



Cambio Climático y Prevención de Riesgos Laborales

27.JUN - 28. JUN, 2024. Cód. O08-24

27-06-2024 10:30 - 11:15

“Qué es cambio climático, cómo se manifiesta y cuáles son sus consecuencias”

Santiago Gaztelumendi

Director de estrategia y Coordinador Euskalmet (Agencia Vasca de Meteorología).

Director Area Meteo y Clima. TECU. Tecnalia. BRTA.



27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Guión:

Parte 0. Introducción: un poco de física de la atmósfera y algo de geociencia para no olvidar el contexto.

Parte 1. Qué es cambio climático. Qué es clima y qué es un cambio. Cómo se define y caracteriza el clima y cuales son los factores que modulan su cambio a lo largo de la historia del planeta.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático. Mostraré las características del clima actual y las evidencias y señales de cambio a nivel global, regional y local, aportando datos para la CAE.

Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático. En esta parte nos centraremos en las consecuencias del cambio climático en diferentes ámbitos, con un pequeño barniz sobre impactos en la salud y las condiciones laborales, que se ampliará en el resto de ponencias de este curso.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 0 (10 minutos)

Parte 1 (10 minutos)

Parte 2 (10 minutos)

Parte 3 (10 minutos)

Parte 4 (5 minutos)

Parte 0: Introducción

27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 0. Introducción.

Parte 1. Qué es el cambio climático.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático.

Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 0: Introducción

¿Qué es la atmósfera?

La atmósfera es la **capa de gases** que envuelve la Tierra.

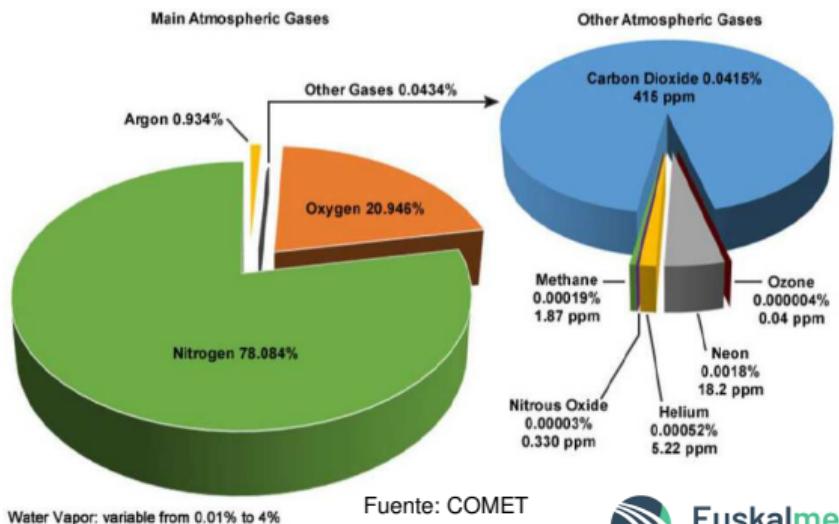
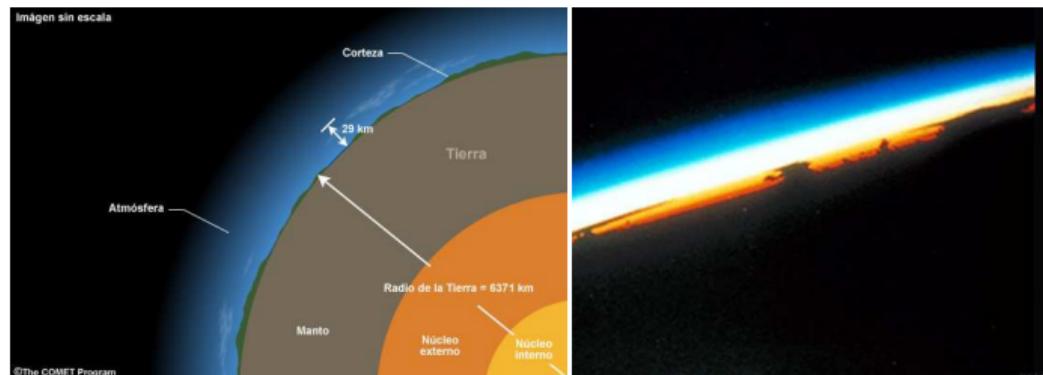
Comparada con el diámetro de la Tierra de 12 753 km, la atmósfera es **muy delgada**. Sin embargo, esta fina capa nos provee el aire que respiramos, nos protege de los rayos dañinos del Sol, y almacena la energía térmica que hace habitable el planeta.

¿Cuál es su composición química?

El nitrógeno constituye el 78 % de la atmósfera terrestre y el oxígeno representa el 21 %. El 1 % restante comprende argón (Ar), neón (Ne), helio (He), hidrógeno (H), xenón (Xe), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O).

El CO₂ representa solamente una pequeña fracción del porcentaje de los gases de la atmósfera terrestre, pero tiene importantes propiedades de efecto invernadero que le permiten almacenar y liberar el calor de manera eficiente.

El H₂O en fase gaseosa (vapor de agua), es un gas importante de efecto invernadero. La concentración de vapor de agua típica varía entre menos del 1 % y cerca del 4 %. Casi la mitad del vapor de agua se encuentra aproximadamente en los 5 km más bajos de la atmósfera. La cantidad es mayor en los trópicos y menor cerca de los polos, y mayor en el hemisferio sur que en el hemisferio norte. El vapor de agua contribuye a la formación de las nubes y a la precipitación, que a su vez determina las zonas climáticas de la Tierra.



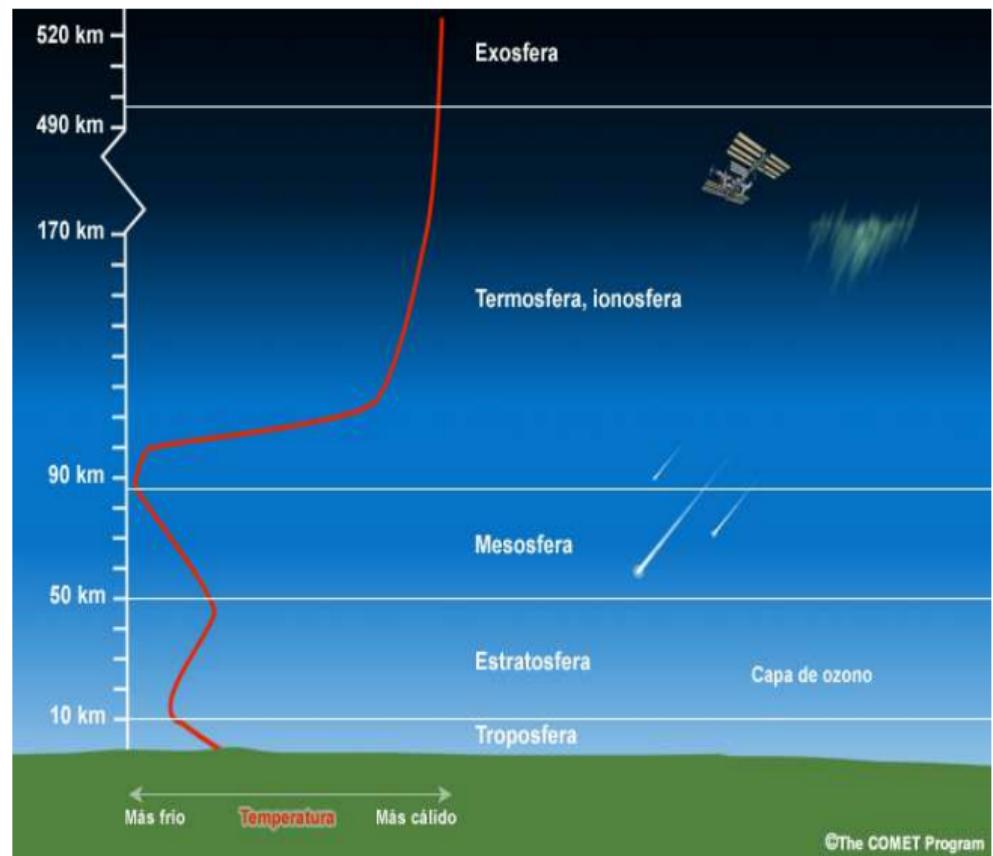
Parte 0: Introducción

¿Cuál es su estructura vertical?

La atmósfera se describe en términos de capas que se definen en base a los cambios en la temperatura del aire que se observan con la altitud entre una capa y otra.

La temperatura disminuye con la altitud en la **troposfera**, la cual contiene entre el 75 y el 80 % de la masa total de la atmósfera. La temperatura aumenta con la altitud en la **estratosfera**, que es donde reside la capa de ozono. Por encima de la estratosfera se encuentra la **mesosfera**, donde la temperatura disminuye con la altitud. La mayoría de los meteoritos se queman en esta capa, ya que contiene suficientes moléculas para crear fricción.

Por encima de la mesosfera, la temperatura comienza a aumentar otra vez con la altitud, en la **termosfera**. Sin embargo, las moléculas de aire son tan pocas que, a pesar de las altas temperaturas, el aire transfiere muy poco calor. La termosfera suele considerarse como el «límite del espacio exterior» y tanto el transbordador espacial como la Estación Espacial Internacional orbitan la Tierra a estas altitudes. Los gases ionizados forman una capa interna a la termosfera llamada **ionosfera**, que es donde ocurren las auroras boreales y australes. Más allá de la termosfera, en la **exosfera**, hay incluso menos moléculas de aire. Esta capa marca la transición al espacio interplanetario.



Fuente: COMET

Parte 0: Introducción

¿Qué es la radiación electromagnética?

La **radiación electromagnética** es un tipo de energía que puede viajar en el vacío a modo de onda electro-magnética. El calor de un fuego que arde, la luz del sol, los rayos X que utiliza el doctor, así como la energía que utiliza un microondas para cocinar comida, son diferentes formas de la radiación electromagnética.

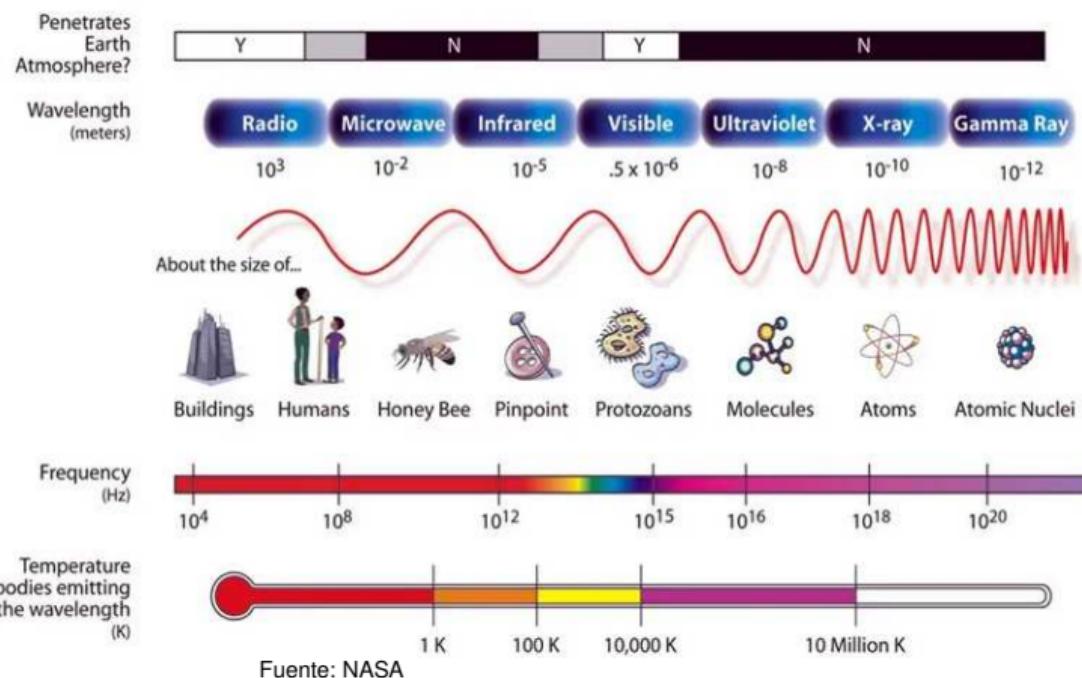
La radiación electromagnética se caracteriza por su longitud de onda o frecuencia de oscilación e interacciona con la materia de diferentes modos en función de la relación de tamaños.

¿Cómo interacciona la radiación con la materia?

Los procesos de interacción de las ondas electromagnéticas y la materia (**dispersión, reflexión, absorción**) dependen de la longitud de onda de la energía transmitida y del tamaño y naturaleza de la sustancia que interacciona con la radiación.

