



Clase 10 - Cambio Climático

513113 Introducción a la Geofísica
Pedagogía en Ciencias Naturales

Matt Miller, Daniel Marcos
Departamento de Geofísica
Universidad de Concepción
mrmiller@udec.cl
www.mttmlr.com



Introducción - Objetivos

- Nombrar los efectos principales del cambio climático.
- Investigar los cambios climáticos históricos.
- Describir las tendencias climáticas desde el último período de glaciación.
- Resumir los problemas con el agujero en la capa de ozono y las soluciones desplegadas rápidamente por los humanos.
- Identificar los mecanismos de retroalimentación de los sistemas de cambio climático.
- Interpretar los datos atmosféricos de los gases de efecto invernadero.
- Evaluar las diferencias entre el cambio climático histórico y el cambio climático reciente causado por los humanos.
- Reconocer los eventos climáticos extremos asociados con el cambio climático y predecir sus tendencias futuras.



Cambio Climático

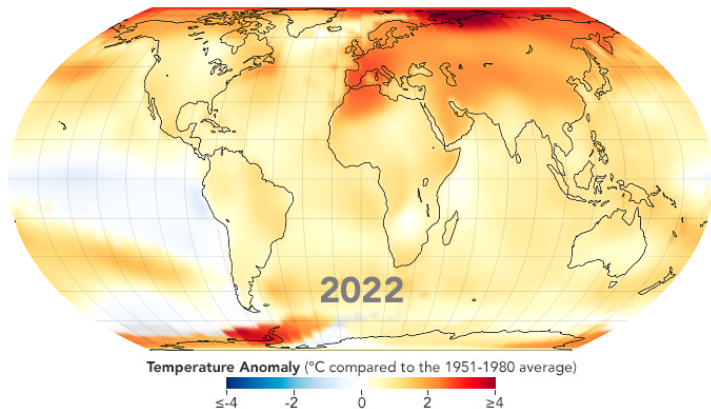


Figura 1: Las anomalías de temperatura global en 2022, que empató como el quinto año más cálido registrado. (Fuente: NASA)



- El cambio climático se refiere a las alteraciones a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.
- Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o a grandes erupciones volcánicas.
- Sin embargo, desde el siglo XIX, las actividades humanas se han convertido en el principal impulsor del cambio climático, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.
- Investigar los patrones climáticos históricos a largo plazo es fundamental para comprender las tendencias actuales.



Ciclos de Milankovitch

- Los ciclos orbitales de Milankovitch influyen en el clima global durante miles de años. Existen tres ciclos:
- El ciclo de 100000 años de la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del sol.
- El ciclo de 41000 años del ángulo de inclinación (oblicuidad) del eje terrestre en el plano orbital.
- El ciclo de 20000 años de la precesión del eje de rotación de la Tierra. En la actualidad el Polo Norte apunta hacia la estrella Polaris, en 10000 años apuntará hacia la estrella Vega.

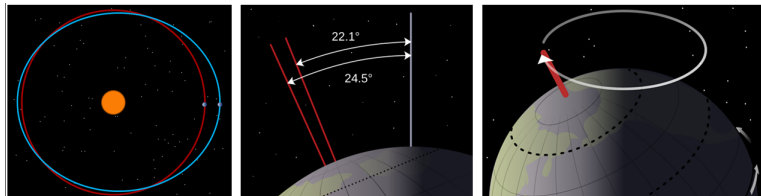


Figura 2: Los componentes de los ciclos de Milankovitch. Izquierda a derecha: excentricidad, oblicuidad, precesión. (Fuente: [RWU](#))



Ciclos de Milankovitch

- La forma de la órbita terrestre cambia en el tiempo. Cuando esta excentricidad es alta, la distancia entre la Tierra y el Sol varía más de una estación a otra.
- La Tierra gira alrededor de un eje inclinado con respecto al plano de la órbita terrestre. Cuando el ángulo está en su mínimo (22.1°), las diferencias estacionales en la Tierra se minimizan. La hipótesis actual es que la formación de glaciares es favorecida en situaciones de bajas diferencias estacionales.
- La dirección hacia la cual apunta el eje de rotación de la Tierra también varía. Esta precesión axial hace que los contrastes estacionales sean más extremos en un hemisferio y menos extremos en el otro. Actualmente, el perihelio ocurre durante el invierno en el hemisferio norte y durante el verano en el hemisferio sur. Esto hace que los veranos del hemisferio sur sean más calurosos y modera las variaciones estacionales en el hemisferio norte.



