

Curso de posgrado

LA GEOMORFOLOGÍA Y *CAMBIO CLIMATICO*

SEPTIEMBRE 2022

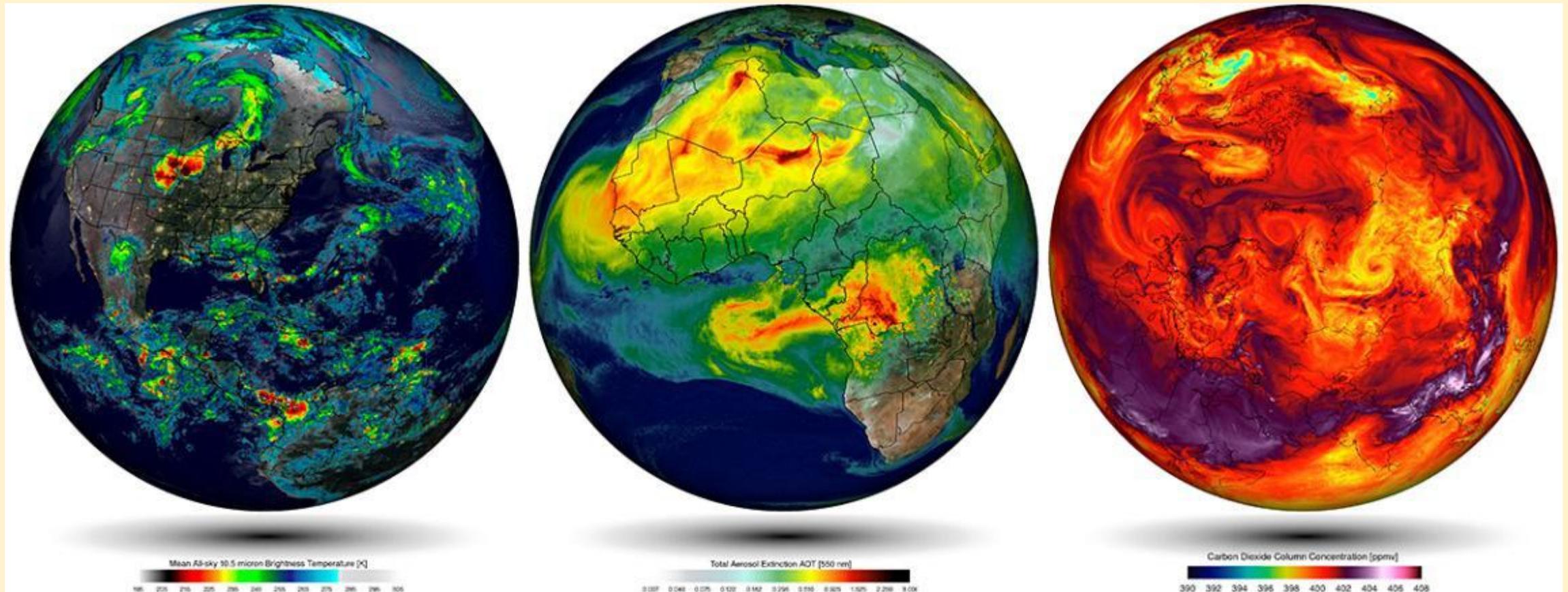
Docentes: ***Gabriella M. Boretto (CICTERRA-CONICET-UNC)*** ***Marcela A. Cioccale (FCEfyN-UNC)***

Tema 1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN/GENERALIDADES



Tema 1. Geomorfología global y cambio climático. Sistemas geomorfológicos. Detección de cambios geomorfológicos y geomorfométricos. Incertidumbre geomorfológica en respuesta al cambio climático.



Simulaciones empleando el modelo climático del Goddard Earth Observing System (GEOS-5) de la NASA.
Fuente: William Putman, NASA/Goddard

Geomorfología

- La **Geomorfología es la ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres** (ej. colinas, valles, dunas, cuevas), y cómo esas características se combinan para formar paisajes. Los estudios geomorfológicos incluyen el análisis cuantitativo de los relieves geográficos, **el monitoreo de los procesos en la superficie y cerca de ella** (ej. agua corriente, hielo, viento) **que moldean los relieves y la caracterización de los cambios en el relieve que ocurren en respuesta a factores tales como la actividad tectónica y volcánica, cambios en el clima y en el nivel del mar y actividades antropogénicas** (*British Society for Geomorphology*).
- La geomorfología es una rama de las Ciencias de la Tierra centra el estudio científico en los accidentes geográficos, sus ensamblajes y los procesos superficiales y subterráneos que los moldearon en el pasado y los cambian hoy. Las formas de los accidentes geográficos (geofomas) y las regularidades de su distribución espacial, su origen, evolución y edades son el tema de la geomorfología **Slaymaker et al. (2021)**.
- La naturaleza nos sorprende creando formas que parecen inverosímiles. Muchos paisajes geomorfológicos son tan inmensamente hermosos que recibieron el mayor reconocimiento posible: tienen el estatus de bienes del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Además, los paisajes cuentan historias que con frecuencia se remontan en el tiempo durante millones de años e incluyen eventos únicos
- Slaymaker et al. (2021) proponen reformular el concepto clásico de Geomorfología y denominar “Ciencia del paisaje”**. Ya que **considerando el Antropoceno la actividad humana ha generado cambios terrestres a nivel global, y de esta forma se lograría abordar las problemáticas ambientales con disciplinas afines que hoy en día es complejo inter-actuar**, como, por ejemplo: arquitectura del paisaje, antropología, ecología, entre otras.



“La palabra 'geomorfología' es problemática fuera de la academia de una manera que no lo es 'paisaje'. Una identificación más explícita de la geomorfología como ciencia del paisaje alentaría el compromiso de los geomorfólogos en una de las cuestiones ambientales más urgentes de nuestro tiempo”

Cambio climático del siglo XXI: ¿dónde ha quedado la geomorfología?

- **La geomorfología tiene una larga historia de cuantificación del paisaje, esto ha permitido dar respuesta al “al cambio ambiental-climático”.**
- La información geomorfológica puede ser central a la reconstrucción del paleoambiente y al cambio climático (Macklin y Lewin, 2008; Thomas, 2013).
- **Considera diferentes escalas, temporal-espacial, los vínculos entre los factores climáticos y los humanos (por ejemplo, cambio de uso de la tierra) como así los impactos de la variabilidad ambiental.**
- El reconocimiento de la geomorfología como rol clave a la comprensión de los procesos superficiales vinculados con el ciclo del carbono, por tanto, para establecer estrategias de mitigación.

EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS
Earth Surf. Process. Landforms 38, 106–110 (2013)
Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Ltd.
Published online 22 November 2012 in Wiley Online Library
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3362

ESEX Commentary

21st century climate change: where has all the geomorphology gone?

Stuart N. Lane*

Faculté des géosciences et de l'environnement, Université de Lausanne, Switzerland

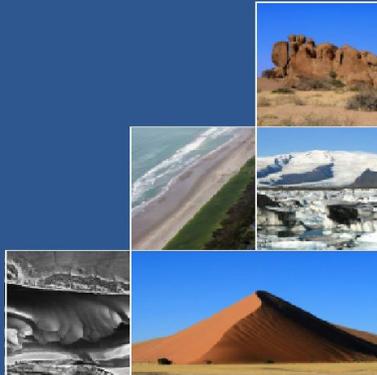
Received 10 October 2012; Revised 24 October 2012; Accepted 25 October 2012

*Correspondence to: Stuart N. Lane, Faculté des géosciences et de l'environnement, Université de Lausanne, Switzerland. E-mail: Stuart.Lane@unil.ch

La geomorfología contribuye de manera extensa en la comprensión del cambio climático de este siglo XXI. En resumen, analizar geomorfológicamente un área se piensa considerando dos escalas temporales muy diferentes: (1) la evolución del relieve, que contempla procesos de largo tiempo e incluye métodos de datación, y (2) "procesos actuales" (semanales a anuales) basado en monitoreos y medición de datos mediante instrumentación específica (drones, cámaras, sensores). Un abordaje teniendo en cuenta la historia del paisaje junto la dinámica actual permite modelar y predecir escenarios futuros para así establecer medidas de mitigación, gestión adecuadas y sustentables.

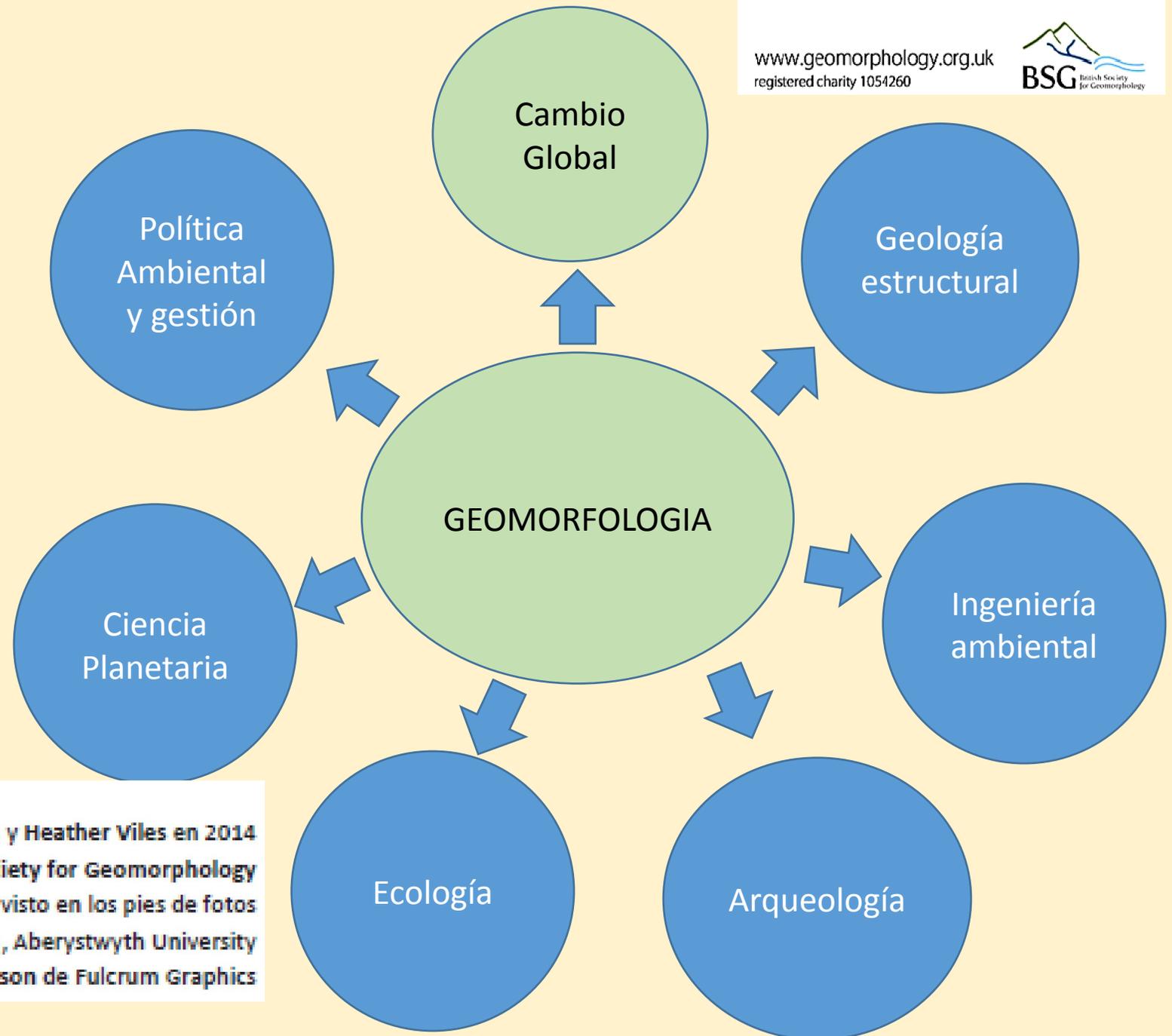
10 Razones por las cuáles

la Geomorfología es importante



BSG
British Society for Geomorphology

www.geomorphology.org.uk
registered charity 1054260



preparado por Stephen Tooth y Heather Viles en 2014
con colaboraciones del Comité Ejecutivo de la BSG, British Society for Geomorphology
reconocimiento a los fotógrafos es provisto en los pies de fotos
figuras de Antony Smith, Aberystwyth University
diseñado por Chris Simpson de Fulcrum Graphics

10 razones....

1 Los paisajes son moldeados por movimientos de masa

Los paisajes se moldean por procesos geomorfológicos, los cuales esencialmente involucran movimientos de masa (roca, sedimento o agua) a través de la superficie de la Tierra.

2 Los procesos que moldean los paisajes son influenciados por muchos factores diferentes.

Varios factores tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos proveen las mayores influencias sobre los procesos geomorfológicos y los movimientos de masa.

3 Los procesos del paisaje operan en varias escalas diferentes

Los procesos tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos que influyen a los procesos geomorfológicos y los movimientos de masa cambian en diferentes escalas temporales y espaciales.

4 Los paisajes de la Tierra son dinámicos

Los relieves y paisajes no son estáticos e invariables, sino que son dinámicos y se desarrollan a través del tiempo.

5 Las dinámicas del paisaje son a menudo complejas

Además de las cambiantes condiciones tectónicas, geológicas, climáticas o ecológicas, reajustes internos impulsan el desarrollo de los accidentes geográficos y paisajes.

6 Los paisajes son archivos del pasado

Los paisajes contienen historias de su desarrollo que potencialmente pueden ser descifradas y reconstruidas a partir del estudio de los relieves y sedimentos asociados.

10 razones....

7 El cambio global está influenciando las dinámicas del paisaje El continuo cambio ambiental, el cual incluye el calentamiento de la atmósfera y el aumento del nivel del mar, está actualmente impulsando el desarrollo de formas terrestres, incluyendo la desecación de lagos en desiertos, el retiro de las capas glaciares y erosión de la línea costera.

8 Las actividades humanas están influenciando las dinámicas del paisaje Cada vez más, muchos procesos geomorfológicos y desarrollos de relieves/paisajes están influenciados por actividades humanas.

9 Los paisajes de la Tierra se están volviendo cada vez más peligrosos Tanto el cambio ambiental global como las actividades humanas están incrementando la magnitud y frecuencia de amenazas geomorfológicas, las cuales ocurren donde y cuando la estabilidad de la superficie es afectada y se experimentan impactos socioeconómicos adversos.

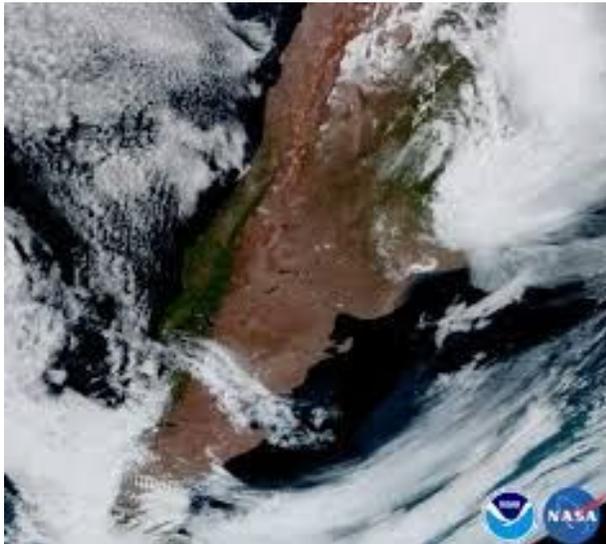
10 Una gestión ambiental efectiva necesita conocimientos de la geomorfología La geomorfología puede proveer una contribución crítica para la gestión ambiental, incluyendo la conservación de paisajes, conservación y restauración de ecosistemas, conservación de patrimonios y paisajismo de carbono.

CLIMA



El tiempo, el calentamiento global y el cambio climático

Los términos "tiempo" y "clima" se confunden a veces, aunque se refieren a acontecimientos con escalas espaciales y temporales muy diferentes. Del mismo modo, los términos "cambio climático" y "calentamiento global" se utilizan a menudo indistintamente, pero tienen significados distintos.



El tiempo se refiere a las condiciones atmosféricas que se producen localmente durante cortos periodos de tiempo: de minutos a horas, de días a semanas. Algunos ejemplos conocidos son la lluvia, la nieve, las nubes, los vientos o las tormentas eléctricas.

El clima se refiere a la media regional o mundial a largo plazo de los patrones de temperatura, humedad y precipitación durante un período de tiempo, a menudo de más de 30 años.

NASA's Applied Remote Sensing Training Program

CLIMA

El clima se define como las condiciones meteorológicas medias que caracterizan a un lugar determinado.

Condiciones meteorológicas  temperatura (°C)
 humedad (%)
 presión atmosférica (Pa)
 vientos (Km/h)
 precipitación (mm)
 otras condiciones meteorológicas de interés en una región.

El clima de un lugar o una región está constituido por los datos estadísticos de la meteorología de dicho lugar o región analizados a lo largo de un plazo relativamente largo de 30 años (Monkhouse, 1978).