La superficie de la Tierra, suelos, océanos y atmósfera, absorben parte de la energía solar (onda corta) y la vuelven a irradiar en forma de calor (onda larga) en todas direcciones. Así mismo reflejan parte de la radiación incidente en mayor o menor medida de acuerdo a su albedo.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Parte 0: Introducción

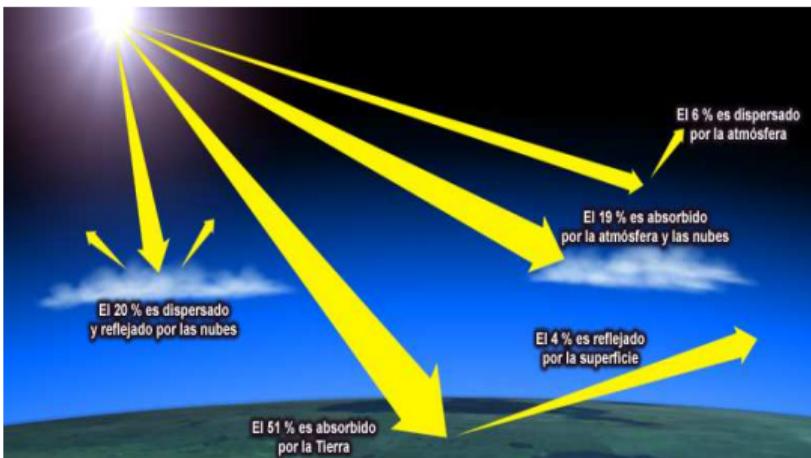
¿Qué es la radiación térmica?

Se denomina **radiación térmica** o **radiación calorífica** a la radiación emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Esta radiación se emite en forma de radiación electromagnética que se genera por el movimiento térmico de las partículas cargadas que hay en la materia.

El **sol** de acuerdo a su temperatura de miles de grados ($^{\circ}\text{C}$), emite en visible y ultravioleta “onda corta”. La **tierra** emite en “onda larga” (infrarrojo) debido a su temperatura de decenas de grados (leyes de Planck y de Wien).

¿Cómo se distribuye la energía que proviene del sol?

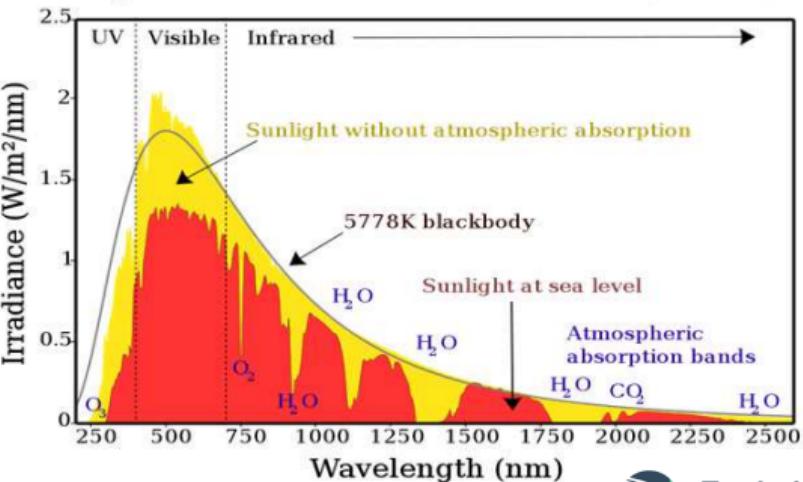
El Sol es la principal fuente de energía (99.9%) para todos los procesos que ocurren en el sistema tierra - atmósfera. La energía solar alcanza la atmósfera terrestre en forma de radiación de onda corta.



¿Qué efectos provoca la atmósfera sobre la radiación solar incidente?

La radiación solar al pasar por la atmósfera sufre diferentes procesos de atenuación como la **dispersión** (debida a los aerosoles), la **reflexión** (por las nubes) y la **absorción** (por las moléculas de gases y por partículas en suspensión), por lo tanto, la radiación solar que llega a la superficie terrestre (océano o continente) es menor a la del tope de la atmósfera.

Spectrum of Solar Radiation (Earth)

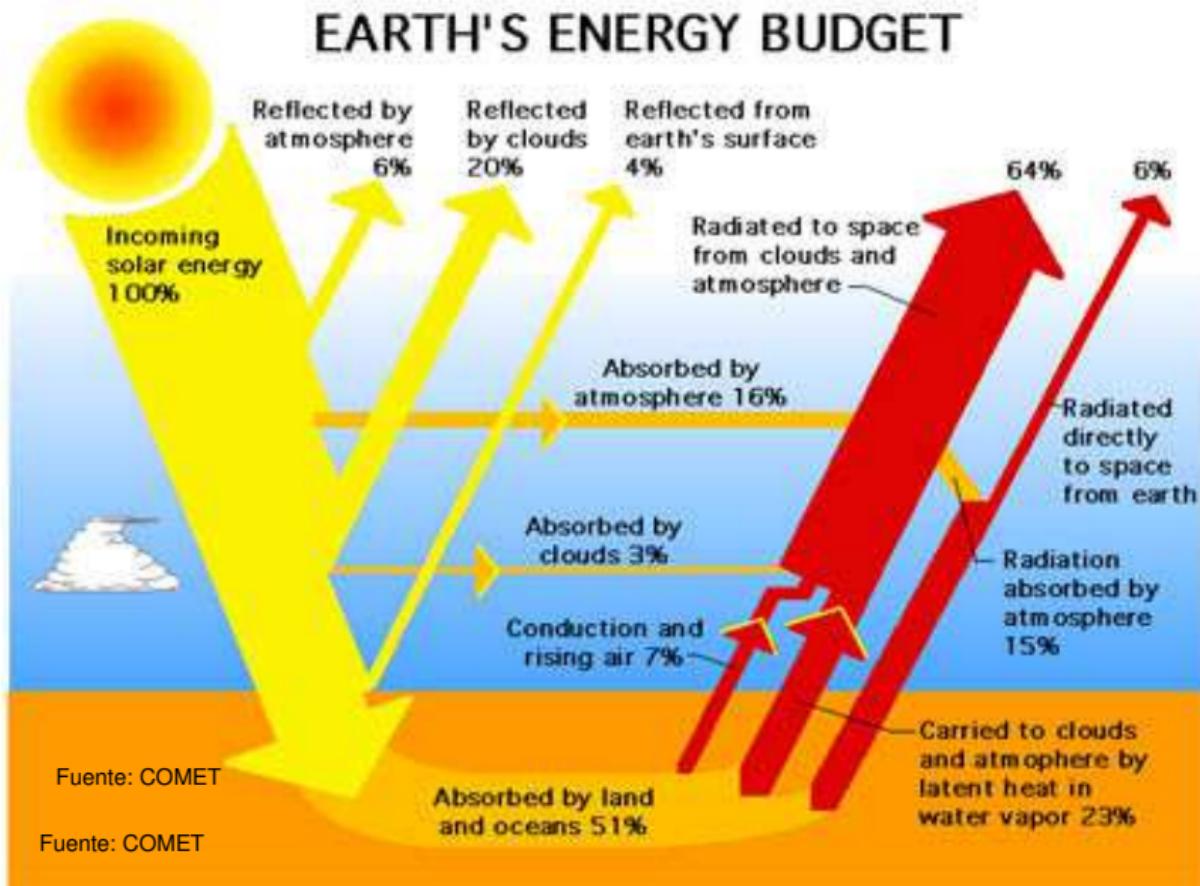


Parte 0: Introducción

¿Qué es el balance energético terrestre?

El balance energético de la Tierra es el proceso mediante el cual se equilibra la energía entrante al planeta con la saliente. Este balance se produce tras complejas interacciones que se producen entre la radiación incidente solar y la emitida por diferentes componentes del sistema, donde la atmósfera juega un papel esencial.

Conceptualmente un sistema que permanece en **balance / equilibrio energético** (energía que entra igual a la que sale) no sufre cambios de temperatura. Un sistema en el que entra más energía de la que sale se calienta aumentando su temperatura y viceversa



Parte 0: Introducción

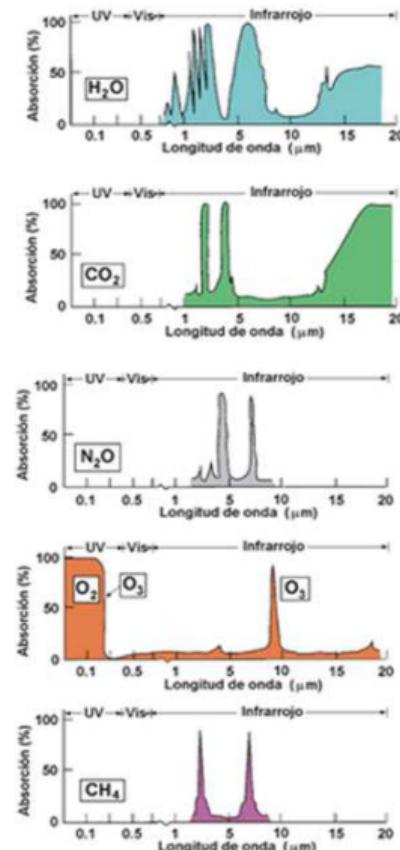
¿De qué depende la capacidad de absorción de radiación en la atmósfera?

De las proporciones de su composición química.

La atmósfera es un fluido constituido por diferentes tipos de gases que absorbiendo la energía selectivamente para diferentes longitudes de onda.

La atmósfera principalmente tiene bajo poder de absorción o es transparente en la parte visible del espectro, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del Sol y el principal responsable de este fenómeno es el **ozono**.

Así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables en este caso son el **vapor de agua, el dióxido de carbono** y otros gases como el **metano** y el **óxido nitroso**.



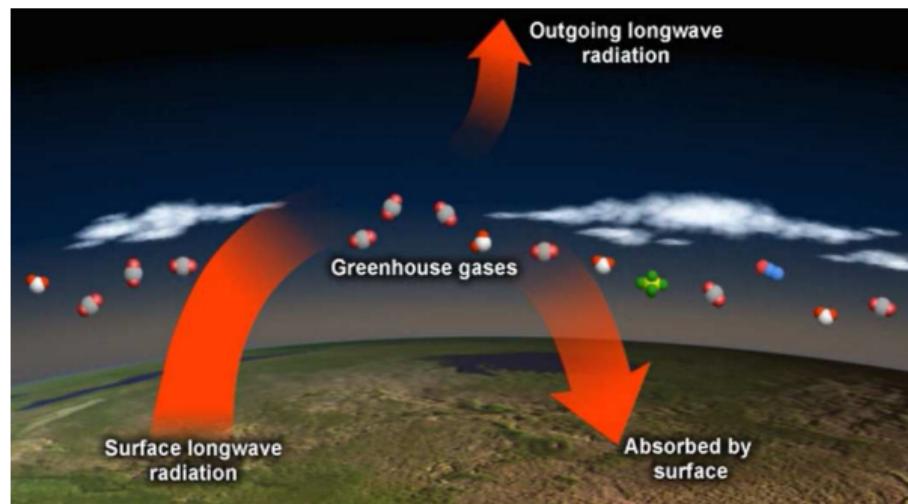
¿Qué es el efecto invernadero?

La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra por parte de los gases que a componen, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio, en niveles muy altos y otra parte es irradiada nuevamente a la Tierra.

El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene mas energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera.

Este proceso natural, conocido como el **efecto invernadero** es el responsable de que las condiciones térmicas en superficie sean en promedio 15°C.

Sin el efecto invernadero, la temperatura media del planeta sería de 18°C bajo cero.



Parte 0: Introducción

¿Cómo se calienta?

