

EL CLIMA EN NUESTRAS MANOS

Modelos climáticos

Manual destinado a docentes de bachillerato

El presente documento debe citarse de la siguiente manera: **El clima en nuestras manos – Modelos climáticos. Manual destinado a docentes de bachillerato, Oficina para la Educación Climática (OCE), París, 2024.**

Coordinador

Nicolas Vogt (OCE, Francia)

Autores

Adeline Aroskay (OCE, Francia)

Mathieu Hirtzig

Simon Klein (OCE, Francia)

Jessica Vial (OCE, Francia)

Nicolas Vogt (OCE, Francia)

Revisores e inspiradores

Anwar Bhai Rumjaun (Instituto de Educación de Mauricio, República de Mauricio)

Nada Caud (IPCC WG1 TSU, Francia)

Natalie Chong (OCE)

Cruz Garcia (Institut des Géosciences de l'Environnement, CNRS, Francia)

Hazel Jeffery (National Centre for Atmospheric Science, Reino Unido)

Colin Jones (MET Office, Reino Unido)

Valentin Maron (INSPE Toulouse, EFTS laboratory, Francia)

Cliona Murphy (Institute of Education, Dublin City University, Irlanda)

Natalie Nicetto (OCE)

Eva Perrier Ponsin (OCE)

Micol Picasso (OCE)

Mariana Rocha (Météo-France, CNRM, Francia)

Djian Sadadou (OCE)

Roland Sférian (Météo-France, CNRM, Francia)

Jenny Schlüpmann (Freie Universität Berlin, Alemania)

Sally Soria-Dengg (Max Planck Institute, Alemania)

Robin Waldman (Météo-France, CNRM, Francia)

David Wilgenbus (OCE)

Traducción del texto en español: Marta Gómez Barrera

En la sección de Agradecimientos, pág. 83 se puede consultar una lista completa de las numerosas personas que han contribuido a este manual con sus revisiones críticas, propuestas, ensayos en el aula, etc.

Ensayos en el aula

Muchas gracias a los docentes y alumnos que probaron las actividades y nos dieron su opinión. Participaron más de 100 jóvenes de toda Europa. ¡Esperamos que haya muchos más!

Fecha de publicación

Marzo de 2025

Información

Ya están disponibles las versiones en inglés, francés y español. Para obtener información sobre el trabajo de la Oficina para la Educación Climática, así como adicionales de este documento, escriba a la siguiente dirección:

Office for Climate Education Sorbonne University / IPSL

4 Place Jussieu, 75005 Paris – Francia

Correo electrónico: contact@oce.global

Sitio web: <https://oce.global>

Copyright

Este trabajo ha sido publicado por la Oficina para la Educación Climática bajo la licencia Creative Commons. Puede compartirse, utilizarse y adaptarse libremente siempre que no se le dé un uso comercial.



MODELOS DEL SISTEMA TERRESTRE PARA EL FUTURO

ESM2025 es un ambicioso proyecto europeo coordinado por el Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas de Météo-France y conformado por un equipo internacional de 19 institutos de investigación europeos y una universidad australiana. ESM2025 refuerza la colaboración internacional en el ámbito de la modelización del sistema terrestre al reunir en un único proyecto hasta cinco Modelos del Sistema Terrestre (ESM) europeos: los del Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), el Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) y el Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), además del modelo del sistema terrestre de Noruega (NorESM) y el modelo del sistema terrestre del Reino Unido (UKESM).

El objetivo del proyecto es desarrollar la próxima generación de modelos del sistema terrestre que proporcionen mejores simulaciones climáticas, contribuyendo así al despliegue de estrategias de mitigación y adaptación ambiciosas y realistas.

Gracias a un conjunto mejorado de proyecciones climáticas, ESM2025 respaldará los servicios climáticos europeos y las evaluaciones del IPCC. Apoyándose en la experiencia de partes interesadas clave, el ESM2025 pretende ofrecer conocimientos científicos y orientación pertinente que ayudarán a establecer políticas sólidas necesarias para las transformaciones sociales que conduzcan a una sociedad futura descarbonizada y resiliente al clima.

ESM2025 también se dirige específicamente a las generaciones más jóvenes mediante el desarrollo de recursos educativos y pedagógicos. El objetivo es capacitar a los jóvenes ciudadanos europeos y aumentar la comprensión del público sobre el cambio climático y las cuestiones conexas, así como fomentar los cambios sociales necesarios para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Office for
Climate
Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO
AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE

LA OFICINA PARA LA EDUCACIÓN CLIMÁTICA

Creada en 2018 a iniciativa de la fundación *La main à la pâte* y la comunidad científica, la Oficina para la Educación Climática (OCE, por sus siglas en inglés) tiene como objetivo establecer una sólida cooperación internacional entre organismos científicos, ONG y centros de enseñanza. Esta cooperación es esencial para educar y formar a las generaciones presentes y futuras en torno al cambio climático.

La misión de la OCE y sus socios es promover en todo el mundo la educación sobre el cambio climático a través de recursos didácticos de calidad, cursos de desarrollo profesional y el diseño y la implementación de proyectos operativos nacionales e internacionales.

En 2020, la Oficina para la Educación Climática se convirtió en un centro de categoría 2 auspiciado por la UNESCO. El objetivo de esta institucionalización es promover la educación sobre cambio climático a nivel internacional, con especial atención a los países emergentes.

En el marco del proyecto ESM2025, la OCE desarrolla recursos gratuitos, multilingües y con licencia libre, que han sido probados en el aula: animaciones multimedia, manuales para docentes, juegos formativos y guías de capacitación para formadores. Junto a Météo-France, la OCE organiza también cursos de capacitación para docentes y formadores de toda Europa como la Universidad de Verano de Educación Climática (CESU) y los “Climathons”.

CONTENIDOS

5 INTRODUCCIÓN

Contenido de este manual	5
Metodología de esta guía	8
Cómo enseñar el cambio climático	9

10 SECUENCIA A - EL SISTEMA CLIMÁTICO DE LA TIERRA

Lección 1 – Los componentes del sistema climático	10
Lección 2 – Las leyes de la física	20
Lección 3 – Modelización del clima con un juego de mesa	30

44 SECUENCIA B - MODELIZACIÓN CLIMÁTICA

Lección 4 – Modelos para representar la realidad	44
Lección 5 – Los modelos climáticos están evolucionando	48
Lección 6 – Validación de los modelos matemáticos	52

63 SECUENCIA C - MODELOS CLIMÁTICOS PARA PREDECIR EL FUTURO

Lección 7 – Creación de escenarios y observación de las respuestas del modelo	63
Lección 8 – Las islas de calor urbano (icu)	70
Lección 9 – La alfabetización del futuro	77

81 GLOSARIO

83 AGRADECIMIENTOS

84 DERECHOS DE IMAGEN

INTRODUCCIÓN

Contenido de este manual

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LAS DISTINTAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

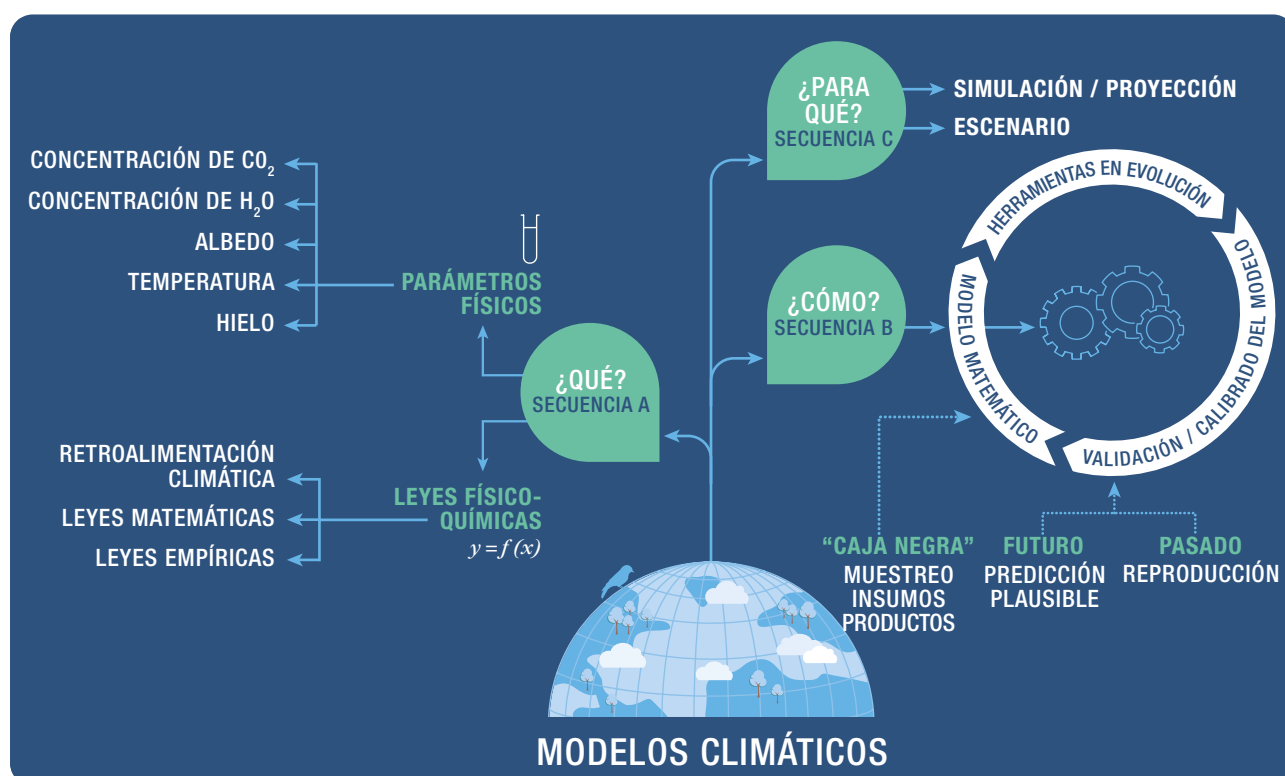
Al final de estas actividades, los alumnos serán capaces de:

- Diferenciar entre tiempo y clima.
- Enumerar algunos de los parámetros estudiados por los climatólogos y demostrar con pruebas que el clima está cambiando.
- Demostrar que la tendencia actual del calentamiento global se debe a las actividades humanas y está provocando numerosas perturbaciones climáticas.
- Entender la complejidad del sistema climático de la Tierra.
- Explicar a través de un modelo matemático sencillo la relación entre las emisiones de gases de efecto invernadero, las concentraciones de esos gases en la atmósfera y el cambio climático global.
- Comprender las proyecciones del IPCC.
- Diferenciar entre adaptación y mitigación y entre beneficios colaterales y compensaciones en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).



Vista por satélite de la Tierra con su capa de nubes, uno de los componentes fundamentales del sistema climático terrestre.

CONCEPTOS ABORDADOS EN ESTE MANUAL



¿QUÉ?

SECUENCIA A EL SISTEMA CLIMÁTICO DE LA TIERRA

1

Los componentes del sistema climático

Los alumnos examinan las pruebas de que se está produciendo el cambio climático y enumeran todos los parámetros físicos que hay que tener en cuenta para abordar el calentamiento global (extensión y espesor del hielo, precipitaciones, concentración de CO₂ en la atmósfera y el océano, temperatura en superficie, albedo, gases de efecto invernadero, etc.)

2

Las leyes de la física

Los alumnos llevan a cabo una serie de experimentos relacionados con algunos de los parámetros enumerados anteriormente con el fin de entender que cada uno de ellos depende de (o, dicho de otro modo, «es función de») varios otros. Esta interdependencia puede describirse de forma detallada.

3

Modelización del clima con un juego de mesa

Los alumnos establecen la relación entre entornos climáticos y mecanismos físicos.

¿CÓMO?

SECUENCIA B MODELIZACIÓN CLIMÁTICA

4

Modelos para representar la realidad

Los alumnos descubren los conceptos de datos de entrada (o insumos), muestreo y datos de salida (o productos). Trabajan con un código Python y lo modifican para demostrar que el cambio de los datos de entrada modifica los datos de salida.

5

Los modelos climáticos están evolucionando

Los alumnos entienden la analogía entre la evolución de un videojuego y la evolución de un modelo.

6

Validación de los modelos matemáticos

Los alumnos aprenden a evaluar la fiabilidad de los modelos digitales: reproducción de sucesos pasados o predicción de eventos futuros plausibles.

¿PARA QUÉ?

SECUENCIA C MODELOS CLIMÁTICOS PARA PREDECIR EL FUTURO

7

Creación de escenarios y observación de las respuestas del modelo

El modelo de producción de leche de vaca: los alumnos adoptan decisiones para desarrollar y observar proyecciones.

8

Las islas de calor urbano (ICU)

Mediante una animación multimedia, los alumnos diferencian entre escenarios de mitigación y de adaptación. También distinguen entre beneficios colaterales y compensaciones en relación con los ODS.

9

La alfabetización del futuro

Utilizando uno de los escenarios estudiados en la lección anterior y aplicándolo a su propia ciudad, los alumnos crean historias de futuro deseables y realistas.



TABLA DE COMPETENCIAS UTILIZADAS EN ESTE MANUAL (BASADAS EN EL GREENCOMP¹)

ÁMBITO 1 ENCARNAR VALORES DE SOSTENIBILIDAD

GREENCOMP	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
1.1 Apreciación de la sostenibilidad	Reflexionar sobre los valores personales, cómo varían entre personas y a lo largo del tiempo, evaluando su alineación con la sostenibilidad. <i>Ejemplo:</i> considerar el impacto de un viaje en avión para un viaje de fin de semana.	7
1.2 Respaldo a la ecuanimidad	Apoyar la equidad y la justicia para las generaciones actuales y futuras y aprender de generaciones anteriores para la sostenibilidad. <i>Por ejemplo:</i> iniciativas contra la deforestación.	9
1.3 Promoción de la naturaleza	Reconocer que los seres humanos forman parte de la naturaleza y respetar las necesidades y los derechos de otras especies y de la propia naturaleza con el fin de restaurar y regenerar ecosistemas sanos y resilientes. <i>Por ejemplo:</i> utilizar recursos educativos para entender cómo funciona la naturaleza.	1

ÁMBITO 2 ASUMIR LA COMPLEJIDAD DE LA SOSTENIBILIDAD

GREENCOMP	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
2.1 Pensamiento sistémico	Abordar un problema de sostenibilidad desde todas las vertientes; considerar el tiempo, el espacio y el contexto para comprender cómo interactúan los elementos dentro de los sistemas y entre ellos. <i>Por ejemplo:</i> producción de biocombustibles y mayor competencia por la tierra.	1 - 3 - 6
2.2 Pensamiento crítico	Evaluar información y argumentos, identificar suposiciones, cuestionar el statu quo y reflexionar sobre cómo los contextos influyen en el pensamiento. <i>Ejemplo:</i> comprensión crítica de los problemas de la venta masiva de coches eléctricos.	3 - 6
2.3 Contextualización de problemas	Formular los retos actuales o potenciales como un problema de sostenibilidad en términos de dificultad, personas implicadas, tiempo y ámbito geográfico, con el fin de identificar enfoques adecuados para anticipar y prevenir los problemas, así como para mitigar los ya existentes y adaptarse a ellos. <i>Por ejemplo:</i> actividad de mapeo de controversias.	2 - 5

ÁMBITO 3 PREVER FUTUROS SOSTENIBLES

GREENCOMP	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
3.1 Capacidad de proyecciones de futuro	Proyectar futuros sostenibles alternativos imaginando y desarrollando escenarios alternativos e identificando los pasos necesarios para lograr un futuro sostenible preferible. <i>Por ejemplo:</i> actividad de taller de escritura.	9
3.2 Adaptabilidad	Gestionar las transiciones y los desafíos en situaciones de sostenibilidad complejas y tomar decisiones relacionadas con el futuro ante la incertidumbre, la ambigüedad y el riesgo. <i>Por ejemplo:</i> propuestas de medidas de ahorro energético en los edificios.	8 - 6
3.3 Pensamiento exploratorio	Adoptar una forma relacional de pensamiento al estudiar y vincular diferentes disciplinas, utilizando la creatividad y la experimentación con ideas o métodos novedosos. <i>Por ejemplo:</i> imaginar modelos de consumo circular a escala escolar.	4

ÁMBITO 4 ACTUAR EN FAVOR DE LA SOSTENIBILIDAD

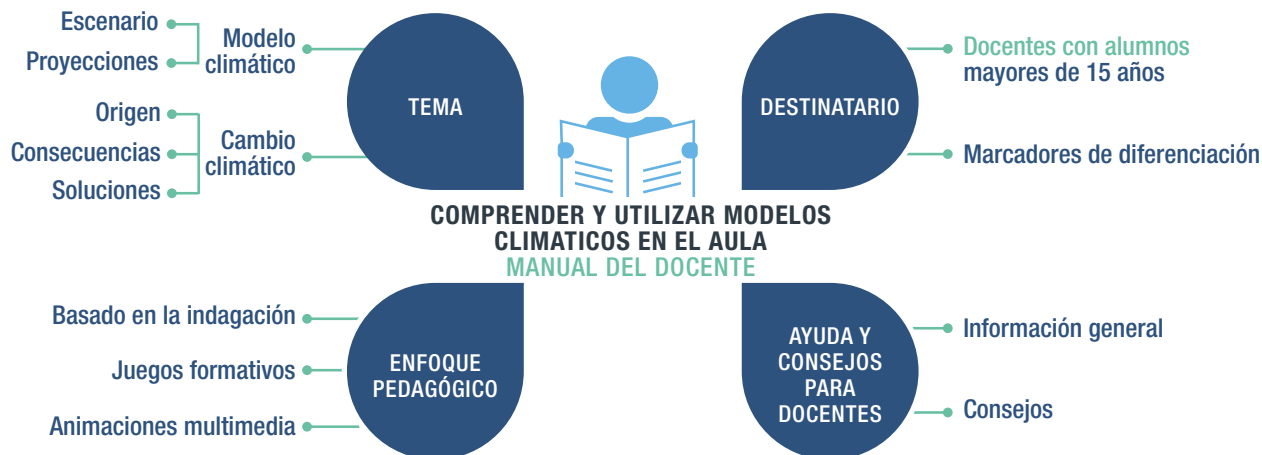
GREENCOMP	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
4.1 Actuación política	Entender el sistema político, exigir responsabilidad por comportamientos insostenibles y políticas eficaces. <i>Ejemplo:</i> compromiso estudiantil.	8
4.2 Acción colectiva	Actuar en favor del cambio en colaboración con otros agentes. <i>Por ejemplo:</i> tomar parte en un proyecto científico participativo como «Quién proteger los robles» ² .	9
4.3 Iniciativa individual	Identificar el propio potencial para la sostenibilidad y contribuir de forma activa a mejorar las perspectivas de la comunidad y del planeta. <i>Por ejemplo:</i> aumentar la proporción de desplazamientos en bicicleta.	8

1 Comisión Europea, Centro Común de Investigación, GreenComp, *El marco europeo de competencias sobre sostenibilidad*, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/13286>

2 https://sites.google.com/view/oakbodyguards/home/english_1

Metodología de esta guía

CÓMO UTILIZAR ESTA GUÍA PARA PREPARAR UNA LECCIÓN



¿CÓMO SE ORGANIZAN LAS ACTIVIDADES?

La **DURACIÓN** incluye el tiempo de preparación (para usted) y el tiempo para realizar la actividad (con sus alumnos)

El **GRUPO DE EDAD** se menciona a título indicativo

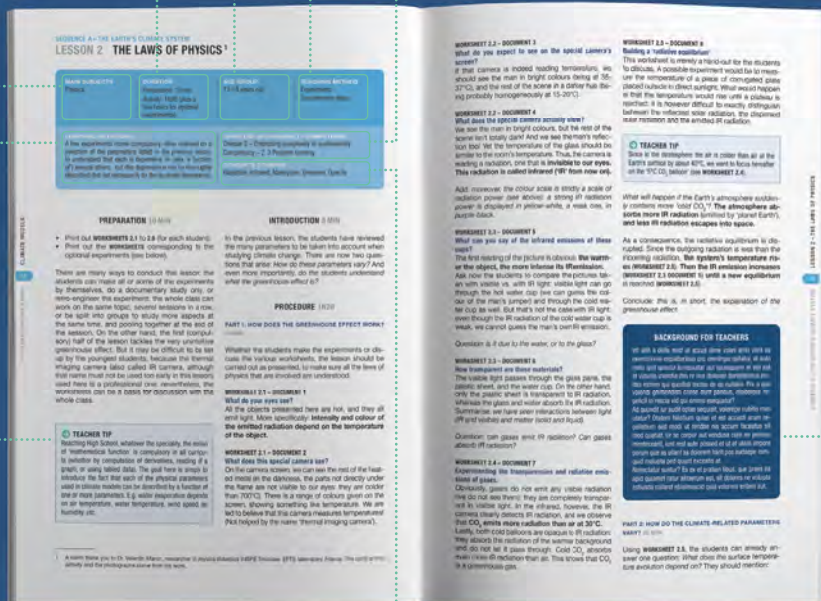
MÉTODO(S) PEDAGÓGICO(S) propuestos en esta actividad

Principal competencia de sostenibilidad que adquirirán sus alumnos con esta actividad (**GREENCOMP**)

Breve descripción del **TEMA PRINCIPAL**

Principales **RESULTADOS DE APRENDIZAJE** (conocimientos y habilidades) que adquirirán los estudiantes a lo largo de la lección.

El apartado **CONSEJOS PARA EL PROFESOR** le da algunos consejos sobre la metodología o le indica en qué conceptos específicos debe centrarse.



Lista de los **CONCEPTOS** relacionados con la actividad (definidos en el glosario de la pág. 81)

Algunas lecciones incluyen un recuadro con **INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR**, en el que se facilita información de contexto sobre el tema específico de la lección.

GRUPO DE EDAD

Estas actividades están dirigidas a alumnos de 15 años o más. Cada una de ellas se ensayó en el aula con este grupo de edad específico durante la fase de calibrado del módulo pedagógico. Obviamente, esto no significa que dichas actividades no puedan llevarse a cabo con otro grupo de edad. Esta indicación pretende simplemente darle una idea del nivel de aptitud requerido.

NIVEL DE DIFICULTAD DE LOS DOCUMENTOS

La mayoría de las lecciones incluyen varios documentos con diferentes niveles de dificultad. Algunos son fáciles de entender, mientras que otros están diseñados para estudiantes con un nivel más avanzado. Tenga en cuenta que **esto es solo una recomendación**: solo usted puede elegir los documentos más adecuados para el nivel de su clase. Los diferentes niveles son:



Cómo enseñar el cambio climático

El objetivo de este manual es apoyar al profesorado en la implementación de actividades que involucren activamente a los alumnos mediante el cuestionamiento, la experimentación, la observación, el ensayo y error, el debate y la aplicación de soluciones locales y prácticas para enfrentar los problemas del cambio climático. Este enfoque de “aprendizaje activo” puede tomar diversas formas. **En este manual se destacan especialmente el aprendizaje basado en la indagación y el aprendizaje basado en proyectos.**

QUÉ ES EL APRENDIZAJE BASADO EN LA INDAGACIÓN

Aunque sería demasiado simplista reducir el modelo de aprendizaje basado en la indagación a un modelo fijo, este enfoque tiene, por lo general, tres fases:

1. **Formulación de preguntas:** iniciada por el docente o los alumnos, permite formular hipótesis.
2. **Planeamiento de hipótesis e investigación:** puede realizarse mediante experimentos, indagaciones u observaciones, utilizando modelos o analizando documentos.
3. **Estructuración y construcción del conocimiento** (discusión de la información o los datos recogidos o generados): el propósito aquí es extraer conclusiones generales, que a su vez pueden dar lugar a nuevos cuestionamientos, a más investigaciones, etc.

QUÉ ES EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

El aprendizaje basado en proyectos es un método integral de aprendizaje activo, introducido a principios del siglo XX por John Dewey, quien también desarrolló el aprendizaje basado en la indagación. Inicialmente limitado a la enseñanza primaria, este enfoque se extendió progresivamente a la educación secundaria y superior, convirtiéndose en una metodología que combina contenidos básicos con aprendizaje riguroso, pertinente y práctico.

Los proyectos suelen plantearse con preguntas abiertas que fomentan la investigación, la indagación y el desarrollo de soluciones por parte de los alumnos. *Por ejemplo: ¿Cómo podemos reducir la huella de carbono de nuestra escuela?*

Este enfoque permite a los alumnos aprender **en contextos significativos para ellos**, y el carácter práctico de los proyectos aumenta su motivación.

Además, los estudiantes desarrollan competencias transversales, como la toma de decisiones, la planificación y la colaboración. También comprenden que los errores y los intentos fallidos son parte esencial del aprendizaje. Al final, los resultados de los proyectos pueden inspirar a otras clases, familias y comunidades, ampliando su impacto positivo.

¿POR QUÉ UTILIZAR UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR EN LA EDUCACIÓN CLIMÁTICA?

Las ciencias tradicionales son clave para entender los mecanismos y consecuencias del cambio climático, mientras que las ciencias sociales ayudan a comprender las dimensiones sociales, políticas y económicas del desarrollo sostenible y la justicia climática. Las artes y las lenguas motivan a los estudiantes a expresarse y actuar. Y las disciplinas como ingeniería, agricultura y tecnología ayudan a desarrollar soluciones prácticas. **Enseñar sobre el cambio climático exige abordar todas sus dimensiones desde un enfoque multidisciplinar.**

LOS BENEFICIOS DEL PENSAMIENTO POSITIVO EN LA EDUCACIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Entre los jóvenes de todo el mundo, los problemas del cambio climático han suscitado un enorme interés, a menudo asociado a emociones y reacciones intensas, sobre todo entre los más jóvenes, que hablan del “colapso de la civilización” o de los “límites del planeta”. Para describir esta angustia climática se ha acuñado el término “ecoansiedad” (Glenn Albrecht).

En estas páginas proponemos tomar en consideración esta ansiedad y aliviarla mediante las siguientes acciones:

- **Aumentar la sensibilización sobre el cambio climático**, sin negar su gravedad ni sus aspectos más desafiantes, sino centrándose en los hechos científicos y no en un discurso catastrofista (véase la [Secuencia A - El sistema climático de la Tierra](#)). Este enfoque es importante pero no suficiente, dada la enorme carga emocional que acarrear las consecuencias del cambio climático.
- Animar a los alumnos a **reconocer sus emociones y sentimientos** y a relacionarse con los demás en lugar de aislarse (véase la Lección D2 de “[El cambio climático y la tierra](#)” de la serie “[El clima en nuestras manos](#)”).
- Darse cuenta de que es necesario, y aún posible, **actuar a distintos niveles**: individual, escolar, comunitario, etc. (véase la [Secuencia C - Modelos climáticos para predecir el futuro](#)).
- Animar a los alumnos a participar en **un plan de acción concreto** mediante proyectos (véase la sección “Actuamos” de “[El océano y la criosfera](#)” y “[El cambio climático y la tierra](#)” de la serie “[El clima en nuestras manos](#)”) que propongan soluciones de adaptación y mitigación.



LECCIÓN 1 LOS COMPONENTES DEL SISTEMA CLIMÁTICO

MATERIAS PRINCIPALES
Física
Ciencias naturales
Geografía

DURACIÓN
Preparación: 10 min
Actividad: 2 h

GRUPO DE EDAD
13-18 años

MÉTODO PEDAGÓGICO
Análisis documental

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos repasan la diferencia entre clima y tiempo. Los científicos utilizan parámetros físicos (temperatura, precipitaciones) para describir el clima. Cada especialista se centra en el estudio de un conjunto de parámetros físicos. Dichos parámetros deben considerarse simultáneamente cuando se estudia el clima (H_2O , CO_2 , temperatura, albedo gases de efecto invernadero, etc.). Los alumnos estudian la evolución de estos parámetros, que son todos –a diferentes escalas– indicadores de un mundo que se calienta.

TARGETED SUSTAINABILITY COMPETENCE

Ámbito 2 – Asumir la complejidad de la sostenibilidad
Competencia – 2.1 Pensamiento sistémico



CONCEPTOS ABORDADOS

Tiempo meteorológico, clima, parámetros, cambio climático, fenómenos extremos, fiabilidad

PREPARACIÓN 10 MIN

- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 1.1** (una para cada alumno), si es posible, en formato A3, para que los alumnos tengan más espacio para sus respuestas.
- Imprima las **HOJAS DE TRABAJO 1.2 A 1.6** (una hoja de trabajo para cada grupo de alumnos).
- Opcional: puede imprimir la **HOJA DE TRABAJO 1.1, VERSIÓN CORREGIDA** para que los alumnos dispongan de todos los elementos científicos que debe recordar.

‘Mira por la ventana: el sol brilla entre las nubes, es muy bonito.’ (TIEMPO)

‘Mi abuela me cuenta que cuando era pequeña siempre nevaba en invierno. A veces no podía ir a la escuela por culpa de la nieve.’ (CLIMA)

‘Este fin de semana va a hacer mucho viento. Podríamos probar nuestra nueva cometa.’ (TIEMPO)

‘Mi amigo australiano ha estado en una batalla de agua en su colegio. Allí siempre hace calor.’ (CLIMA)

‘El 8 de mayo llovió.’ (TIEMPO)

INTRODUCCIÓN 30 MIN

Para reactivar los conceptos de clima y tiempo con los alumnos, sugerimos empezar esta secuencia de forma divertida poniéndoles el vídeo “Climate Elvis”, una canción de Josh Willis.



VER EL VÍDEO ➔

Caso 1: Si vive en una región del mundo con un clima estacional (verano/invierno o húmedo/seco), empiece preguntando a los alumnos: *¿Cómo vais vestidos hoy? ¿Cómo ibais vestidos la semana pasada, el mes pasado o en las últimas vacaciones? ¿Qué os lleva a elegir una prenda de ropa y no otra?* Probablemente digan que depende del tiempo: de si el día está soleado o lluvioso y de si hace frío o calor. Pero *¿qué pasa en las diferentes regiones del mundo? ¿Cómo se distingue el clima del tiempo?*

Caso 2: Si vive en un lugar donde el clima no es estacional: *¿Hace el mismo tiempo todo el año? ¿Es igual que en cualquier otra parte del mundo? ¿Tienen otras regiones las mismas temperaturas o las mismas precipitaciones? ¿Cuál es la diferencia entre el clima y el tiempo?*

1. Para recordar a los alumnos la diferencia entre clima y tiempo, lea las siguientes frases. Los alumnos deben decir si las oraciones se refieren al clima o al tiempo, y justificar su respuesta (la categoría correcta se indica entre paréntesis para cada frase).

2. Pida a sus alumnos que expliquen la diferencia entre clima y tiempo (consulte los conceptos y su definición en el glosario). **El clima te dice qué ropa comprar y el tiempo te dice qué ropa ponerte.**



Los alumnos trabajan en grupos. Desempeñan el papel de “botánicos” y rellenan los recuadros correspondientes a sus documentos.

PROCEDIMIENTO 1 HORA

1. Gracias a la actividad anterior, los alumnos habrán constatado que el tiempo puede cambiar rápidamente. Pregúnteles: *¿Creéis que el clima ha cambiado? ¿Rápidamente o no? ¿Cómo podemos demostrar esto, dado que el clima es algo que se da durante un período de tiempo largo?* La idea aquí es que los alumnos lleven a cabo un análisis documental.

2. Muestre la **HOJA DE TRABAJO 1.1** y entregue una copia a cada alumno para que la rellene al final de la sesión.

3. Divida a los alumnos en grupos de 4 como máximo y explíqueles que cada grupo va a desempeñar el papel de un experto científico (oceanógrafo, glaciólogo, botánico, etc.). Distribuya las **HOJAS DE TRABAJO 1.2 a 1.6** (una por grupo). Utilizando los documentos, los alumnos deberán rellenar las tarjetas correspondientes a su especialidad y colocarlas en el documento “Los componentes del sistema climático”. Concretamente, deberán determinar los parámetros físicos y la escala espaciotemporal que se estudia en sus respectivas especialidades, y explicar brevemente las pruebas del cambio climático.

4. Después de que cada grupo haya analizado y comentado sus documentos, un miembro de cada grupo completa los recuadros correspondientes a su especialidad científica en la pizarra o expone oralmente sus conclusiones a los demás grupos, de forma que cada alumno pueda completar la **HOJA DE TRABAJO 1.1**.

CONSEJOS PARA EL PROFESOR

En esta lección, la escala temporal puede ser difícil de entender para los alumnos. En efecto, los jóvenes (y los no tan jóvenes!) tienden a percibir solo los acontecimientos directamente relacionados con su vida personal. Sin embargo, los cambios provocados por el calentamiento global suelen ser graduales y solo pueden observarse en períodos largos de tiempo (30 años, 100 años o más). Por tanto, pueden ser difíciles de percibir. He aquí algunos consejos para ayudarle:

- ~ Empiece con ejemplos concretos e introduzca progresivamente cambios de escala;
- ~ Utilice ejemplos que a los alumnos les resulten familiares (acontecimientos actuales y/o ejemplos aportados por ellos);
- ~ Las analogías con objetos cotidianos pueden servir para ayudar a los alumnos a entender mejor los órdenes de magnitud (ejemplo **HOJA DE TRABAJO 1.2, DOCUMENTO 1**: compara los 120 años del eje horizontal con la duración media de la vida de un ser humano en tu país).

CONCLUSIÓN 30 MIN

Concluya diciendo que los científicos utilizan **parámetros físicos y biogeoquímicos** para estudiar el tiempo o el clima: temperatura (°C o °F), humedad relativa (% de vapor de agua en el aire), precipitaciones (mm de agua por hora), concentración de gases de efecto invernadero: H₂O, CO₂, CH₄ (ppm), aerosoles o concentración de contaminantes (µg/m³), hielo (volumen en gigatoneladas o superficie en km²), etc.

Los parámetros físicos son los mismos para el tiempo y para el clima, exceptuando que algunos parámetros de **evolución lenta** (p. ej., la superficie del hielo) son más pertinentes para el **clima**. Por el contrario, los parámetros con una **escala temporal corta** (como las precipitaciones), son más pertinentes para el estudio del **tiempo**.

Cada experto estudia un **conjunto de parámetros físicos** (el glaciólogo, por ejemplo, examina el volumen de hielo y el albedo). Esto se puede ilustrar con el vídeo CLIM “El sistema climático de la Tierra”, en el que Fiona O’Connor, de la Oficina meteorológica del Reino Unido, explica cómo tiene en cuenta distintos parámetros (vapor de agua, agua líquida, concentración de metano) para estudiar la química atmosférica.



VER EL VÍDEO ➔

Estos parámetros físicos deben tenerse en cuenta **de forma simultánea a la hora de estudiar el clima** (y de abordar el cambio climático!). Pueden utilizarse para describir tendencias a escala mundial o a una escala menor (regional, por ejemplo). **En cualquier caso, los meteorólogos y los climatólogos deben estudiar simultáneamente una serie de parámetros para poder describir cómo el clima está cambiando.**

Concluya resaltando que, al igual que el tiempo varía de un día para otro, **el clima también ha cambiado en el último siglo: es lo que se conoce como cambio climático**. Existen pruebas científicas sólidas que demuestran que el clima ha cambiado en varias regiones del mundo: la temperatura global y el nivel del mar han subido, los glaciares y el hielo marino se están derritiendo, las flores brotan antes, las sequías y las lluvias torrenciales son más frecuentes, etc.

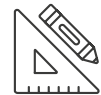
También se puede mencionar al **IPCC como una de las fuentes de información más fiables** sobre cambio climático.



LOS COMPONENTES DEL SISTEMA CLIMÁTICO



ECÓLOGOS
DOCUMENTO 9
Parámetros físicos:
Escala (local, global, regional):
Pruebas del cambio climático:



OCEANÓGRAFOS DOCUMENTO 1

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

OCEANÓGRAFOS DOCUMENTO 2

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

HIDRÓLOGOS DOCUMENTO 7

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

CIENTÍFICOS DE LA ATMÓSFERA DOCUMENTO 3

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

CIENTÍFICOS DE LA ATMÓSFERA DOCUMENTO 4

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

HIDRÓLOGOS DOCUMENTO 8

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

GLACIÓLOGOS DOCUMENTO 5

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

GLACIÓLOGOS DOCUMENTO 6

Parámetros físicos:

Escala (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

ECÓLOGOS DOCUMENTO 9

Parámetros físicos:

Scale (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:

ECÓLOGOS DOCUMENTO 10

Parámetros físicos:

Scale (¿local, global, regional?):

Pruebas del cambio climático:



OCEANÓGRAFOS DOCUMENTO 1

Parámetros físicos: nivel del mar (mm).

Escala: global

Pruebas del cambio climático: Desde 1900, el nivel del mar ha aumentado en promedio 200 mm a nivel mundial, manteniendo un ritmo regular a lo largo del tiempo.

OCEANÓGRAFOS DOCUMENTO 2

Parámetros físicos: anomalías de temperatura (°C).

Escala: global

Pruebas del cambio climático:

Pruebas del cambio climático: La temperatura media en 2022 fue mayor que la del período 1880-2010, indicando una tendencia al calentamiento desde finales del siglo XIX. Este calentamiento es más acentuado en los continentes y en las latitudes altas.

CIENTÍFICOS DE LA ATMÓSFERA DOCUMENTO 3

Parámetros físicos: concentración de CO₂ en la atmósfera (ppm).

Escala: global

Pruebas del cambio climático: Desde la Revolución Industrial, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado debido a las emisiones generadas por actividades humanas. Este exceso de CO₂ intensifica el efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global.

CIENTÍFICOS DE LA ATMÓSFERA DOCUMENTO 4

Parámetros físicos: anomalías de temperatura durante el verano de 2023 (°C).

Escala: regional

Pruebas del cambio climático: Pruebas del cambio climático: Durante el verano de 2023, Europa experimentó anomalías de temperatura positivas, con aumentos de entre +1 °C y +3 °C en países como Francia, España y Suiza, donde también se registraron olas de calor. Estas temperaturas, más cálidas que las de referencia, son una consecuencia del cambio climático.

GLACIÓLOGOS DOCUMENTO 5

Parámetros físicos: Datos cualitativos obtenidos a partir de observaciones de glaciares sobre el terreno, tamaño de la criosfera (toneladas de hielo).

Escala: Se puede extraer una conclusión global a partir de observaciones locales en muchas partes del mundo (mantos de hielo en Alaska, la Antártida y Groenlandia).

Pruebas del cambio climático: Los mantos de hielo están retrocediendo en todo el planeta. En cada uno se están perdiendo gigatoneladas de hielo continental cada año. Esto es una señal del calentamiento global y de la subida del nivel del mar.

GLACIÓLOGOS DOCUMENTO 6

Parámetros físicos: superficie de hielo marino del Ártico (millones de km²), índice de albedo del hielo marino (millones de km²).