Paleoclimatología

- La paleoclimatología estudia los climas pasados de la Tierra, buscando entender las tendencias naturales de los cambios climáticos a largo plazo. Utiliza registros e indicadores naturales como base. Estudios de capas de hielo son un ejemplo de esta ciencia.

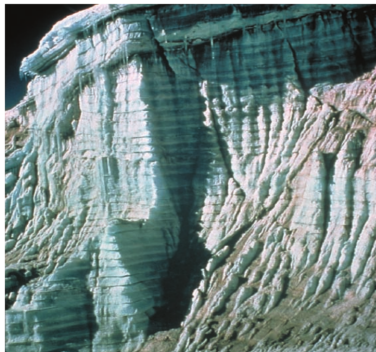


Figura 3: Capas anuales de hielo se forman en muchos glaciares. Las capas de polvo transportadas por el viento depositadas en verano ayudan a definir las capas.
(Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Capas de Hielo

- Los datos obtenidos de perforaciones en las capas de hielo de Groenlandia y la Antártica muestran que estas capas se pueden contar sobre el clima durante los últimos varios cientos de miles de años.
- La edad de las capas de hielo se puede confirmar de manera independiente mediante fechas radiométricas de finas capas de ceniza volcánica preservadas en el hielo.
- Estas capas de hielo son ricas en información climática: la composición isotópica y química del hielo nos indica cuándo ocurrieron cambios en el entorno.
- Los contaminantes en el hielo revelan los cambios generalizados que acompañaron a la revolución industrial, incluyendo la introducción de plomo y cobre procedentes de operaciones de fundición y la acumulación de dióxido de carbono atrapado en burbujas.
- Además, mediante datos de la composición isotópica de oxígeno en el hielo, se puede calcular la temperatura terrestre histórica.



Datos del Hielo

Figure 2: 800,000 years of atmospheric CO₂ and CH₄ as recorded in ice cores and atmospheric sampling

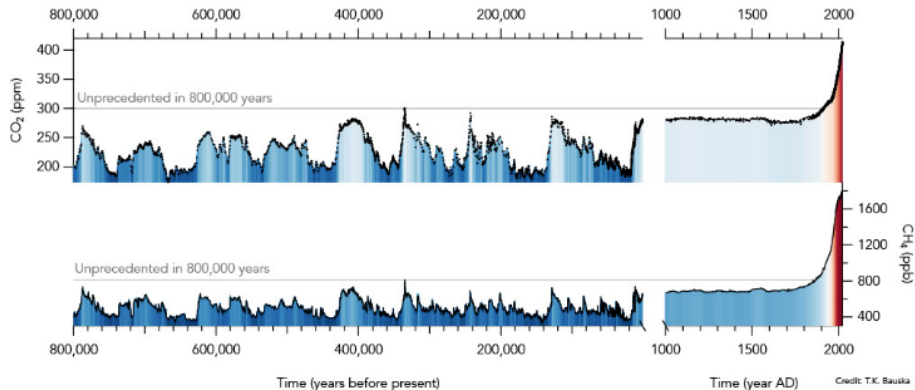


Figura 4: 800000 años de CO₂ y CH₄ registrados en testigos de hielo y mediante muestreo atmosférico. (Fuente: **BAS**)



Datos del Hielo

Figure 3: The oldest ice core records for atmospheric CO₂ and temperature change in Antarctica