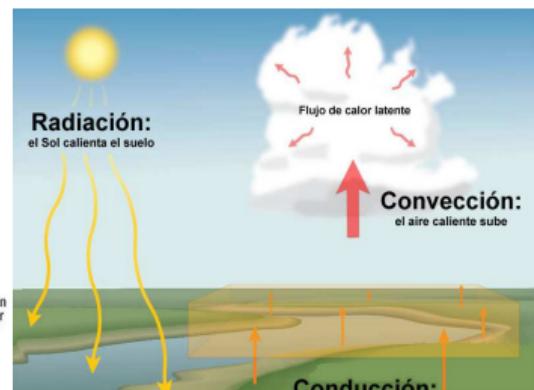
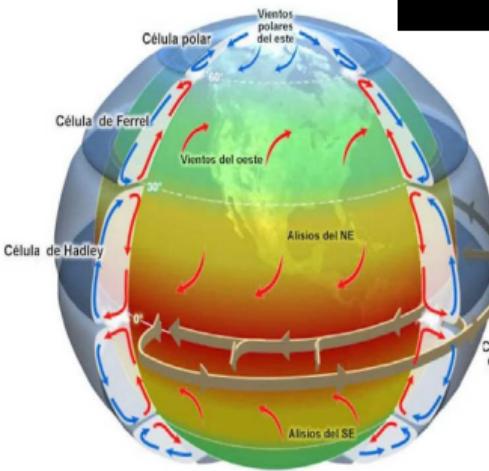
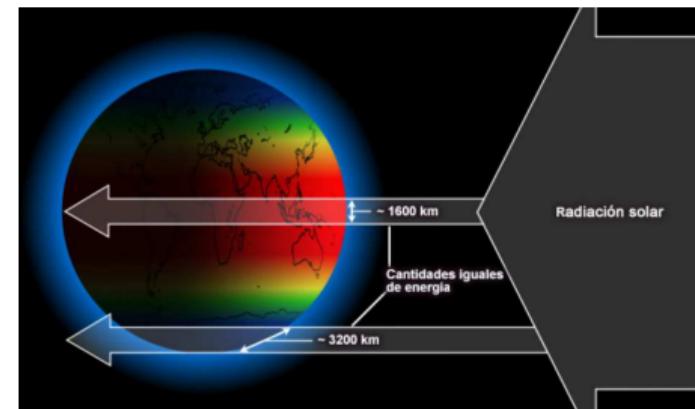
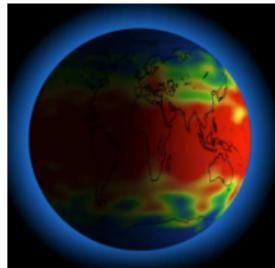
La energía solar alcanza la tierra en forma de radiación de onda corta. Los trópicos reciben más **radiación solar por unidad de superficie** por lo que el calentamiento no se distribuye uniformemente en todo el planeta. Esta diferencia produce temperaturas más cálidas en los trópicos y temperaturas más frías en los polos.

¿Cómo se transfiere el calor?

Por **radiación** (emitida por ciertos cuerpos y absorbidas por otros), **conducción** (mediante contacto de cuerpos sólidos de diferente temperatura) y **convección** (mediante transporte de materia, **latente** si hay cambio de fase y **sensible** si no hay cambio de fase).

¿Qué mecanismos se establecen para equilibrar las diferencias térmicas?

La circulación general atmosférica y oceánica. Los **sistemas atmosféricos** y las **corrientes oceánicas** contribuyen a transportar el calor desde las regiones tropicales hasta las latitudes más altas, donde el aire más cálido se mezcla con el aire más frío.



Fuente: COMET

Parte 1: Qué es el Cambio Climático

27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 0. Introducción.

Parte 1. Qué es el cambio climático. Qué es clima y qué es un cambio. Cómo se define y caracteriza el clima y cuales son los factores que modulan su cambio a lo largo de la historia del planeta.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático.

Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 1: Qué es el Cambio Climático

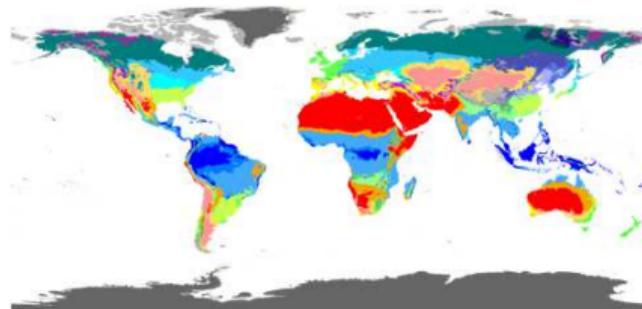
¿Qué es el clima?

- **Perspectiva clásica** (geográfica y meteorológica):

Es el resultado **promedio del tiempo** (en sentido meteorológico) registrado durante un periodo suficientemente largo de tiempo (en sentido temporal).

Se caracteriza por el valor estadístico de los elementos climáticos (temperatura, precipitación, viento, humedad, presión,...).

Está modulado por los denominados **factores climáticos** que son la **latitud** (determina la inclinación de la incidencia de los rayos solares e influye en la temperatura), la **altitud** (influye en la temperatura y la presión que disminuyen con la altura), la **distancia al mar** o continentalidad (modula las precipitaciones y el rango de temperaturas), el **relieve** (modula el viento y las precipitaciones) y otros (efecto de corrientes marinas, vientos predominantes, ...).



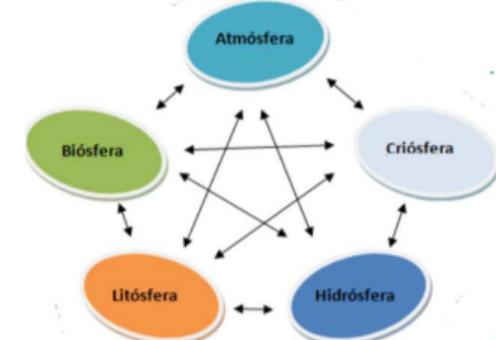
Fuente: Wikipedia

- **Perspectiva actual** (más compleja e interdisciplinar):

El sistema climático es un sistema altamente complejo integrado por la **atmósfera (aire)**, **hidrosfera (agua)**, **criosfera (hielo)**, **litosfera (capa rocosa)** y la **biosfera (seres vivos)**, así como por las interacciones entre estos componentes.

El clima es el estado que define el **comportamiento medio y la variabilidad** de los diversos componentes del sistema climático.

Este comportamiento medio y variabilidad se puede estudiar a partir de diferentes variables climáticas esenciales (como veremos a lo largo de la presentación) que lo caracterizan en un determinado periodo temporal y extensión espacial.



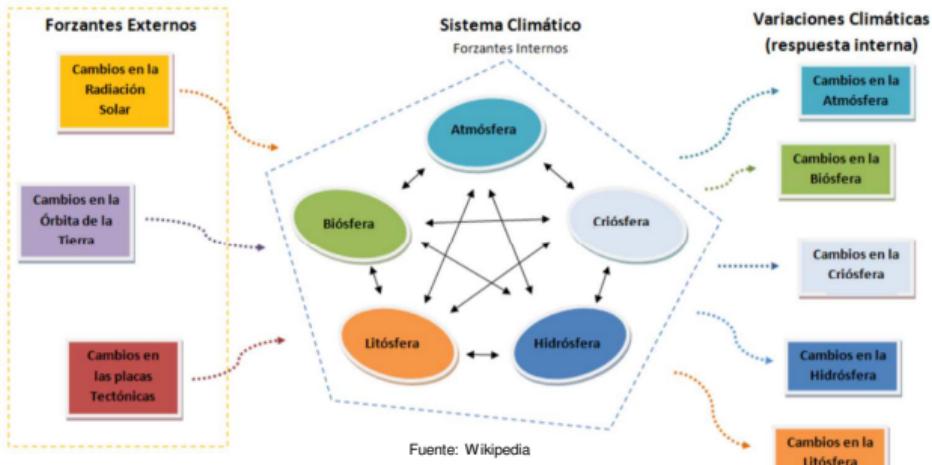
Fuente: Wikipedia

Parte 1: Qué es el Cambio Climático

Cambio Climático = cambio del clima

¿Qué es un cambio?

- Un cambio es un proceso mediante el cual algo se transforma, ya sea parcial o completamente, en comparación con su condición anterior
- El clima, a cierta escala temporal ha estado y está en continuo proceso de cambio a lo largo de la historia del planeta por el **efecto del forzamiento de diferentes factores** (internos/externos, regulares/irregulares, naturales/humanos, globales/regionales/locale...).
- Así pues la clave para entender nuestro clima actual, los climas pasados y los climas futuros reside en entender los intrincados procesos de **intercambios de energía** que se producen en el sistema climático. Para lo cual es útil emplear el concepto de **factores de forzamiento**. Si un factor de forzamiento varía, el sistema climático reaccionará intentando buscar un nuevo equilibrio lo que supondrá un reajuste de las diferentes variables climáticas a nivel global y/o regional y/o local.
- Un cambio en el clima a escala global necesariamente implica un **cambio en el balance energético del sistema**, la tierra se calentará en conjunto si acumula más energía que la que cede al espacio y se enfriará en conjunto si sucede lo contrario.



¿Cuáles son los principales factores de forzamiento climático?

Factores internos

- Deriva de los continentes (a muy largo plazo).
- Cambio en la circulación oceánica o de modos de variabilidad interna (ENSO).
- Cambios en el albedo.
- Modificación de composición atmosférica.

Factores externos

- Variación de irradiancia solar
- Astronómicos a corto plazo
- Astronómicos a largo plazo.

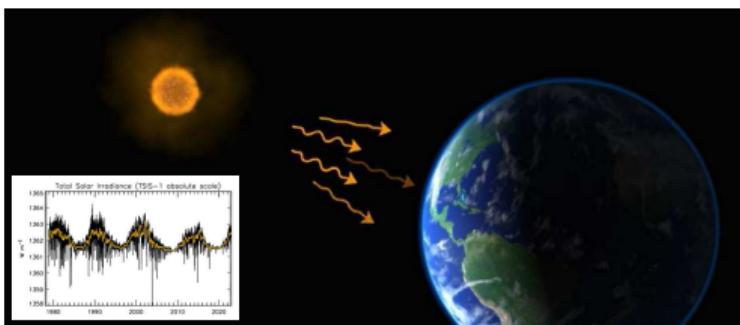
Parte 1: Qué es el Cambio Climático

Factores astronómicos a corto plazo

El ciclo climático-meteorológico natural más regular es el **cambio de día/noche** y el **cambio de estaciones** que se produce como consecuencia de la diferente inclinación de los rayos solares que inciden sobre la tierra.

En el primer día por efecto de la rotación diaria.

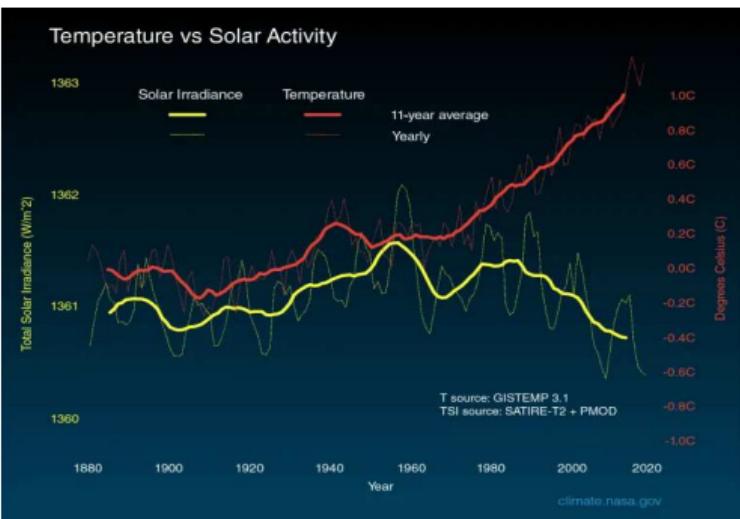
En el segundo como consecuencia de la inclinación de su eje de rotación respecto al plano de traslación alrededor del sol.



Factores relativos a la variación de irradiancia solar

Las variaciones en la irradiancia solar son generalmente cílicas con tiempos comprendidos entre los 27 días del periodo de la rotación solar, pasando por los 11 y los 22 años de los períodos de actividad solar, hasta los ciclos muy largos de cientos a miles de años de duración.

- El ciclo de 27 días supone una variación de irradiancia muy pequeña y no hay evidencia de respuestas atmosféricas a los cambios que tienen lugar a estas escalas temporales.
- El resto de ciclos pudiera tener influencia en el clima, destacando el siglo XVII cuando el sol permaneció varias décadas sin manchas solares (síntoma de anomalía negativa de irradiación) y se produjo el conocido mínimo de Maunder con episodios de frío extremo en toda Europa.
- El efecto del 0.1% de incremento de irradiancia (respecto a la actualidad) en el periodo 1750-1950 se estima contribuyó a un calentamiento de 0.2°C durante la primera mitad de siglo XX. Desde 1979 la constante solar no ha aumentado.



Fuente: MetEd UCAR - COMET

Parte 1: Qué es el Cambio Climático

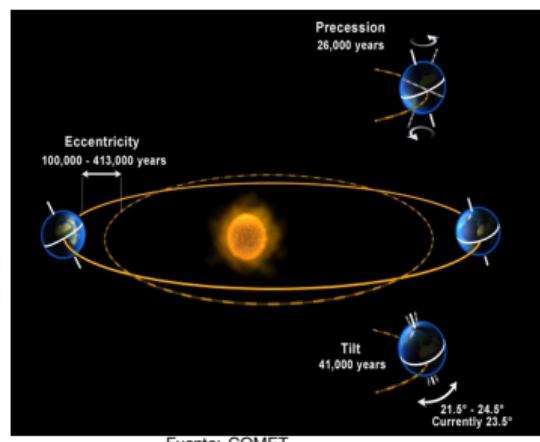
Factores astronómicos a muy largo plazo

Existen también ciclos de variabilidad climática más largos, relacionados con los cambios en la excentricidad orbital de la Tierra y con su inclinación respecto del Sol. Estos ciclos, conocidos como los **ciclos de Milankovitch**, conducen a fuertes cambios en la cantidad y distribución de la energía solar en la superficie terrestre. Los ciclos de Milankovitch se desarrollan sobre escalas mucho mayores que la vida del ser humano, entre decenas y centenares de miles de años. Las variaciones orbitales tienen una gran influencia sobre los **períodos glaciares e interglaciares** producidos durante esta última época – Holoceno (última y actual época geológica del período Cuaternario, iniciada hace unos 10.000 años, aproximadamente).

