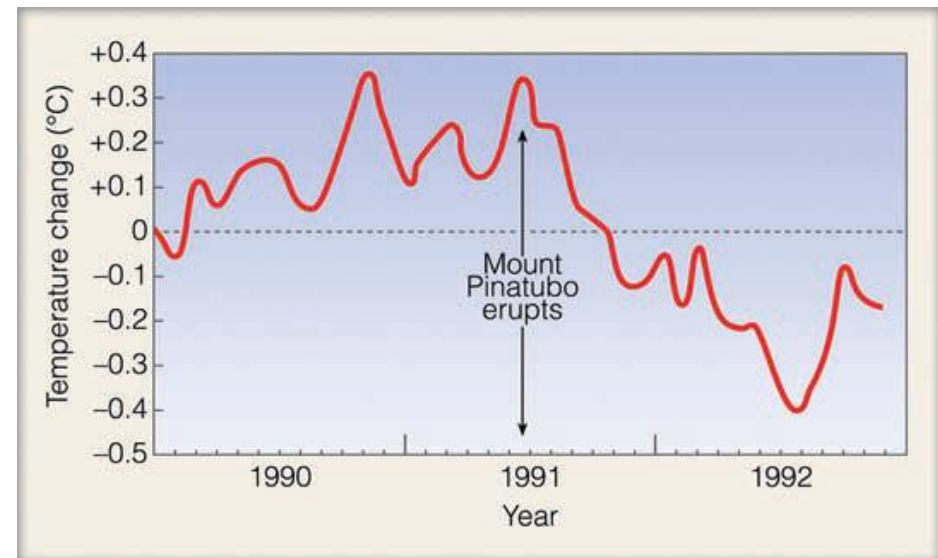
# VULCANISMO

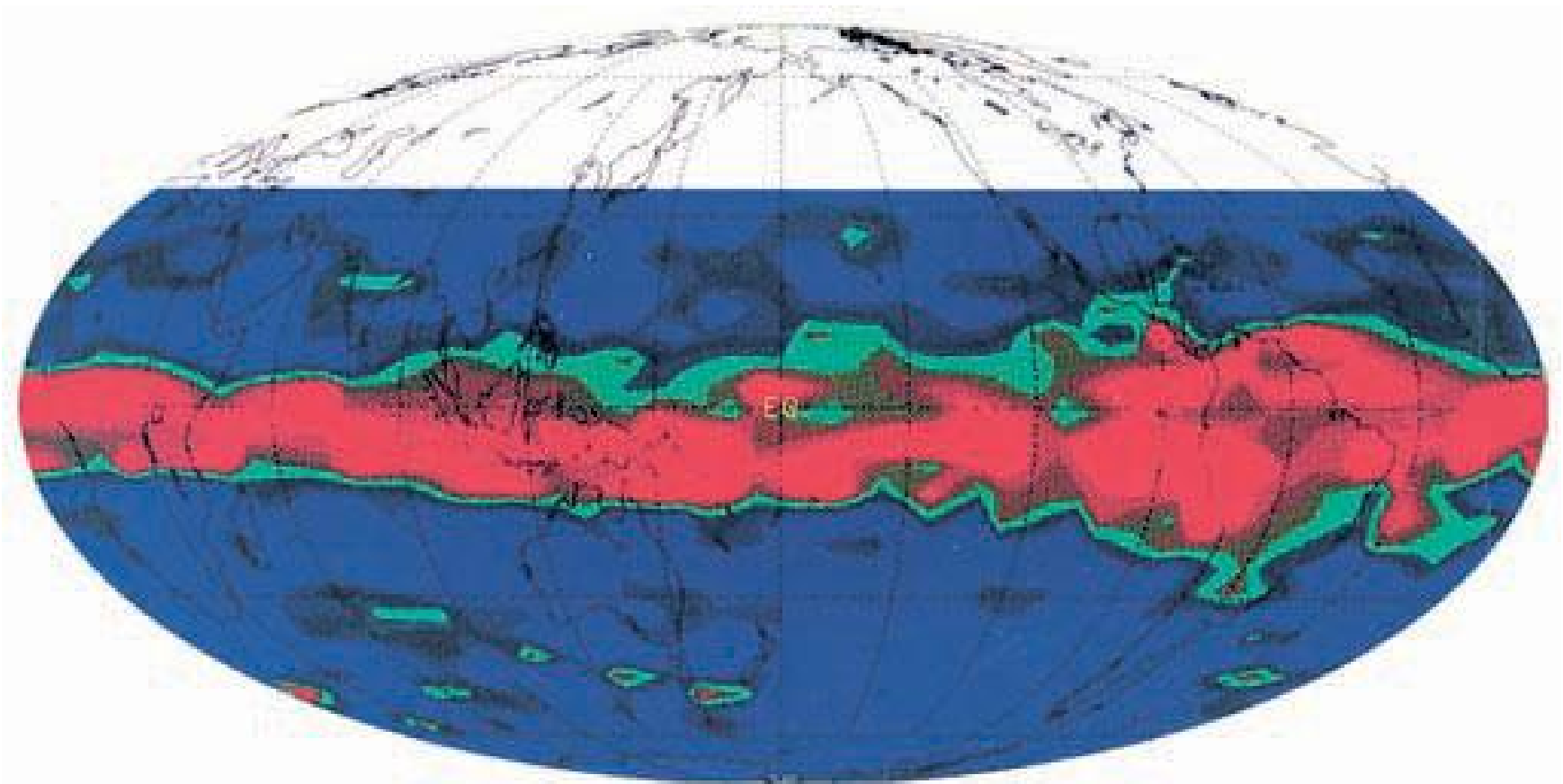
- Las erupciones volcánicas pueden tener un profundo impacto sobre el clima.
- Durante una erupción volcánica, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  ,  $\text{SO}_2$  además de finas partículas de cenizas y polvo.
- El  $\text{SO}_2$  se combina con el agua líquida de las nubes, formando ácido sulfúrico y dando origen extensas nubes ácidas en la alta troposfera.
- Estas nubes reflejan una gran porción de la radiación solar entrante.
- También absorben la radiación infrarroja que la Tierra emite.



- El efecto total es un calentamiento de la estratosfera y enfriamiento el aire cerca de la superficie.
- El **Pinatubo** es un volcán activo ubicado en la isla de Luzón en las Filipinas.
- La erupción más reciente ocurrió en junio de 1991, tras 500 años de inactividad, produciendo una de las más grandes y más violentas erupciones del siglo XX.
- Los efectos de la erupción se sintieron en todo el mundo.
- Envío grandes cantidades de gases hacia la estratósfera, más que cualquier otra erupción desde la del Krakatoa en 1883.

- Los gases emitidos produjeron una capa global de ácido sulfúrico durante los meses siguientes.
- Las temperaturas globales bajaron aproximadamente  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la destrucción de la capa de ozono aumentó de manera importante.





Pluma de dióxido de azufre (en verde y rojo) proveniente de la erupción del Monte Pinatuvo, en junio de 1991

- En 1815 se produjo la erupción del volcán Tambora, en Indonesia.
- Pudo ser responsable del enfriamiento generalizado en el Hemisferio Norte durante 1816 (el año sin verano).
- Estudios en los hielos de Groenlandia han encontrados finas capas de materiales sulfurados, depositados entre los años 1300 y 1700.
- Su origen es volcánico y coinciden temporalmente con la denominada “pequeña edad de hielo” en Europa

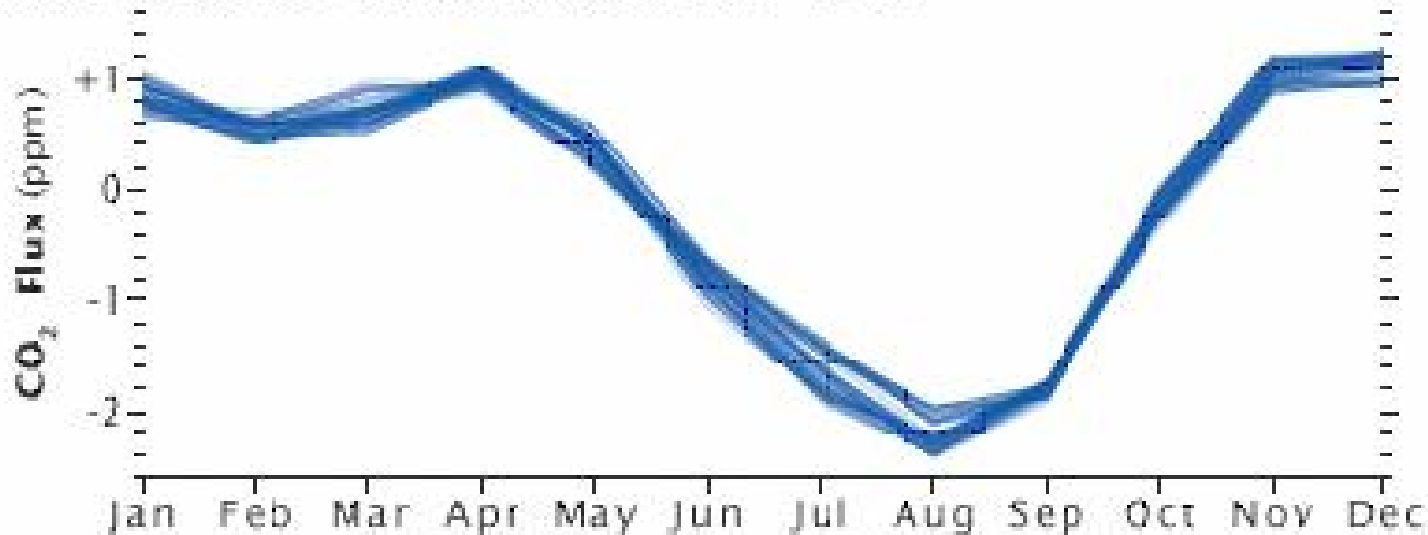
# LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

- La atmósfera primitiva, perdió sus componentes más ligeros, el hidrógeno molecular ( $H_2$ ) y el helio (He).
- Estos fueron sustituidos por gases procedentes de las emisiones volcánicas del planeta, especialmente dióxido de carbono ( $CO_2$ ), dando lugar a una atmósfera de segunda generación.
- En dicha atmósfera son importantes los efectos de los gases de invernadero emitidos de manera natural en volcanes.
- Por otro lado, la cantidad de óxidos de azufre ( $SO$ ,  $SO_2$  y  $SO_3$ ) y otros aerosoles emitidos por los volcanes contribuyen a enfriar la Tierra.
- Del equilibrio entre ambos efectos resulta un balance radiativo constante.

