

DEL CAMBIO CLIMÁTICO HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE UN FUTURO SOSTENIBLE

Jaime Carrascosa Alís, Universitat de València, jaime.carrascosa@uv.es

INTRODUCCIÓN

Actualmente estamos asistiendo a un verdadero cambio climático terrestre. Eso significa que a escala planetaria y para mucho tiempo, se modifican condiciones ambientales tales como la temperatura media del aire y su grado de humedad, la circulación del viento, los patrones de las precipitaciones o fenómenos extremos (como huracanes, sequías e inundaciones).

Durante la larga historia de la Tierra ya han ocurrido muchos cambios climáticos y en ocasiones de tal magnitud que se produjeron extinciones masivas de especies. Sin embargo, el actual tiene unas características que lo hacen diferente de todos los anteriores. La principal es su origen **antrópico**, es decir, somos los seres humanos los responsables. Se trata, además, de un gran cambio global ya en marcha y que constituye, muy posiblemente, el mayor problema al que se enfrenta la humanidad, dadas sus graves consecuencias presentes y futuras. Existe un consenso científico elevado acerca de que el cambio climático iniciado durará mucho tiempo, pero afortunadamente, disponemos ya de una abundante información sobre sus causas y sabemos qué hay que hacer para frenarlo y mitigar sus efectos. Además, tenemos los medios adecuados y todavía estamos a tiempo de hacerlo, aunque lo cierto es que no nos queda mucho y hoy urge, más que nunca, tomar las medidas necesarias para mitigar sus efectos y evitar que se desarrollen grandes cambios catastróficos e irreversibles, a escala planetaria.



¿Qué nos interesa conocer respecto del cambio climático?

Para tomar las decisiones más adecuadas con las que enfrentarnos a un problema y que estas sean apoyadas por la mayoría de la población, es fundamental conocer bien el problema. Este es también el principal objetivo de este tema y por eso, trataremos en primer lugar de analizar en qué consiste el cambio climático actual, cuáles son sus causas y qué consecuencias tiene, para a continuación proponer justificadamente estrategias adecuadas para enfrentarnos al mismo. Para ello, seguiremos el siguiente índice:

1. El clima terrestre como sistema autorregulado (3)
2. Los gases de efecto invernadero (11)
 - 2.1. Dióxido de carbono
 - 2.2. Metano
 - 2.3. Otros gases invernadero
3. Otros factores que inciden en el efecto invernadero (17)

4. ¿Qué ocurre y qué ocurrirá si no se toman las medidas adecuadas y a tiempo? (18)

- 4.1. Fusión del hielo continental y marino
- 4.2. Aumento de la acidificación del agua marina
- 4.3. Cambios en la intensidad, frecuencia, duración y distribución de extremos climáticos
- 4.4. Alteración de los ritmos vitales y pérdida de biodiversidad
- 4.5. Aumento de la probabilidad de grandes cambios catastróficos e irreversibles

5. ¿Qué podemos (y debemos) hacer? (38)

- 5.1. ¿Con qué otros graves problemas está relacionado el cambio climático?
- 5.2. ¿Qué tipo de medidas concretas es necesario tomar?
 - 5.2.1. Medidas científico-tecnológicas
 - 5.2.2. Medidas educativas
 - 5.2.3. Medidas políticas

Síntesis de los aspectos más importantes tratados hasta aquí (52)

Mapa Conceptual sobre el Cambio Climático (54)

Selección bibliográfica (57)

Cuestiones, ejercicios y problemas (57)

Anexo 1. Ideas alternativas relacionadas con el cambio climático. Cuestionario (65)

Anexo 2. Fusión del hielo continental y marino, y aumento del nivel del mar (69)

Anexo 3. Gráficas de la evolución de la concentración de algunos gases invernadero (77)

Anexo 4. Concepto de temperatura media global (80)

Anexo 5. Evolución de los glaciares del Pirineo español (82)

Anexo 6. Relación entre urbanismo y aumento del efecto invernadero (84)

Anexo 7. Emisión de gases invernadero asociada a la agricultura y ganadería (87)

Anexo 8. ¿Por qué no hacemos más cosas (y mejor) para frenar el cambio climático? (89)

Anexo 9. Energía nuclear y Cambio Climático (105)

Anexo 10. Información no reglada sobre cambio climático (110)

Esta obra, puede utilizarse por cualquier persona interesada, como lectura de divulgación científica sobre el problema del cambio climático antrópico, pero también como una unidad didáctica por el profesorado que imparta sostenibilidad o que quiera incorporar algunos de los contenidos aquí tratados a la enseñanza de su materia concreta.

Para favorecer un mejor aprovechamiento de los contenidos, se parte de la base de que todo aprendizaje es la respuesta a una cuestión. Por ello, su estructura se ajusta a una secuencia de actividades problematizadas con las que se van desarrollando los contenidos. Las actividades están en *cursiva* y conviene reflexionar primero sobre ellas antes de seguir leyendo, confrontando después lo que se haya pensado con la información que se suministra.

Al final, se incluyen una serie de anexos sobre distintos temas de interés relacionados con el cambio climático.

1. EL CLIMA TERRESTRE COMO SISTEMA AUTORREGULADO

El **tiempo** meteorológico viene dado por las propiedades de la troposfera¹ (temperatura, humedad, cobertura de nubes, viento, precipitaciones, etc.) en un lugar y momento dados. Por el contrario, el **clima** en una zona determinada puede definirse, de forma aproximada, como el promedio del tiempo meteorológico en esa zona a largo plazo (30 años o más), incluyendo las variaciones estacionales y los posibles extremos climáticos (huracanes, sequías, lluvias torrenciales...).



El **sistema climático** está formado por: atmósfera (capa gaseosa que envuelve a la superficie terrestre), suelo terrestre (orografía), hielo y nieve, mares y océanos, agua dulce (líquida), y toda la biosfera. Se trata de un sistema complejo y cambiante en el que cada componente (o subsistema) interactúa continuamente con todos los demás, aunque cada uno evoluciona en escalas temporales diferentes².

La atmósfera es el componente que caracteriza el clima, fundamentalmente por la temperatura del aire que contiene y por la cantidad de precipitaciones (con sus variaciones estacionales) y otros fenómenos meteorológicos que ocurren en la troposfera. Los distintos patrones de temperatura y precipitaciones de unas regiones a otras, conducen a los diferentes tipos de clima en el planeta (templado, seco, tropical, polar, etc.). Dichos patrones son producidos en gran parte por la forma de circular el aire sobre la superficie terrestre.

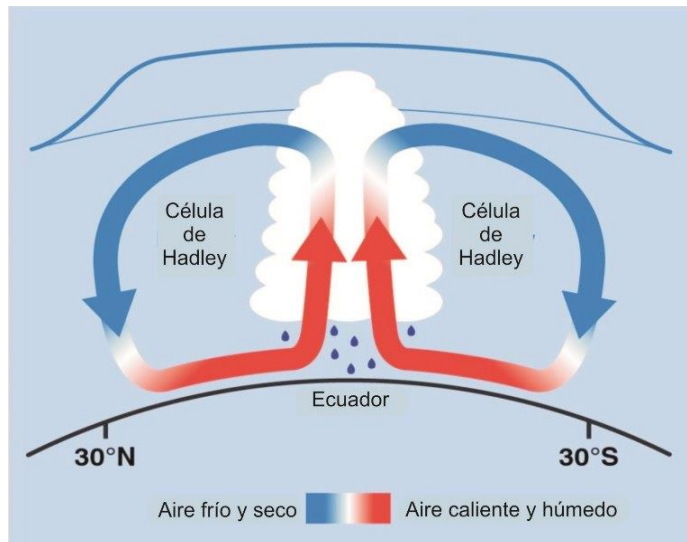
El clima terrestre viene determinado fundamentalmente por los siguientes factores:

Propiedades del aire y del agua: Cuando el agua de los océanos se calienta, parte de ella se evapora y asciende. Ello se da especialmente cerca del ecuador, formándose zonas de baja presión en la superficie y creándose corrientes de masas de aire cálido ascendente. Al subir, este aire caliente y húmedo se enfría liberando humedad y también energía (al condensar el vapor de agua), con lo que dicho aire se vuelve más frío y seco (y, por tanto, más denso), cayendo y creando una zona de alta presión. Cuando esas masas de aire fluyen a través de la superficie de la Tierra, captan humedad y energía de nuevo, repitiéndose así el proceso. Se llaman “células de convección” y hacen circular aire, calor y humedad, de unas zonas a otras del globo.

¹ Capa más baja de la atmósfera. Aproximadamente 17 km de espesor en el ecuador y unos 7 km en los polos. Es donde tienen lugar los fenómenos meteorológicos y donde se encuentra la mayor parte de la masa de aire (alrededor del 75%) y casi todo el vapor de agua.

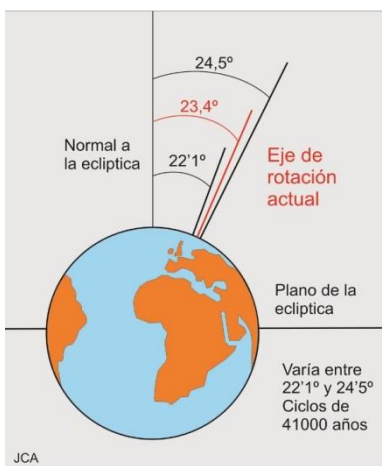
² Más información en Viñas (2022), pág. 96 (ved en referencias bibliográficas, pág. 46 de esta unidad).

En la figura siguiente se ha representado de forma esquemática una de tales células, conocida como célula de Hadley

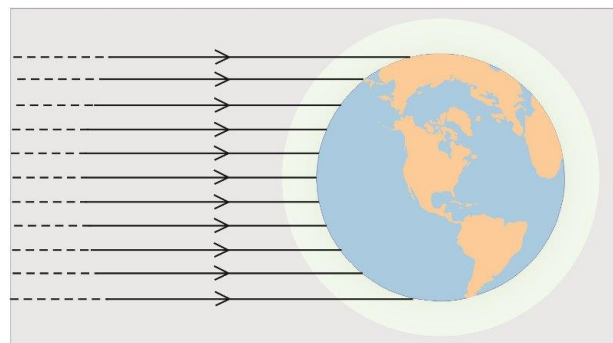


Fuente original: NOAA

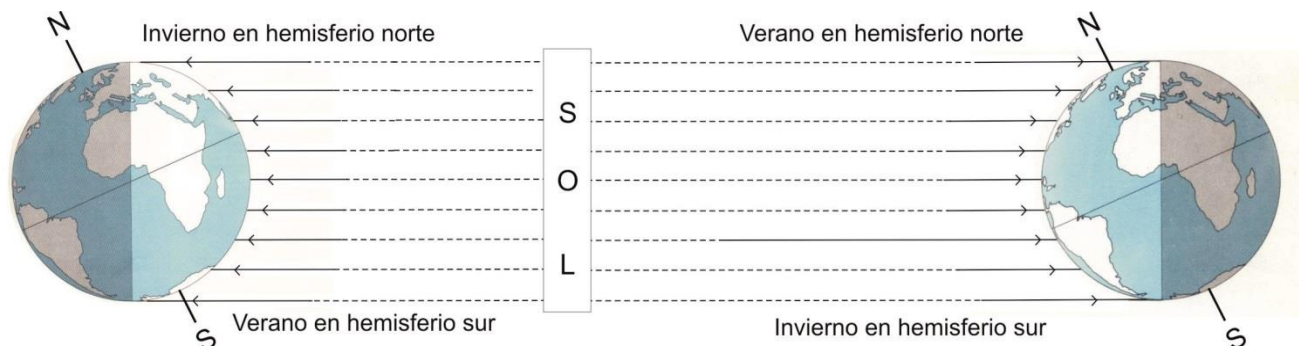
Radiación solar que llega a la Tierra: Suministra energía al planeta en su conjunto. Depende de diversos factores astronómicos como, por ejemplo, la mayor o menor inclinación del eje de rotación de la Tierra, la excentricidad de la órbita terrestre y, por supuesto, la cantidad de radiación que sale del Sol hacia la Tierra. Todos estos factores varían periódicamente.