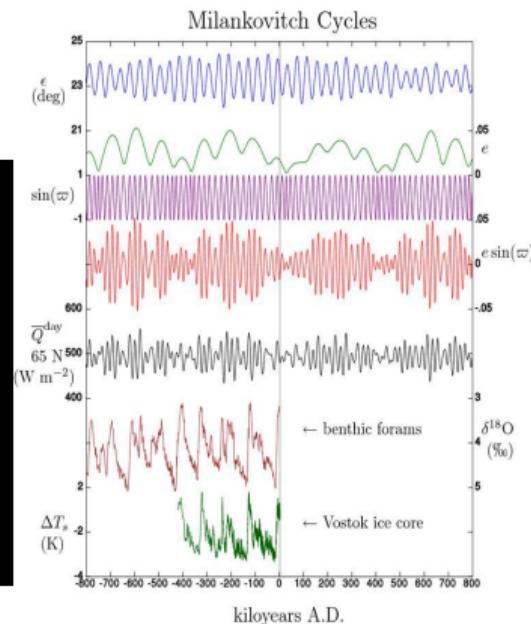


Fundamentalmente existen tres ciclos orbitales de Milankovitch que incluyen:

- La forma de la órbita de la Tierra:
Excentricidad con ciclos de 100.000 años.
- La dirección del eje de rotación de la Tierra:
Precesión axial con ciclos de 41.000 años.
- El ángulo de inclinación del eje de la Tierra:
Oblicuidad con ciclos de 26.000 años.



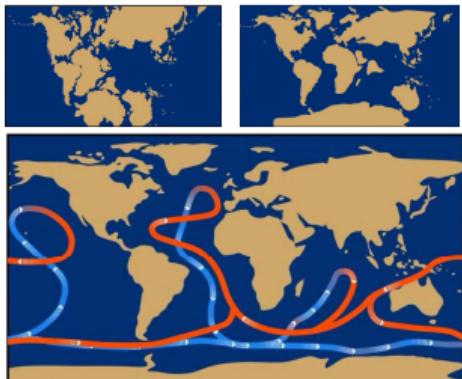
Provocan variaciones de hasta un 25% en la cantidad de insolación entrante en las latitudes medias



Parte 1: Qué es el Cambio Climático

El factor deriva de continentes (muy largo plazo)

Deriva continental y clima son procesos relacionados ya que la posición de los continentes es un factor determinante en la conformación del clima mundial. La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4600 millones de años. Hace 225 millones de años existía un único continente llamado Pangea y un único oceán llamado Panthalassa. La tectónica de placas ha separado los continentes y los ha puesto en la situación actual a lo largo de millones de años la posición relativa de los continentes y las corrientes atmosféricas y oceánicas que transportan calor han variado.

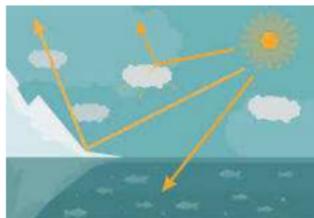


Fuente: COMET

El factor del albedo

El albedo es la propiedad que tiene cualquier cuerpo de reflejar una radiación incidente. Cuanto más claro es la superficie de un cuerpo, más capacidad de reflejar la radiación incidente y por tanto, mayor es su albedo.

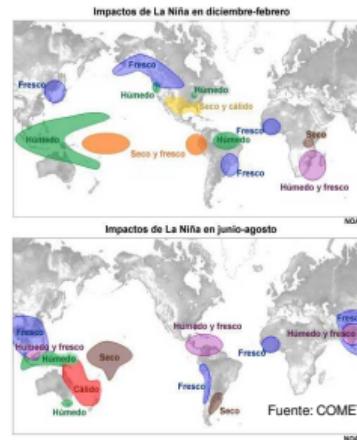
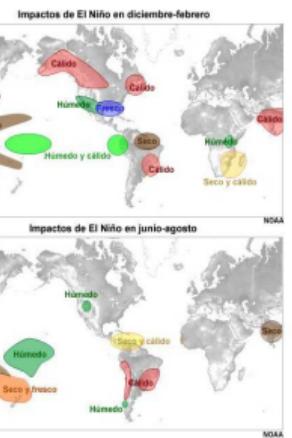
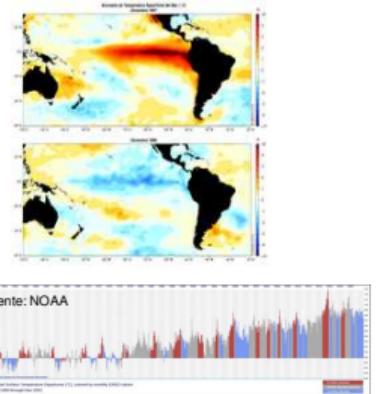
Así pues la modificación de la cubierta de la tierra (más o menos bosques, más o menos agua, más o menos hielo y nieve) es un factor esencial en el balance radiativo del planeta contribuyendo a su calentamiento y/o enfriamiento.



El factor ENSO (corto plazo)

Algunos ciclos climáticos recurrentes, mas o menos regulares, pueden influir fuertemente en cómo se manifiestan las variaciones climáticas estacionales.

Tal es el caso del ciclo climático semirregular muy conocido que está relacionado con el fenómeno de **El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)**. El ciclo de ENSO, que se repite aproximadamente cada 3 o 4 años, puede producir impactos significativos en las precipitaciones y las temperaturas de muchas regiones del mundo. De forma muy simplificada durante los años de niño el planeta se calienta y durante los años de niña se enfriá.

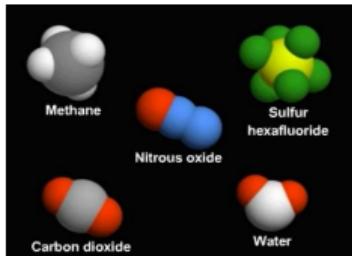


Parte 1: Qué es el Cambio Climático

Factores relativos a la composición atmosférica.

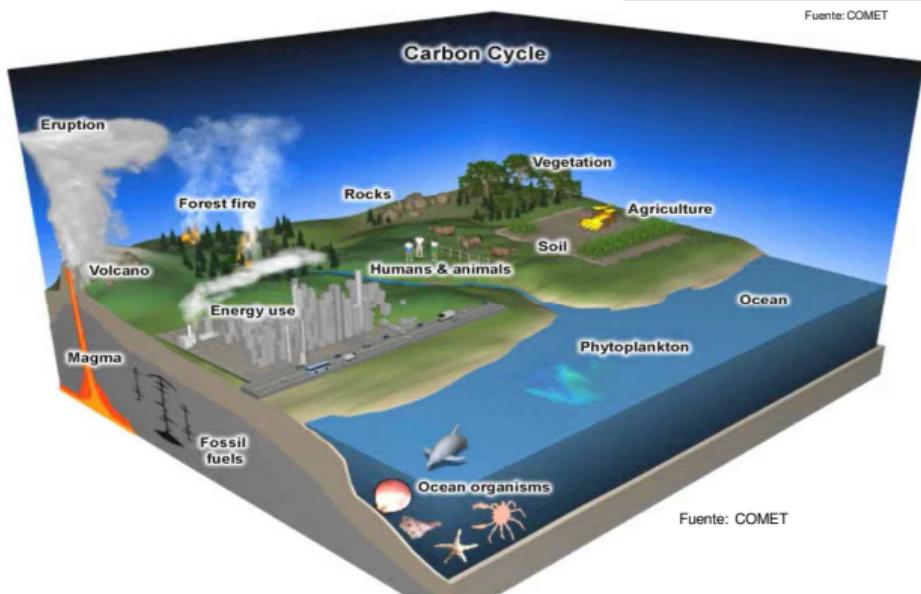
Relacionados con la modificación de su composición química y sus efectos sobre la absorción de radiación solar y terrestre (efecto invernadero).

Son fuertemente dependiente de las capacidades reactivas de cada elemento, de su tiempo de permanencia así como de diferentes efectos complejos durante sus ciclos de vida (definición de fuentes y sumideros de cada sustancia).

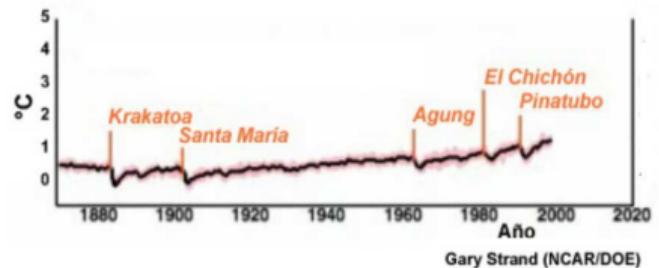


Las erupciones volcánicas importantes son eventos climáticos naturales irregulares que inyectan en la atmósfera compuestos que modifican el balance energético, las partículas y aerosoles aportando al enfriamiento y el CO₂ y otros compuestos gaseosos aportando al calentamiento. En balance neto las erupciones volcánicas provocan un enfriamiento del planeta.

En el gráfico vemos una serie temporal de las temperaturas mundiales nos permite ver que las propiedades de los aerosoles atmosféricos producidos por las erupciones volcánicas, que reducen la radiación solar incidente, disminuyen las temperaturas medias globales. La erupción de monte Pinatubo en 1991, disminuyó la temperatura media mundial durante uno a dos años.



Cambio observado en la temperatura global respecto del período de referencia de 1870 a 1899; se indican cinco erupciones volcánicas importantes.



Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 0. Introducción.

Parte 1. Qué es el cambio climático.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático.

Mostraré las características del clima actual y las evidencias y señales de cambio a nivel global, regional y local, aportando datos para la CAE.

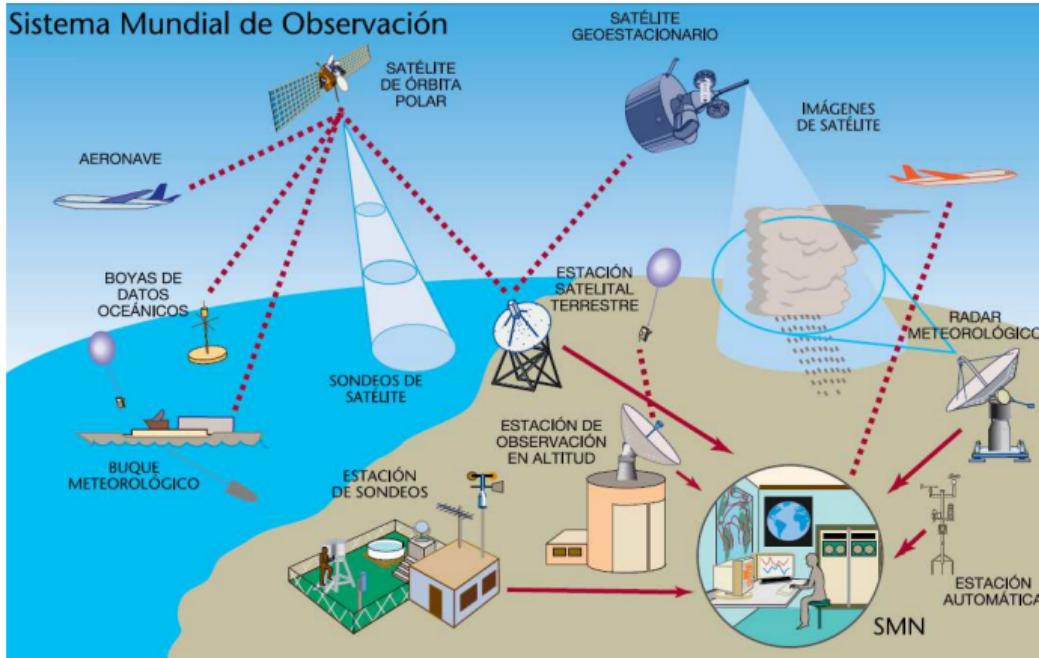
Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Cómo se monitoriza el clima global?

Sistema Mundial de Observación



El Sistema Global de Observación del Clima (GCOS) evalúa regularmente el estado del clima global.

Actualmente los sistemas de monitorización registran diariamente parámetros clave de la atmósfera, tierra, océanos, cíosfera y biosfera. Dicho sistema está conformado por:

- ✓ Decenas de miles de estaciones meteorológicas
- ✓ Miles de radiosondeos
- ✓ Miles de buques
- ✓ Cientos de boyas fondeadas
- ✓ Miles de boyas a la deriva
- ✓ Centenares de radares meteorológicos
- ✓ Miles de aviones comerciales
- ✓ Decenas de satélites polares (500km).
- ✓ Decenas de satélites geoestacionarias (35000km).