Escala: regional (Ártico)

Pruebas del cambio climático: La extensión del hielo marino del Ártico ha ido disminuyendo desde al menos 1979. El albedo de toda la región ártica también está disminuyendo. El calentamiento global es la causa del deshielo del hielo marino, que a su vez reduce el albedo. Como consecuencia, el océano Ártico absorbe más radiación solar.

HIDRÓLOGOS DOCUMENTO 7

Parámetros físicos: tendencias en las precipitaciones sobre la tierra entre 1951 y 2010 (% por década).

Escala: global

Pruebas del cambio climático: Desde 1951, las precipitaciones han aumentado en algunas regiones, como el norte de Europa y el este de Estados Unidos (p. ej., +4 % por década en Reino Unido entre 1951 y 2010). Por el contrario, llueve menos en el entorno del Mediterráneo, África Occidental y el Sudeste Asiático (-10 % por década en Senegal, por ejemplo). Así pues, el cambio climático está afectando a los regímenes pluviométricos, que están cambiando en todo el planeta, pero de manera muy desigual.

HIDRÓLOGOS DOCUMENTO 8

Parámetros físicos: anomalías de temperatura (°C) en la superficie terrestre y oceánica desde 1880.

Escala: global

Pruebas del cambio climático: Las anomalías de temperatura en tierra han aumentado en casi 2 °C desde 1880, lo que confirma que el planeta se está calentando. Al depender de temperatura, la evaporación y la evapotranspiración aumentan con el calentamiento global.

ECÓLOGOS DOCUMENTO 9

Parámetros físicos: flujos de carbono (flechas, sin unidades) y reservorios (cifras, % de carbono almacenado).

Escala: global y regional

Pruebas del cambio climático: Con el cambio climático, los regímenes de precipitación están cambiando en todo el mundo. Esto está afectando al suelo y a la actividad de las plantas: los flujos y las reservas de carbono se están viendo alterados en muchos ecosistemas. Este es solo un ejemplo de cómo las actividades humanas están modificando el ciclo de carbono de la Tierra.

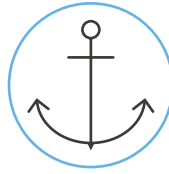
ECÓLOGOS DOCUMENTO 10

Parámetros físicos: período de floración, número de fenómenos extremos

Escala: local y global

Pruebas del cambio climático: La fecha en que los cerezos empiezan a florecer en Japón ha pasado de finales de abril, en 1550, a principios de abril, en los años 2000. El cambio climático está provocando que las plantas florezcan antes.

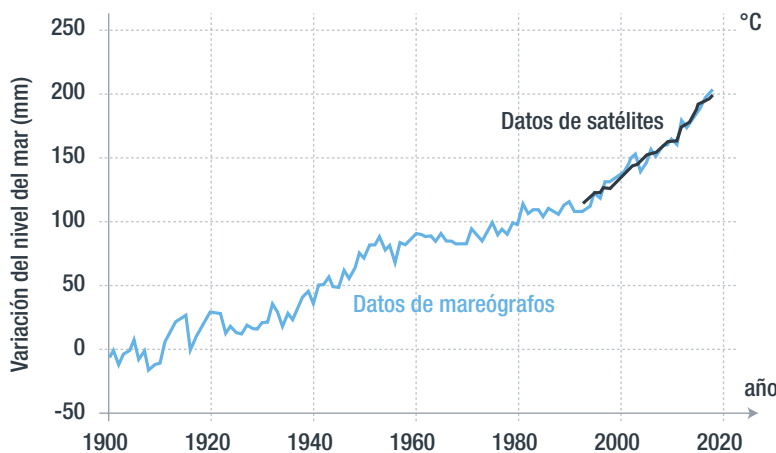
El número de fenómenos extremos ha ido aumentando de forma progresiva desde 1960. Su frecuencia e intensidad van en aumento con el cambio climático, lo que causa importantes daños al medioambiente y a las plantas, entre otras cosas.



OCEANÓGRAFOS

→ Sois un grupo de científicos especializados en los océanos que veis cómo ha cambiado el nivel del mar en el último siglo.

DOCUMENTO 1. VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR DESDE 1900



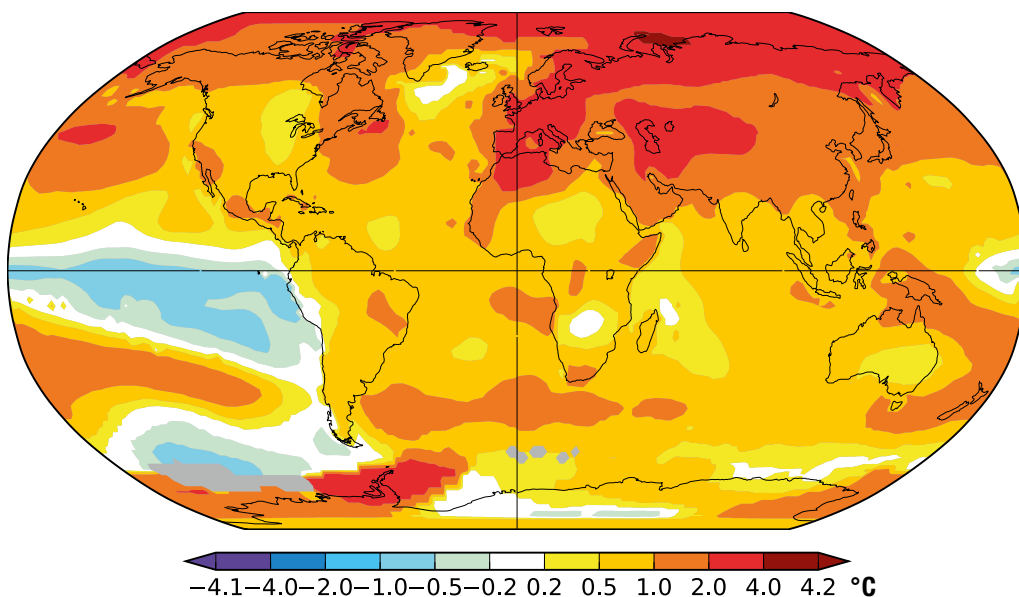
Las mediciones se han obtenido mediante satélites que orbitan alrededor de la Tierra y registros continuos del nivel del mar.

Los datos más antiguos proceden de mareógrafos ubicados en las costas. Un mareógrafo es un dispositivo de registro que mide el nivel del mar o de un río en un lugar concreto durante un período de tiempo determinado.

Adaptación de fuentes del Goddard Space Flight Center y del PO.DAAC de la NASA. Fuente: Frederikse et al., 2020, publicado en el sitio web de la NASA (<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>).

DOCUMENTO 2. VARIACIONES DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) EN SUPERFICIE EN 2022 EN COMPARACIÓN CON EL PERÍODO 1880-2010

Este mapa muestra las anomalías de temperatura, en este caso, la diferencia entre la temperatura media anual en 2022 y la temperatura media durante el período 1880-2010.



Fuentes: 2023, Land Surface Air Temperature: GHCNv4, Sea Surface Temperature: ERSST_v5, publicado en el sitio web de la NASA (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html).

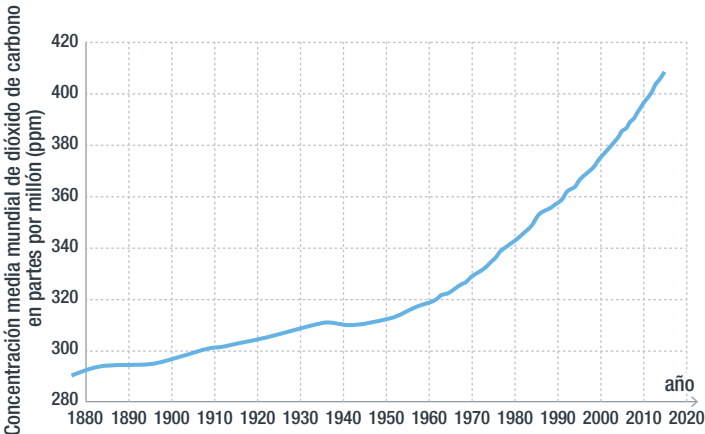
La NASA también dispone de un vídeo que ayuda a visualizar el aumento de las temperaturas desde 1880: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4882>



CIENTÍFICOS DE LA ATMÓSFERA

→ Como expertos en la atmósfera, queréis saber cómo han cambiado las temperaturas y la composición de la atmósfera a lo largo del tiempo.

DOCUMENTO 3. CONCENTRACIÓN MEDIA MUNDIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO EN PPM

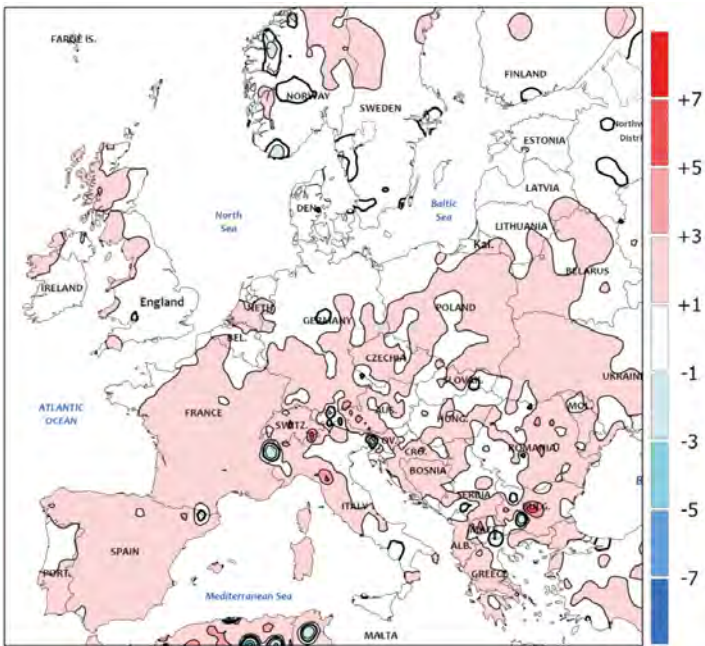


Adaptado de NOAA. Fuente: 2021, ESRL/ETHZ/NCEI. Publicado en el sitio web de NOAA (<https://www.climate.gov/media/13560>).

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero. La radiación solar atraviesa la atmósfera y es absorbida por la superficie de la Tierra, lo que provoca su calentamiento. Esta radiación solar absorbida se transforma en radiación infrarroja (calor). En su camino de vuelta al espacio, parte de esta radiación infrarroja queda “atrapada” por los gases de efecto invernadero de la atmósfera, provocando un calentamiento aún mayor de esta.

El progreso técnico desde la Revolución Industrial no se ha limitado a la máquina de vapor, sino que ha dado lugar a cambios científicos, tecnológicos, económicos y políticos sin precedentes que afectan a todos los sectores de las sociedades humanas. Todos estos cambios han contribuido a un aumento sin precedentes de la población humana. El aumento de la población y del consumo de energía ha contribuido al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

DOCUMENTO 4. ANOMALÍA DE TEMPERATURAS DURANTE EL VERANO DE 2023

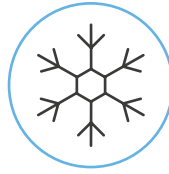


Fuente: 2024, NOAA, Center for Weather and Climate Prediction, publicado en el sitio web de NOAA (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/europe.shtml).

Escala estudiada: Europa
Parámetro físico estudiado: anomalía de temperaturas (°C) durante 3 meses (junio-agosto) de 2023.

En este caso, la anomalía de temperaturas es la diferencia entre este período de 3 meses y la temperatura media a largo plazo. Una anomalía positiva significa que la temperatura observada fue más cálida que el valor de referencia, mientras que una anomalía negativa indica que la temperatura observada fue más fría que ese valor de referencia.

En julio de 2023, Europa registró un tiempo excepcionalmente cálido, con temperaturas récord en Francia, Alemania y España. Los fenómenos meteorológicos extremos son acontecimientos inusuales para un lugar determinado: fuertes huracanes, sequías, temperaturas extremas, olas de calor, lluvias torrenciales, inundaciones repentinas, etc. Según los expertos del IPCC, estos fenómenos extremos son cada vez más frecuentes e intensos como consecuencia del cambio climático.



GLACIÓLOGOS

→ Sois un grupo de científicos especializados en los glaciares y estudiáis el impacto del cambio climático en ellos.

DOCUMENTO 5. EVOLUCIÓN DEL HIELO CONTINENTAL



El hielo continental representa todo el hielo y la nieve de un continente. Incluye los glaciares, los mantos o capas de hielo, la nieve estacional, los lagos y ríos congelados y el permafrost (suelo, rocas o sedimentos que han estado permanentemente congelados durante al menos 2 años consecutivos).

Fuentes: Izquierda: agosto de 1941. Glaciar Muir, fotografiado por el glaciólogo William O. Field. Derecha: agosto de 2004. Imagen del glaciar Muir, tomada por el geólogo Bruce F. Molnia, del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Publicado en el banco de imágenes Global Climate Change de la NASA: (<https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer#/1/4>).

¿CUÁNTO HIELO ESTAMOS PERDIENDO ACTUALMENTE?



303 GIGATONELADAS DE HIELO PERDIDAS EN EL MANTO DE HIELO DE GROENLANDIA EN 2014

¿Cuánta agua se añadió a nuestros océanos debido a este fenómeno? Una piscina olímpica tiene 25 metros de ancho, 2 metros de profundidad y 50 metros de largo. Para contener 303 gigatoneladas, esta piscina tendría que medir algo más de **6 000 millones de metros de largo**, lo que equivaldría a **16 viajes de ida y vuelta entre la Tierra y la Luna**. El manto de hielo de Groenlandia contiene hielo suficiente como para elevar 6 metros el nivel del mar.

118 GIGATONELADAS DE HIELO ANTÁRTICO PERDIDAS EN 2014

El manto de hielo de la Antártida cubre alrededor de **5,4 millones de millas cuadradas**, una superficie mayor a la de Estados Unidos e India juntos. Este manto contiene hielo suficiente como para elevar el nivel del mar en casi **58 metros**. Su parte occidental supone la mayor amenaza en términos de una rápida subida del nivel del mar. En 2014, dos estudios concluyeron que los glaciares de la región se estaban derritiendo, aunque era imposible predecir con exactitud cuánto tiempo tomará el deshielo total.

LO ÚLTIMO Los científicos estiman que Groenlandia ha perdido una media de 287 gigatoneladas de hielo al año entre abril de 2002 y agosto de 2016. La Antártida perdió una media de 125 gigatoneladas de hielo al año en el mismo periodo.

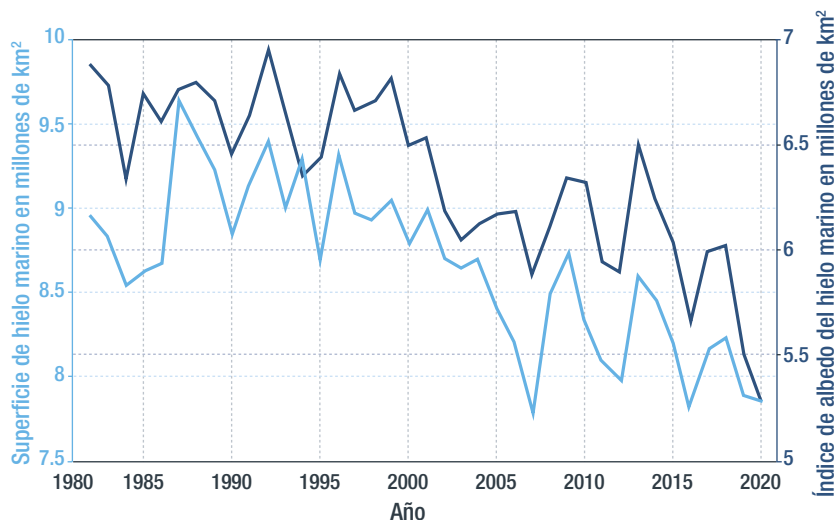


MIENTRAS TANTO, EN ALASKA...

Los sondeos aéreos realizados en 116 glaciares de Alaska y Canadá entre 1994 y 2013 mostraron una pérdida de **75 000 millones de toneladas de hielo al año**. Eso es suficiente para cubrir el estado de Alaska con 30 centímetros de agua cada 7 años.

Fuente: Adaptado de la NASA. Publicado en el banco de imágenes Global Climate Change de la NASA: (https://climate.nasa.gov/climate_resources/125/in-fographic-sea-level-rise/).

DOCUMENTO 6. CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE HIELO MARINO Y EL ALBEDO DE MARZO A SEPTIEMBRE EN EL ÁRTICO



El océano Ártico está parcialmente cubierto por hielo marino, que es agua de mar congelada que flota en la superficie del océano.

El albedo ('blancura' en griego). Es un concepto que mide la proporción de radiación solar que refleja un objeto o una superficie. Cuando los rayos de sol se reflejan de nuevo en el espacio, no calientan la superficie terrestre.

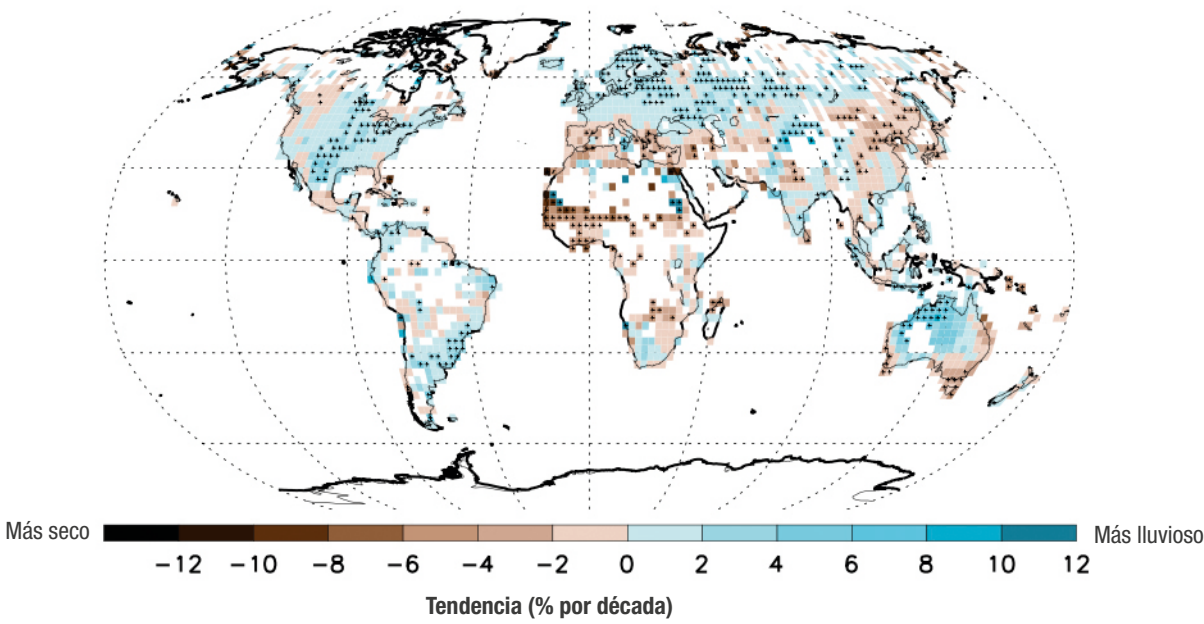
Fuente: 2023. Adaptado de Hao, H. et al., *Radiative Effects and Costing Assessment of Arctic Sea Ice Albedo Changes*, Remote Sens., <https://doi.org/10.3390/rs15040970>. Estudio publicado en el sitio de MDPI (licencia CC): (<https://www.mdpi.com/2072-4292/15/4/970>).



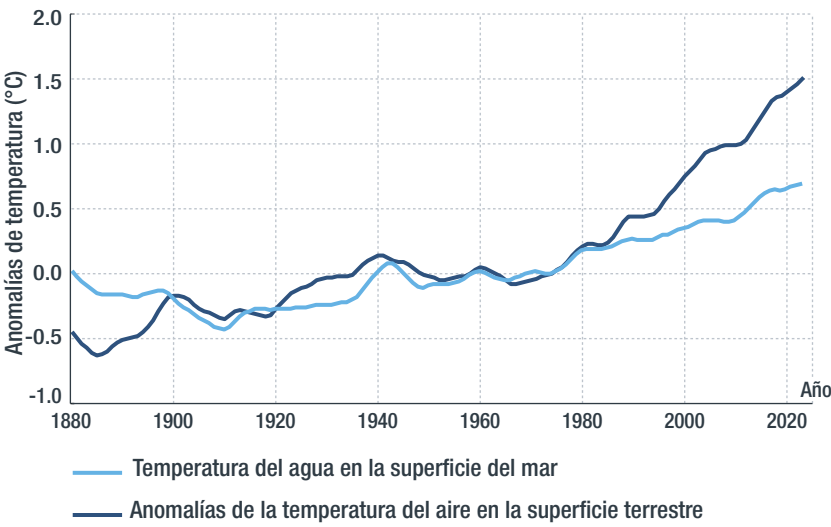
HIDRÓLOGOS

→ Sois un grupo de científicos especializados en el ciclo del agua. Estáis interesados en las precipitaciones, las aguas superficiales y la evaporación.

DOCUMENTO 7. TENDENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES EN LA SUPERFICIE TERRESTRE ENTRE 1951 Y 2010, EN % POR DÉCADA



Adaptado del IPCC. Fuente: 2013, Informe de Evaluación 5, Grupo de Trabajo 1 (Bases físicas). Publicado en el sitio web del IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>).



Fuente: 2024, NASA/GISS/GISTEMP v4. Adaptado de la NASA (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/)

DOCUMENTO 8. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE Y EN EL OCEANO DESDE 1880

Estas mediciones se obtuvieron en diversas estaciones repartidas por todo el mundo. Las curvas muestran las anomalías de temperatura, es decir, en este caso, la diferencia entre la temperatura media anual y la temperatura media a largo plazo (1951-1980).

La **evaporación** del agua es su paso de un estado líquido a un estado gaseoso. Este cambio de estado a vapor de agua se produce tanto en los océanos como en los continentes (lagos, suelos, etc.). Las plantas también pierden agua con el sol.

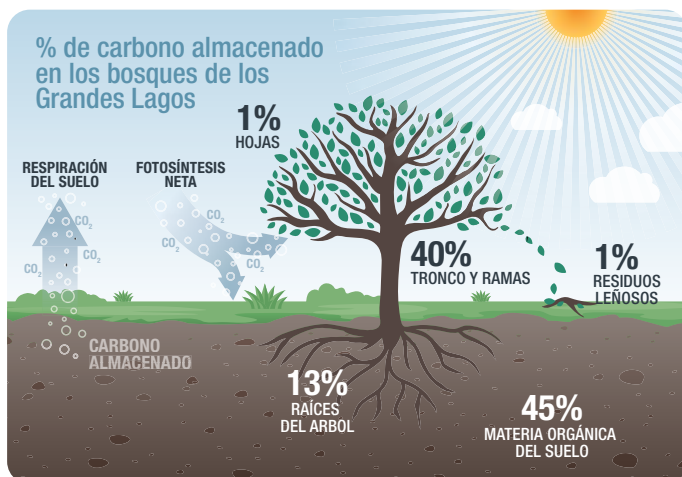
Al transpirar, producen gotas de agua que se evaporan. Este fenómeno se conoce como **evapotranspiración**. La evaporación y la evapotranspiración dependen de la **temperatura**, de la **cantidad de agua** del subsuelo y del **tipo de vegetación**.



ECÓLOGOS

→ Sois un grupo de especialistas en plantas que estudia la relación entre las plantas y el cambio climático.

DOCUMENTO 9. ¿QUÉ OCURRE CON EL DIÓXIDO DE CARBONO PRESENTE EN LAS PLANTAS?



Las plantas realizan la **fotosíntesis**: absorben dióxido de carbono de la atmósfera para producir materia orgánica. Cuando respiran, tanto de día como de noche, las plantas liberan parte del dióxido de carbono a la atmósfera (**respiración**). El carbono restante se almacena en las hojas, los tallos y troncos, las raíces y el suelo: todos estos elementos son **depósitos de carbono**.

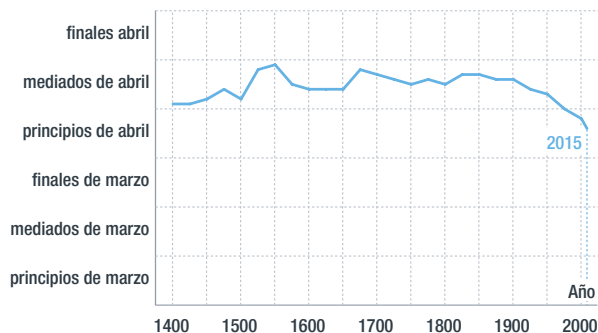
Los bosques jóvenes y en crecimiento son importantes **sumideros de carbono** en la Tierra: existe un **flujo** de carbono de la atmósfera a la materia orgánica de los árboles. Recientemente se ha demostrado que los bosques maduros también son sumideros de carbono. Ambos tipos de bosques almacenan enormes cantidades de carbono. Por ello, son conocidos como **reservorios de carbono**.

El carbono circula entre los distintos reservorios de la Tierra: la atmósfera, la biosfera, el suelo, etc. Este es el **ciclo del carbono**, en el cual las plantas desempeñan un papel fundamental.

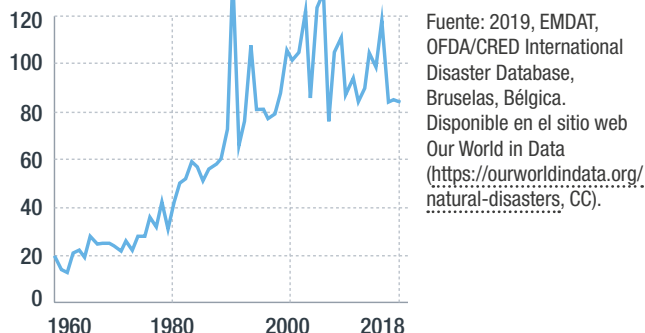
Según los expertos del IPCC, el cambio climático está alterando el régimen de las precipitaciones en todo el mundo. Esto está afectando a los suelos y a la actividad de las plantas: los flujos y los reservorios de carbono se están alterando en muchos ecosistemas.

DOCUMENTO 10. LAS PLANTAS SE VEN AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

EVOLUCIÓN DE LA FECHA DE FLORACIÓN



NÚMERO DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS REGISTRADOS EN EL PLANETA



La floración tiene lugar cuando el tiempo es lo suficientemente cálido. El gráfico anterior muestra los cambios en la fecha de floración de los cerezos en Japón durante un periodo de 600 años.

Fuente: 2015, Adaptado de Aono and Kazui, 2008; Aono and Saito, 2010; Aono, 2012, Aono, 2012; Chikyu Kankyo (Global Environment), 17, 21-29. Publicado en el sitio web de Yasuyuki Aono: (<http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/aono/kyophenotemp4/>).



Incendios forestales



Lluvias torrenciales



Sequías



Olas de calor

FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

SECUENCIA A – EL SISTEMA CLIMÁTICO DE LA TIERRA

LECCIÓN 2 LAS LEYES DE LA FÍSICA¹

MATERIAS PRINCIPALES
Física

DURACIÓN
Preparación: 10 min (sin contar los experimentos opcionales)
Actividad: 1h30 (más varias horas para experimentos opcionales)

GRUPO DE EDAD
Estudiantes de 15 años o más

MÉTODO PEDAGÓGICO
Experimentos
Estudio documental

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos realizan unos pocos experimentos (algunos obligatorios; otros opcionales) sobre una selección de parámetros enumerados en la lección anterior, con el fin de entender que cada uno de ellos depende de (es decir, “es función de”) varios otros. Esta dependencia puede describirse de forma detallada, pero no necesariamente por los propios alumnos.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA
Ámbito 2 – Asumir la complejidad de la sostenibilidad
Competencia – 2.3 Contextualización de problemas



CONCEPTOS ABORDADOS

Radiación, infrarrojo, absorción, emisión, opacidad

PREPARACIÓN 10 MIN

- Imprima las **HOJAS DE TRABAJO 2.1 a 2.6** (una por cada alumno).
- Imprima las **HOJAS DE TRABAJO** correspondientes a los experimentos opcionales (véase más abajo).

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

En la enseñanza secundaria, independientemente de la especialidad, la noción de “función matemática” es obligatoria en todos los planes de estudio (ya sea para calcular derivadas, leer un gráfico o utilizar tablas de datos). El objetivo aquí es sencillamente introducir la idea de que los parámetros físicos utilizados en los modelos climáticos pueden describirse mediante una función de uno o varios parámetros. P. ej., la evaporación del agua depende de la temperatura del aire, la temperatura del agua, la velocidad del viento, la humedad del aire, etc.

Esta sesión puede llevarse a cabo de varias maneras. Los alumnos pueden realizar ellos mismos los experimentos, en parte o en su totalidad, o llevar a cabo un estudio documental. Toda la clase puede trabajar en el mismo tema durante varias sesiones seguidas, o bien, dividirse en grupos para estudiar varios aspectos en paralelo, antes de trabajar juntos al final de la sesión. La primera mitad de la lección (obligatoria) aborda el efecto invernadero, un concepto poco intuitivo. Los alumnos más jóvenes pueden tener dificultades para prepararla por su cuenta, dado que implica el uso de una cámara termográfica profesional (también llamada cámara de infrarrojos o IR, aunque este nombre no debe utilizarse demasiado pronto en la sesión). Con todo, las hojas de trabajo pueden servir de base para el debate en el aula.

INTRODUCCIÓN 5 MIN

En la lección anterior, los alumnos repasaron los numerosos parámetros que deben tenerse en cuenta al estudiar el cambio climático. En este punto se plantean dos preguntas: *¿Cómo varían esos parámetros?* Y lo que es más importante: *¿entienden los alumnos qué es el efecto invernadero?*

PROCEDIMIENTO 1H20

PARTE 1: ¿CÓMO FUNCIONA EL EFECTO INVERNADERO? 50 MIN

Tanto si los alumnos realizan los experimentos como si trabajan con las distintas hojas de trabajo, la sesión debe desarrollarse tal y como se indica para garantizar la plena comprensión de todas las leyes de la física abordadas.

HOJA DE TRABAJO 2.1 – DOCUMENTO 1

¿Qué ven tus ojos?

Todos los objetos que se muestran aquí están calientes y todos emiten luz. Más concretamente, **la intensidad y el color de la radiación emitida dependen de la temperatura del objeto.**

HOJA DE TRABAJO 2.1 – DOCUMENTO 2

¿Qué ve esta cámara especial?

En la pantalla de la cámara podemos ver el resto del metal calentado (en la oscuridad, las partes que no están directamente bajo la llama no son visibles: están por debajo de los 700 °C). La pantalla muestra una gama de colores que parece indicar la temperatura. Podríamos pensar que esta cámara mide la temperatura (el nombre, “cámara termográfica”, no ayuda mucho).

¹ Nuestro cálido agradecimiento al Dr. Valentin Maron, investigador en didáctica de la física del INSPE de Toulouse, laboratorio EFTS (Francia). Lo esencial de esta actividad y las fotografías provienen de su trabajo.

HOJA DE TRABAJO 2.2 – DOCUMENTO 3

¿Qué esperamos ver en la pantalla de la cámara especial?

Si la cámara midiera realmente la temperatura, veríamos al hombre (a 35-37 °C) en colores vivos, mientras que el resto de la escena estaría en tonos más oscuros (al estar probablemente a una temperatura homogénea de entre 15 °C y 20 °C).

HOJA DE TRABAJO 2.2 – DOCUMENTO 4

¿Qué muestra realmente la cámara especial?

Vemos al hombre en colores vivos, pero el resto de la escena no está totalmente oscura. ¡Y observamos también el reflejo del hombre! Y, sin embargo, la temperatura del vidrio debería ser aproximadamente la misma que la de la habitación. Así pues, la cámara detecta una radiación que es **invisible para nuestros ojos. Esta radiación se denomina infrarrojo (en adelante, “IR”).**

Además, la escala de colores no es más que una escala de potencia de radiación (véase más arriba): la radiación IR de alta potencia aparece en amarillo-blanco, mientras que la de baja potencia aparece en violeta-negro.

HOJA DE TRABAJO 2.3 – DOCUMENTO 5

¿Qué podemos decir de las emisiones infrarrojas de estas tazas?

A primera vista, la interpretación de la imagen es evidente: **cuanto más caliente está el objeto, más intensa es su emisión IR.**

En este punto, pida a los alumnos que comparen la foto tomada con luz visible y la foto con luz IR: la luz visible puede atravesar tanto la taza de agua caliente (podemos adivinar el color del jersey del hombre) como la taza de agua fría. Sin embargo, no ocurre lo mismo con la luz IR: aunque la radiación IR de la taza de agua fría es débil, no podemos distinguir la emisión IR del hombre, que está detrás.

Pregunta: *¿esto se debe al agua o a la taza de vidrio?*

HOJA DE TRABAJO 2.3 – DOCUMENTO 6

¿Cuál es el grado de transparencia de estos materiales?

La luz visible atraviesa el panel de vidrio, la funda de plástico y la taza de agua. En cambio, solo la funda de plástico dejar pasar la radiación IR, mientras que el vidrio y el agua absorben la radiación IR.

Resumiendo: *Hemos visto que hay interacciones entre la luz (IR y visible) y la materia (sólida y líquida).*

Pregunta: *¿Pueden los gases emitir radiación IR? ¿Y absorber radiación IR?*

HOJA DE TRABAJO 2.4 – DOCUMENTO 7

Experimento sobre la transparencia y las emisiones de radiación de los gases

Es evidente que los gases no emiten radiación visible (porque no los vemos): son totalmente transparentes a la luz visible. Sin embargo, una cámara IR puede detectar claramente su radiación infrarroja. Podemos ver que el **CO₂ emite más radiación que el aire a 30 °C.**

Por último, los dos globos fríos son opacos a la radiación IR: absorben la radiación del fondo más cálido y no la dejan pasar. El CO₂ frío absorbe incluso más radiación IR que el aire. Esto demuestra que el **CO₂ es un gas de efecto invernadero.**

HOJA DE TRABAJO 2.5 – DOCUMENTO 8

Construir un “equilibrio radiactivo”

Esta hoja de ejercicios es simplemente un documento para que los alumnos lo discutan. Un posible experimento consistiría en medir la temperatura de un trozo de chapa ondulada colocado en el exterior bajo la luz solar directa. Lo que ocurriría es que la temperatura aumentaría hasta alcanzar un tope. Sin embargo, es difícil distinguir con precisión entre la radiación solar reflejada, la radiación solar dispersa y la radiación IR emitida.

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

Dado que el aire de la estratosfera es unos 40 °C más frío que el de la superficie terrestre, debemos fijarnos aquí en el “globo de CO₂ a 5 °C” (véase la **HOJA DE TRABAJO 2.4**).

*¿Qué ocurre cuando la atmósfera de la Tierra contiene de repente más “CO₂ frío”? **La atmósfera absorbe más radiación IR** (emitida por el “planeta Tierra”) **y escapa menos radiación IR al espacio.***

Como resultado, se altera el equilibrio radiactivo. Al escapar menos radiación de la que entra, la temperatura del sistema aumenta (**HOJA DE TRABAJO 2.5**). **y aumenta también la emisión IR** (**HOJA DE TRABAJO 2.3 DOCUMENTO 5**) **hasta que se alcanza un nuevo equilibrio** (**HOJA DE TRABAJO 2.5**).

Concluya: *en resumen, esto explica el efecto invernadero.*

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

La **HOJA DE TRABAJO 2.5** puede ayudarle a entender cómo funcionan los distintos fenómenos de retroalimentación climática. Por ejemplo:

- Deshielo de los casquetes polares, disminución del albedo: el flujo visible saliente (reflejado) disminuye; para compensar, el flujo IR saliente debe aumentar (mediante un aumento de la temperatura).
- Aumento del vapor de agua en la atmósfera: el H₂O también es un gas de efecto invernadero, y el razonamiento es exactamente el mismo que para el del exceso de CO₂ ya discutido en clase.

Los alumnos estudiarán estas dos retroalimentaciones en el juego de mesa utilizado en la lección 3. Si es necesario, las retroalimentaciones se estudian más a fondo en la **lección C3 “La criosfera blanca y su albedo”** del manual “**El océano y la criosfera**”.



**PARTE 2: ¿CÓMO VARIAN LOS PARÁMETROS
RELACIONADOS CON EL CLIMA? 30 MIN**

Tras trabajar con la **HOJA DE TRABAJO 2.5**, los alumnos ya podrán responder a la pregunta: *¿De qué depende el cambio de la temperatura de la superficie?* Deberían mencionar:

- la radiación solar entrante R_{sol}
- la radiación solar reflejada $R_{reflejada}$
- la potencia de emisión $R_{emisión\ IR}$
- etc.

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

El 'etc.' de la página anterior es muy importante. Puede haber ciertos factores que desempeñan un papel sin que los alumnos se hayan percatado de ello, o sin que los científicos lo hayan establecido claramente o sin que hayan sido aún objeto de consenso, etc. Estos factores explican las discrepancias entre los distintos modelos climáticos, alimentan las incertidumbres, explican las barras de error, e impulsan nuevas investigaciones destinadas a determinar su importancia.

A modo de conclusión, escriba esto en una fórmula (nótese que [...] representa el [...] matemático) donde f significa "es función de":

$$T_{superficie} = f(R_{sol}, R_{reflejada}, R_{emisión\ IR}, \dots)$$

Explique a los alumnos que no necesitan conocer la expresión exacta de la función f (a veces, los científicos tampoco). Se pueden llevar a cabo experimentos sencillos para hallarla (como los que hicieron para el efecto invernadero). Algunos datos tabulados, obtenidos a partir de mediciones in situ, pueden sustituir a las expresiones analíticas, y las posibilidades de mejora son muchas (este será el tema de la lección 5).

Utilizando las **HOJAS DE TRABAJO 2.1 a 2.4**, los alumnos pueden responder a la pregunta: *¿De qué depende la radiación IR emitida por la atmósfera?* Depende de los siguientes parámetros:

- la temperatura de la superficie de la Tierra $T_{superficie}$
- la temperatura del aire T_{aire}
- la altura de la atmósfera H
- la cantidad de gases de efecto invernadero m_{CO_2} , m_{H_2O} , m_{CH_4} , ...
- etc.

O, en fórmula:

$$R_{emisión\ IR} = f(T_{superficie}, T_{aire}, H, m_{CO_2}, m_{H_2O}, m_{CH_4}, \dots)$$

Los alumnos se darán cuenta enseguida de que estas dos fórmulas están vinculadas matemáticamente a través de los parámetros $T_{superficie}$ y $R_{emisión\ IR}$, lo que demuestra que existe un bucle de retroalimentación en este sistema.