Desigual calentamiento de la superficie terrestre: Mucho mayor en la zona del ecuador, donde los rayos solares inciden más perpendicularmente que en las zonas polares, a las que estos llegan mucho más inclinados y, por tanto, más debilitados al tener que recorrer mas distancia de atmósfera, tal y como se muestra en el esquema de la derecha (no a escala).



Inclinación del eje de rotación terrestre: Lo cual crea estaciones de signo opuesto en ambos hemisferios. En efecto, el eje de rotación de la Tierra, está inclinado algo más de 23° respecto del plano de su órbita. Ello hace que en el hemisferio norte sea verano cuando este está inclinado hacia el Sol (ved figura de la derecha), mientras que cuando el hemisferio norte se inclina en dirección opuesta al Sol, en él es invierno (ved figura de la izquierda).



Giro de la Tierra sobre su eje de oeste a este: Evita que las corrientes de aire vayan derechas al N y al S desde el ecuador, haciendo que se desvíen principalmente hacia el E en el hemisferio norte y hacia el O en el hemisferio sur.

Por otro lado, la circulación atmosférica influye también en la **circulación oceánica** mediante la acción de los vientos sobre las aguas de la superficie marina y los cambios de temperatura y salinidad de dichas aguas ocasionados por las precipitaciones y la evaporación. Las **corrientes oceánicas** contribuyen a redistribuir la energía recibida del Sol, influyendo en el clima y en la vegetación (especialmente cerca de la costa). Así, por ejemplo, sin la corriente del Golfo (que transporta unas 25 veces más agua que todos los ríos del mundo en su conjunto), el clima de Europa noroccidental sería subártico. Estas corrientes ayudan también a distribuir nutrientes y oxígeno disuelto, fundamentales ambos para la vida acuática.

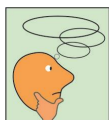
También influyen en el clima, la **composición de la atmósfera** (porcentaje de los distintos gases que forman el aire, sea cual sea su origen) y la presencia en ella de **nubes** y de **aerosoles**³, así como la existencia y distribución en la superficie terrestre de **cadena montañas, ríos y lagos, masas boscosas, selvas, grandes desiertos, hielo y nieve**.

Así pues, el clima depende de factores muy diversos, los cuales cambian a lo largo de periodos más o menos largos de tiempo, lo que hace que, consecuentemente, el clima se modifique, como de hecho ha ocurrido otras veces en la historia de la Tierra (y seguirá ocurriendo).

Hace algo más de 30 millones de años que se formó el hielo que cubre el continente antártico y menos de 3 millones de años que se formó el casquete de hielo ártico marino en el polo norte. Este último acontecimiento marcó el comienzo de la era cuaternaria que, desde entonces, se caracterizó por una sucesión de periodos glaciales (fríos) de unos 80000 años de duración aproximadamente, separados por periodos interglaciales (cálidos) de menor duración. No se sabe exactamente cómo comienzan esos periodos glaciales, pero diversos estudios indican que la cantidad de sol durante el verano es crucial para los continentes del hemisferio norte, ya que si desciende por debajo de un valor crítico, la nieve del invierno anterior no se derrite y los mantos de hielo comienzan a crecer en

³ Partículas muy pequeñas (microscópicas) de líquidos o sólidos que se hallan en suspensión en un medio gaseoso (en este caso el aire). Su origen puede ser natural (cenizas volcánicas, sal marina, polvo, etc.) o artificial (incendios, humos, construcción, etc.).

la medida que se acumula cada vez más nieve. El ritmo natural de aparición de los periodos glaciales está vinculado, entre otras posibles causas, a la variación periódica de varios factores astronómicos, como la excentricidad de la órbita que describe la Tierra o la oblicuidad y dirección del eje terrestre. La última glaciación acabó hace aproximadamente unos 12000 años. Desde entonces, nuestro planeta disfruta de un clima relativamente estable (con sus diferencias regionales), que sin duda favoreció el rápido desarrollo de la civilización hasta la actualidad. De hecho, nuestra especie (homo sapiens) surgió hace unos 300.000 años, por tanto, durante miles de años de glaciación había ya seres humanos como los actuales, pero los avances, en ese contexto climático, fueron difíciles y lentos.



¿Por qué la temperatura media terrestre se ha mantenido durante mucho tiempo (desde que finalizó la última glaciación, hace unos 12000 años) constante y en torno (con pequeñas fluctuaciones) a los 14 °C?

Las radiaciones solares suministran energía al sistema climático de forma continua, pero dicha energía no se va acumulando debido a que hay un equilibrio entre la energía absorbida por la Tierra (toda la superficie del planeta y la atmósfera) y la energía emitida por ella al espacio, de forma que la energía absorbida ha de ser igual a la emitida. El clima mundial está determinado por ese equilibrio. El valor de la temperatura media de la Tierra es siempre aquel que permite al planeta devolver al espacio la misma energía que recibe, de forma que si, por alguna razón, aumentase la energía absorbida, la temperatura media del planeta se elevaría hasta alcanzar un valor adecuado para restablecer el equilibrio (y viceversa).

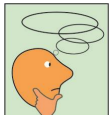
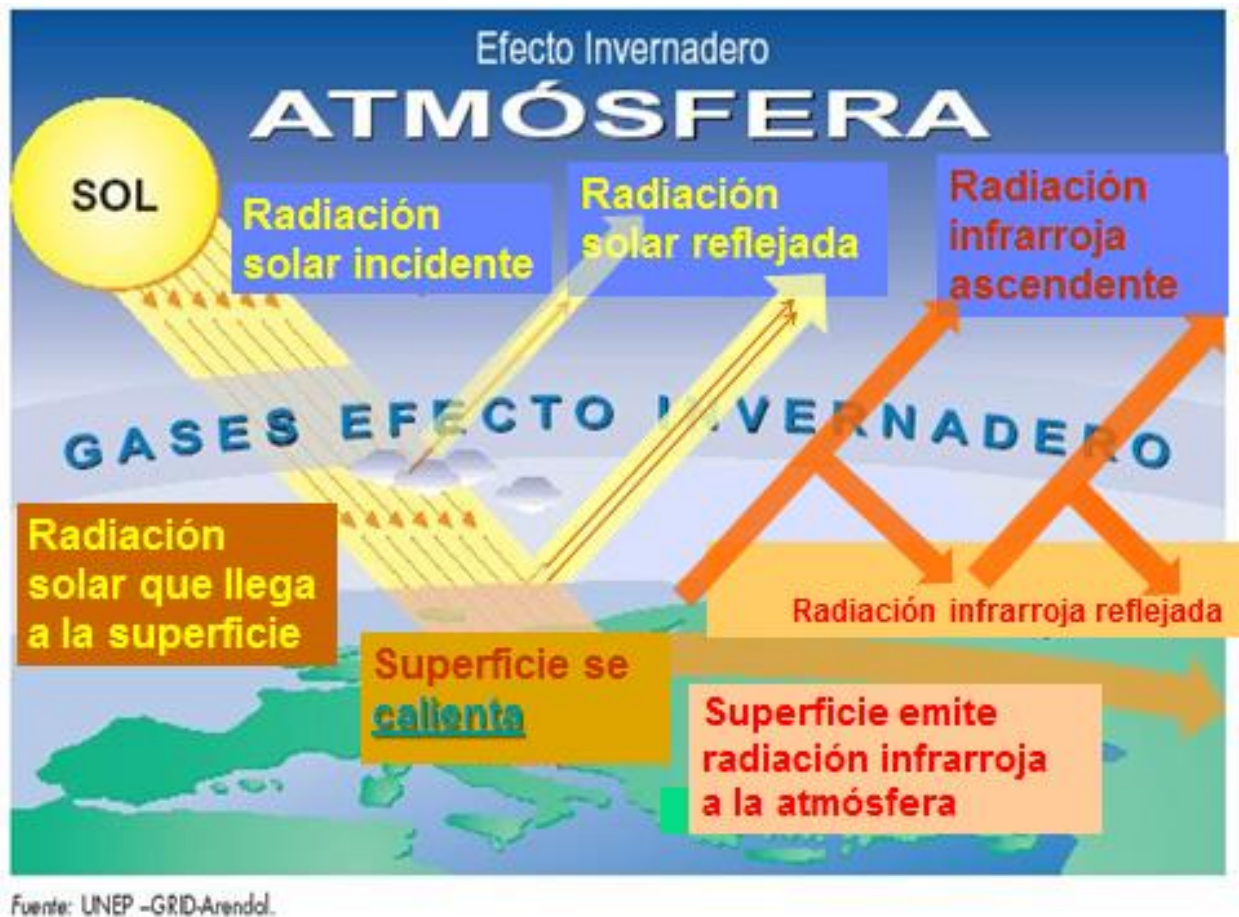
Sin embargo, cuando se realizan cálculos teóricos sobre cuál debería ser la temperatura media terrestre, considerando factores como (entre otros) la distancia media entre la Tierra y el Sol, pero ignorando el papel de la atmósfera, se obtiene un valor en torno a -18 °C. Obviamente, si esa fuese la temperatura media de nuestro planeta, la vida (tal y como la conocemos hoy) no sería posible. Cabe plantearse, pues, *qué es lo que tiene de particular la atmósfera, para que la temperatura media real del planeta sea de unos 14 °C en lugar de esos -18 °C*.

La atmósfera es casi transparente a la radiación solar que llega a la Tierra (que es lo que nos proporciona energía), reteniendo menos del 20 % de esta. Aproximadamente el 70 % de la radiación solar entrante es «absorbida» por la Tierra en su conjunto (mares, continentes, troposfera), y solo el 30% restante se refleja al espacio (efecto albedo). Consecuentemente la superficie terrestre se calienta. Además, la Tierra emite energía hacia el espacio, principalmente mediante radiación infrarroja. Ahora bien, formando parte de la atmósfera terrestre hay vapor de agua y gases como el dióxido de carbono, metano, etc., que tienen la propiedad de absorber una gran parte (alrededor del 90%) de dicha radiación infrarroja y reflejarla en todas direcciones (incluyendo hacia el suelo de nuevo), haciendo que la temperatura media en la superficie terrestre sea más alta de lo que lo sería de no existir este efecto.

El resultado es similar al que se consigue dentro de los invernaderos y por eso se habla de **gases invernadero** y de **efecto invernadero**. Así pues, los gases invernadero son los verdaderos responsables de que la Tierra tenga una temperatura que la hace habitable para las personas y muchos otros seres vivos.

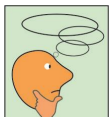
Insistimos en que los gases invernadero actúan como un manto para la radiación que emite la Tierra hacia el espacio (infrarroja), pero dejan pasar fácilmente la mayor parte de la radiación solar (luz). Ambas son radiaciones electromagnéticas pero las radiaciones infrarrojas tienen una mayor longitud de onda que las restantes que integran la luz solar (desde la luz roja hasta la ultravioleta). Es esa mayor longitud de onda (o, lo que es equivalente, menor frecuencia) de las radiaciones infrarrojas lo que determina el que sean menos energéticas y puedan ser absorbidas y re-emitidas por las moléculas de los gases invernadero sin llegar a romper o ionizar dichas moléculas.