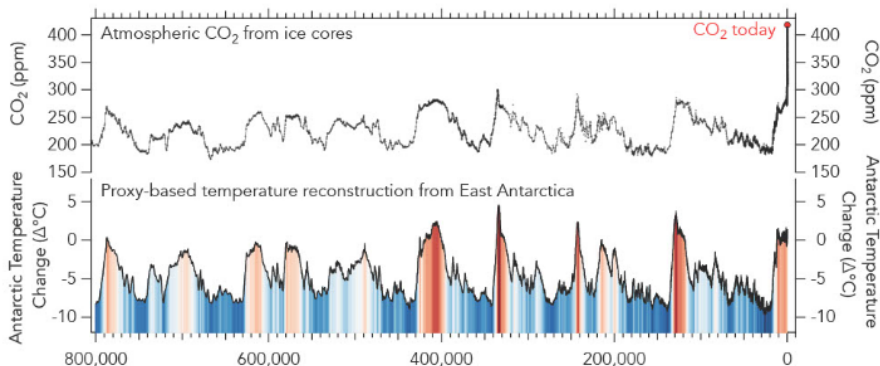


Figura 5: 800000 años de CO₂ temperatura registrados en testigos de hielo y mediante muestreo atmosférico. (Fuente: BAS)



Datos del Hielo

- La Figura 4 muestra concentraciones atmosféricas de CO_2 y CH_4 durante los últimos 800000 años, gases que tienen un efecto sobre el clima.
- El incremento natural más rápido registrado en testigos de hielo antiguos es de alrededor de 15 ppm (partes por millón) en aproximadamente 200 años. En comparación, el CO_2 atmosférico está aumentando actualmente 15 ppm cada 6 años.
- El metano (CH_4), otro importante gas de efecto invernadero, también muestra un aumento sin precedentes en su concentración durante los últimos dos siglos.
- La Figura 5 muestra una sucesión de largos períodos fríos llamados “glaciales”, intercalados aproximadamente cada 100000 años por períodos cálidos llamados “interglaciales” (de los cuales los últimos 11000 años son los más recientes).



El Último Periodo Glacial

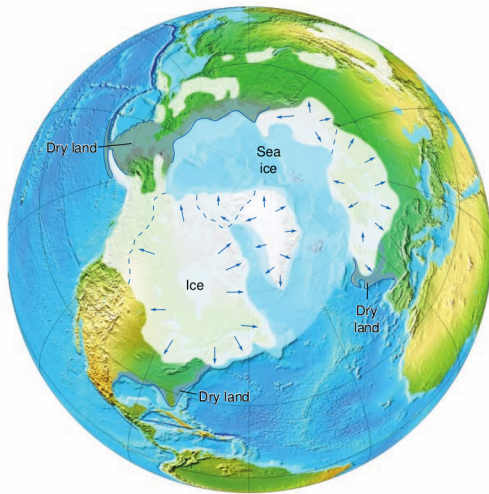


Figura 6: Los glaciares de la última glaciación en el hemisferio norte hace aproximadamente 10000 años. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



El Último Periodo Glacial

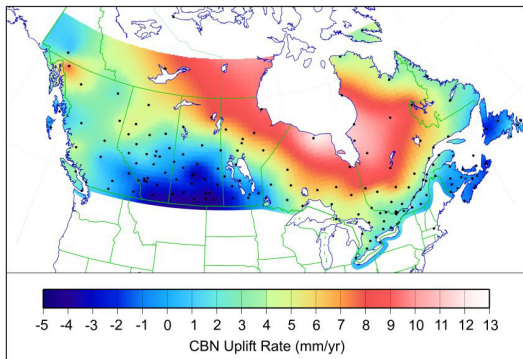


Figura 7: La tasa a la cual la tierra se está elevando en respuesta al ajuste isostático. Las áreas de color rojo a blanco rosado a lo largo de la costa sur de la Bahía de Hudson son las zonas de elevación más rápida, con aproximadamente 13 milímetros por año. (Fuente: [Ontario Beneath Our Feet](#))