**GLOBAL CLIMATE
OBSERVING SYSTEM**
KEEPING WATCH OVER OUR CLIMATE



Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENTZIA

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Qué variables se registran?

- Una **variable climática esencial (ECV)** es una variable física, química o biológica o un grupo de variables vinculadas que contribuye de manera crítica a la **caracterización del clima** de la Tierra.
- GCOS actualmente emplea 54 ECV.

Fuente : GCOS



Atmosphere

Surface

- Precipitation
- Pressure
- Radiation budget
- Temperature
- Water vapour
- Wind speed and direction

Upper-air

- Earth radiation budget
- Lightning
- Temperature
- Water vapor
- Wind speed and direction

Atmospheric Composition

- Aerosols
- Carbon dioxide, methane and other greenhouse gases
- Clouds
- Ozone
- Precursors for aerosols and ozone

Fuente : GCOS

Land

Hydrosphere

- Groundwater
- Lakes
- River discharge

Cryosphere

- Glaciers
- Ice sheets and ice shelves
- Permafrost
- Snow

Biosphere

- Above-ground biomass
- Albedo
- Evaporation from land
- Fire
- Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR)
- Land cover
- Land surface temperature
- Leaf area index
- Soil carbon
- Soil moisture

Anthroposphere

- Anthropogenic Greenhouse gas fluxes
- Anthropogenic water use

Ocean

Physical

- Ocean surface heat flux
- Sea ice
- Sea level
- Sea state
- Sea surface currents
- Sea surface salinity
- Sea surface stress
- Sea surface temperature
- Subsurface currents
- Subsurface salinity
- Subsurface temperature

Biogeochemical

- Inorganic carbon
- Nitrous oxide
- Nutrients
- Ocean colour
- Oxygen
- Transient tracers

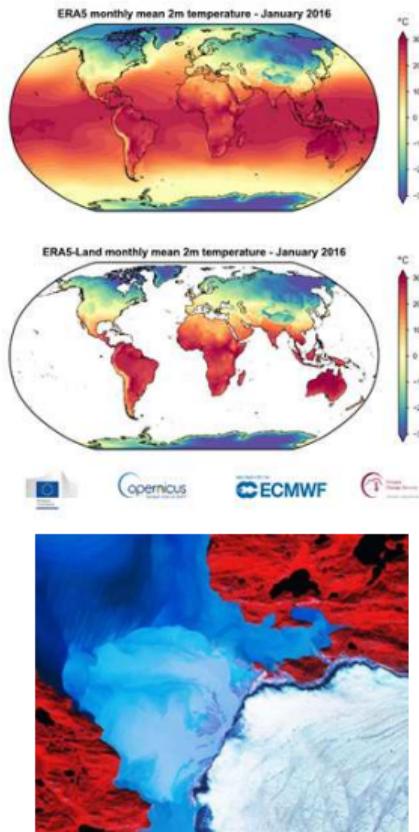
Biological/ecosystems

- Marine habitats
- Plankton

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Cómo se trabaja con los datos?

- Las series de datos disponibles son tratadas de diferentes formas dependiendo de su diferente naturaleza, con el objeto de obtener diferentes **Indicadores climáticos**
- Los indicadores climáticos son **medidas** que muestran la evolución a largo plazo de una o varias variables clave que se utilizan para evaluar las tendencias mundiales, regionales y locales del clima.
- Estos indicadores se obtienen mediante diferentes **tratamientos estadísticos** (medias, máximas,...) a diferentes agregaciones espaciales y temporales de las series de variables climáticas esenciales observadas.
- Es habitual calcular medias sobre diferentes agregaciones espaciales (globales, regionales o locales) y **representarlas gráficamente** para apreciar su evolución a lo largo de los años.
- Habitualmente se calculan **tendencias temporales** que se expresan como variaciones por década.
- Habitualmente se expresan como **anomalías** respecto a cierto periodo de referencia (habitualmente de 30 años, periodo preindustrial, etc..)



- Se emplean tanto series de datos de observación directa o series de datos de **reanálisis**.
- Un reanálisis es una técnica numérica que permite disponer de series de datos compatibles con las observaciones en **mallas regulares**, de forma que se pueden cubrir áreas en las que no existen observaciones in-situ.
- En las últimas décadas se ha llevado a cabo un **esfuerzo internacional** mayúsculo para disponer de medidas satelitales y productos de reanálisis que proporcionan series de datos homogéneas para todo el globo.

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Qué tendencias muestran las temperaturas?

- **Temperatura media global del aire**
+1,3 °C Por encima del nivel preindustrial
- **Temperatura media europea (sobre tierra)**
+2,3 °C Por encima del nivel preindustrial
- **Temperatura media del Ártico (sobre tierra)**
+3,3 °C Por encima del nivel preindustrial
(Últimos promedios quinquenales)

- ✓ La temperatura global del aire en la superficie ha aumentado cerca de 1,3 °C desde la era preindustrial.
- ✓ Los últimos promedios quinqueniales son los más altos, o casi los más altos, registrados nunca.
- ✓ El aumento de la temperatura ha sido mayor en tierra que en mar.
- ✓ El aumento de la temperatura en Europa ha sido aproximadamente 1 °C más alto que el del mundo en su conjunto.

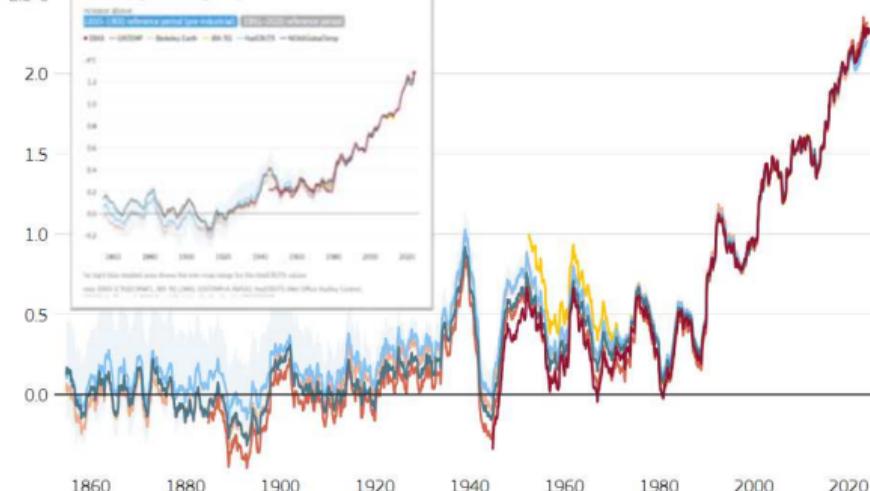
Increase in average European temperature

Increase above:

1850–1900 reference period (pre-industrial) 1991–2020 reference period

ERAS GISTEMP Berkeley Earth JRA-3Q HadCRUTS NOAAGlobalTemp

2.5°C



The light blue shaded area shows the min-max range for the HadCRUTS values.

Data: ERAS (C3S/ECMWF), JRA-3Q (JMA), GISTEMPv4 (NASA), HadCRUT5 (Met Office Hadley Centre), NOAAGlobalTempv6 (NOAA) and Berkeley Earth • Credit: C3S/ECMWF

Fuente: [Climate Indicators | Copernicus](#)

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Qué señales muestran las masas de hielo?

- Glaciares globales**

Pérdida de 8200 km³ de hielo desde 1976

- Glaciares europeos**

Pérdida de 850 km³ de hielo desde 1976

- Capa de hielo de Groenlandia**

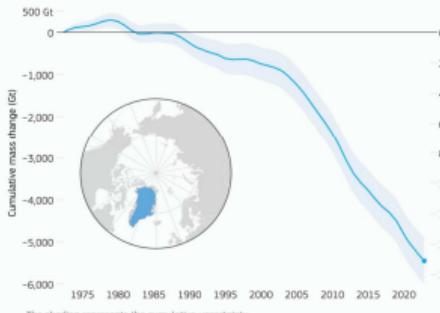
Pérdida de 5470 Gt de hielo 1972-2022

- Extensión del hielo marino del Ártico**

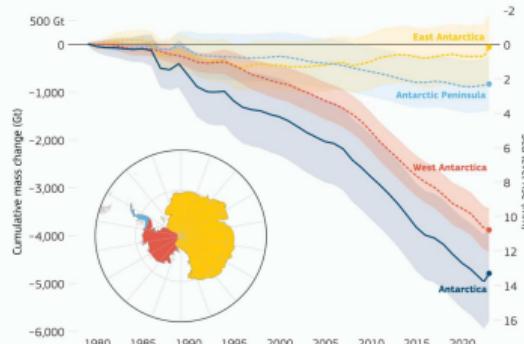
Pérdida de 2.6 Mkm² en septiembre desde la década de 1980

- ✓ Tanto a nivel mundial como en toda Europa, los glaciares han experimentado una pérdida sustancial y prolongada de masa de hielo desde mediados del siglo XIX.
- ✓ A nivel mundial, se ha observado una reducción promedio de alrededor de 14 m en el espesor del hielo desde que comenzaron los registros satelitales en 1976.

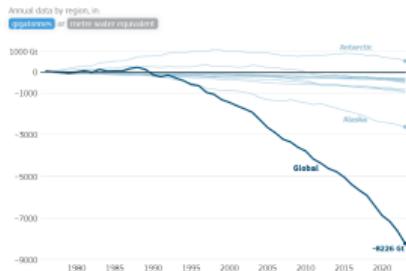
Mass balance of the Greenland Ice Sheet and its corresponding contribution to sea level rise



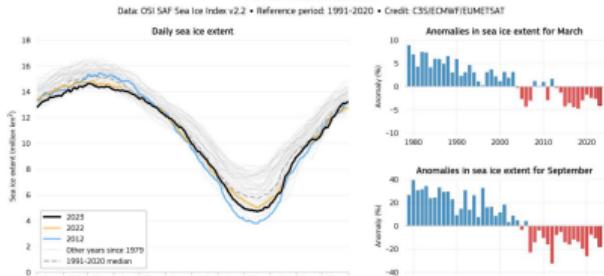
Mass balance of the Antarctic Ice Sheet and its corresponding contribution to sea level rise



Cumulative glacier mass change



Arctic sea ice extent



Fuente: [Climate Indicators | Copernicus](#)



Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENTZIA

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Qué tendencias se aprecian en los océanos?

- Temperatura global de la superficie del mar**

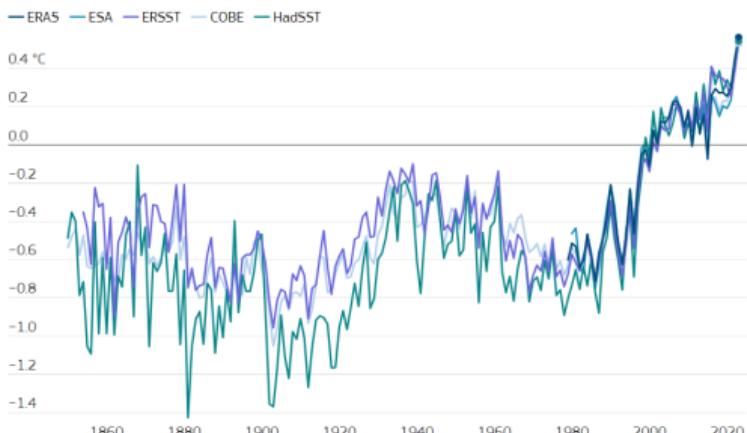
+0,6 °C Desde 1980 (60°S–60°N)

- Contenido global de calor oceánico**

+0,22 °C Desde 1993 (0–2000 m)

- ✓ La temperatura media de la superficie del mar (TSM) sobre el océano extrapolar ha aumentado unos 0,6 °C en las últimas cuatro décadas y unos 0,9 °C desde la era preindustrial.
- ✓ Los últimos diez años han estado dominados por las condiciones de La Niña, tras el fuerte fenómeno de El Niño de 2015–2016.
- ✓ En 2023 hubo una transición de condiciones de La Niña a El Niño.
- ✓ Los patrones de TSM influyen en elementos clave del sistema climático, como la circulación atmosférica, los patrones de lluvia y los ciclones tropicales. Los primeros metros del océano pueden contener tanta energía como toda la atmósfera, lo que pone de relieve la importancia de las TSM para la vigilancia del clima.
- ✓ La TSM también es importante para pronosticar en una variedad de escalas de tiempo, desde horas hasta años de anticipación

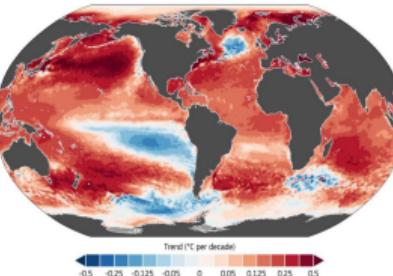
Anomalies in annual sea surface temperature for European ocean



Data source: ERA5, ESA SST CCI Analysis v3, ERSSTv5, COBE2-SST, HadSST 4.0.1.0 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF

Trend in sea surface temperature for 1993–2023

Date: ERA5 CD SST v1.0 • Reference period: 1993–2020 • Credit: C3S/ECMWF



Anomalies in annual sea surface temperature for 60°S–60°N



Data source: ERA5, ESA SST CCI Analysis v3, ERSSTv5, COBE2-SST, HadSST 4.0.1.0 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF

Fuente: [Climate Indicators | Copernicus](#)



Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENCIA

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Qué tendencias se aprecian en los océanos?