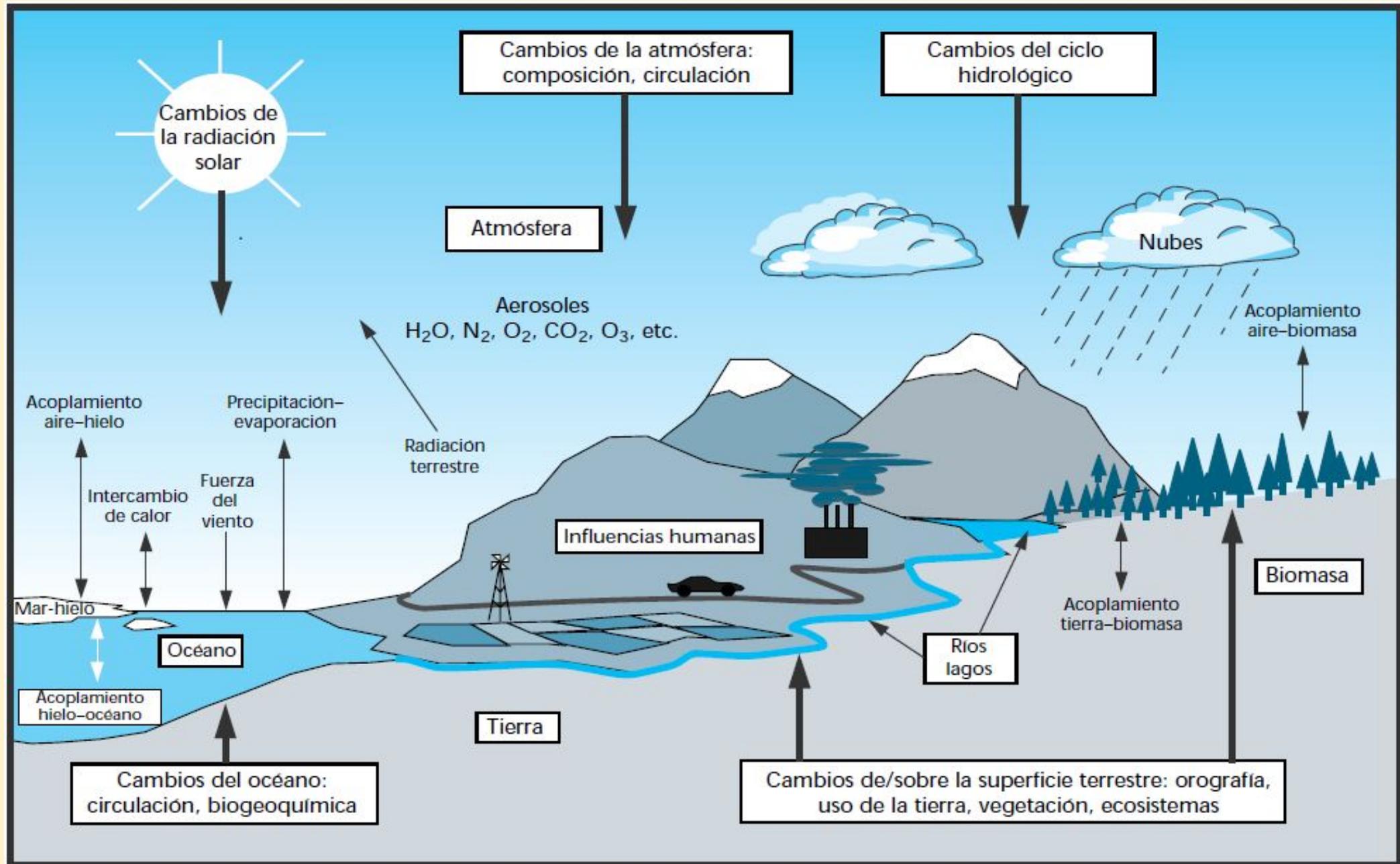
Sistema Climático: formado por 5 subsistemas.

1. **Atmósfera** (la capa gaseosa que envuelve la Tierra).
2. **Hidrosfera** (el agua dulce y salada en estado líquido de océanos, lagos, ríos y agua debajo de la superficie).
3. **Criósfera** (el agua en estado sólido),
4. **Litósfera** (el suelo y sus capas).
5. **Biósfera** (el conjunto de seres vivos).

El clima es consecuencia del equilibrio que se produce en la interacción entre esos cinco componentes.

Debido a que las actividades humanas son de extrema importancia para el estudio del cambio climático, están separadas de la biomasa y son estudiadas de forma individual. Así mismo, *si se considera la actividad solar y las actividades humanas, se habla de un gran sistema llamado **Sistema Global**.*

Esquema del sistema climático global - IPCC.



El **cambio climático** es un cambio a largo plazo (más de 30 años) en los patrones meteorológicos medios que han llegado a definir los climas locales, regionales y globales de la Tierra.

Abarca el calentamiento global, pero se refiere a una gama más amplia de cambios que están ocurriendo en nuestro planeta, incluyendo la reducción de los glaciares de montaña, la aceleración del derretimiento del hielo en Groenlandia, la Antártida y el Ártico, el aumento del nivel del mar, los cambios en la fenología, la acidificación de los océanos y los eventos climáticos extremos.

El **calentamiento global** es el calentamiento progresivo y a largo plazo del sistema climático de la Tierra observado desde el período preindustrial (entre 1850 y 1900) debido a las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles, que aumenta los niveles de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera de la Tierra.

CLIMA

El clima de un lugar está condicionado por los factores modificadores del clima

- latitud
- altitud
- relieve
- distancia al mar
- corrientes marinas

Los climas pueden clasificarse según la media y las gamas típicas de los cinco elementos señalados, principalmente se considera la temperatura y precipitación

El esquema de clasificación de climas más utilizado es el de **Köppen-Geiger** (1936)

- identifica cinco tipos de clima principales
- subdivididos en un 30 clases
- nomenclatura letras indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que
- caracterizan cada clima y tipo de vegetación

Otro sistema de clasificación es el de **Thornthwaite** (desde 1948)

- se basa en dos conceptos la evapotranspiración potencial y el balance de vapor de agua
- la evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual corregida según la duración del día.

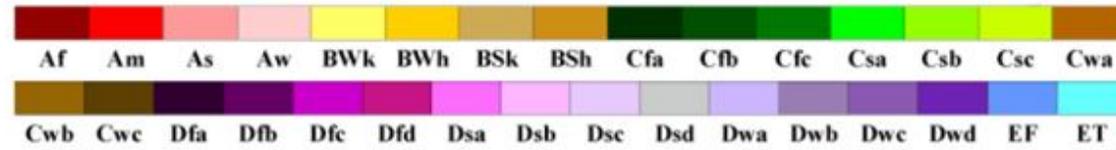
Clasificación **De Martonne** (1921)

- considera el comportamiento global bioclimático, en particular las variables de temperatura y precipitación
- clasifica 32 tipos de climas a nivel mundial.

Otros sistemas de clasificación, ejemplo Capitanelli (1979), etc.

World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000



Main climates

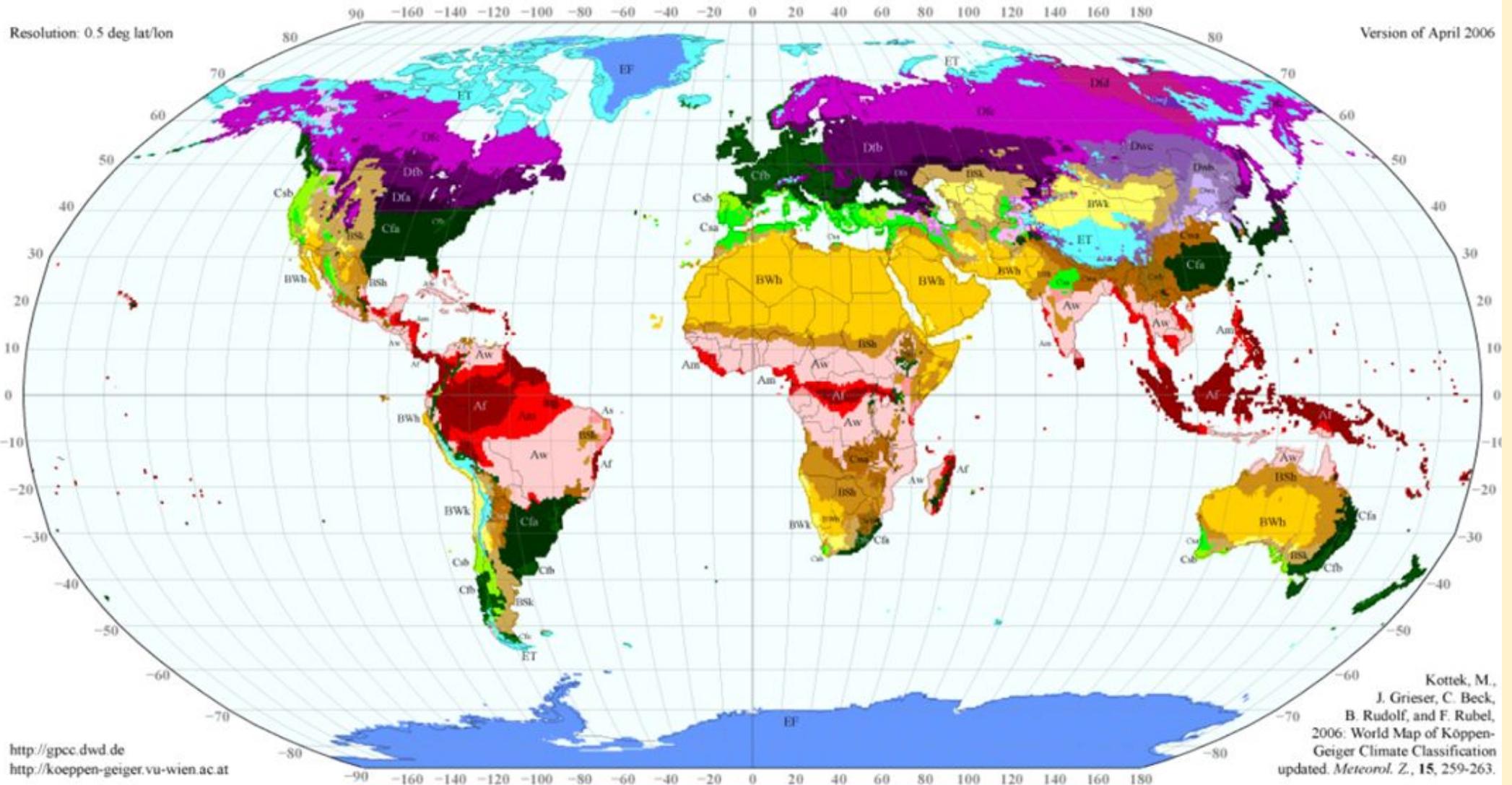
- A: equatorial
- B: arid
- C: warm temperate
- D: snow
- E: polar

Precipitation

- W: desert
- S: steppe
- f: fully humid
- s: summer dry
- w: winter dry
- m: monsoonal

Temperature

- h: hot arid
- k: cold arid
- a: hot summer
- b: warm summer
- c: cool summer
- d: extremely continental
- F: polar frost
- T: polar tundra

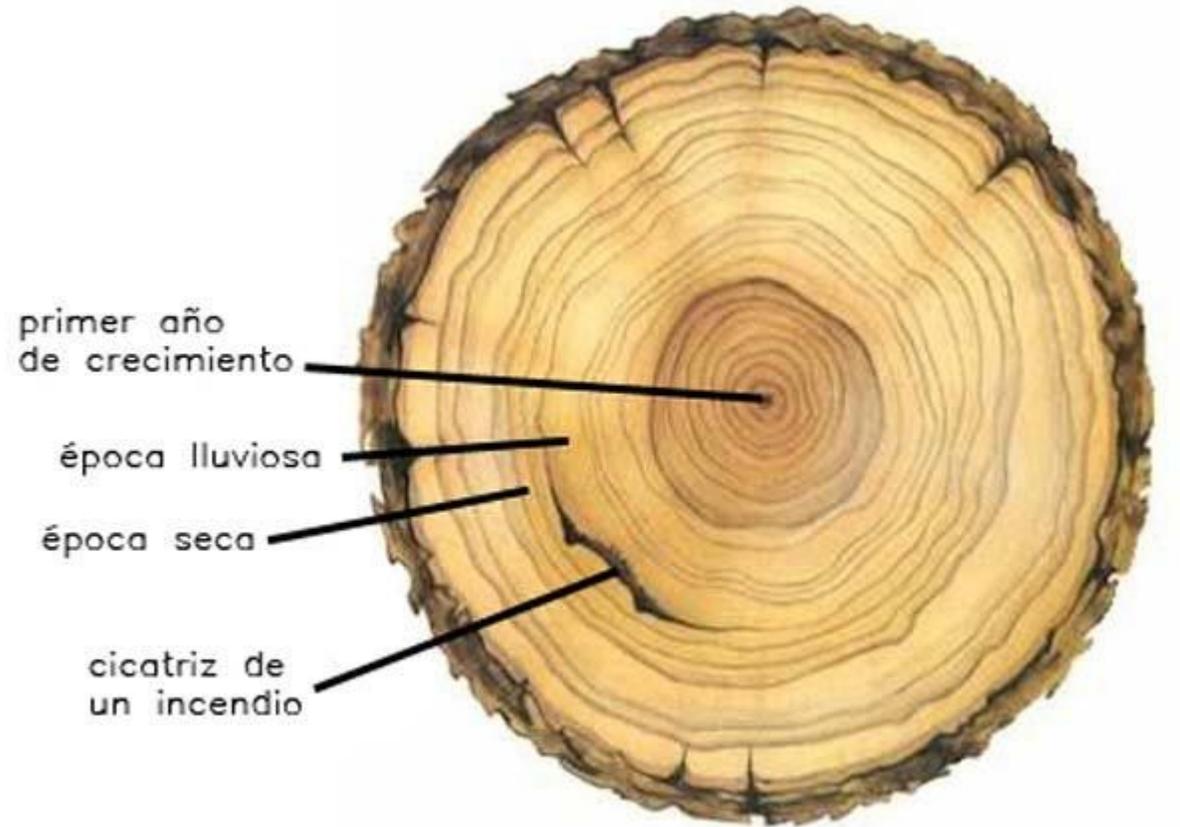


<http://gpcc.dwd.de>
<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at>

Kottek, M.,
 J. Grieser, C. Beck,
 B. Rudolf, and F. Rubel,
 2006: World Map of Köppen–
 Geiger Climate Classification
 updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259–263.

PALEOCLIMATOLOGÍA, estudia los climas del pasado. Al no disponerse de observaciones directas del clima antes del siglo XIX, los paleoclimas se infieren a partir de variables **proxy** que incluyen: materiales diversos como sedimentos lacustres, continentales (loess) y glaciares, núcleos de hielo, dendrología (anillos de troncos), esclerocronología (valvas de moluscos), espeleotemas, granos de polen, evidencias arqueológicas, entre otros.

El término **proxy**, también denominado registro proxy o indicador, se refiere a cualquier herramienta o línea de evidencia, la cual provee una medida indirecta de los procesos climáticos y ambientales (Lowe y Walker, 1997). A partir del **proxy** es posible reconstruir las condiciones ambientales que se dieron en un lugar durante determinados intervalos de tiempo.



Fuente o archivo	Registro	Indicadores	Datación	Rango temporal	Variable reconstruida
Registros históricos	Fuentes históricas o arqueológicas	 Medidas instrumentales; archivos históricos variados; literatura; yacimientos arqueológicos	Análisis de datos; estudio de documentos y yacimientos: ^{14}C	10 a 10^4 años	Temperaturas; cosechas; nivel del mar; frecuencia de tormentas y huracanes; migraciones de cinturones de lluvia
Registros geológicos continentales	Sondeos de hielo (glaciares, cuevas)	 Isótopos (en aire y hielo); gases (CO_2 , CH_4); trazas (Na, etc)	Contaje de capas y modelos físicos; ^{14}C	10 a 10^4 años	Temperatura; aportes eólicos; composición de la atmósfera; registro de vulcanismo
	Depósitos lacustres	 Propiedades físicas; análisis composicional; polen; carbones; organismos; isotopía (carbonatos, m.o.)	^{14}C , U-Th, OSL, contaje láminas	10 a 10^5 años	Nivel del lago; temperatura; cubierta vegetal, incendios
	Espeleotemas	 Isótopos estables; composición trazas; petrología, mineralogía	U-Th, contaje láminas	100 a 10^5 años	Temperatura; disponibilidad hídrica
	Depósitos fluviales y aluviales	 Estratigrafía y definición de facies Depósitos de terrazas o de inundación	^{14}C , OSL	100 a 10^5 años	Disponibilidad hídrica; paleoinundaciones, cambios ecológicos
	Anillos de árboles	 Espesor anillos, isótopos estables	^{14}C	10 a 10^4 años	Temperatura; estacionalidad; fuegos; sequías; cronologías
	Depósitos glaciales	 Morrenas	^{14}C , OSL, ^{10}Be	100 a 10^5 años	Extensión de los glaciares
	Depósitos costeros (dunas y loess)	 Estratigrafía y definición de facies; dunas, terrazas y playas fósiles	^{14}C , OSL	100 a 10^5 años	Niveles del mar, actividad eólica, disponibilidad hídrica
Registros geológicos marinos	Sedimentos marinos	 Propiedades físicas; análisis composicional; polen, carbones; isotopía; geoquímica orgánica; asociaciones de organismos fósiles	^{14}C , correlación con curvas patrón	10 a 10^8 años	Temperatura; salinidad; nivel del mar; disponibilidad hídrica; corrientes oceánicas; actividad eólica; cambios en los ecosistemas; productividad; cambios en la composición oceánica; cambios en el continente
	Corales	 Análisis composicional; isotopía	U-Th	10 a 10^5 años	Niveles del mar; composición química del agua; temperaturas

CUATERNARIO (2.6 Ma - Presente)

Periodo de la Era Cenozoica, **caracterizado por los cambios climáticos ligados a los ciclos glaciales-interglaciales** que han afectado el planeta.