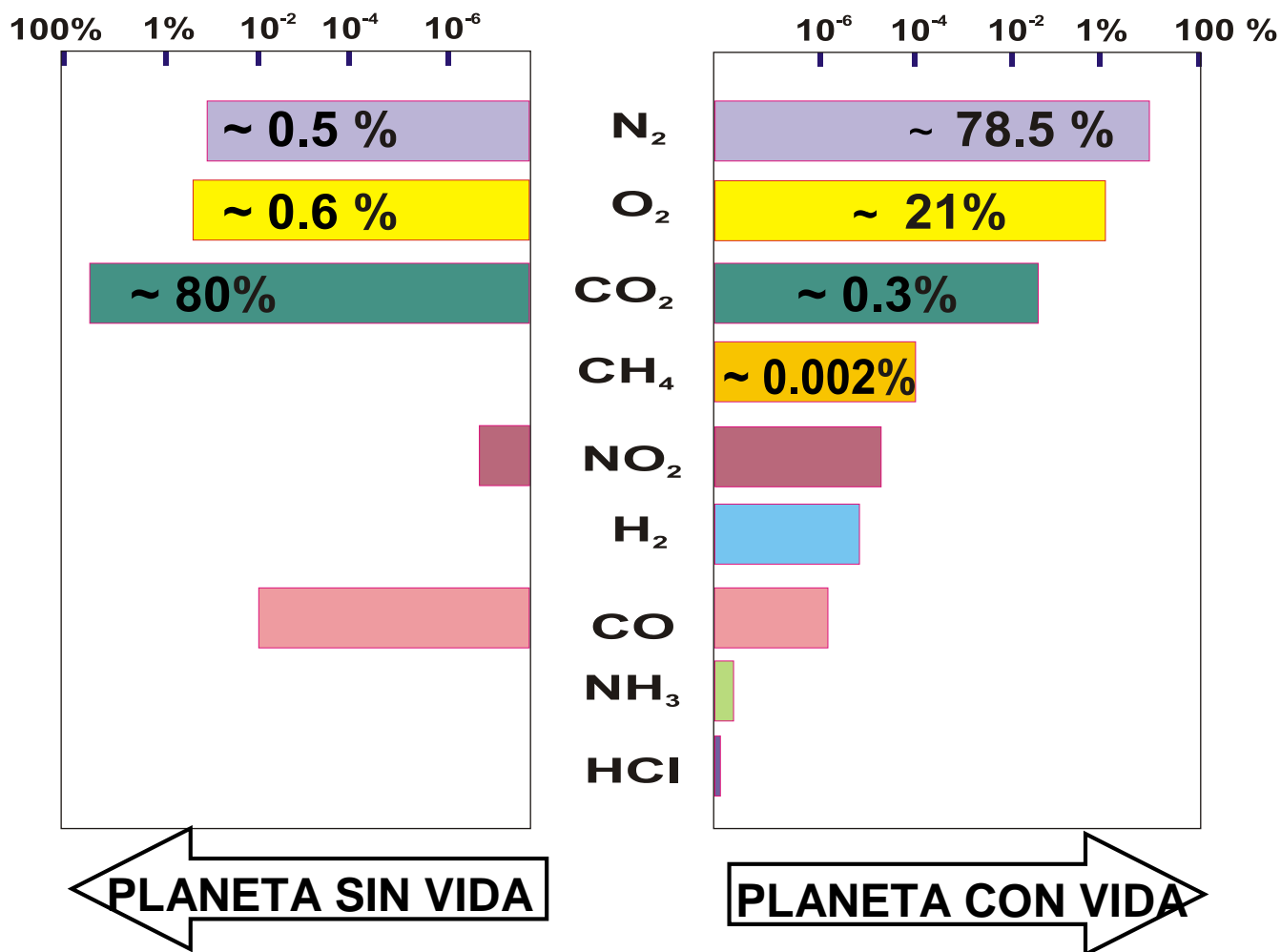
- La aparición de la vida en la Tierra sumó otro factor modificador del clima: la biosfera.
- Inicialmente, los organismos autótrofos por fotosíntesis capturaron gran parte del abundante  $\text{CO}_2$  de la atmósfera primitiva, a la vez que empezaba a acumularse oxígeno ( $\text{O}_2$ ).
- La aparición de la fotosíntesis dio lugar a una presencia masiva de oxígeno como la que caracteriza la atmósfera actual, y aún mayor.
- Este cambio en la composición de la atmósfera favoreció la aparición de formas de vida nuevas, aeróbicas que se aprovechaban de la nueva composición del aire.
- Aumentó así el consumo de oxígeno y disminuyó el consumo neto de  $\text{CO}_2$  llegándose al equilibrio, y formándose así la atmósfera de tercera generación actual.

- Este delicado equilibrio entre lo que se emite y lo que se absorbe se hace evidente en el ciclo del  $\text{CO}_2$ , la presencia del cual fluctúa a lo largo del año según las estaciones de crecimiento de las plantas.

Monthly Change in Carbon Dioxide, 1959–2010



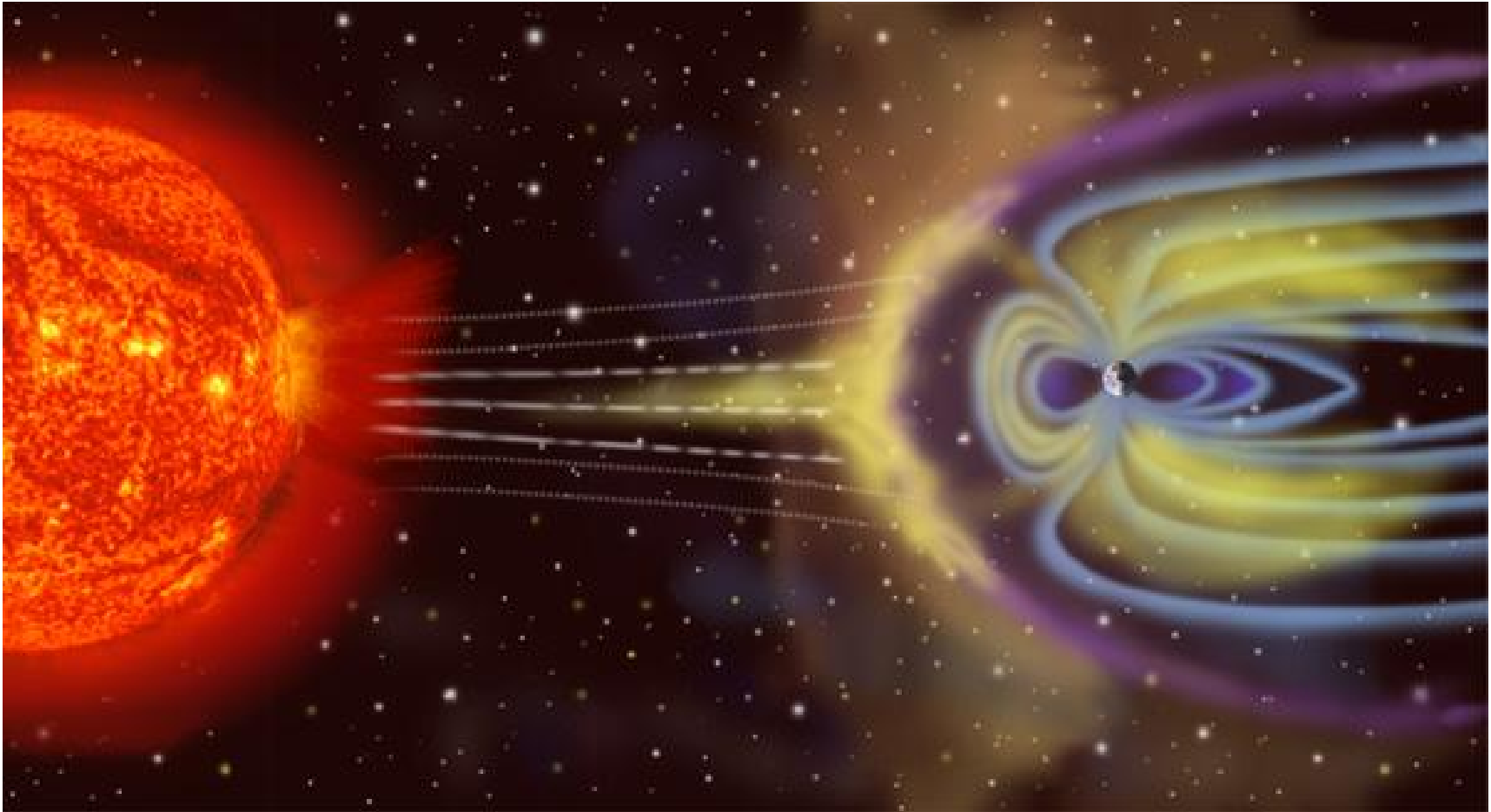
## PORCENTAJE EN ESCALA LOGARITMICA





## EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

- Las variaciones en el campo magnético terrestre pueden afectar el clima de manera indirecta ya que, según su estado, detiene o no las partículas emitidas por el Sol.
- En épocas pasadas hubo inversiones de polaridad y grandes variaciones en su intensidad, llegando a estar casi anulado en algunos momentos.
- Se sabe también que los polos magnéticos, si bien tienden a encontrarse próximos a los polos geográficos, en algunas ocasiones se han aproximado al Ecuador.
- Estos sucesos tuvieron que influir en la manera en la que el viento solar llegaba a la atmósfera terrestre.

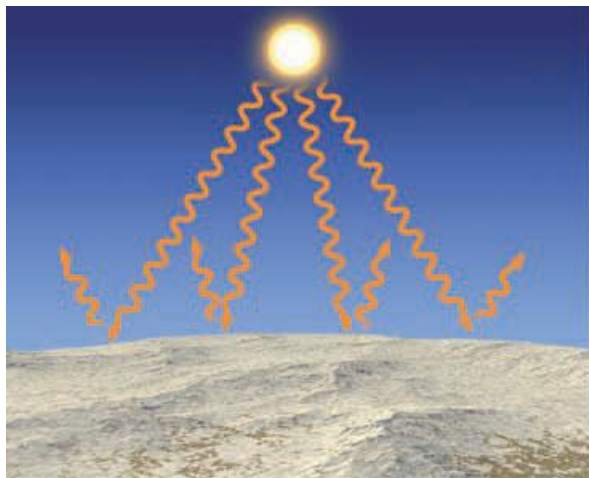


El campo magnético terrestre protege a nuestro planeta de las partículas emitidas por el Sol y transportadas por el viento solar.