HOJA DE TRABAJO 2.6 – DOCUMENTO 9

¿Qué acelera la evaporación del agua?

Recuerde a la clase que el H_2O es el gas de efecto invernadero más importante, responsable de la mayor parte del efecto invernadero natural. Gracias a él, la temperatura de la superficie terrestre pasa de $-18\ ^\circ C$ a $+15\ ^\circ C$, permitiendo la vida.

Luego, pregunte: ¿Qué factores pueden acelerar o ralentizar la evaporación del agua en un tiempo determinado? Los alumnos probablemente mencionarán la temperatura del agua y del aire, así como la velocidad del viento.

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

Estos experimentos permiten visualizar y comparar la cantidad de agua condensada: vierta un poco de agua en una botella, coloque un pequeño plato de vidrio sobre su abertura y un cubo de hielo en el plato.

→ **Experimento 1:** Realice el experimento anterior, variando únicamente la temperatura del agua dentro de la botella (fría, tibia o caliente). Observe y determine la cantidad de agua condensada.

→ **Experimento 2:** En este caso, la variable que cambia es la temperatura del aire. Tome dos botellas con agua a la misma temperatura y coloque una en el refrigerador. Compare la cantidad de agua condensada.

Una pregunta común: *¿Qué acelera el secado de la ropa?* Para ayudar a los alumnos, reparta la **HOJA DE TRABAJO 2.6**. Los alumnos deben llegar a la siguiente conclusión: la cantidad de agua ($m_{H_2O\text{-}evap}$) que se evapora en un período de tiempo determinado depende de:

- la temperatura del aire T_{aire}
- la temperatura del agua T_{agua}
- la cantidad de radiación solar R_{sol}
- la presencia de viento y/o su velocidad V_{viento}
- la humedad del aire H_{aire}
- la superficie real de la interfaz aire/agua $S_{interfaz}$
- etc.

O expresado en la fórmula:

$$m_{H_2O\text{ evap}} = f(T_{aire}, T_{agua}, R_{sol}, V_{viento}, H_{aire}, S_{interfaz}, \dots)$$

EXPERIMENTOS OPCIONALES

Los siguientes experimentos pueden realizarse en cualquier orden, por ejemplo, pueden llevarlos a cabo distintos grupos de forma paralela.

LA RADIACIÓN SOLAR REFLEJADA DEPENDE DE... 1H30

Realice o consulte el experimento sobre el albedo que puede encontrarse en la lección C3 del manual del docente de "El océano y la criosfera". La conclusión es que la radiación solar que un objeto o una superficie refleja hacia espacio depende de:



- la cantidad de radiación solar que llega al objeto o superficie R_{sol}
- la reflectividad del objeto o superficie, denominada albedo: $A_{superficie}$
- etc.

$$R_{retorno} = f(R_{sol}, A_{superficie}, \dots)$$

LAS EMISIONES NATURALES DE CO₂ DEPENDEN DE... 1H

Realice o consulte el experimento sobre la fotosíntesis que puede encontrarse en la lección A5 del manual del docente de “El cambio climático y la tierra”. Este experimento demuestra que las plantas pueden actuar a la vez como sumideros de carbono y como fuentes de CO₂. El hecho de que las plantas fotosintéticas actúen como sumideros de carbono depende de:



- la masa de organismos fotosintéticos $m_{org. fotosint.}$
- la cantidad de radiación solar que llega a las plantas R_{sol}
- etc.

$$m_{CO_2 fotosint} = f(R_{solar}, m_{org.fotosint.}, \dots)$$

La respiración de los organismos vivos (incluidos los fotosintéticos) puede ser una fuente de carbono dependiendo de:

- la masa de organismos vivos $m_{org. vivos}$
- etc.

$$m_{CO_2 respiración} = f(m_{org. vivos}, \dots)$$

LAS EMISIONES ANTRÓPICAS DE CO₂ DEPENDEN DE... 1H30

Realice o consulte el experimento sobre la combustión que se encuentra en lección A6 del manual del docente de “El cambio climático y la tierra”. La cantidad de CO₂ emitida por la combustión $m_{CO_2 combustión}$ depende de la masa de los diversos combustibles realmente quemados:



$$m_{CO_2 combustión} = f(m_{carbón quemado}, m_{petróleo quemado}, m_{madera quemada}, m_{gas quemado}, \dots)$$

EL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS DEPENDE DE... 1H30

Realice o consulte el experimento sobre las corrientes oceánicas que se encuentra en la lección C5 del manual del docente de “El océano y la criosfera”. La velocidad de desplazamiento de un volumen dado de fluido (gas o líquido) V_{fluido} depende de:

- a diferencia entre la temperatura del fluido y la temperatura ambiente (ΔT)
- la diferencia entre la salinidad del fluido y la salinidad del entorno circundante (ΔS)
- la altura del relieve local $H_{relieve}$
- etc.

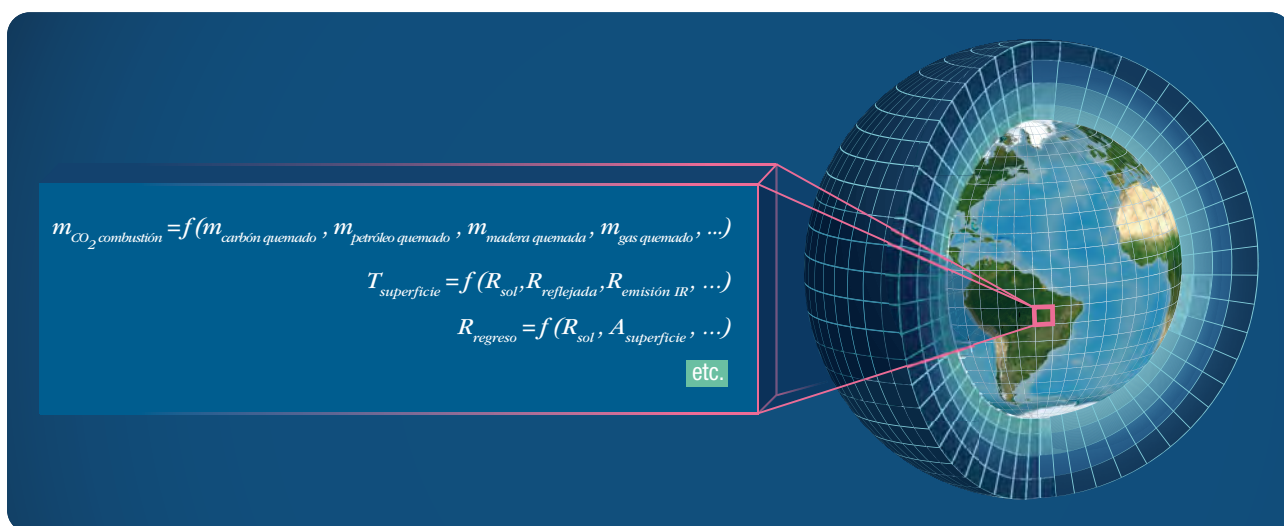


$$V_{fluido} = f(\Delta T, \Delta S, H_{relieve}, \dots)$$

CONCLUSIÓN 5 MIN

El objetivo de esta actividad era mostrar que los científicos necesitan establecer todas las relaciones de dependencia entre diferentes magnitudes físicas, también llamadas variables. Estas interdependencias pueden representarse mediante un conjunto de ecuaciones que involucran dichas magnitudes. Conectar todas estas variables a través de fórmulas es el principio fundamental de la modelización climática, como se resume en el esquema de conclusión a continuación.

El esquema muestra que los científicos dividen la superficie terrestre y la atmósfera en celdas. En cada una de estas celdas, las leyes físicas permiten comprender y modelizar el clima.



El principio de la modelización climática: un conjunto de variables físicas interconectadas.



DOCUMENTO 1. ¿QUÉ VEN TUS OJOS?

Pregunta 1. ¿Qué ves en estas fotos?

Pregunta 2. ¿Cómo puedes explicar los colores?

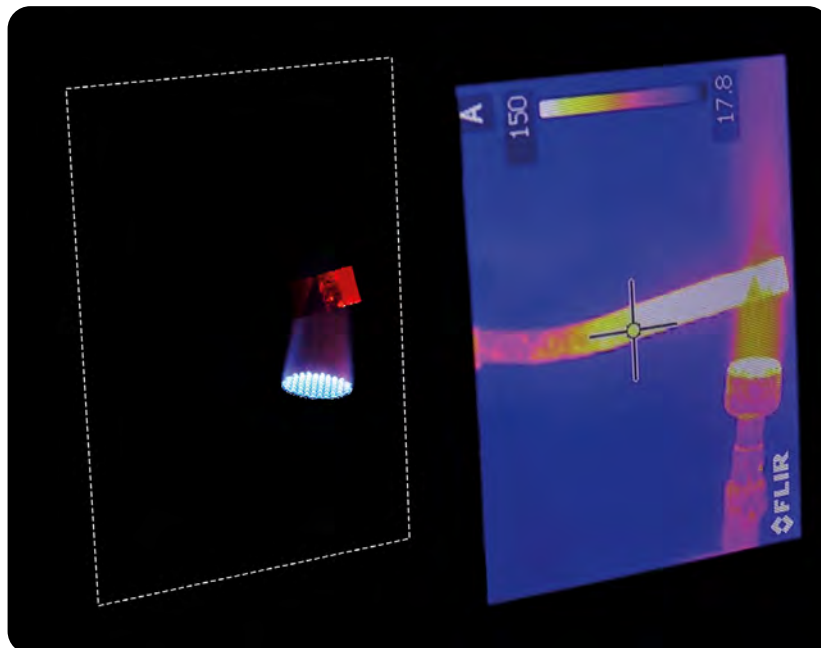


EL SOL



DOCUMENTO 2. ¿QUÉ VE ESTA CÁMARA ESPECIAL?

Pregunta 3. ¿Qué ve esta cámara especial?

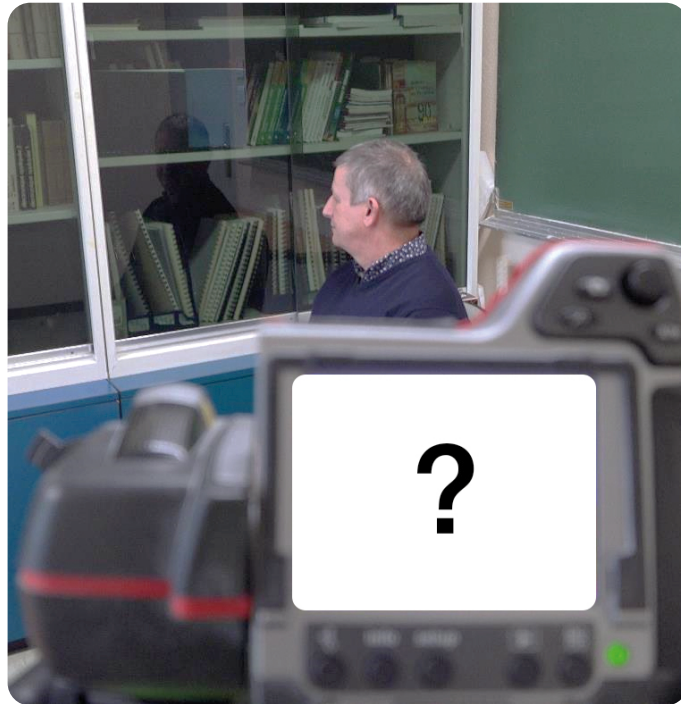


Izquierda: una barra de cobre se calienta en la oscuridad hasta alcanzar la incandescencia.
Derecha: el mismo experimento visto por una cámara termográfica.



DOCUMENTO 3. ¿QUÉ ESPERAMOS VER EN LA PANTALLA?

Pregunta 4. ¿Qué esperas ver en la pantalla?



DOCUMENTO 4. ¿QUÉ MUESTRA REALMENTE LA CÁMARA ESPECIAL?

Pregunta 5. ¿Qué muestra realmente la cámara especial?





DOCUMENTO 5. ¿QUÉ PODEMOS DECIR SOBRE LAS EMISIONES INFRARROJAS DE ESTAS TAZAS?

Pregunta 6. ¿Qué puedes decir sobre las emisiones infrarrojas de estas tazas?

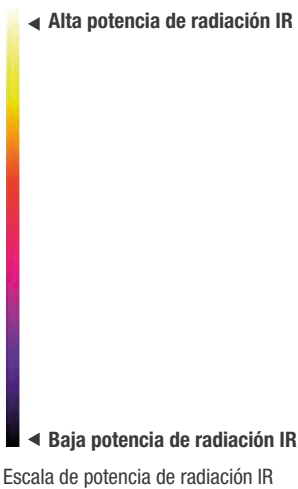


Taza de agua caliente

Taza de agua fría



La misma imagen vista con una cámara IR



DOCUMENTO 6. ¿CUÁL ES EL GRADO DE TRANSPARENCIA DE ESTOS MATERIALES?

Pregunta 7. ¿Qué grado de transparencia tienen estos materiales?



Panel de vidrio



Lámina de vidrio



Funda de plástico y taza llena de agua



DOCUMENTO 7. EXPERIMENTO SOBRE LA TRANSPARENCIA Y LAS EMISIONES DE RADIACIÓN DE GASES

Pregunta 8. ¿Pueden los gases emitir radiación visible?

Pregunta 9. ¿Pueden los gases emitir radiación infrarroja?

Pregunta 10. ¿Los gases dejan pasar la radiación visible?

Pregunta 11. ¿Los gases dejan pasar la radiación infrarroja?

**LUZ
VISIBLE**

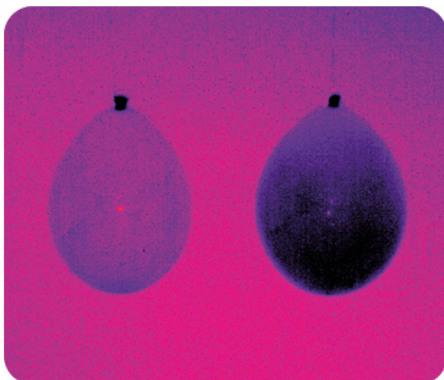
Temperatura del fondo: 20 °C



Temperatura del fondo: 20 °C

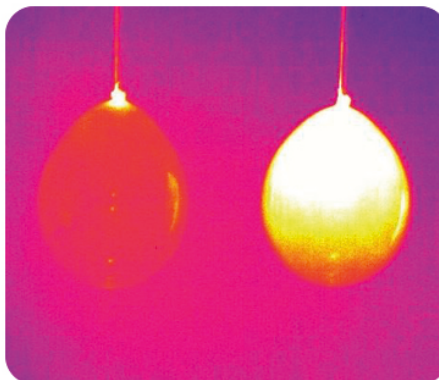


**CÁMARA
TERMOGRÁFICA**



Globo lleno de
AIRE
[0.04% CO₂]
5° C

Globo lleno de
CO₂
[100% CO₂]
5° C



Globo lleno de
AIRE
[0.04% CO₂]
30° C

Globo lleno de
CO₂
[100% CO₂]
30° C



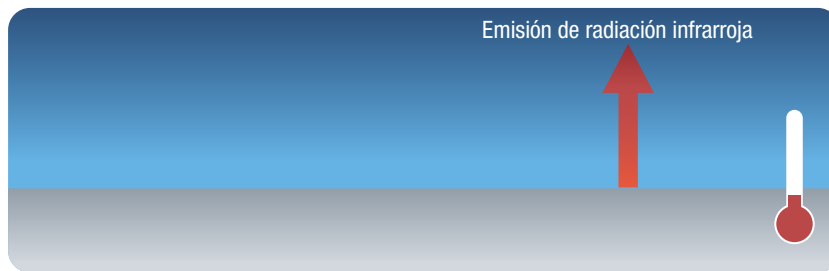


DOCUMENTO 8. CONSTRUIR UN “EQUILIBRIO RADIATIVO”

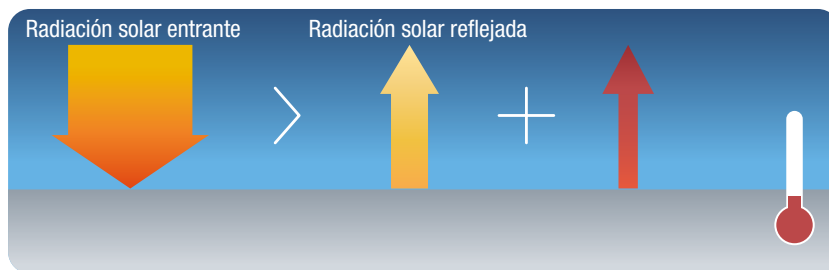
Pregunta 12. ¿Qué ocurrirá con las emisiones infrarrojas salientes de la Tierra si hay más CO₂ frío en la atmósfera terrestre?
(pista: utiliza la **HOJA DE TRABAJO 2.4 – PREGUNTA 11**)

Pregunta 13. ¿Cuál es la única manera de que el sistema del planeta Tierra recupere su equilibrio radiativo?

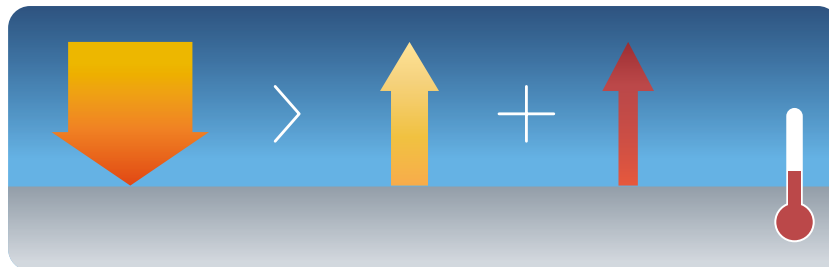
Consideremos un objeto (en gris) situado en el vacío exterior (en azul).



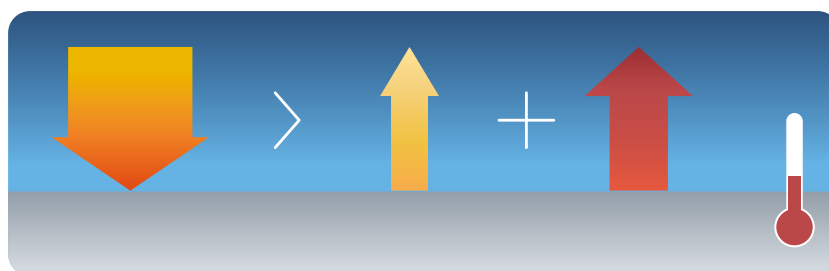
Como vimos en la **HOJA DE TRABAJO 2.1**, la radiación de un objeto depende de su temperatura. Si la temperatura es inferior a 700 °C, la radiación solo se produce en el infrarrojo.



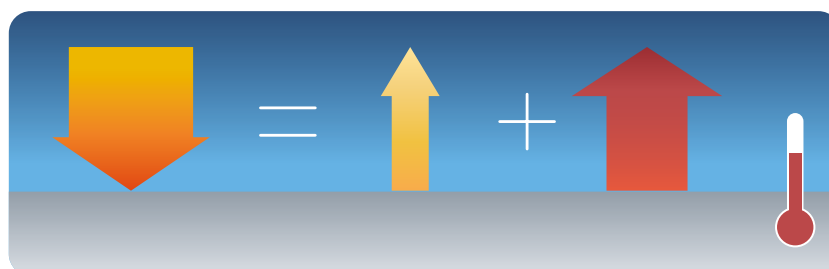
Si el sol ilumina el objeto el cuestión (flecha amarilla descendente), parte de esa radiación entrante puede reflejarse de vuelta, mientras que el resto es absorbido por el material.



No se trata de un estado de equilibrio, ya que la cantidad de energía saliente es menor que la de la energía entrante: la temperatura del material aumenta.



Como vimos en la **HOJA DE TRABAJO 2.3 – DOCUMENTO 5**, cuanto más caliente está un cuerpo, más potente es su radiación. En consecuencia, aumenta la radiación infrarroja emitida por el objeto.

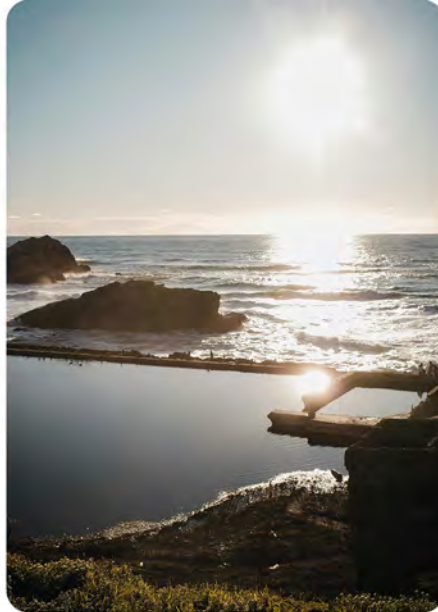


La temperatura del objeto aumenta hasta que se alcanza el equilibrio, momento en el cual la temperatura deja de aumentar. Esto se denomina “**equilibrio radiativo**”. El mismo proceso ocurre en el sistema del planeta Tierra



DOCUMENTO 7. ¿QUÉ ACELERA LA EVAPORACIÓN DEL AGUA?

Pregunta 14. Observa estas imágenes. ¿En qué situaciones el agua se evapora más rápido? ¿Cuáles son los parámetros que aceleran la evaporación?



LECCIÓN 3 MODELIZACIÓN DEL CLIMA CON UN JUEGO DE MESA

MATERIAS PRINCIPALES

Física
Química
Ciencias naturales
Geografía

DURACIÓN

Preparación: 1h
Actividad: 1h

GRUPO DE EDAD

Estudiantes de 15 años o más

MÉTODO PEDAGÓGICO

Juego formativo
(juego de mesa)

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Tras identificar los factores globales que influyen en el clima a escala regional (lecciones 1 y 2), los alumnos estudian y entienden cómo están vinculados dichos factores para formar el sistema climático de la Tierra. Los alumnos comprueban también que los distintos entornos interactúan entre sí, dado que se encuentran sometidos a la influencia de las mismas variables (temperatura, humedad). Los cambios en estas variables pueden generar bucles de retroalimentación positivos o negativos dentro del sistema climático.

TARGETED SUSTAINABILITY COMPETENCE

Ámbito 2 – Asumir la complejidad de la sostenibilidad
Competencia – 2.1 Pensamiento sistémico



CONCEPTOS ABORDADOS

Efecto invernadero, ciclo del agua, ciclo de carbono, albedo, modelo, clima no perturbado, clima perturbado, interacciones, retroalimentación, nivel de confianza, incertidumbre, consenso

PREPARACIÓN 1H

CÓMO MONTAR EL JUEGO DE MESA

- Juego de mesa: Imprima la **HOJA DE TRABAJO 3.1** en formato A2 (formato póster): un juego de mesa por grupo de 6 alumnos. Si es posible, plastifíquela.
- Elementos para colocar en el tablero: Imprima la **HOJA DE TRABAJO 3.2** (2 páginas) y recorte las distintas piezas (elementos y flujos) para cada grupo. Métalas en un sobre para facilitar su reutilización.
- Sugerimos que se utilice masilla adhesiva para fijar los distintos elementos al tablero.
- Imprima una copia de los folletos de la **HOJA DE TRABAJO 3.3** (5 páginas) para cada grupo. Puede optar por conservar la hoja entera o recortar las tarjetas para hacer un pequeño folleto (recortando por la línea de puntos y superponiendo después las distintas tarjetas o grapándolas).

Puede imprimir los elementos de corrección que prefiera (**HOJA DE TRABAJO 3.5**, 3 páginas) para que los alumnos tengan, por ejemplo, un esquema resumen que recordar.

CÓMO JUGAR

- El juego del Sistema Tierra incluye cinco entornos distintos. Al principio, el clima **no ha sido alterado por la actividad humana** y los cinco entornos están vacíos. El objetivo de la **primera ronda** es reconstituir los entornos y los procesos que tienen lugar en ellos siguiendo las instrucciones de las tarjetas y colocando los diferentes elementos en el tablero (a veces son las mismas variables: temperatura, humedad, albedo, etc.) De esta forma, los alumnos construyen un modelo.
- En la **segunda ronda**, el clima se ve **alterado por las actividades humanas** y los alumnos tienen que modificar los entornos en consecuencia. Utilizan un modelo para realizar un experimento. Al final de esta ronda, los alumnos explican a sus compañeros de grupo la conclusión a la que han llegado.
- La **tercera ronda** es para alumnos **[EXPERTOS]**. En ella se tratan los conceptos de “retroalimentación climática” y “nivel de consenso de una afirmación científica”.

INTRODUCCIÓN 5 MIN

Pida a los alumnos que expliquen la diferencia entre clima y tiempo atmosférico. Muéstreles el vídeo CLIM “El sistema climático de la Tierra”, en el que Fiona O'Connor (MET Office Science, Reino Unido) recuerda que para estudiar la atmósfera se tienen en cuenta numerosos **parámetros**: concentraciones de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitaciones, albedo, etc. (véase la sesión 1).



VER EL VÍDEO ➔



▲ Dos jugadores en la ronda 3. Eva lee su folleto y sigue las instrucciones. Une dos entornos mediante flechas de retroalimentación positiva (amplificación del cambio climático) y explica sus elecciones a Simón. Para cada flecha, elige el color adecuado en función del nivel de consenso científico.

Cada parámetro depende de varios otros. Los parámetros (o variables) están vinculados por las leyes de la física y la química (véase la lección 2).

$$R_{\text{emisión IR}} = f(T_{\text{superficie}}, T_{\text{aire}}, H, m_{\text{CO}_2}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{CH}_4}, \dots)$$

Explique a los alumnos que van a explorar las mismas regiones que en la lección 1 (**HOJA DE TRABAJO 1.1**). *¿Hay procesos que tienen lugar dentro de una región (procesos internos)? ¿Cuáles son los vínculos entre las distintas regiones climáticas? ¿Qué procesos globales afectan al planeta en su conjunto?* Para responder a estas preguntas, los alumnos utilizan un modelo climático, en este caso, un juego de mesa.

PROCEDIMIENTO 45 MIN

1. Seis alumnos comparten un tablero de juego. Hay un maestro de juego y cinco científicos (correspondientes a los 5 folletos, **HOJA DE TRABAJO 3.3**).
2. Los alumnos leen las reglas del juego (**HOJA DE TRABAJO 3.4**) y empiezan a jugar la 1.ª y la 2.ª ronda. La 3.ª ronda está pensada para alumnos más avanzados [**EXPERTOS**].
3. Para la 3.ª ronda, observe que hay pequeñas escalas en las tarjetas que muestran el nivel de consenso entre los climatólogos respecto a las diferentes retroalimentaciones (consenso bajo, medio o alto). Comente con sus alumnos la importancia del grado de consenso asociado al conocimiento científico.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

La mayoría de las flechas de retroalimentación apuntan al mismo entorno (la atmósfera terrestre). Esto se debe a que los procesos que tienen lugar en cada región pueden repercutir en la atmósfera

CONCLUSIÓN 10 MIN

Pregunte a los alumnos cómo les ha ayudado este juego de mesa a comprender el sistema climático. **El juego de mesa es un modelo**, una representación simplificada de la realidad. Permite comprender mejor los fenómenos observados en relación con el cambio climático y los procesos implicados (véase la lección 2).

Las **interacciones entre los distintos entornos** pueden aclararse con un ejemplo. La emisión de mayores cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera incrementa el efecto invernadero, lo que aumenta la temperatura en la superficie de la Tierra y lo que a su vez provoca la pérdida de hielo marino, etc. Estos procesos vinculan a la atmósfera con la criosfera. Birgit Hassler, investigadora en física atmosférica, habla de ello en el vídeo CLIM “¿Podemos confiar en las proyecciones climáticas?”.



VER EL VÍDEO ➔

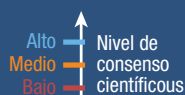
La 3.ª ronda puede servir para ilustrar las interacciones entre distintos entornos. Pida a los alumnos más avanzados que expliquen las retroalimentaciones climáticas positivas y negativas. Como se señala en uno de los folletos, el Sexto Informe de Evaluación del IPCC afirma que la suma de todas las retroalimentaciones climáticas relacionadas con la energía solar directa conduce a **una retroalimentación negativa global neta, que permite que la temperatura de la superficie de la Tierra no se des controle**.

También puede explicar que toda información científica fiable va siempre acompañada de un cierto **grado de confianza**, como puede verse en los informes del IPCC. Puede mencionarse a esta organización como una de las fuentes de información sobre el cambio climático más fiables.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

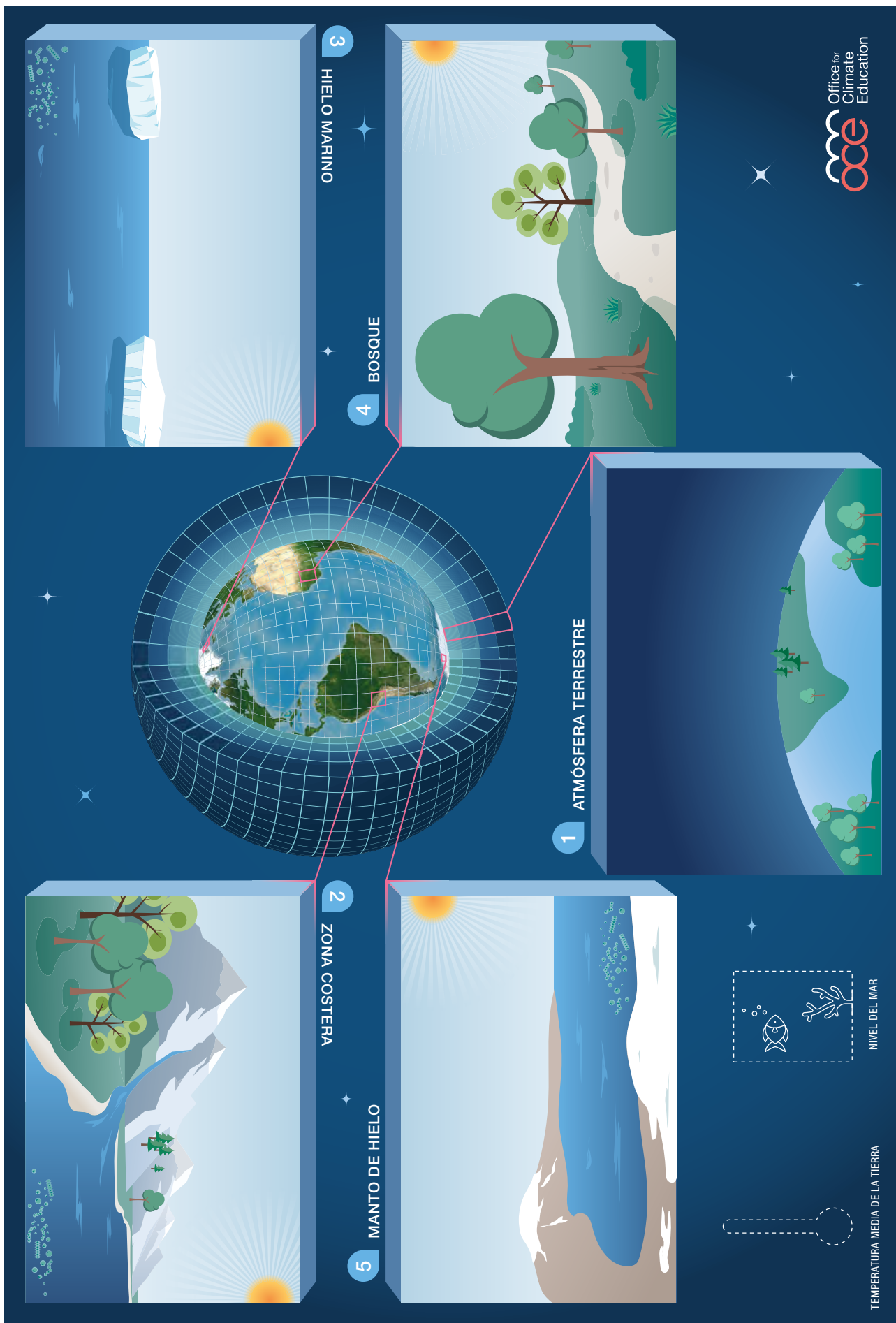
EL CONSENSO DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

El IPCC evalúa y recopila la información científica más reciente sobre el cambio climático, reflejando el consenso de la comunidad científica basado en pruebas verificables y válidas según los conocimientos y herramientas actuales. Este consenso se construye a partir de datos convergentes y se desarrolla progresivamente con un alto grado de confianza (acuerdo científico, solidez de las pruebas, etc.). Por ejemplo, existe un amplio consenso entre los climatólogos sobre el origen antropogénico del cambio climático actual.



Un consenso científico **no excluye**:

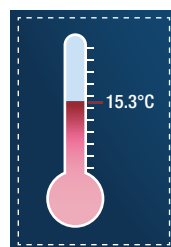
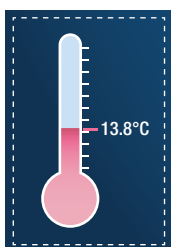
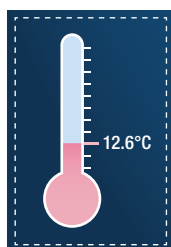
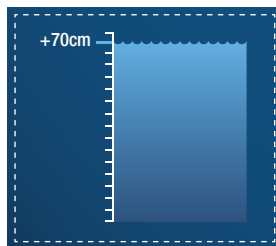
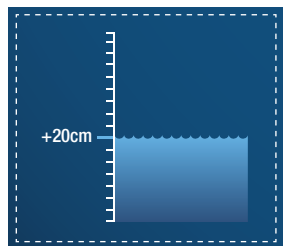
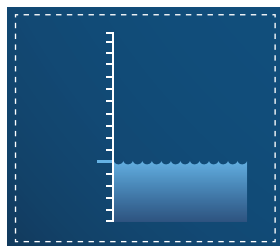
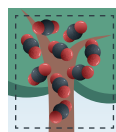
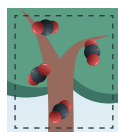
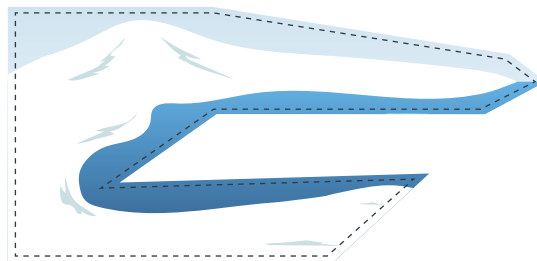
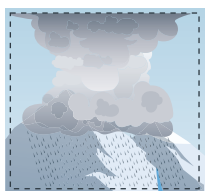
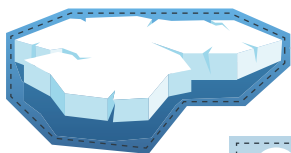
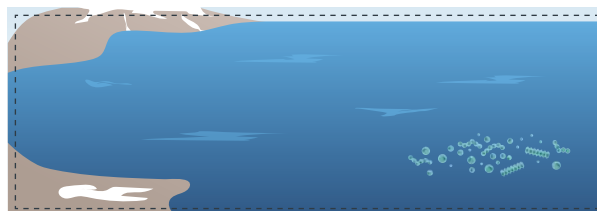
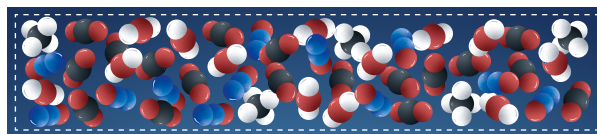
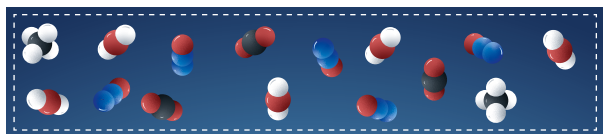
- ~ La consideración de diversos aspectos, como los desacuerdos actuales sobre el aumento exacto de la temperatura vinculado a la duplicación de la concentración atmosférica de CO_2 (entre 2,5 y 4,5 °C), sin cuestionar el origen antropogénico del cambio climático.
- ~ La noción de incertidumbre, inherente a los datos científicos, en particular sobre la magnitud del cambio climático futuro (proyecciones).
- ~ Esta incertidumbre depende de:
 - ➔ Las retroalimentaciones climáticas (como las relacionadas con las nubes, la absorción de carbono, la absorción de calor por los océanos, el hielo, etc.).
 - ➔ Las emisiones humanas futuras (políticas climáticas, nuevas tecnologías, comportamientos individuales, etc.).



HOJA DE TRABAJO 3.2 PIEZAS

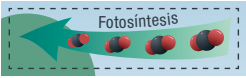
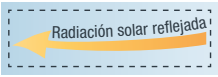
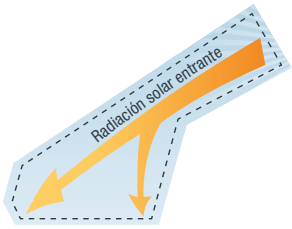
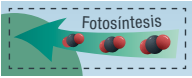
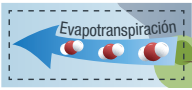
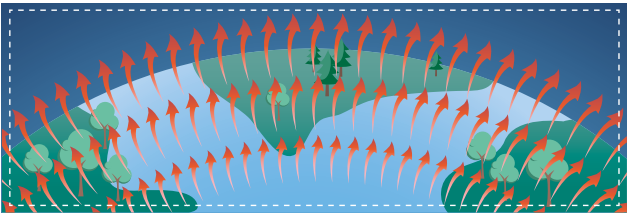


Recorte los elementos del tablero de juego.





Recorte los flujos del tablero de juego.



Cada flecha de retroalimentación se puede utilizar **varias veces**.



3 Marie Tharp (1920–2006) es una geóloga y oceanógrafa estadounidense, conocida por sus trabajos en cartografía oceanográfica.

Aumentar la temperatura de la superficie de la Tierra para simular el calentamiento global.

¿Qué simula el modelo?

El modelo simula la pérdida de hielo marino, lo que implica un menor albedo (menos radiación solar reflejada por la superficie terrestre).

Suprimir 1 elemento
Suprimir 1 flujo

Pregunta 2

¿Puede el deshielo marino amplificar el calentamiento inicialmente desencadenado en el modelo?



1.ª RONDA

1.ª RONDA

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO

Adición del ciclo del carbono t errestre al modelo

Las plantas realizan la **fotosíntesis**: absorben **dióxido de carbono** de la atmósfera para producir materia orgánica. Cuando las plantas respiran (tanto de día como de noche), liberan parte del dióxido de carbono a la atmósfera (**respiración**).

El resto se almacena en forma de carbono en las raíces, el tronco y las hojas, así como en el suelo.

Los bosques tropicales nativos, como la selva amazónica, son grandes sumideros de carbono.

Añade 2 elementos
Añade 2 flujos

Pregunta 1: ¿Dónde va el carbono cuando mueren las plantas?