Se divide en dos épocas Pleistoceno (~2.6 Ma – 11700 AP), Holoceno (11700 – Presente) (Cohen et al., 2013).

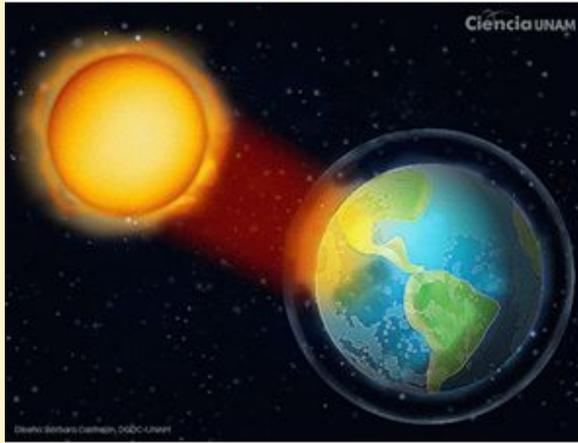
Los cambios climáticos y sus causas

- El sistema climático terrestre se compone: **litósfera, hidrósfera, criósfera, atmósfera y biósfera**. Estos factores actúan en forma compleja, y a ellos hay que sumarle una serie de forzantes de naturaleza astronómica relacionados con los movimientos orbitales de la Tierra (Cronin, 1999; Fookes y Lee, 2007; Benedetto, 2012).
- La cantidad de variables involucradas en los cambios climáticos y sus mecanismos disparadores son muy amplias. Para poder identificarlos es esencial conocer el alcance en su **escala espacial** (nivel global, regional o local) y **temporal** (décadas, miles a millones de años de duración) (Fookes y Lee, 2007).

Eonotema / Eon	Eratema / Era	Sistema / Período	Serie / Época	Pisos / Edades	Edad (Ma)
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno		presente
				Superior	0.0117
		Medio	0.126		
		Calabriano	0.781		
		Gelasiano	1.806		
	Neógeno		Plioceno		2.588
					5.33
		Mioceno		23.03	

- En la **microescala** y en la **mesoescala**, se producen las llamadas variaciones de "alta frecuencia", siendo los principales factores involucrados: 1) variabilidad de la actividad solar, 2) vulcanismo explosivo, 3) cambios en los patrones de circulación termohalina, y 4) cambios en las concentraciones de gases-traza en la atmósfera (CO₂, CH₄) (Fookes y Lee, 2007).
- A **mayor escala**, los forzantes climáticos son de origen astronómico y están relacionados con las variaciones de los movimientos de la Tierra respecto del Sol.

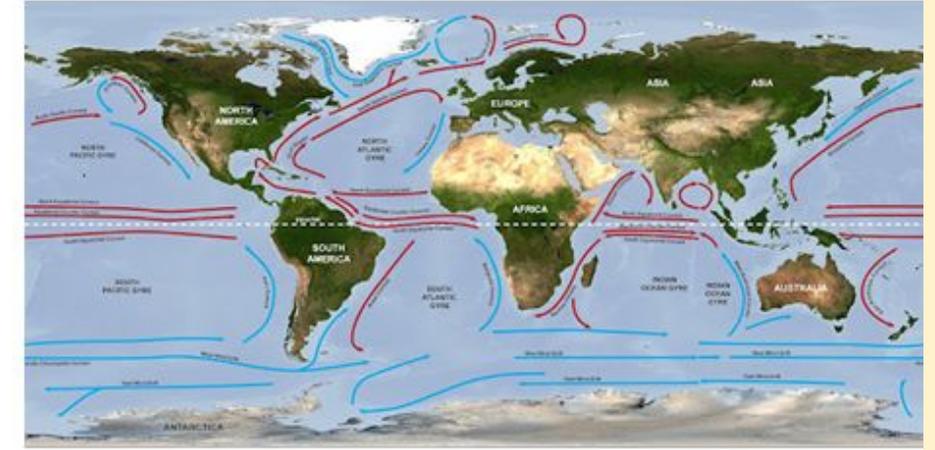
1. ACTIVIDAD SOLAR



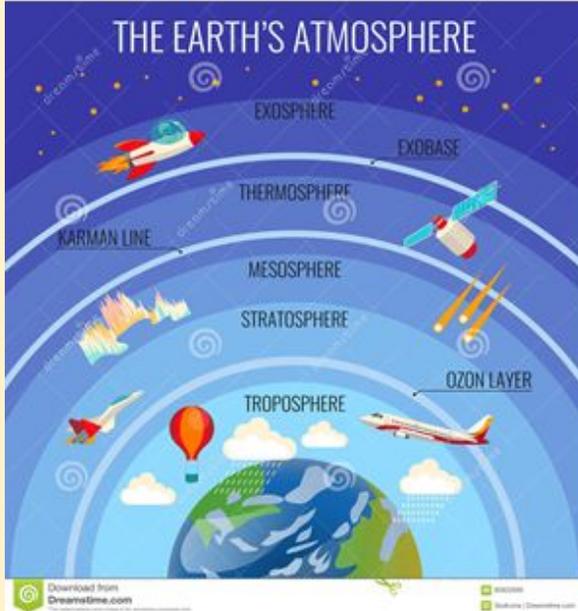
2. VULCANISMO



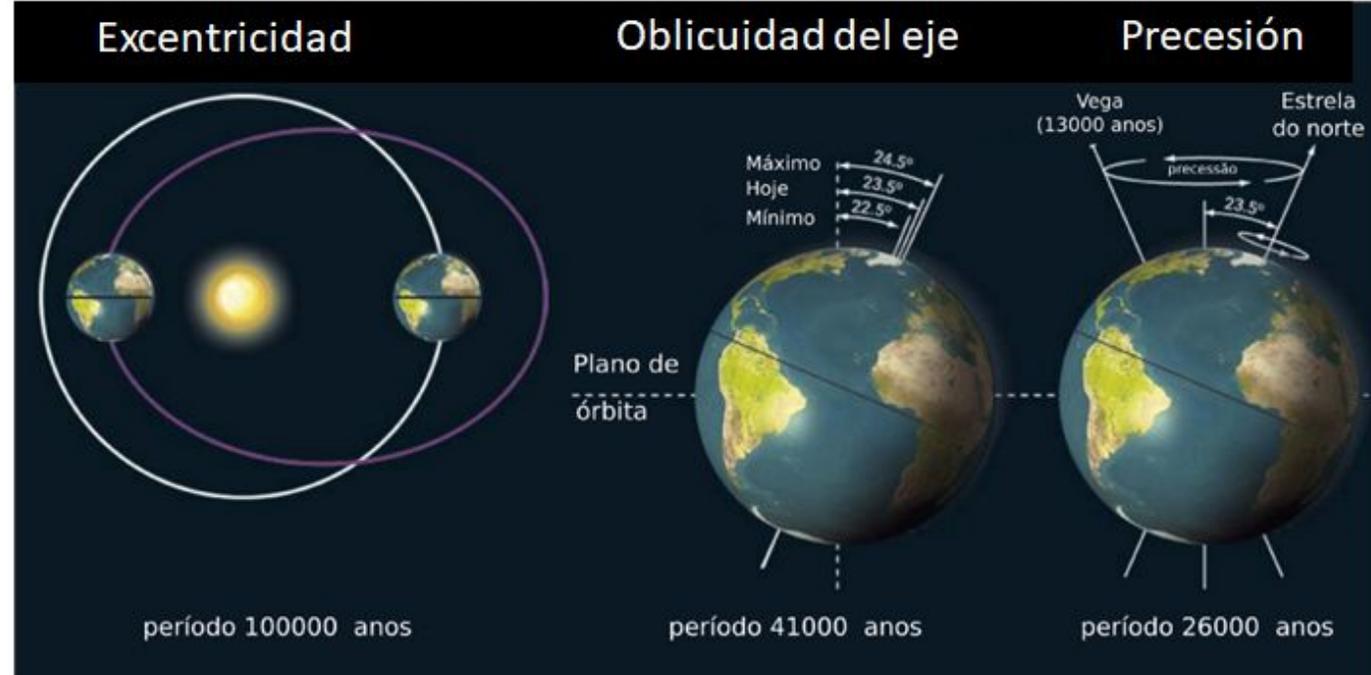
3. CIRCULACIÓN OCEÁNICA



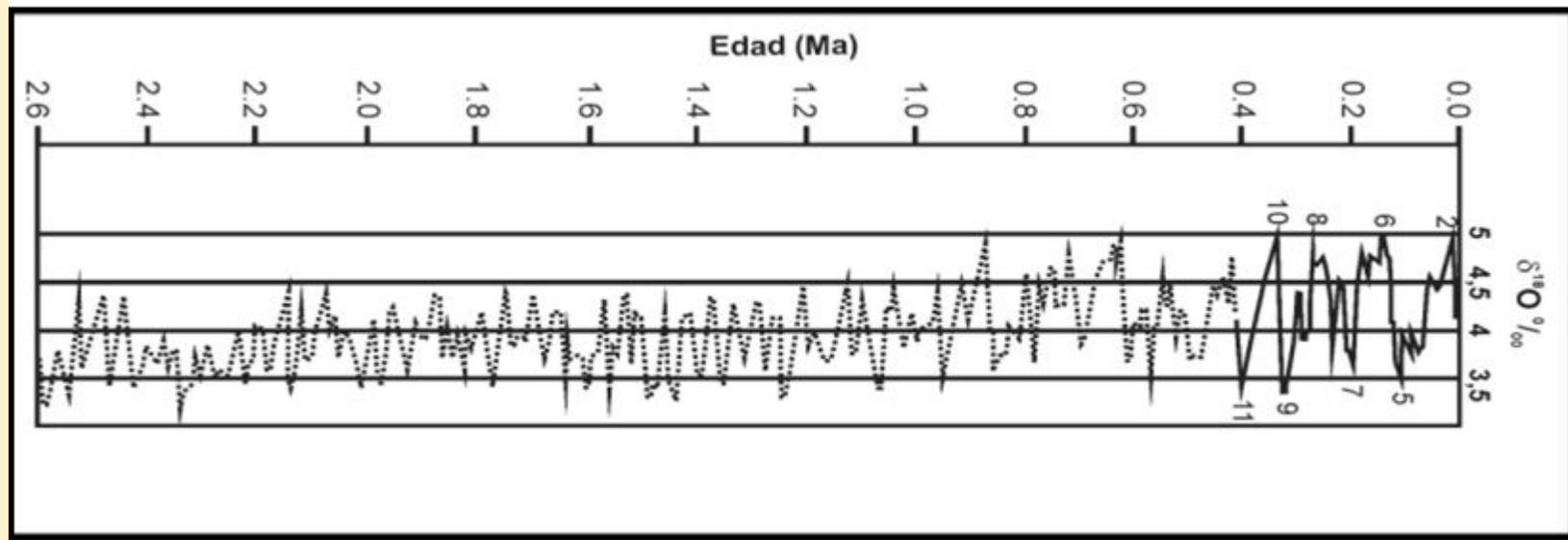
4. ATMÓSFERA



5. LA TEORÍA ORBITAL DE MILUTIN MILANKOVITCH (DESARROLLADA 1920 -1940)



CAMBIOS CLIMÁTICOS DURANTE EL CUATERNARIO



- Durante las glaciaciones se formaron extensos mantos de hielo denominados Lauréntico y Escandinavo en el hemisferio Norte, mientras que en el hemisferio sur se expandieron los hielos antárticos, y se cubrió de hielo parte de la Patagonia austral.
- A través de investigaciones en sedimentos oceánicos profundos (Emiliani, 1955; Shackleton, 1967), se pudo establecer una escala cronoestratigráfica global del Cuaternario. El registro continuo de sedimentos obtenido del fondo oceánico ha permitido evidenciar las distintas fluctuaciones climáticas que caracterizan al Cuaternario, evidenciar los cambios faunísticos y paleomagnéticos, y asociar estas variaciones con los parámetros orbitales de la teoría de Milankovitch.

- La definición de la curva de variaciones climáticas se establece en base a las oscilaciones de las relaciones isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}$), estadios isotópicos marinos (MIS, siglas en inglés), extraídas de la composición química de los exoesqueletos calcáreos de microfauna marina (foraminíferos) de los sondeos oceánicos profundos. Los números impares representan períodos cálidos (interglaciares), y los números pares se refieren a los períodos fríos (glaciares).

Transición del Pleistoceno al Holoceno

- Registros globales de polen y gases nobles indican que el Último Máximo Glacial (UMG) se produjo entre los 25.000 y 18.000 años AP
- El Tardiglacial es el intervalo de transición entre el UMG y el Holoceno (11.700 años AP) caracterizado por un abrupto aumento de la temperatura. Tres eventos importantes que se desarrollaron a nivel global:
 1. Oldest Dryas (18.500-14.500 cal. AP)
 2. Interstadial Bøllin-Allerod (14.500-12.700 cal. AP)
 3. Younger Dryas (YD) (12.700-11.700 cal. AP)
- Luego del YD el mejoramiento climático se instaló y continuo a lo largo del Holoceno. Sin embargo, diversas oscilaciones climáticas también ocurrieron durante este periodo, dando lugar a los intervalos denominados "neoglaciaciones" intercalados con episodios de mejoramiento del clima, tales como el Hypsithermal (también llamado Óptimo Climático) (7.5 a 5.0 ka AP).



- Durante el último milenio grandes fluctuaciones climáticas se desarrollaron: el Período Cálido Medieval, 800-1400 dC, un aumento 1-1.5°C, y la Pequeña Edad de Hielo, descenso de -0.8-1°C, con 3 eventos importantes:
 1. Mínimo Spörer (1350-1500 dC)
 2. Mínimo Maunder (1645-1715 dC)
 3. Mínimo Dalton (1800-1840 dC), separados por intervalos más cálidos.

¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?

A mediados del siglo XX se descubre que los niveles de CO₂ han estado aumentando más rápido de lo normal en la atmósfera, y que esto estaría contribuyendo a un incremento acelerado de la temperatura global.

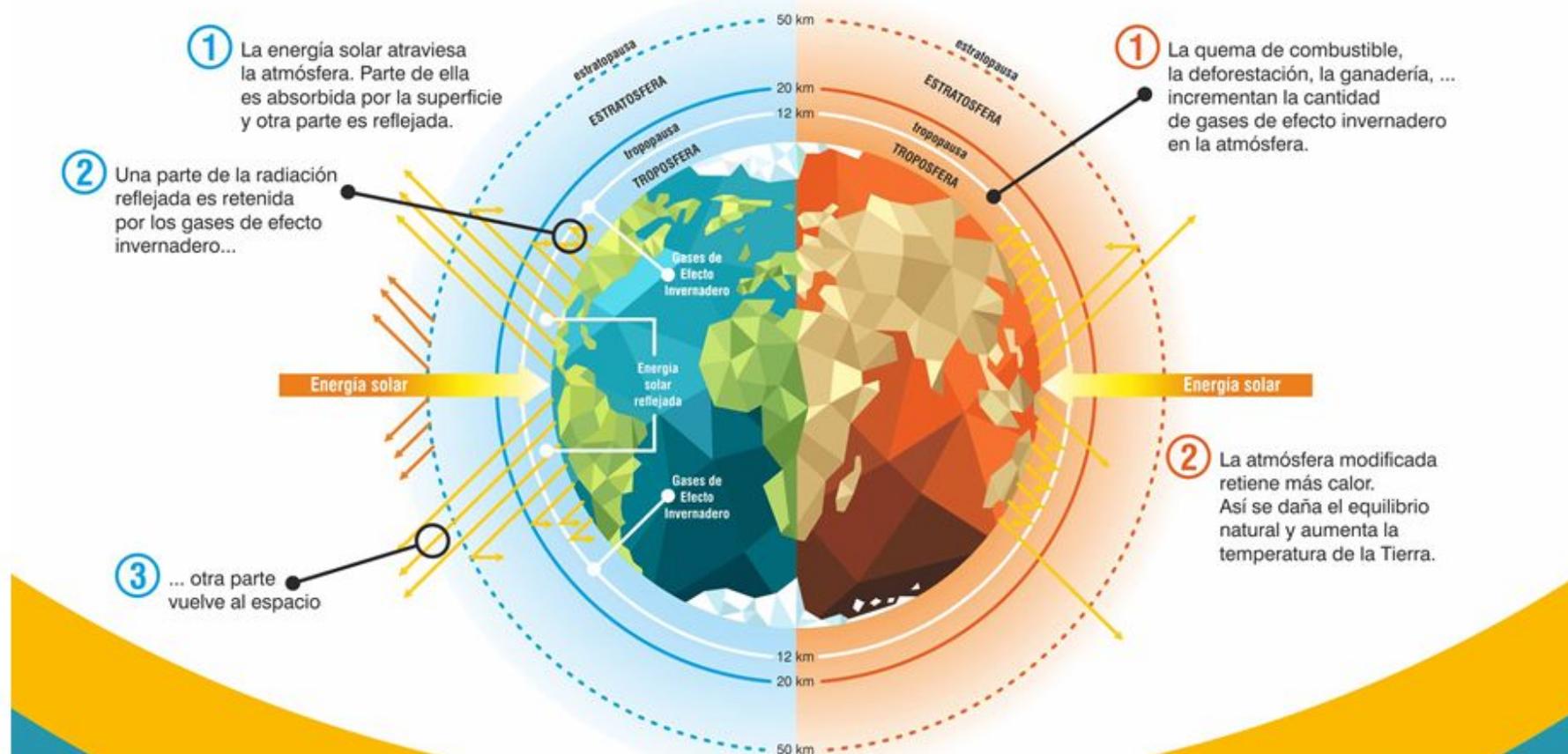
En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), con el objetivo de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático, así como sus impactos, futuros riesgos y opciones de adaptación y mitigación a los responsables de las políticas públicas.