- Nivel global del mar**

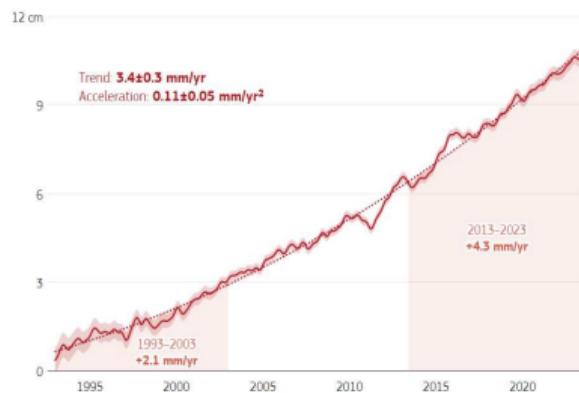
+10,3 cm desde 1993

+3,4 mm/año desde 1993

- Aceleración en la subida**

+0,11 mm/año²

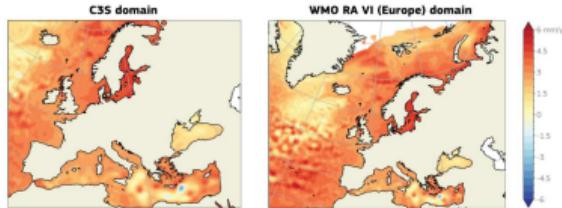
Mean sea level globally



- ✓ El nivel medio mundial del mar ha aumentado en un promedio de 3,4 mm/año desde 1993, lo que representa un aumento total de 10,3 cm en los últimos 30 años.
- ✓ El 30% del aumento medio global del nivel medio del mar se puede atribuir a la expansión térmica de los océanos y la contribución restante proviene principalmente del derretimiento de los glaciares y las capas de hielo polares.
- ✓ El aumento del nivel medio del mar a nivel mundial ha aumentado un 105%, pasando de una tendencia de 2,1 mm/año en el período 1993-2003 a una tendencia de 4,3 mm/año en el período 2013-2023.
- ✓ Las tendencias regionales del nivel del mar pueden desviarse significativamente de la tendencia mundial debido a procesos oceánicos como la redistribución del calor en el océano.
- ✓ En la mayoría de los mares europeos, el nivel del mar ha aumentado entre 2 y 4 mm/año de media en los últimos 30 años.

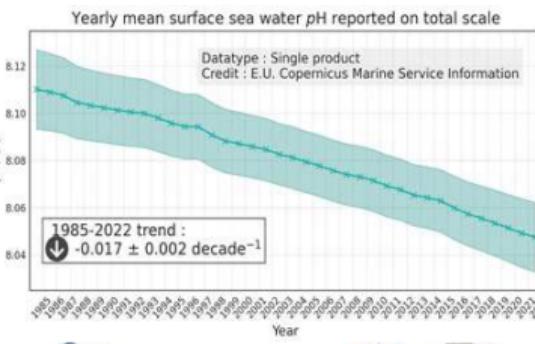
Trends in sea level

Data: CMEMS Ocean Monitoring Indicator based on the C3S sea level product - Credit: C3S/ECMWF/CMEMS



- Acidificación océanos**

-0.017 unidades por década
en el periodo 1985-2022



Fuente: [Climate Indicators | Copernicus](#)

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

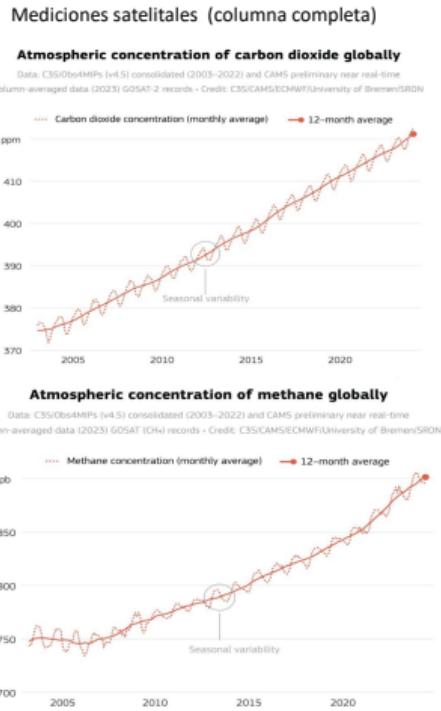
¿Qué tendencias se aprecian en la concentración de gases de efecto invernadero?

- Concentración de dióxido de carbono (CO_2)
419 ppm promedio 2023
 - Concentración de metano (CH_4)
1902 ppb Promedio 2023
 - Aumento del dióxido de carbono (CO_2)
+2,4 ppm (0,6%) al año Desde 2010
 - Aumento del metano (CH_4)
+10 ppb (0,5%) al año Desde 2010

- ✓ Desde el comienzo de la era industrial (en el siglo XVIII), las actividades humanas han aumentado el CO₂ atmosférico en un 50 %, lo que significa que la cantidad de CO₂ ahora es el 150 % de su valor en 1750. Esto es mayor que lo que sucedió naturalmente al final de la última glaciación hace 20.000 años.
 - ✓ El ciclo de auge y caída del crecimiento de las plantas proporciona al gráfico del CO₂ un patrón de dientes de sierra compuesto por subidas y bajadas de un año a otro.



Fuente: NASA



Fuente Climate Indicators | Copernicus

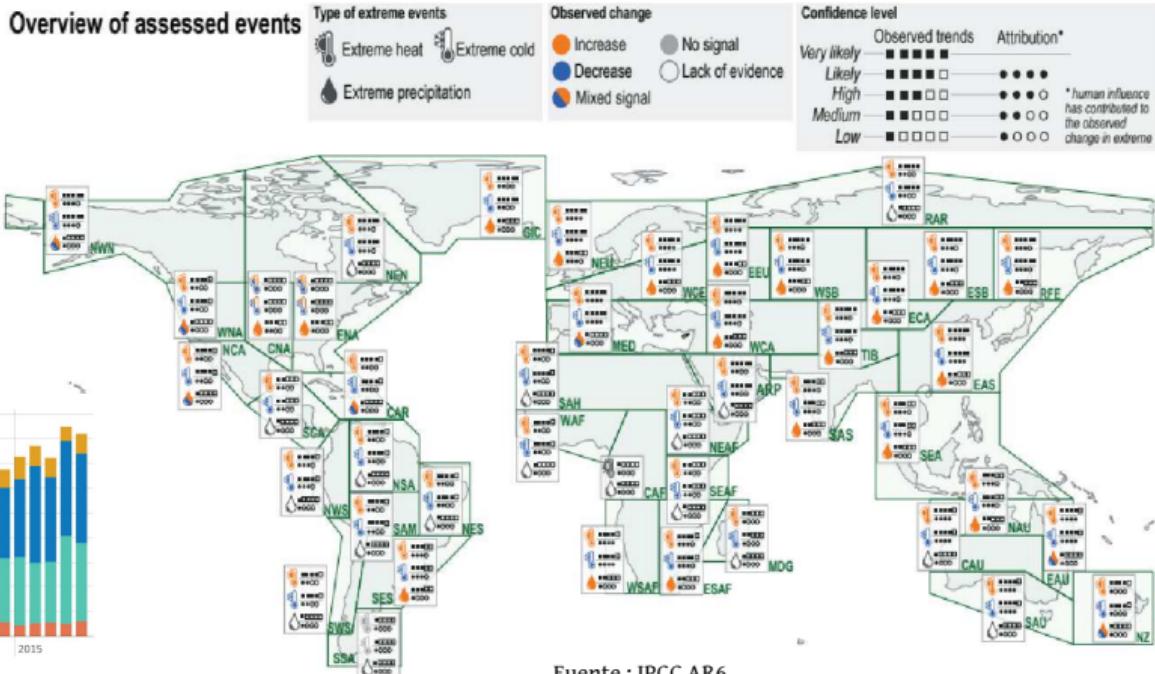
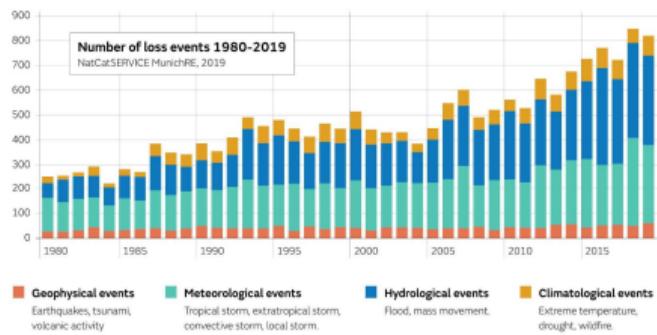
Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Ha aumentado la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos?

En general, hay una alta confianza en los cambios en los extremos debido a procesos termodinámicos a **escala global**.

- Aumento de olas de calor.
- Disminución de olas de frío.
- Aumento de precipitaciones intensas.
- Aumento de sequías.

Mientras que la confianza en aquellos relacionados con procesos dinámicos o forzamientos regionales y locales es menos clara.



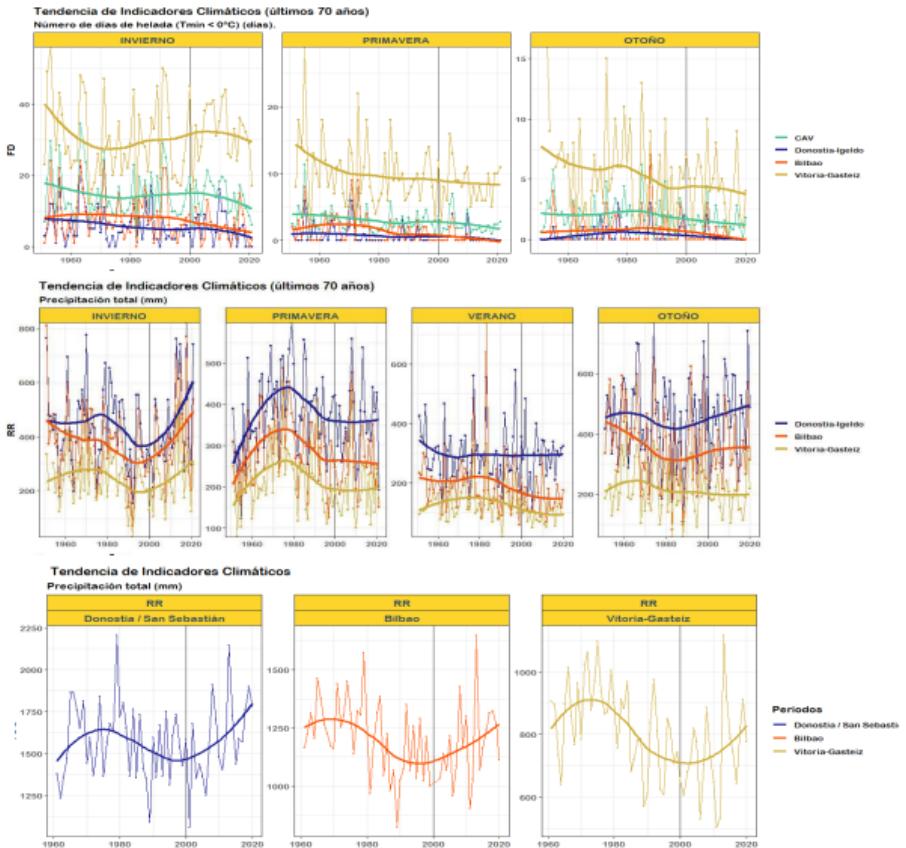
Fuente : IPCC AR6

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Hay señales de cambio en Euskadi?

Para contestar a la pregunta podemos emplear diferentes registros de observaciones de temperatura, precipitación, viento, oleaje y nivel del mar en nuestro territorio, calcular indicadores y analizar su evolución.

- ↑ Aumento de **temperaturas medias** anuales, medias de las mínimas y medias de las máximas (+TG,+TN,+TX).
- ↓ Reducción de algunos indicadores relacionados con el **frío** (-TN10p,-TG10C,-HEATDD,...)
- ↑ Aumento de indicadores relacionados con el **calor**, número de días y noches cálidas, olas de calor (+TNx,+TN20C, +TX90p , +TX30C, +TX35C, +TN90p, WSDLI,...)
- ↑ Subida del **nivel del mar** (+NM)
- ↔ Sin tendencia significativa en indicadores de **precipitación**.
- ↔ Sin tendencia significativa en indicadores de **viento**.
- ↔ Sin tendencia significativa en indicadores de **oleaje**.