A continuación se muestra un esquema (muy simplificado) sobre el efecto invernadero:



Entonces, si el efecto invernadero es bueno... ¿de qué nos preocupamos?

En realidad, el verdadero problema no es el efecto invernadero sino el **aumento** del efecto invernadero y la **rapidez** con que se está produciendo, debido a los gases invernadero que se vienen emitiendo a la atmósfera de forma continuada y en cantidades crecientes desde el inicio de la era industrial (a mediados del siglo XVIII). A continuación, trataremos de profundizar en este aspecto.

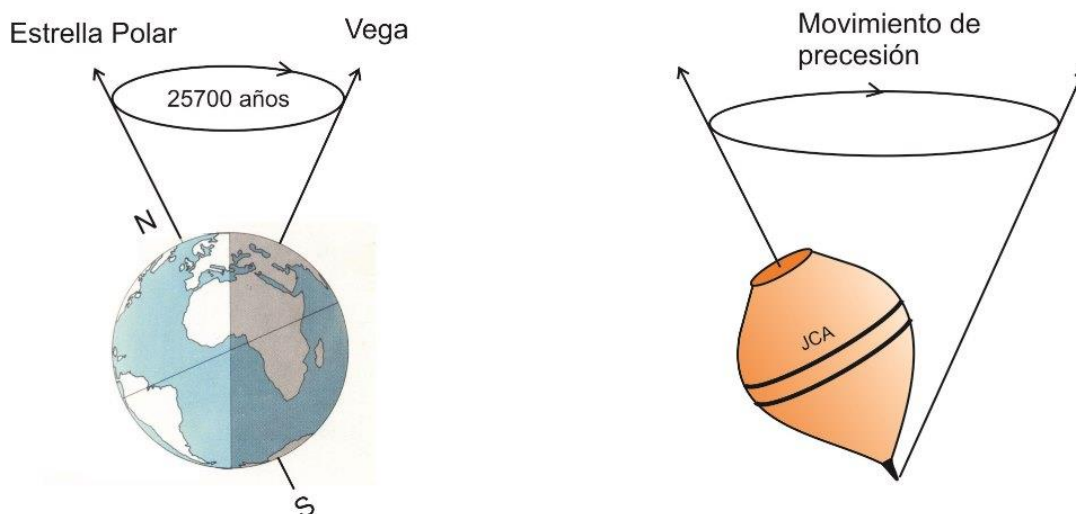


Anteriormente hemos visto que la temperatura media del planeta se mantiene, en principio, constante debido a la existencia de un equilibrio entre la energía que entra y la que sale. ¿De qué formas ese equilibrio energético puede verse alterado?

Fundamentalmente mediante los siguientes factores o **forzamientos**:

- ✓ **Variaciones periódicas en la radiación solar incidente.** Principalmente debidas a ligeras desviaciones en el eje de rotación de la Tierra, pequeños cambios en la excentricidad de la órbita terrestre y fluctuaciones en la emisión de energía por parte del Sol. Anteriormente ya se han comentado algunos de estos factores astronómicos. Añadiremos ahora el movimiento de precesión (similar al de una peonza) que experimenta el eje terrestre cambiando su orientación, cuyo ciclo dura alrededor de 25700 años. Actualmente, como se

puede apreciar en la figura siguiente, está orientado hacia la estrella polar, pero aproximadamente dentro de unos 13000 años apuntará hacia la estrella Vega (de la constelación de Lira).



- ✓ **Modificando la fracción de radiación solar reflejada por la Tierra.** Existe un índice denominado **albedo**, que mide la capacidad de una superficie determinada para reflejar la radiación solar que le llega. Su valor es muy grande en las superficies blancas o claras y pequeño en las oscuras. El albedo puede modificarse fundamentalmente mediante cambios en las nubes o en las superficies cubiertas de vegetación, hielo o nieve. También influyen en él, los aerosoles o pequeñas partículas en suspensión (como polvo, hollín o sales) presentes en la atmósfera.
- ✓ **Variando las concentraciones de los gases invernadero** presentes en la atmósfera, los cuales actúan como un manto parcial para las radiaciones de onda larga (infrarrojas) emitidas hacia el espacio desde toda la superficie de la Tierra y desde la atmósfera.

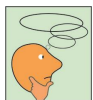
Todos los forzamientos anteriores ya han repercutido muchas veces en los distintos cambios climáticos ocurridos anteriormente. Si dichos forzamientos hacen que el planeta absorba más energía o bien emita menos hacia el espacio exterior, el equilibrio energético se ve alterado y para restablecerlo la temperatura media del planeta aumenta (y viceversa), de modo que a cada estado de equilibrio le corresponde un valor dado de la temperatura media global en la superficie terrestre.

Aunque los seres humanos no podemos influir (en principio⁴) en los cambios astronómicos que varían periódicamente de forma natural, ni en otros de naturaleza geológica (que también afectan al clima) como la tectónica de placas o las erupciones volcánicas, y que son capaces de alterar el balance de energía al que nos referimos, sí podemos incidir en los dos restantes factores (y, de hecho, lo estamos haciendo). En efecto: El polvo que se produce en canteras, minas y carreteras; contaminantes del aire; cenizas de grandes incendios; humos industriales; deforestación; pérdida de mantos de nieve, fusión del hielo continental y marino, etc., son formas de cambiar el albedo, mientras que el consumo creciente de combustibles fósiles (derivados del petróleo, gas natural y carbón) es la causa

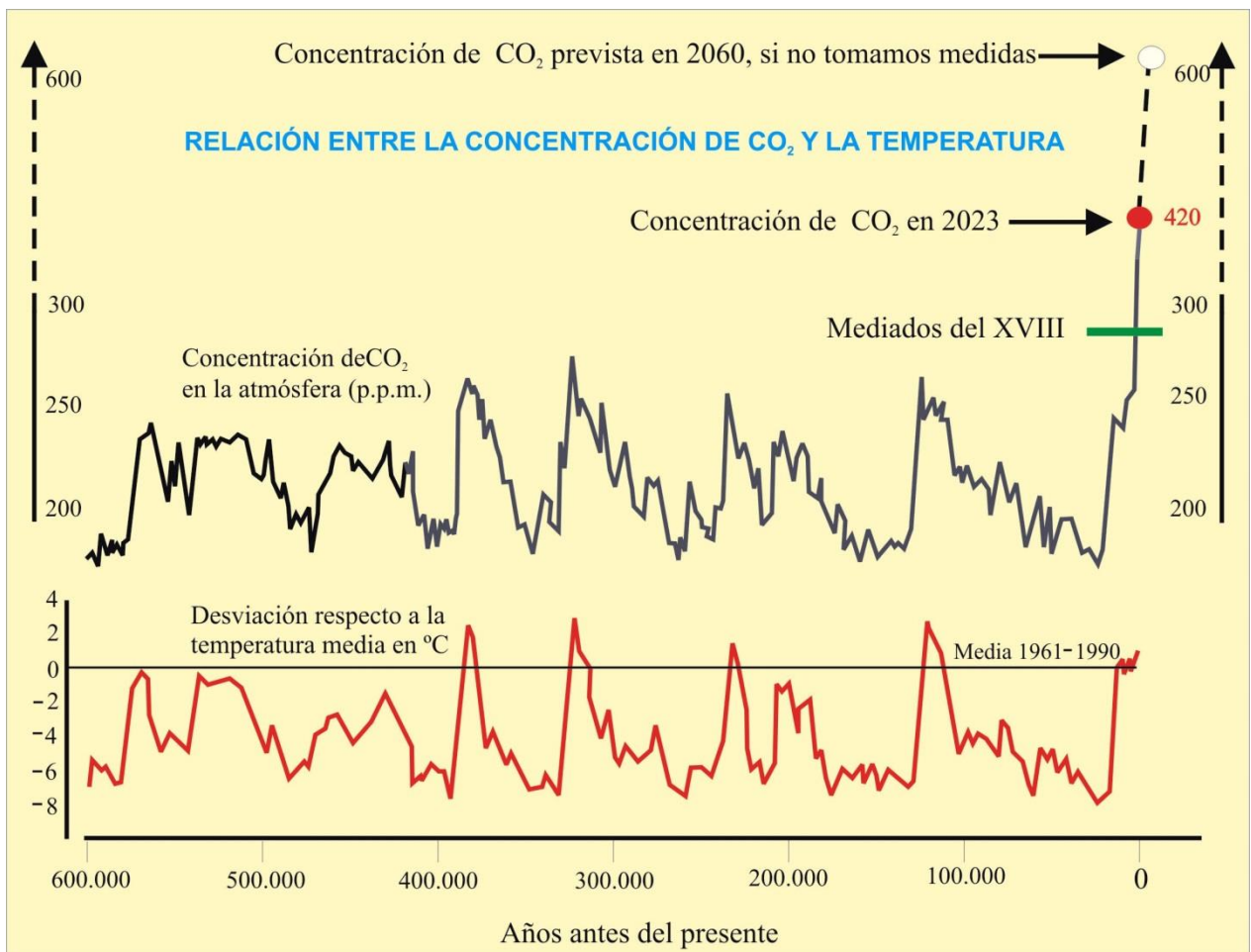
⁴ De acuerdo con algunos estudios científicos, la redistribución de masas producida por la fusión de enormes cantidades de hielo en los polos (a causa del aumento del efecto invernadero) está contribuyendo a que varíe la posición del centro de gravedad del planeta y, en consecuencia, alterando la inclinación del eje terrestre. Ved, ejemplo en: <https://doi.org/10.1029/2020GL092114>. A dicha redistribución de masas, también está contribuyendo el enorme y creciente aumento en la extracción de agua subterránea por parte de los seres humanos, para diversos usos.

principal del aumento continuado en la concentración de CO_2 en la atmósfera (el gas que más contribuye al **aumento** del efecto invernadero).

En cuanto a los gases invernadero, conviene destacar que, gracias a la extracción de muestras de hielo profundo de la Antártida (analizando las burbujas de aire atrapadas), disponemos de datos científicos precisos sobre la evolución conjunta del clima terrestre y del efecto invernadero, y sabemos que los cambios en la concentración de CO_2 y las variaciones en la temperatura media de la Tierra están estrechamente correlacionados. En la figura siguiente, la gráfica de arriba representa las concentraciones de CO_2 atmosférico en partes por millón (ppm)⁵ desde hace 600000 años hasta el presente (0). La de abajo muestra la desviación de la temperatura media global del planeta de la temperatura media global del periodo 1961-1990 (que se toma como valor 0). Los mínimos corresponden a glaciaciones y los máximos a periodos de calentamiento.

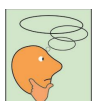


Comparando las dos gráficas de la figura siguiente ¿qué conclusiones se pueden obtener?



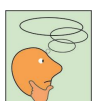
⁵ En el caso de un gas invernadero (como el CO_2), su concentración en la atmósfera medida en ppm indica los litros que hay de ese gas por cada millón de litros de aire. También se puede interpretar como el número de moléculas de ese gas que hay por cada millón de moléculas de la mezcla de gases que constituyen el aire seco (incluido el propio gas a que nos refiramos).