EL EFECTO INVERNADERO

Es el calentamiento natural de la Tierra. Los gases de efecto invernadero, presentes en la atmósfera, retienen parte del calor del Sol y mantienen una temperatura apta para la vida.

EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Es el incremento a largo plazo en la temperatura promedio de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades del hombre.



De acuerdo al IPCC, el **cambio climático** se refiere a cualquier **cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural del sistema climático o como resultado de actividades humanas**. Ambas causas están relacionadas con el **efecto invernadero**, que actúa atrapando el calor y recalentando el planeta.

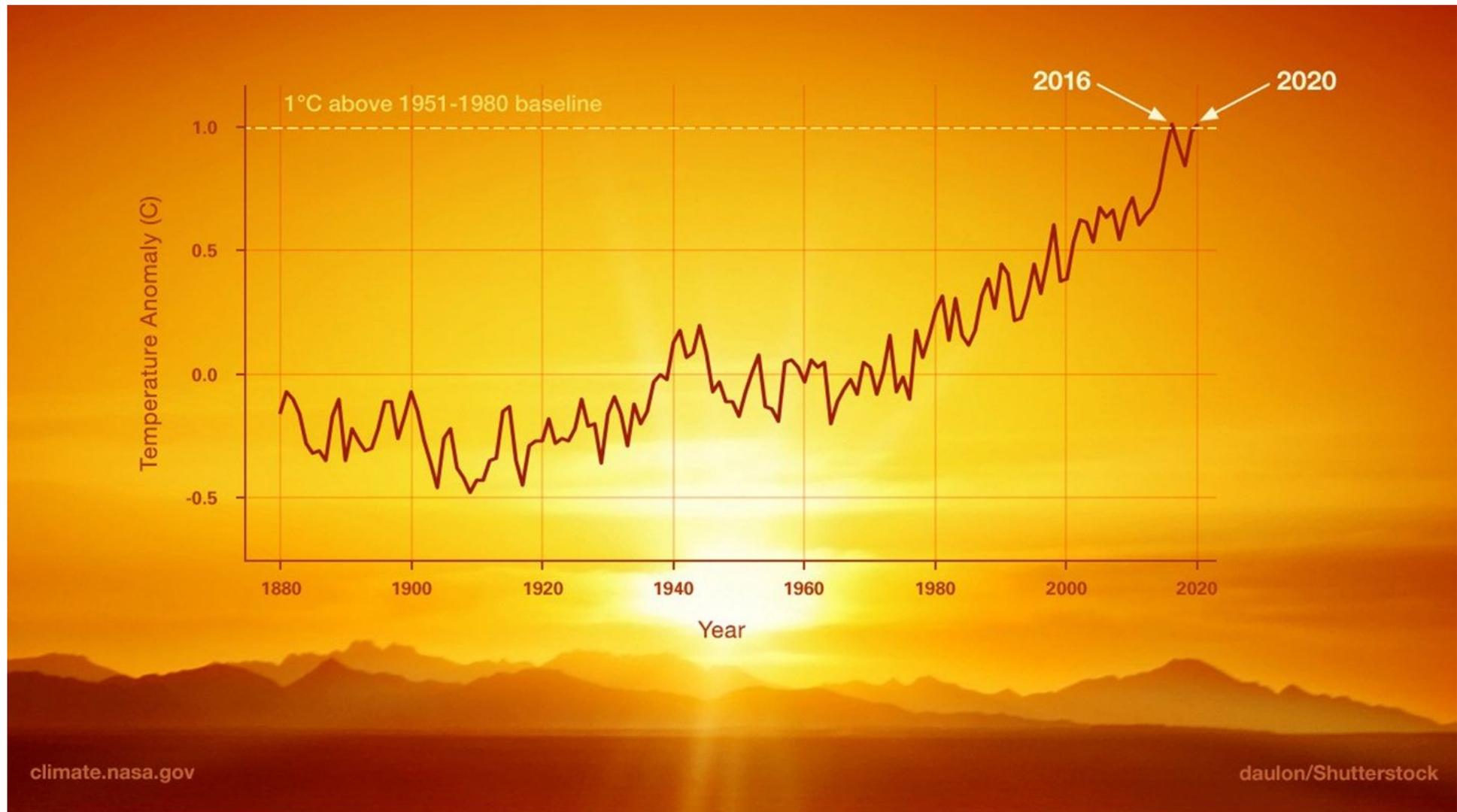
Cambio climático natural y antropogénico

Los procesos naturales pueden contribuir al cambio climático, incluyendo la variabilidad interna (por ejemplo, patrones oceánicos cíclicos como El Niño y La Niña) y los forzamientos externos (por ejemplo, la actividad volcánica, los cambios en la producción de energía del Sol, las variaciones en la órbita de la Tierra).



Los cambios observados en el clima de la Tierra desde principios del siglo XX se deben en parte a las actividades humanas, especialmente a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación, que aumentan los niveles de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera de la Tierra, elevando la temperatura media de la superficie terrestre.

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Graph illustrating the change in global surface temperature relative to 1951-1980 average temperatures, with the year 2020 tying with 2016 for warmest on record (Source: [NASA's Goddard Institute for Space Studies](https://climate.nasa.gov)). Credit: NASA/JPL-Caltech

Factores que afectan al cambio climático

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-11/Climate_Part1_Edited_JO_SM.pdf

Los científicos del clima dividen los factores que afectan al cambio climático en tres categorías: forzamientos, retroalimentación y puntos de inflexión.

Forzamientos:

Los impulsores iniciales del clima:

- Irradiación solar
- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Aerosoles, polvo, humo y hollín

Retroalimentación: Procesos que pueden amplificar o disminuir los efectos de los forzamientos climáticos:

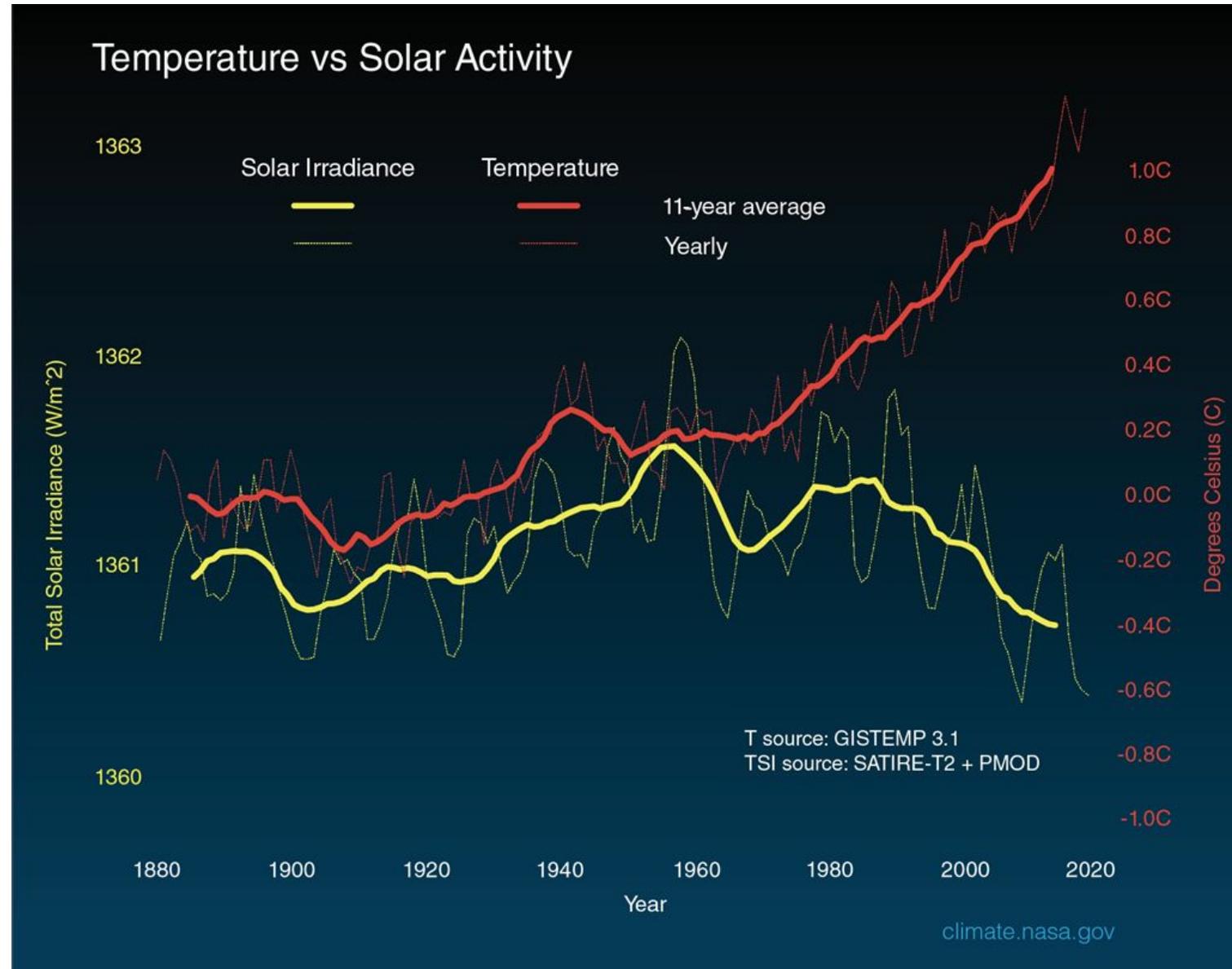
- Nubes
- Precipitación
- Enverdecimiento de los bosques
- Albedo del hielo

Puntos de inflexión del clima: Cuando el clima de la Tierra se mueve bruscamente entre estados relativamente estables.

- Circulación oceánica
- Pérdida de hielo
- Liberación rápida de metano

El impacto de la actividad solar en el clima

La cantidad de energía solar que recibe la Tierra ha seguido el ciclo natural de 11 años del Sol sin que haya habido un aumento neto desde la década de 1950. Durante el mismo periodo, la temperatura global ha aumentado notablemente. Por lo tanto, es extremadamente improbable que el Sol haya causado la tendencia de calentamiento de la temperatura global observada en el último medio siglo.



Gases de efecto invernadero (GEI)

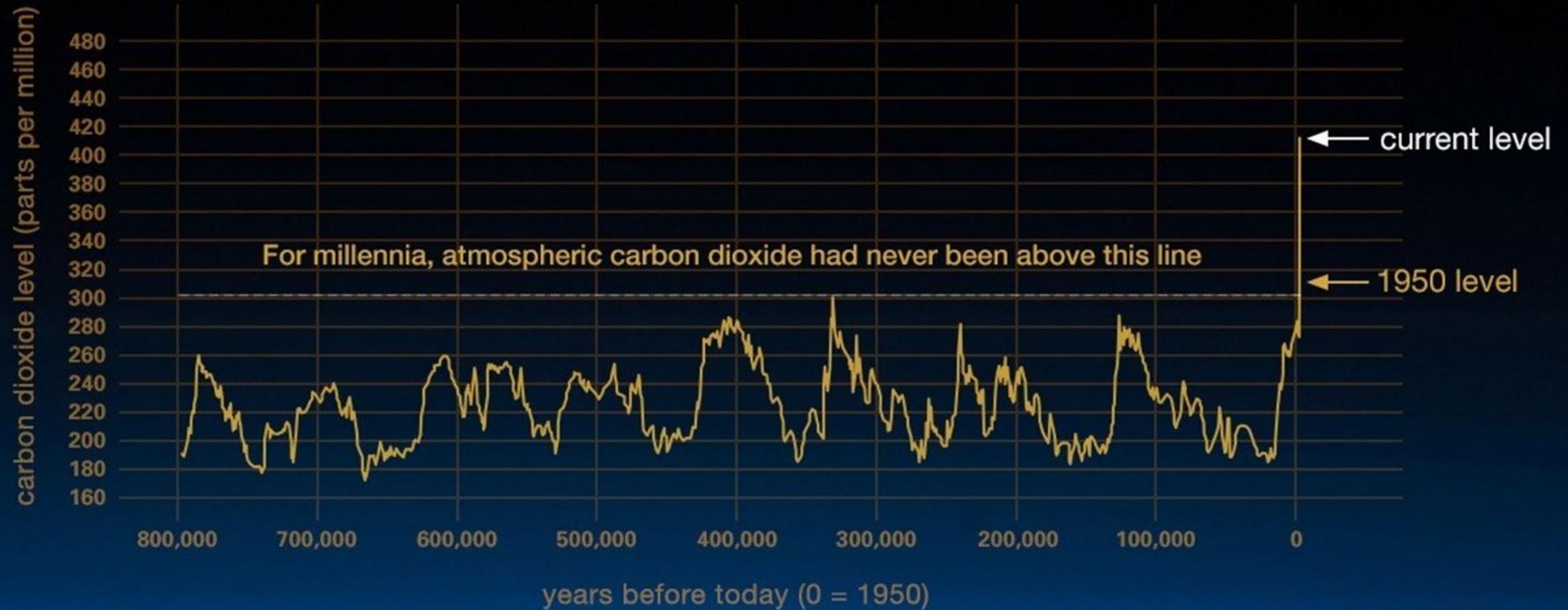
- [Dióxido de carbono \(CO₂\)](#): El dióxido de carbono ingresa a la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo), residuos sólidos, árboles y otros materiales biológicos.
- [Metano \(CH₄\)](#): El metano se emite durante la producción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo. También se generan emisiones de metano en prácticas ganaderas y otras prácticas agrícolas
- [Óxido nitroso \(N₂O\)](#): El óxido nitroso se emite durante actividades agrícolas e industriales, en la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos y también durante el tratamiento de aguas residuales.
- [Gases fluorados](#): Los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos, el hexafluoruro de azufre y el trifluoruro de nitrógeno son gases de efecto invernadero sintéticos y potentes que se emiten en diversos procesos industriales.

El efecto de cada gas sobre el cambio climático depende de tres factores principales:

- **Concentración en la atmósfera**
- **Tiempo de permanencia en la atmósfera**
- **Tipo de GEI**

[Inventario de emisiones y disipadores de gases de efecto invernadero en EE.UU.: 1990-2017.](#)

Cambio climático: ¿cómo lo sabemos?



Evidencias del Cambio Climático

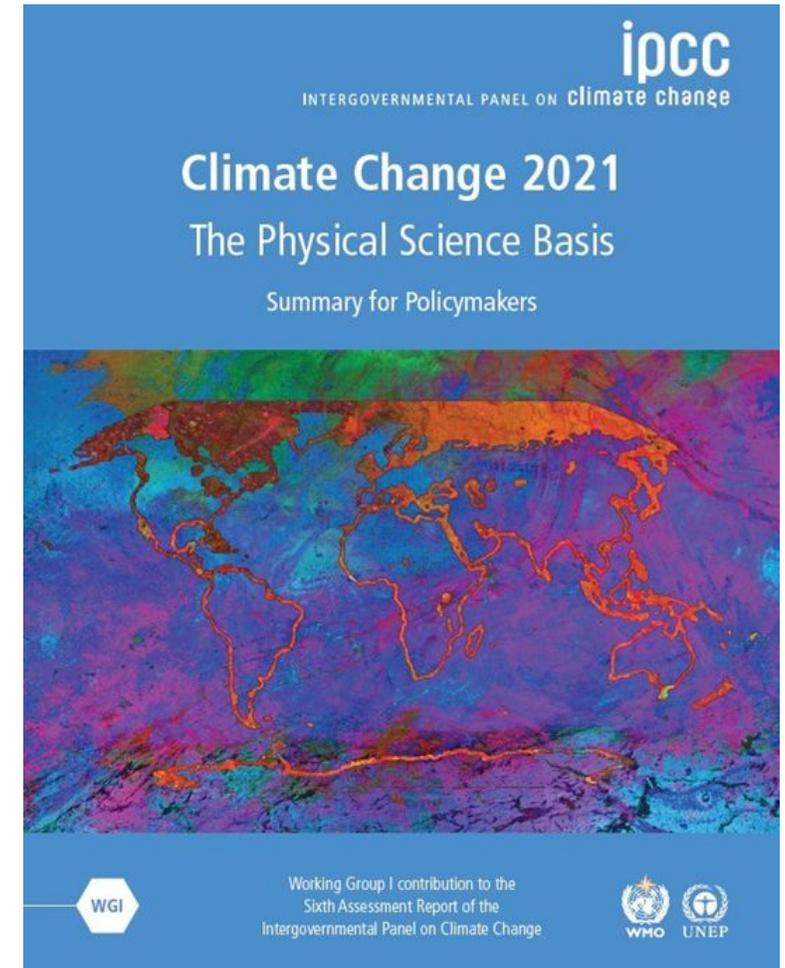
<https://climate.nasa.gov/evidence/>

- Aumento de la temperatura global
- Calentamiento de los océanos
- Derretimiento de capas de hielo (Artico y Antártico)
- Retroceso de los glaciares de montaña
- Disminución de la cubierta de nieve
- Aumento del nivel del mar
- Eventos climáticos extremos
- Acidificación de agua del mar
- Decoloración de los corales