El Último Periodo Glacial

- La Figura 6 muestra que los glaciares de la última glaciación cubrieron grandes áreas de la Tierra.
- Mientras que América del Norte, Europa y Asia, fueron cubiertos, partes de Alaska y Siberia no estaban glaciales debido a que esas áreas eran demasiado secas.
- Con la acumulación de tanto hielo en tierra, la disminución del nivel del mar formó un amplio puente terrestre entre Siberia y América del Norte.
- La Figura 7 muestra que partes de América del Norte todavía están deprimidas por el peso del hielo en la actualidad y se están recuperando lentamente hacia sus posiciones originales.
- Donde el hielo era más espeso, la depresión era mayor y la velocidad de recuperación en la actualidad es también mayor.



Agujero de la Capa de Ozono

- El ozono protege la Tierra de la radiación ultravioleta (UVB).
- Las actividades humanas crearon un agujero en la capa de ozono utilizando gases como los clorofluorocarbonos (CFC).

3 July 2023

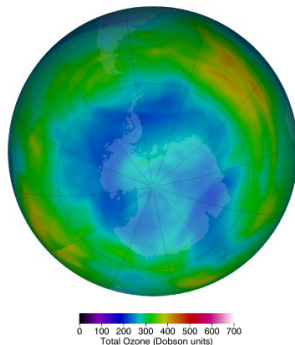


Figura 8: Ozono total sobre el polo antártico. El morado y el azul representan las áreas donde hay menos ozono. (Fuente: NASA)



Agujero de la Capa de Ozono

- Los CFC, utilizados como refrigerantes, descomponen las moléculas de ozono en la atmósfera superior
- El agujero de ozono aparece y desaparece con las estaciones y es más notable en el invierno, cuando la producción de ozono es naturalmente mínima.
- La destrucción del ozono estratosférico aumenta la cantidad de radiación ultravioleta (un carcinógeno) que llega a la superficie.
- Basado en los resultados científicos, en la década de 1980 se firmaron acuerdos internacionales y se implementaron medidas para reducir la producción de CFC.
- Desde la década de 1990, los niveles de radiación ultravioleta en la superficie han sido relativamente estables.



Retroalimentaciones climáticas

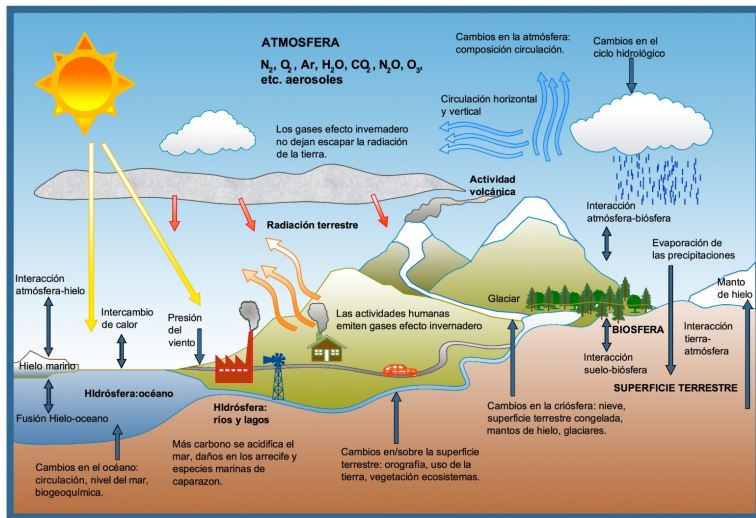


Figura 9: Retroefectos del cambio climático. (Fuente: Dante Figueroa)



Retroalimentaciones climáticas

- Las retroalimentaciones climáticas son de vital importancia para amplificar los débiles forzamientos climáticos y convertirlos en cambios climáticos completos.
- La fusión del hielo y la nieve conduce a una reducción en la reflectividad de la superficie terrestre. Cuando el hielo se derrite, el agua absorbe mucha más energía solar que el hielo preexistente, lo que amplifica el aumento de temperatura.
- El CO_2 y el CH_4 se liberan cuando el permafrost se descompone, atrapando más energía solar en la atmósfera. Existen aún mayores reservas de CH_4 en el lecho marino que podrían liberarse debido al calentamiento oceánico.
- La solubilidad del CO_2 en el agua disminuye a medida que aumenta la temperatura, por lo que el aumento de la temperatura oceánica libera más CO_2 a la atmósfera, amplificando el efecto del calentamiento.