- Es evidente que ambas gráficas encajan la una en la otra. No sabemos exactamente quién va primero, pero lo que parece claro es que, desde hace más de medio millón de años, los cambios en la temperatura media de la Tierra y en la concentración de CO₂ van juntos.
- Parece que la Tierra oscila entre dos estados (glacial, de unos 80 000 años de duración e interglacial, de entre 10 000 y 20 000 años) que se suceden periódicamente. El último periodo glacial tuvo su apogeo hace unos 20 000 años y terminó hace unos 12 000 años (aproximadamente). Desde entonces disfrutamos de un clima relativamente estable y benigno, que permitió el rápido desarrollo de la agricultura y de la civilización en general, hasta los niveles actuales. Todo ese periodo recibe el nombre de “Holoceno”.
- Durante los últimos 600 000 años, la concentración de CO₂ en la atmósfera nunca superó el valor de 300 ppm⁶. Esa concentración oscilaba aproximadamente entre las 280 ppm en los periodos interglaciales más cálidos y las 180 ppm en los periodos glaciales más fríos.
- Durante el último período interglacial, hace unos 125 000 años, la temperatura no llegó a superar los 4 °C de aumento respecto al nivel 0 (y sin embargo, el nivel medio del mar estaba entre 5 y 10 metros por encima del actual y las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida se hallaban en gran parte fundidas).
- También puede verse que, a mediados del siglo XVIII la concentración de CO₂ era de unas 280 ppm, pero que, desde entonces, ha experimentado un brusco y considerable aumento, hasta situarse en las 420 ppm en 2023, según datos obtenidos de la World Meteorological Organization WMO en su informe de octubre de 2024.



¿Qué es lo que ha pasado en los últimos 270 años para que se produzca un aumento tan grande y tan rápido en la concentración de CO₂ en la atmósfera?

Sin duda, el hecho tiene que ver con la revolución industrial, primero con la máquina de vapor y luego con el motor de explosión. El desarrollo de ambos ingenios con sus aplicaciones tecnológicas correspondientes en el transporte (barco, tren, aviones, etc.) y en la industria, ha supuesto también la utilización de ingentes cantidades de combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo y gas natural) utilizados como fuentes de energía, con la consecuente emisión a la atmósfera de miles de millones de toneladas de CO₂.



Algunas personas piensan todavía que se está sobrevalorando lo que el ser humano es capaz de hacer al planeta y que los cambios que observamos en el clima ocurren de forma natural. Buscad datos pertinentes y después argumentad a favor o en contra de esa idea.

Comparada con nosotros, la Tierra es inmensamente grande, pero hay que tener presente que algo parecido ocurre si comparamos el tamaño del planeta con el de la capa de aire que envuelve su superficie. Para hacernos una idea podemos pensar que si la Tierra se fuese reduciendo hasta tener el tamaño de una manzana, la atmósfera⁷ no sería mucho más gruesa que su piel. A pesar de ello, se trata de un componente fundamental del sistema climático. De hecho, como ya se indicó al comienzo, la atmósfera es lo que caracteriza al clima, fundamentalmente por la temperatura y humedad del aire, los patrones de precipitaciones y la forma de circular el aire. Por otra parte, la atmósfera también hace que pueda existir agua

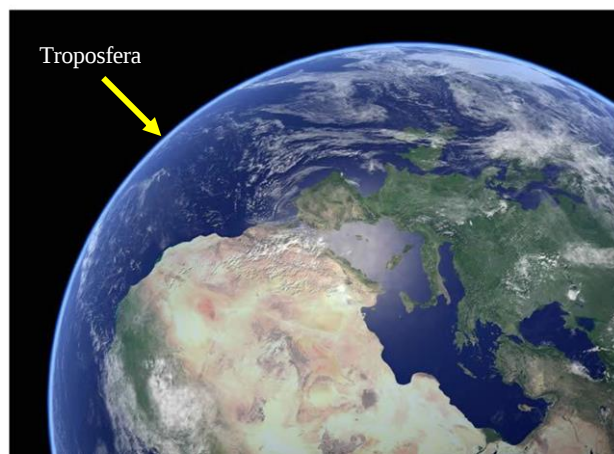
⁶ Esta conclusión, de acuerdo con el V informe del Panel Intergubernamental para el Estudio del Cambio Climático (IPCC), publicado en 2014, se extiende ahora hasta 800 000 años antes del presente.

⁷ En realidad, nos referimos solo a la parte más densa de la atmósfera, en la que se encuentra casi todo el aire.

líquida en la superficie del planeta (debido a la presión ejercida por el aire), y mantiene una temperatura aceptable (debido a la presencia en el aire de gases invernadero).

Los seres humanos sí podemos cambiar la composición de la atmósfera (ya lo hemos hecho y continuamos haciéndolo cada vez en mayor medida). Un cambio de especial importancia es el rápido y continuado aumento en la concentración de gases invernadero, directamente relacionado con la elevación de la temperatura media global de la superficie terrestre (atmósfera y océanos).

La conclusión anterior está avalada por muchos años de serios estudios científicos. Entre los expertos en cambio climático, no hay ninguna duda de que desde el comienzo de la era industrial (en la segunda mitad del siglo XVIII), el efecto de la actividad humana sobre el clima ha sido provocar un calentamiento neto, debido al incremento del efecto invernadero, con un impacto superior al de conocidos procesos naturales como erupciones volcánicas o cambios astronómicos. Este hecho ha contribuido, sin duda, a proponer el término **Antropoceno**⁸ (anthropos es un vocablo griego que significa ser humano), para designar el final del Holoceno y el comienzo de una nueva era geológica marcada por el impacto global que muchas actividades humanas han tenido y están teniendo sobre el planeta en su conjunto.



2. LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO



¿Qué gases de efecto invernadero conocéis? ¿Cuál de todos ellos pensáis que contribuye más al efecto invernadero?

El aire es una mezcla de diferentes gases. En la troposfera su composición media es de un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y el 1% restante está formado por otros gases. Entre estos otros gases, se encuentran los llamados gases de efecto invernadero.

Los principales gases invernadero son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de dinitrógeno (N_2O) y ciertos derivados halogenados como clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

El vapor de agua es, con gran diferencia, el gas invernadero más importante de todos, y esto se debe tanto por su mayor abundancia en la atmósfera como por poseer una banda de absorción de la radiación infrarroja especialmente ancha. Él solo, es responsable de más de la mitad del efecto invernadero total. El segundo en importancia es el CO_2 , seguido por el CH_4 . Los tres son componentes naturales de la atmósfera, pero también pueden ser producidos (junto con otros, como los derivados halogenados ya mencionados) por determinadas actividades debidas al ser humano.

⁸ El término Antropoceno fue acuñado en el año 2000 por el holandés Paul Crutzen (premio nobel de química) por analogía con la palabra Holoceno.

2.1. Dióxido de carbono

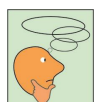
Es el gas que más contribuye al aumento del efecto invernadero. Solamente él, de acuerdo con los datos de la Organización Meteorológica Mundial, es responsable de más de la mitad (aproximadamente del 64 %) de dicho aumento, desde el inicio de la era industrial (a mediados del siglo XVIII) hasta la actualidad.

Las emisiones de CO₂ seguirán causando calentamiento a largo plazo debido a su larga vida en la atmósfera. Mientras que aproximadamente el 50% del CO₂ atmosférico desaparece al cabo de un siglo, una parte sustancial del mismo (entre un 15% y un 40%) permanece en la atmósfera hasta 2000 años. La larga vida atmosférica del CO₂, combinada con la inercia térmica de los océanos, que hace que el calor atrapado sea liberado lentamente durante muchos siglos, explica que incluso si las emisiones de CO₂ cesaran hoy totalmente, la temperatura media global terrestre necesitaría más de mil años para reducirse un 80 % de la disminución prevista. Es por estos motivos, por lo que sabemos que el calentamiento global va a continuar durante muchos años. Por eso, tanto la disminución apropiada de emisiones de CO₂ como la captura en la mayor medida posible del ya emitido, son ambas dos acciones necesarias que, aunque no van pueden parar el calentamiento, sí pueden frenarlo y disminuirlo, evitando así que se produzcan efectos catastróficos permanentes a escala humana.

El potencial de calentamiento global⁹ del CO₂, se define como 1 y su forzamiento radiativo¹⁰ (a fecha de 2023) es de 2'29 W/m² (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>). La tasa de aumento reciente es drástica y sin precedentes ya que los incrementos de CO₂ en la atmósfera desde hace al menos 600 000 años, nunca sobrepasaron las 30 ppm en mil años mientras que ahora su concentración se ha elevado en más de 100 ppm en tan solo 64 años (desde 1960 a 2024).

Según la Organización Meteorológica Mundial, aproximadamente el 48% del CO₂ emitido en la actualidad a raíz de las actividades humanas permanece en la atmósfera, mientras que océanos y ecosistemas terrestres absorben la otra mitad (se estima que el mar absorbe, aproximadamente, un 31% del CO₂ emitido a la atmósfera¹¹). En términos de temperatura, el paso de la concentración preindustrial de CO₂ (unas 280 ppm) a las 420 ppm de 2023, ha ido acompañado de un aumento en la temperatura media del planeta del orden de 1'17 °C.

El mar tiene un efecto neto de sumidero del CO₂ atmosférico el cual es muy soluble en agua. La mayor parte de este gas reacciona con el agua formando ácido carbónico (H₂CO₃) que, a su vez, se disocia produciendo iones bicarbonato (HCO₃⁻) y carbonato (CO₃²⁻). Casi todo el carbono procedente del CO₂ del aire se halla en estos iones. La pequeña fracción de CO₂ gaseoso que permanece como tal disuelta en la superficie marina, juega un papel fundamental en el intercambio de este gas con el aire (que depende de la temperatura del agua y la concentración de CO₂).



¿Mediante qué acciones, directas o indirectas, hacemos aumentar los seres humanos la concentración de CO₂ en la atmósfera?

⁹ Efecto de calentamiento a lo largo de un periodo de tiempo (usualmente 100 años) que produce hoy la liberación instantánea de 1 kg de un gas invernadero, en comparación con el causado por el CO₂.

¹⁰ Cambio neto en el equilibrio energético del sistema Tierra-atmósfera debido a una perturbación impuesta. Se refiere al valor promedio correspondiente a un periodo de tiempo determinado (habitualmente entre el año 1750 y nuestros días). Un valor positivo indica un aumento añadido en la energía de dicho sistema.

¹¹ <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/los-oceanos-absorben-el-31-del-co2-generado-por-el-hombre>

Una primera fuente de CO₂ es la quema de combustibles fósiles (derivados del petróleo, gas natural y carbón), que causa alrededor del 75 % de las emisiones antrópicas de CO₂. Dichos combustibles siguen suministrando en torno al 80% de la energía utilizada en todo el planeta en sectores como la construcción, industria, climatización de edificios y transporte (y la demanda sigue aumentando).

También se forma CO₂ en la fabricación de cemento. Cuando la piedra caliza (carbonato de calcio) se calienta para producir cal (óxido de calcio), que es un componente del cemento, se libera CO₂. En este proceso se emite a la atmósfera alrededor del 4% del CO₂ antrópico. El resto de emisiones antrópicas se debe a cambios en el uso del suelo, como, por ejemplo, destrucción de bosques para urbanizar, etc.

A título de ejemplo: En la tabla siguiente se muestran las emisiones globales de CO₂ (en millones de toneladas), originadas por el uso de energía proveniente de combustibles fósiles, así como las producidas en la fabricación de cemento, correspondientes a varias partes del mundo en distintos años (datos obtenidos en enero de 2025 de Global Carbon Project¹²).