Fuente: S. Gaztelumendi USEC2022 "la meteo adversa que viene"

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Cómo se puede cuantificar el cambio y las tendencias en Euskadi?

Procesando datos de estaciones automáticas y manuales así como diferentes productos de reanálisis con cobertura en la CAE.

Tendencias medias registradas

- TEMPERATURA

Aumento 0.3°C por década desde 1970.

(2022 y 2023 los más cálidos desde que hay registros)

- INSOLACION

Aumento de 40 horas de sol por década desde los 80.

- PRECIPITACIÓN

Gran variabilidad sin tendencias registradas concluyentes.

- VIENTO

Gran variabilidad sin tendencias registradas concluyentes.

- TEMPERATURA DEL MAR

Aumento de más de 0.2°C por década desde 1981

(en jul 2023 más de 2°C superior a la media de 1991-2020)

- NIVEL DEL MAR

Aumento de 2.5cm por década en el golfo de Bizkaia desde los 90.

Fuente: Euskalmet

Tendencias en extremos

- Los días cálidos y muy cálidos han aumentado unos 6 días por década desde 1970.

- Las noches cálidas han aumentado unos 6 días por década desde 1970.

- Los días de ola de calor han aumentado desde 1970 a razón de 1 día por década.

- Los días fríos o muy fríos han disminuido entorno a 8 días por década desde 1970.

- Los días de helada han disminuido unos dos días por década desde 1970.

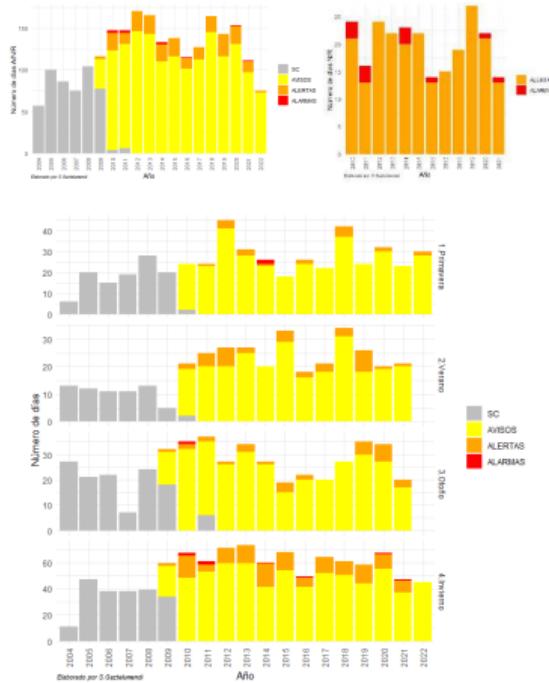
Fuente: Euskalmet

Parte 2: Cómo se manifiesta el cambio climático

¿Hay señales de incremento de eventos adversos en la CAE?

Podemos examinar la evolución de los fenómenos adversos a partir del análisis de los **episodios de meteo adversa** ocurridos durante estos últimos años

- En el caso de la CAV del total de días de alertas/alarmas considerados por la DAEM, en el **43% se incluye el riesgo marítimo costero**, en el 20% la nieve, en el 19% el viento, en el 17% las lluvias, en el 11% las temperaturas altas, en el 2% las temperaturas bajas y en el 1% los incendios forestales.
- Notar que las **heladas/temperaturas bajas** son protagonistas del 27.9% de los días de nivel amarillo, pero sólo en el 2.4% de los de nivel naranja/rojo.

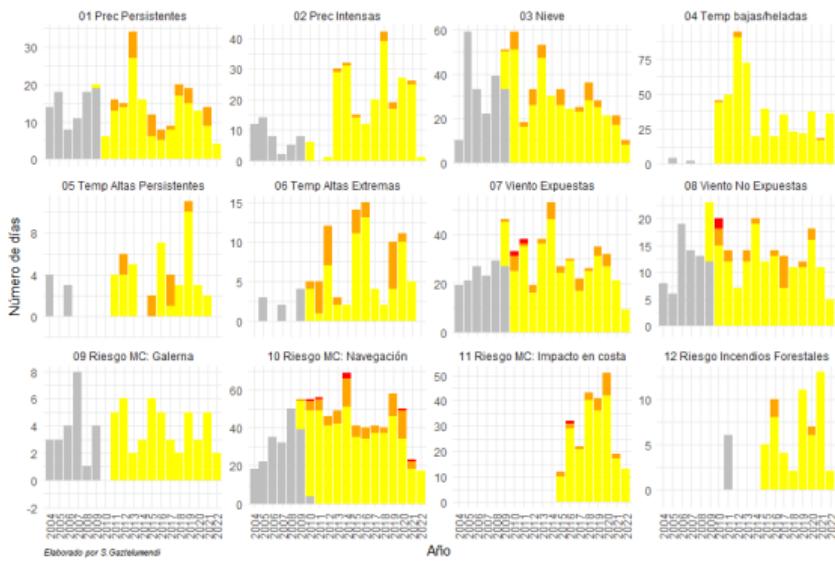


➤ Sin tendencias significativas N/R por estaciones/meses/causas.

➤ Si consideramos A/N/R :

- descenso riesgo de nieve ↓?
- descenso riesgo navegación ↓?
- aumento de calor ↑?

➤ En cualquier caso las series de datos de A/N/R son cortas.



Fuente: S. Gaztelumendi USEC2022 "la meteo adversa que viene"



Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENTZIA

Parte 3: Consecuencias del Cambio Climático

27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 0. Introducción.

Parte 1. Qué es el cambio climático.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático.

Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático.

En esta parte nos centraremos en las consecuencias del cambio climático en diferentes ámbitos, con un pequeño barniz sobre impactos en la salud y las condiciones laborales, que se ampliará en el resto de ponencias de este curso.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 3: Consecuencias del cambio climático

¿Cuál es el comportamiento regional de los diferentes precursores de impacto?

Los impulsores o precursores del impacto climático (**Climatic Impact Drivers CID**) son condiciones físicas del sistema climático (por ejemplo, promedios, eventos, extremos) que afectan a un elemento de la sociedad o los ecosistemas.

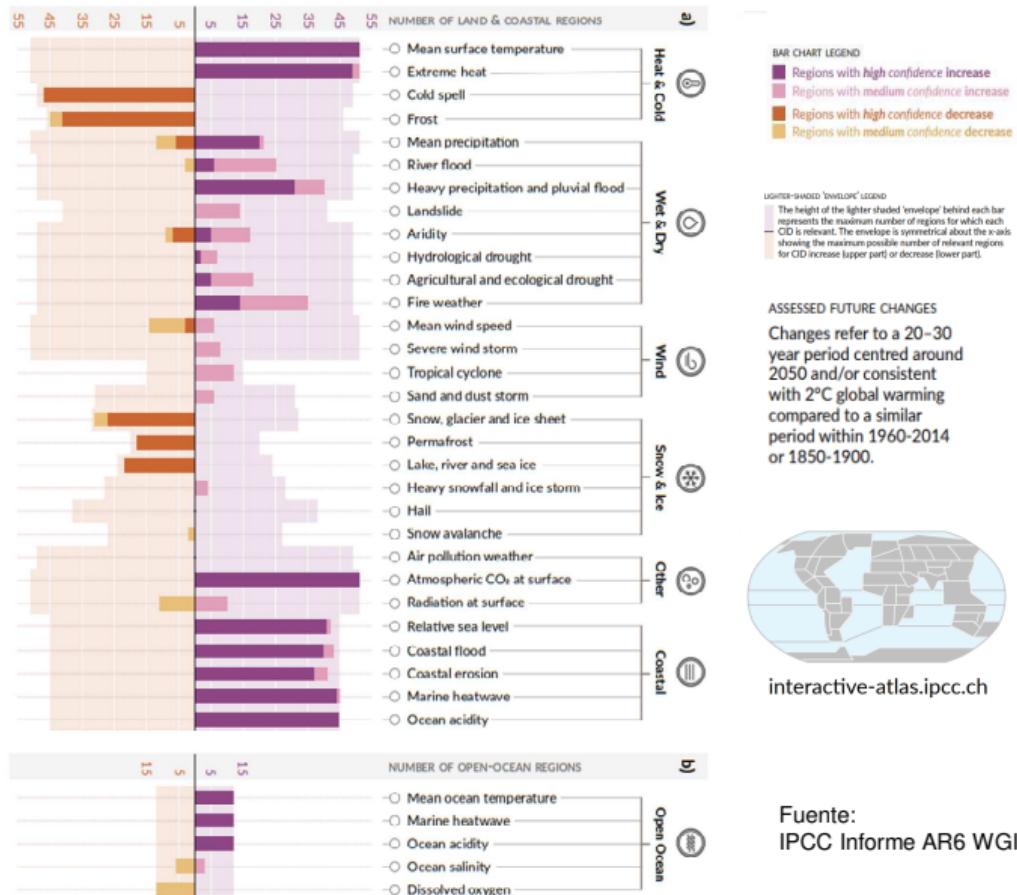
Dependiendo de la tolerancia del sistema, los CID y sus cambios pueden ser perjudiciales, beneficiosos, neutrales o una mezcla de cada uno a lo largo de los elementos y regiones del sistema interactuante.

Los CID se agrupan en siete tipos, que se resumen bajo los íconos en la figura.

Se proyecta que todas las regiones experimentarán cambios en al menos 5 CID.

Casi todas (96%) se proyecta que experimentarán cambios en al menos 10 CID y la mitad en al menos 15 CID.

Para muchos cambios de CID, hay una amplia variación geográfica, por lo que se proyecta que cada región experimentará un conjunto específico de cambios de CID.



Fuente:
IPCC Informe AR6 WGI

Parte 3: Consecuencias del cambio climático

¿Cuáles son los impactos observados y las perdidas y daños debidos al cambio climático a nivel global y regional?

c) Observed impacts and related losses and damages of climate change

		Global	Africa	Asia	Australasia	Central & South America	Europe	North America	Small Islands
HUMAN SYSTEMS	Water availability and food production	Physical water availability	..	..	..	..	..	..	..
	Agriculture/crop production	..	..	..	..	..	..	..	..
	Animal and livestock health and productivity	..	..	..	..	..	..	..	..
	Fisheries yields and aquaculture production	..	..	..	..	..	..	..	..
Health and wellbeing	Infectious diseases	..	..	..	..	..	..	..	..
	Heat, malnutrition and harm from wildfire	..	..	..	..	..	..	..	..
	Mental health	..	-	..	/	..	..	-	-
	Displacement	..	..	..	/	..	..	..	..
ECOSYSTEMS	Cities, settlements and infrastructure	Inland flooding and associated damages	..	..	..	..	..	..	..
		Flood/storm induced damages in coastal areas	..	..	..	..	..	..	..
		Damages to infrastructure	..	..	..	..	..	..	..
		Damages to key economic sectors	..	..	..	..	..	..	..
Changes in ecosystem structure	Terrestrial	..	..	..	..	..	..	..	..
	Freshwater	..	..	..	-	..	..	..	..
	Ocean	..	..	..	..	..	..	..	..
Species range shifts	Terrestrial	..	..	-	..	..	..	..	..
	Freshwater	..	-	..	-	..	..	..	..
	Ocean	..	..	-	..	..	..	..	..
Changes in seasonal timing (phenology)	Terrestrial	..	-	..	..	-	..	..	..
	Freshwater	..	..	-	-	-	..	..	-
	Ocean	..	..	..	-	..	..	..	..

Dimension of Risk:
 Impact

Key

Increased climate impacts

HUMAN SYSTEMS
 Adverse impacts
 Adverse and positive impacts

ECOSYSTEMS
 Climate-driven changes observed, no assessment of impact direction

Confidence in attribution to climate change

- *** High or very high
- ** Medium
- * Low
- Evidence limited, insufficient
- / Not assessed

Fuente:
IPCC Informe AR6 SYR

Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENTZIA

UIK 27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 3: Consecuencias del cambio climático

¿Qué tipo de consecuencias provoca y provocará el cambio climático ?

El cambio climático es una amenaza muy grave, y sus **consecuencias** afectan a muchos y muy diversos aspectos de la vida actual y futura en el planeta.

Algunos ejemplos:

Consecuencias ambientales:

- Cambios en la distribución geográfica de las **zonas climáticas**.
- Aumento de periodos de **sequia e incendios forestales**.
- Disminución de reservas de **agua dulce**.
- Inundaciones y subida del nivel del mar.
- Graves afecciones al **medio ambiente marino**, por aumento de temperatura, acidificación, etc..
- Aumento de **erosión**, salinización y perdida de materia orgánica de los suelos.
- Reducción de la **biodiversidad**, cambios en la fenología (comportamiento y ciclo vital de las especies animales y vegetales), la abundancia y distribución de las especies, la composición de las comunidades, la estructura de los hábitats y los procesos ecosistémicos.