- El dióxido de carbono (CO₂) es un gas importante de retención de calor, conocido como gas de efecto invernadero.
- Proviene de la extracción y quema de combustibles fósiles, de incendios forestales y de procesos naturales como las erupciones volcánicas.

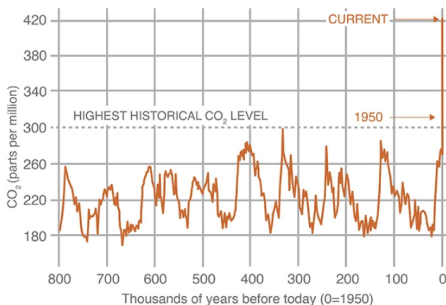


Figura 10: Los niveles de CO₂ durante los últimos 800,000 años en la Tierra.
(Fuente: NASA)



CH₄

- El metano (CH₄) es un gas de efecto invernadero potente y es el segundo mayor contribuyente al calentamiento climático después del CO₂.
- Las principales fuentes de metano son la agricultura, los combustibles fósiles y la descomposición de residuos en vertederos.

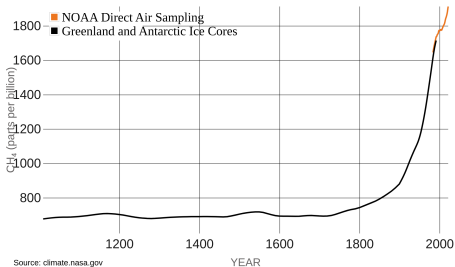


Figura 11: Las concentraciones atmosféricas de CH₄ desde el año 1010.
(Fuente: NASA)



Capas de Hielo

- Las capas de hielo de Groenlandia y la Antártica almacenan aproximadamente dos tercios de toda el agua dulce de la Tierra. Están perdiendo hielo debido al continuo calentamiento de la superficie terrestre y del océano.

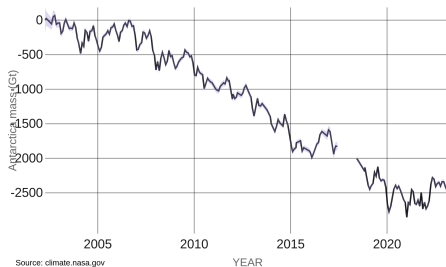


Figura 12: La variación de la masa de hielo en la Antártica desde 2002. (Fuente: NASA)



Nivel del Mar

- El aumento del nivel del mar se debe principalmente a dos factores relacionados con el calentamiento global: el agua añadida por el derretimiento de las capas de hielo y los glaciares, y la expansión del agua marina a medida que se calienta.

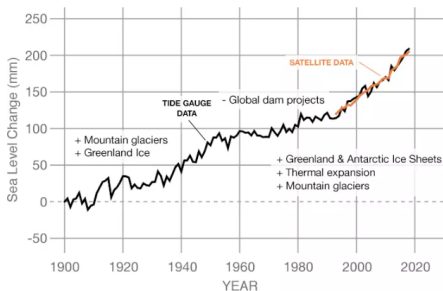


Figura 13: Cuánto ha cambiado el nivel del mar desde 1900 hasta 2018 (datos de medidores de marea costeros y satélites). (Fuente: NASA)



Proyecciones Climáticas

- Ya la actividad humana tiene un efecto sobre temperaturas globales.