Emisiones globales de CO₂ (en millones de toneladas)

Región o país	1990	2000	2010	2015	2020	2023
Unión Europea	3870	3600	3424	3095	2627	2511
Estados Unidos	5121	6010	5680	5377	4715	4911
China	2485	3649	8621	9864	10906	11903
África	658	931	1217	1333	1356	1419
MUNDIAL	22729	25511	33356	34405	35127	37792

Como puede verse, la Unión Europea desde 1990 hasta 2023 ha ido disminuyendo sus emisiones, al contrario que China. A nivel mundial, no obstante, estas emisiones no han parado de crecer y en 2023 superaron en un 66 % a las de 1990. En el año 2023, la suma de emisiones de China y Estados Unidos supuso más del 44 % de las emisiones totales. Para contemplar las diferencias de población, resulta muy útil analizar las emisiones de CO₂ anuales por habitante, en cada uno de los países o regiones. En la tabla que se da a continuación, se muestran estas emisiones en toneladas (también según datos obtenidos en 2025 de Global Carbon Project):

Emisiones de CO₂ por habitante y año (en toneladas)

Región o país	1990	2000	2010	2015	2020	2023
Unión Europea	9'2	8'4	7'8	7'0	5'9	5'6
Estados Unidos	21'0	21'0	18'0	17'0	14'0	14'0
China	2'2	2'9	6'4	7'1	7'7	8'3
África	1'0	1'1	1'2	1'1	1'0	1'0
Mundial	4'3	4'1	4'8	4'8	4'5	4'7

¹² <https://globalcarbonatlas.org/emissions/carbon-emissions/>

Analizando los datos anteriores, se observa que, en cuanto a emisiones de CO₂, existen grandes diferencias de unos habitantes a otros (por ejemplo, africanos y estadounidenses) y cómo a partir de 2015 China sobrepasó a la Unión Europea, mientras que las emisiones mundiales por habitante y año no disminuyen, sino que aumentan de 4'3 toneladas en 1990 a 4'7 toneladas en 2023, a pesar de que la población mundial desde 1990 a 2023 experimentó un incremento en torno a 2760 millones de habitantes. Es decir: el consumo de energía asociada a combustibles fósiles crece tanto que compensa con creces ese gran aumento de población.

La concentración de CO₂ también aumenta debido a la deforestación por talas masivas e incendios. En ambos casos se impide que toda la cubierta vegetal perdida siga secuestrando CO₂ de la atmósfera al realizar la fotosíntesis, pero además, en los incendios se vierte a la atmósfera rápidamente todo el CO₂ que había sido previamente capturado a lo largo de muchos años. Todo ello contribuye a aumentar la concentración atmosférica de este gas invernadero.

Unos incendios son provocados y otros fortuitos, pero todos ellos están favorecidos por una temperatura cada vez más alta y largos periodos de sequía (lo que reseca la vegetación). Por ello, los grandes incendios son cada vez más frecuentes y sus consecuencias más devastadoras. Como ocurrió en Australia entre 2019 y 2020, con 120.000 km² de superficie quemada (equivalente a más de 30 veces la de la isla de Mallorca) y alrededor de 900.000 toneladas de humo vertidas a la atmósfera. También en España, donde solo en 2022 se produjeron 54 grandes fuegos que arrasaron más de 2500 km². Más recientemente, en enero de 2025, grandes incendios han afectado Los Ángeles y sus alrededores, en California (estados Unidos), arrasando más de 160 km² en zonas pobladas, provocando la evacuación de más de 150.000 personas. Las siguientes imágenes se refieren a Australia (izquierda) y Los Ángeles (derecha).

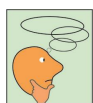


Estos grandes incendios aumentan notablemente la concentración de CO₂ y provocan gravísimos daños a la flora, fauna y suelo, además de víctimas mortales y cuantiosas pérdidas económicas.

A mediados de la tercera década del siglo XXI, aproximadamente el 60% del área amazónica es demasiado húmeda para que se puedan propagar incendios, sin embargo, el cambio climático está favoreciendo la reducción de dicha área. En los incendios se emiten también otros gases invernadero (como el N₂O) y aerosoles (como el hollín), que además son contaminantes atmosféricos peligrosos para la salud.

También hay que contabilizar la tala para obtener maderas valiosas, que desde la colonización europea han ido soportando los bosques de Centroamérica, Caribe, Amazonia, África y Sudeste Asiático. Sin olvidar que en muchos países pobres, la madera sigue siendo el principal combustible de uso doméstico, lo que ha provocado la desaparición de los árboles en extensas zonas del mundo subdesa-

rollado. Según datos de la FAO¹³, las dos terceras partes de los hogares africanos (y la tercera parte en todo el mundo), utilizan la madera como combustible principal para cocinar, calefacción y para hervir el agua (a menudo fundamental para garantizar agua potable segura).



Cuando se analiza la concentración de CO₂ en la atmósfera, los datos muestran que esta siempre es menor durante el verano que en el invierno. ¿A qué puede ser debido?

Durante la primavera y verano la vegetación crece, genera hojas y absorbe más CO₂ del aire (mediante la fotosíntesis) haciendo que su concentración atmosférica baje. En invierno el crecimiento vegetativo se paraliza y las hojas se caen, por lo que disminuye la fotosíntesis y se absorbe menos CO₂ por las plantas. La cantidad de vegetación (biomasa) del hemisferio norte terrestre es, globalmente, mayor que la del hemisferio sur y por eso su influencia es dominante en el conjunto de la atmósfera.

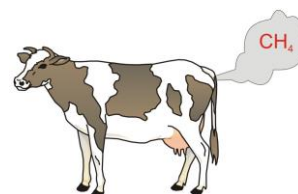
2.2. Metano

El metano es un gas invernadero muy efectivo cuya concentración, según datos de la NASA (Climate Change), se ha más que duplicado en los últimos 200 años, hasta alcanzar las 1'922 ppm que había en 2023¹⁴. Su forzamiento radiativo (a fecha de 2023) era del orden de 0'56 W/m² (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>), su vida media de unos 10 años y su potencial de calentamiento global es de al menos 28 (lo que significa que cada kg de CH₄ emitido tiene un efecto de calentamiento acumulado en la atmósfera durante los siguientes 100 años equivalente a la emisión de como mínimo 28 kg de CO₂). Casi el 20 % (la quinta parte) de las emisiones de gases invernadero, corresponde al metano.

Algunos investigadores piensan que el aumento del metano en la atmósfera se remonta al inicio de la agricultura y, en especial, al del cultivo del arroz hace 5000 años. Actualmente las principales fuentes de emisión antrópicas de este gas se centran en: producción de energía a partir de carbón y gas natural, eliminación de desperdicios, crianza de animales rumiantes, agricultura del arroz, quema de biomasa y fugas de conducciones de petróleo y gas. Dichas fuentes son las responsables de entre el 50 y el 65% del total de metano emitido a la atmósfera en el presente.

Todos los años unos 400 millones de toneladas de metano son producidas por bacterias que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica. Los medios en los que actúan son muy variados: el estómago y tracto intestinal de los rumiantes, el interior de estercoleros, campos inundados para el cultivo de arroz o el fondo de zonas pantanosas.

Entre el 5 % y el 10 % del alimento que ingiere una vaca se transforma en metano. En Nueva Zelanda (donde hay 7 veces más cabezas de ganado que personas), el metano producido por vacas y ovejas supone un 40% de la emisión total de gases invernadero.



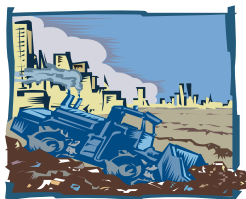
El cultivo del arroz sobre enormes extensiones encharcadas en Asia, favorece la metanogénesis en los barros de las tierras inundadas.

Otro factor emisor de metano es la quema de vegetación, especialmente la quema de maleza en las sabanas tropicales que se realiza como práctica agrícola para fertilizar el suelo. A veces el metano procede del propio suelo del área quemada, sobre todo en los incendios boreales, por descongelación

¹³ [www.fao.org > modules > wood-energy > basic-knowledge](http://www.fao.org/modules/wood-energy/basic-knowledge)

¹⁴ <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/metano/?intent=111>

del permafrost¹⁵. También se ha detectado la liberación de metano desde algunas zonas del fondo marino poco profundas (especialmente en el océano Ártico) que podrían aumentar si sigue subiendo la temperatura media del planeta.



En los vertederos gran parte de la materia orgánica allí almacenada se degrada en condiciones anaeróbicas y se convierte en metano. La mejora de las prácticas de almacenaje de la basura con el buen sellado de las instalaciones y la recuperación del metano creado, que puede ser utilizado como combustible, pueden reducir notablemente las emisiones de este gas.

Otra fuente antrópica de metano han sido los escapes en las minas de carbón (el peligroso gas grisú), en las instalaciones defectuosas de extracción de gas natural (el 90% del cual es metano) y en los cientos de miles de kilómetros de gasoductos construidos para su transporte. El auge de la utilización energética del metano hará necesaria la construcción de más pozos de extracción y de más gasoductos, pero es de esperar que las mejoras técnicas hagan disminuir el despilfarro y las fugas a la atmósfera.

2.3. Otros gases invernadero

En cuanto al N_2O , sus fuentes antrópicas más comunes son: el uso de fertilizantes de nitrógeno en la agricultura, la quema de combustibles fósiles (particularmente en motores diésel), la quema de biomasa y ciertos procesos industriales como la fabricación de nylon y de ácido nítrico. El 17% de este gas presente en la atmósfera lo hemos añadido nosotros desde la era industrial.

Una vez emitido, permanece en la atmósfera durante más de 100 años. Su potencial de calentamiento global (a 100 años) es aproximadamente 165. En la década 2000-10 su emisión media anual fue del orden de 7 millones de toneladas. En 2023 su concentración media en la atmósfera era de 0'337 ppm, cuando al inicio de la era industrial era de 0'274 ppm (lo que corresponde a un aumento del orden del 22 %). Su forzamiento radiativo (2023) era de 0'22 W/m^2 .

(<https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>).

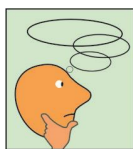
Entre los gases halocarbonados¹⁶ que presentan efecto invernadero los CFCs se hallaban presentes en gases utilizados como refrigerantes (frigoríficos y aparatos de aire acondicionado) y propelentes (espráis). La concentración de CFCs no está aumentando actualmente, debido a los acuerdos internacionales para evitar la disminución de la concentración de O_3 estratosférico (ya que estos compuestos, además de su efecto invernadero, destruyen la capa de ozono estratosférico que nos protege de las radiaciones ultravioleta). Sin embargo, las concentraciones de otros gases halocarbonados (HCFC, HFC, PFC) y también de SF_6 , están aumentando en la actualidad¹⁷. Los HFCs se utilizan como sustitutos de los CFCs. Los PFCs y el SF_6 son liberados a la atmósfera en actividades industriales como la soldadura de aluminio y la fabricación de semiconductores. El potencial de calentamiento global de estos gases varía ampliamente, así, por ejemplo, entre 5 700 y 11 000 para los CFCs y 23500 para el SF_6 . El periodo de vida atmosférico de estos gases varía también mucho de

¹⁵ Capa de suelo o sustrato congelado que se encuentra en las latitudes altas del Ártico, tanto en tierra como en fondos marinos (perma-frost = permanentemente helado). Estos suelos contienen grandes cantidades de carbono procedente de materia orgánica, la cual, cuando se descongela, libera dióxido de carbono y metano. Además también podrían liberar virus y bacterias primitivas desconocidas en la actualidad.

¹⁶ El término "halocarbonado" hace referencia a la existencia en las moléculas del compuesto, de carbono y de algún elemento del grupo de los halógenos (normalmente flúor y cloro). Se utilizan iniciales de estos elementos (C, F, C).