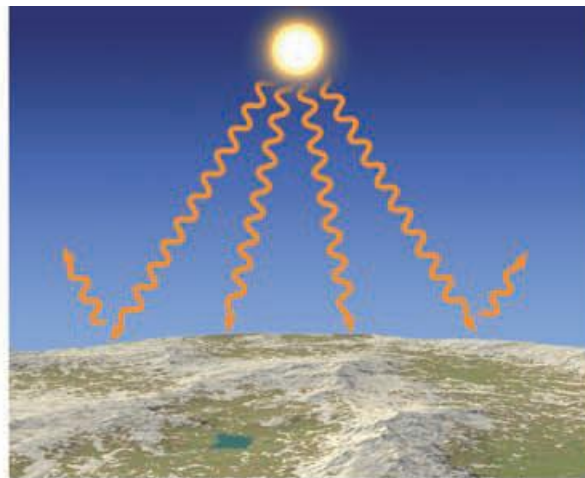
## **POSIBLES CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

- Existe un delicado balance de energía entrante y saliente del sistema tierra-atmósfera.
- Si este balance es afectado aunque sea en forma mínima, pueden originarse una serie de complicados cambios en el clima global.
- En el caso de que el sistema Tierra-atmósfera se este calentando lentamente, habrá más evaporación de agua de los océanos.
- El vapor en la atmósfera absorberá más radiación de onda larga emitida por la tierra reforzando el efecto invernadero.
- Esto a su vez aumentaría la temperatura media del aire, generando un mecanismo de retroalimentación positivo que llevaría a un continuo aumento de la temperatura.

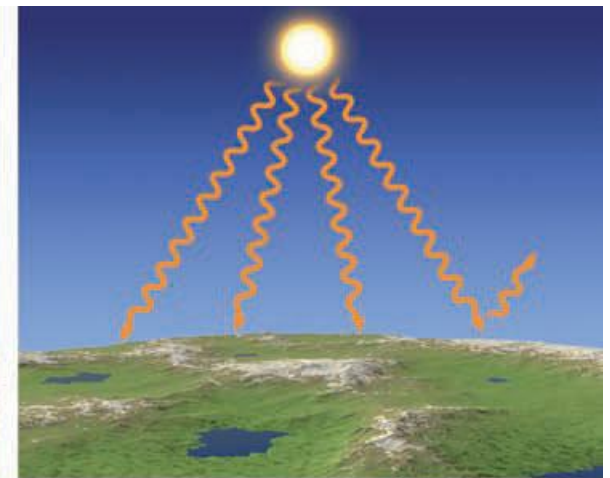
- Si la temperatura del aire aumenta en regiones polares, el derretimiento de mantos de hielo disminuiría el albedo de esas superficies.
- Un menor albedo implica mayor radiación absorbida por la superficie y de nuevo, una retroalimentación positiva al recalentamiento.



- (a)
- High surface albedo
  - Low absorption of sunlight
  - Gradual surface warming



- (b)
- Lower surface albedo
  - Higher absorption of sunlight
  - Surface warming increases



- (c)
- Very low surface albedo
  - Much higher absorption of sunlight
  - Surface warming enhanced

- Se provocaría también un enfriamiento en algunas regiones, dado que habría una mayor cobertura nubosa y esta reflejaría radiación solar entrante.
- Todos estos mecanismos de feedback actúan simultáneamente y en ambas direcciones.
- Si en una región se acentúa el enfriamiento, eventualmente podrá formarse nieve o hielo.
- Estas superficies aumentan su albedo, reflejando radiación entrante e impidiendo el calentamiento de las mismas.
- Si la temperatura desciende sostenidamente en el tiempo, la cobertura de hielo se extiende y aumenta el albedo.
- Este es otro caso de feedback positivo.

- Existen también mecanismos de Feedback negativos.
- Estos implican un debilitamiento en las interacciones entre las variables en lugar de un refuerzo.
- Por ejemplo, un planeta más caliente emite mayor cantidad de energía en infrarrojo.
- Si el sistema climático estuviera en un efecto invernadero descontrolado, un incremento en la radiación desde la superficie podría suavizar el aumento de la temperatura y colaborar en la estabilización del sistema.
- Este es un mecanismo de feedback negativo que puede neutralizar un efecto invernadero descontrolado, por lo que no hay evidencia de que se dispare el calentamiento del planeta.

# CAMBIO CLIMATICO ANTROPOGÉNICO

## Partículas atmosféricas

- Microscópicas partículas líquidas y sólidas ingresan continuamente a la atmósfera, inducidas por las actividades humanas y también desde fuentes naturales.
- Estas partículas pueden tener efectos sobre el clima.
- Estos efectos son sumamente complejos y depende de muchos factores tales como el tamaño, forma, color, composición química y distribución vertical por encima de superficie.
- Se las denomina Aerosoles.

## Aerosoles en la tropósfera.

- Las Fuentes de aerosoles atmosféricos son muy variadas:
  - Tormentas de polvo en áreas desérticas.
  - Evaporación de agua salada de los mares y turbulencia en la superficie.
  - Actividad industrial humana
  - Agricultura.
  - Incendios forestales
- Muchas de estas partículas tienen la capacidad de reflejar la radiación solar entrante a la Tierra.
- Absorben parte de esa radiación y la reemiten a la superficie en onda larga pero esta reemisión es muy selectiva.
- El efecto total de los aerosoles, especialmente los antropogénicos, es el de inducir un enfriamiento en la superficie.



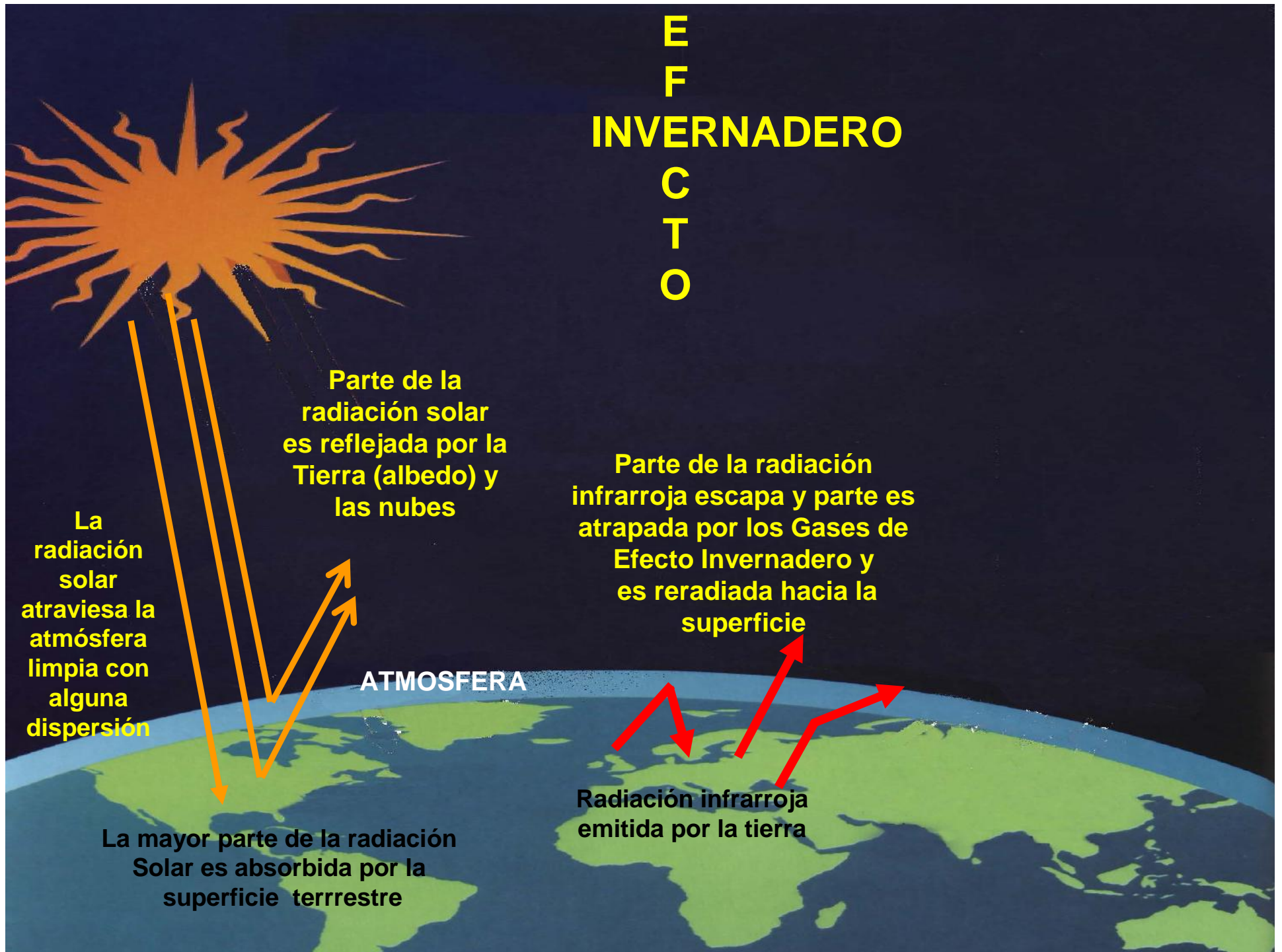
- Cerca de superficie, la mayoría de partículas se generan por la quema de combustibles fósiles, pero el vulcanismo tiene también un papel importante.
- La emisión de partículas sulfuradas es ahora más del doble de la que existía en la época preindustrial.
- Estas partículas inicialmente ingresan como  $\text{SO}_2$  y luego, por reacciones con el agua atmosférica, se transforman en ácido sulfúrico.
- Permanecen en la atmósfera unos pocos días, por lo que no tienen tiempo de redistribuirse por el globo y se precipitan cerca de sus zonas de origen.
- Por esta razón es el hemisferio Norte (mayor consumidor de combustibles) el que sufre principalmente los efectos de estos compuestos ácidos.

- Actúan como núcleos de condensación, aumentando la cantidad de gotas de nube y el efecto de reflexión de la radiación solar entrante.
- Esto podría explicar:
  - por qué el Hemisferio Norte ha sido menos cálido que el Sur en la última década.
  - Por qué Estados Unidos ha registrado menor calentamiento que las demás regiones.
  - Por qué en las últimas décadas el mayor calentamiento se ha registrado en las horas nocturnas y no durante el día, especialmente en áreas muy pobladas.
- Sobre los océanos, la mayor fuente de aerosoles sulfatados provienen del fitoplancton, que produce *Dimetil sulfuro*, el cual se difunde en la atmósfera y se incorpora al ciclo del  $\text{SO}_2$ .
- Las investigaciones aún continúan y los efectos de los aerosoles atmosféricos no se conocen por completo.