Video Calentamiento global

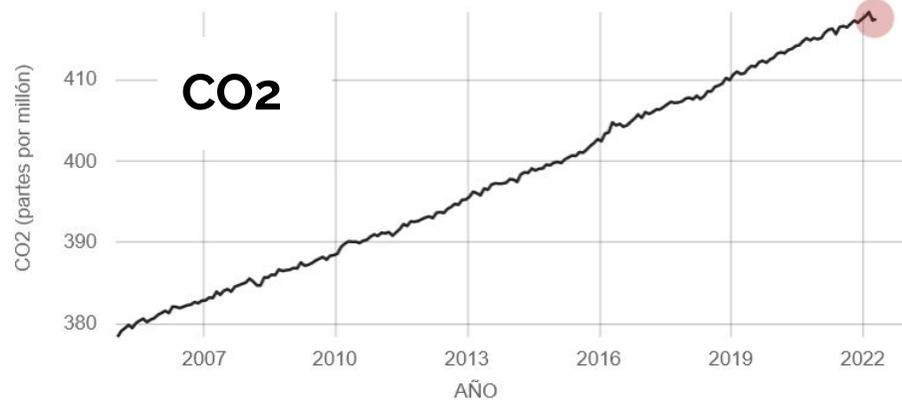
<https://www.youtube.com/watch?v=haBG2IlbwA>

<https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>



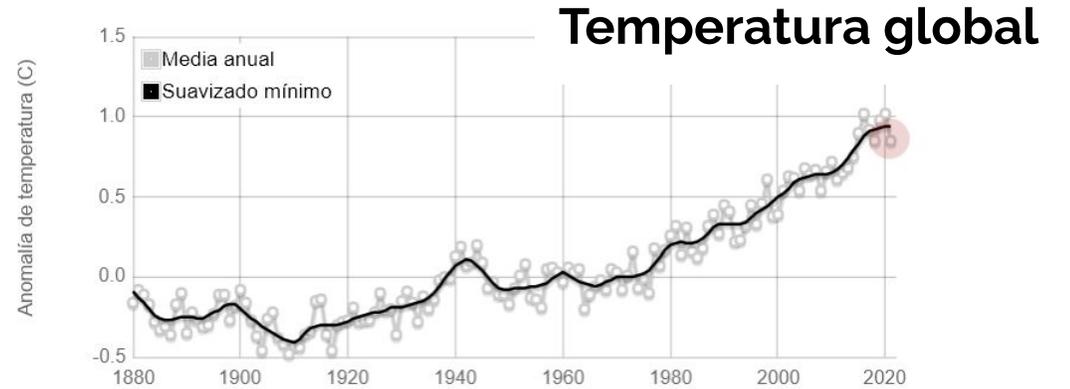
MEDICIONES DIRECTAS: 2005-ACTUALIDAD

Fuente de datos: mediciones mensuales (se elimina el ciclo estacional promedio). Crédito: NOAA



ÍNDICE DE TEMPERATURA GLOBAL TIERRA-OCEANO

Fuente de datos: Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA. Crédito: NASA/GISS

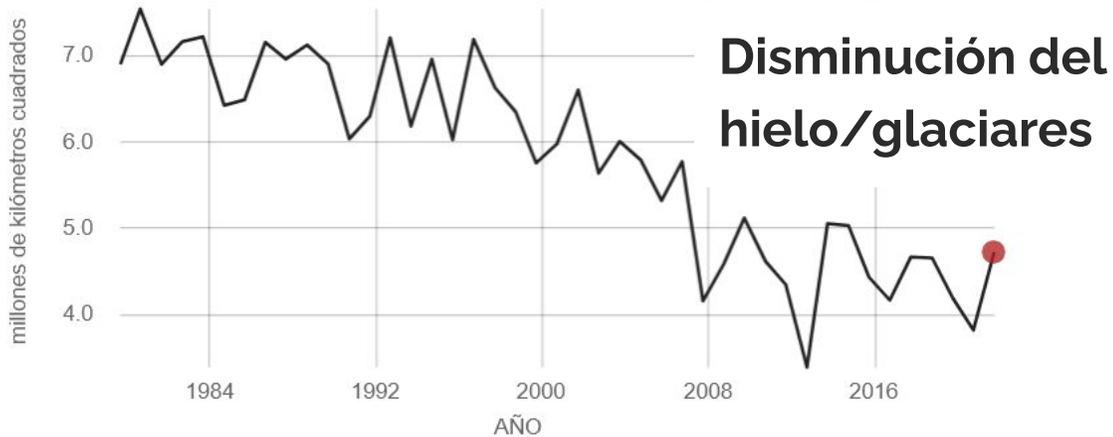


EXTENSIÓN MÍNIMA ANUAL DE SEPTIEMBRE

Fuente de datos: Observaciones satelitales. Crédito: NSIDC /NASA

TASA DE CAMBIO

↓ 13.0
por ciento por década



DATOS DEL SATÉLITE: 1993-PRESENTE

Fuente de datos: Observaciones satelitales del nivel del mar. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA

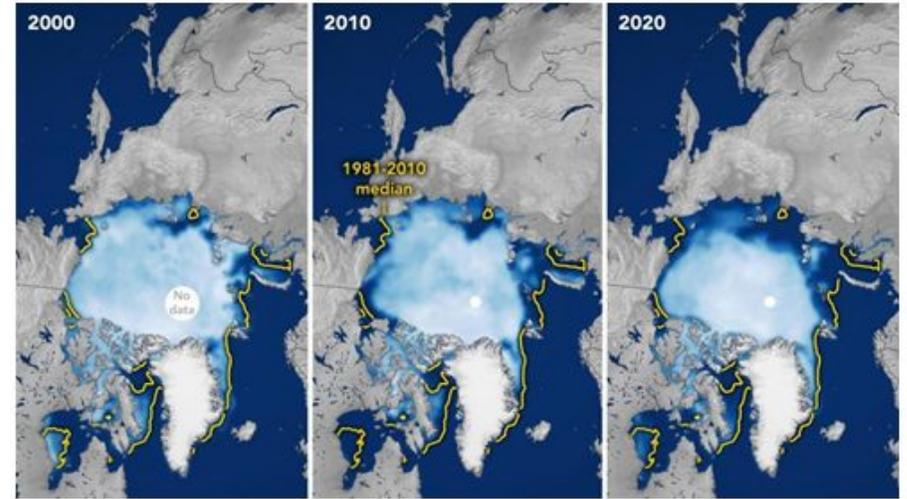
AUMENTO DESDE 1993

↑ 100.8
milímetros



CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

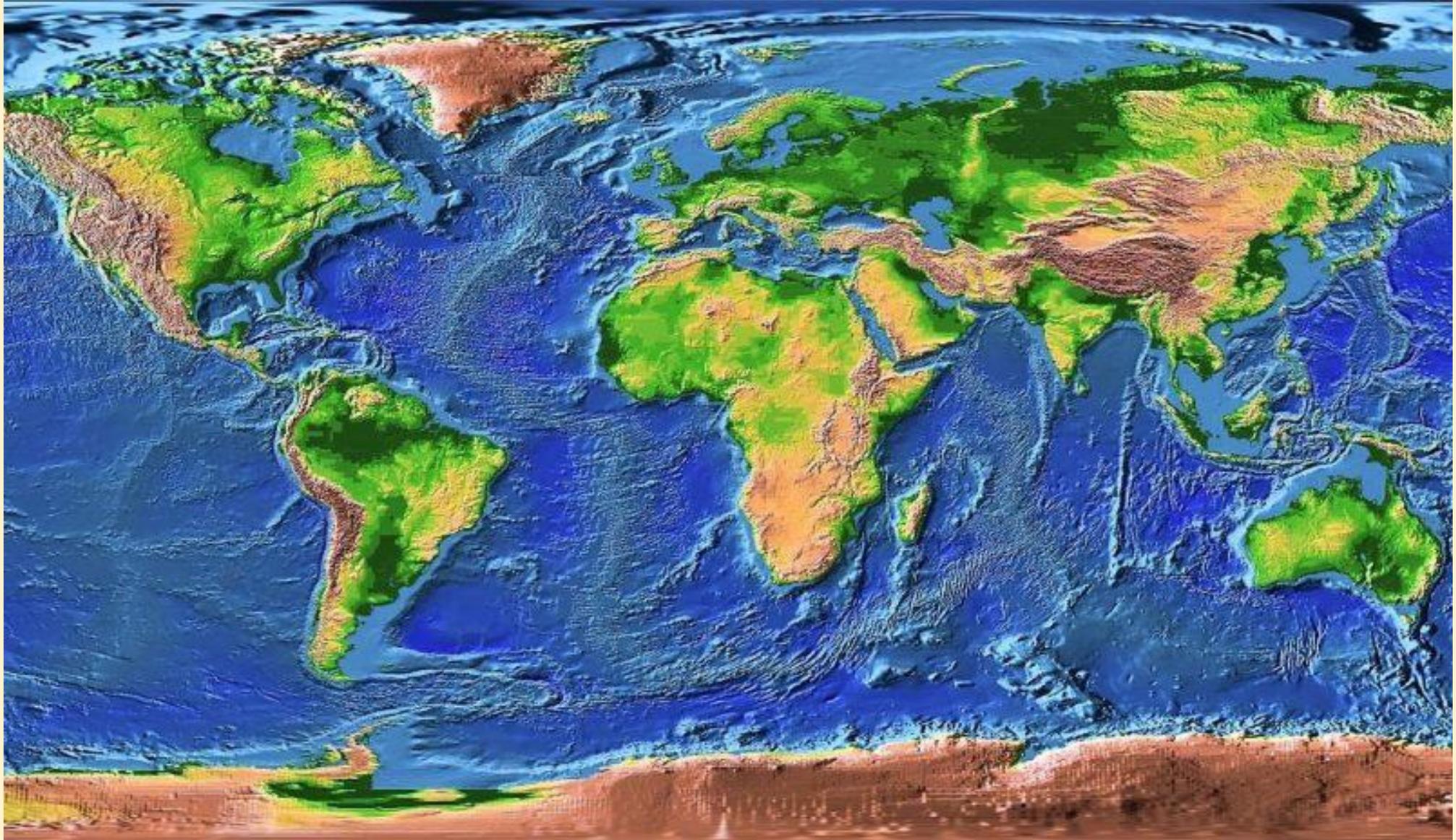
- Deshielo y aumento del nivel del mar.
- Condiciones meteorológicas extremas: aumento de las precipitaciones en determinadas regiones y aridez en otras.
- Deforestación/Desertificación.
- Otro problema relacionado es la expansión urbana descontrolada, la cual se presenta cuando la tasa de cambio del uso del suelo supera la tasa de crecimiento demográfico.



Alemania, Renania del Norte-Westfalia, Julio 2021

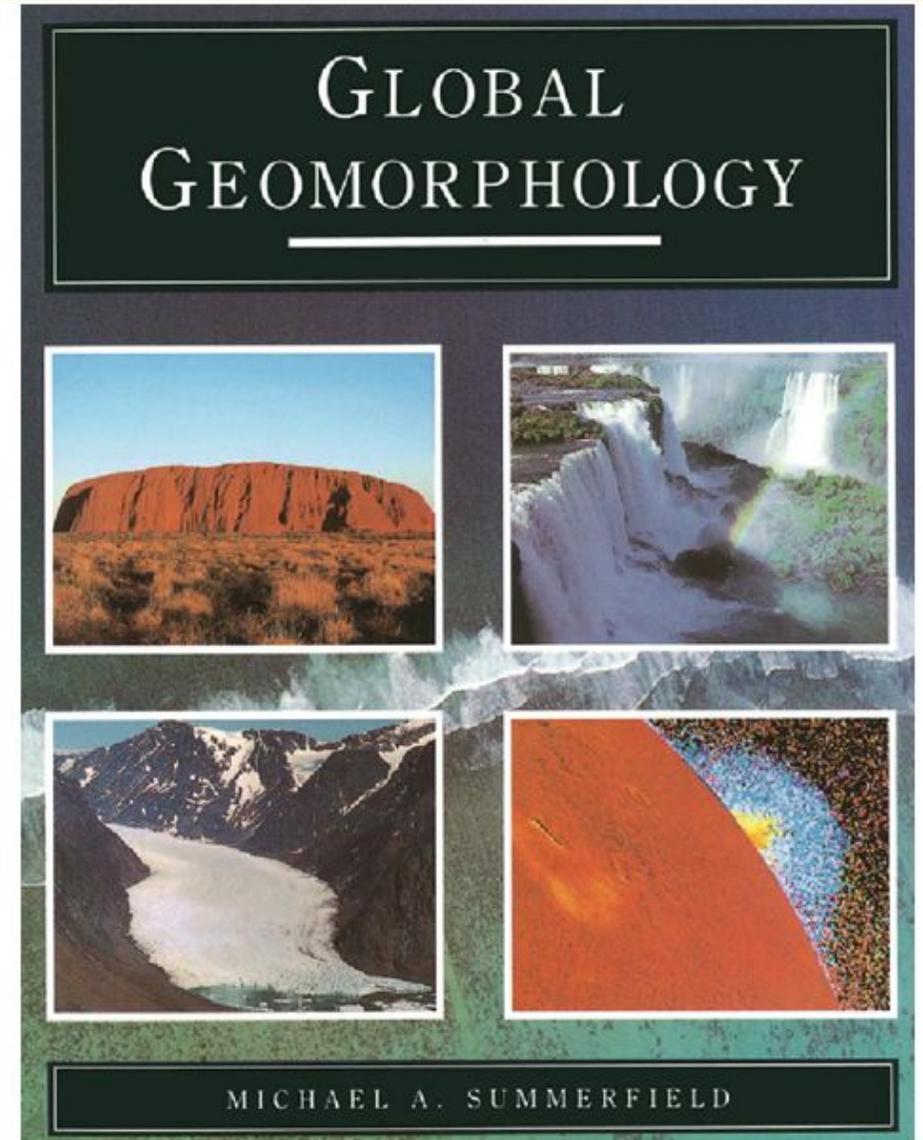
- Fuertes transformaciones del paisaje debido a la intensa actividad antrópica y los cambios climáticos globales.
- Pérdida de geodiversidad y biodiversidad.
- Degradación ambiental continua.
- Reducción de la salida de las cuencas fluviales, riesgo de inundaciones en áreas pobladas.
- Cabe resaltar que los impactos generados por el cambio climático no afectan a la población por igual. En este sentido, los que más afectación perciben son los sectores o comunidades más vulnerables.

Geomorfología global



1. Geomorfología global y cambio climático

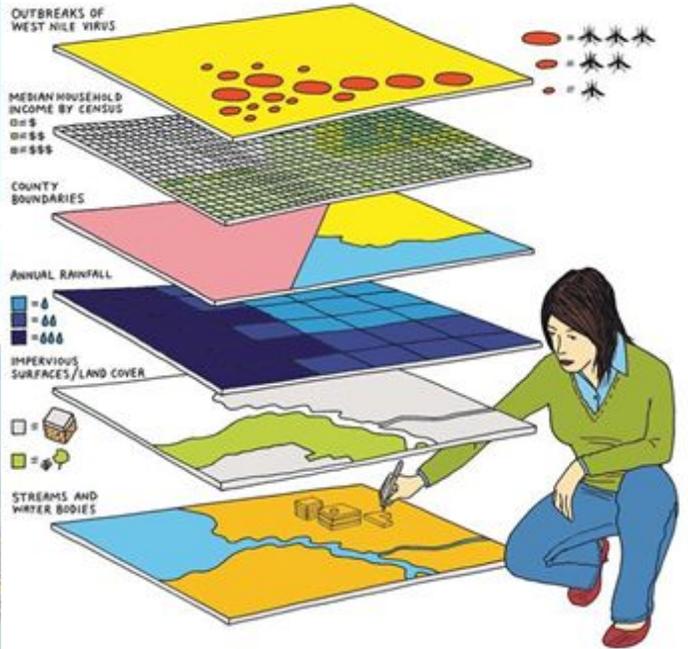
- La Geomorfología es una ciencia **GLOBAL**, las formas del relieve terrestre son el resultado de la actividad de procesos geomórficos sobre una estructura geológica durante un periodo de tiempo muy variado, a diferentes escalas temporales.
- El relieve de todo el planeta es consecuencia de una interacción compleja entre:
 - ➔ Sustrato rocoso
 - ➔ Disposición estructural
 - ➔ Clima
 - ➔ Actividad biológica
 - ➔ Procesos geomórficos
 - ➔ Tiempo
- A partir del relieve actual, en el que los restos de otras morfologías y depósitos dan lugar a un paisaje palimpsesto, donde gran parte de la información ha desaparecido.
- Este tipo de análisis requiere un manejo de grandes bases de datos y la integración con diversas disciplinas, por ello se emplean técnicas novedosas ligadas a los sensores remotes y SIG.



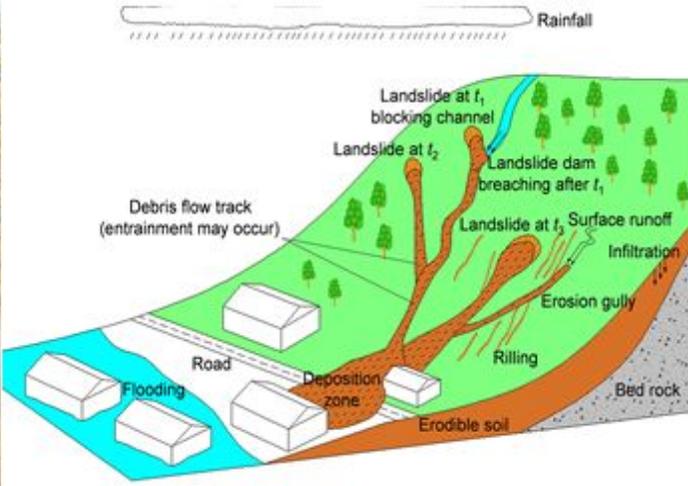
García-Ruiz, J. M. (2015). Why geomorphology is a global science.