¹⁷ Afortunadamente, en octubre de 2016 casi 200 países firmaron en Kigali (Ruanda) un acuerdo por el cual el empleo de los HFC en refrigeración, se habrá reducido entre un 80% y un 85% a mediados del presente siglo.

unos a otros: entre 45 y 100 años para los CFCs, entre 1 y 18 años para los HCFCs, de 1 a 270 años para los HFCs y miles de años para los PFC.



¿Por qué si el vapor de agua es el gas de efecto invernadero más importante, no contribuye especialmente al aumento del efecto invernadero? (Tened en cuenta que al quemar cualquier combustible derivado del petróleo, o gas natural, además de CO₂ se produce también vapor de agua).

Ya hemos visto que el vapor de agua es quien más contribuye al efecto invernadero, pero las actividades humanas apenas inciden directamente en un aumento significativo de la concentración de este gas en la atmósfera. Ello se debe fundamentalmente a que, en este caso, se presentan fácilmente efectos de saturación que hacen que el vapor de agua atmosférico condense y caiga de nuevo, principalmente en forma de lluvia o nieve (lo que no ocurre con los demás gases invernadero).

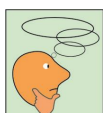
La concentración del vapor de agua en la atmósfera varía entre una concentración mínima del 0'01% en las zonas muy secas (como en la Antártida) y una concentración máxima en torno al 5% en las zonas húmedas y cálidas (como las selvas tropicales). Lo que ocurre es que, en general, cuando se supera esa concentración máxima, el vapor de agua condensa. No obstante, conviene tener muy en cuenta que la cantidad de vapor de agua que puede retener el aire sin condensar depende de la temperatura. Concretamente, por cada grado Celsius de aumento, la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera, se incrementa en torno a un 7%. Por tanto, el calentamiento global está provocando un aumento de vapor de agua en el aire, lo cual sí que incide en el aumento del efecto invernadero y, consecuentemente, en más vapor de agua presente en la atmósfera (efecto de retroalimentación).

También se debe contabilizar el **efecto doble de las nubes** que absorben y re-emiten radiación infrarroja (calentamiento) debido al vapor de agua que contienen, pero a su vez reflejan al espacio parte de la radiación solar (albedo de las nubes) produciendo un enfriamiento. El que predomine un efecto u otro depende de varios factores, pero lo que hay que destacar es que, globalmente, el efecto neto de las nubes parece ser, en la actualidad, de enfriamiento.



3. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN EL EFECTO INVERNADERO

Además de los gases anteriores y de los cambios astronómicos y geológicos ya mencionados, existen otros factores que también inciden de forma notable en el efecto invernadero.



¿Qué otros factores inciden en el efecto invernadero? ¿Cómo actúan?

Ya hemos comentado antes el importante papel que tienen **los bosques** en el efecto invernadero. Aproximadamente la cuarta parte del CO₂ que emitimos a la atmósfera es absorbido por las plantas verdes al realizar la fotosíntesis. A esto hay que añadir el efecto de **mares y océanos** los cuales absorben aproximadamente un 30% del CO₂ que se emite a la atmósfera.

Los aerosoles son un componente más de la atmósfera, que interviene en procesos tan importantes como la formación de nubes, el transporte de contaminantes y la absorción o dispersión de la radiación. Se trata de materiales en suspensión de los que existen fuentes naturales (como las erupciones

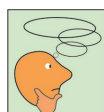
volcánicas o la suspensión de sal marina y polvo debido al viento), pero también otras debidas a la actividad humana (uso masivo de combustibles fósiles liberando hollín y diversas sustancias, explotación de minas y canteras, movimientos de suelo con fines urbanísticos, incendios, etc.). Su impacto es doble, en función principalmente del contenido en hollín (si es elevado, predomina la absorción de radiación, favoreciendo el calentamiento de la atmósfera y viceversa). Cabe notar que en conjunto, el efecto climático predominante de los aerosoles es el de refrigeración (aunque resulta difícil cuantificar dicho efecto).

Las nubes, como ya se ha dicho, tienen un efecto doble, dependiendo del tipo de nube, la altura a la que se encuentre y si es de día o de noche. Mucha gente sabe, por ejemplo, que en las noches de invierno en las que el cielo está despejado, las temperaturas suelen ser más bajas que si está nublado. Durante el día las nubes altas (como los cirroestratos) dejan pasar la radiación solar pero absorben la terrestre, mientras que las medias (como los altocúmulos) impiden notablemente el paso de la radiación solar.

La **superficie oscura del océano abierto** y la **superficie terrestre cubierta de espesa vegetación** reflejan solo un 10% de la radiación solar que les llega, mientras que este efecto albedo aumenta en superficies claras como son las zonas áridas, desiertos y las superficies cubiertas de nieve (en estas últimas puede acercarse al 90%). A principios del siglo XXI el albedo medio del planeta era del orden del 30%. Su reducción supondría un aumento del calentamiento, de ahí el papel tan importante que tienen la cobertura de nubes junto con las grandes extensiones de hielo y nieve del polo norte y del continente antártico, en la refrigeración del planeta.

4. QUÉ OCURRE Y QUE OCURRIRÁ SI NO TOMAMOS LAS MEDIDAS ADECUADAS Y A TIEMPO

Si el aumento del efecto invernadero sigue produciéndose al ritmo actual, la temperatura media en la Tierra va a seguir incrementándose rápidamente. Como promedio mundial, la temperatura en la superficie de la Tierra en el periodo 2011-2020 fue aproximadamente 1'09 °C superior a la de 1850-1900¹⁸. A largo plazo, los modelos utilizados por el IPCC¹⁹ predicen para el 2100 una subida media de la temperatura situada entre 1'5 °C y 4'0 °C (dependiendo de las emisiones acumuladas de CO₂) en relación al promedio entre 1850 y 1900. En términos de concentración de CO₂ en la atmosfera, un valor medio del orden de 550 ppm, que se mantuviese en el tiempo, supondría un aumento de temperatura del orden de 3°C.



¿Qué importancia puede tener el hecho de que la temperatura media de la Tierra aumente unos pocos grados?

Conviene resaltar que estamos hablando del valor medio (de la temperatura del aire próximo al suelo), obtenido midiendo temperaturas en miles de lugares diferentes repartidos por todo el planeta y durante muchos años, (lo que incluye variaciones estacionales y fenómenos meteorológicos extremos). Un aumento de, por ejemplo, 1°C más en la temperatura media terrestre, puede suponer un aumento tres veces mayor en el polo norte, lo cual tendría consecuencias muy graves para todos los seres vivos. De hecho, los científicos expertos en el Clima, consideran que un aumento de la tempe-

¹⁸ Datos extraídos del VI informe del IPCC

¹⁹ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Se constituyó para proporcionar información objetiva y clara sobre el cambio climático.

ratura media de la Tierra de más de 2 °C con respecto de los niveles preindustriales es un límite que en ningún caso debería sobrepasarse, porque eso conduciría, muy probablemente, a perturbaciones climáticas catastróficas e irreversibles, no solo para los ecosistemas sino también en la economía y la salud de las sociedades humanas. Sin embargo, no es necesario esperar a superar ese límite para poder darse cuenta de una serie de consecuencias que ya han comenzado a producirse.



Enumera consecuencias aumento del efecto invernadero, que ya se estén produciendo.

Entre las más importantes están: Fusión de hielo continental y marino, acidificación de los océanos, aumento de la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, cambios en los ritmos vitales de muchas especies y disminución de la biodiversidad, aumento de la probabilidad de que ocurran cambios catastróficos y abruptos de carácter irreversible.

4.1. Fusión de hielo continental y marino

Más de un 85 % del área terrestre ocupada por hielos permanentes se encuentra en la Antártida, un continente con una superficie de unos 14.000 000 km² (equivalente a unas 28 veces la superficie de España). Un 10 % corresponde al hielo de Groenlandia y en el 5% restante se incluye el conjunto de todos los glaciares alpinos.

El espesor medio del hielo en la Antártida es de 2'4 km y en algunos lugares se acerca a los 5 km. Su volumen es tan grande que su descongelación completa elevaría el nivel del mar en unos 60 metros. La mayor parte de toda esta masa de hielo (casi el 90 %) se encuentra en la Antártida oriental.

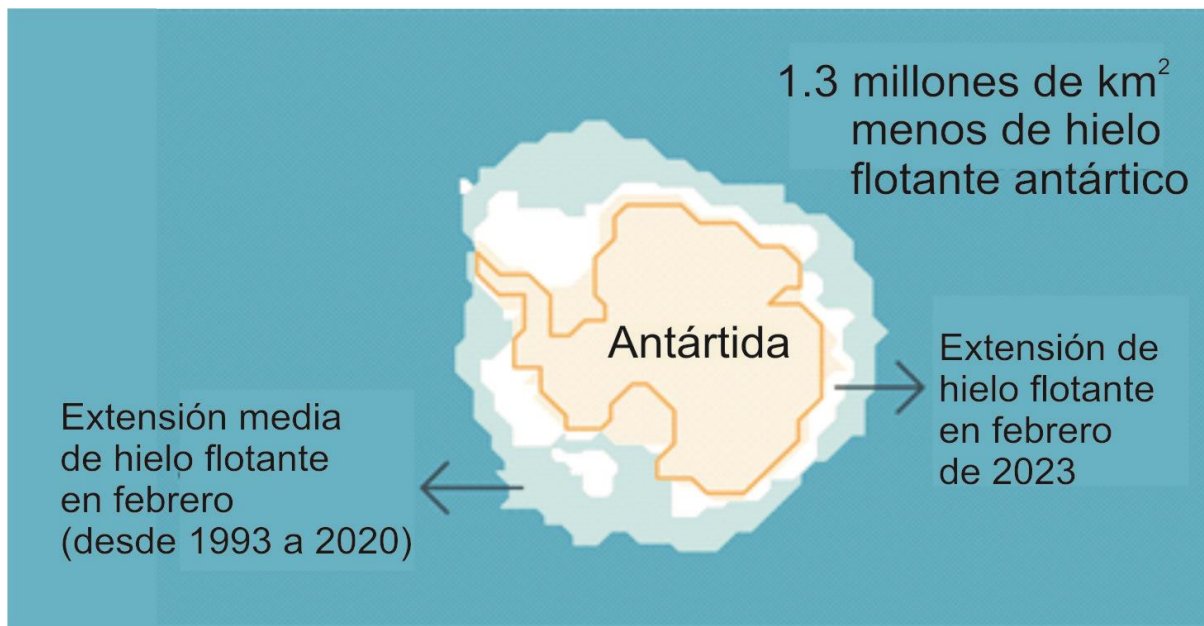


La descongelación de grandes masas de hielo flotante unidas a tierra, llamadas “plataformas”, que actúan como barrera de algunos glaciares antárticos, haría que estos acelerasen su movimiento hacia el mar, lo que se traduciría en un aumento en el nivel de este. Es lo que ocurrió hace años, por ejemplo, con las llamadas plataformas Larsen A y Larsen B situadas al norte de la Antártida oriental.

Durante 2017 se produjo la ruptura de la plataforma Larsen C, generando un iceberg gigantesco, con una superficie mucho mayor que la de la Isla de Mallorca.