## EL EFECTO INVERNADERO

- Si la Tierra careciera de atmósfera su temperatura media sería de  $18^{\circ}$  C bajo cero.
- La existencia de gases raros, denominados gases de efecto invernadero hace que la energía radiante de la Tierra no escape totalmente hacia el espacio exterior.
- Parte de ella es re-irradiada hacia el suelo, haciendo que en el balance, la Tierra se mantenga con una temperatura media del orden de los  $15^{\circ}$  C.
- Esa diferencia  $33^{\circ}$  C en promedio hace habitable nuestro planeta para la mayoría e las especies.
- Uno de los principales gases de invernadero es el  $\text{CO}_2$

# E F E C T O I N V E R N A D E R O



## Los efectos antropogénicos

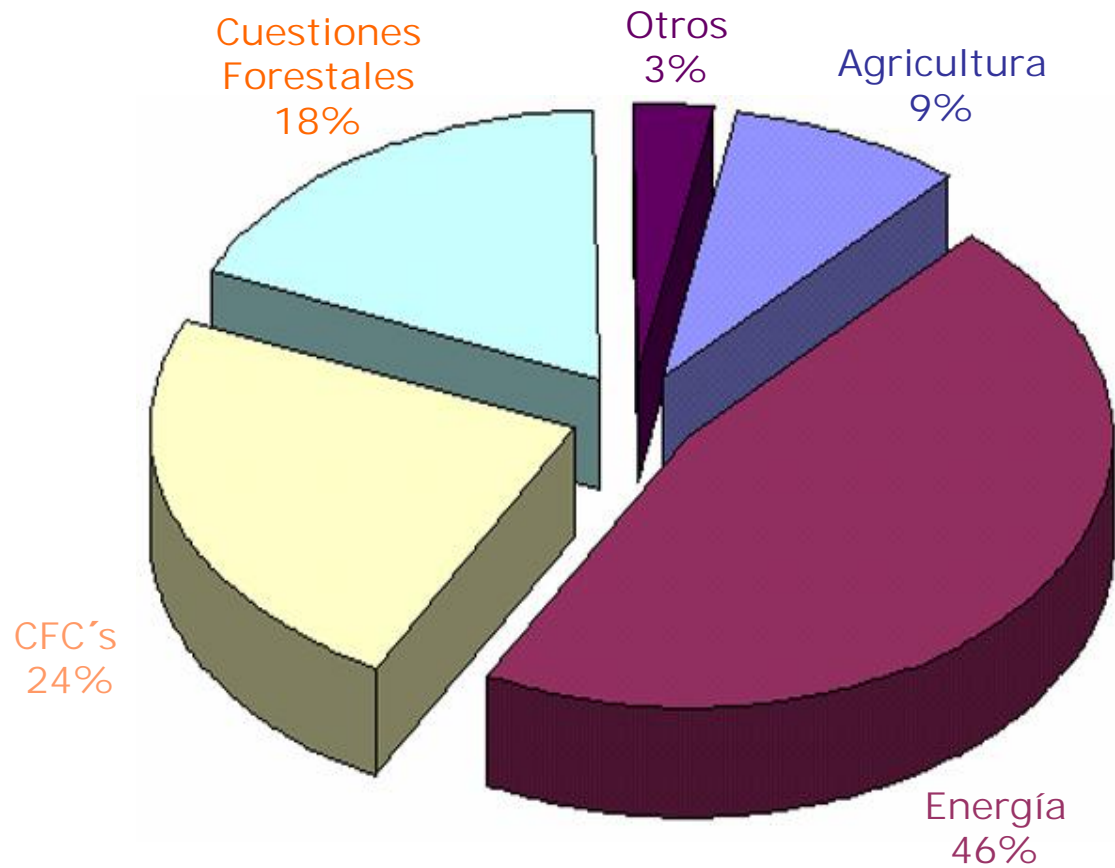
- El ser humano es hoy uno de los agentes climáticos de importancia.
- Su influencia comenzó con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo.
- En la actualidad su influencia es mucho mayor al producir la emisión abundante de gases a través de:
  - CO<sub>2</sub> en fábricas y medios de transporte.
  - Metano en granjas de ganadería intensiva y arrozales.
- Tanto las emisiones de gases como la deforestación se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y medio plazo.
- La principal consecuencia del Efecto Invernadero es lo que se conoce como *Calentamiento Global*

## Gases de Efecto Invernadero (GEI)

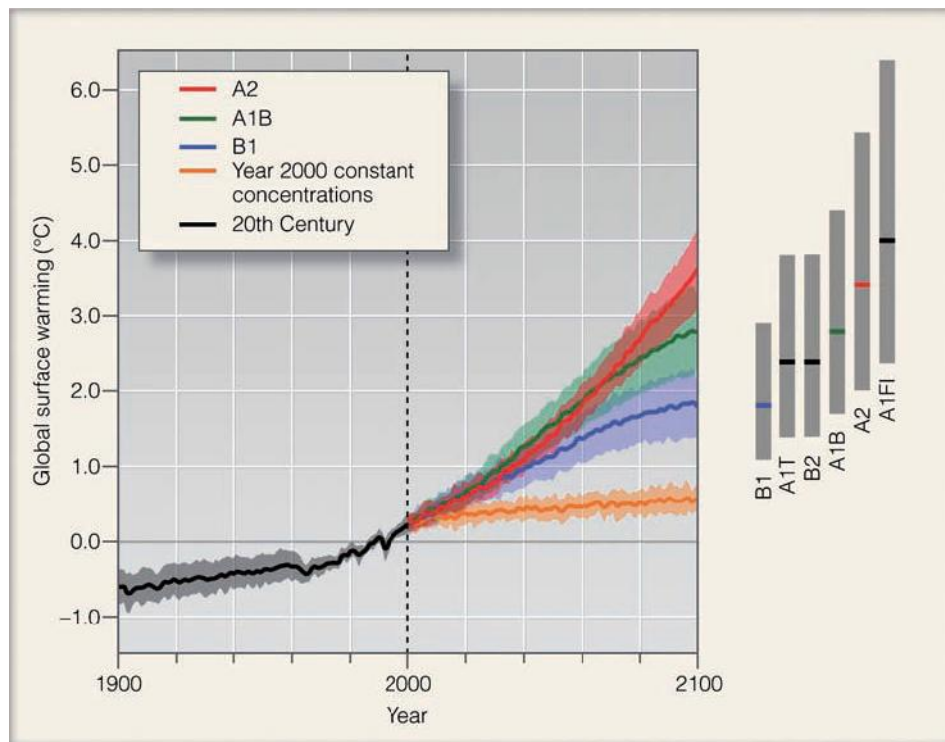
	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>CFC's</b>	<b>O<sub>3</sub></b> (Troposferico)
<b>Período de vida en la atm.</b>	<b>50 – 200 años</b>	<b>7-10 años</b>	<b>150 años</b>	<b>70 – 110 años</b>	<b>Días</b>
<b>Contribución %</b>	<b>53</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	<b>7</b>
<b>Concentración Pre-Industrial</b>	<b>275 ppm</b>	<b>0.7 ppm</b>	<b>0.228 ppm</b>	<b>0</b>	<b>15 ppmm</b>
<b>Concentración Actual</b>	<b>361 ppm</b>	<b>1.06 ppm</b>	<b>0.274 ppm</b>	<b>0.4 pppm</b>	<b>35 ppmm</b>
<b>Crecimiento Anual %</b>	<b>0.5</b>	<b>0.9</b>	<b>0.25</b>	<b>4.5</b>	<b>1</b>
<b>Efecto Acumulado en los Próximos 100 años</b>	<b>61 %</b>	<b>15 %</b>	<b>4 %</b>	<b>11.5 %</b>	<b>8.5 %</b>
<b>Fuentes Principales</b>	<b>Quema de Combustibles fósiles, deforestación, Uso de la tierra</b>	<b>Pantanos, arrozal Rumiante Extracc. combustibles</b>	<b>Combustibles fósiles, biomasa Fértil - Usos de la tierra</b>	<b>Gases artific. Solvent. Aire Acondicionado o Sprays</b>	<b>Escapes de Auto Industria y Aviación</b>

# Gases de Efecto Invernadero

Actividades antropogénicas que afectan el forzamiento radiativo



- Diferentes modelos climáticos pronostican un sensible aumento de las temperaturas a escala global, de hasta 3 °C en promedio.
- La figura muestra esas proyecciones de distintos modelos para finales del siglo XXI que contemplan distintos escenarios.
- La línea naranja representa el aumento de temperaturas esperado con el contenido de gases de invernadero manteniéndose constante