Fig. 4

2.ª RONDA

3.ª RONDA

UTILIZACIÓN DE UN MODELO PARA REALIZAR UN EXPERIMENTO

Aumentar la temperatura en la superficie de la Tierra para simular el calentamiento global.

¿Qué simula el modelo?

En ciertas regiones como la Amazonia, el modelo simula sequías más frecuentes que ralentizan el crecimiento de los árboles. Al reducirse la actividad **fotosintética** (y de **respiración**), **se almacena menos carbono** en el bosque.

Cambia 1 elemento
Cambia 2 flujos

Pregunta 2: ¿Una temperatura superficial más alta aumenta o disminuye la eficiencia del sumidero de carbono forestal?

PAG. 5



4 Agnes Arber (1879–1960)

fue una botánica y filósofa británica. Trabajó en una época en la que las mujeres no estaban autorizadas a ejercer en los mismos laboratorios que los hombres.

2. Ag. 2



4 **ERES**

BOTÁNICO/-A

Actualmente estás estudiando los bosques tropicales, un entorno muy específico.

3. AG.

ENTENDER LAS INTERACCIONES ENTRE LOS ECOSISTEMAS

Retroalimentaciones climáticas

Las proyecciones indican un cambio en los patrones de precipitaciones, que, por ejemplo, son cada vez más frecuentes y abundantes en los bosques rusos y canadienses. Este fenómeno, combinado con unas temperaturas más altas, se traduce en un aumento de la cubierta vegetal. Más vegetación significa que se puede capturar más CO₂. Dado que el CO₂ es un gas de efecto invernadero, se mitiga el cambio climático. Se trata de una retroalimentación climática negativa.

Vincula al menos 2 ecosistemas con una flecha roja (amplificación) o violeta (atenuación)

Pág. 7

3.ª RONDA

Retroalimentaciones climáticas

El fitoplancton es un productor primario: cuando está expuesto a la luz, absorbe CO_2 mediante fotosíntesis, lo que lo convierte en un sumidero de carbono. Algunos estudios muestran que la actividad del fitoplancton se está debilitando debido al aumento de la temperatura de los océanos y a las alteraciones de las corrientes oceánicas provocadas por el cambio climático. El sumidero de carbono que constituye el fitoplancton disminuye, lo que provoca un aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera y una intensificación del efecto invernadero. Se trata de una retroalimentación climática positiva.

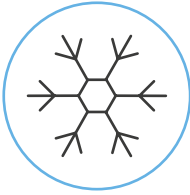
PAG. 8

Nivel de consenso científico

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO

Incorporación del hielo continental al modelo

La Antártida es el mayor continente cubierto de hielo. El otro gran manto de **hielo** de la Tierra es Groenlandia. El hielo continental se forma cuando la **nieve** se acumula y se comprime en una superficie terrestre durante un período de tiempo muy prolongado.



ERES

GLACIÓLOGO/-A

Actualmente estás estudiando los mantos de hielo, un entorno muy específico.

Debate entre los 5 científicos

Respuesta

Casi todo el hielo de la Antártida es hielo continental. Se trata de nieve comprimida que cubre el continente. En el Ártico no hay continente: la banquisa (hielo marino) se forma a partir de agua congelada en la superficie del océano.

Debate entre los 5 científicos
Nombra otros lugares de la Tierra (distintos de la Antártida) donde se puede encontrar hielo continental.

PAG. 4

2.ª RONDA

UTILIZACIÓN DEL MODELO PARA REALIZAR UN EXPERIMENTO

Aumentar la temperatura en la superficie de la Tierra para simular el calentamiento global.

¿Qué simula el modelo?

El modelo simula el derretimiento del hielo, lo que provoca una subida del nivel del mar de +70 cm.

Suprime 1 elemento
Añade 2 elementos

Pregunta 2

¿El deshielo de la banquisa del Ártico provoca también una subida del nivel del mar?

PAG. 5

3.ª RONDA

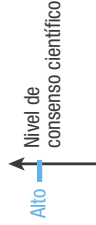
COMPRESIÓN DE LAS INTERACCIONES ENTRE LOS ECOSISTEMAS

Retroalimentaciones climáticas

El derretimiento de los hielos continentales (casquetes polares o glaciares) reduce el albedo de la Tierra, por lo que se refleja menos radiación solar en el espacio.

Como resultado, la superficie terrestre absorbe más radiación y se calienta. Esto aumenta el calentamiento global. Se trata de una retroalimentación positiva.

Vincula al menos 2 entornos con una flecha roja (amplificación) o violeta (atenuación)



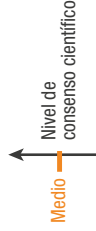
3. Page.

3.ª RONDA

Retroalimentaciones climáticas

Con el cambio climático, las temperaturas aumentan y las sequías se hacen más frecuentes, lo que provoca un aumento de los incendios forestales. La combustión de vegetación (materia orgánica) libera grandes cantidades de aerosoles a la atmósfera superior. Estos aerosoles actúan como un escudo: llega menos radiación solar a la superficie de la Tierra, lo que atenúa el cambio climático. Se trata de una retroalimentación negativa.

Vincula al menos 2 entornos con una flecha roja (amplificación) o violeta (atenuación)



PAG. 8

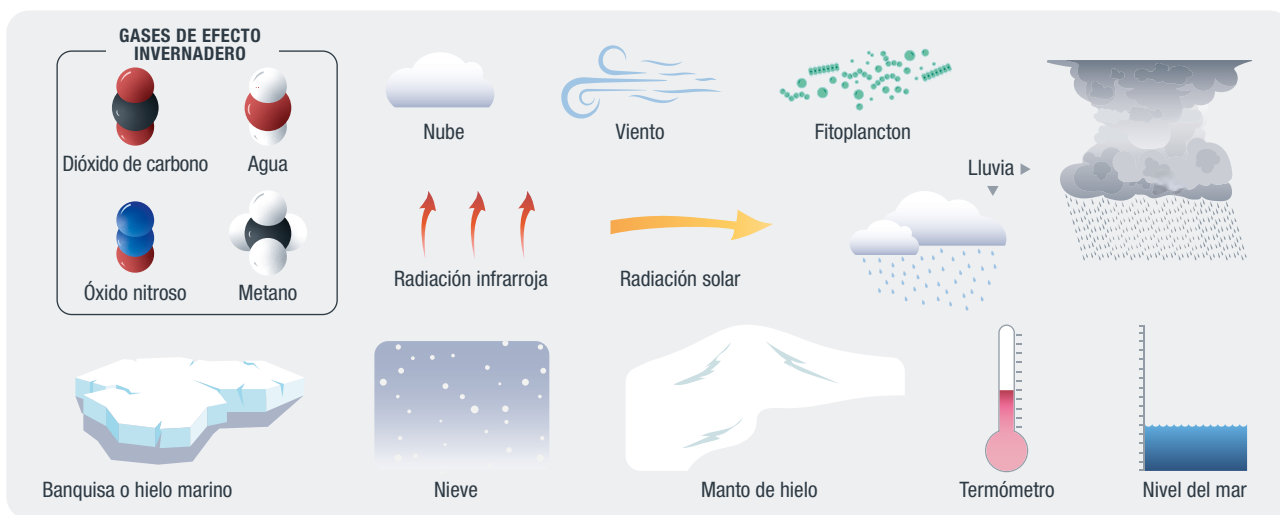


ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO DEL JUEGO

PREPARACIÓN DEL JUEGO

- Ajusta el termómetro a +12,6 °C (la temperatura media de la Tierra en la era preindustrial).
- Sitúa el nivel del mar en el punto más bajo (nivel preindustrial).
- Lee las instrucciones para colocar los diferentes elementos en el tablero.

ALGUNAS LEYENDAS DE CIERTAS PIEZAS



1.ª RONDA: CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO

- El maestro de juego se asegura de que los científicos siguen al pie de la letra cada una de las etapas del juego.
- Por turnos, los otros cinco científicos se presentan y leen las instrucciones en voz alta.
- Esta ronda se centra en el clima inalterado o “no perturbado”, es decir, el clima anterior al período industrial.
- Los cinco científicos trabajan juntos para construir los diferentes entornos siguiendo las instrucciones de los folletos y para responder a las preguntas.

Una vez contruidos los cinco modelos, es el momento de añadir o quitar “elementos” y/o “flujos”, en función de las instrucciones de las tarjetas.

2.ª RONDA: UTILIZACIÓN DEL MODELO PARA REALIZAR UN EXPERIMENTO

- Esta segunda ronda representa un mundo con un clima “perturbado” debido al cambio climático.
- El maestro de juego ajusta el termómetro a la temperatura media actual de la superficie terrestre (+13,8 °C).
- Fija el nivel del mar en +20 cm (nivel actual comparado con el nivel preindustrial).
- Por turnos, los cinco científicos leen en voz alta las instrucciones para la segunda ronda. Juntos, modifican los diferentes entornos en función de dichas instrucciones (añadiendo o quitando elementos, etc.) y responden a las preguntas.
- También en este caso, el maestro de juego se asegura de que los científicos siguen al pie de la letra cada etapa del juego.

3.ª RONDA: COMPRENSIÓN DE LAS INTERACCIONES ENTRE LOS ENTORNOS para alumnos más avanzados

- La tercera ronda representa un mundo con un clima “perturbado” debido al cambio climático en 2100.
- El maestro del juego ajusta el termómetro a +15,3 °C (con las políticas actuales, se espera que el calentamiento global alcance +2,7 °C en 2100, en comparación con la era preindustrial).
- Los científicos se turnan para leer las cartas en voz alta y siguen las instrucciones. La mayoría de las veces, tendrán que vincular los entornos con flechas de “retroalimentación”. Para cada flecha, deberán elegir el color correspondiente al nivel de consenso científico (colores claros para un nivel medio, colores oscuros para un nivel alto).
- Al final de su turno, cada científico explicará la retroalimentación representada.
- En cada ronda se reutilizarán las mismas flechas.



- 1.ª RONDA: CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO** (clima no perturbado)
- 2.ª RONDA: UTILIZACIÓN DEL MODELO PARA REALIZAR UN EXPERIMENTO** (clima perturbado: cambio climático)
- 3.ª RONDA: COMPRENSIÓN DE LAS INTERACCIONES ENTRE LOS ENTORNOS** (clima perturbado, pero teniendo en cuenta la retroalimentación climática: atenuación o amplificación del cambio climático)

1 SVANTE ARRHENIUS

FÍSICO Y QUÍMICO – ESPECIALIDAD: LA ATMÓSFERA TERRESTRE

1.ª RONDA

Añade 1 elemento: una pequeña cantidad de gases de efecto invernadero.

Añade 2 flujos: radiación IR de la superficie terrestre a la atmósfera + radiación IR de la atmósfera al espacio.

Discusión entre 5 científicos: ¿Cuál sería la temperatura en la superficie terrestre sin el efecto invernadero?

Respuesta: Sin el efecto invernadero, se reemite menos radiación IR hacia la superficie de la Tierra (= se escapa más radiación IR directamente al espacio). Por tanto, la temperatura en la superficie de la Tierra sería más baja (-18°C).

2.ª RONDA

Cambia 1 elemento: la pequeña cantidad de gases de efecto invernadero se sustituye por una gran cantidad de gases de efecto invernadero.

Cambia 1 flujo: el gran flujo de radiación IR que escapa al espacio se sustituye por un pequeño flujo de radiación IR que escapa al espacio (la mayor cantidad de gases de efecto invernadero atrapa más radiación IR).

3.ª RONDA

Ejemplo de retroalimentación positiva: aumento de la evaporación del agua → aumento del vapor de agua (gas de efecto invernadero) en la atmósfera → amplificación del efecto invernadero → calentamiento del planeta. Coloca una flecha de amplificación que apunte del entorno 2 al entorno 1.

Ejemplo de retroalimentación negativa: también llamada “retroalimentación de Planck”, es potente y cuenta con un alto grado de confianza por parte de los climatólogos. En este caso no es posible vincular dos entornos, ya que se trata de un intercambio entre la atmósfera y el espacio.

2 EMMA HAZIZA

HIDRÓLOGA – ESPECIALIDAD: ZONAS COSTERAS

1.ª RONDA

Añade 4 elementos: vapor de agua, viento, nube y nube de lluvia.

Añade 2 flujos: evaporación y evapotranspiración.

Discusión entre 5 científicos: ¿En qué lugar de la Tierra es más probable que se produzcan estos fenómenos?

Respuesta: En las zonas tropicales (donde hay más evaporación y evapotranspiración).

2.ª RONDA

Cambia 1 elemento: la nube de lluvia se sustituye por una gran nube de lluvia.

Añade 1 flujo: evaporación.

3.ª RONDA

Ejemplo de retroalimentación negativa

Se modifica el nivel de fotosíntesis en la región del Sahel. Coloca una flecha de atenuación del entorno 4 al entorno 1.

Ejemplo de retroalimentación positiva

Hay más nubes debido a una intensificación del ciclo del agua. Coloca una flecha de amplificación que apunte del entorno 2 al entorno 1.



3 MARIE THARP

GEÓLOGA Y CARTÓGRAFA OCEANOGRÁFICA – ESPECIALIDAD: HIELO MARINO

1.ª RONDA

Añade 1 elemento: hielo marino.

Añade 2 flujos: radiación solar entrante y radiación solar reflejada.

Discusión entre 5 científicos: Si no existiera la capa de hielo en el océano Ártico, ¿la temperatura de la Tierra sería más alta o más baja que ahora?

Respuesta: Sin el hielo marino, el océano absorbería más radiación y la temperatura de la superficie terrestre aumentaría.

2.ª RONDA

Suprime 1 elemento: hielo marino

Suprime 1 flujo: radiación solar reflejada

3.ª RONDA

Ejemplo de retroalimentación positiva: se derrite el hielo marino → disminuye el albedo → se calienta el océano → se derrite más hielo marino → aumenta la temperatura global de la superficie terrestre. Coloca una flecha de amplificación que apunte del entorno 3 al 1.

Ejemplo de retroalimentación negativa: la suma de todas las retroalimentaciones es una retroalimentación climática negativa. Esto impediría que la temperatura de la superficie terrestre se descontrolara. Aquí no es pertinente vincular dos entornos, ya que se trata de una retroalimentación global.

4 AGNES ARBER

BOTÁNICA – ESPECIALIDAD: BOSQUES

1.ª RONDA

Añade 2 elementos: CO₂ en la atmósfera, gran cantidad de CO₂ almacenado en las plantas

Añade 2 flujos: fotosíntesis fuerte, respiración fuerte

Discusión entre 5 científicos: ¿Qué factores contribuyen a la mortalidad de los árboles y, por tanto, a la liberación de carbono a la atmósfera?

Respuesta: Todo lo que limita el crecimiento de las plantas (sequías, plagas) o destruye los bosques (incendios, deforestación) aumenta la cantidad de CO₂ en la atmósfera.

2.ª RONDA

Cambia 1 elemento: las plantas solo almacenan una pequeña cantidad de CO₂.

Cambia 2 flujos: sustituye la fotosíntesis fuerte por la fotosíntesis débil y la respiración fuerte por la respiración débil.

3.ª RONDA

Ejemplo de retroalimentación negativa: en Rusia y Canadá, la cubierta vegetal está aumentando (nivel de confianza medio) → la vegetación adicional absorbe más CO₂ de la atmósfera. Coloca una flecha de atenuación que apunte del entorno 4 al 1.

Ejemplo de retroalimentación positiva: menos fitoplancton en el océano → menor actividad fotosintética → el océano absorbe menos CO₂ → aumenta la concentración de CO₂ en la atmósfera → calentamiento global. Coloca una flecha de amplificación que apunte del entorno 3 o 2 al entorno 1 (del océano a la atmósfera).

5 LOUIS AGASSIZ

BIÓLOGO Y GEÓLOGO – ESPECIALIDAD: MANTOS DE HIELO

1.ª RONDA

Añade 2 elementos: manto de hielo y caída de nieve.

Discusión entre 5 científicos: Nombrar otros lugares de la Tierra (distintos de la Antártida) donde se puede encontrar hielo continental.

Respuesta: Groenlandia y la Antártida son los **mantos de hielo** continental de la Tierra. El hielo continental también puede encontrarse en los glaciares de montaña.

2.ª RONDA

Suprime 1 elemento: manto de hielo.

Añade 2 elementos: subida del nivel del mar y de los océanos que podría alcanzar los 70 cm en 2100.

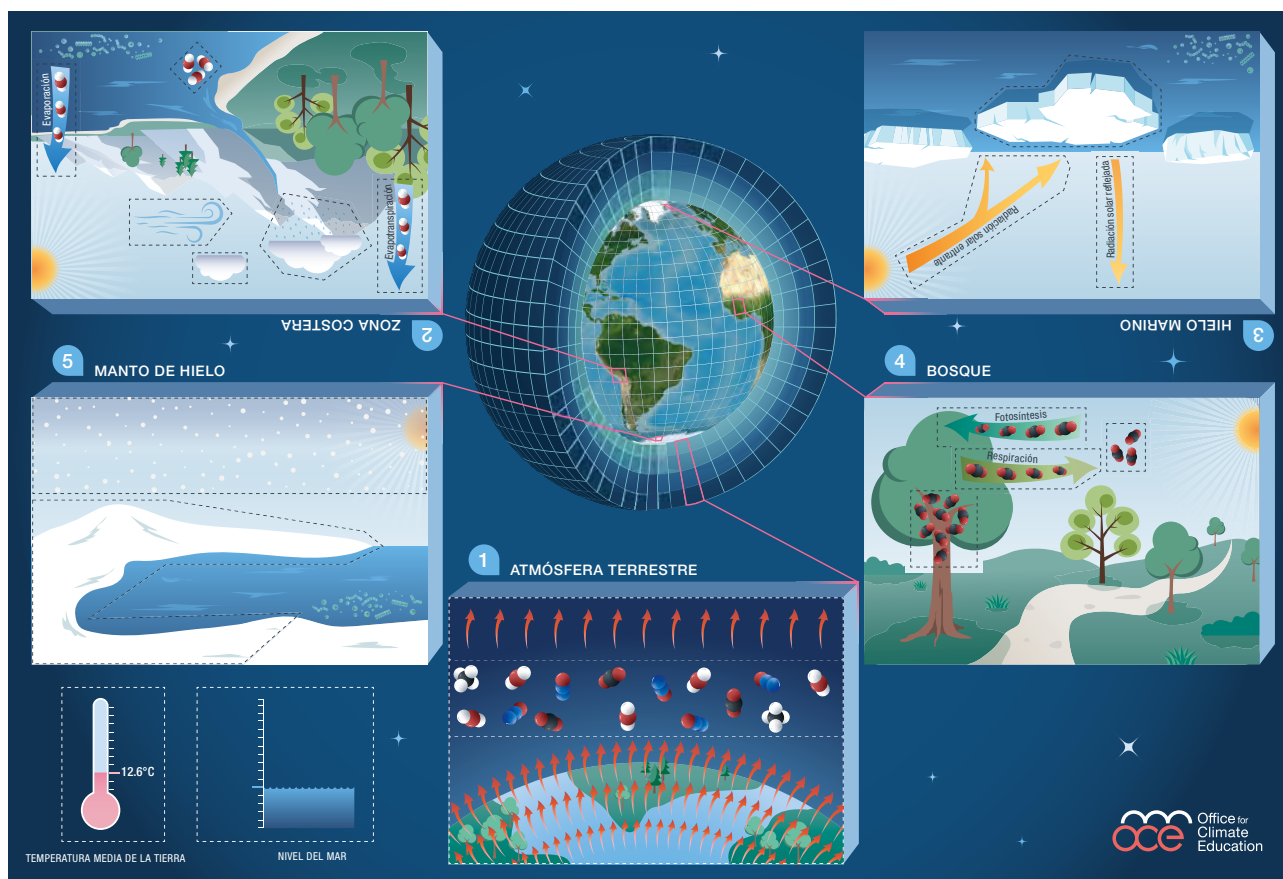
3.ª RONDA

Ejemplo de retroalimentación positiva: deshielo continental (nivel de confianza alto) → subida del nivel del mar. Coloca una flecha de amplificación que apunte del entorno 5 al entorno 3 o 2 (del manto de hielo al océano).

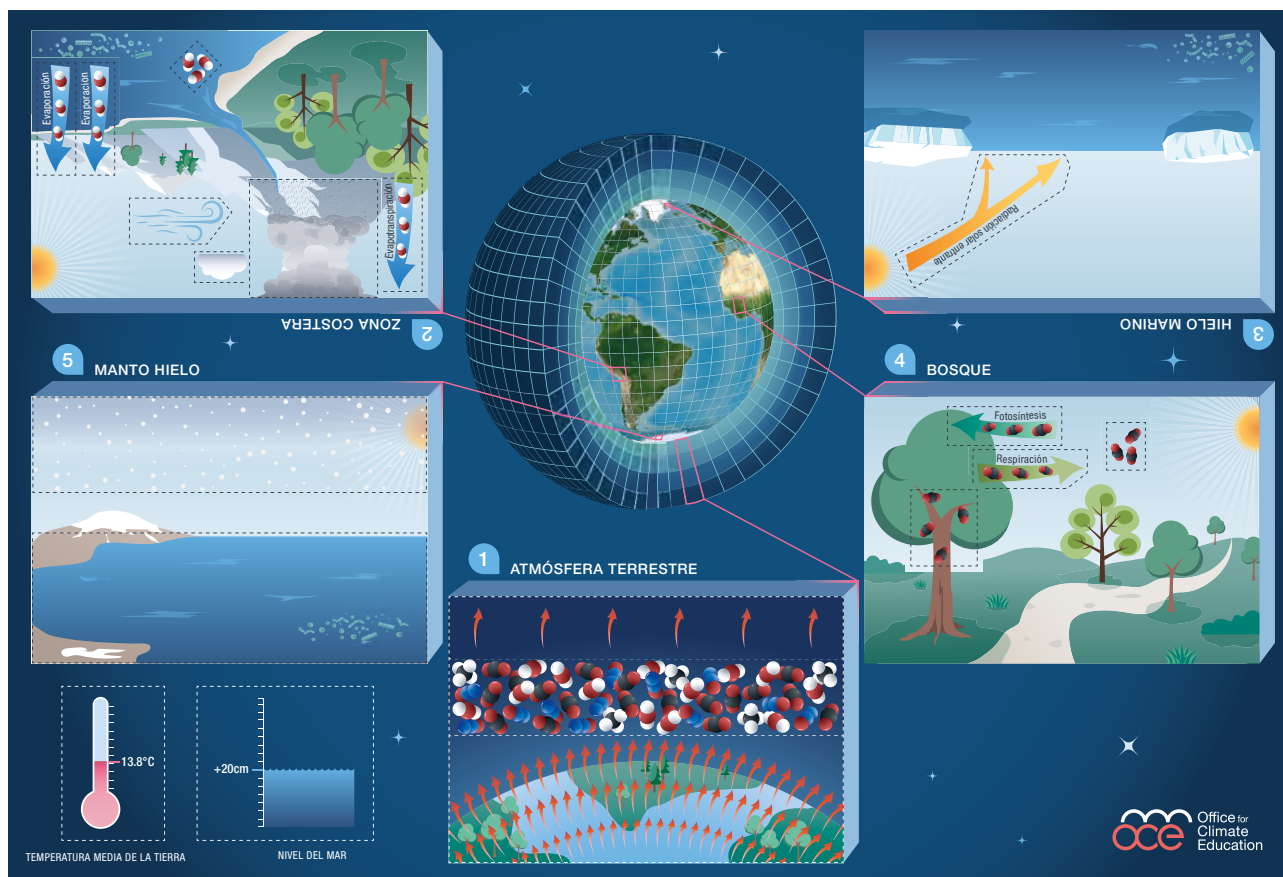
Ejemplo de retroalimentación negativa: megaincendios (nivel de confianza medio) → las partículas de humo bloquean la radiación solar incidente. Coloca una flecha de atenuación apuntando de la atmósfera a la Tierra.



CORRECCIÓN: 1.ª RONDA



CORRECCIÓN: 2.ª RONDA



LECCIÓN 4 MODELOS PARA REPRESENTAR LA REALIDAD

MATERIAS PRINCIPALES
Física Matemáticas
Informática

DURACIÓN
Preparación: 10 min
Actividad: 1h (Curiosos)
1h30 (Expertos)

GRUPO DE EDAD
Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO
Análisis documental
Animación multimedia

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos entienden que los modelos son representaciones de la realidad. Son herramientas que permiten comprender y predecir el clima. Su uso tiene muchas ventajas, pero también algunas limitaciones, pues no son capaces de representar toda la complejidad de la realidad. Con ayuda de un modelo físico (una maqueta o una analogía), los alumnos entienden las diferencias entre el mundo real o físico y el mundo digital.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 3 – Prever futuros sostenibles simplificados
Competencia – 3.3 Pensamiento exploratorio



CONCEPTOS ABORDADOS

Modelo, datos de entrada, datos de salida, muestreo

PREPARACIÓN 10 MIN

- 2 termómetros, 2 lámparas (o luz solar), 1 recipiente de vidrio.
- [SOLO EXPERTOS]: computadora con el archivo greenhouse.ipynb fácilmente accesible, **HOJA DE TRABAJO 4.1** (para cada par de alumnos).

INTRODUCCIÓN 20 MIN

Muestre las imágenes (o modelos reducidos) de 3-5 objetos, por ejemplo, un dinosaurio de plástico, un esquema del ciclo del agua, una previsión meteorológica y un dispositivo GPS. ¿Qué tienen todos en común? Oriente a sus alumnos hacia el término ‘modelo’.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

La navegación GPS utiliza un modelo heurístico. Calcula una buena manera de ir desde el punto A al punto B, pero no necesariamente la mejor (para más detalles, véase la guía ‘123code’).



¿Qué es un modelo? Más específicamente, ¿para qué sirve? Hay varias respuestas posibles:

FACILITAR UNA OBSERVACIÓN

- ~ Modelo para representar a un ser vivo (ej. dinosaurio, flor, etc.)
- ~ Modelo reducido (sistema solar, placas litosféricas)
- ~ Agrupación de información en un diagrama (organigrama, gráfico, diagrama circular)
- ~ Sustituto de un organismo vivo normalizado (Drosophila en biología, cerdo en cirugía)
- ~ Análisis estadístico (sondeo, probabilidades)

PRESENTAR CLARAMENTE

- ~ Ontología (web semántica)
- ~ Modelo de datos (nomenclatura XML)
- ~ Modelo teórico (leyes de la herencia de Mendel)
- ~ Modelo conceptual (paradoja de los gemelos de Einstein)
- ~ Esquema (ciclo del agua)

APLICAR UNA TEORÍA PARA HACER PREDICCIONES

- ~ Modelo matemático (crecimiento demográfico de Malthus, comportamiento racional del consumidor)
- ~ Modelo heurístico (GPS)
- ~ Modelo informático (previsión meteorológica, simulador de vuelo, red neuronal)



Modelo de reconstrucción del color del plumaje del *Oviraptoridae Caudipteryx*, un dinosaurio.

Colectivamente, la clase llega a una **definición de “modelo”**: **representación simplificada de la realidad que puede ayudar a comprender problemas complejos**. ¿Un juego de mesa puede ser un modelo?

Al hablar del juego formativo de la lección 3, los alumnos constatarán que la analogía es un modelo. Sus componentes se distribuyen en tres categorías:

DATOS DE ENTRADA O INSUMOS

- ~ IR, albedo, temperatura, radiación solar, concentración de gases de efecto invernadero, evaporación, viento, respiración, fotosíntesis, agua (atmósfera, hielo marino y hielo continental, lluvia/nieve), CO₂ (biosfera, atmósfera, litosfera)
- ~ Facultativos: permafrost, nubes, incendios, expansión térmica del océano

DATOS DE SALIDA O RESULTADOS

- ~ Emisión IR saliente, temperatura, lluvia/nieve, tasa de evaporación, subida del nivel del mar
- ~ Actualización de todos los valores de entrada

MUESTREO

- ~ 5 celdas (1 atmósfera, 1 Antártida, 1 región ártica, 1 bosque, 1 hidrosfera)

La categoría “muestreo” puede ser objeto de un debate sobre los límites y limitaciones de los modelos. Obviamente, este modelo no puede utilizarse para la previsión meteorológica ni tampoco para hacer proyecciones climáticas regionales. Por ejemplo, una celda (bosque) puede representar tanto la selva amazónica como un bosque siberiano: la primera se transformará en una sabana semiárida y la segunda, en un granero habitable.

PROCEDIMIENTO

DE 30 MIN (CURIOSOS) A 1 H (EXPERTOS)

En este punto, podemos plantear la siguiente pregunta: ¿Puede un experimento físico ser un modelo? Los alumnos llevan a cabo el clásico experimento del efecto invernadero: comparan la temperatura dentro y fuera de un invernadero (más detalles en el experimento que puede encontrarse en la Lección B1 de “El océano y la criosfera”).



Debata sobre el experimento en sí:

Tras la lección 2, los alumnos entienden que el aumento de temperatura observado en el experimento no se debe al efecto invernadero. Se trata más bien de un fenómeno de confinamiento, en el que el aire más caliente queda atrapado en el invernadero. Se pueden realizar experimentos similares sustituyendo el recipiente de vidrio por uno de plástico, o reempla-

zando el aire por CO₂ puro: en todos los casos, la temperatura aumenta, pero no debido a los gases de efecto invernadero. Los alumnos comprenden el razonamiento de Svante Arrhenius, el químico sueco que acuñó el término “efecto invernadero”, que es una analogía.

A pesar de sus limitaciones, este experimento se basa en el uso de un modelo, como puede comprobarse rellenando la tabla:

DATOS DE ENTRADA

- ~ Material del recipiente
- ~ Composición del aire

DATOS DE SALIDA

- ~ Temperatura

MUESTREO

- ~ 2 celdas (1 celda de control, 1 celda de prueba)

ACTIVIDAD ADICIONAL SOLO EXPERTOS, 30 MIN

El profesor distribuye la **HOJA DE TRABAJO 4.1**. Los alumnos realizan un sencilla actividad de codificación en la que utilizan y modifican en la computadora un modelo digital Python/Jupyter del efecto invernadero. Si es necesario, tenga a mano la **HOJA DE TRABAJO 2.5**.

Los alumnos responden a las preguntas del documento Python:

1. ¿Por qué las variables ASR_obs y OLR_obs son casi iguales? Como vimos en la **HOJA DE TRABAJO 2.5**, el equilibrio se alcanza cuando el flujo solar entrante es igual al flujo saliente total (visible más IR). En la figura siguiente (**HOJA DE TRABAJO 4.1**), la magnitud de la radiación solar entrante es 340 W/m², y la magnitud de la radiación saliente OLR_obs (infrarrojo o radiaciones de onda larga) es (100+240) W/m².

2. Compara las dos transmisividades (es decir, la forma en que se transmite la radiación): los alumnos deben mantener tau1 = 0,61 (el efecto invernadero observado), pero pueden elegir cualquier otro valor inferior a 0,61 para tau2. A medida que tau2 disminuye, la temperatura aumenta y el equilibrio tarda más en alcanzarse.

Los alumnos deben describir claramente los componentes del modelo. Tau2 puede representar la eficacia del efecto invernadero (un valor pequeño indica un efecto invernadero importante). Cada variable representa un parámetro, una interacción o una entidad física. Dos leyes de la física (vistas en lección 2) se implementan de forma muy simplificada:

$$T_{\text{superficie}} = f(R_{\text{sol}}, R_{\text{reflejada}}, R_{\text{emisión IR}}, \dots)$$

$$R_{\text{emisión IR}} = f(T_{\text{superficie}}, T_{\text{aire}}, H, m_{\text{CO}_2}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{CH}_4}, \dots)$$

Concluye señalando que este modelo digital o matemático puede utilizarse como **herramienta de predicción** (si se da τ_{at} , es posible predecir el valor de la temperatura de la superficie).

CONCLUSIÓN 10 MIN

La clase puede ahora comparar los distintos modelos que se han estudiado. Utilice una tabla como la siguiente (deje que los alumnos definan las líneas como crean conveniente) para analizar el grado de precisión o de aproximación con el que se representa la realidad (por ejemplo, para representar el sol se utiliza una lámpara en unos casos o el valor del flujo incidente en otros).

En todos los casos, los alumnos observarán que los modelos pueden servir para reproducir el mundo real, ya sea con fines pedagógicos (p. ej., el modelo del dinosaurio) o de análisis y previsión (p. ej., previsiones meteorológicas). El ejemplo del “clásico experimento sobre el efecto invernadero” sirve de advertencia: **un modelo nunca debe sobreinterpretarse, no sea que las conclusiones extraídas estén totalmente desencaminadas**. En la próxima lección, los alumnos aprenderán más sobre los modelos digitales.



Experimento sobre el efecto invernadero (modelo analógico) en el aula.

ASPECTO	JUEGO DE CARTAS (MODELO ANALÓGICO)	EXPERIMENTO SOBRE EL EFECTO INVERNADERO (MODELO ANALÓGICO)	PROGRAMACIÓN DEL EQUILIBRIO RADIATIVO (MODELO DIGITAL)
Radiación solar	Flechas	Lámpara	Valor medio anual fijo de 1,360 W/m²
Gases de efecto invernadero	Flujos de CO ₂	Recipiente sólido	Variable “transmisividad atmosférica” τ_{at}
Dimensiones	5 celdas	1 test, 1 control	Radio constante de la atmósfera terrestre asumiendo una isotropía esférica
etc.	...	...	...



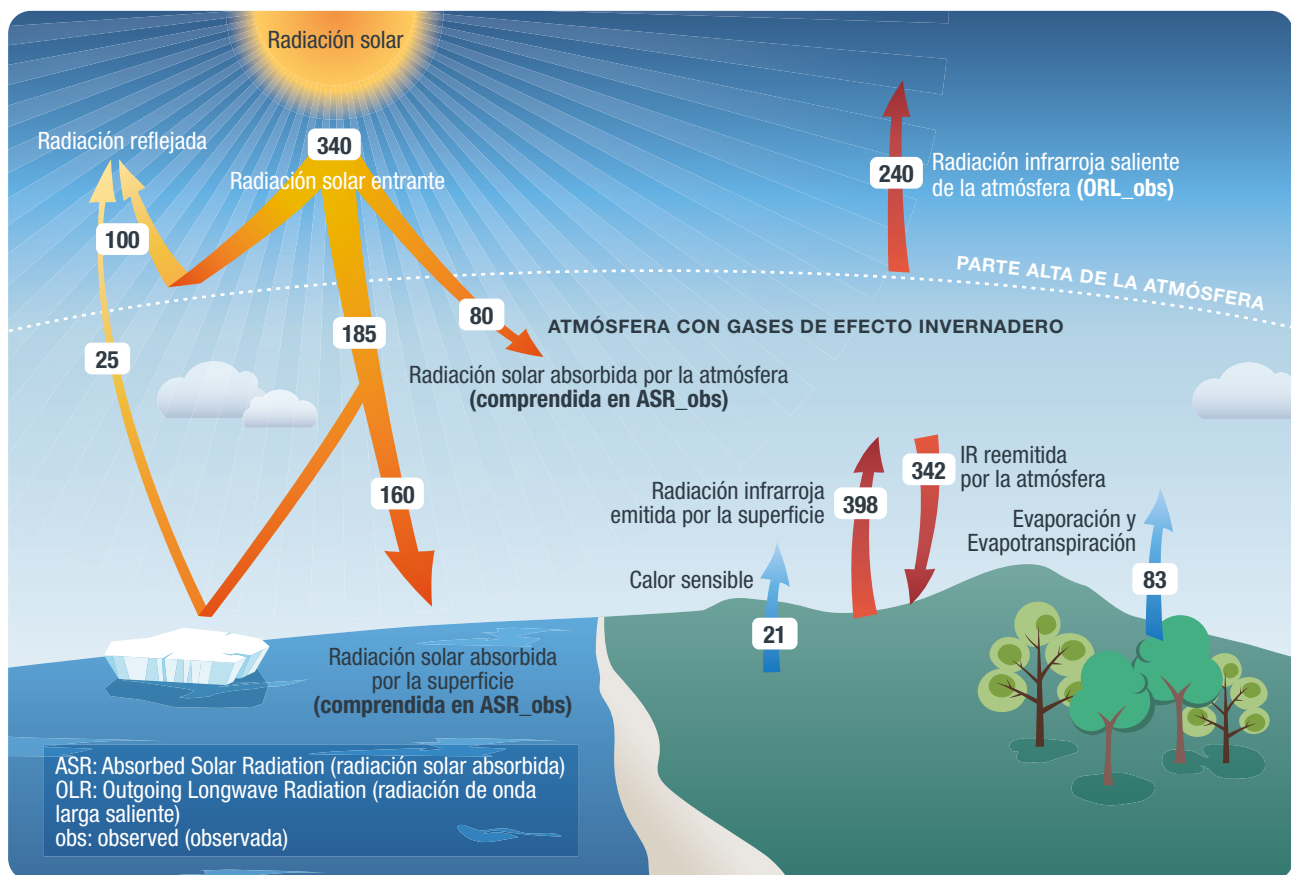
UTILIZACIÓN DE PYTHON Y DE JUPYTER NOTEBOOK

Abre *Jupyter Notebook* en su navegador: <https://jupyter.org> > try > **Jupyter Notebook**.
(Enlace directo: <https://jupyter.org/try-jupyter/notebooks/?path=notebooks/Intro.ipynb>).

Jupyter Notebook es una interfaz que puede manejar dos tipos de “celdas”: bloques de texto en formato *Markdown*, que pueden formatearse como en un editor de texto convencional, y bloques de *Código* que ejecutan líneas Python. En esta primera página, vemos una celda *Markdown* titulada “Introducción”, una celda *Código* indexada “[1:]” con la sintaxis Python destacada en color, luego una celda gráfica generada automáticamente por esta celda *Código*, y finalmente una segunda celda *Markdown* que ofrece otras demos.

Al navegar por la página y hacer clic en las distintas celdas, el menú desplegable de la parte superior de la página indica el tipo de celda seleccionada (markdown, código, raw). Cuando seleccionas una celda *Código*, puedes utilizar el comando *Ejecutar* o “Run” (4.º botón desde la izquierda): esto compilará y ejecutará el código Python desde la primera celda hasta la celda actualmente seleccionada.

Para cargar el cuaderno, haz clic en el logotipo de “Jupyterlite”. Esto abrirá la página <https://jupyter.org/try-jupyter/tree/> y mostrará una lista de todos los archivos disponibles. Localiza el archivo “**greenhouse.jpynb**”. Si no lo encuentras, puedes descargarlo manualmente desde tu disco duro. A continuación, haz doble clic en el nombre del archivo para abrirlo. Ahora sigue el cuaderno, explora el código y responde a las preguntas. El siguiente diagrama puede resultarte útil.