PREMISAS GEOMORFOLOGÍA GLOBAL

- ✓ La geomorfología es un sistema complejo cuyos elementos están interconectados y funcionan como un todo complejo.
- ✓ El paisaje es la consecuencia de una combinación de geformas, vegetación, clima y actividad humana como principales impulsores.

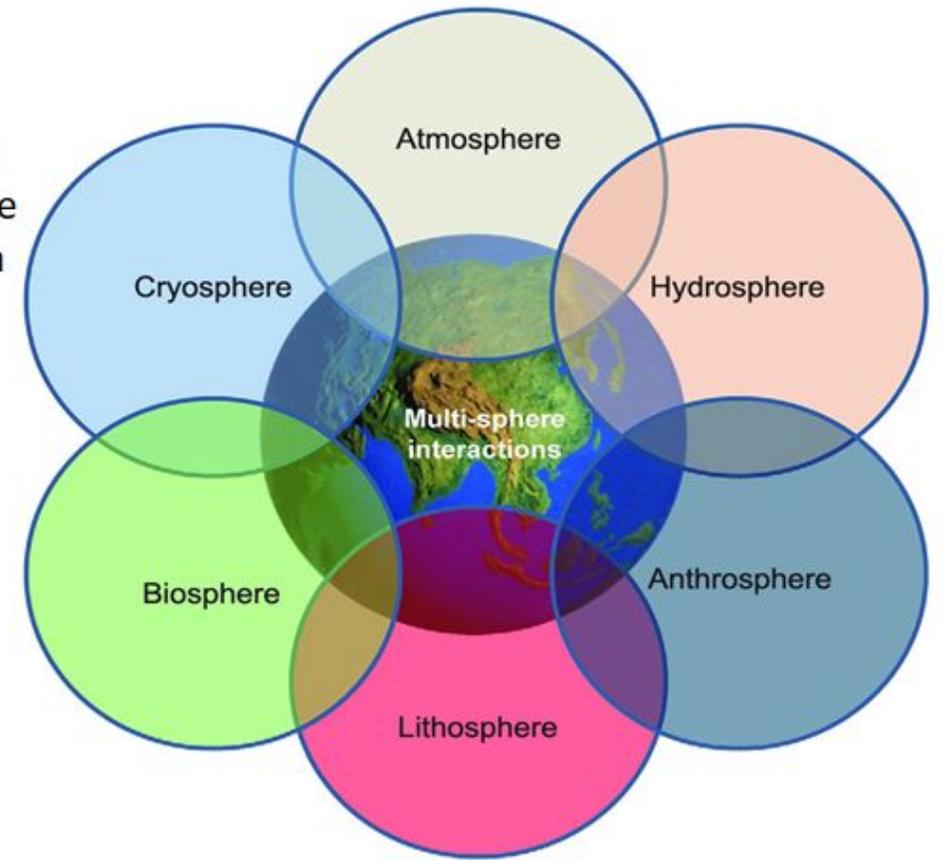
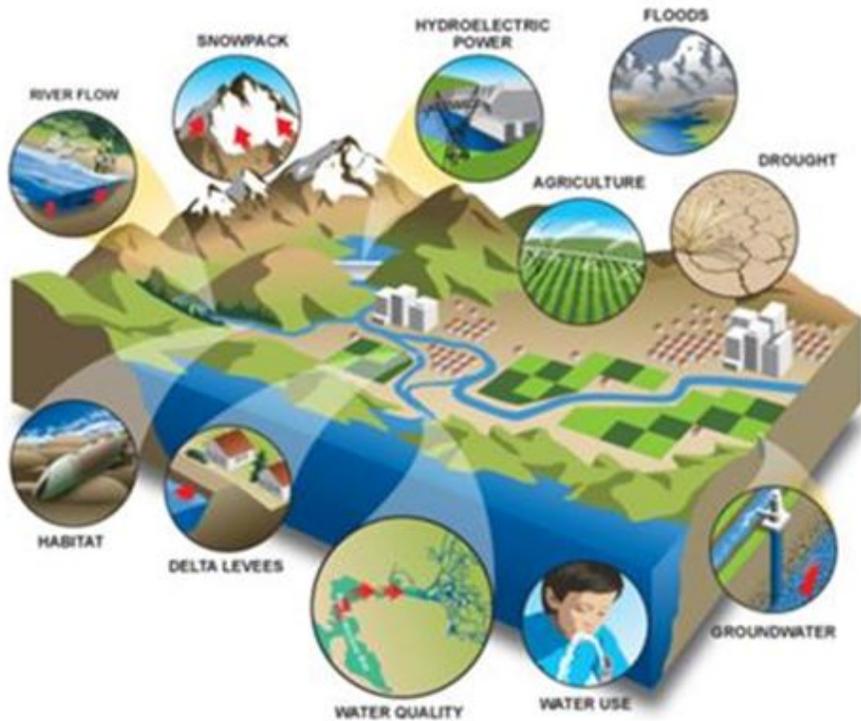


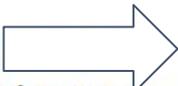
- ✓ La geomorfología tiene un componente histórico que involucra el estudio del desarrollo de los paisajes, particularmente durante el Cuaternario.
- ✓ Los geomorfólogos deben adoptar un enfoque temporal para su análisis, que incluya el uso de recursos paleoclimáticos y paleoecológicos.



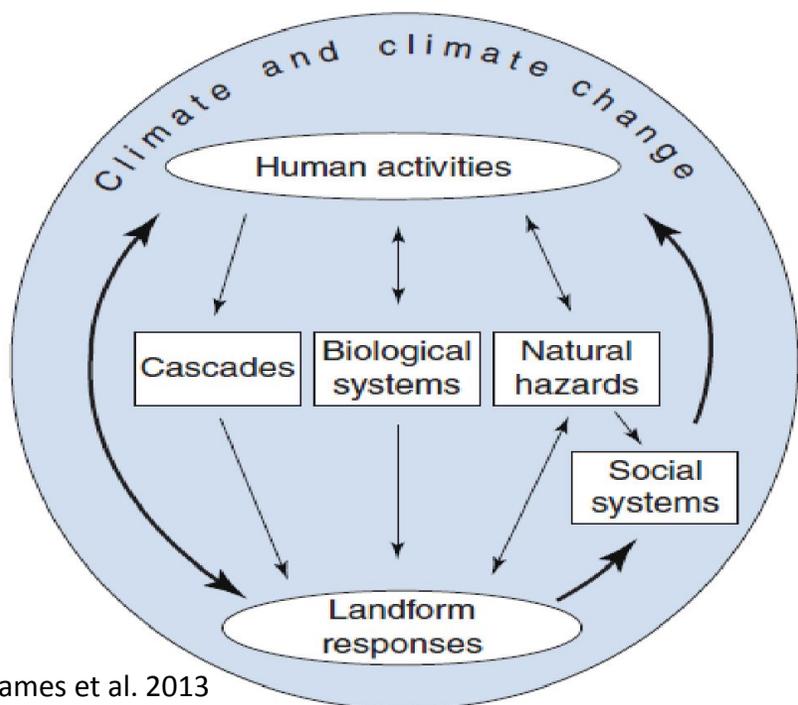
PREMISAS GEOMORFOLOGÍA GLOBAL

- ✓ El estudio de los problemas geomórficos contemporáneos requiere un enfoque global, considerando la geomorfología “como una ciencia holística, cronológica e integradora basada en el campo, que es parte integral del estudio de un planeta dinámicamente vibrante” (Baker & Twidale, 1991; García-Ruiz, 2015).
- ✓ La geomorfología es una ciencia global que se basa (principalmente) en observaciones de campo, y que implica cada vez más el uso de técnicas de laboratorio e informáticas.

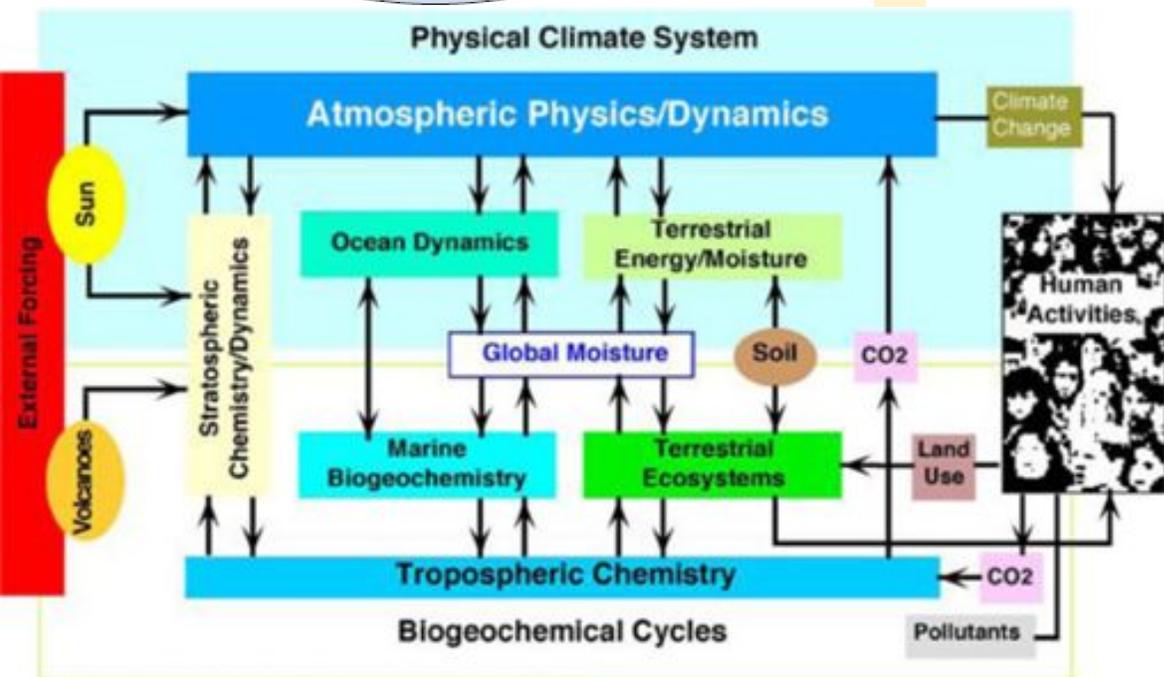


- ✓ En consecuencia, es una ciencia muy compleja en el centro del cambio climático-ambiental.
- ✓ La naturaleza ignora totalmente nuestra división en ramas del conocimiento, que es solo el resultado de una conveniencia inventada por los científicos.
- ✓ La geomorfología debe ser global  para contribuir desde las distintas perspectivas a la interpretación del paisaje.

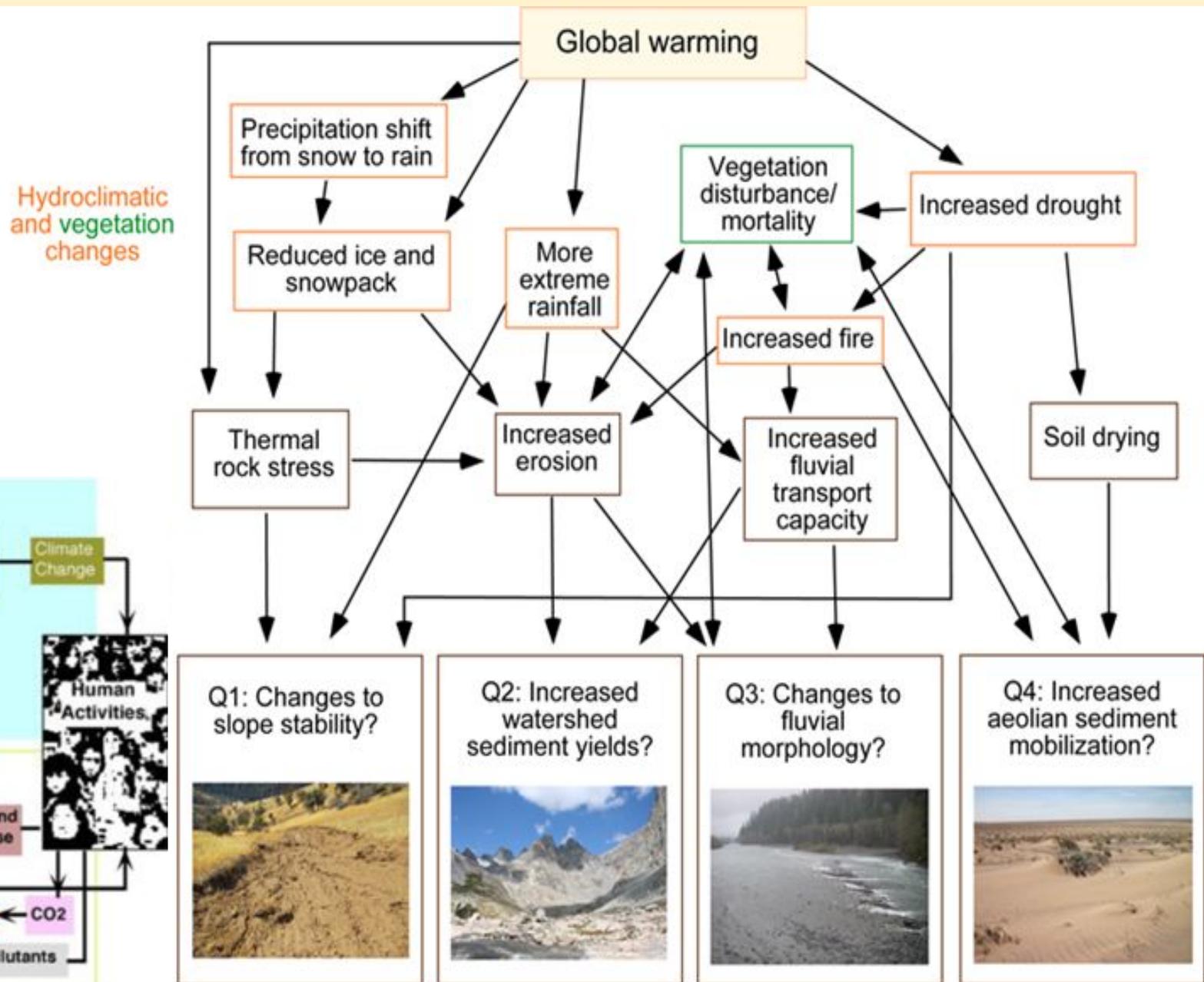
Geomorfología global y cambio climático



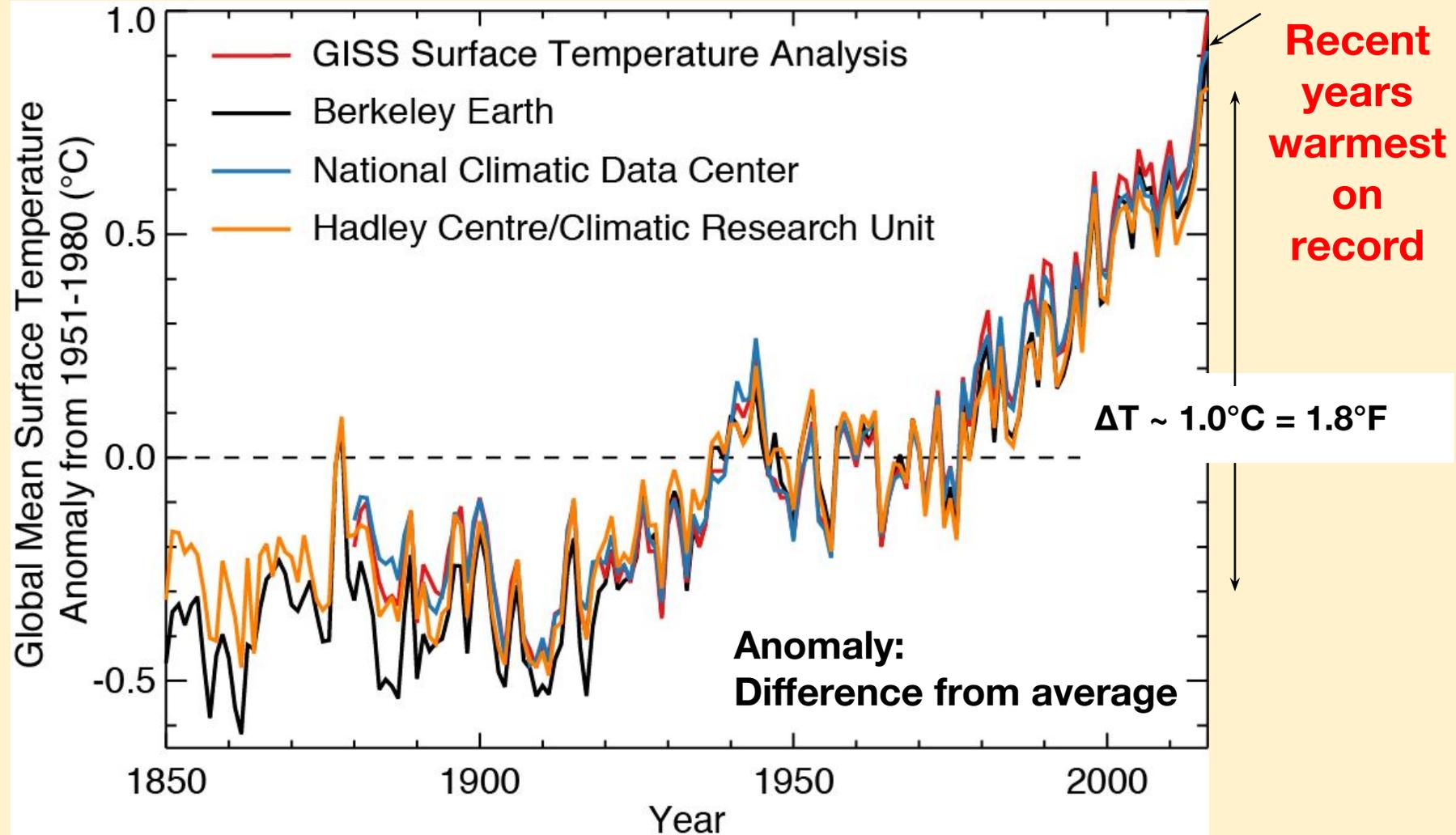
James et al. 2013



(from Earth System Science: An Overview, NASA, 1988)