**Acciones del hombre que contribuyen al Calentamiento Global**

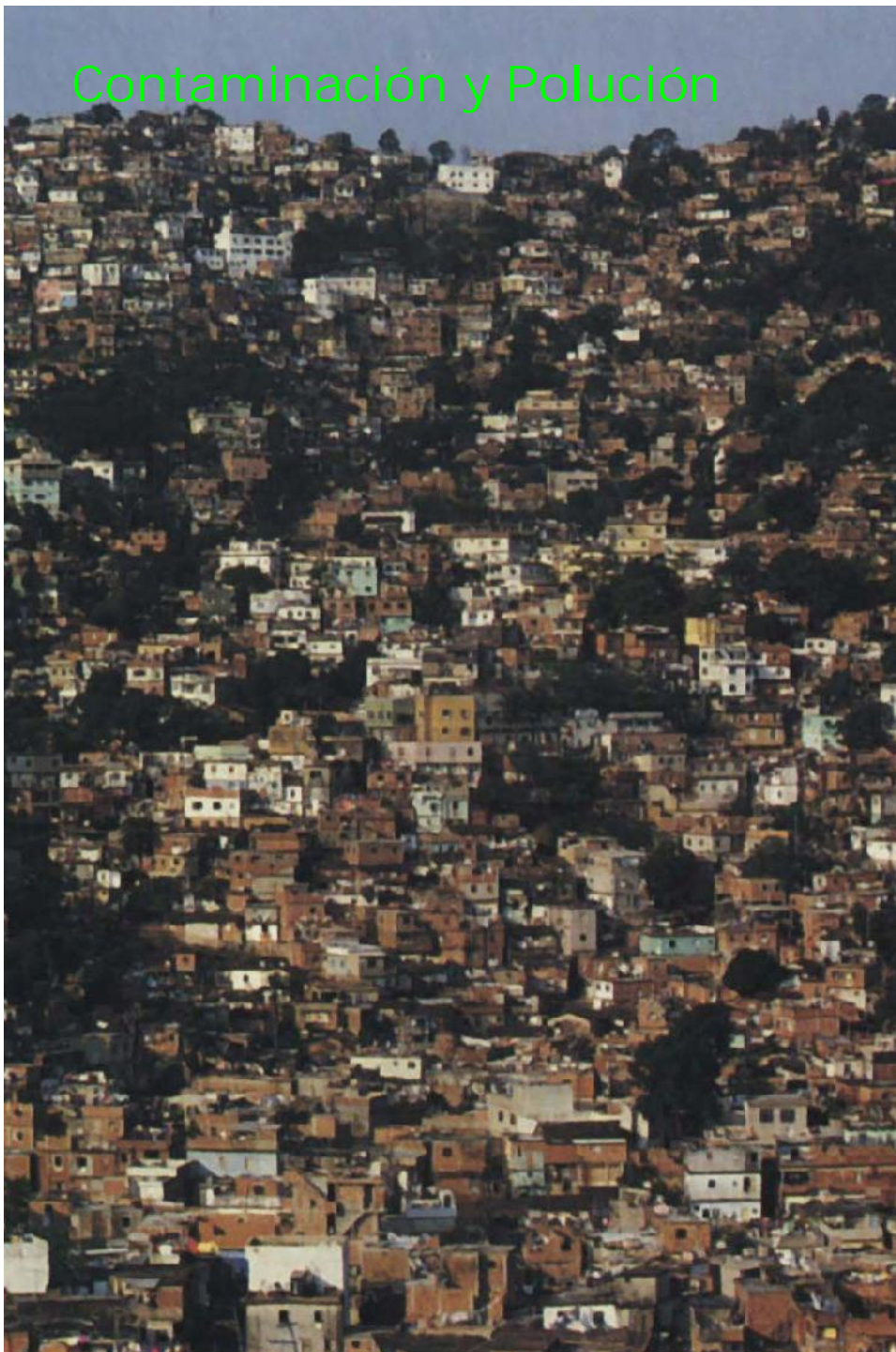


**Deforestación**



**Destrucción del Amazonas – Jugando con fuego**

# Contaminación y Polución



# Especies en Peligro





### DIETA FORZADA

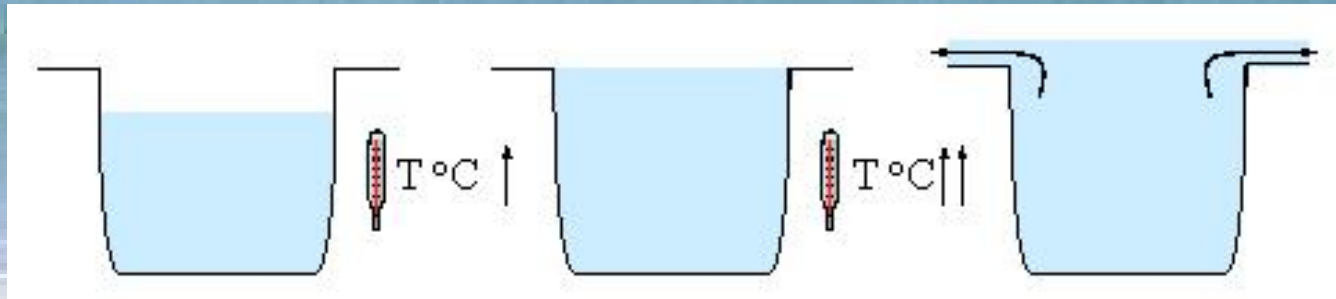
Primero los deshielos y luego las heladas han acortado los tiempos de alimentación de los osos.-

Expansión Térmica :

Factor mas importante en el aumento del nivel  
del océano

**volumen=masa / densidad**

Mayor T  $\rightarrow$  Menor d  $\rightarrow$  Mayor V

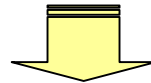


**La velocidad del cambio depende de la velocidad con la cual el calor es removido de las capas superficiales del océano hacia el interior**

**Gran capacidad calorífica del océano**



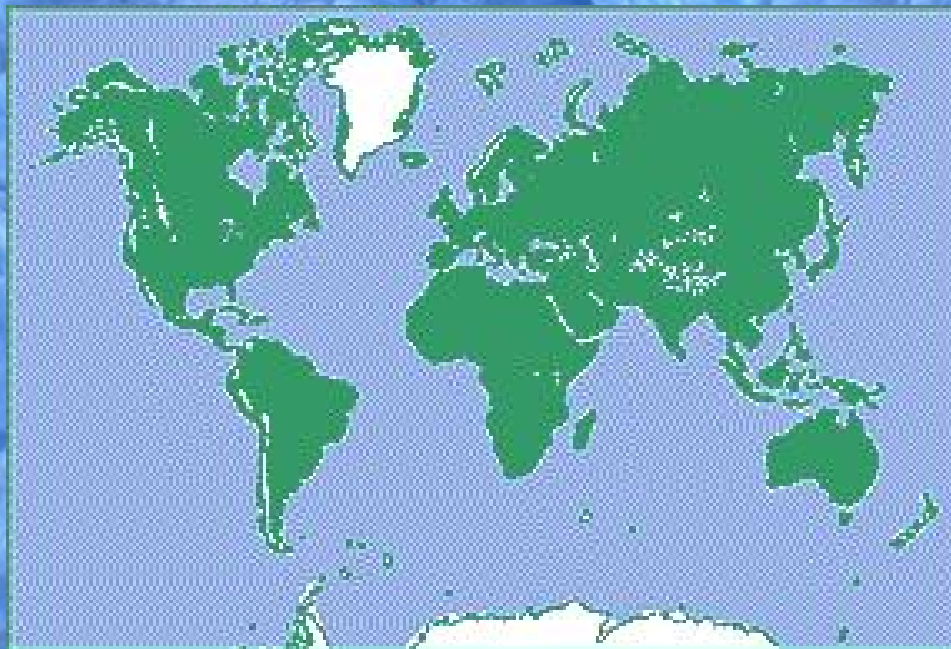
**Delay importante antes de que los efectos completos del calentamiento superficial se sientan en la profundidad del océano**



**El nivel del océano continuará incrementándose siglos después de que se hayan estabilizado los gases de efecto invernadero**

# Hielos continentales y glaciares

**Tierra: mayor almacén de agua  
(congelada en los glaciares  
y hielos continentales)**

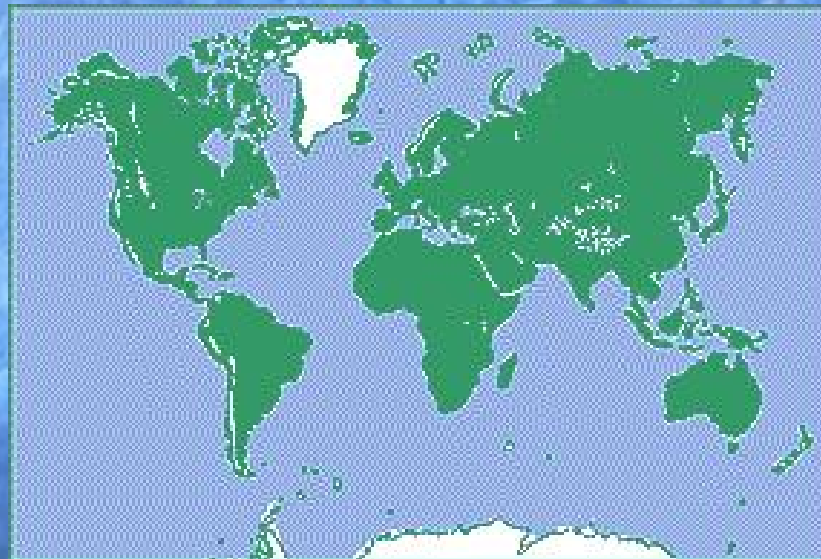


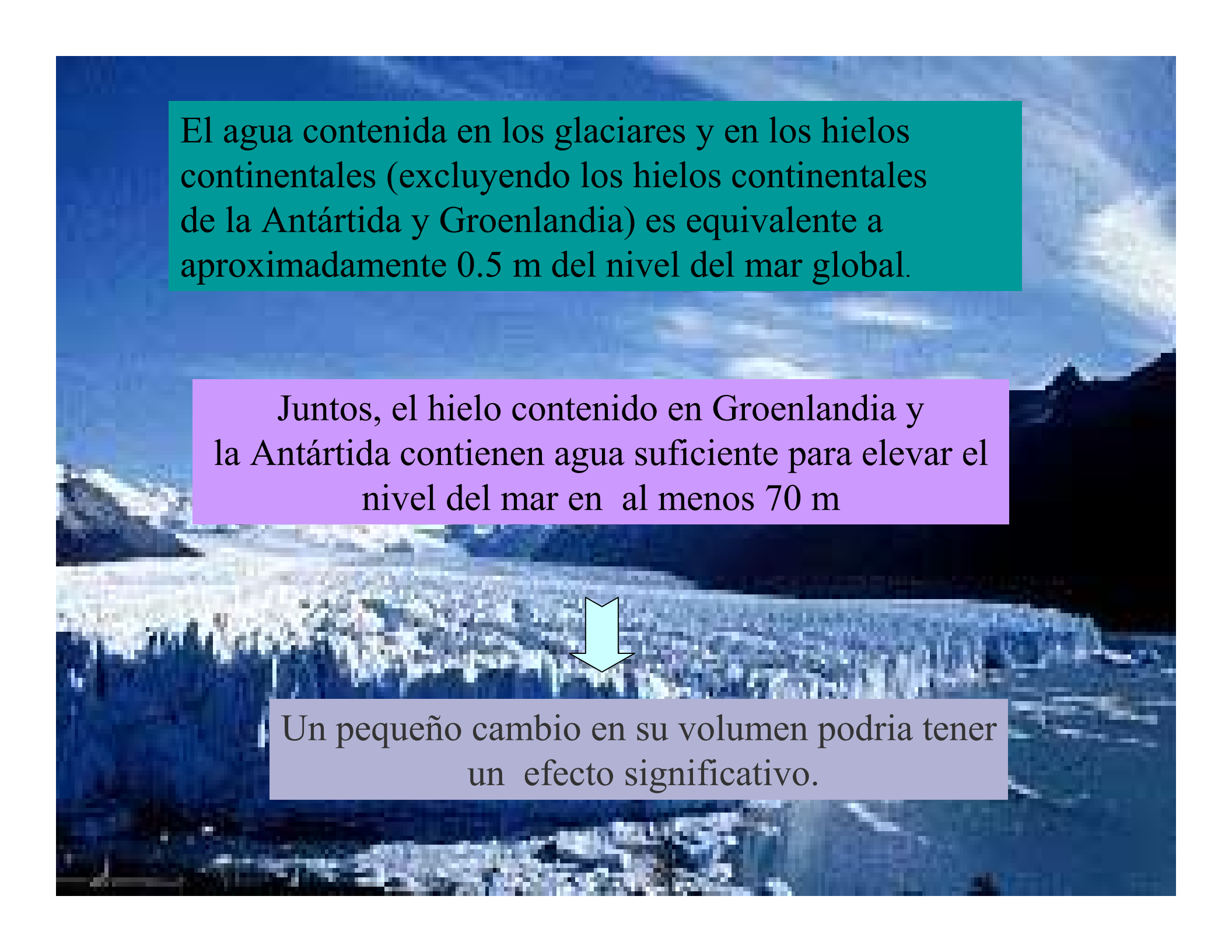


Los glaciares y hielos continentales ocupan solo un pequeño porcentaje del área del mundo con hielo, pero son más sensibles al cambio climático que los grandes hielos Continentales en Groenlandia, y la Antártida, debido que estos últimos están en climas más fríos, con menor precipitación y baja tasa de derretimiento.



Se espera que los hielos continentales hagan solo una pequeña contribución al cambio en el nivel del océano en las décadas venideras





El agua contenida en los glaciares y en los hielos continentales (excluyendo los hielos continentales de la Antártida y Groenlandia) es equivalente a aproximadamente 0.5 m del nivel del mar global.

Juntos, el hielo contenido en Groenlandia y la Antártida contienen agua suficiente para elevar el nivel del mar en al menos 70 m



Un pequeño cambio en su volumen podría tener un efecto significativo.