Representación esquemática del balance energético medio global de la Tierra. Las cifras indican las mejores estimaciones de la magnitud de los componentes del balance energético medio global en W/m^2 , representando las condiciones climáticas a principios del siglo XXI.

Fuentes: 2021, Grupo de trabajo 1 del IPCC, figura 7.2 del IE6, capítulo 7 (p. 934) y Météo-France. Adaptación de una figura de la página 19 del siguiente documento: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2023/pdf/chiffres-cles-du-climat-2023.pdf>

LECCIÓN 5 LOS MODELOS CLIMÁTICOS ESTÁN EVOLUCIONANDO

MATERIAS PRINCIPALES

Física
Historia
Matemáticas
Informática

DURACIÓN

Preparación: 15 min
Actividad: 2 h

GRUPO DE EDAD

Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO

Análisis documental

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos aprenden que los modelos climáticos evolucionan con el tiempo y ganan en precisión, gracias a las mejoras técnicas y a la integración de nuevos elementos climáticos.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 2 – Asumir la complejidad de la sostenibilidad
Competencia – 2.3 Contextualización de problemas



CONCEPTOS ABORDADOS

Modelos climáticos, predicción meteorológica, proyección climática

PREPARACIÓN 15 MIN

- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 5.1** (una por alumno).
- Prevea computadoras o tabletas para grupos de 4 a 6 alumnos.
- Vídeos:

“Evolución de los videojuegos”



VER EL VÍDEO ➔



Utilice una captura de pantalla o la **HOJA DE TRABAJO 5.1**.

“¿Qué es un modelo climático?” vídeo CLIM de Roland Séférián, climatólogo de la CNRM, Météo-France/CNRS (Francia).



VER EL VÍDEO ➔



“¿Podemos confiar en las proyecciones climáticas?” vídeo CLIM de Birgit Hassler, investigadora científica en el DLR Oberpfaffenhofen (Alemania).



VER EL VÍDEO ➔



➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

Esta actividad se basa en una comparación entre juegos de ordenador que simulan un partido de fútbol y modelos climáticos que simulan el clima. Puede optar por introducir esta actividad con un partido de fútbol en vivo con sus alumnos.

INTRODUCCIÓN 15 MIN

Empiece con un debate sobre los videojuegos y la informática en general. Pregunte a los alumnos lo que saben sobre videojuegos: *¿Cuándo se inventaron y cómo han evolucionado?*

En cierto modo, un modelo climático es como un videojuego. En la siguiente actividad, compararemos los videojuegos (de fútbol) y los modelos climáticos, analizando videojuegos (videos e imágenes).

PROCEDIMIENTO 1H30

Divida a los alumnos en grupos de 4 a 6.

PARTE 1: LOS VIDEOJUEGOS COMO MODELOS DEL MUNDO REAL 45 MIN

- Ponga el vídeo “Evolución de los videojuegos” y debate sobre el tema. Este vídeo puede considerarse un modelo de partido de fútbol creado por ordenador (hardware y software).
- Recuerde a los alumnos la definición de “modelo”.
- *¿Este videojuego es una buena reproducción de un partido de fútbol?*
~ Enumere los aspectos que se asemejan o que faltan en comparación al fútbol real;
~ *¿Crees que este modelo ofrece una experiencia futbolística virtual agradable para el usuario?*
- *¿Dirías que jugar un partido de fútbol virtual ayuda a mejorar las habilidades futbolísticas en la vida real? ¿Por qué sí o por qué no?*

Vuelva a ver el vídeo centrándose en la cuestión de la evolución de los videojuegos. Debate en grupos y:

- Describa la evolución que han tenido los videojuegos de fútbol. Enumere los cambios.
- Compare el primer y el último videojuego: *¿A cuál preferirías jugar y por qué?*
- *¿Por qué los videojuegos antiguos son menos realistas que los nuevos?*

En este punto, utilice la **HOJA DE TRABAJO 5.1**. Haga los alumnos las mismas preguntas que antes. Añada estas otras si lo desea:

- ¿Cuáles son los componentes de un modelo climático?
- ¿Cómo consiguen los modelizadores representar los distintos elementos del sistema climático?
- ¿Cómo han cambiado los modelos climáticos a lo largo del tiempo? Nombra dos tipos de cambio.
- ¿Cómo incorporan los científicos la actividad humana a sus modelos?

Debate en clase y conclusión intermedia:

Debata las respuestas de cada grupo con la clase. Los videojuegos son **modelos que simulan el mundo real en un entorno virtual**. Los desarrolladores incluyen elementos de un partido de fútbol real para crear un modelo “bueno”, es decir, que represente la realidad y ofrezca una experiencia de juego agradable. En las últimas décadas, los videojuegos han avanzado con la tecnología, incorporando detalles como espectadores y comentaristas para mejorar la simulación. Sin embargo, aunque son más realistas y entretenidos, nunca podrán reemplazar un partido de fútbol real.

PARTE 2: MODELOS CLIMÁTICOS 45 MIN

Cada subgrupo ve uno de los dos vídeos CLIM y elabora cuatro preguntas para un cuestionario sobre el contenido del vídeo. A continuación, los alumnos intercambian los vídeos y responden al cuestionario.

Si es necesario, use los siguientes ejemplos: **Cuestionario del vídeo “¿Qué es un modelo climático?”**:

1. ¿Cuáles son los componentes de un modelo climático?
2. ¿Qué hay detrás de todas esas líneas de código informático?
3. ¿Cómo son representados los distintos elementos del sistema climático?
4. ¿Cómo han cambiado los modelos climáticos a lo largo del tiempo? Nombra dos tipos de cambio.

Cuestionario del vídeo “¿Podemos fiarnos de los modelos climáticos?”:

1. ¿Qué diferencia hay entre las predicciones meteorológicas de la televisión y las proyecciones climáticas?
2. ¿Cómo se determina la precisión de un modelo?
3. Pon un ejemplo de incertidumbre que sea difícil de incorporar a un modelo climático.
4. ¿Qué utilizan los científicos para tener en cuenta la actividad humana en los modelos?

Debate en clase y conclusión intermedia:

Pida a los grupos que comenten sus respuestas con el resto de la clase. A continuación, inicie un nuevo debate planteando la pregunta siguiente:

¿Hasta qué punto podemos decir que un videojuego y un modelo climático son similares?

Para construir un modelo climático, los científicos incluyen en su programa informático los componentes —necesarios y suficientes— del sistema terrestre con el fin de reproducir adecuadamente el clima de la Tierra. Sin embargo, están limitados por su comprensión del sistema climático y por la tecnología disponible.

¿Cuáles son las similitudes y las diferencias en la evolución de los modelos climáticos y los videojuegos?

Ambos han evolucionado con el tiempo, añadiendo nuevos elementos para reproducir el mundo real con la mayor fidelidad posible. Las mejoras técnicas contribuyen a aumentar tanto la resolución como la precisión de dichos modelos.

¿Qué constituye un “buen” modelo a ojos de los climatólogos?

Los modelos climáticos predicen escenarios futuros y hacen proyecciones, algo que no hacen los videojuegos. Un “buen” modelo, para los científicos, es aquel que reproduce la realidad dentro de ciertos supuestos. Por ejemplo, los modelos climáticos no predicen el tiempo exacto, pero sí tendencias climáticas a largo plazo, una de las tres bases de confianza de cualquier modelo matemático (como explica Birgit Hassler en el vídeo). Además, se evalúa si representan correctamente la variabilidad del clima medio o los patrones y tendencias regionales en un período determinado.

¿Cuáles son los límites de los modelos o los videojuegos a la hora de reproducir el mundo real?

Incorporar información más detallada en un modelo mejora su precisión, pero aumenta el tiempo, la potencia de cálculo y los costes. En los videojuegos, esto puede ralentizar el juego y hacerlo injugable en dispositivos antiguos. La cantidad de información que se puede incluir depende de la tecnología disponible, como un ordenador con una tarjeta gráfica de alta calidad.

CONCLUSIÓN 15 MIN

Los modelos climáticos son herramientas informáticas que simulan el sistema climático, al igual que los videojuegos simulan aspectos del mundo real, como un partido de fútbol. Sus resultados son afirmaciones sobre el sistema climático real, cuya precisión y resolución dependen de la calidad del modelo. Con el tiempo, estos modelos han mejorado gracias a los avances científicos y tecnológicos. Son herramientas valiosas que apoyan a climatólogos, investigadores, responsables políticos y ciudadanos en la toma de decisiones informadas para mitigar el cambio climático.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

¿CÓMO ENTENDEMOS HOY EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMPARACIÓN CON CUANDO SE CREÓ EL IPCC?

El primer informe del IPCC (1990) ya concluía que el cambio climático antropogénico pronto sería un hecho establecido, pero en ese entonces este vínculo solo era una sospecha. Pronto sería un hecho establecido, pero en ese entonces este vínculo solo era una sospecha. Hoy, las pruebas son abrumadoras. Gracias a un número mayor de datos, a registros de climas pasados y a un uso cada vez más ingenioso de la modelización, ahora comprendemos mejor cómo

interactúa la atmósfera con los océanos, el hielo, la nieve, los ecosistemas y las superficies terrestres del planeta. Las simulaciones informáticas del clima han mejorado considerablemente al incorporar muchos más procesos naturales y proporcionar proyecciones más detalladas del clima futuro.

PARA PROFUNDIZAR

El abuelo de los modelos climáticos actuales:

<https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters/2015/05/21/see-one-of-the-first-climate-models/>

COMPRENSIÓN DE LA INFLUENCIA HUMANA EN EL CLIMA

1990 1.º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC

! Indicios

2021 6.º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC

Hechos probados ✓

OBSERVACIONES

Calentamiento global desde finales de 1800

Datos de la temperatura de la superficie terrestre

Registros geológicos

Datos satelitales

0,3 – 0,6°C

1887 estaciones (1861–1990)

5 millones de años (temperatura)

5 millones de años (nivel del mar)

160 000 años (CO₂)

Temperatura, cubierta de nieve, balance de la radiación terrestre

0,95 – 1,20°C

Cerca de 40 000 estaciones (1750–2020)

65 millones de años (temperatura)

50 millones de años (nivel del mar)

450 millones de años (CO₂)

Temperatura, criosfera, balance de la radiación terrestre, CO₂, nivel del mar, nubes, aerosoles, cubierta terrestre, etc.

MODELOS CLIMÁTICOS

Resolución de modelos típica

Procesos naturales representados



Global



Global



Regional

500 km

100 km

25–50 km

Circulación atmosférica y oceánica

Transferencia radiativa

Física terrestre

Hielo marino

Circulación atmosférica y oceánica

Transferencia radiativa

Física terrestre

Hielo marino

Química atmosférica

Uso del suelo y cubierta terrestre

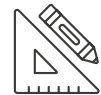
Biogeoquímica terrestre y oceánica

Interacciones entre aerosoles y nubes

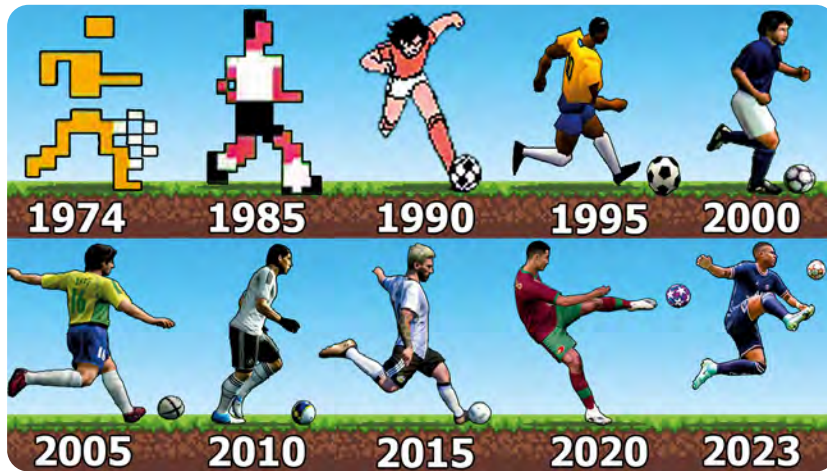
Elementos de muestra de los conocimientos sobre el clima, las observaciones y los modelos evaluados en el Primer Informe de Evaluación (1990) y en el Sexto Informe de Evaluación (2021) del IPCC. Cabe señalar que en esta figura no se incluyen muchos otros avances desde 1990 (comprensión teórica de aspectos clave, registros geológicos y atribución del cambio a la actividad humana), dado que no pueden representarse fácilmente en este formato tan sencillo.

Adaptado de IPCC, IE6. Fuente: 2020, Frederikse et al., 2021, IPCC, Informe de Evaluación 6, Grupo de Trabajo 1, Capítulo 1, "Preguntas frecuentes" (p. 7). Disponible en la web del IPCC (https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/faqs/IPCC_AR6_WGI_FAQ_Chapter_01.pdf)

HOJA DE TRABAJO 5.1



LA EVOLUCIÓN DE LA REPRESENTACIÓN DE LOS AVATARES EN LOS VIDEOJUEGOS A LO LARGO DEL TIEMPO

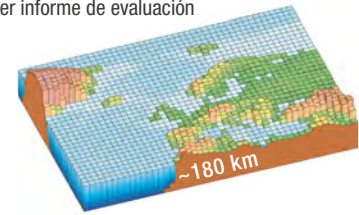


LA EVOLUCIÓN DE LA RESOLUCIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS A LO LARGO DEL TIEMPO

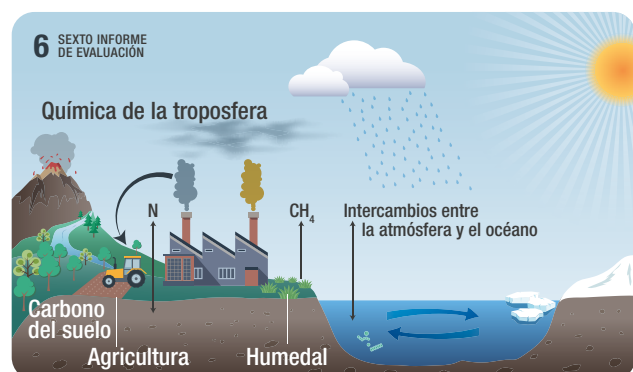
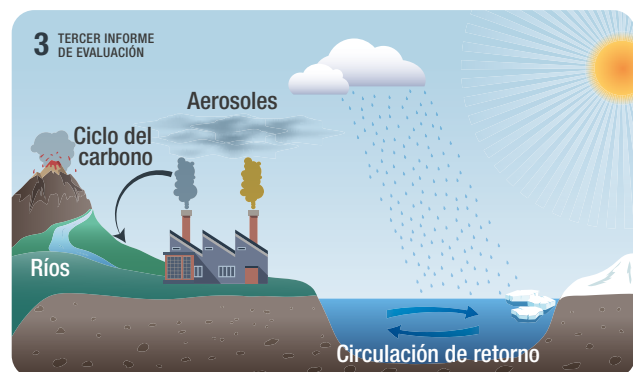
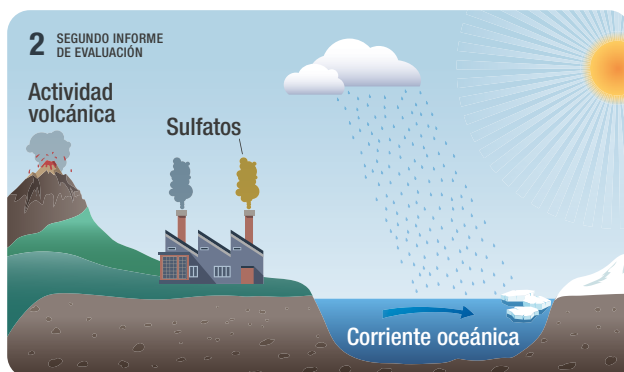
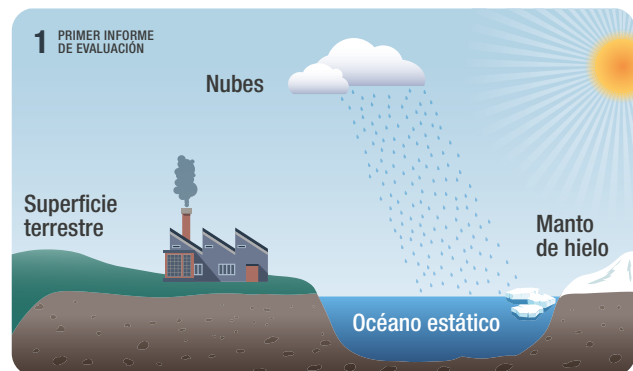
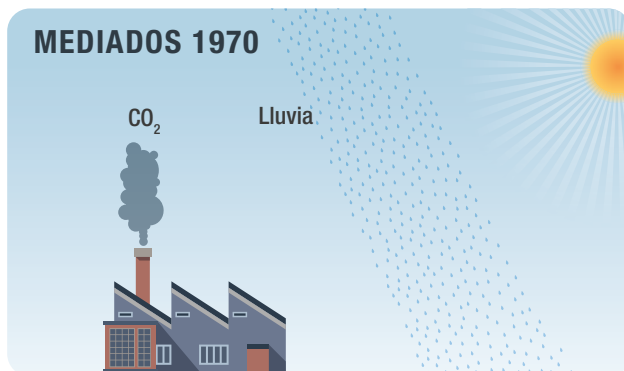
Primer informe de evaluación



Tercer informe de evaluación



LA EVOLUCIÓN DE LA RESOLUCIÓN Y LOS PARÁMETROS TOMADOS EN CONSIDERACIÓN EN LOS MODELOS CLIMÁTICOS A LO LARGO DEL TIEMPO



Fuente: 2007. Adaptado de las imágenes 1.2 y 1.4, 4.º informe de evaluación, IPCC, Base de ciencia física, disponible en el sitio web del IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>).

LECCIÓN 6 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

MATERIAS PRINCIPALES
Física

DURACIÓN
Preparación: 30 min
Actividad: 1h30

GRUPO DE EDAD
Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO
Análisis documental
Experimento digital

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes descubren cómo se puede evaluar la fiabilidad de los modelos numéricos mediante la reproducción de eventos presentes y pasados, la predicción de eventos futuros, etc.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 2 – Asumir la complejidad en la sostenibilidad
Competencia – 2.1 Pensamiento sistémico

**CONCEPTOS ABORDADOS**

Radiación, absorción, emisión, opacidad, escenario, trayectoria, albedo, proyección

PREPARACIÓN 10 MIN

- Descargue e instale *SimClimat*, un software educativo gratuito para llevar a cabo simulaciones climáticas, que sirve para introducir los conceptos de “retroalimentación” y “estabilidad”. Hay muchos ejemplos de cómo utilizar SimClimat con fines educativos, desde la escuela primaria hasta el nivel universitario. Está disponible en inglés y francés para Windows, Mac y teléfonos celulares vía Google Play o Apple Store. La configuración es bastante sencilla, sin más opciones que la carpeta de descarga.
- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 6.1** (una por cada pareja de 2 alumnos).
- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 6.2** et **6.3** (una copia de cada por cada pareja de 2 alumnos).

La mejor manera de llevar a cabo esta actividad es poniendo a los alumnos a trabajar por parejas. En proyectos informáticos a gran escala, es habitual la “programación en pareja”: una persona codifica o programa mientras la otra toma notas, comprueba si hay errores, aporta ideas y consejos, etc. Por supuesto, los roles deben intercambiarse con regularidad.

INTRODUCCIÓN 10 MIN

Repasa brevemente las sesiones anteriores: la interdependencia de los parámetros físicos (lección 2), las retroalimentaciones (lección 3), y los datos de entrada, muestreo y datos de salida de los modelos matemáticos (lección 4).

¿Cómo puede verificarse la fiabilidad (o “validez”) de un modelo matemático?

- Probando el modelo con datos conocidos (este es el caso en el que vamos a trabajar).
- Probando cada parte del modelo por separado (lo que se denomina “realizar pruebas unitarias”).

Cada pareja recibe la **HOJA DE TRABAJO 6.1**.

La mitad de las parejas recibe también la **HOJA DE TRABAJO 6.2 [CURIOSOS]**, y la otra mitad la **HOJA DE TRABAJO 6.3 [EXPERTOS]**.

PROCEDIMIENTO 1H**➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR**

Utilizar *SimClimat* en el aula: tutorial para docentes (este vídeo puede subtitularse en cualquier idioma modificando los parámetros).

**PARTIE 1: PRIMEROS PASOS CON SIMCLIMAT**

[TODA LA CLASE] 10 MIN

Para esta parte, utilice la **HOJA DE TRABAJO 6.1**.

Toda la clase sigue las instrucciones para ejecutar su primera simulación con todos los valores predeterminados. Esto permite a los alumnos aprender cómo funciona la interfaz, que es muy intuitiva:

1. Cambie el idioma, acceda a la documentación y haga clic en *Ejecutar simulación*.
2. Estado inicial de la simulación: fecha (de un menú desplegable) y duración (en años).
3. Opciones estéticas para los gráficos de salida.
4. En la parte inferior de la pantalla hay 3 pestañas para modificar los parámetros de entrada:
 - ~ Pestaña para los parámetros astronómicos. Por ejemplo, haga clic en la *distancia Tierra-Sol* (Earth-Sun distance) y se visualizarán 2 opciones (tenga en cuenta que existe una “figura explicativa” que será útil para las definiciones de “precesión” o “excentricidad”).
 - ~ Pestaña de emisiones de CO₂.
 - ~ Pestaña de retroalimentaciones climáticas.

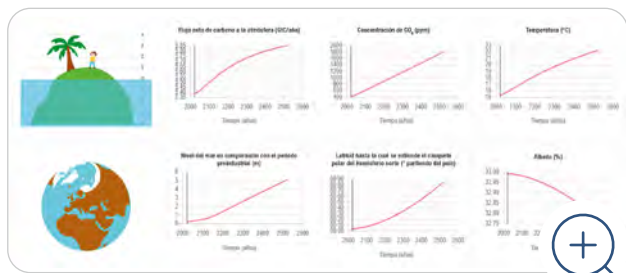
Ejecute una simulación inicial (con todos los valores predeterminados) pulsando el botón amarillo.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

En la página 56 encontrará una captura de pantalla con las soluciones. El icono de la derecha indica que puede ver los resultados de la simulación en un formato más grande.



AGRANDAR LA IMAGEN



Simulación con valores predeterminados.
Deslice el cursor para verlos individualmente.

AGRANDAR LA IMAGEN
PÁGINA 56

Lea y analice cada uno de los ocho resultados. Observe que las dos imágenes de la izquierda ilustran el contenido de dos de los diagramas. Algunos parámetros pueden ajustarse:

- Un control deslizante situado en la parte inferior permite cambiar la fecha actual y animar las dos imágenes.
- En la esquina superior izquierda hay un botón de reinicio completo.
- La caja de herramientas de la esquina superior derecha permite leer, de izquierda a derecha, los detalles de cada simulación, guardar la sesión, guardar una de las simulaciones, exportar una simulación, guardar todos los resultados en formato de imagen o añadir una nueva simulación sin borrar la(s) actual(es). Este último botón será de gran utilidad.

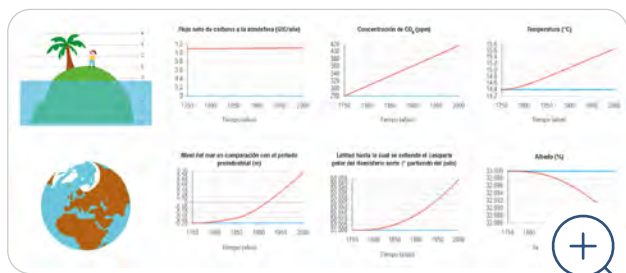
Todos juntos, los alumnos responden a las preguntas de la **HOJA DE TRABAJO 6.1**:

1. En 2100, el calentamiento global alcanzará +1,5°C y el nivel del mar subirá 50 cm. Todo esto se ajusta a los objetivos del Acuerdo de París. Cuidado: Por defecto, ¡la simulación termina en 2520!
2. El usuario puede modificar 17 parámetros de entrada (p. ej., parámetros astronómicos, emisiones de CO₂, retroalimentaciones climáticas). La simulación genera 6 diagramas, entre ellos, “concentración de CO₂”, “flujo neto de carbono” y “albedo”.

En este punto, por parejas, los alumnos pueden realizar varias simulaciones. El profesor puede pedirles que preparen una breve presentación para que, al final de la lección, compartan los resultados del trabajo de grupo.

PARTE 2 (GRUPO 1): MODELIZACIÓN DE LAS OBSERVACIONES ACTUALES [CURIOSOS] 50 MIN

Para este grupo, utilice la **HOJA DE TRABAJO 6.2**.



Escenario de control (rojo): +2.5 GtC/año
a causa de la emisiones humanas.
Simulación (azul): cero emisiones antropogénicas.

AGRANDAR LA IMAGEN
PÁGINA 56

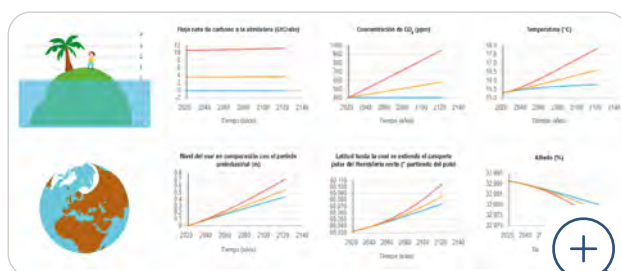
1. Aunque las diferentes reconstrucciones no se alinean con precisión, en general reproducen tendencias similares. Todas las reconstrucciones, así como las mediciones directas, muestran un calentamiento repentino de alrededor de 1 °C a lo largo de los últimos 150 años.
2. Los parámetros de entrada, como la concentración de CO₂, deben ser un único valor constante. Entre + 0 GtC/año en 1750, antes de la Revolución Industrial, y la tasa actual de + 12 GtC/año, SimClimat propone una media ponderada de + 2,5 GtC/año.
3. Con cero emisiones antropogénicas, los distintos parámetros de salida se mantienen constantes. Esto apoya el hecho de que las emisiones antropogénicas son la principal causa del rápido cambio climático desde finales del siglo XIX.

→ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

¿Cómo convertir las emisiones de CO₂ en emisiones de C?
El carbono (C) tiene una masa atómica de 12 y el oxígeno (O), una masa atómica de 16. Por tanto, el CO₂ tiene una masa atómica de 44. Esto significa que una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂.
A modo de comparación: en 2021, las emisiones mundiales totales ascendieron a 37 Gt de CO₂ (Fuente: Global Carbon Budget, 2023). Esto corresponde a 37/3,67 = 10 Gt de carbono.

Conclusión: Utilizando datos registrados en 1750, SimClimat puede reproducir la tendencia actual de las mediciones en 2000-2020, lo que refuerza la confianza en el modelo.

La segunda serie de simulaciones estudia el concepto de **“escenarios”**: un conjunto determinado de parámetros de entrada, ya sean razonables, utópicos o poco realistas. Cada simulación basada en un escenario determinado generará resultados que predicen el futuro. Estos no pueden ser invalidados o confirmados de antemano, y por ello se denominan **proyecciones**.



Escenario de control (naranja). Escenario pesimista (rojo). Escenario optimista (azul)

AGRANDAR LA IMAGEN
PÁGINA 56

Los alumnos responden a las preguntas de la **HOJA DE TRABAJO**. Las respuestas son:

4. Cuanto mayores sean las emisiones antropogénicas, mayor será el ritmo de calentamiento global. Esto es lógico.
5. Debido a la inercia térmica del sistema, la **temperatura seguirá aumentando** antes de estabilizarse. (Este escenario optimista difiere de la simulación preindustrial vista anteriormente, con

“cero emisiones antropogénicas”: entre las dos fechas de inicio se han tenido en cuenta implícitamente las emisiones antropogénicas de GEI).

- Las proyecciones pesimista, de control y optimista se asemejan a las trayectorias RCP8.5, RCP4.5 y RCP2.6 establecidas por el IPCC.

Conclusión: *SimClimat* puede utilizarse para simular a grandes rasgos los modelos más complejos utilizados por los científicos del clima. Al definir **escenarios** probables para el futuro, *SimClimat* puede proporcionar **proyecciones** del clima futuro.

PARTE 2 (GRUPO 2): MODELIZACIÓN DE LAS GLACIACIONES [EXPERTOS] 50 MIN

Para este grupo, utilice la **HOJA DE TRABAJO 6.3**.

El documento 4 muestra las tendencias de temperatura en la Antártida reconstruidas a partir de la composición isotópica de los núcleos de hielo de Vostok (Antártida).

Se observa una gran variabilidad de las temperaturas, con períodos cálidos cada 100.000 años, conocidos como períodos interglaciares, intercalados con períodos más fríos (de alrededor de 10 °C), conocidos como períodos glaciares.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

Desde un punto de vista matemático, las leyes de la física pueden calcularse incluso si el signo de la variable temporal t es negativo. Así pues, partiendo del presente y retrocediendo en el tiempo, un buen modelo debería ser capaz de reproducir los datos del pasado. *SimClimat*, en cambio, no puede retroceder en el tiempo.

Análisis de los ciclos de Milankovitch:

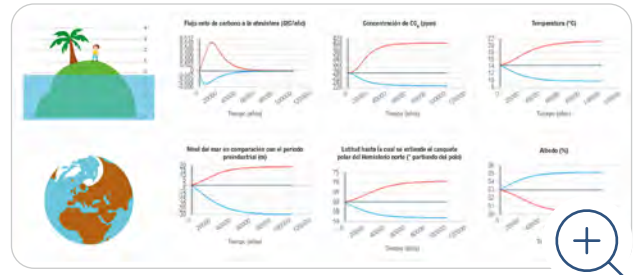
Los parámetros orbitales de la Tierra son responsables de que se produzcan glaciaciones cada 100.000 años aproximadamente (no dude en utilizar las “figuras explicativas” incluidas en *SimClimat* para ayudar a los alumnos a entender qué son los parámetros orbitales). Las respuestas a las preguntas son las siguientes:

- Hay 9 máximos en excentricidad, 20 máximos en oblicuidad y 37 máximos en precesión.
- Respectivamente, 7 (77,7 %), 18 (90,0 %) y 21 (56,7 %) de estos máximos coinciden con los máximos de temperatura. En consecuencia, preferimos centrarnos en la oblicuidad.
- Lo más frecuente es que haya un máximo de temperatura cuando la oblicuidad alcanza su punto máximo.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR

En realidad, cada vez que un parámetro orbital se encuentra en su punto máximo se produce un aumento de la temperatura, pero la oblicuidad es el más evidente y el más fácil de entender.

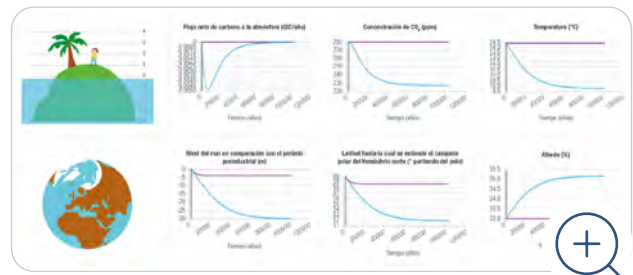
En el siguiente experimento, la temperatura debería aumentar cuando la oblicuidad está en su máximo.



Escenario de control (gris). “Escenario de oblicuidad mínima” (azul). “Escenario de oblicuidad máxima”. **AGRANDAR LA IMAGEN** **PÁGINA 57**

- La simulación de control es muy estable
- Nuestra hipótesis se confirma: **cuando la oblicuidad está en su punto máximo, la temperatura aumenta, y la temperatura más baja se produce coincidiendo con la oblicuidad mínima**, aunque se necesitan milenios para alcanzar el equilibrio.
- La simulación más fría, en azul, se ajusta a la temperatura (−4,6 °C frente a −5 °C), pero subestima la bajada del nivel del mar (solo −30 m frente a −130 m).
- En la simulación azul (correspondiente a una glaciación), el albedo de la Tierra aumenta y la concentración atmosférica de CO₂ disminuye.

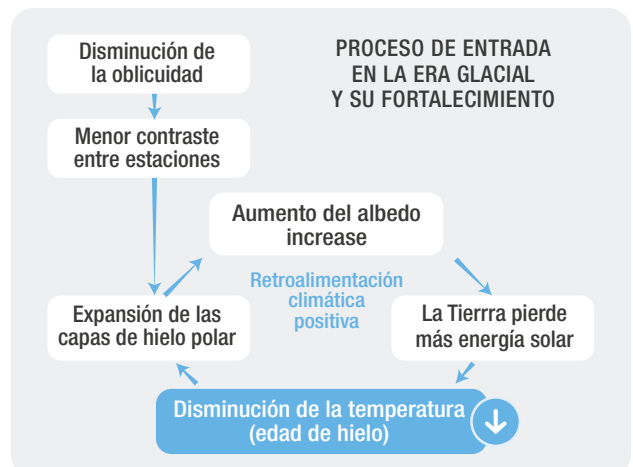
Los alumnos comprueban primero el albedo. Un albedo constante debería conducir a una temperatura constante.



Control (oblicuidad mínima) en azul. Simulación oblicuidad mínima y albedo constante (violeta). **AGRANDAR LA IMAGEN** **PÁGINA 57**

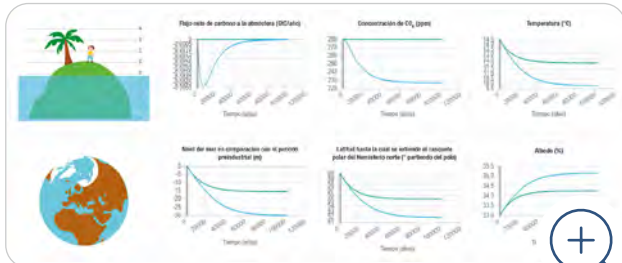
La respuesta a la pregunta correspondiente de la HOJA DE EJERCICIOS es la siguiente:

- Sí, un **albedo constante conduce a una temperatura constante**. En consecuencia, en la realidad debe existir una retroalimentación del albedo que genere directamente un enfriamiento del planeta.



Nótese que la casilla “Menor contraste entre estaciones” también significa “más fresco con veranos más largos y cálidos e inviernos más largos”. De hecho, los veranos son bastante frescos y la nieve no se derrite del todo.

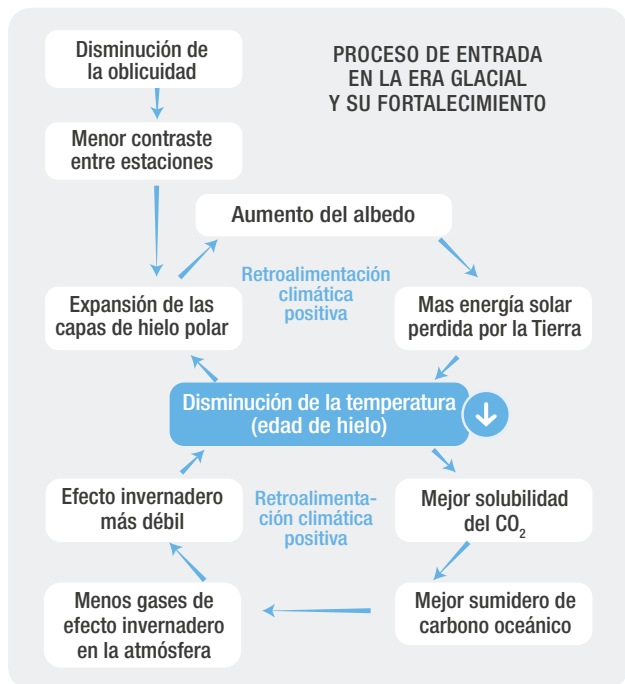
Opcionalmente, los alumnos pueden comprobar la retroalimentación del sumidero de carbono oceánico: una tasa constante de solubilización de CO_2 debería conducir a una temperatura constante.



Control (oblicuidad mínima) en azul. Simulación oblicuidad mínima y solubilización constante (verde). **AGRANDAR LA IMAGEN** **PÁGINA 57**

Los alumnos responden:

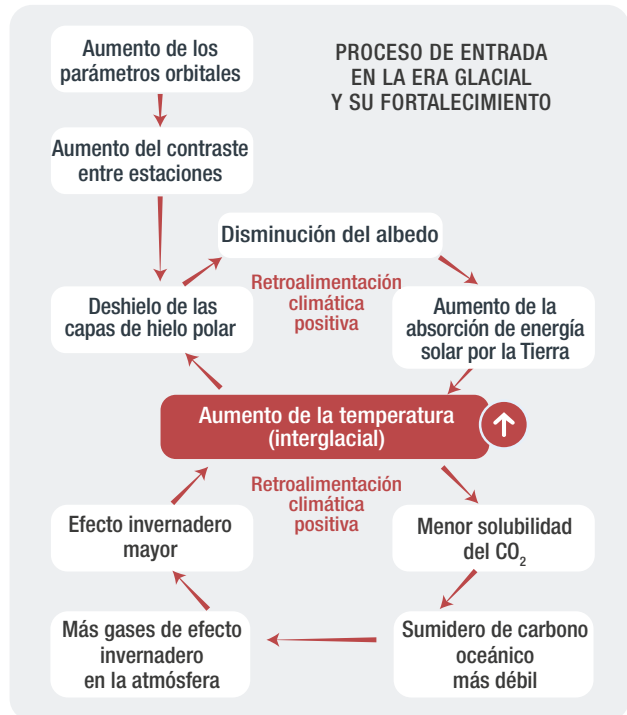
- La temperatura no es constante. Una tasa de solubilización constante dificulta el proceso de glaciación, pero no lo detiene.



- A partir de estos dos experimentos, podemos concluir que la retroalimentación del albedo predomina respecto a la retroalimentación del sumidero oceánico. En la realidad, la retroalimentación del albedo desencadena el inicio de una glaciación, que se ve ligeramente favorecida por la retroalimentación del sumidero de carbono oceánico.

Confirme oralmente que esto se aplica a los demás parámetros orbitales. (Si hay tiempo, los alumnos avanzados pueden probar otro parámetro con el mismo método). Pregunte qué contraposiciones tienen los dos bucles de retroalimentación.

Conclusión: *SimClimat* reproduce las tendencias paleoclimáticas, reforzando la confianza en el modelo.