Fuente: Comisión Europea. Climate action

Consecuencias sociales:

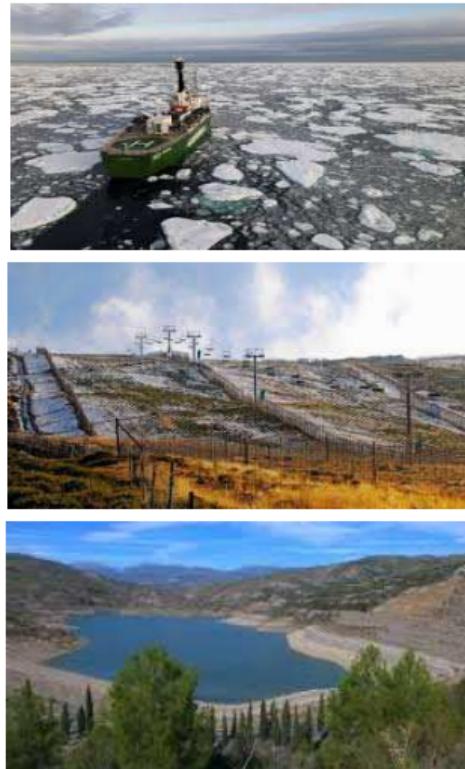
- **Salud**: es posible que no plantea demasiadas amenazas a la salud que sean nuevas o desconocidas, sí agravará y acentuará los impactos actuales.
 - Aumento de la mortalidad (muertes) y morbilidad (enfermedades) relacionadas con el calor del verano.
 - Disminución de la mortalidad (muertes) y morbilidad (enfermedades) relacionadas con el frío del invierno.
 - Aumento del riesgo de accidentes e impacto en el bienestar general debido a fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones, incendios y tormentas).
 - Cambios en el impacto de enfermedades como, por ejemplo, las transmitidas por vectores, roedores, agua o alimentos.
 - Cambios en la distribución estacional de algunas especies alergénicas de polen y de la distribución de virus, plagas y enfermedades.
 - Enfermedades animales emergentes y reemergentes que aumenten los retos para la salud humana y animal europeas en forma de zoonosis víricas y enfermedades transmitidas por vectores. Plagas vegetales emergentes y reemergentes (insectos, patógenos y otras plagas) y enfermedades que afecten a los bosques y sistemas de cultivos.
 - Riesgos relacionados con cambios de la calidad del aire y el ozono.
- **Población vulnerable**. El envejecimiento de la población y la pobreza hace que aumente la proporción de población vulnerable.
- **Desplazamientos y migración**: Aunque el clima es actualmente solo una entre las diversas causas de desplazamiento y migración esta situación puede variar en el futuro.

Parte 3: Consecuencias del cambio climático

¿Qué tipo de consecuencias provoca y provocará el cambio climático ?

Consecuencias empresariales

- **Infraestructuras y edificios.** Edificios e infraestructuras pueden ser vulnerables al cambio climático debido a su diseño (escasa resistencia a las tormentas) o su ubicación (por ejemplo, en zonas propensas a inundaciones, corrimientos de tierras o avalanchas).
- **Energía:** reducción de la demanda de calefacción en el norte y el noroeste de Europa y aumente considerablemente la de refrigeración en el sur, lo que podría agravar aún más los picos de demanda de electricidad en verano.
- **Silvicultura.** Es probable que el sur de Europa experimente una disminución general del crecimiento forestal debido a la reducción de las precipitaciones. Además, el impacto de los incendios forestales es especialmente fuerte en los ecosistemas ya degradados del sur, y se espera que empeore con temporadas de incendios más largas y severas.



Fuente: Comisión Europea. Climate action

Consecuencias territoriales

- **El Ártico** afronta grandes cambios: aumento de la temperatura superior a la media, disminución de la cubierta de hielo marino en verano y derretimiento del permafrost. Ampliación de las prospecciones de recursos naturales, nuevas rutas de transporte marítimo, etc
- **Región mediterránea:** Los principales efectos son una menor disponibilidad de agua y menor rendimiento de los cultivos, aumento del riesgo de sequías, pérdida de biodiversidad, incendios forestales, olas de calor y posible desplazamiento de flujos turísticos estivales.
- **Zonas de montaña:** un menor potencial energético del sector hidroeléctrico, un cambio en las zonas de vegetación y una pérdida generalizada de biodiversidad, repercusiones en el turismo de invierno.
- **Zonas insulares.** Encaso extremo desaparición total por subida del nivel del mar.

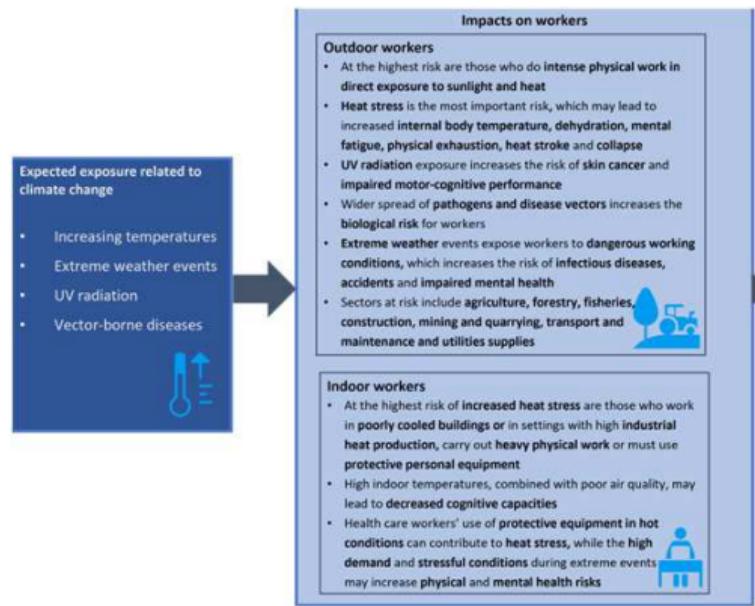
Parte 3: Consecuencias del cambio climático

¿Cómo puede afectar a la salud y bienestar laboral?

El cambio climático afecta a la **salud y el bienestar laboral** de múltiples maneras. Los riesgos para la salud física y mental dependen de la exposición y de las características de los individuos. Los potenciales efectos adversos se producen tanto en actividades al aire libre como en interior.

Algunos ejemplos:

- El aumento del **estrés por calor** en el lugar de trabajo tiene un impacto negativo en la salud y la productividad.
- La **radiación UV** es un factor de riesgo en el trabajo en exteriores ya que es el principal precursor del cáncer de piel. La radiación UV que llega a la superficie depende principalmente de las nubes, las tendencias de aerosoles y vapores de agua y el ozono estratosférico. Parece plausible que se produzca un aumento de la exposición a UV por disminución de aerosoles y nubosidad.
- El cambio climático puede cambiar los rangos geográficos de **enfermedades infecciosas** transmitidas por vectores en Europa.
- La modificación de las condiciones ambientales causadas por el cambio climático significa que los árboles y otras plantas florecen antes o por más tiempo, prolongando el sufrimiento de muchas personas con **alergias** al polen.
- El potencial aumento de **accidentalidad** derivado del plausible aumento de frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos



Fuente: European Climate and Health Observatory (Climate Adapt)

Conclusiones

27-06-2024 10:30 - 11:15 : S. Gaztelumendi

Parte 0. Introducción.

Parte 1. Qué es el cambio climático.

Parte 2. Cómo se manifiesta el cambio climático.

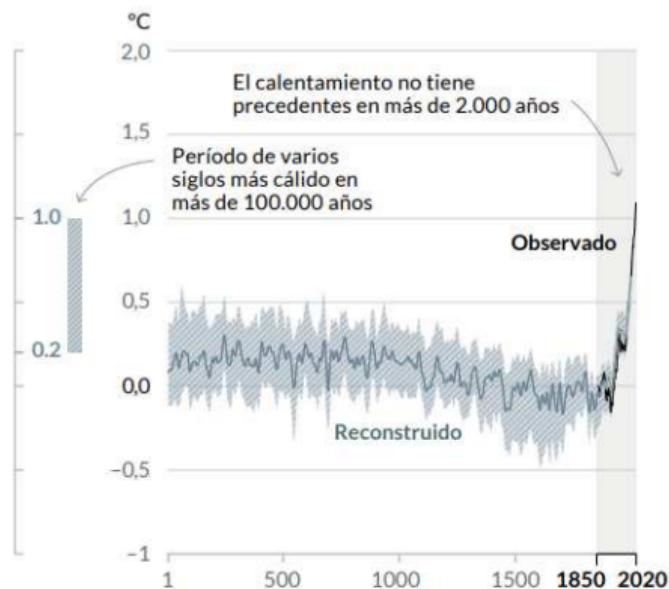
Parte 3. Cuáles son las consecuencias del cambio climático.

Parte 4. Conclusiones y preguntas.

Parte 4: Conclusiones

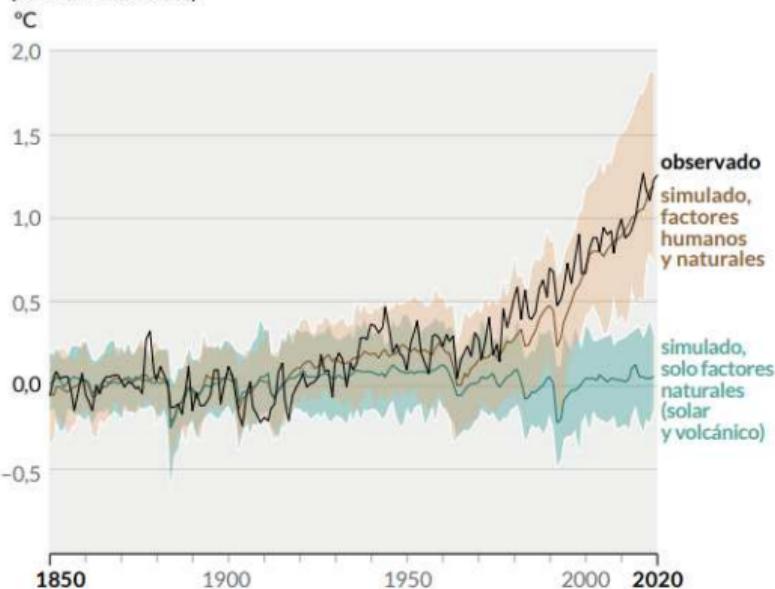
Cambios en la temperatura global en superficie con respecto al período 1850–1900

(a) Cambio en la temperatura global en superficie (media decadal) reconstruido (1-2000) y observado (1850-2020)



El cambio en el clima actual tiene una componente de variabilidad climática natural sobre la que se superpone el efecto del calentamiento global provocado por las actividades humanas.

(b) Cambio en la temperatura global en superficie (media anual) **observado** y simulado utilizando **factores humanos y naturales** y solo factores **naturales** (ambos 1850-2020)



Fuente: IPCC AR6 WGI

Parte 4: Conclusiones

- ✓ El sol es la fuente de energía primaria del sistema climático.
- ✓ El clima está regulado por complejas interacciones que se producen en diferentes escalas temporales entre los diferentes componentes del sistema climático.
- ✓ El conocimiento actual del sistema climático que se basa en las observaciones (directas e indirectas), los estudios teóricos y la modelización, aunque no es perfecto, es capaz de explicar adecuadamente los fenómenos más relevantes observados.
- ✓ La vida en la tierra (microrganismos, plantas, animales,...) está condicionada por el clima y la vida a su vez ha modulado desde siempre el clima del planeta.
- ✓ La velocidad de cambio de algunos indicadores climáticos en la era industrial no tienen precedentes cercanos (en los últimos 10.000 años).
- ✓ El cambio climático tiene y tendrá consecuencias para el modo de vida actual de los humanos. Los impactos negativos superan y superarán de largo a los impactos positivos.
- ✓ La información científica extraída de fuentes naturales (como núcleos de hielo, rocas y anillos de árboles) y de equipos modernos (como satélites e instrumentos) muestra signos de un clima cambiante.
- ✓ Desde el aumento de la temperatura global hasta el derretimiento de las capas de hielo o el aumento del nivel del mar, abundan las evidencias del cambio climático.
- ✓ Desde que comenzaron las evaluaciones científicas sistemáticas (IPCC) en la década de 1970, la influencia de la actividad humana en el calentamiento del sistema climático ha evolucionado de la teoría al hecho establecido.

Eskerrik asko, ¿preguntas?

27-06-2024 10:30 - 11:15 : Santiago Gaztelumendi



Euskalmet
EUSKAL METEOROLOGIA AGENTZIA