GLACIAR UPSALA, 1928 -



Glaciar Upsala, Argentina. 1928

# GLACIAR UPSALA - 2004



Glaciar Upsala, Argentina. 2004



## Fractura en el glaciar de Larsen – B (La Nación 2003)



Rápido cambio climático



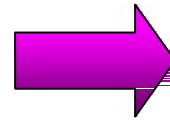
Rápido cambio en la masa de hielo



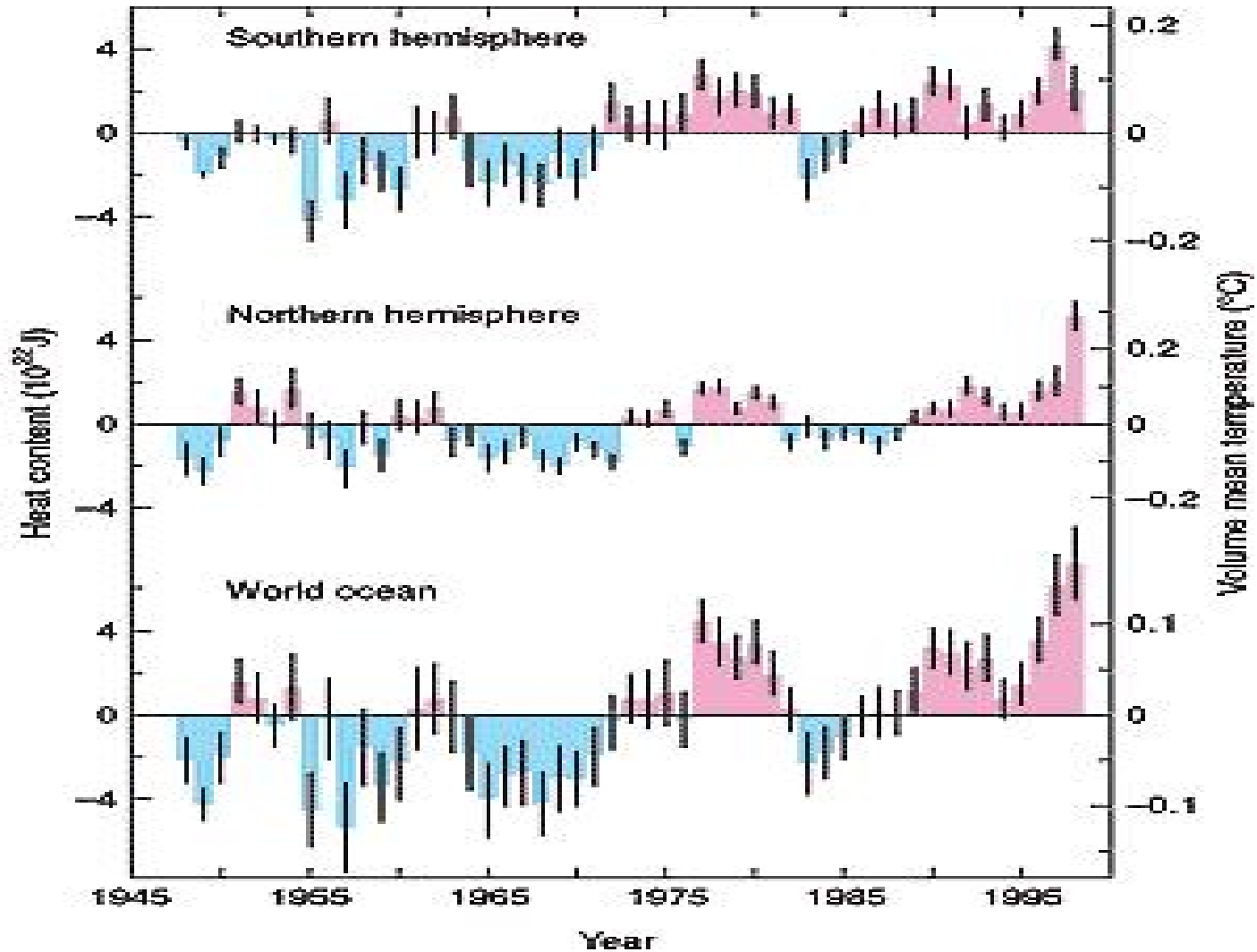
Contribución importante al incremento del nivel del océano



Cambio climatico



Cambio en el nivel del océano



Es probable que se pierdan importantes comunidades biológicas debido a que algunas especies no serán capaces de adaptarse lo suficientemente rápido a los cambios de salinidad o a la pérdida de cubierta de hielo.





Cambios en la circulación del océano



influenciarán



Ecosistemas marinos

Patrones meteorológicos  
regionales



Amenaza de muchas zonas  
pesqueras

Podría reducirse la  
Corriente del Golfo



Inviernos mas fríos en Europa

Si las proyecciones de modelos son razonables



El nivel global del mar subiría 1 metro  
a fines de este siglo



Amenaza para



Islas de tierras  
bajas



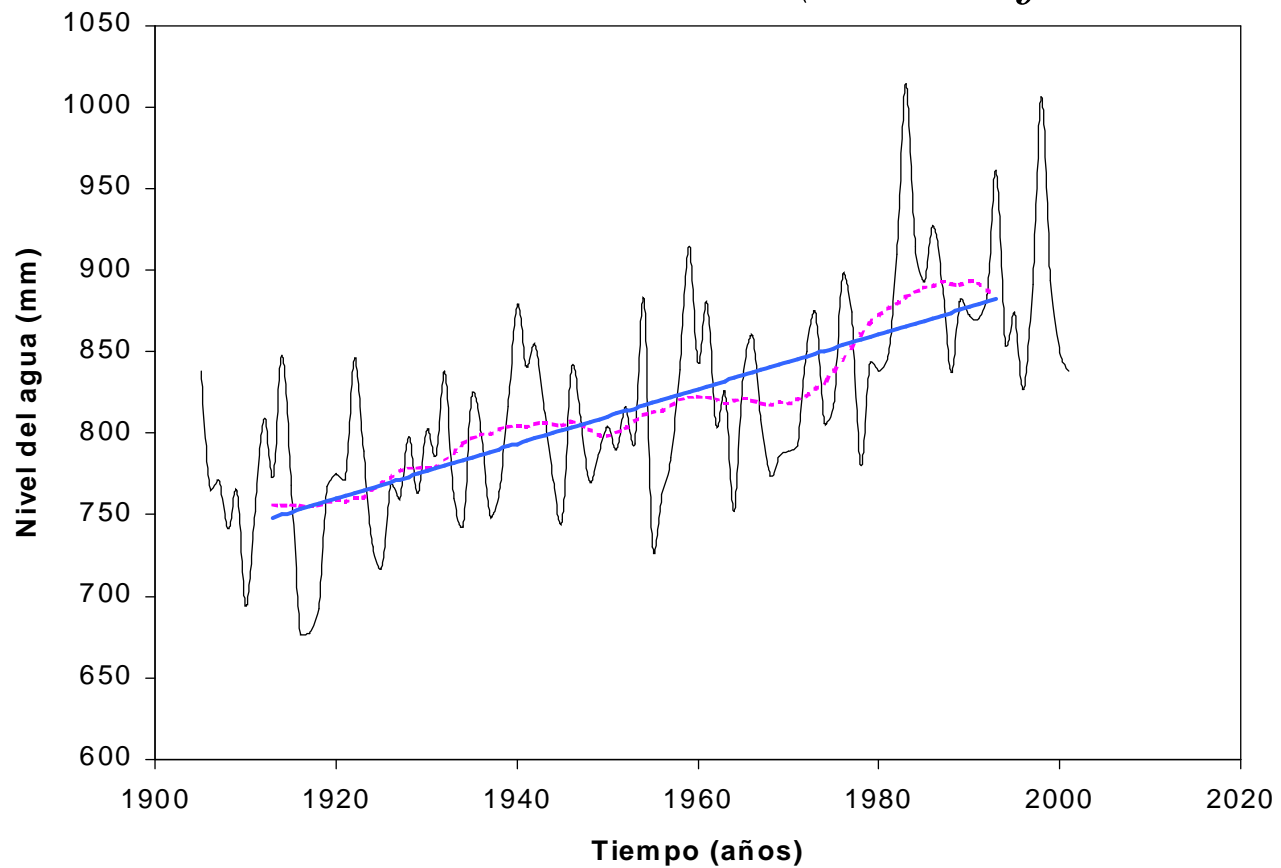
Zonas costeras

- 13 de las 50 ciudades mas grandes del mundo están sobre zonas costeras planas.
- Las ciudades en riesgo cubren un amplio rango de circunstancias económicas.
- Muchas necesitaran desarrollar infraestructuras para minimizar los efectos de las inundaciones y de las tormentas.
- La mayor parte de la población humana vive cerca del mar.
- En Bangladesh, por ejemplo, 17 millones de personas viven a menos de un metro sobre el nivel del mar.
- Las inundaciones extensivas son una gran amenaza para la salud del hombre.

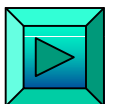


# NIVEL MEDIO

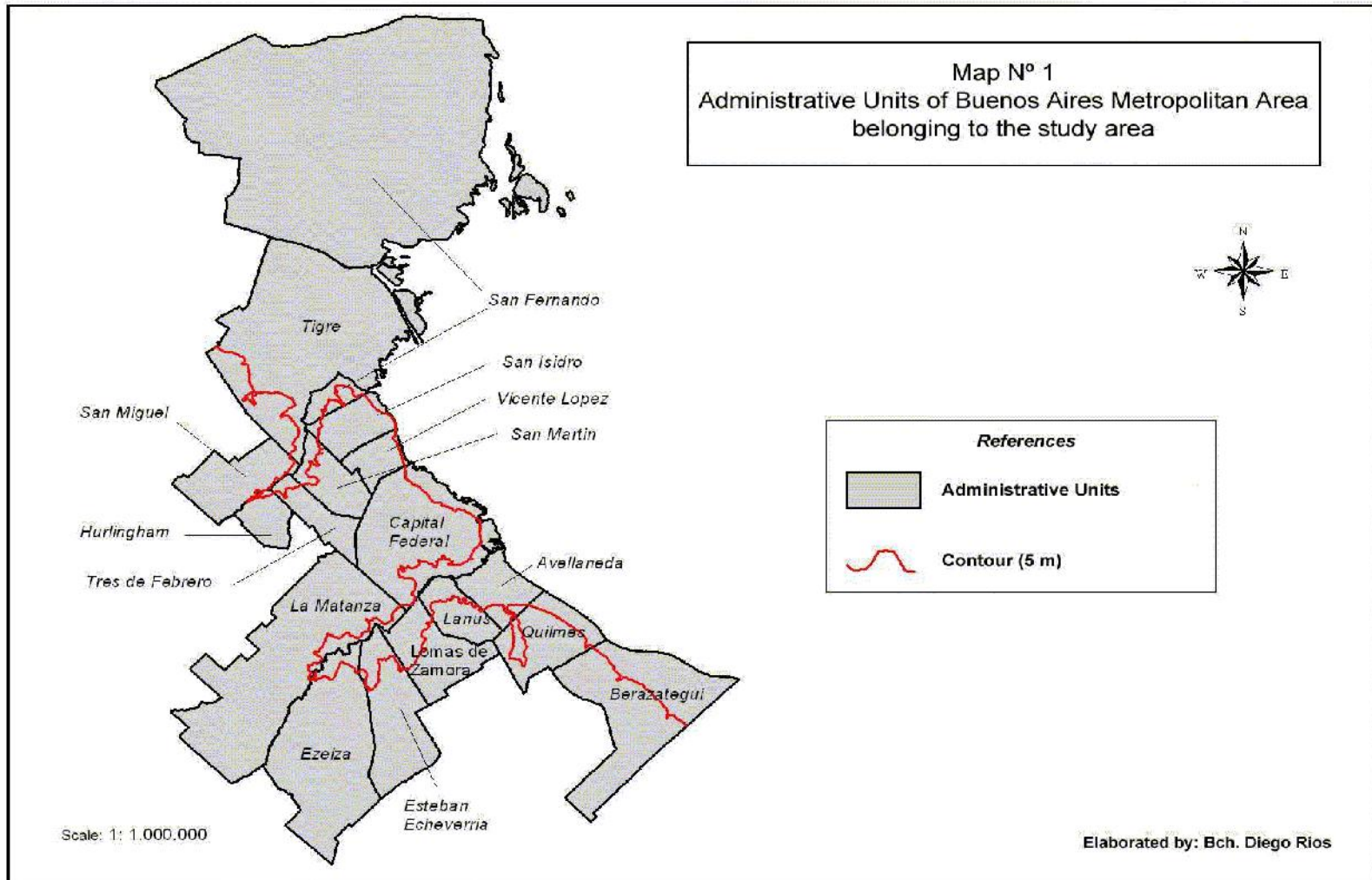
*Puerto de Buenos Aires:  
1.7 ± 0.1 mm/año (D'Onofrio, SHN)*