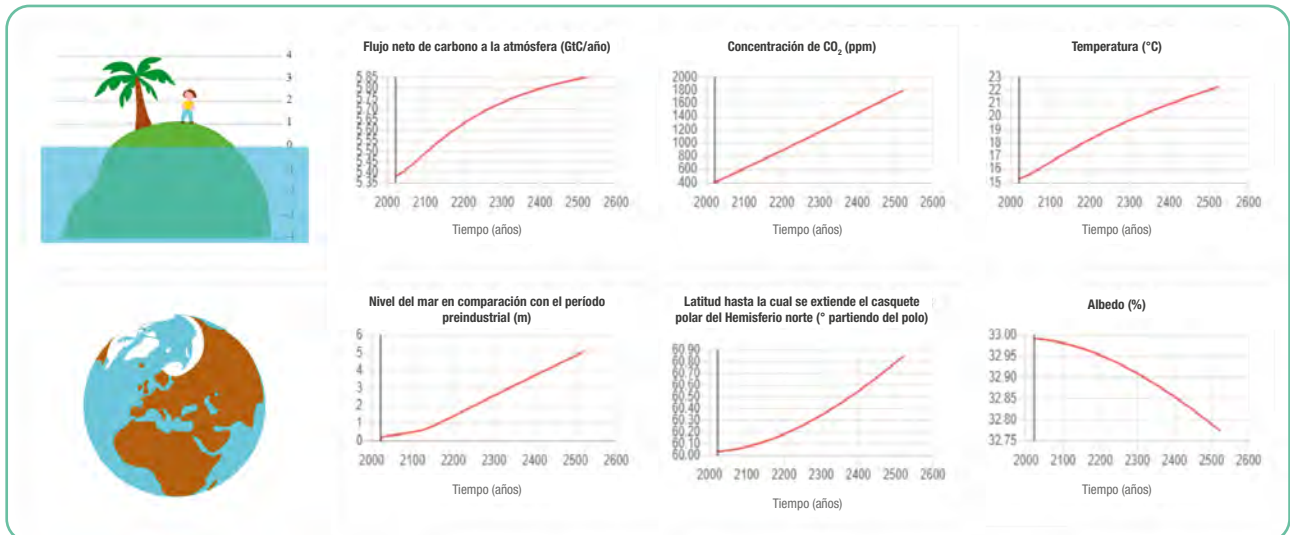
CONCLUSIÓN 20 MIN

Cada pareja de alumnos explica sus resultados a la clase. En concreto, *SimClimat* puede reproducir mediciones actuales, simular paleoclimas y diversas retroalimentaciones positivas. Validar un modelo requiere comparar pruebas con datos climáticos reales; cuanto más exitosas sean, **mayor será la confianza** en el modelo. Sin embargo, persisten incertidumbres. Por ello, los informes del IPCC usan múltiples modelos y consideran tanto las diferencias entre ellos como las tendencias globales.

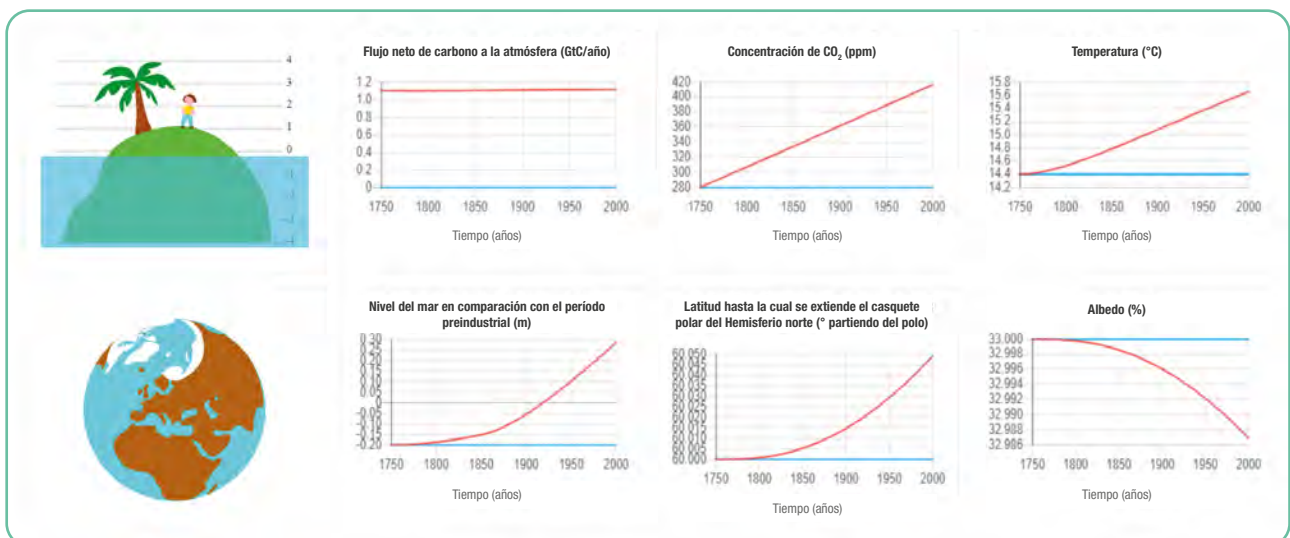
Resumen:

- Los modelos climáticos **se evalúan** según su capacidad para reproducir hechos documentados:
 - ~ mediciones históricas y/o actuales,
 - ~ paleoclimas como eras de hielo o interglaciales,
 - ~ e incluso el clima de otros planetas.
- La confianza aumenta cuando los datos simulados coinciden con los reales.**
- Un modelo fiable tiene varios usos:
 - ~ Un escenario combina parámetros de entrada definidos por motivos históricos, políticos y éticos.
 - ~ Una simulación ejecuta el modelo con datos específicos, mientras que una proyección predice eventos futuros y no se compara con datos reales.
 - ~ El IPCC reúne proyecciones de múltiples modelos para identificar tendencias fiables del futuro.

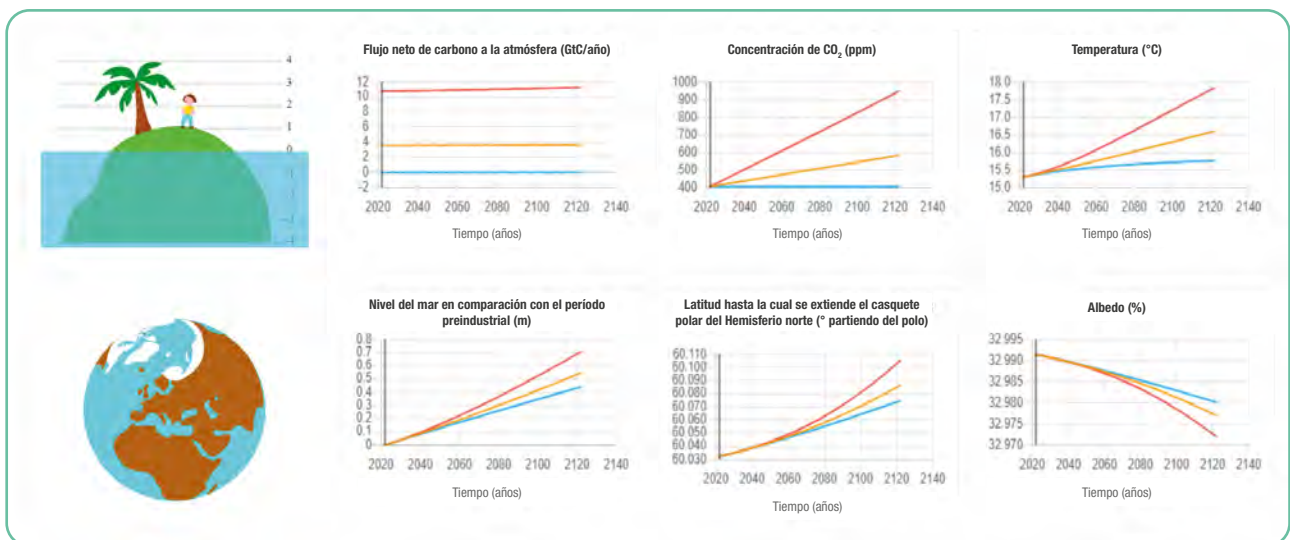
SIMCLIMAT : CAPTURAS DE PANTALLA DE LAS SOLUCIONES



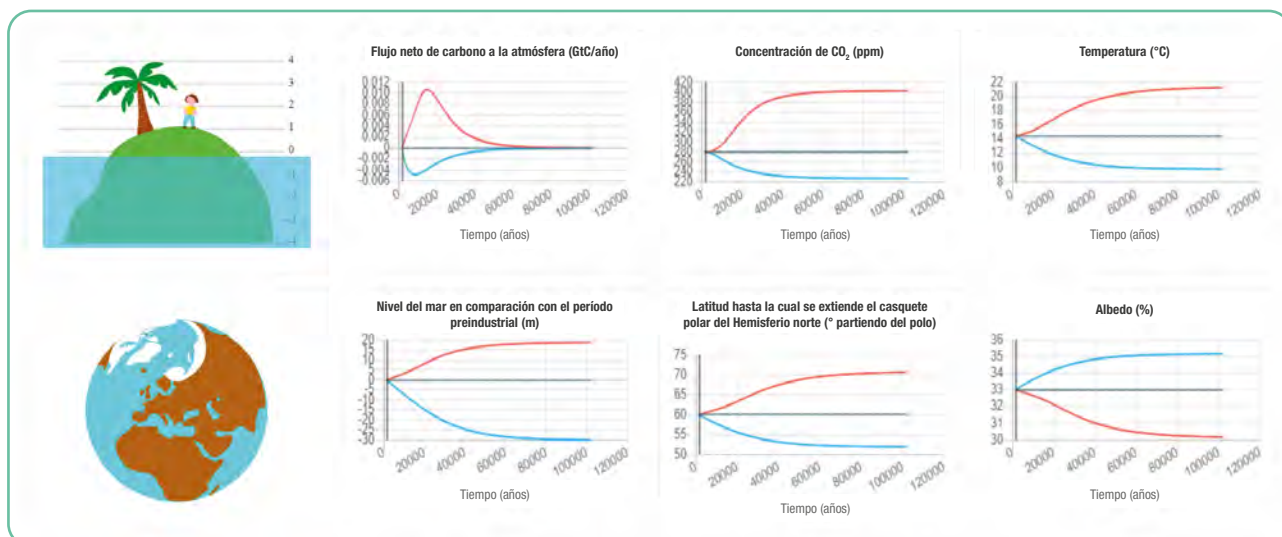
Simulación *SimClimat* con los valores predeterminados. (Nota: deslice el cursor para ver las imágenes individualmente).



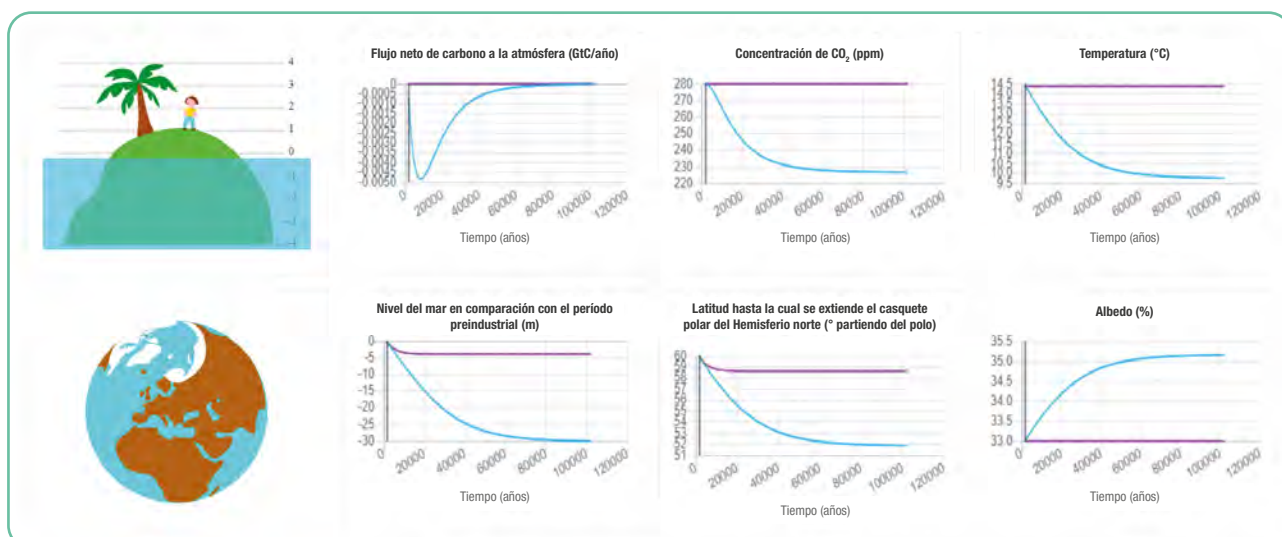
Reproducción de las observaciones actuales con *SimClimat*. Escenario de control (rojo): +2,5 GtC/año debidas a las actividades humanas. Simulación (azul): cero emisiones antropogénicas.



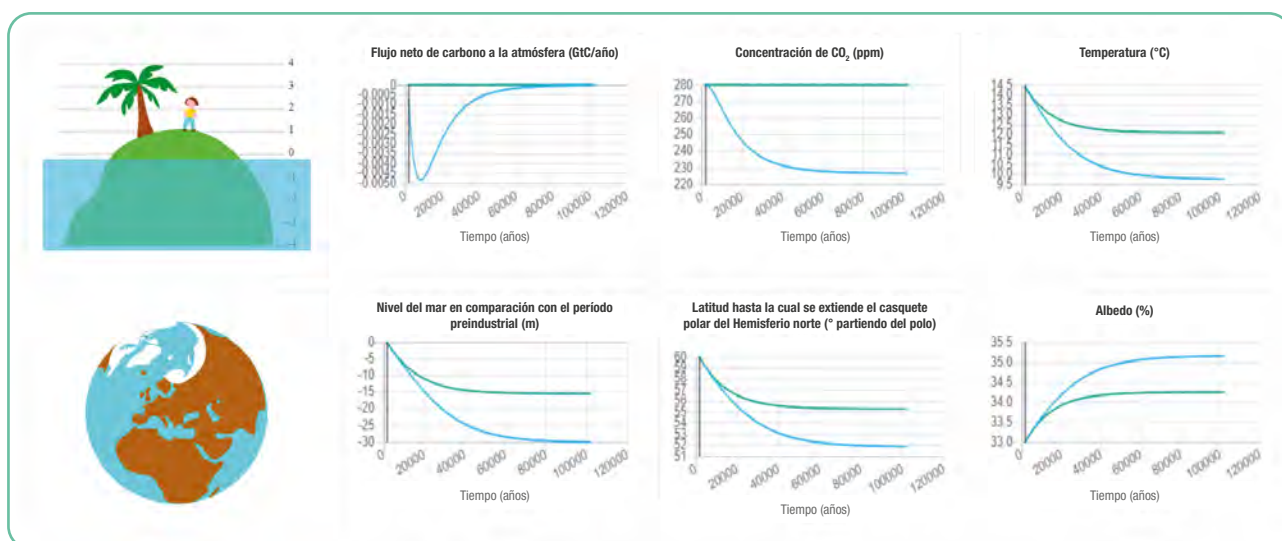
Utilización de *SimClimat* para realizar proyecciones climáticas. Escenario de control (naranja). Escenario pesimista (rojo). Escenario optimista (azul).



Comprobación de la influencia de la oblicuidad. Escenario de control (gris). “Escenario de oblicuidad mínima” (azul). “Escenario de oblicuidad máxima” (rojo).



Evaluación de la retroalimentación del albedo. Control (oblicuidad mínima) en azul. Simulación oblicuidad mínima y albedo constante (violeta).



Evaluación de la retroalimentación del sumidero oceánico. Control (oblicuidad mínima) en azul. Simulación oblicuidad mínima y solubilización de CO_2 constante (verde).

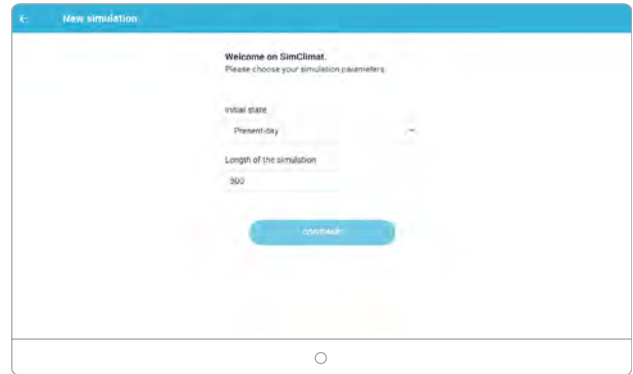


PRIMEROS PASOS CON SIMCLIMAT

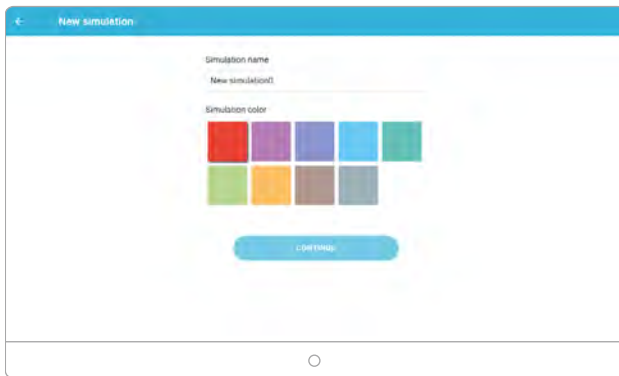
Inicia *SimClimat* y ejecuta tu primera simulación con todos los valores predeterminados.



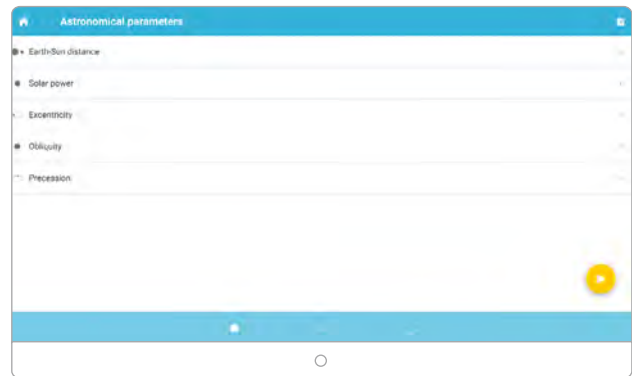
Página de inicio



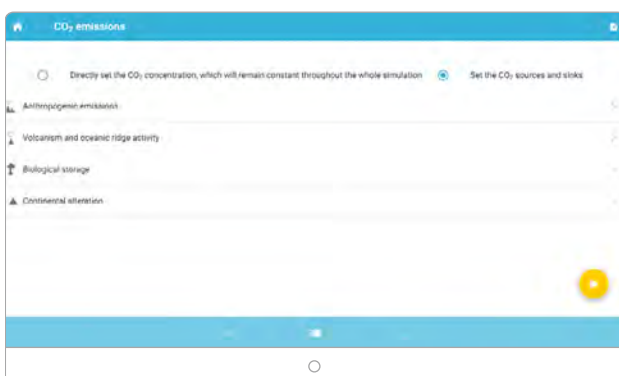
PANTALLA 1
Fecha inicial y duración de la simulación



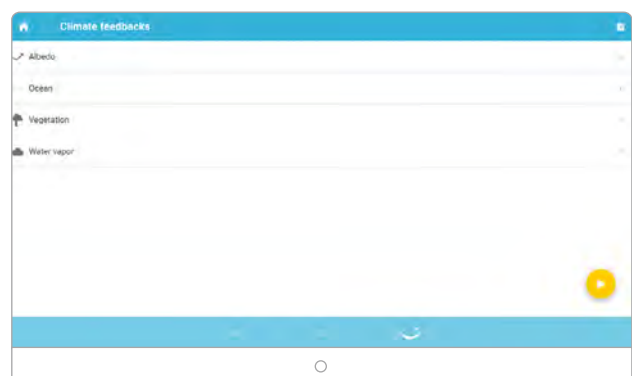
PANTALLA 2
Color y nombre de la simulación



PANTALLA 3 - 1.ª PESTAÑA
Parámetros astronómicos



PANTALLA 3 - 2.ª PESTAÑA
Emisiones de CO₂



PANTALLA 3 - 3.ª PESTAÑA
Retroalimentaciones climáticas

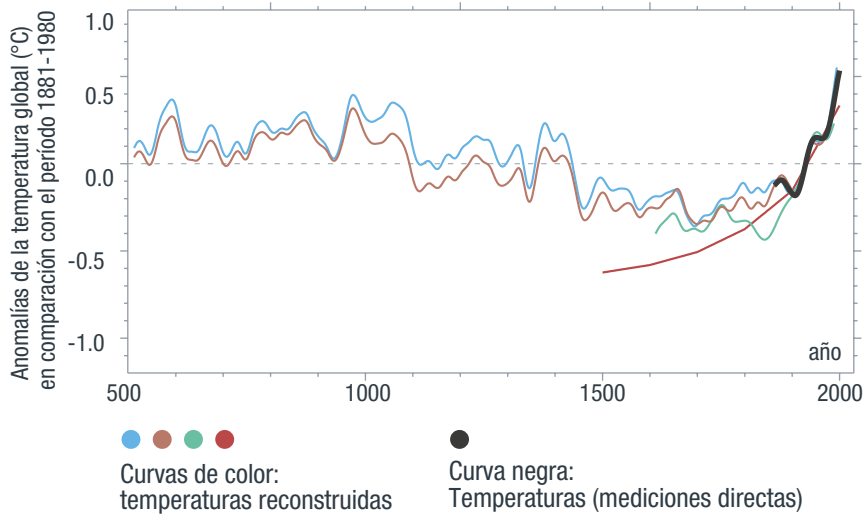
- Pregunta 1.** Por defecto, *SimClimat* asume unas emisiones antropogénicas de CO₂ de 12 Gt/año. ¿Ilustra esta simulación lo que has oído sobre el clima de la Tierra en 2100? (Sugerencia: utiliza el cursor para leer todos los gráficos en la fecha correcta).
- Pregunta 2.** *SimClimat* es un modelo matemático. ¿Puedes enumerar todos sus datos de entrada y de salida?

MODELIZAR LAS OBSERVACIONES ACTUALES

Pregunta 1. A partir de los documentos 1 y 2, describe cómo han cambiado las temperaturas medias en el pasado. Explica la causa de esta reciente evolución.

Documento 1. Tendencias de las anomalías de la temperatura global en los últimos 1 500 años, según diferentes reconstrucciones paleoclimáticas.

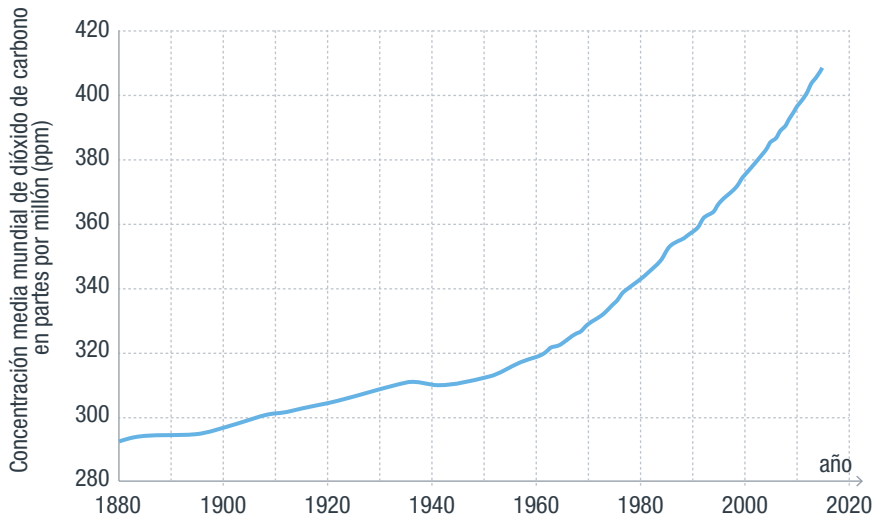
El documento muestra la evolución de las anomalías de la temperatura global durante el último milenio, según diferentes reconstrucciones basadas en archivos paleoclimáticos (anillos de árboles, núcleos de hielo, fechas de cosechas históricas, etc.) y mediciones directas (**curva negra**).



Fuente: 2007, IPCC, IE5, Grupo de trabajo 1, Capítulo 5. Adaptación de la Figura 5.7. (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf).

Documento 2. Cambios en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera desde 1880.

Este espectacular aumento se debe a las emisiones antropogénicas, por lo general, el uso de combustibles fósiles. El cambio climático se debe principalmente a este aumento de la concentración de CO₂.



Fuente: 2021, ESRL/ETHZ/NCEI. Adaptación de la Figura "Dióxido de carbono atmosférico y temperatura de la superficie terrestre". Disponible en el sitio web de NOAA (<https://www.climate.gov/media/13560>)

→ Utiliza *SimClimat* para ejecutar y comparar las siguientes simulaciones, utilizando los siguientes escenarios:

EXPERIMENTO N°1	ESCENARIO DE CONTROL	SIMULACIÓN
Estado inicial	Preindustrial	Preindustrial
Duración de la simulación	250 años	250 años
Emisiones antropogénicas	+2,5 GtC/año	+0,0 GtC/año

MODELIZAR LAS OBSERVACIONES ACTUALES

- Pregunta 2.** ¿Por qué el escenario de control utiliza un valor de +2,5 GtC/año para las emisiones antropogénicas cuando el valor actual es más bien cercano a 12 GtC/año¹?
- Pregunta 3.** Describe el clima en el año 2000 suponiendo que no hubiera emisiones antropogénicas. ¿Cuál parece ser la causa principal del rápido cambio climático del último siglo?

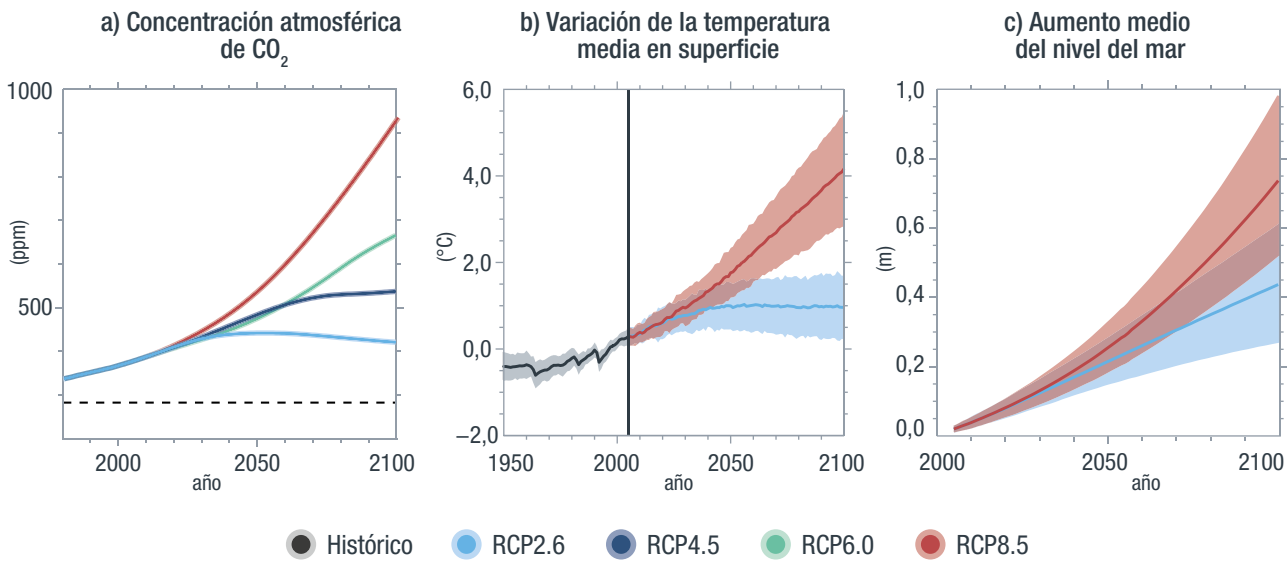
SimClimat parece capaz de reproducir las mediciones actuales, pero ¿puede darnos una idea de cómo será el clima de la Tierra en el futuro? Partimos del consenso científico de que el aumento de la temperatura global se debe al incremento de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera por las actividades humanas. En el futuro, podemos suponer que las emisiones de CO₂ se mantendrán constantes. O podemos suponer que las emisiones seguirán aumentando como consecuencia del crecimiento de la población y del aumento del nivel de vida en todo el mundo. O, en el mejor de los casos, podemos suponer que, ante los riesgos asociados al calentamiento global, los gobiernos tomarán medidas drásticas y las emisiones de CO₂ disminuirán.

→ Utiliza *SimClimat* para ejecutar y comparar las siguientes simulaciones, utilizando los siguientes escenarios:

EXPERIMENTO N°2	ESCENARIO DE CONTROL	ESCENARIO PESIMISTA	ESCENARIO OPTIMISTA
Estado inicial	Actual	Actual	Actual
Duración de la simulación	100 años	100 años	100 años
Emisiones antropogénicas	+8,0 GtC/año	+24,0 GtC/año	+0,0 GtC/año

- Pregunta 4.** Explica el cambio de la temperatura global y su causa.
- Pregunta 5.** Describe la evolución de la temperatura en el escenario optimista.
- Pregunta 6.** Las proyecciones climáticas evaluadas en los informes del IPCC se basan en simulaciones realizadas con diferentes modelos climáticos mucho más complejos que *SimClimat*. El documento 3 muestra las proyecciones para los cambios previstos en la temperatura global (b) y la subida del nivel del mar (c) en diferentes escenarios de concentración de CO₂ en la atmósfera (a). ¿Cuál es el escenario optimista? ¿Cuál es el pesimista? ¿Puedes comparar estos resultados con tus simulaciones *SimClimat*?

Documento 3. Proyecciones elaboradas por los modelos participantes en el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP)



Figuras adaptadas. Fuente: 2013, IPCC, IE5, Grupo de Trabajo 1, Fig. SPM. Disponible en el sitio web del IPCC (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)

- a) Cuatro escenarios diferentes de cambios en la concentración de CO₂ en la atmósfera.
- b) Las líneas en negrita indican la anomalía de la temperatura media en la superficie de la Tierra (diferencia respecto al valor de 1850-1900), simulada con diferentes modelos climáticos, para los escenarios RCP2.6 (azul) y RCP8.5 (rojo). El margen alrededor de las líneas en negrita corresponde a todos los valores simulados por los diferentes modelos.
- c) Igual que en b), pero para la subida del nivel del mar.

¹ Fuente: Global Carbon Budget, 2023: <https://globalcarbonbudget.org/download/933/?tmstv=1701441499>.



MODELIZACIÓN DE LAS GLACIACIONES

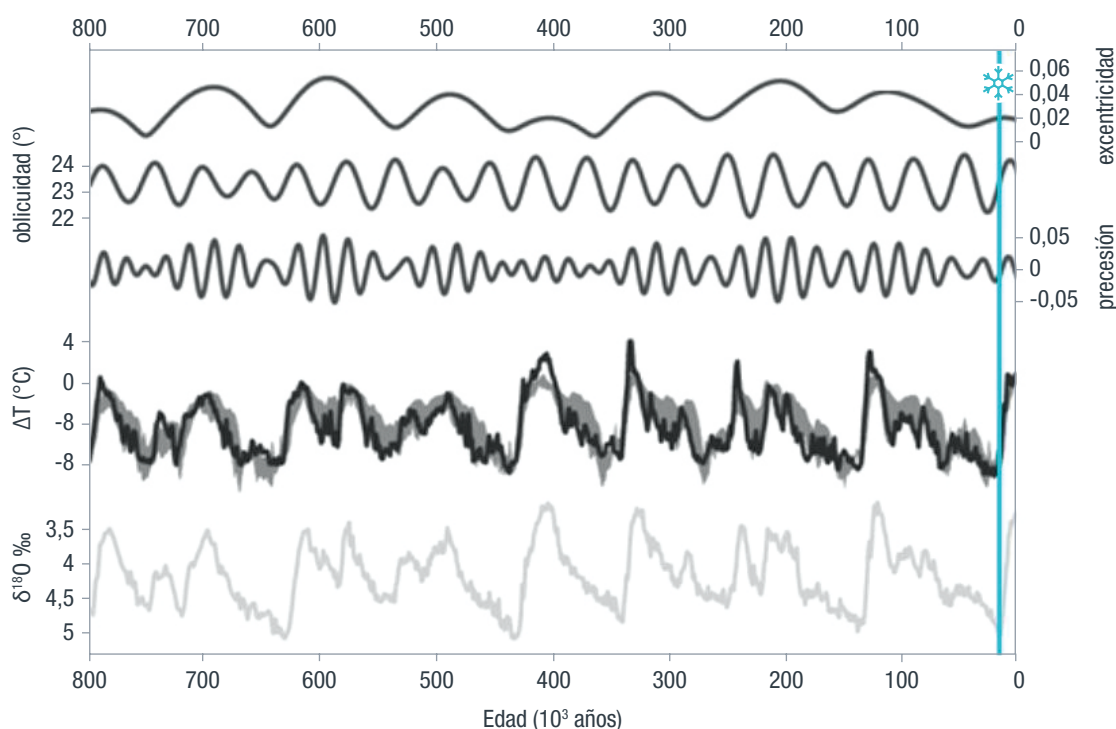
Actualmente nos encontramos en un período interglacial que ha durado los últimos 10 000 años y cuyo último máximo glacial se produjo hace 21 000 años. Las reconstrucciones de la temperatura en otras partes del mundo, combinadas con archivos sedimentarios, muestran que durante el último máximo glacial la temperatura global era 5 °C inferior a la actual, que una capa de hielo cubría todo el norte de Europa y que el nivel del mar estaba 130 m más bajo que actualmente.

Documento 4. Composición isotópica medida en núcleos de hielo de Vostok, Antártida

Anomalía de temperatura deducida a partir de la composición isotópica de los núcleos de hielo.

Las variaciones de la órbita terrestre a lo largo del tiempo geológico vienen definidas por tres parámetros orbitales: la precesión, la oblicuidad y la excentricidad.

La **línea azul claro** corresponde al último máximo glacial (hace 21 000 años).



Fuente: 2013, IPCC, IE5, Grupo de Trabajo 1, Capítulo 5. Adaptación de la Figura 5.3, p. 400: "Orbital parameters and proxy records over the past 800 kyr". Disponible en el sitio web del IPCC (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf)

Hipótesis: Independientemente de la concentración de CO₂ en la atmósfera, ¿podrían los parámetros orbitales ser responsables de las variaciones de temperatura en la superficie de la Tierra?

Pregunta 1. Encuentre y enumere los máximos locales de las curvas de excentricidad, oblicuidad y precesión.

Pregunta 2. ¿Cuántos de estos máximos de excentricidad coinciden con máximos o mínimos de temperatura? ¿Y en el caso de los máximos de oblicuidad y precesión?

Pregunta 3. Formula tu propia hipótesis: "Lo más frecuente es que haya un máximo de temperatura cuando...". Comprueba tu hipótesis con SimClimat en el siguiente experimento.



MODELIZACIÓN DE LAS GLACIACIONES

→ Utiliza *SimClimat* para ejecutar y comparar las simulaciones que se muestran a continuación, utilizando los siguientes escenarios:

EXPERIMENTO N°3	ESCENARIO DE CONTROL	ESCENARIO “OBLIC. MÍNIMA”	ESCENARIO “OBLIC. MÁXIMA”
Estado inicial	Preindustrial	Preindustrial	Preindustrial
Duración de la simulación	100 000 años	100 000 años	100 000 años
Oblicuidad	Actual (23,5°)	Mínima (21,8°)	Máxima (24,4°)

Pregunta 4. ¿Cómo de estable es tu simulación de control?

Pregunta 5. Tu hipótesis sobre la relación entre temperatura y oblicuidad ¿se confirma o refuta?

Pregunta 6. En tu escenario “más frío”, compara el nivel del mar y la cubierta de la capa de hielo con las mediciones históricas citadas anteriormente.

Aunque la modificación de los parámetros orbitales puede ser la causa de glaciaciones, dicha modificación no altera la cantidad total de energía solar recibida anualmente por la Tierra. Pregunta complementaria: ¿Qué es lo que inducen los parámetros orbitales que podría posteriormente desencadenar una glaciación?

Pregunta 7. En el juego de mesa de la lección 3, había una tarjeta sobre la “retroalimentación climática del albedo”. ¿Un albedo elevado limitaría o potenciaría la glaciación?

EXPERIMENTO 4.

Hipótesis: La oblicuidad influye en la cantidad de energía que reciben los casquetes polares en verano y, por tanto, en su deshielo. Dado que el albedo es la fracción de radiación solar que se refleja en el espacio, cuanto más extenso sea el casquete polar más elevado será el albedo y menor la energía que retenga la Tierra. Por tanto, la retroalimentación del albedo podría desencadenar una glaciación.

EXPERIMENTO N.º 4	ESCENARIO DE CONTROL	SIMULACIÓN
Estado inicial	Preindustrial	Preindustrial
Duración de la simulación	100 000 años	100 000 años
Oblicuidad	Mínima (21,8°)	Mínima (21,8°)
Albedo	Valor por defecto (calculado por <i>SimClimat</i> en función de la temperatura, permitiendo la retroalimentación)	Constante, igual que su valor preindustrial (33 %)

Pregunta 8. ¿Se confirma o refuta tu hipótesis?

EXPERIMENTO 5. (OPCIONAL)

Hipótesis: El océano puede actuar como sumidero de carbono porque el CO₂ se disuelve en el agua. El CO₂ se disuelve más fácilmente en el agua fría. Las burbujas de aire encontradas en los núcleos de hielo de la Antártida confirman que, durante las glaciaciones, la concentración de CO₂ en la atmósfera era 100 ppm inferior a la observada durante los períodos interglaciares. Esto significa que la retroalimentación del sumidero oceánico podría desencadenar una glaciación.

EXPERIMENTO N°5	ESCENARIO DE CONTROL	SIMULACIÓN
Estado inicial	Preindustrial	Preindustrial
Duración de la simulación	100 000 años	100 000 años
Oblicuidad	Mínima (21,8°)	Mínima (21,8°)
Sumidero de carbono oceánico	Valor por defecto (calculado por <i>SimClimat</i> en función de la temperatura)	Valor independiente de la temperatura e igual al valor actual

Pregunta 9. ¿Se confirma o refuta tu hipótesis?

Pregunta 10. ¿Cuál de las dos es la retroalimentación dominante?

LECCIÓN 7 CREACIÓN DE ESCENARIOS Y OBSERVACIÓN DE LAS RESPUESTAS DEL MODELO

MATERIAS PRINCIPALES

Matemáticas
Física
Biología

DURACIÓN

Preparación: 10 min
Actividad: 1h

GRUPO DE EDAD

Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO

Análisis documental
Creación y análisis de diagramas

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos eligen y ajustan los parámetros para construir diferentes escenarios. Examinan las proyecciones para evaluar el impacto de sus diferentes elecciones. Los escenarios desarrollados dependerán de las elecciones hechas por los agricultores y las respuestas del modelo se basarán en la biología. Del mismo modo, los escenarios del IPCC se basan en las decisiones de la sociedad y las respuestas climáticas tienen una base científica.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 1 – Encarnar valores de sostenibilidad
Competencia – 1.1 Apreciación de la sostenibilidad



CONCEPTOS ABORDADOS

Parámetros, escenario, decisiones de la sociedad, simulación climática, proyección climática

PREPARACIÓN 10 MIN

- Se necesita un ordenador y un equipo de audio para proyectar estos tres vídeos en clase:

“El sistema climático de la Tierra”, vídeo CLIM de Fiona O’Connor (MET Office Science, Reino Unido).