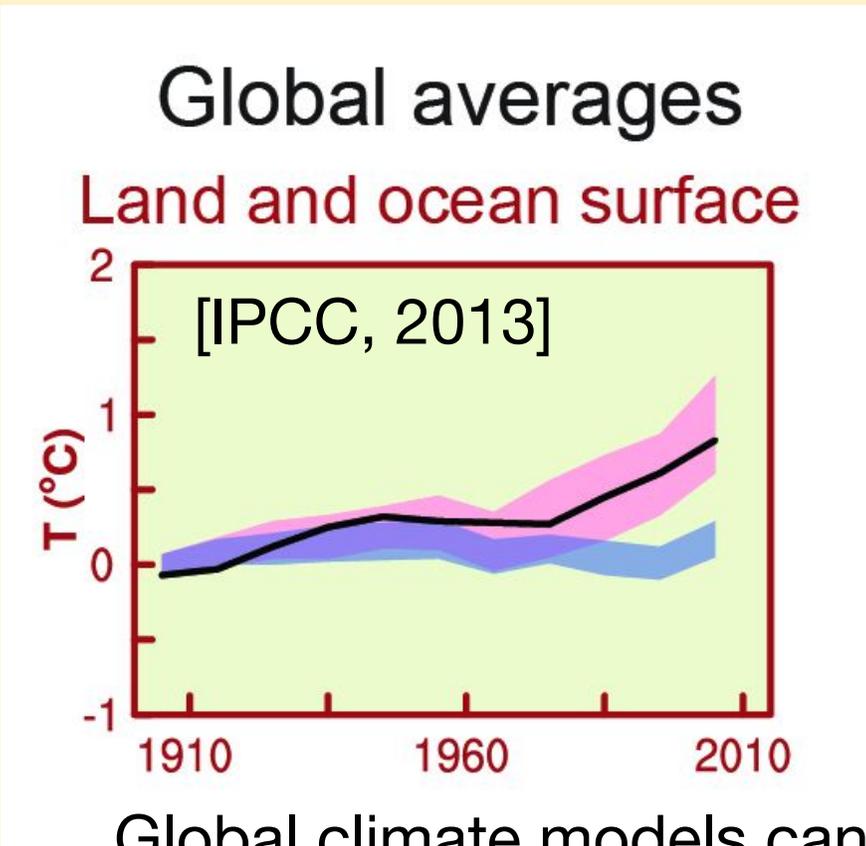
Warming is Unequivocal



Independent analyses of observations agree: **Earth is warming**

□ **Global Warming**

Attributing Climate Change



Observations



Model input = Natural drivers



Model input = Natural +
anthropogenic drivers

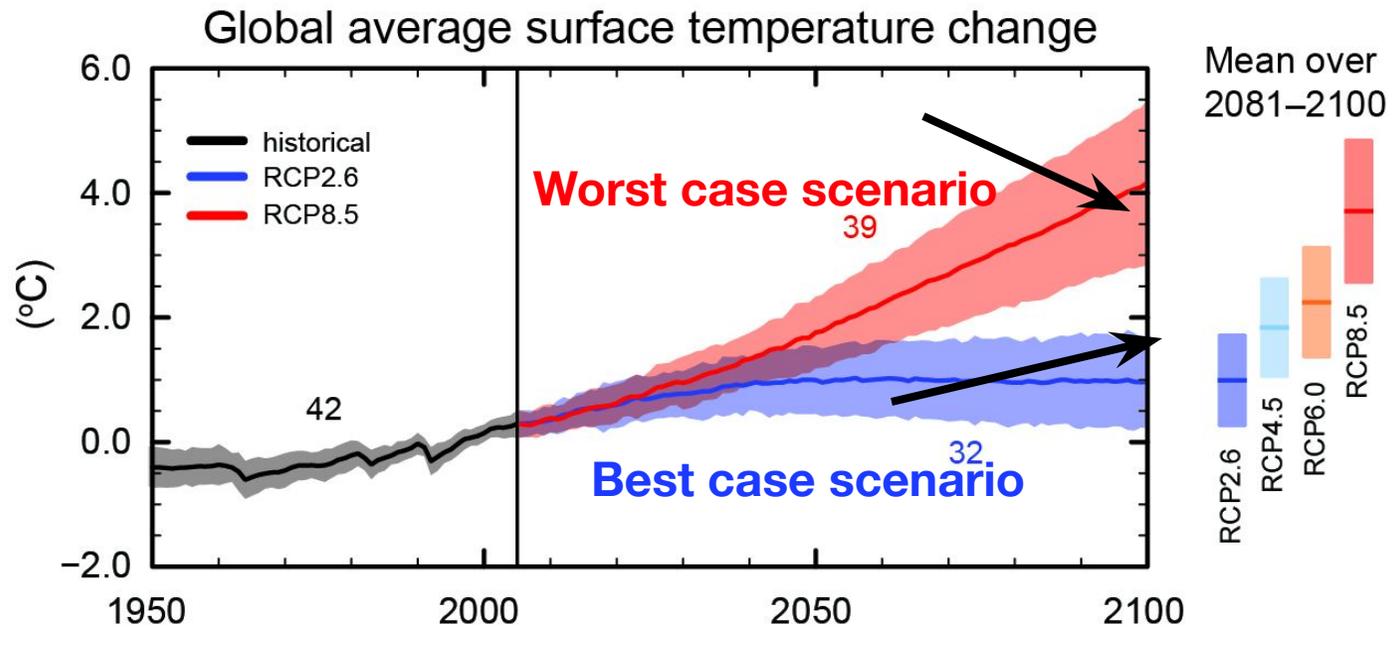


Global climate models cannot reproduce observations without incorporating anthropogenic CO₂ emissions

Additional observational analyses have found the climate change “fingerprint” of anthropogenic CO₂ emissions

The Evidence is In: Earth's Climate is Changing

En los próximos 40 años, la **temperatura del planeta** irá aumentando hasta alcanzar una suba de entre **1,4° C** y **3° C** promedio. Sino se mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero pronto, la evolución del calentamiento global será muy rápida y nos encontrará a mitad de siglo con **temperaturas** extremas.



[IPCC, 2020]

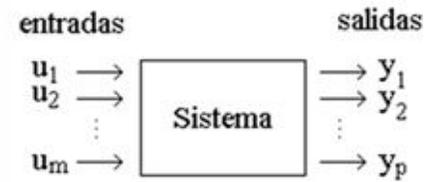
- The climate is changing
- Climate change is anthropogenic
- Regulating CO₂ is the only way to mitigate future changes

Las **temperaturas en los próximos cinco años** pueden alcanzar **hasta 1,5° C** por encima de los niveles preindustriales, el límite establecido por los científicos para evitar terribles consecuencias sobre la vida humana y los ecosistemas. En algunas partes de la tierra será más seco de lo normal, en otras más lluvioso. Se necesita una acción climática urgente y sostenida, advierten los expertos de las Naciones Unidas que recuerdan que **la reducción de emisiones a causa del COVID-19 no es ni será suficiente.**

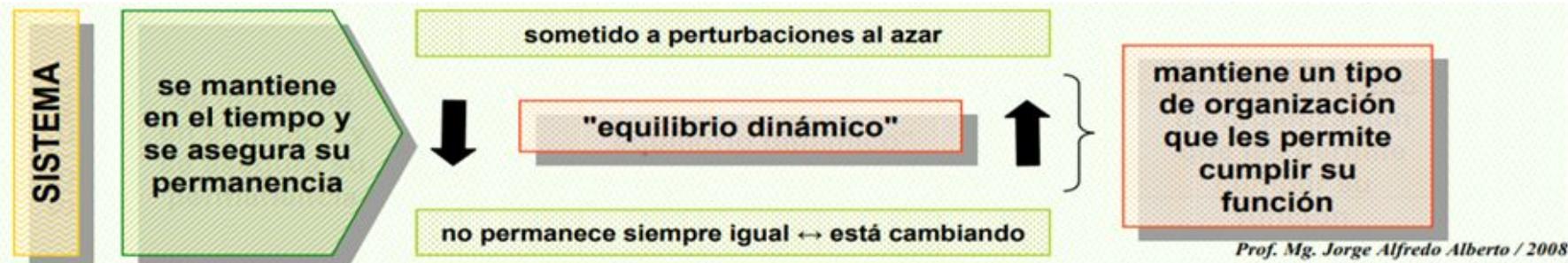
2. Sistemas geomórficos

Concepto de Sistema:

- ¿Qué es un sistema?
- Combinación de componentes que actúan interconectados, para cumplir un determinado objetivo.
- ¿Cómo se representa un sistema?
- Como un rectángulo o caja negra y variables que actúan sobre el sistema. Las flechas que entran (u , excitaciones o entradas). Las flechas que salen (y , variables producidas por el sistema o salidas).



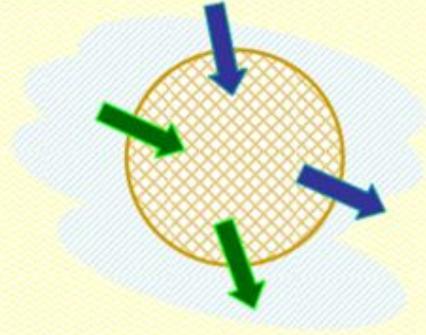
- ❖ Esta formado por una combinación de elementos o variables estructuradas, interdependientes, con conexión entre sí, que actúan conjuntamente como un todo complejo.
- ❖ Características comunes: presentan algún tipo de estructura u organización tanto en su conjunto como entre las unidades.
- ❖ Ofrecen algún grado de integración Todos muestran con mayor o menor extensión, generalizaciones, abstracciones o idealizaciones del mundo real.
- ❖ Funcionan. El funcionamiento implica flujos y transferencias de algún material y requiere la presencia de alguna fuerza conductora o fuente de energía.
- ❖ Tiene una finalidad, cumple una función concreta. Todo sistema recibe influencias del ambiente en el que se encuentra. El sistema influye en el ambiente que le rodea. Genera productos.
- ❖ Los productos que el sistema envía al ambiente provocan una respuesta (retroalimentación) del ambiente sobre el sistema. De esta forma el sistema es "informado" de la repercusión que han tenido los productos que ha generado.



TIPO DE SISTEMAS

SISTEMAS ABIERTOS

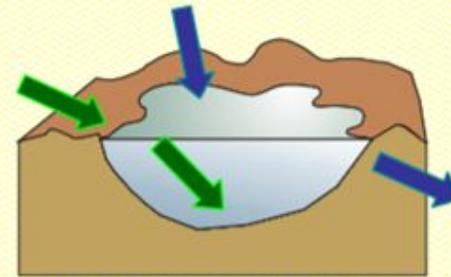
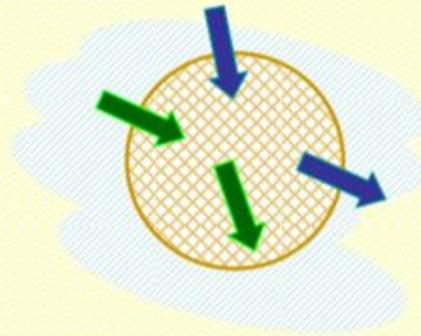
Se producen entradas y salidas de materia y energía.



En una ciudad entra y sale energía, entra materia y salen desechos y productos manufacturados.

SISTEMAS CERRADOS

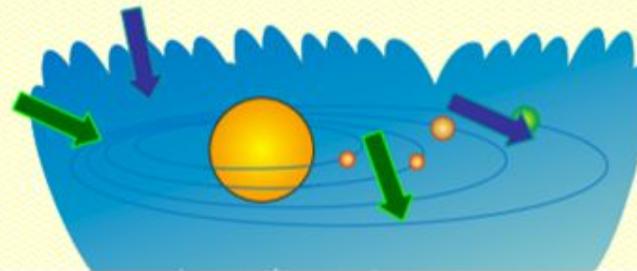
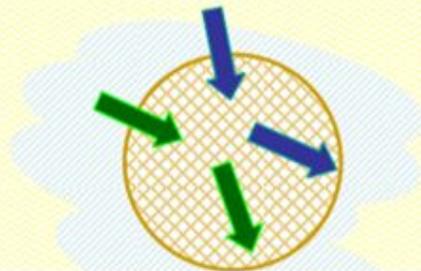
No existen intercambios de materia, pero si de energía.



En un charco entra energía solar y sale calor, pero la materia se recicla.

SISTEMAS AISLADOS

No existen intercambios de materia ni de energía.



No existen modelos aislados. Son modelos desarrollados para el manejo matemático como por ejemplo el sistema solar y sus planetas.

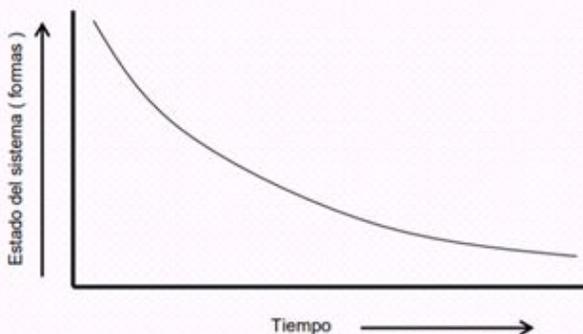
Equilibrios de los sistemas

Equilibrio

- Implica la existencia de balances entre los sistemas y sus entornos.
- Refleja los estados de los sistemas.
- Solo puede ser expresado con referencia a las direcciones del cambio en escalas de espacio y tiempo.

Equilibrio inestable o en declive

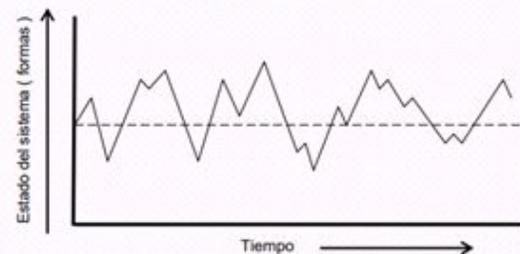
Expresa el cambio lento y sostenido del estado de las formas a través del tiempo. Ej. Penillanura como estadio final de los procesos de denudación de los relieves montañosos.



Prof. Mg. Jorge Alfredo Alberto / 2008

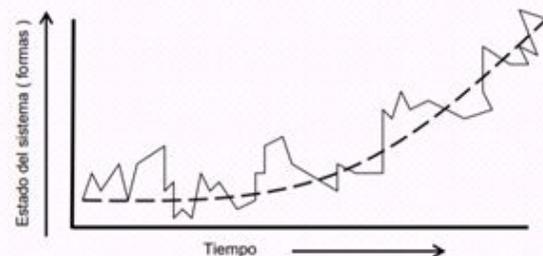
Equilibrio estable

Las formas oscilan sobre un valor medio estable a modo de fluctuaciones o movimiento pendular. 1. En el interior del sistema y en el tiempo no se registran cambios importantes materia y energía. 2. Las entradas y salidas son iguales. Ej. Selva o Desierto.



Equilibrio dinámico

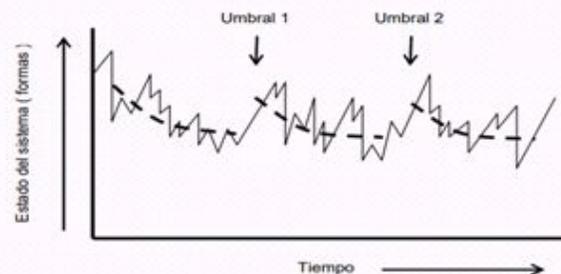
Las condiciones del sistema oscilan alrededor de un valor medio que tiende a mantener una trayectoria permanente y continua a través del tiempo. Esta tendencia es debida a cambios o fluctuaciones en los controles de las entradas y salidas, donde no hay ni ganancias ni pérdidas, permaneciendo en equilibrio. Ej. Curso fluvial que presente períodos alternantes.