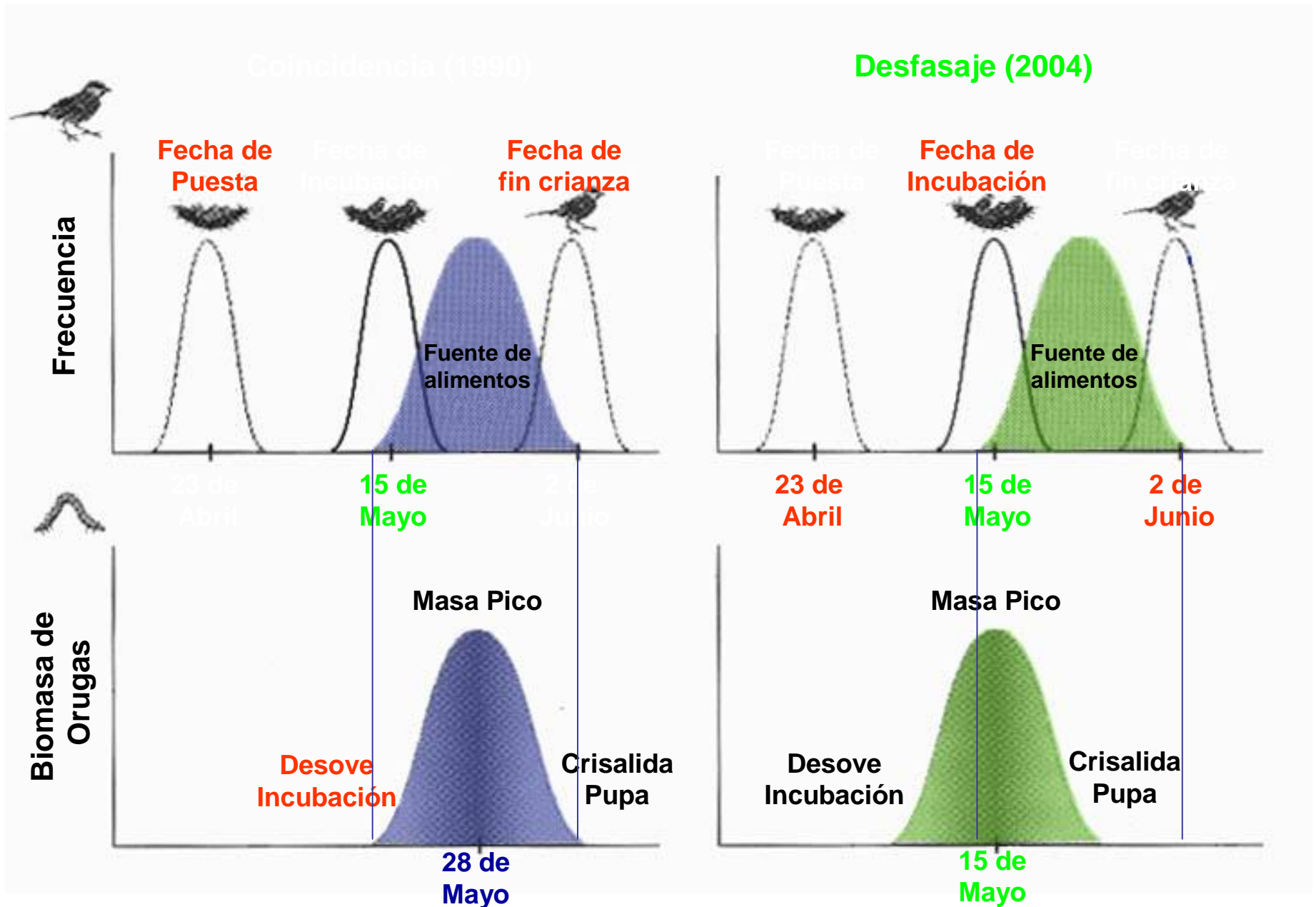
— Nivel medio anual - - - Nivel medio filtrado — Recta de regresión



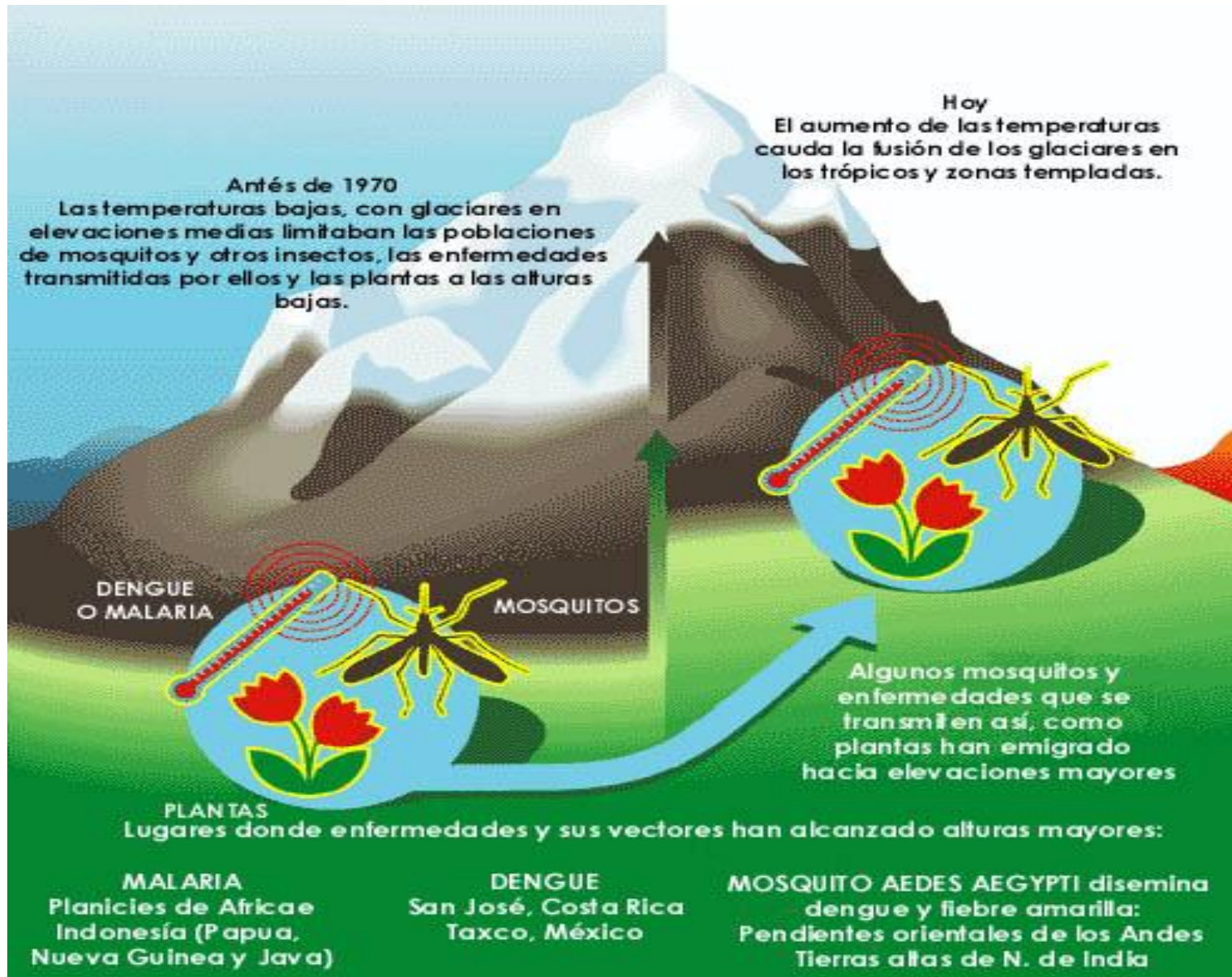
# COTA DE 5 M SOBRE EL NIVEL DEL MAR (ÁREA POTENCIALMENTE VULNERABLE)