VER EL VÍDEO ➔

“Cambio climático: trayectorias de mitigación”, vídeo CLIM de Joeri Rogelj (Imperial College London, Reino Unido).



VER EL VÍDEO ➔

“Conferencias de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”, vídeo CLIM de Sofia Palazzo (Imperial College London, Reino Unido).



VER EL VÍDEO ➔

- Imprima las **HOJAS DE TRABAJO S 7.1** y **7.2** para cada pareja de alumnos.
- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 7.3** para cada pareja de alumnos [PRINCIPIANTES].
- Utilice una computadora y una versión digital (en LibreOffice u OpenOffice) de la tabla que aparece en la **HOJA DE TRABAJO 7.4** para cada pareja de alumnos [CURIOSOS].

INTRODUCCIÓN 30 MIN

En la secuencia A, los alumnos aprendieron que el ser humano es responsable del cambio climático actual debido a las grandes emisiones de gases de efecto invernadero desde la Revolución Industrial.

Formule preguntas sobre la relación entre la producción de alimentos y las emisiones de gases:

- ¿De dónde vienen tus alimentos? ¿Del huerto familiar, supermercado o granja?
 - ¿Qué es una granja lechera?
- Respuestas posibles: Una que produce leche. Las vacas se alimentan de hierba o de heno, soja, maíz, etc. La leche puede transformarse en queso, yogur o mantequilla y venderse en la granja.
- ¿Cuál es el impacto de la ganadería en las emisiones de gases de efecto invernadero?

Para responder, muestre el vídeo CLIM “El sistema climático de la Tierra”, que explica cómo los científicos estudian parámetros como vapor de agua, agua líquida y metano al analizar la química de la atmósfera. Pregunte también:

- Describe los tipos de explotaciones agrícolas en tu país o en el mundo. ¿Qué factores influyen en las prácticas agrícolas?
- Respuestas esperadas: El clima, calidad del suelo, raza de las vacas, prácticas agrícolas regionales, y decisiones del agricultor (finanzas, convicciones ecológicas, etc.). Mencione razas y prácticas agrícolas si no surgen en el debate.

PROCEDIMIENTO 40 MIN

1. Los alumnos estudian el proceso de producción de la leche de vaca. Deben leer la **HOJA DE TRABAJO 7.1** y rellenar la tabla.
2. Pídeles que se pongan en la piel de un ganadero lechero y que escriban un breve texto sobre su explotación ideal. Puede que algunos alumnos quieran compartirlo con sus compañeros. Deben hacer hincapié en los valores y las opiniones que guiaron sus decisiones. Por ejemplo, si un alumno quiere que sus vacas pasen la mayor parte del tiempo pastando en grandes prados, probablemente le preocupe el bienestar animal y/o la ecología. Tome nota de las motivaciones relacionadas con las costumbres locales, la cultura y los factores económicos, si surgen.
3. En esta lección, imaginamos que la granja está situada junto a una planta de producción de yogur. Pida a los alumnos que elijan un modelo de explotación lechera para abastecer a la fábrica de la **HOJA DE TRABAJO 7.2** (marque solo una casilla, cada casilla representa un conjunto de parámetros).
4. Los alumnos **[PRINCIPIANTES]** pueden responder a las preguntas de la **HOJA DE TRABAJO 7.3**, mientras que los **[CURIOSOS]** pueden trabajar con la **HOJA DE TRABAJO 7.4**.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

TENER EN CUENTA EL BIENESTAR ANIMAL EN EL ÁMBITO EDUCATIVO

Las nuevas generaciones son más conscientes de las cuestiones relacionadas con el bienestar de los animales (sobre todo respecto a los mataderos y los megaincendios), gracias a la información difundida en redes sociales. Esto está generando cambios en su forma de consumir y, en particular, en su dieta¹.

El bienestar animal se tiene cada vez más en cuenta en los programas educativos. Sin embargo, los profesores de agronomía todavía tienden a “evitar los conocimientos controvertidos en relación con las emociones de los animales de cría, dado que pueden entrar en conflicto con los valores y prácticas dominantes de la comunidad ganadera”².

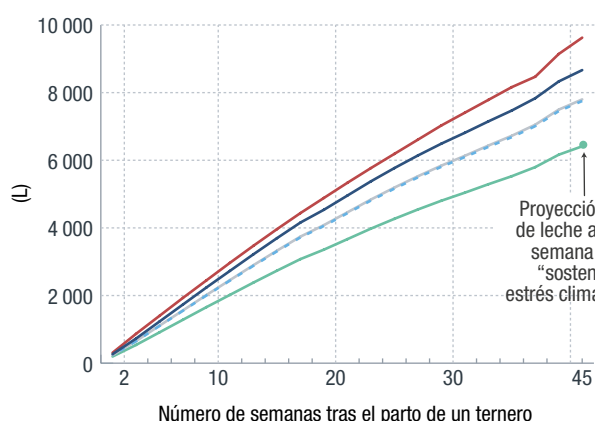
- 1 Fuente: 2022, Péraud-Puigségur, S., in: Annuel de la Recherche en Philosophie de l'Education, 2, 1 18, «La grenouille, la vache et le koala. Que faire de la Pregunta animale à l'école de l'anthropocène?».
- 2 Fuente: 2028, Lipp, A., et Simonneaux, L., in RDST 18, 137 160, 'Savoirs et controverses liés au bien-être des bovins: Comment des enseignants de zootechnie les prennent-ils en compte?' (<https://doi.org/10.4000/rdst.2072>)

SOLUCIÓN: ¿QUÉ OBSERVAN LOS ALUMNOS ACERCA DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE?

Los alumnos identificarán ciertos parámetros que influyen en la producción de leche de vaca (ejemplo de ganadería intensiva en Paraguay).

Seguidamente, deben ajustar estos parámetros (ganadería más o menos intensiva, más o menos ética, con más o menos condiciones de estrés climático) en función de sus opiniones y valores.

Por último, evalúan sus decisiones observando proyecciones en las que se incorporan distintos conjuntos de parámetros. Las proyecciones se basan únicamente en datos observados, no en un modelo real. Aquí no se hace hincapié en el modelo, que se considera una “caja negra”. Los alumnos no necesitan saber cómo se calculan las cantidades de leche para establecer los escenarios. Simplemente se les pide que identifiquen los parámetros que determinan los distintos escenarios.



Curvas de producción acumulada de leche. Curvas obtenidas para diferentes prácticas de producción de leche (escenarios) con vacas de la raza Holstein. Los diferentes escenarios dan distintas cantidades de producción total de leche en litros (L).

- Producción de leche (L), raza Holstein, ganadería sostenible y ecológica, sin estrés climático
- Producción de leche (L), raza Holstein, ganadería sostenible, sin estrés climático
- Producción de leche (L), raza Holstein, con estrés climático
- Producción de leche (L), raza Holstein, intervalo entre partos ampliado, sin estrés climático
- Producción de leche (L), raza Holstein, sin estrés climático

CONCLUSIÓN 10 MIN

La elección del tipo de producción de leche por los alumnos se basa en tradición, viabilidad económica y/o consideraciones ecológicas. Han seleccionado parámetros como raza Holstein, ganadería no ecológica y estrés climático, que corresponden a la curva gris. Al crear escenarios, entienden que estos reflejan distintas opciones sociales.

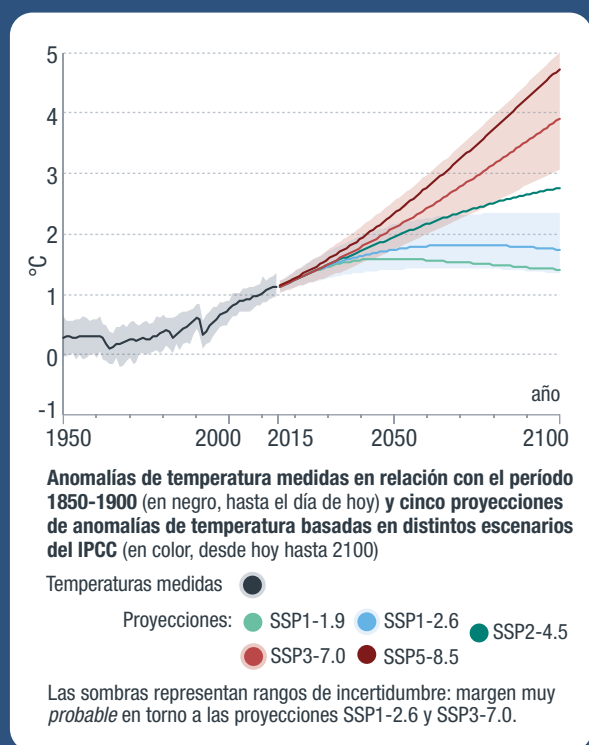
Analizando el diagrama, los alumnos ven que algunas **proyecciones** muestran una mayor producción lechera (como en la ganadería intensiva), basada en la biología de la vaca. Estas proyecciones permiten evaluar escenarios según criterios como producción, ética y ecología. Estos escenarios son una buena analogía para los escenarios y proyecciones climáticas del IPCC, que se basan en decisiones sociales y respuestas científicas.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

¿QUÉ SON LAS PROYECCIONES DEL IPCC?

Los escenarios utilizan una serie de valores para parámetros climáticos clave, como las emisiones de gases de efecto invernadero, con hipótesis sobre su evolución en las próximas décadas.

Una **Trayectoria Socioeconómica Compartida (SSP)** es un escenario que proyecta cambios socioeconómicos globales basados en distintas decisiones sociales. Estas generan proyecciones que van desde la más optimista (reducción drástica de emisiones) hasta la más pesimista (aumento continuo). A continuación, se presentan cinco de estos escenarios.



Fuente: 2021, IPCC, IE6. Adaptación de la Figura SPM.8a "Global surface temperature change relative to 1850-1900". Disponible en el sitio web del IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-8/>).

El nombre de cada escenario hace referencia tanto al nivel de emisiones de gases de efecto invernadero como a la Trayectoria Socioeconómica Compartida (SSP) utilizada en los

cálculos. Estos escenarios sirven de datos de entrada para los modelos climáticos, que a su vez calculan el cambio climático correspondiente.

Hasta ahora, las **trayectorias RCP (Trayectorias de concentración representativas)** se utilizaban para evaluar distintos escenarios de emisiones de GEI. Sin embargo, a diferencia de los SSP, estas RCP no tienen en cuenta los cambios socioeconómicos. Aun así, existen algunas similitudes entre ambas, como se muestra en la siguiente tabla.

ESCENARIO SSP	ESCENARIO RCP CORR.	COMENTARIO
● SSP1-1.9	Sin RCP equivalente	Muy optimista
○ SSP1-2.6	RCP2.6	Optimista
● SSP2-4.5	RCP4.5	Mantenimiento del statu quo
● SSP3-7.0	Entre RCP6.0 y RCP8.5	Pesimista
● SSP5-8.5	RCP8.5	Muy pesimista

Fuente: 2021, IPCC, IE6, Cross-Chapter Box 1.4. Adaptación de la tabla 1 "The SSP scenarios used in this Report". Disponible en el sitio web del IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-1/ccbox-1-4-figure-1>).

Los escenarios del IPCC describen mundos más cálidos, pero distintos. El SSP1, el más optimista, se basa en un desarrollo sostenible impulsado por la cooperación internacional. Las sociedades priorizan el respeto al medio ambiente y el bienestar humano sobre el crecimiento económico, reduciendo desigualdades y promoviendo un menor consumo y una disminución del uso de recursos y energía.

Los modelos matemáticos anticipan cambios climáticos y los modelos climáticos simulan la evolución del clima en cada escenario. Por ejemplo, en el SSP1 se mantiene el calentamiento global por debajo de 1.5°C. El atlas interactivo del IPCC permite comparar variables del clima medio (como temperatura o precipitaciones) y extremos climáticos (como días con más de 35 °C) entre escenarios.

Estas tendencias climáticas son ampliamente utilizadas y citadas por las partes durante las COP. Para ilustrar este punto, puede verse el vídeo CLIM "Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" de Sofia Palazzo (Imperial College London, Reino Unido).





TRES EJEMPLOS DE EXPLOTACIÓN GANADERA DE VACAS LECHERAS



Vista desde un avión



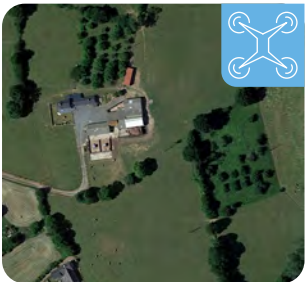
Vista de dron



Vista a pie

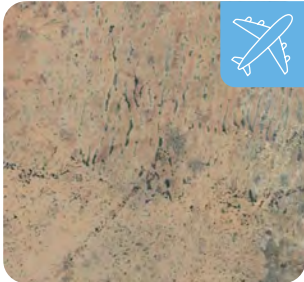
RANCIA: LOS “BOCAGE” EN EL PAISAJE DE NORMANDÍA

En Normandía (Francia) se sigue practicando la agricultura a pequeña escala en explotaciones familiares. Los prados son pequeños y están delimitados por setos que forman lo que se conoce como “bocage”. Este paisaje alberga una biodiversidad muy rica, sobre todo de insectos y aves que se benefician de los numerosos árboles y arbustos. El modo de explotación tradicional consiste en la cría de vacas de raza normanda para producir leche (para hacer queso Camembert, por ejemplo), pero también carne. El ganado libera metano a la atmósfera, que un potente gas de efecto invernadero. Las razas de vacas utilizadas en Francia —Normande y, la raza dominante, la Holstein— son muy productivas. Otras razas se crían específicamente para producir carne: Charolaise, Limousine y Corse.



BURKINA FASO: LOS CEBÚES DEL PUEBLO FULANI

El pueblo Fulani posee grandes rebaños de cebúes, una especie emparentada con la vaca. De las hembras obtienen la leche, mientras que los bueyes se utilizan como fuerza de tracción. En ocasiones especiales, también se comen la carne. El ganado libera metano a la atmósfera, que es un potente gas de efecto invernadero. Estos animales pastan en amplias zonas muy áridas y beben en grandes abrevaderos construidos por humanos. Las intensas y cada vez más frecuentes sequías vinculadas al cambio climático están provocando pérdidas de rendimiento y mortalidad en los rebaños.



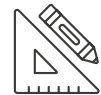
PARAGUAY: FINCAS GANADERAS

En Brasil y Paraguay, los agricultores están talando los bosques para crear espacio y criar vacas. Las vacas viven en densos grupos en corrales gigantes y se crían para proporcionar alimentos a la población local y para la exportación fuera de Sudamérica. Las vacas son las principales emisoras de metano, que es un potente gas de efecto invernadero. La deforestación también contribuye al cambio climático.



DIFERENTES TIPOS DE EXPLOTACIÓN DE GANADO VACUNO EN EL MUNDO

	UBICACIÓN / CLIMA	TIPO DE GANADERÍA Y PRODUCCIÓN	SUPERFICIE DE TIERRA NECESARIA PARA LA CRÍA (¿PEQUEÑA? ¿GRANDE?)
FRANCIA LOS “BOCAGE” EN EL PAISAJE DE NORMANDÍA			
BURKINA FASO LOS CEBÚES DEL PUEBLO FULANI			
PARAGUAY FINCAS GANADERAS			



PARÁMETROS DE LA EXPLOTACIÓN DEL GANADO VACUNO (MARCAR SOLO UNA CASILLA)

TIPO DE PARÁMETROS

☐ MODELO DE GANADERÍA **INTENSIVA, SIN ESTRÉS INDUCIDO POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**

La **ganadería intensiva** se caracteriza por rendimientos muy elevados de producción de carne o leche: los animales se crían en pequeñas superficies, reciben tratamientos (por ejemplo, antibióticos), se alimentan con forrajes de alta calidad y se ordeñan con ayuda de máquinas automatizadas. Este tipo de ganadería requiere grandes cantidades de energía y productos (combustible, productos fitosanitarios, fertilizantes). Su impacto en el medio ambiente es enorme.



TIPO DE PARÁMETROS

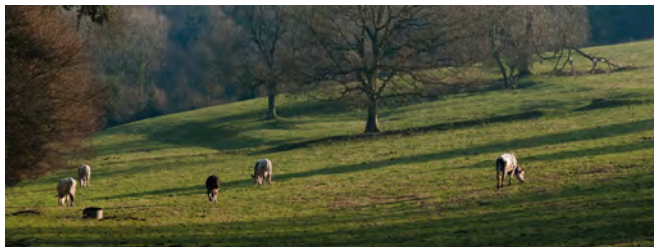
☐ MODELO DE GANADERÍA CON **LACTANCIA PROLONGADA Y SIN ESTRÉS INDUCIDO POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Para que una vaca produzca leche, debe estar preñada. En promedio, entre 40 y 50 semanas después de dar a luz a un ternero, la vaca deja de producir leche y el ganadero deja de percibir ingresos, por lo que se programa rápidamente una nueva inseminación. Las organizaciones de protección animal y algunos ganaderos recomiendan permitir períodos de descanso entre partos, una práctica conocida como ("**lactancia extendida**").



TIPO DE PARÁMETROS

☐ MODELO DE **AGRICULTURA ECOLÓGICA, SIN ESTRÉS INDUCIDO POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**



La **agricultura ecológica** utiliza exclusivamente abonos orgánicos. A menudo incluye el control biológico de plagas (mediante insectos depredadores, por ejemplo) y un sistema de cultivos mixtos. En la agricultura ecológica, los productos sintéticos están prohibidos o estrictamente limitados. Este tipo de agricultura es más sostenible.

TIPO DE PARÁMETROS

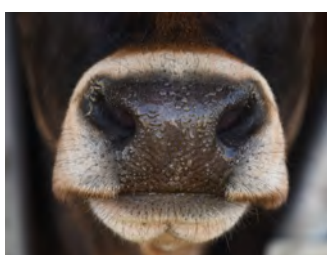
☐ MODELO DE EXPLOTACIÓN **"AGRICULTURA SOSTENIBLE", SIN ESTRÉS INDUCIDO POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Próximo a un modelo extensivo, las "**explotaciones sostenibles**" se caracterizan por un sistema de producción autónomo y económicamente autosuficiente basado en el pastoreo. Los animales pasan más tiempo al aire libre y disponen de más pastos, los cuales se tratan con menos fertilizantes y productos químicos que en la agricultura convencional. Este tipo de ganadería pretende preservar y favorecer la biodiversidad.



TIPO DE PARÁMETROS

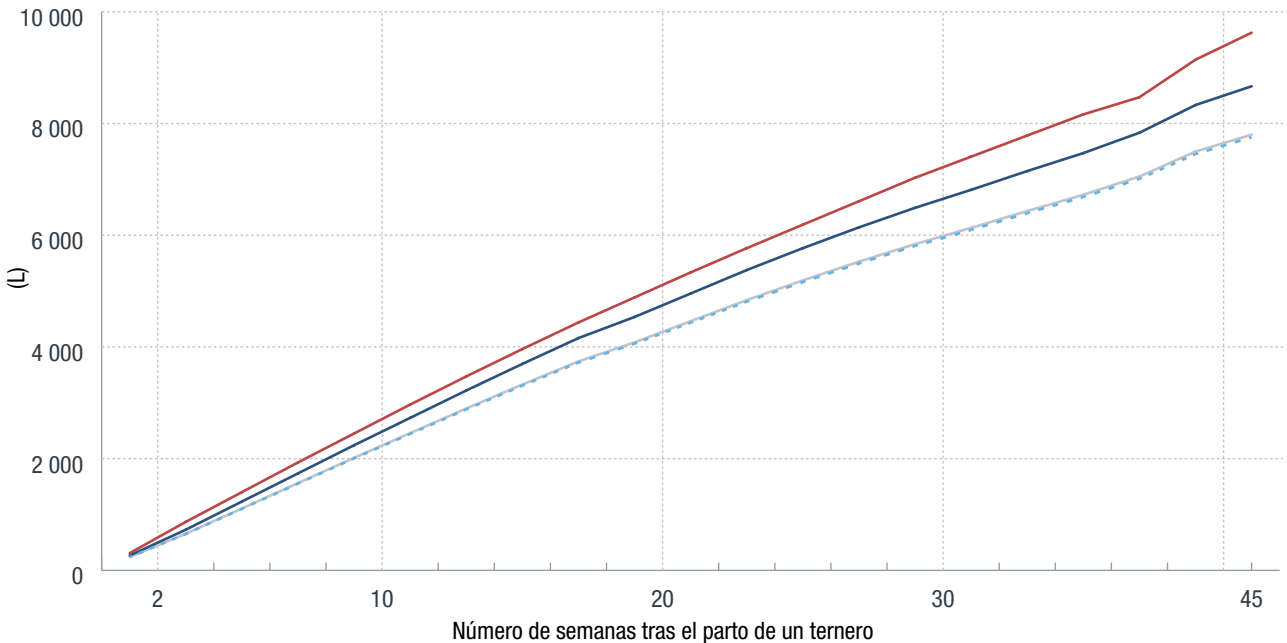
☐ MODELO DE GANADERÍA CON **ESTRÉS INDUCIDOS POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS: ALTA TEMPERATURA Y ALTA HUMEDAD**



Con fines experimentales, es posible modificar la temperatura y la humedad de un establo de forma que se genere estrés en las vacas.: se trata de simular una ola de calor para ver cómo afecta a la producción agrícola.

CURVAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE ACUMULADA TRAS EL NACIMIENTO DE UN TERNERO

- Pregunta 1.** Dibuja, en verde, la curva correspondiente a la producción de leche acumulada (en l) de la “raza Holstein, ganadería sostenible y ecológica, sin estrés climático”.
- Pregunta 2.** Encuentra la producción total (en l) al final de este período de producción de leche por una vaca después del parto de un ternero. Se trata de una proyección (una proyección de producción de leche).
- Pregunta 3.** Evalúa qué escenario es el más productivo (el de mayor proyección). Evalúa tu propio escenario en comparación con los demás.



- Producción de leche (l), raza Holstein, sin estrés climático
- Producción de leche (l), raza Holstein, ganadería sostenible, sin estrés climático
- Producción de leche (l), raza Holstein, estrés climático
- Producción de leche (l), raza Holstein, intervalo entre partos ampliado, sin estrés climático

Número de semanas tras el parto de un ternero																				
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	42	45
● Producción acumulada de leche (L), raza Holstein, ganadería sostenible y ecológica, sin estrés climático																				
197	539	912	1,285	1,658	2,020	2,383	2,735	3,077	3,357	3,667	3,978	4,268	4,544	4,803	5,041	5,290	5,528	5,797	6,164	6,413

Datos extraídos de:
2013, Brocard et al. « Conséquences techniques et économiques de l’allongement à 18 mois de l’intervalle entre vêlages chez les vaches laitières, 3R », (https://uploads-ssl.webflow.com/6135efc5e59d238060fe5710/61c346373c5fcc91cc3898c9_2021_Conduite_TVZ_allongement%20des%20lactations.pdf)
Los datos complementarios han sido extrapolados del descenso de la producción de leche, extraído de las siguientes publicaciones: L’observatoire technico-economique des systèmes bovins laitiers du réseau CIVAM, ‘Comparaison des performances des exploitations d’élevage herbivore en Agriculture Durable avec celles du RICA’, 2019 (<https://www.civam.org/ressources/reseau-civam/agriculture-durable-thmatique/observatoire-technico-economique-des-systemes-bovins-laitiers-2021/>)
2023, S. Mattalia et al., ‘Quels sont les effets du réchauffement climatique sur les performances des vaches laitières?’, (https://idele.fr/umt-ebis/publications/detail-article?tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Baction%5D=showArticle&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bcontroller%5D=Detail&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bpublication%5D=19076&Hash=98a710fcb178fcc-dac2b228580876119)



Raza Holstein.

PRODUCCIÓN DE LECHE ACUMULADA EN FUNCIÓN DE DISTINTOS PARÁMETROS

- Pregunta 1.** Descarga la tabla y calcula la producción de leche acumulada desde el nacimiento del ternero. Registra estos valores en una nueva tabla.
- Pregunta 2.** Dibuja las curvas correspondientes a cada escenario. Dale un título a tu gráfico y, para cada escenario, determina la proyección de leche para la semana 45.
- Pregunta 3.** Define una “proyección de producción de leche”.
- Pregunta 4.** Evalúa el escenario de mayor productividad (el de mayor proyección). Compara tu propio escenario con los demás.

Leche recogida cada quince días de una vaca (en litros)

Número de semanas tras el parto de un ternero																				
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	42	45
● Producción de leche (l) raza Holstein, sin estrés climático																				
378	350	504	504	504	490	490	476	462	378	420	420	392	372	350	322	336	322	364	496	336
● Producción de leche (l), raza Holstein, intervalo entre partos ampliado, sin estrés climático																				
378	490	532	532	518	518	504	490	476	448	448	434	420	420	420	378	378	378	308	672	483
● Producción de leche (kg/d), raza Holstein, con estrés climático																				
340	315	454	454	454	441	441	428	416	340	378	378	353	335	315	290	302	290	328	446	302
● Producción de leche (kg/d), raza Holstein, ganadería sostenible, sin estrés climático																				
338	313	451	451	451	438	438	426	413	338	376	376	351	333	313	288	301	288	326	444	301
● Producción de leche (kg/d), raza Holstein, ganadería sostenible y ecológica, sin estrés climático																				
280	259	373	373	373	363	363	352	342	280	311	311	290	275	259	238	249	238	269	367	249

Datos extraídos de:
2013, Brocard et al., ‘Conséquences techniques et économiques de l’allongement à 18 mois de l’intervalle entre vêlages chez les vaches laitières, 3R’, (https://uploads-ssl.webflow.com/6135efc5e59d238060fe5710/61c346373c5fcc91cc3898c9_2021_Conduite_TVZ_allongement%20des%20lactations.pdf)

Los datos complementarios han sido extrapolados del descenso de la producción de leche, extraído de las siguientes publicaciones:
L’observatoire technico-économique des systèmes bovins laitiers du réseau CIVAM, « Comparaison des performances des exploitations d’élevage herbivore en Agriculture Durable avec celles du RICA », 2019 (<https://www.civam.org/ressources/reseau-civam/agriculture-durable-thmatique/observatoire-technico-economi-que-des-systemes-bovins-laitiers-2021/>)
2023, S. Mattalia et al., «Quels sont les effets du réchauffement climatique sur les performances des vaches laitières?», (<https://idele.fr/detail-article/quels-sont-les-effets-du-rechauffement-climatique-sur-les-performances-des-vaches-laitieres>)



Una vaca y su ternero

LECCIÓN 8 LAS ISLAS DE CALOR URBANO (ICU)

MATERIAS PRINCIPALES

Física
Ciencias naturales
Geografía

DURACIÓN

Preparación: 10 min
Actividad: 3h (2 x 1h30)
Conclusión: 20 min

GRUPO DE EDAD

Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO

Análisis documental
Animación multimedia

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Utilizando una animación multimedia, los alumnos entienden lo que son las islas de calor urbano. También diferencian los escenarios de mitigación de los escenarios de adaptación, y estudian sus ventajas y desventajas respecto a los ODS.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 2 – Asumir la complejidad de la sostenibilidad
Competencia – 2.1 Pensamiento sistémico .



CONCEPTOS ABORDADOS

ICU, adaptación, mitigación, ODS, decisiones de la sociedad, proyección climática, soluciones refrigerantes, mala adaptación, anomalías de temperatura

PREPARACIÓN 10 MIN

Esta lección se divide en **2 actividades de 1,5 h**. Cada actividad corresponde a una parte de la animación multimedia. Las dos partes están entrelazadas, pero pueden estudiarse en dos momentos distintos con los alumnos.

Material necesario para ambas actividades:

computadora, conexión a Internet o animación multimedia instalada en cada computadora y videoproector. Todas las referencias científicas utilizadas en esta animación, que se basa en datos de modelos climáticos reales, están disponibles [aquí](#).



INTRODUCCIÓN

En la secuencia A, los alumnos vieron que el ser humano es responsable del actual cambio climático provocado por las grandes cantidades de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera desde la Revolución Industrial.

Los principales objetivos de aprendizaje que se abordan en esta lección son los siguientes:

- Sin soluciones de mitigación, la temperatura global de la Tierra seguirá aumentando por encima del límite establecido por el Acuerdo de París.
- El efecto de isla de calor urbano (ICU) es una anomalía positiva de la temperatura medida en las zonas urbanas en relación con las zonas rurales circundantes.
- Aplicar soluciones de adaptación hoy día puede reducir el efecto ICU.
- La aplicación de soluciones (de mitigación y de adaptación) para hacer frente a este efecto también puede limitar el aumento de la temperatura

de aquí a finales de siglo. Es lo que se conoce como “sinergias”.

- Algunas soluciones aplicadas hoy por su eficacia pueden resultar menos o nada eficaces en el futuro. Es lo que se conoce como “mala adaptación”.
- La cuestión del efecto ICU está estrechamente vinculada a varios ODS.

ACTIVIDAD 1 1H30

PARTE 1: PRIMEROS PASOS CON LA ANIMACIÓN 25MIN

1. Los alumnos se familiarizan con la animación para comprender el objetivo y la finalidad de utilizarla en el contexto del estudio del cambio climático. Para guiarlos, pregúnteles cuáles podrían ser los objetivos de la animación.

2. Juntos, discutan brevemente lo que han hecho, por qué y cómo utilizar la animación

PARTE 2: LIMITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL A 1,5 °C 55MIN

3. Los alumnos trabajan en pequeños grupos de 2-3 personas. Explíqueles su “misión”: limitar el aumento de la temperatura en 2100 por debajo del umbral fijado por el Acuerdo de París (en torno a +1,5 °C de calentamiento con respecto al período 1850-1900). Pídeles que busquen en Internet el significado del logotipo que aparece junto al termómetro mundial. Pregúnteles si el color del logotipo ha cambiado desde que se aplicaron sus soluciones y cuál podría ser el significado de ese cambio de color. (El logotipo que aparece junto al termómetro global es el de la COP21. Es verde cuando se cumple el Acuerdo de París y rojo cuando la temperatura global es demasiado alta).



4. Debate: Cada grupo puede presentar su(s) solución(es) y debatir sobre su viabilidad en términos de coste, implicaciones culturales y éticas o escala de acción (individual, local y/o colectiva).

PARTIE 3: CONCLUSIÓN 10MIN

Hay varias maneras de mantenerse por debajo de +1,5 °C a finales de siglo:

5. Pregúnteles qué significa el término “mitigación” y por qué es importante.

6. A continuación, pregúnteles si es posible cumplir el Acuerdo de París haciendo esfuerzos en un solo sector. En realidad, es necesaria la transformación de todos los sectores de la sociedad (en este punto, se puede introducir el término “**transformación sistémica**”).

7. **Opcional** (dependiendo del tiempo del que se disponga): divida la clase en dos grupos, uno para encontrar la mejor combinación para lograr el menor aumento de temperatura para 2100 y el otro para encontrar esa combinación que alcance el mayor aumento de temperatura para ese mismo año.

ACTIVIDAD 2 1H30

Para esta parte, imprima y utilice las **HOJA DE TRABAJO S 8.1 y 8.2** para cada pareja de alumnos.

PARTIE 1: SOLUCIONES PARA HACER FRENTE AL EFECTO ICU EN 2020 45MIN

1. **Punto de partida: breve lluvia de ideas en grupo: 1) ¿Qué es el efecto isla de calor urbano (ICU)?** A partir de lo que adivinen o hayan oído en la radio o la televisión, los alumnos deben mencionar la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y el campo. ¿Por qué nos interesa? y **2) ¿Cómo podemos explicar esta anomalía de temperatura en las ciudades?** Los alumnos han de proponer hipótesis para responder a estas preguntas..

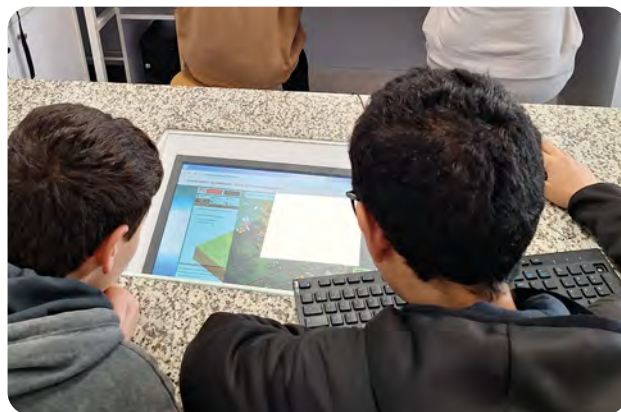
2. A continuación, cada grupo (2 alumnos por grupo, uno seleccionando y haciendo clic en las opciones, el otro comprobando el impacto en la ciudad y los niveles de temperatura) elige una ciudad para empezar (queda a su elección establecer la misma ciudad para todos los grupos o dejar que los alumnos elijan la ciudad que prefieran).

Los alumnos utilizan primero la animación ambientada en 2020. Deben observar una anomalía positiva de la temperatura en las ciudades en comparación con la temperatura en el campo.

- Se centran en una o dos ciudades.
- Para cada ciudad, deben **presentar y aplicar varias soluciones en diferentes sectores** (cons-

trucción, agricultura, movilidad, energía, urbanismo y naturaleza) con el fin de reducir el efecto ICU representado por la anomalía de temperatura en la animación.

- Cada grupo presenta el contexto local al resto de la clase antes de probar su escenario de adaptación en la(s) ciudad(es) elegida(s) y las diferentes



Alumnos trabajando con la animación multimedia sobre las islas de calor urbanas.

soluciones ensayadas para reducir el efecto ICU (la presentación de algunas soluciones sin efectos también puede ser de interés).

La clase llega a la conclusión de que hoy día existen soluciones que pueden aplicarse para mitigar el efecto de las ICU.

3. Pida a los alumnos que rellenen la tabla de la **HOJA DE TRABAJO 8.1** y que evalúen la **viabilidad de una solución** que consideren pertinente (en términos económicos, culturales, técnicos, etc.). También deben establecer vínculos entre estas soluciones para reducir el efecto ICU y algunos de los ODS pertinentes (disponibles en el sitio web <https://sdgs.un.org/es/goals> o en la **HOJA DE TRABAJO 8.2**).

PARTIE 2: SOLUCIONES PARA HACER FRENTE AL EFECTO ICU EN 2100 45MIN

La idea general de esta segunda parte es centrarse en los cambios que se producirán en 2100 en términos de temperatura global y de ICU.

1. Empiece preguntando a los alumnos cuál creen que será la evolución de estos dos parámetros (temperatura del campo y anomalía de la temperatura urbana) de aquí a finales de siglo con las soluciones que eligieron en 2020 (p. ej., aumento de la T° y de las ICU, aumento de la T° y disminución de las ICU, disminución de la T° y de las ICU, etc.).

2. Los alumnos reinician la animación (haciendo clic en la fecha del bucle), hacen clic en 2100 y, a continuación, hacen zoom en la(s) ciudad(es) que ya han estudiado. En muchos casos observarán un aumento de la temperatura global (representada por la temperatura del campo) entre 2020 y 2100, como consecuencia de un calentamiento global con un efecto ICU constante. Esto significa que, aunque no aumente el efecto ICU, las zonas urbanas seguirán calentándose a causa del cambio climático.

3. A continuación, aplican todas las soluciones que habían seleccionado previamente en el estudio de caso de 2020. Observan que, efectivamente, el efecto ICU disminuye, pero pueden producirse dos variaciones: en primer lugar, puede que el efecto ICU no disminuya del mismo modo que en la simulación de 2020 y, en segundo lugar, la aplicación de soluciones de refrigeración urbana también puede repercutir en la temperatura del campo. Nos centraremos en esta última observación.

4. Su objetivo es, por tanto, averiguar qué soluciones de refrigeración tienen un impacto (beneficioso o agravante) sobre el cambio climático, al tiempo que disminuyen también la temperatura en la ciudad. Introduzca el término “**sinergias**” para describir el fenómeno en el que una solución tiene estos dos efectos (“matar dos pájaros de un tiro”).

5. Anime a los alumnos a establecer **vínculos entre las soluciones que han encontrado para reducir la temperatura en las ciudades y los Objetivos de Desarrollo Sostenible pertinentes**.

En esta última sección, guíe a los alumnos a través de un ejemplo que ilustre el hecho de que algunas soluciones de refrigeración eficaces aplicadas en 2020 para reducir el efecto ICU ya no son eficaces en 2100, ¡e incluso pueden provocar un aumento de este efecto!

En la animación multimedia, utilice el ejemplo de Moradabad (India), donde se instalarán “tejados verdes y secos” (ir a edificio > tejados) en 2020 y 2100.

6. Pida a los alumnos que rellenen en grupo la siguiente tabla:

	ANTES DE LA INSTALACIÓN DE TEJADOS VERDES Y SECAS	DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DE TEJADOS VERDES Y SECOS	EFICACIA DE ESTA SOLUCIÓN SOBRE EL EFECTO DE ICU
ANOMALÍA DE TEMPERATURAS EN LAS CIUDADES EN 2020 (°C)	+2,84	+2,32	++ 
ANOMALÍA DE TEMPERATURAS EN LAS CIUDADES EN 2100 (°C)	+2,94	+2,89	+/- 

Esta instalación contribuye a reducir el efecto ICU. Sin embargo, si observamos la anomalía de temperaturas en la ciudad de aquí a finales de siglo, vemos que la temperatura es apenas inferior a la que había antes de la instalación de vegetación en los tejados. Este es un buen ejemplo para hablar de la mala adaptación (es decir, soluciones a corto plazo que pierden eficacia con el tiempo).

7. Aplicando la mayoría de las soluciones mencionadas anteriormente se pueden alcanzar los ODS. Rellene la siguiente tabla para recapitular las diferentes soluciones aplicadas en la ciudad elegida para reducir el efecto ICU y/o el calentamiento global de aquí a 2100.

➔ CONSEJOS PARA EL PROFESOR (PREGUNTA 6)

El efecto refrigerante de los tejados con vegetación procede de la evapotranspiración de las plantas. Sin embargo, la evapotranspiración es muy baja en las plantas adaptadas a un clima árido. El cambio climático alterará el clima de Moradabad, que pasará de ser subtropical húmedo a semiárido: como la evapotranspiración de las plantas adaptadas a un clima seco es menor, incluso los tejados con vegetación se comportarán como una superficie de suelo desnudo. Para que esta solución contra las islas de calor urbano fuera eficaz, habría que regar el tejado para dejar espacio a otro tipo de vegetación. No obstante, añadir un sistema de riego es costoso y técnicamente complicado; es más, parece innecesario en 2020 en climas todavía húmedos. Por eso, en la India, los tejados verdes no irrigados son solo una solución de adaptación a corto plazo. Es lo que se conoce como **mala adaptación**: la solución pierde eficacia con el tiempo.