Prof. Mg. Jorge Alfredo Alberto / 2008

Equilibrio dinámico metaestable

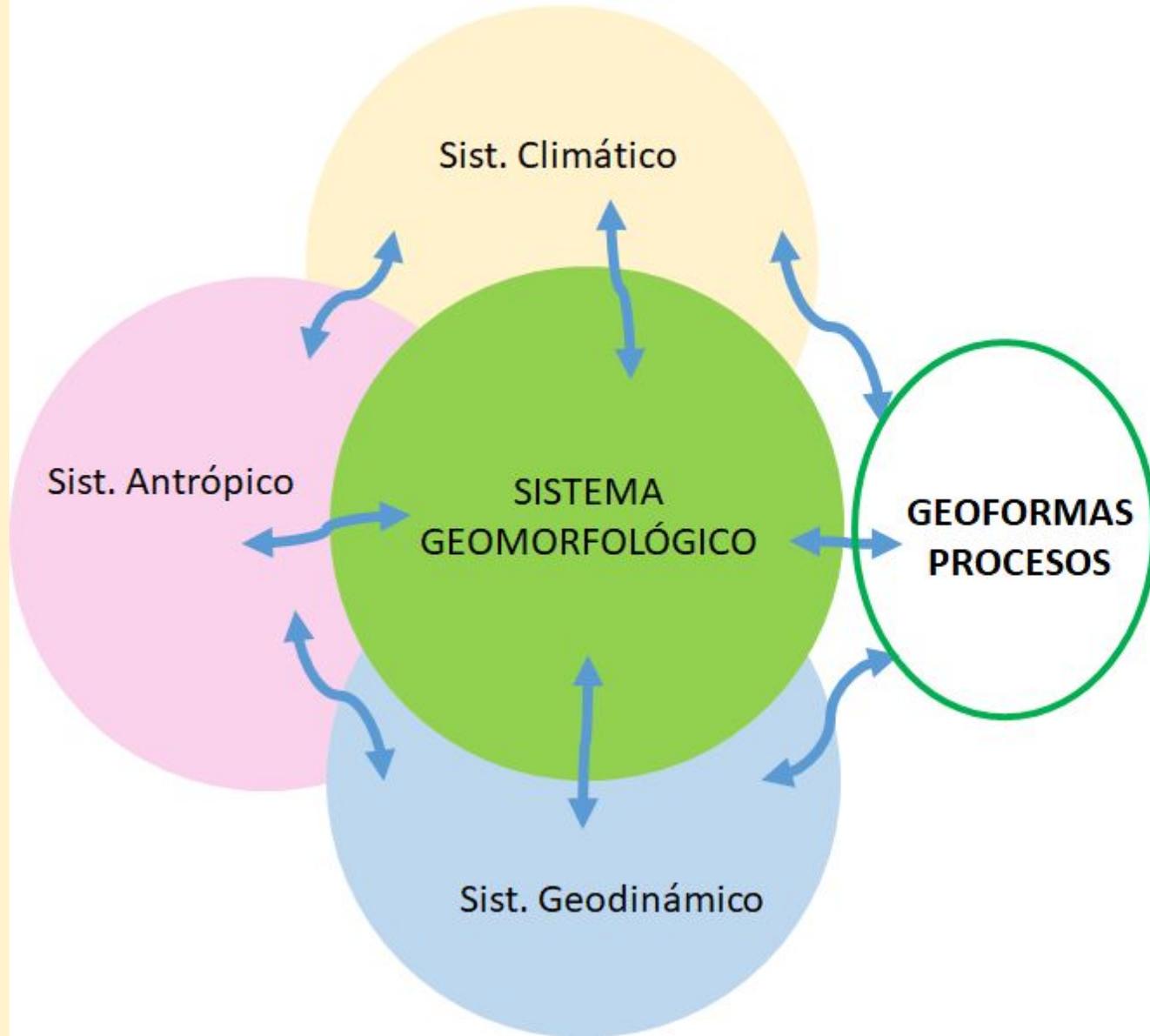
Se registran oscilaciones sobre un valor medio con tendencia a mantener una dirección sostenida en el tiempo, pero sujeto a discontinuidades o saltos, conocidos como **efecto umbral**, estos saltos originan repentinos cambios de formas o de estados del sistema. Ej. Cursos de aguas que ofrezca cambios súbitos en procesos de erosión aguas arriba y abajo por levantamientos o hundimientos neotectónicos discontinuos en el tiempo.



Los sistemas en equilibrio manifiestan la cantidad de masa transferida, los diferentes niveles de energía liberada y la permanencia de las formas originadas.

Prof. Mg. Jorge Alfredo Alberto / 2008

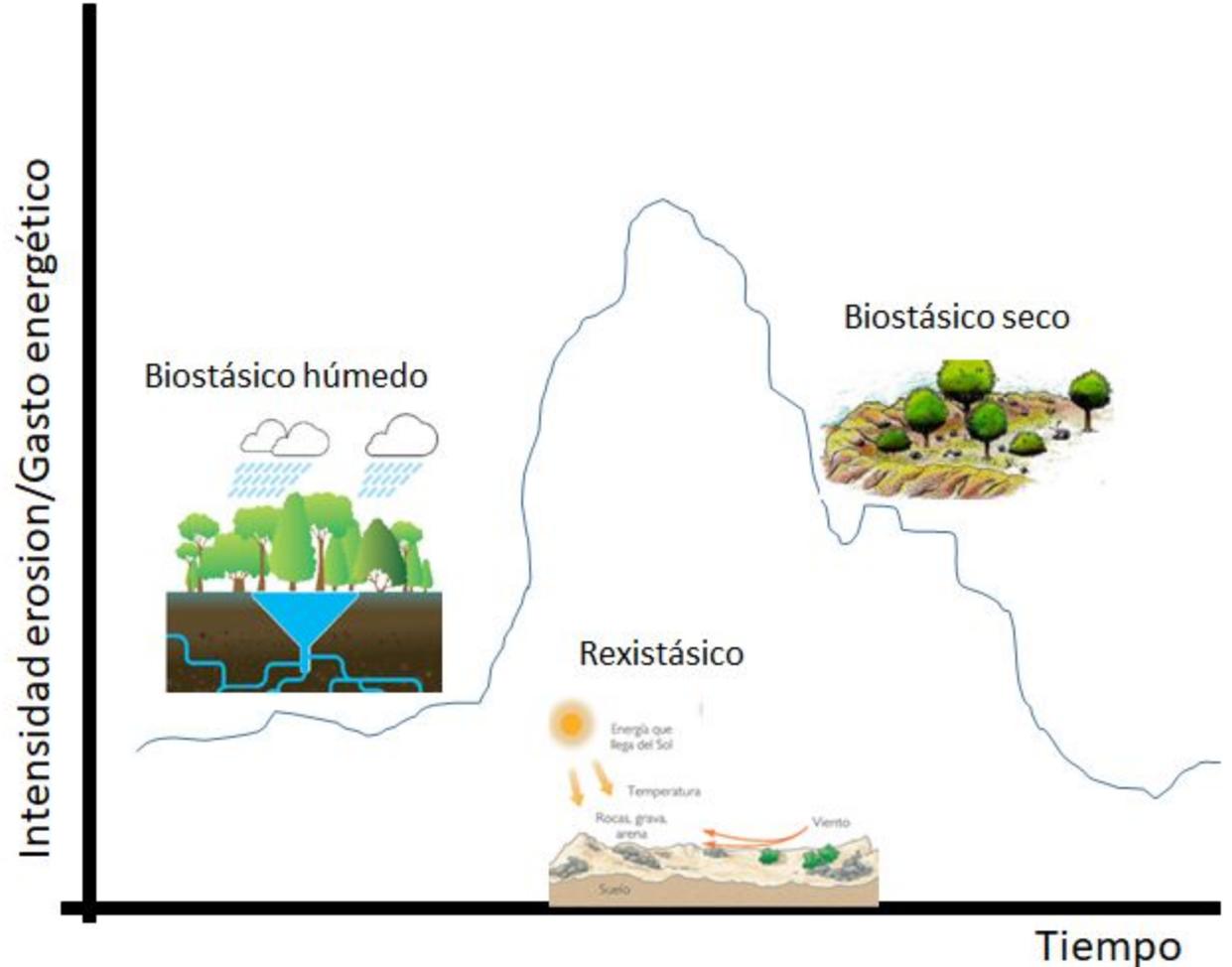
COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS



Un **sistema geomórfico** es un **sistema abierto** que tiene por objeto el estudio de los accidentes geográficos y paisajes en el contexto de la interpretación de procesos terrestres tanto endógenos como exógenos. Este sistema **se interrelaciona con 3 macrosistemas: Antrópico, Climático, Geodinámico**, que lo ponen en movimiento con procesos de retroalimentación generando formas y procesos en el relieve terrestre.

Sistemas geomórficos

El concepto de sistema geomórfico es muy amplio, puntualmente nos centramos en entender que los elementos que lo conforman, que conectan un enfoque teórico-conceptual y territorial, llevan a la comprensión de una evolución dinámica-cíclica constante en el espacio terrestre, así como exponer las primeras nociones de una nueva corriente que relacione las nociones teóricas-sistémicas funcionales con una fundamentación aplicada denominada geomorfología del paisaje visto como un binomio complementario e indisoluble.



3. Detección de cambios geomorfológicos y geomorfométricos

Los cambios del relieve se deben a

- procesos geodinámicos - tanto externos como interno
- cambio climático
- intervención humana

- La dinámica de estos procesos se puede manifestar como un lento y progresivo cambio o como modificaciones importantes del relieve.
- Los cambios geomorfológicos se pueden considerar como modificaciones de la geometría del relieve.

La **GEOMORFOMETRIA**

- ciencia del análisis cuantitativo del relieve
- ciencia multidisciplinar con base en la geología, la geomorfología, la topografía, la matemática y otras diversas ramas de conocimiento.
- cuyo objeto es el estudio del terreno y la parametrización de sus características es, por tanto, pieza fundamental del análisis geográfico

Para abordar los cambios geomorfológicos y geomorfométricos de un territorio es necesario recurrir a distintas herramientas y confrontar información temporal para detectarlos.

4. Incertidumbre geomorfológica

La **incertidumbre** se refiere a anomalías epistémicas que implican información imperfecta o desconocida. Se aplica a las predicciones de eventos futuros, a las mediciones físicas que ya se han realizado o a lo desconocido. La incertidumbre surge en entornos parcialmente observables y / o estocásticos, así como debido a la ignorancia, la indolencia o ambas. Surge en cualquier número de campos, incluyendo filosofía, economía, psicología, ingeniería, ciencias naturales, entre otras.

Incertidumbre: falta de certeza, un estado de conocimiento limitado donde es imposible describir exactamente el estado existente, un resultado futuro o más de un resultado posible.

Medida de incertidumbre: estadísticamente; un conjunto de posibles estados o resultados donde se asignan probabilidades a cada posible estado o resultado.

Riesgo: un estado de incertidumbre donde algunos resultados posibles tienen un efecto no deseado o una pérdida significativa.

Medida de riesgo: conjunto de incertidumbres medidas donde algunos posibles resultados son pérdidas y las magnitudes de esas pérdidas; esto también incluye funciones de pérdida sobre variables continuas.

<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/82>

Dra. Marta Alperin (FCNyM-UNLP).

INCERTIDUMBRE GEOMORFOLÓGICA: refiere a qué cuando se hacen análisis geomorfológicos los resultados obtenidos tienen un grado de incertidumbre que deben considerarse, de manera cualitativa/cuantitativa al interpretar los datos, y en particular al plantear eventuales escenarios futuros. La incertidumbre disminuye en función de la cantidad de datos de entrada disponibles.

- Comprender los impactos futuros del cambio climático en la estabilidad de la superficie terrestre, los flujos de sedimentos asociados con la erosión del suelo, la incisión de los ríos y la erosión costera son cruciales para evaluar su contribución al forzamiento climático a través de su relación con los procesos de meteorización/erosión y ciclo geoquímico.
- Sin embargo, existe una tendencia a asumir a medida que se entienden los procesos geomorfológicos individuales, las respuestas se pueden predecir con confianza.
- Cuando se utilizan proyecciones climáticas se supone implícitamente que la respuesta geomorfológica es predecible como consecuencia de una dada la proyección climática.
- Surge una pregunta: ¿hasta qué punto es este realmente es confiable/certero el escenario futuro que se plantea?
- Por lo que la respuesta a considerar debe incluir la **INCERTIDUMBRE como variable**, la naturaleza de la incertidumbre en las predicciones del clima y de las respuestas del sistema terrestre a cambio climático.
- La sensibilidad geomorfológica al forzamiento climático varía significativamente según al tipo de sistema geomorfo. Los resultados indican que los sistemas también pueden exhibir respuestas radicalmente diferentes a los mismos forzamientos; esto representa un incertidumbre similar a la que surge de la sensibilidad del valor inicial de muchos sistemas no lineales.

The dark art of interpretation in geomorphology / Brierley et al. 2021

- El proceso de interpretación del conocimiento se basa en interpretaciones que tiene profundas implicaciones en términos científicos y administrativos.
- La geomorfología no es una ciencia lineal de causa y efecto.
- Las complejidades e incertidumbres inherentes suscitan percepciones del proceso de interpretación en geomorfología como un proceso frustrante de brujería o hechicería, un arte oscuro.
- Los enfoques de interpretación cuidadosamente elaborados relacionan los conocimientos generales derivados del análisis de datos de teledetección con observaciones / mediciones de campo y conocimiento local para respaldar aplicaciones basadas en el lugar adecuadamente contextualizadas.
- Este trabajo desarrolla un enfoque cognitivo: Describir-Explicar-Predecir, para interpretar paisajes.



The dark art of interpretation in geomorphology / Brierley et al. 2021

- La explicación se basa en una descripción significativa, lo que respalda predicciones confiables, en un enfoque de múltiples líneas de evidencia.
- La interpretación transforma los datos en conocimiento para proporcionar evidencia que respalde un argumento en particular.
- En la **predicción** se presentan los mayores problemas de **INCERTIDUMBRE**. Aunque las aplicaciones de Big Data y aprendizaje automático generan un enorme potencial para transformar la geomorfología en una ciencia cada vez más predictiva y rica en datos, hay que considerar los peligros inherentes en permitir que las herramientas prescriptivas y sintéticas hagan el pensamiento, ya que interpretar las diferencias locales es un elemento importante de la investigación geomórfica.

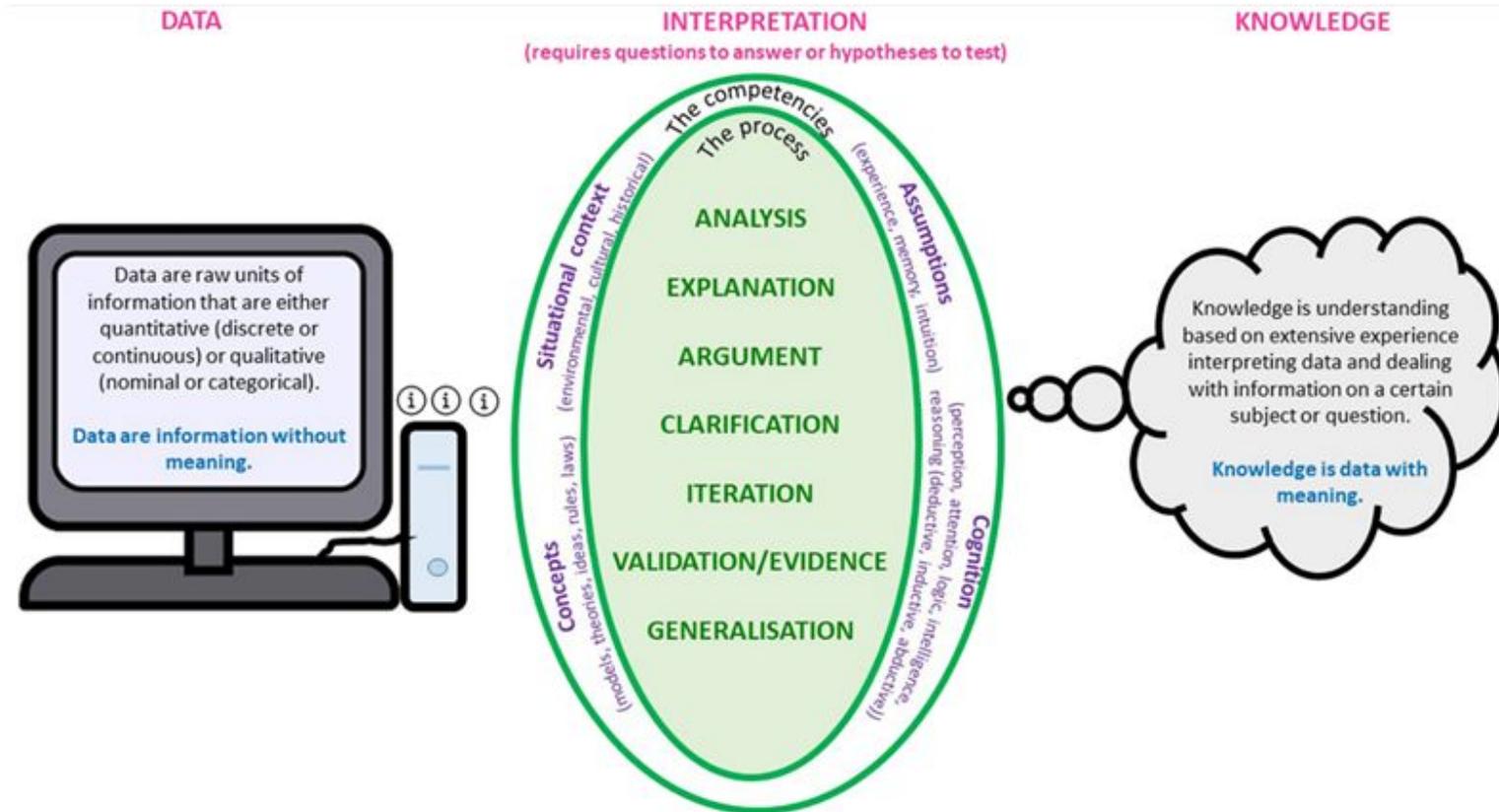


Fig. 1. Transforming data into knowledge using interpretation.