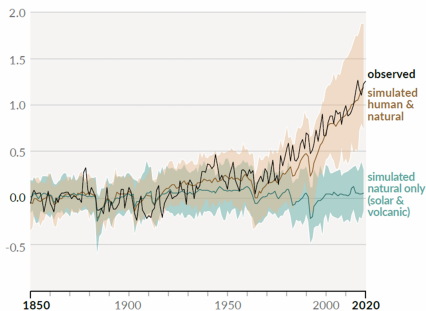


Figura 14: Los cambios en la temperatura global de la superficie en los últimos 170 años, en relación al promedio del período 1850-1900. La línea negra muestra el promedio anual de las temperaturas globales observadas. La línea marrón representa la respuesta simulada y pronosticada debido a causas humanas y naturales, mientras que la línea verde representa las respuestas simuladas y pronosticadas debido únicamente a factores naturales.

(Fuente: RWU)



Proyecciones Climáticas

- El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), establecido por las Naciones Unidas en 1988, es responsable de revisar la literatura científica sobre el cambio climático y emitir informes periódicos.

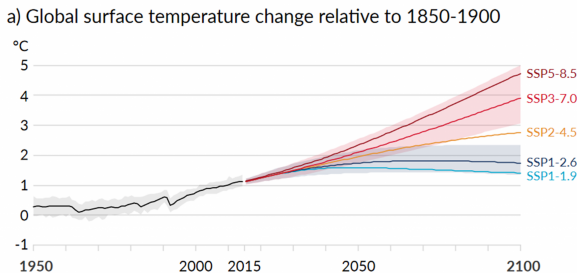


Figura 15: Aumentos proyectados de la temperatura global para el siglo XXI basados en una variedad de escenarios del IPCC que consideran variables políticas, tecnológicas y de emisiones futuras. (Fuente: RWU)



Proyecciones Climáticas

- Sin cambios en el comportamiento humano, para el año 2070 aproximadamente 150 millones de personas que viven en áreas costeras podrían estar en riesgo de inundaciones. Y para finales de este siglo estaremos comprometidos con un aumento del nivel del mar de 3 metros en el futuro.

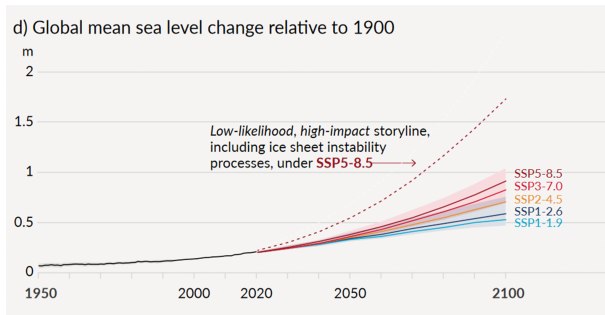


Figura 16: Aumentos potenciales actuales y proyectados del nivel del mar hasta 2100, en relación con 1900. Cada línea representa un escenario diferente del IPCC. (Fuente: RWU)



Proyecciones Climáticas

- Las tormentas tropicales obtienen su energía de la evaporación del agua cálida del mar en regiones tropicales. En el futuro, el aumento de las temperaturas del agua del mar aumentará el riesgo de huracanes.

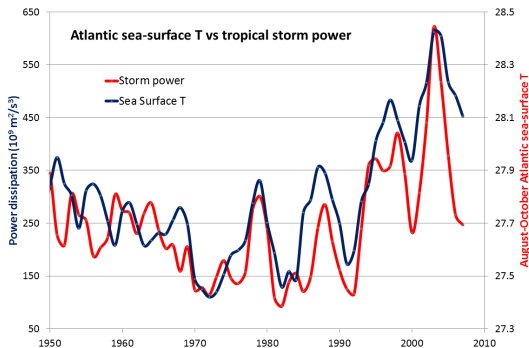


Figura 17: Relación entre la intensidad acumulativa anual de las tormentas tropicales del Atlántico y las temperaturas de la superficie del mar del Atlántico. (Fuente: RWU)



Proyecciones Climáticas

- Los principales tipos de desastres relacionados con el clima son las inundaciones y las tormentas. Además, también son posibles los incendios forestales, las sequías, las olas de calor y los deslizamientos de tierra.