Por otra parte, la **banquisa**²⁰ de hielo marino que rodea el continente antártico (no representada en la figura), experimenta una gran variabilidad estacional, desde los 2-3 millones de km² en verano (entre noviembre y marzo) a los 15-16 millones de km² en invierno (lo que supone una superficie algo mayor que la del continente). El problema es que durante los últimos años se está observando una clara disminución de la extensión de hielo marino antártico durante el verano. Concretamente, en febrero de 2023 se registró la extensión más baja de hielo marino antártico en los últimos 44 años (tan solo 2'06 millones de km²), lo que supone una pérdida de aproximadamente 1'3 millones de km² respecto a la extensión media correspondiente a los meses de febrero desde 1993 a 2020, tal y como, se puede observar en la figura siguiente:

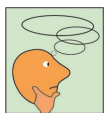
²⁰ Capa de hielo marino flotante de unos metros de espesor que se forma en las regiones polares por congelación del agua marina. No hay que confundirla con las plataformas o barreras de hielo de centenares de metros de espesor, que también son de hielo flotante pero que provienen de glaciares adjuntos a ellas.



<https://marine.copernicus.eu/es/ocean-climate-portal/antarctic-sea-ice-extent>

La Antártida tiene una importancia fundamental en el sistema climático y en la biosfera en general. El debilitamiento o fractura de las plataformas de hielo, no solo favorece el aporte al mar del hielo continental, sino que también tiene otras consecuencias. Entre ellas, el aporte de ingentes cantidades de agua dulce al mar, lo que afecta a las corrientes oceánicas. Además la pérdida de superficie de hielo disminuye el albedo terrestre y favorece el calentamiento en la zona. Todos estos cambios afectan negativamente a la cadena trófica y a la biodiversidad.

Groenlandia es la mayor isla del mundo (unas cuatro veces mayor que España) y en la actualidad tiene aproximadamente el 80% de su superficie cubierta de hielo. Los datos que se disponen indican, sin embargo, que parte de esa masa de hielo se está fundiendo aceleradamente. La pérdida de hielo en Groenlandia se duplicó entre 1996 y 2005. La isla perdió 50 km³ de hielo solo durante 2005. La fusión de todo el hielo de Groenlandia haría subir en más de 6 m el nivel del mar.



Además del aporte de agua debido a la fusión del hielo continental, ¿qué otro fenómeno influye en el aumento del nivel del mar?

La fusión de parte del hielo terrestre que hay sobre el continente antártico y en glaciares de algunas zonas del hemisferio norte como Alaska, Islandia y Groenlandia, está contribuyendo sin duda al aumento del nivel del mar. Por otra parte, las medidas que se vienen realizando desde 1961 muestran que la temperatura media de los océanos ha aumentado hasta profundidades de unos 3000 m y que éstos han absorbido alrededor del 91% de la energía extra añadida al sistema climático a consecuencia del calentamiento global, con lo que el agua tibia se dilata y ello se traduce también en un ensanchamiento de los océanos y, consecuentemente, en una elevación del nivel del mar. La contribución de cada efecto (fusión del hielo y expansión del agua) por separado, es difícil de medir. Actualmente se piensa que la expansión térmica es responsable del 50 % de la elevación y la pérdida de hielo continental del 42 %. El 8% restante se debe a cambios en el almacenamiento del agua terrestre²¹.

²¹ Datos extraídos del VI informe del IPCC

De acuerdo con los datos del V informe del IPCC, la Antártida pasó de perder una media de 30 Gt/año (1 Gt = mil millones de toneladas) de hielo continental en la última década del siglo XX a perder una media de unas 147 Gt/año (es decir, casi cinco veces más) en la primera década del siglo XXI. Los datos correspondientes al hielo continental de Groenlandia para los mismos periodos son peores (de 34 Gt/año a 215 Gt/año). Según datos más recientes, desde mayo del año 2002 hasta agosto de 2024, la Antártida ha venido perdiendo una media de 150 Gt de hielo al año, mientras que en Groenlandia ha sido de 270 Gt/año (NASA- Global Climate Change)²².

El nivel de los mares del mundo aumentó alrededor de 20 cm entre 1901 y 2018. Según el informe especial del IPCC (2019) sobre el océano y la criosfera²³, el nivel medio del mar pasó de una subida de 1'6 mm/año durante el periodo 1902-2015, a 3'6 mm/año entre 2006 y 2015 y las previsiones más fiables indican que, debido a la expansión térmica, el nivel seguirá subiendo durante muchos siglos, dependiendo de las futuras emisiones de gases invernadero. Los modelos manejados por el IPCC indican, para el año 2300, un aumento entre 1 m y 3 m si la concentración de gases invernadero en la atmósfera rebasa las 700 ppm de CO₂ equivalente²⁴.

El calentamiento global también está contribuyendo a la fusión del hielo en muchos glaciares continentales de montaña y a una disminución de las nevadas en general, lo que explica el retroceso experimentado por dichos glaciares y las superficies cubiertas de nieve. La desaparición de glaciares afecta a muchas regiones del planeta (Canadá, Andes, Patagonia, Alpes suizos, África, etc.). Existen 50 lugares calificados como patrimonio mundial de la humanidad, que albergan todavía más de 18000 glaciares, entre ellos algunos tan emblemáticos como el más alto (junto al Monte Everest), el más largo (en Alaska) y los últimos glaciares que quedan en África. Sin embargo, en un estudio realizado por la UNESCO en colaboración con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza publicado en 2022, se muestra que un tercio de dichos glaciares están condenados a desaparecer de aquí a 2050, independientemente de los esfuerzos que se hagan para limitar el aumento de la temperatura. Lo que pase con los dos tercios restantes, dependerá de si conseguimos o no limitar ese aumento en la temperatura media global del planeta.

En los Pirineos, de acuerdo con los datos publicados en 2018 por el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático, desde los años 80 del siglo pasado hasta 2010, la temperatura media anual, se mantuvo en general (solo tres excepciones en esos 30 años) por encima de la temperatura media correspondiente al periodo 1961-1990 (tomado como referencia), aumentando en 0'2 °C por década²⁵. El aumento de temperatura ha contribuido, sin duda, a la disminución de la masa de hielo permanente en la cordillera pirenaica. Concretamente, a fecha de 2012, en el Pirineo español, apenas sobrevivían 10 glaciares y 8 heleros, con una extensión total de hielo de unas 160 hectáreas, mientras que en 1980 (cuando se inició un seguimiento sistemático de estos glaciares) dicha extensión era del orden de 640 hectáreas, de modo que, en tan solo tres décadas, había desaparecido ya el 75% de la masa de hielo permanente en esta región y si el proceso prosigue al mismo ritmo, es de temer que antes de 2050 no quede ningún glaciar en España. (Para más información ved anexo 5).

²² Extraídos de: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/?intent=111>

²³ Accesible en 2022 en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf

²⁴ Concentración de este gas que causaría el mismo forzamiento radiativo medio mundial que la mezcla real de todos los gases invernadero y aerosoles existentes en la atmósfera. En 2023 era de 550 ppm de CO₂ equivalente.

²⁵ Ved el informe oficial completo en: <https://opcc-ctp.org/>



Glaciar oriental de la Maladeta (Pirineos). Comparativa entre 1992 y 2015. Foto: Jordi Camins.

El Ártico se está calentando mucho más rápido que el resto del mundo. Allí, la temperatura del aire aumentó al menos en 3°C entre 1990 y 2010, lo que es bastante como para fundir una gran parte del hielo flotante (entre 3 m y 4 m de espesor medio a final del invierno). Además del incremento en la concentración de gases invernadero en la atmósfera, otras razones de este aumento pueden ser el transporte a esa zona de aerosoles contaminantes procedentes de otras regiones muy pobladas de latitudes medias como China, Estados Unidos y Europa.

En la figura siguiente se muestra la disminución media de la extensión de hielo ártico en septiembre en las últimas cuatro décadas. Como puede verse, en las tres últimas la disminución se ha situado en torno a 1000.000 km² de una a otra.

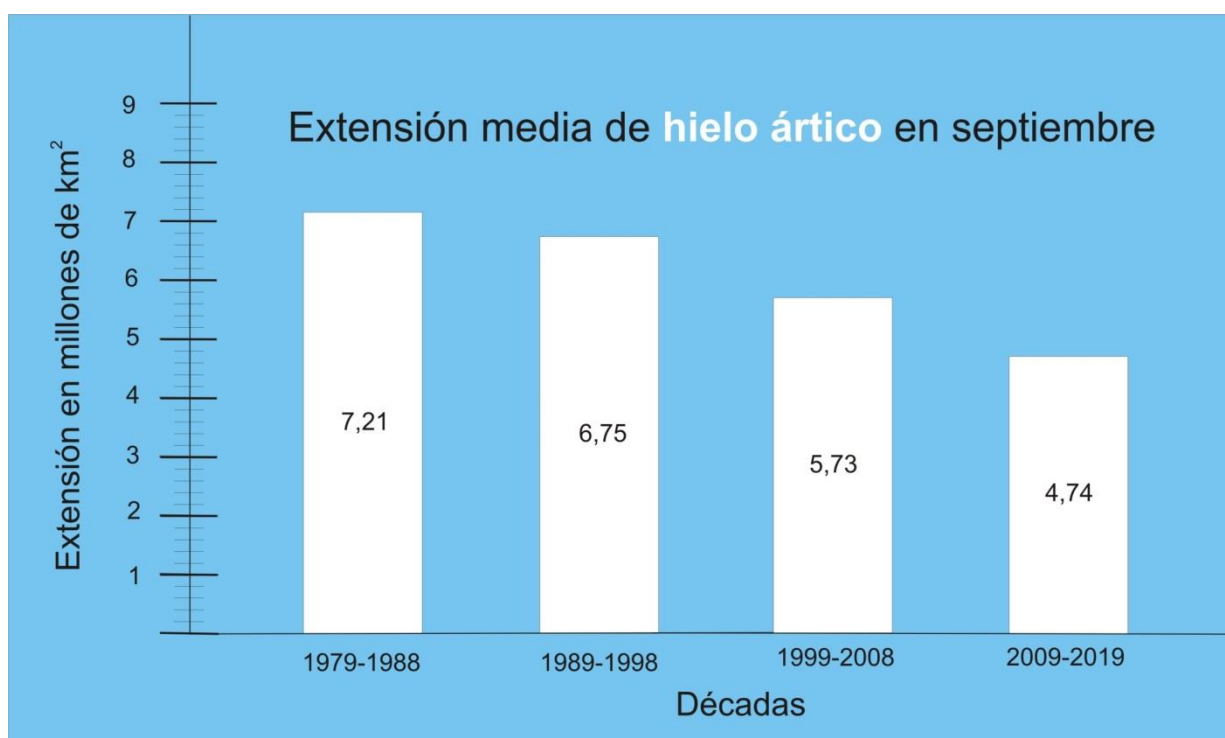


Gráfico elaborado por el autor utilizando datos del National Snow and Ice Data Center

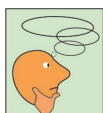
La extensión media de la banquisa ártica en septiembre se ha mantenido por debajo de los 5 millones de km² durante la última década (4'41 en 2015, 4'17 en 2016, 4'67 en 2017, 4'66 en 2018, 4'19 en 2019). En septiembre de 2020 se bajó de los 4 millones de km² alcanzando una extensión de tan solo

3'82 millones, aumentando a 4'76 en septiembre de 2021, 4'67 en septiembre de 2022, 4'37 en septiembre de 2023 y 4'28 millones en 2024. Esta tendencia general de disminución de la extensión de hielo ártico es sistemática y en los 18 años que van de 2007 a 2024 inclusive, se han registrado (medidas realizadas por satélites) las 18 extensiones mínimas más bajas en los últimos 44 años. (<https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>).

Si consideramos la extensión media en septiembre de hielo marino ártico en el periodo de 30 años comprendido entre 1981 y 2010 como referencia (6'41 millones de km²), podemos comprobar que es mucho mayor (del orden de 2 millones de km²) que cualquier otro año de los aquí mencionados (entre 2015 y 2024).