A SIGUIENTE TABLA ES SOLO UN EJEMPLO DE CÓMO PUEDEN RELLENARLA LOS ALUMNOS

SOLUCIÓN **Captadores solares térmicos en tejados**

ESCALA DE ACCIÓN	☒ Individual	☒ Ciudad/País	SINERGIAS ENTRE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN
AYUDA A LIMITAR	EN 2020	☒ Isla de calor urbano	☒ Sí
	PARA 2100	☒ Efecto de isla de calor urbano (adaptación) ☒ Calentamiento global (mitigación)	☐ No

ODS LOGRADOS GRACIAS A ESTA SOLUCIÓN

ODS N°: 7



DETALLES: **Energía asequible y no contaminante**

ODS N°: 11

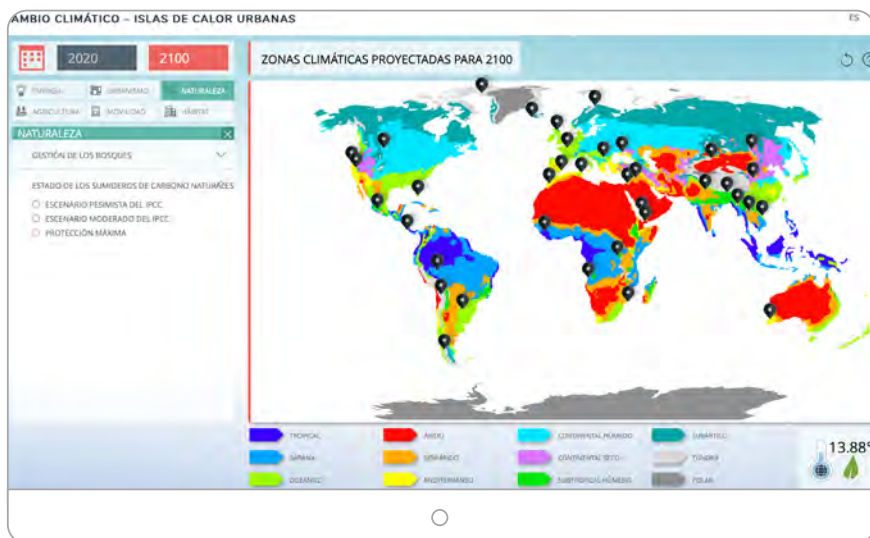


DETALLES: **Ciudades y comunidades sostenibles**

ODS N°: _____

DETALLES: _____

CAPTURAS DE PANTALLA DE LA ANIMACIÓN MULTIMEDIA SOBRE LA ISLA DE CALOR URBANO



Los alumnos observan un mapa del clima global en 2100 y la temperatura media del planeta (13,88 °C). Han elegido una serie de soluciones de mitigación (entre ellas, limitar la pérdida y el desperdicio de alimentos, además de soluciones en otros sectores). Aquí vemos, por tanto, la proyección climática: han conseguido limitar el calentamiento global a finales de siglo muy por debajo de +1,5 °C (se respeta el Acuerdo de París, el pequeño logotipo es verde).



Moradabad, 2020. Aquí, los alumnos estudian la ciudad india de Moradabad. Han optado por plantar vegetación en los tejados para combatir el efecto isla de calor urbano (solución de adaptación: “tejados verdes y secos”).



Moradabad, 2100. Los alumnos observan ahora el resultado de la misma solución de adaptación en esta ciudad a finales de siglo. Pueden ver que la instalación de tejados verdes y secos para combatir el efecto isla de calor urbano es mucho menos eficaz.

CONCLUSIÓN 20 MIN



Para concluir esta actividad, los alumnos pueden ir a la parte «Conclusión» de la animación, haciendo clic en el icono del bloc de notas situado en la esquina superior derecha de la pantalla (aparecerá tras su segunda visita al mapamundi). Esto les ayudará a resumir lo que han aprendido:

1) Algunas soluciones pueden aplicarse a escala mundial para limitar el calentamiento global. Esto requerirá **mayores esfuerzos en todos los sectores y a todos los niveles** (individual y ciudad/país), pero

aún podemos lograr respetar el límite máximo del Acuerdo de París.

2) Se pueden aplicar **soluciones de refrigeración** a nivel local en 2020 para reducir el efecto de ICU a corto plazo. Seleccionar cuidadosamente estas soluciones y modelizar su eficacia en el futuro ayudará a evitar **malas adaptaciones**. Es más, algunas de estas soluciones locales también pueden contribuir a reducir el calentamiento global en 2100: es lo que se denomina **“sinergias”** (entre las estrategias de adaptación y mitigación).

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

En esta sesión hay varios objetivos de aprendizaje para los alumnos, que abarcan **diferentes nociones científicas**:

Sin **soluciones de mitigación**, la temperatura global de la Tierra seguirá aumentando por encima del límite establecido por el Acuerdo de París en 2015.

En la COP21 de 2015, 195 países acordaron limitar el calentamiento global por debajo de $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La única manera de permanecer por debajo de ese límite es reducir nuestras emisiones de gases de efecto invernadero y lograr cero emisiones netas de CO_2 para 2050.

El **efecto isla de calor urbano (ICU)** corresponde a una **anomalía positiva de la temperatura** medida en las zonas urbanas en comparación con las zonas rurales circundantes. Este efecto ICU corresponde a temperaturas más elevadas en las zonas urbanas que en las zonas rurales periféricas. Es principalmente el resultado de una mayor densidad de población, que influye en la producción de calor por las actividades humanas, y de la artificialización del suelo, que limita la cubierta vegetal. El efecto ICU es independiente del calentamiento global, ya que uno de los primeros casos fue descubierto y medido en 1820 en Londres por Luke Howard. Sin embargo, aunque no esté directamente relacionado con él, el **calentamiento global amplifica este efecto** al aumentar la temperatura global y exacerbar el peligro causado por el calor añadido en las ciudades. Dado que se prevé que la población urbana se duplique de aquí a finales de siglo, es necesario aplicar soluciones de “refrigeración urbana” para mitigar el efecto ICU. Sin embargo, debido a la complejidad de la geometría urbana a escala local, meso y gran escala, es necesario ejecutar modelos para hacer proyecciones sobre la eficacia de las soluciones mencionadas.

Implementar **hoy soluciones de adaptación puede reducir el efecto de las ICU**.

Estas soluciones de adaptación pretenden reducir el impacto del efecto ICU en la población de las zonas urbanas y enfriar las ciudades reduciendo la emisión y/o el atrapamiento del calor (por ejemplo, plantando árboles, poniendo tejados frescos y verdes y centros de refrigeración, cambiando al transporte eléctrico, modificando la forma de planificar y diseñar el entorno construido, incorporando vegetación, etc.)

La aplicación de **soluciones para hacer frente al efecto ICU también puede limitar el aumento de la temperatura a finales de siglo**. Es lo que se conoce como **sinergias** entre adaptación y mitigación.

Las soluciones de adaptación aplicadas para hacer frente al problema del efecto ICU en las ciudades a corto plazo y a nivel local pueden limitar también el aumento de la temperatura en las zonas circundantes de aquí a 2100. Por tanto, estas soluciones de adaptación también pueden considerarse soluciones de mitigación. En este caso, podemos hablar de sinergias entre ambas.

A la inversa, otras soluciones que se aplican hoy día por su eficacia pueden resultar menos eficaces, o incluso ineficaces, en el futuro. Es lo que se conoce como **mala adaptación**.

Normalmente, las soluciones “verdes” (basadas en reverdecer superficies artificiales y/o plantar árboles) dependen en gran medida del clima local. No todas las especies de árboles podrán sobrevivir a las condiciones futuras si el cambio climático modifica demasiado profundamente el clima local. Por tanto, las soluciones de refrigeración deben evaluarse en función de su eficacia en el clima actual **y de** su eficacia potencial en el clima futuro plausible.

La cuestión del efecto ICU está estrechamente relacionada con algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y algunas soluciones para hacer frente a este efecto están en línea con la consecución de estos ODS.

En 2015, los miembros de las Naciones Unidas adoptaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para actuar en el marco de una alianza mundial destinada, en particular, a poner fin a la pobreza, mejorar la salud y la educación o reducir las desigualdades, al tiempo que se tomaban medidas para hacer frente al cambio climático. Algunas acciones para reducir el efecto ICU también están en consonancia con ciertos ODS: por ejemplo, fomentar una dieta vegetariana está en consonancia con el ODS 2 (hambre cero) y el ODS 3 (buena salud y bienestar), fomentar el desarrollo del transporte público está en consonancia con el ODS 10 (reducir las desigualdades) y el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles).

PARA PROFUNDIZAR (OPCIONAL)

La animación muestra la evolución de las zonas climáticas del mundo de aquí a 2100, según distintos escenarios.

Puede proponer a sus alumnos una actividad específica sobre cómo los cambios en las zonas climáticas pueden afectar a distintos ecosistemas. Para ello, puede inspirarse en las actividades del manual “El cambio climático y la tierra” de la serie “El clima en nuestras manos” (lecciones C2 o C4).

Pida a los alumnos que asocien cada zona climática con plantas y especies animales adaptadas y también con las poblaciones humanas locales.

Pídales que reflexionen sobre los efectos de esos cambios climáticos y que evalúen su impacto en las poblaciones humanas y los ecosistemas.



UN ESCENARIO PARA MI CIUDAD

→ Rellena estas tablas para recapitular las distintas soluciones que has aplicado en la ciudad de tu elección para reducir el efecto de isla de calor urbano (ICU) y/o el calentamiento global de aquí a 2100. La aplicación de soluciones para hacer frente al efecto ICU también puede limitar el aumento de la temperatura a finales de siglo, por lo que hablamos de sinergias (en otras palabras, “matar dos pájaros de un tiro”). Marca la casilla “sinergias” si este es el caso. Por último, indica qué ODS se alcanzarán aplicando esta solución.

SOLUCIÓN

ESCALA DE ACCIÓN	☐ Individual ☐ Ciudad/País	SINERGIAS ENTRE LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN
AYUDA A LIMITAR	EN 2020 ☐ Efecto de isla de calor urbano (adaptación) PARA 2100 ☐ Efecto de isla de calor urbano (adaptación) ☐ Calentamiento global (mitigación)	☐ Sí ☐ No

ODS LOGRADOS GRACIAS A ESTA SOLUCIÓN

ODS N°:	ODS N°:	ODS N°:
DETALLES:	DETALLES:	DETALLES:

SOLUCIÓN

ESCALA DE ACCIÓN	☐ Individual ☐ Ciudad/País	SINERGIAS ENTRE LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN
AYUDA A LIMITAR	EN 2020 ☐ Efecto de isla de calor urbano (adaptación) PARA 2100 ☐ Efecto de isla de calor urbano (adaptación) ☐ Calentamiento global (mitigación)	☐ Sí ☐ No

ODS LOGRADOS GRACIAS A ESTA SOLUCIÓN

ODS N°:	ODS N°:	ODS N°:
DETALLES:	DETALLES:	DETALLES:



LISTA DE LOS 17 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)



La lucha contra el cambio climático es un aspecto del Desarrollo Sostenible.

Aprobada en 2015 por los 193 Estados miembros de la ONU, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establece metas para abordar los desafíos sociales internacionales.

Entre ellos se incluyen los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) cuyo fin es garantizar una transición ecológica e inclusiva, erradicando al mismo tiempo la pobreza y la desigualdad.

La lucha contra el cambio climático se aborda específicamente en el ODS 13 Todos los demás ODS también persiguen la puesta en marcha de acciones que contribuyan a la lucha contra el cambio climático con el fin de transformar la sociedad en su conjunto



1 FIN DE LA POBREZA
Reducir la vulnerabilidad de las poblaciones más pobres a las consecuencias del cambio climático.



2 HAMBRE CERO
Desarrollar una agricultura baja en carbono y resiliente a los riesgos climáticos para garantizar la seguridad alimentaria.



3 SALUD Y BIENESTAR
Limitar la propagación de enfermedades transmitidas por vectores y las causadas por la contaminación.



4 EDUCACIÓN DE CALIDAD
Introducir las cuestiones climáticas en los programas educativos de las generaciones futuras.



5 IGUALDAD DE GÉNERO
Promover el papel de las mujeres en la lucha contra el cambio climático e implicarlas en la toma de decisiones políticas locales.



6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
Limitar el impacto en los servicios de saneamiento y reducir las amenazas a los recursos hídricos.



7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE
Promover la moderación, la eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables.



8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO
Iniciar la transición hacia una economía baja en carbono basada en el crecimiento sostenible y la creación de empleo.



9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA
Promover la transformación industrial a través de la innovación tecnológica baja en carbono.



10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES
Incluir la equidad y la justicia en la lucha contra el cambio climático.



11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES
Promover el desarrollo de ciudades bajas en carbono y resilientes que fomenten el uso del transporte público.



12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES
Adoptar hábitos de consumo modestos y promover una economía circular respetuosa con el clima.



13 ACCIÓN POR EL CLIMA
Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus consecuencias.



14 VIDA SUBMARINA
Proteger los océanos para reforzar su función como sumideros de carbono y reguladores del clima.



15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES
Preservar los ecosistemas forestales y su biodiversidad y aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo.



16 PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS
Mitigar el cambio climático para reducir el número de refugiados climáticos y frenar las tensiones geopolíticas.



17 ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS
Movilizar a los gobiernos, las empresas y la sociedad civil para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.

LECCIÓN 9 LA ALFABETIZACIÓN DEL FUTURO

MATERIAS PRINCIPALES

Literatura
Artes visuales Teatro
Ciencias naturales

DURACIÓN

Preparación: 10 min
Actividad: 2h

GRUPO DE EDAD

Estudiantes de 15 años

MÉTODO PEDAGÓGICO

Ejercicio de narrar una historia
Actividad creativa

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos retoman el concepto de escenarios que han visto en lecciones anteriores. Imaginan historias sobre futuros posibles y son capaces de trasladar esas historias al arte, a una exposición, a una novela, etc. Se trata de una buena oportunidad para proyectarse en un mundo positivo, aunque marcado por el estrés climático.

COMPETENCIA DE SOSTENIBILIDAD ESPECÍFICA

Ámbito 3 – Prever futuros sostenibles en sesiones
Competencia – 3.1 Capacidad de proyecciones y posibles de futuro



CONCEPTOS ABORDADOS

Escenario, decisiones de la sociedad, proyecciones climáticas efecto isla de calor urbano, adaptación, mitigación

PREPARACIÓN 10 MIN

- Computadora y proyector para mostrar la **HOJA DE TRABAJO 9.1**.
- Imprima la **HOJA DE TRABAJO 9.2** para cada grupo de alumnos.
- Material de artes visuales (bolígrafos, pinturas, lápices o equipo informático de su elección).
- Consulte la **HOJA DE TRABAJO 8.1** rellena en la sesión anterior.

INTRODUCCIÓN 30 MIN

A modo de introducción, pregunte a los alumnos cuál será la temperatura en 2100. Después de lo que han aprendido, probablemente responderán que hay diferentes proyecciones posibles, en función del escenario decidido por la sociedad (lección 7). La trayectoria actual es la siguiente: el cambio climático en curso provocará un aumento de la temperatura global en las próximas décadas.

Presente la **HOJA DE TRABAJO 9.1**, un dibujo realizado por los alumnos que ilustra la vida en una ciudad en 2042. Pida a los alumnos que nombren algunas de las opciones de adaptación o mitigación adoptadas por esta ciudad para combatir el cambio climático. Puede recordarles el contenido de la animación multimedia utilizada en la lección 8.

Respuestas esperadas: “Se puede ver una movilidad respetuosa con el medio ambiente (sin coches), muchos árboles, granjas urbanas, etc.”.

Pida a los alumnos que muestren algunas pistas que muestren que los habitantes están sufriendo una ola de calor.

Respuestas esperadas: “Los habitantes sudan, tienen la cara enrojecida”. Los alumnos deben imaginar cómo es la vida de estas personas bajo el estrés del clima.

PROCEDIMIENTO 1H20

PARTE 1: INSPIRARSE EN UNA PRODUCCIÓN ARTÍSTICA 40 MIN

1. Reparta la **HOJA DE TRABAJO 9.2** y pida a los alumnos que lean los testimonios de los tres habitantes. Relacionarán cada testimonio con el habitante correspondiente en la **HOJA DE TRABAJO 9.1**.

2. Pida a los alumnos imaginar un personaje viviendo en esta ciudad y describir un día en su vida, sus interacciones con el entorno y otras personas. Pueden inventar características como edad y nombre. La actividad permite desarrollar habilidades artísticas (dibujo), literarias o teatrales (interpretación). Use la tabla sugerida para evaluar su trabajo.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA PARA EL PROFESOR

UN EJERCICIO DE ESCRITURA SOBRE EL FUTURO PARA SUPERAR LA ECOANSIEDAD

Numerosos estudios muestran que la ecoansiedad afecta cada vez más a los jóvenes, incluso en la educación infantil. Este sentimiento, vinculado a la anticipación de cambios drásticos en el entorno y a eventos extremos, está asociado al miedo al futuro. Abordar esta dimensión emocional es clave para el éxito educativo. Los mismos educadores deben ser conscientes de sus propias emociones sobre el cambio climático¹ y recordar a los alumnos que todas las emociones (positivas, negativas o neutras) son legítimas y deben expresarse. Por lo tanto, los proyectos creativos, como actividades artísticas o narrativas de futuro, son esenciales en la educación sobre el cambio climático².

1 Fuente: 2012, Ojala, M. et al.

2 Fuente: 2019, Jorgenson Simon N. et al.

	TENER EN CUENTA LAS LIMITACIONES CLIMÁTICAS	EL EJERCICIO DE ALFABETIZACIÓN SOBRE EL FUTURO ES POSITIVO	CALIDAD Y CONSTRUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LOS ALUMNOS
 Muy deficiente	Los personajes no viven en un mundo que ha cambiado.	La historia es deprimente y triste.	Producción fuera de lugar.
 Deficiente	Algunos indicadores apuntan a un mundo más cálido.	Los personajes consiguen adaptarse al cambio climático, pero a su manera (p. ej., utilizando el aire acondicionado).	Trabajo inacabado, pero algunos elementos son aceptables.
 Aceptable	Varios indicadores apuntan a un mundo más cálido.	Los personajes interactúan entre sí, y tienen ideas y energía para luchar contra el cambio climático.	Trabajo ingenioso y estructurado.
 Excelente	La historia describe con precisión un mundo sometido a estrés climático.	Los habitantes están unidos, son imaginativos y han modificado su ciudad para limitar drásticamente las consecuencias del cambio climático.	Production hautement maîtrisée.



Los alumnos imaginan su futuro sobre el tema «Vacaciones en 2042», un ejercicio de alfabetización futura. ¿Cómo serán las vacaciones en 2042 bajo los efectos del cambio climático? Aquí, los alumnos imaginan diferentes aspectos de su vida en 2042. (Producción: OCE en colaboración con DSAA, o el curso de diseño gráfico del Liceo Jacques Prévert de Boulogne Billancourt).

PARTE 2: EJERCICIO DE INVENCION DE UNA HISTORIA SOBRE UNA CIUDAD EN 2100 40 MIN

1. Reprendre **HOJA DE TRABAJO 8.1** et demander aux élèves d'imaginer un nouveau récit (de préférence dans un format différent de celui de la première partie). Cette fois, ils imaginent l'avenir en 2100 d'une ville qu'ils ont étudiée lors de la séance précédente :

- ~ Los alumnos trabajan en parejas y escriben una historia.
- ~ Cuentan la historia de un día típico en su ciudad (cómo se desplazan, qué comen, dónde trabajan, cuál es su relación con la naturaleza).
- ~ En parejas, comprueban si las sinergias y/o los ODS están incluidos en la historia.

2. Para sacar el máximo partido al trabajo de sus alumnos, anímelos a compartir sus historias fuera del aula: blog, periódico escolar, jornadas de puertas abiertas, etc.

CONCLUSIÓN 10 MIN

Pida a los alumnos que presenten su trabajo y deje que la clase debata sobre la pertinencia de las distintas medidas. Pueden surgir algunas dificultades a la hora de clasificar estas medidas, ya que algunas pueden ser relevantes para la adaptación pero no para la mitigación (p. ej., el aire acondicionado). La adaptación nos beneficiará a corto plazo, mientras que la mitigación será fundamental a largo plazo. Ambas deben considerarse conjuntamente.

Concluya diciendo a los alumnos que existen soluciones a los problemas del cambio climático, que pueden aplicarse a diferentes escalas (individuo, familia, escuela, ciudad), como se ha mostrado en esta sesión.

Para ilustrar otras escalas (país, región, mundo), puede verse el video CLIM “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”, presentado por Sofia Palazzo (Imperial College London, Reino Unido), en donde se explica que en las COP, los distintos gobiernos acuerdan medidas eficaces para combatir el cambio climático. Muchas personas, comunidades y organizaciones de todo el mundo ya están aplicando medidas de adaptación y mitigación.



VER EL VIDEO ➔



El mundo está cambiando, pero la humanidad tiene la capacidad y la oportunidad permanente de tomar decisiones sociales para adaptarse a él. Contemplar futuros alternativos imaginando y desarrollando escenarios positivos es una forma de superar la ecoansiedad y capacitar a los estudiantes para pasar a la acción.



VIVIR EN UNA CIUDAD EN 2042 EN CONDICIONES DE ESTRÉS CLIMÁTICO (PRODUCCIÓN ARTÍSTICA DE LOS ALUMNOS)



La producción artística (risografía) y los textos son obra de las alumnas Julia y Alice, del Master DSAA, Lycée Jacques Prévert, Boulogne Billancourt (Francia) © OCE.



TESTIMONIO DE 3 HABITANTES DE ESTA CIUDAD (PRODUCCIÓN ARTÍSTICA DE LOS ALUMNOS)

Linda

Hace tres minutos que he salido de nuestro apartamento. Voy en bicicleta a encontrarme en el parque con mis amigos Akim, Sara y Lucy, pero mi madre acababa de enviarme un mensaje porque necesita que la ayude en nuestro invernadero. Los calabacines están maduros y listos para cosechar. Voy rápidamente en bici al invernadero: solo tardo 15 minutos por el nuevo carril bici y no hay semáforos que me paren. Este año me he ahorrado el abono anual de alquiler de bicicletas porque me he comprado una en el mercadillo. Sigue funcionando muy bien, después de cambiar la cadena y arreglar los pinchazos. Hoy le llevaré a Akim una Game Boy de segunda mano que encontré en una caja “de regalos” en el gimnasio.

Enrique

Estoy yendo a la lavandería comunitaria de nuestro edificio. No he usado una lavadora individual desde que me mudé en 2035. Es muy sencillo: pagamos una pequeña cuota para compensar la huella ecológica causada por el funcionamiento de la lavadora. Podemos reservar franjas horarias para evitar colas. En la lavandería, me gusta conocer y hablar con gente diferente. Tengo un trato especial con mi vecina Imany: me ocupo de su colada y a cambio recibo algunos de sus deliciosos tomates cultivados en casa. Como el agua potable es cada vez más escasa, las lavadoras utilizan agua de lluvia, que se recoge en grandes barriles. Y para tirar de la cadena de los retretes, utilizamos aguas grises.

Imany

He estado recogiendo tomates en nuestro huerto vertical, que está junto a nuestro apartamento. Le daré algunos de los sabrosos tomates cherry amarillos a mi amigo Enrique, que hoy se ocupa de mi colada. Voy a hacer ketchup con los tomates corazón de buey recién cosechados. Mi amiga Linda vendrá a ayudarme. En nuestra granja vertical, cada uno tiene su pequeño huerto donde puede cultivar verduras y frutas. Gracias a la corta distancia entre el huerto y la cocina, siempre cocino con ingredientes muy frescos. También es muy agradable conocer y charlar con los demás residentes del edificio mientras trabajamos en el huerto. A menudo nos damos consejos sobre cómo deshacernos de los pulgones, por ejemplo, o intercambiamos excedentes. El otro día cambié rábanos por fresas.

GLOSARIO

ACCORD DE PARIS

Acuerdo internacional sobre el cambio climático, aprobado en 2015 durante la COP21 de París y firmado por 196 países. Su principal objetivo es limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C para finales de siglo.

ADAPTACIÓN

Proceso de ajuste a los impactos actuales o previstos del cambio climático. En los sistemas humanos, el objetivo de la adaptación es reducir los riesgos, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas que el cambio climático puede ofrecer. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar los ajustes a los impactos previstos del cambio climático.

ANOMALÍA DE TEMPERATURA

Diferencia entre una temperatura observada o simulada y una referencia específica.

CAMBIO CLIMÁTICO

Término genérico que abarca diversos fenómenos globales: los cambios en la temperatura y las precipitaciones, el deshielo (glaciares y banquisa), los fenómenos extremos, la subida del nivel del mar, etc. El término se utiliza sobre todo para describir los cambios climáticos inducidos por el ser humano, que comenzaron alrededor de 1850, debido a un aumento de la temperatura media mundial.

CLIMA

El clima se define a partir de las condiciones meteorológicas promedio que pueden observarse en una región determinada durante un período de tiempo prolongado.

CLIMA NO PERTURBADO

El clima no perturbado o inalterado es el clima anterior al período industrial. El clima ha variado mucho a lo largo del tiempo, pero ha sido relativamente más estable en los últimos 10.000 años.

CLIMA PERTURBADO

Desde la Revolución Industrial (1850-1900), el clima de la Tierra está cambiando rápidamente debido al aumento de la actividad humana.

CONFIANZA (NIVEL DE CONFIANZA)

En los informes del IPCC, el nivel de confianza indica el grado de certeza sobre la validez de un hallazgo, basado en el tipo, cantidad, calidad y coherencia de la evidencia, así como en el grado de acuerdo entre expertos. Se expresa en cinco categorías: “muy bajo”, “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”. Resume el juicio de los autores sobre la validez de los resultados. No debe interpretarse de manera probabilística y es distinto de la “confianza estadística”.

DECISIONES DE LA SOCIEDAD

Posibilidades de evolución de una sociedad. Esta evolución se basa, entre otras cosas, en los cambios demográficos, las futuras decisiones energéticas, el tipo de desarrollo o la aplicación de políticas medioambientales.

CONSENSO

Un consenso científico se basa en un alto nivel de confianza (acuerdos entre científicos, peso de las pruebas, etc.). Un consenso científico sobre un tema concreto no es incompatible con todos los aspectos del tema ni con la noción de incertidumbre.

EFFECTO INVERNADERO

La radiación solar que atraviesa la atmósfera es absorbida por la superficie de la Tierra y la calienta. La radiación solar absorbida se transforma en radiación infrarroja (calor). En su regreso hacia el espacio, parte de esta radiación infrarroja es “atrapada” por los gases de efecto invernadero de la atmósfera y es enviada de vuelta hacia la superficie de la Tierra, calentándola aún más. Esto se denomina “efecto invernadero”.

ISLA DE CALOR URBANO (ICU)

Una zona urbana tiene una temperatura media más alta que su entorno rural debido a la mayor absorción, retención y generación de calor por los edificios, el pavimento y la actividad humana.

ESCENARIO

Selección de insumos basada en razones sociales o éticas. Un escenario climático es una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro. Los escenarios del IPCC se basan en las decisiones de la sociedad.

FENÓMENOS EXTREMOS

Acontecimientos meteorológicos inusuales que tienen un impacto negativo importante en la sociedad humana y ecosistemas (tornados, incendios forestales, sequías, olas de calor, etc.). El cambio climático está aumentando la frecuencia y la magnitud de algunos fenómenos extremos en todo el mundo (sin embargo, se reducen los fenómenos de frío extremo).

FIABILIDAD

No todas las fuentes de información son dignas de confianza; siempre hay que comprobarlas. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) evalúa y recopila la información científica más reciente sobre el cambio climático y refleja el consenso de la comunidad científica, por lo que es una de las fuentes de información más fiables sobre el cambio climático.

GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Los gases de efecto invernadero causan el efecto invernadero. Los principales son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y el ozono.

INCERTIDUMBRE

Todo dato científico lleva asociada una incertidumbre. Por tanto, las proyecciones climáticas establecidas por modelos siempre están asociadas a incertidumbres. Hay dos causas principales de incertidumbre sobre la magnitud del cambio climático en el futuro:
~ las retroalimentaciones climáticas (relacionadas con las nubes, la absorción de carbono, la absorción de calor por los océanos, el vapor de agua, el hielo marino, etc.);
~ las futuras emisiones humanas (relacionadas con la política climática, la tecnología, la política, las personas, etc.).

INSUMO EN UN MODELO

Datos introducidos en el modelo.

INTERACCIONES

Las capas de la Tierra (atmósfera, hidrosfera, etc.) intercambian continuamente materia y energía. Estos flujos ayudan a redistribuir la desigual energía solar entrante. También se producen interacciones entre los distintos medios terrestres (el deshielo de la capa de hielo de la Antártida repercute en el océano global y en las costas europeas, por ejemplo).

IPCC

El **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su siglas en inglés)**, creado en 1988, evalúa el conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus causas, impactos y estrategias de mitigación. Ha elaborado seis informes de evaluación multivolumen y publica informes especiales sobre temas como fenómenos extremos, océanos, criosfera y uso de la tierra.

El **IPCC** reúne a 195 países miembros de la ONU. Sus informes, redactados por cientos de científicos, incluyen resúmenes para los tomadores de decisiones, revisados y aprobados por unanimidad por los delegados estatales con el consentimiento de los autores científicos.

MALA ADAPTACIÓN

Soluciones que se implantan hoy por su eficiencia y que resultan ser menos o nada eficientes en el futuro.

MITIGACIÓN

Intervención humana encaminada a reducir el calentamiento global mediante la reducción de las emisiones de GEI o la mejora de los sumideros de estos gases.

MODELO

Representación simplificada de la realidad. Utilizar modelos tiene muchas ventajas, pero también tiene sus limitaciones, pues no pueden representar toda la complejidad de la realidad. Los modelos climáticos son analogías de la realidad para hacer predicciones y proyecciones. Estos modelos evolucionan gracias a la integración de nuevos parámetros y a la mejora de la computación y la potencia técnica, lo que se traduce en una mayor resolución y precisión. Hay distintos tipos de modelos: un “modelo analógico” es una representación simplificada de la realidad mediante objetos físicos, y un “modelo digital” es una representación simplificada de la realidad mediante datos matemáticos (la precisión y la resolución determinan la calidad del modelo).

MODELO DIGITAL

Representación simplificada de la realidad que utiliza las matemáticas y la informática.

MUESTREO

Reducción de información continua a un conjunto finito de valores.

PALEOCLIMA

Descripción del clima de épocas pasadas.

PARÁMETROS

Valores medibles utilizados para caracterizar un sistema (por ejemplo, para caracterizar el sistema atmosférico: nivel de CO₂ en ppm). Los climatólogos deben estudiar un conjunto de parámetros de forma simultánea.

PREDICCIÓN METEOROLÓGICA

Previsión del tiempo en una fecha determinada. Las proyecciones climáticas, por su parte, calculan las condiciones meteorológicas medias a escalas de tiempo mucho más largas (décadas, siglos, milenios) en una región determinada. Aun así, tanto las previsiones como las proyecciones utilizan modelos.

PROYECCIÓN

Es la simulación de un escenario determinado. Las proyecciones climáticas muestran la posible evolución futura de una cantidad o conjunto de cantidades, calculada mediante un modelo. Se basan en la física y se utilizan para cuantificar el cambio climático mundial y regional, y su impacto en fenómenos como los monzones.

PROYECCIÓN CLIMÁTICA

Simulación de un clima futuro basada en un escenario de hipótesis.

RESULTADO DE UN MODELO

Datos producidos por un modelo matemático al ejecutar una simulación.

RETROALIMENTACIÓN

Proceso por el cual una consecuencia puede modificar sus propias causas. La retroalimentación positiva amplifica la consecuencia, mientras que la retroalimentación climática negativa la debilita.

SIMULACIÓN

Simulación ejecutada en un modelo digital.

SIMULACIÓN CLIMÁTICA

Experimentación con un modelo digital.

SINERGIAS

La aplicación de soluciones (mitigación, adaptación) para hacer frente al efecto ICU también puede limitar el aumento de la temperatura a finales de siglo.

SOLUCIÓN DE REFRIGERACIÓN

Transformación de la ciudad basada en la naturaleza, la técnica o el comportamiento con el objetivo de reducir el efecto de isla de calor urbano (ICU).

TIEMPO METEOROLÓGICO

Es el estado de la atmósfera (incluyendo, entre otras variables, la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones) en un momento y lugar determinados.

TRAYECTORIAS DE CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVAS (RCP)

Las RCP o “trayectorias de concentración representativas” se han utilizado para evaluar distintos escenarios de emisiones de GEI. Sin embargo, a diferencia de los escenarios SSP, estas RCP no incorporan los cambios socioeconómicos. No obstante, existen similitudes entre ambos. Las RCP se utilizaron en informes anteriores del IPCC como el 5.º informe de evaluación.

TRAYECTORIA SOCIOECONÓMICA COMPARTIDA (SSP)

Escenario de los cambios socioeconómicos globales proyectados, que dependen de las decisiones de la sociedad. Estos escenarios abarcan todo tipo de proyecciones, desde las más optimistas (SSP1-1.9: reducción drástica de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero) hasta las más pesimistas (SSP5-8.5: mayor aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero). Estos escenarios se utilizan como datos de entrada para los modelos climáticos, que a su vez calculan el cambio climático correspondiente. Los SSP se utilizan en el último informe del IPCC (6.º informe de evaluación).

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

El desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Los ODS tienen diferentes objetivos en todos los sectores para apoyar el desarrollo sostenible.

VALIDACIÓN

Hecho de probar la precisión de un modelo.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado de una estrecha colaboración entre el equipo de la Oficina para la Educación Climática, el equipo de Météo France - CNRM y numerosos colaboradores del ámbito científico y pedagógico, especialmente los que participan en el proyecto Earth System Model 2025.

Los autores desean agradecer a:

Los expertos que apoyan a la OCE y que, mediante sus comentarios críticos y sus propuestas, contribuyeron al diseño de las actividades pedagógicas. En orden alfabético: **Anwar Bhai Rumjaun, Nada Caud, Cruz Garcia, Hazel Jeffery, Colin Jones, Valentin Maron, Cliona Murphy, Mariana Rocha, Roland Séférian, Jenny Schlüpmann, Sally Soria-Dengg y Robin Waldman.**

Los expertos que participaron en la elaboración de las actividades interactivas y los vídeos que acompañan a este manual didáctico. En orden alfabético: **Birgit Hassler, Fiona O'Connor, Sofia Palazzo, Joeri Rogelj y Roland Séférian.**

Las personas que autorizaron el uso de sus recursos didácticos en este manual: **Valentin Maron** (lección 2), **Amela Majdanac** (lección 5) y **Laure Siéfert** y sus alumnas Julia y **Alice** del Master DSAA del instituto de enseñanza secundaria Jacques Prévert, Boulogne Billancourt, Francia (lección 9).

Los profesores y los alumnos que probaron las actividades en sus clases. En orden alfabético: **Maxime Cauchois, Guillaume Chevallier, Zoé Dosière, Hadia El Gharbi, Sandrine Gayrard, Naceira Ghilaci, Olivier Girard, Mylene Gratien.**

La profesora **Imane Sellami**, que probó la animación multimedia con sus alumnos.

Los inspectores de educación que distribuyeron la convocatoria de proyectos a los docentes para poner a prueba el manual: **Christophe Escartin y Sophie Pons.**

Las siguientes organizaciones, que han autorizado el uso de contenidos de sus propias publicaciones. En orden alfabético: **CIVAM, Comisión Europea (Centro Común de Investigación), IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), Laboratorio EFTS de la Universidad de Toulouse, LMD, NASA, NOAA, Our World in Data, SimClimat y UNESCO.**

Los diseñadores gráficos que han contribuido a hacer funcionales y atractivos los recursos: **Dorothee Adam, Amandine Masson, Virginie Poilievre y Mareva Sacoun.**

Por último, la OCE desea dar las gracias a las siguientes organizaciones cuyo apoyo científico, operacional y financiero ha sido esencial para elaborar estas herramientas educativas. En orden alfabético:

Agencia Francesa de Desarrollo, asociación Météo et Climat, Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS), Fundación de Educación Ambiental (FEE), Fondation Ginkgo, Fondation Luciole, Fundación Prince Albert II de Mónaco, Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), Institut Pierre-Simon Laplace, Météo-France, Ministerio francés de Educación, Ministerio francés de Transición Ecológica, Siemens Stiftung, Unidades de apoyo técnico de los Grupos de Trabajo 1, 2 y 3 del IPCC, Universidad de la Sorbona y UNESCO.

DERECHOS DE IMAGEN

Página 5	Norman Kuring, NASA	Página 46	Decitre Sylvie, Exbrayat de la Grand-Croix Middle school, OCE
Página 10	Ghilaci Naceira (Lycée professionnel Renée Bonnet, Académie de Toulouse), OCE	Página 51	Amela Majdanac
Página 16	William O. Field	P. 53 to 57	Camille Risi, LMD-IPSL
P. 24 to 27	Bruce F. Molnia	Página 66	Google Earth
Página 29	Valentin Maron (EFTS laboratory)		Greenpeace
	Anton Savinov, Unsplash		Perlinkinso, Wikimedia commons
	Airam Datoon, Pexels		Terre-net Média
	Hexagons image, Pixabay	Página 67	Suvrajit, Unsplash
	Erik Witsoe, Unsplash		Dieter Staab, Pixabay
	Kurt Cotoaga, Unsplash		Franck Barske
	R Architecture, Unsplash		Eszter Miller, Pixabay
	Matteo Catanese, Unsplash		Eliza, Pixabay
Página 30	OCE	Página 68	Suvrajit S, Unsplash
Página 35	Photogravure Meisenbach Riffarth & Co. Leipzig, Wikipedia	Página 69	Dieter Staab, Pixabay
Página 36	Emma Haziza, Wikipedia	Página 71	Imane Sellami (Lycée français international André Malraux, OSUI, Maroc), OCE
Página 37	AIP Emilio Segrè Visual Archives, Gift of Bill Woodward, USNS Kane Collection, Wikipedia	Página 73	Mathieu Hirtzig & Benjamin Gibeaux, OCE
Página 38	Edward Alexander Newell Arber, Wikipedia	Página 78	DSAA (Diplôme supérieur d'arts appliqués design graphique, lycée Jacques Prévert, Boulogne-Billancourt), OCE
Página 39	William Shaw Warren, Wikipedia		
Página 44	Christophe Hendrickx, Wikipedia		

Le agradeceríamos que dedicara unos minutos a darnos su opinión acerca de este manual didáctico.