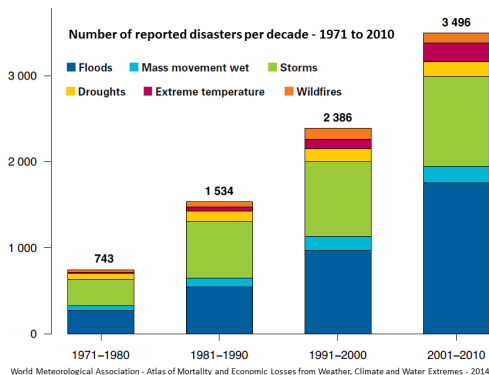


Figura 18: El número global de diversos tipos de desastres entre 1971 y 2010.
(Fuente: RWU)



Resumen - Conclusiones

- Los ciclos orbitales naturales afectan el clima de la Tierra en una escala de decenas de miles de años.
- Los datos de los capas de hielo pueden proporcionar información importante sobre los parámetros climáticos pasados.
- Aunque la temperatura actual no está fuera de los límites observados durante los últimos 800000 años, las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera han aumentado considerablemente fuera del rango normal desde 1950.
- El último período glacial terminó hace unos 10000 años, desde entonces la Tierra se ha estado calentando gradualmente. Hasta 1950.
- El agujero en la capa de ozono, identificado en la década de 1980, fue rápidamente estabilizado mediante acuerdos internacionales.
- Los sistemas de retroalimentación climática tienen la capacidad de amplificar las tendencias climáticas actuales.
- Las proyecciones climáticas futuras indican temperaturas elevadas, aumento del nivel del mar y mayores extremos climáticos.



Preguntas

- 1 ¿Por qué la estrella Polaris se llama así? ¿Existe una estrella equivalente para el hemisferio sur?
- 2 Explique que es el perihelio, un efecto discutido en la diapositiva 6.
- 3 Analiza las evidencias que indican el máximo avance de la capa de hielo en el sur de Chile y Argentina durante la última glaciación.
- 4 ¿Por qué existe la bahía de Hudson en Canadá? ¿Qué sucederá con ella en el futuro debido al rebote postglacial?
- 5 ¿A qué proceso se refiere “ajuste isostático” en la diapositiva 13?
- 6 Sin los acuerdos internacionales en la década de 1980, ¿qué hubiera sucedido con la capa de ozono y cuáles hubieran sido las consecuencias para el mundo?
- 7 Explique como incendios forestales pueden generar un efecto de retroalimentación climática.
- 8 Explique como un aumento en el nivel del mar puede generar un efecto de retroalimentación climática.



Lectura y actividades adicionales

- Investigar datos de la composición isotópica de oxígeno en el hielo, y como estos datos pueden determinar temperaturas históricas en el pasado. [Aquí](#) un enlace a un sitio de NASA, pero en inglés. Busca y discute fuentes similares en español.
- Leer sobre “El ciclo del carbono y las rocas sedimentarias”, en Tarbuck y Lutgens p. 209.
- Investiga [este sitio](#) de la NASA que mide la radiación proveniente de incendios, útil para rastrear los incendios forestales en Chile durante el verano.
- Visita este sitio web [SINCA](#) que proporciona mediciones en tiempo real de la calidad del aire en Chile.



- Mira esta **animación** de los sistemas frontales en el Pacífico en junio de 2023, que causaron inundaciones extensas en Chile.
- Investiga la gran extinción al final del Pérmico y su relación con las trampas siberianas de basaltos de inundación.
- Discute con tus compañeros el impacto futuro del cambio climático en Chile: ¿cuáles son los desastres naturales más propensos a amplificarse en el futuro?