# Especies Interdependientes pueden ser desacopladas bajo los efectos del Cambio Climático

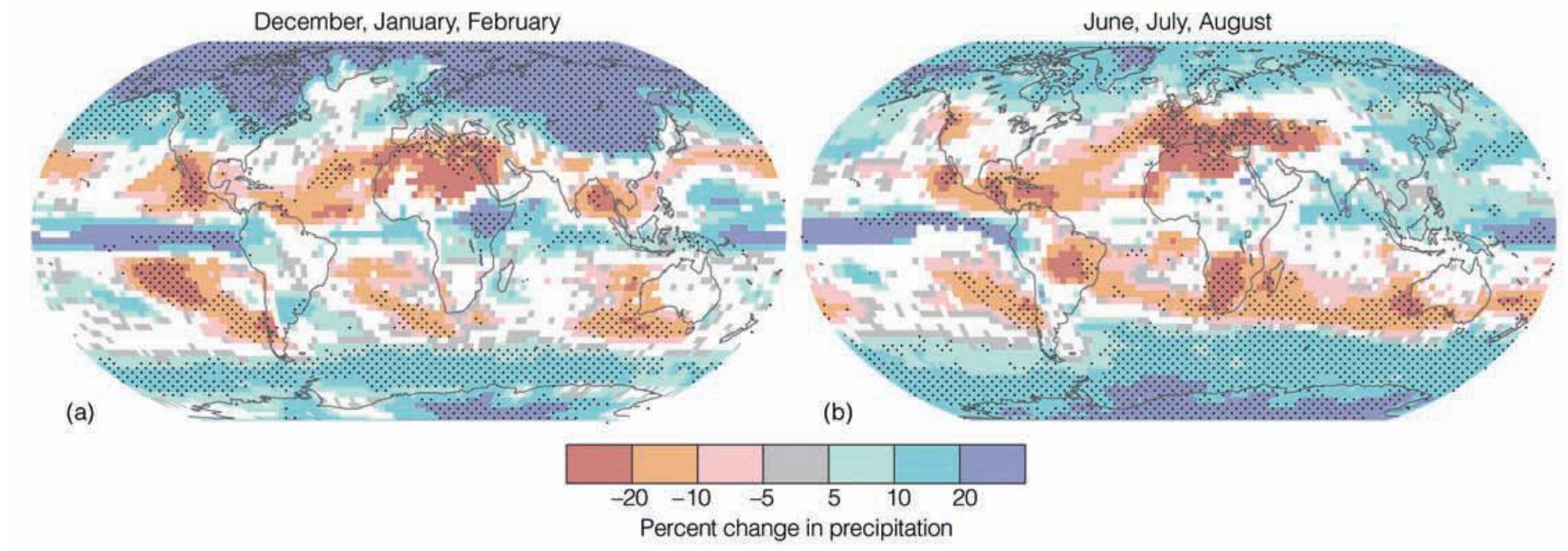


# Cambio Climático & Salud

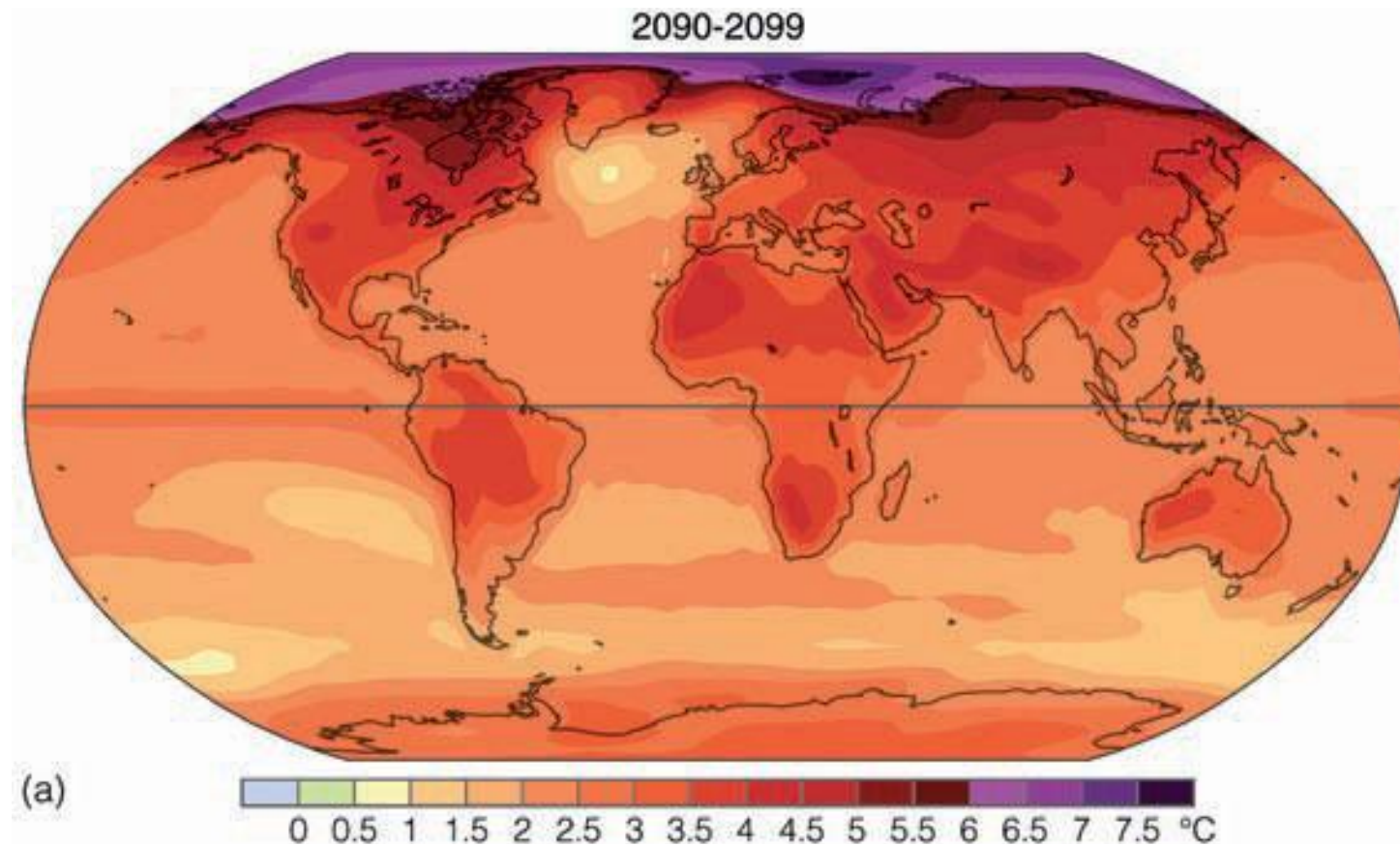


- En escalas continental, regional y de cuencas oceánicas, se han observado numerosos cambios a largo plazo en el clima.
- Estos incluyen cambios en las temperaturas y hielos del Ártico, cambios en las precipitaciones, la salinidad del océano, los patrones de viento y aspectos de tiempo extremo.
- Estos cambios incluyen sequías, precipitaciones severas, olas de calor e intensidad de ciclones tropicales.
- Los 11 años que van de 1995 a 2006 estuvieron entre los más cálidos del registro instrumental de temperatura de superficie (desde 1850).

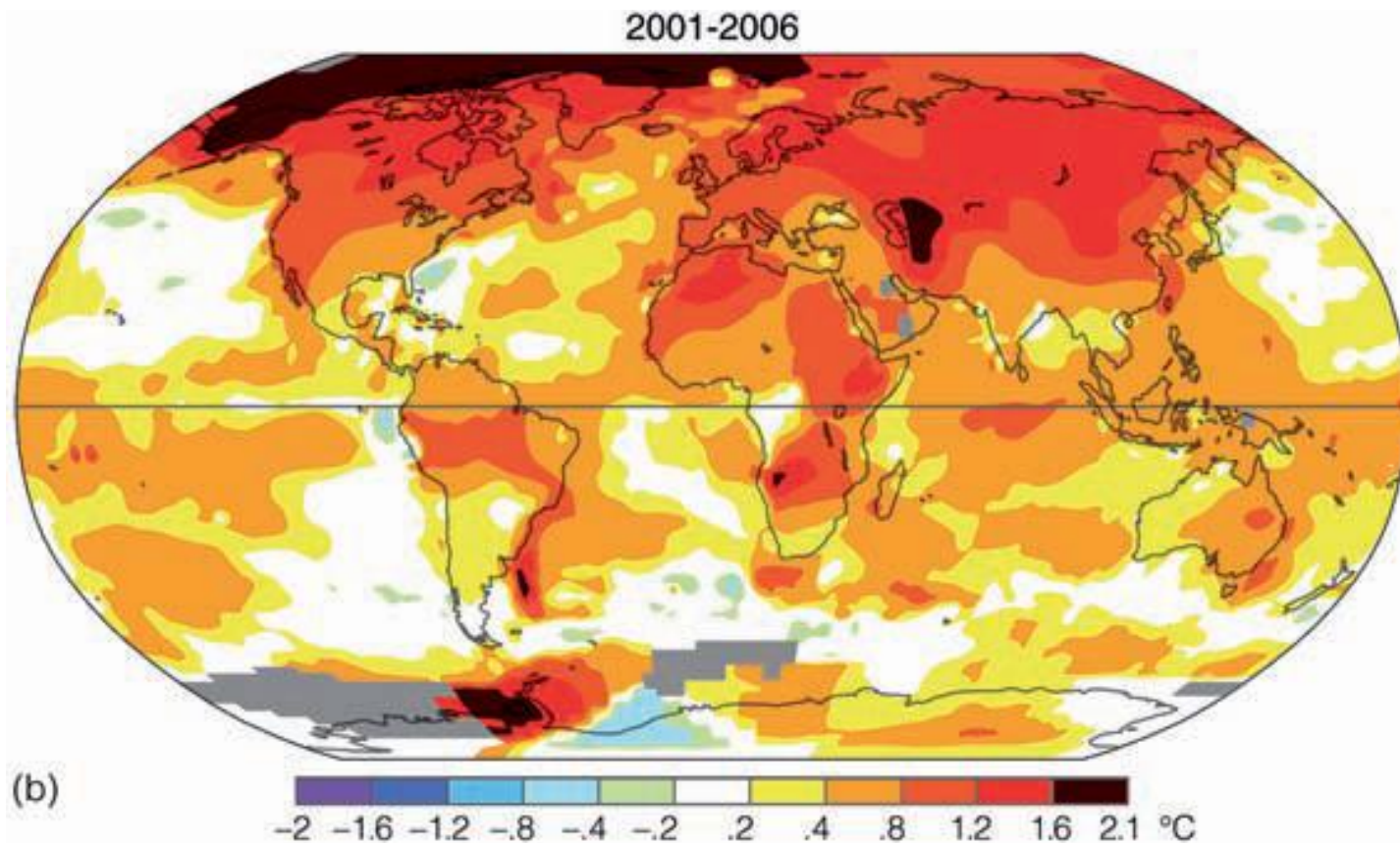




Valores de anomalías medias de precipitación proyectadas para la década 2090 – 2099, tomando como referencia los valores medios del período 1980 – 1999. Grafico (a): trimestre de diciembre a febrero; gráfico (b): trimestre de junio a agosto.



Valores de incrementos medios de temperaturas proyectados para la década 2090 – 2099, tomando como referencia los valores medios del período 1980 – 1999.



Valores de incrementos medios de temperaturas para la década 2001 – 2006, tomando como referencia los valores medios del período 1951 – 1980. Se observa el mayor calentamiento sobre la región Ártica, centro – norte de Europa, Norte de Canadá y Asia norte y central.

## REFERENCIAS

- **Meteorology Today. An introduction to weather, climate, and the environment** - C. Donald Ahrens, Brooks/Cole, 10 Davis Drive, Belmont, CA 94002, 2009.
- **Servicio Meteorológico Nacional** – Página web: [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar). Imágenes y notas.
- **Cambio climático 2013, Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Informe del Grupo de trabajo I del IPCC.**