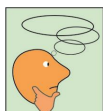
También ha disminuido el volumen de hielo ártico, de modo que cada m² de hielo ártico es ahora menos grueso que antes. Investigaciones llevadas a cabo por científicos de la NASA muestran que, desde 1958, la cubierta de hielo del Ártico (medida a final de verano) ha perdido 2/3 de su espesor.

En un interesante estudio, publicado en 2023 en la revista Nature ²⁶ sus autores pronostican que entre 2030 y 2050 llegará el primer septiembre sin hielo. Y que si no se reducen las emisiones de efecto invernadero, en 2100 la región ártica quedará libre de hielo casi medio año.



¿Por qué la fusión del hielo marino flotante (como el del océano Ártico o el de la banquisa de la Antártida) apenas contribuye directamente a la elevación del nivel del mar?

Como es lógico, si, por ejemplo, 100 m³ de hielo continental se funden totalmente y el agua líquida resultante va íntegramente al mar (pensemos, por ejemplo, en un glaciar que acaba en la costa) ello supone un aporte neto de algo más de 90 m³ de agua al mar (el agua líquida es más densa y por eso ocupa menos volumen que el hielo que la originó). En cambio, si esos mismos 100 m³ de hielo, estuviesen flotando en un gran lago de agua dulce, hay que tener en cuenta que en su mayor parte, ese enorme bloque de hielo estaría sumergido y solo sobresaldría aproximadamente su novena parte. Mediante unos sencillos cálculos, se puede comprobar que el volumen de agua líquida producida de la fusión total del bloque, coincide con el volumen inicial de hielo sumergido (algo más de 91 m³), de forma que el nivel del agua del lago seguiría siendo el mismo. No, obstante, esto no sería exactamente igual si ese bloque de hielo estuviese flotando en agua de mar. Podemos comprenderlo, si tenemos en cuenta que ahora, al tratarse de agua salada (más densa que el agua dulce), el hielo flotaría más y, por tanto, la parte sumergida sería algo menor. Sin embargo, como es lógico, su fusión total, seguiría produciendo el mismo volumen de agua líquida (algo más de 91 m³), es decir, un volumen de agua líquida algo mayor que el volumen inicial de hielo sumergido. Concretamente, la fusión total de 100 m³ de hielo flotante marino, produce un volumen de agua líquida resultante solo unos 2'4 m³ mayor que el volumen de hielo sumergido. Esos 2'4 m³ sí afectan al nivel del mar contribuyendo directamente a su aumento (aunque muchísimo menos que los 90 m³ si se tratase de hielo continental). Además hay que añadir que la cantidad de hielo flotante multianual es mucho menor que la de hielo continental existente sobre tierra. Para una explicación más detallada, ved anexo 2.



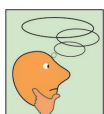
¿Qué consecuencias sobre la vida en el planeta pueden tener los efectos anteriores?

²⁶ Artículo accesible en internet: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38511-8>

El mar tiene unas 800 veces más capacidad de retener energía térmica que todos los continentes juntos (algo más del 90% del exceso de energía almacenada por la Tierra durante los últimos 50 años, se encuentra en los océanos). Es un termómetro mucho más fiable que la temperatura del aire (sujeta a mucha mayor variabilidad). Su aumento de nivel, lento pero constante, es un indicador similar a la dilatación del mercurio de un termómetro y nos está diciendo claramente que la temperatura del planeta sube. Es necesario tener presente la gran inercia térmica de los océanos, que hace que ante un determinado forzamiento (positivo o negativo) puedan transcurrir decenas o centenares de años hasta alcanzarse un nuevo equilibrio. En la atmósfera, la inercia térmica es menor. Por eso hay que ser conscientes de que, aún en el supuesto de que dejase de aumentar ahora mismo la temperatura, el mar seguiría expandiéndose durante bastantes años.

La subida del nivel del mar producirá la intensificación de los temporales; la destrucción de ecosistemas esenciales como humedales, manglares y amplias zonas costeras habitadas; así como la salinización de acuíferos. Aproximadamente, según estimaciones de la ONU, unos 250 millones de personas en el mundo viven a menos de 5 m de altura sobre el nivel del mar y unos 150 millones a menos de 1 m. Muchas tierras cultivables y también muchas grandes ciudades se hallan en zonas litorales. Una elevación de 1 m en el nivel del mar inundaría, aproximadamente, 16 000 km² en Bangla Desh, 20 000 km² en Vietnam y 30 000 km² en Indonesia, obligando a millones de personas a desplazarse a otros lugares en los que poder vivir.

Por otra parte, la disminución y desaparición de glaciares de montaña hará que también disminuya la cantidad de agua subterránea y del agua contenida en muchos lagos, así como el caudal de los ríos conectados con esos glaciares. Pensemos en los efectos negativos que tendrá la disminución de este recurso básico en sectores como la agricultura o la ganadería y en particular en todas las personas de las zonas afectadas.



¿Cómo sería un mundo en el que no hubiese hielo en el Ártico?

Posiblemente haya compañías mineras, petroleras y navieras que sueñan con ese día. Pero, hemos de saber que, entre otros, eso tendría los siguientes efectos:

- Contribuiría a la pérdida de biodiversidad y pasaría a ser una zona sin osos polares ni focas, etc.
- Sin ese enorme escudo protector, que refleja gran parte de la radiación solar que le llega, el planeta se calentaría más todavía.
- Las corrientes de agua y de aire provocadas por la diferencia de temperaturas entre el Ártico y los trópicos se debilitarían (al disminuir esa diferencia de temperaturas).
- La desaparición de permafrost en las regiones cercanas al polo norte, liberaría grandes cantidades de dióxido de carbono y de metano, acelerando mucho más el calentamiento global...

Los daños ocasionados por todos los cambios anteriores serían incalculables. Además, hay que tener en cuenta el hecho de que la región y sus alrededores es muy rica en determinados recursos naturales como petróleo, gas natural y minerales²⁷, por lo que la desaparición del hielo ártico haría dichos recursos mucho más accesibles, pudiéndose originar graves conflictos por el control de los mismos.

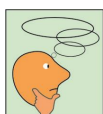
²⁷ De acuerdo con la Administración de Información de Energía de EE.UU. (EIA), alrededor del 22% de las reservas mundiales de hidrocarburos se hallan en el Ártico. El gas natural constituye el 78% de estos recursos, la mayor parte se encuentra en el sector ruso del Ártico.

En definitiva: el Ártico es una zona especialmente sensible al cambio climático, pero todo el planeta es especialmente sensible a los cambios que ocurren en el Ártico. Esos cambios lo pueden convertir en un potente motor que acelere el cambio climático.

4.2. Aumento de la acidificación de los océanos

El mar actúa como un inmenso sumidero de CO₂ (efecto neto actual) ya que este gas se disuelve bien en el agua (y mejor en agua fría). La concentración de este gas en el agua superficial es un factor determinante (junto con otros como la temperatura) en el intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el mar. La incorporación de CO₂ antrópico desde el inicio de la era industrial ha acidificado el agua marina²⁸, cuyo pH ha disminuido en 0'1 unidades en promedio (a menor valor de pH mayor grado de acidez). Una mayor concentración de CO₂ en la atmósfera aceleraría ese proceso. Las previsiones muestran una reducción del valor promedio del pH en la superficie marina de entre 0'14 y 0'35 unidades durante el siglo XXI. Desde hace al menos 500 000 años que el agua marina no presenta un grado de acidez tan alto como el actual.

Por otra parte, como acabamos de indicar, el CO₂ se disuelve mejor en agua fría. Ello explica que tanto las aguas del océano Antártico como las del océano Ártico, actúen como enormes sumideros de gran parte del CO₂ emitido a la atmósfera. Después, debido a las corrientes marinas, este CO₂ se redistribuye por todos los mares del planeta. Cuanto más CO₂ hay en la atmósfera, tanto más capturan los océanos, hasta que llegará un momento que se alcanzará el punto de saturación y no puedan absorber más. Dicho punto, todavía no se ha alcanzado, pero si los océanos Ártico y Antártico siguen calentándose, absorberán cada vez menos CO₂, de modo que tendremos unos mares en los que la acidez de sus aguas aumentará más lentamente pero que, a su vez, al capturar menos CO₂, harán que la concentración de este gas en la atmósfera suba, acelerando así el aumento del efecto invernadero.



¿A qué tipo de organismos marinos cabe esperar que afecte, en principio, el aumento de acidez del agua?

Mucha gente sabe que al dejar un limón partido sobre un banco de mármol, se produce una mancha sobre la zona mojada por su jugo. Esto ocurre porque los ácidos atacan al carbonato de calcio y resulta que el zumo de limones o naranjas es un poco ácido y el mármol está formado principalmente por carbonato de calcio. Algo similar puede ocurrir si se acidifica el agua de los océanos. Aunque los efectos de dicha acidificación sobre la biosfera marina no están todavía bien documentados, parece claro que tendrá efectos negativos sobre todos los organismos que poseen carbonatos en su estructura tales como los corales y otros animales con concha o caparazones (cangrejos, erizos, la mayoría de los moluscos, etc.) y también, obviamente, sobre todas las especies que dependen de ellos.

En el caso de los corales, sabemos que el calentamiento del agua marina, por sí solo, ya está provocando su desaparición²⁹. Si a este aumento de la temperatura se une un aumento de la acidez y varía la composición química del agua, las consecuencias pueden ser catastróficas. En efecto, cuando un arrecife de coral desaparece lo hacen también muchos peces y otros seres que viven en él y además deja de haber una barrera protectora de la zona costera. Una pérdida masiva de estos arrecifes, supondría también la pérdida de miles de millones de euros en concepto de ingresos de las industrias pesqueras y de daños ocasionados en regiones costeras actualmente protegidas por dichos arrecifes.

²⁸ La reacción química se puede representar como $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ (ácido carbónico).

²⁹ El calentamiento del agua marina hace que los corales expulsan microalgas con las que mantienen una relación simbiótica, lo que hace que se vuelvan blanquecinos y al final acaben muriendo.

4.3. Alteración de las precipitaciones y aumento de extremos climáticos

El aire cálido puede contener más vapor de agua que el aire frío. El contenido de vapor de agua del aire ha estado subiendo en los últimos años, tanto sobre los continentes como sobre los océanos y también en la troposfera superior. Todo ello, como es lógico, aumenta el riesgo de episodios de grandes lluvias torrenciales e inundaciones.

Las lluvias torrenciales y las grandes inundaciones, junto con las graves y cada vez más duraderas sequías, potentes huracanes, y prolongadas olas de calor, son ejemplos de fenómenos extremos (o, mejor dicho, extremos climáticos) y, aunque resulta imposible decidir si uno de ellos en particular está causado o no por el aumento del efecto invernadero, lo cierto es que los análisis realizados durante el pasado siglo muestran muy claramente que tanto la frecuencia como la intensidad y duración de tales sucesos extremos están aumentando debido al aumento del efecto invernadero y el consiguiente aumento de temperatura. En la figura siguiente, la fotografía de la izquierda muestra una zona afectada por la potente DANA (depresión aislada en niveles altos, o “gota fría”), que afectó a Valencia el 29 de octubre de 2024 y cuyos efectos catastróficos se sintieron especialmente en polígonos industriales y en las numerosas construcciones situadas en zonas calificadas como inundables, con decenas de miles de coches arrastrados, viviendas y garajes anegados, puentes rotos, carreteras inundadas y más de 200 fallecidos. Resulta muy ilustrativo (y un tanto irónico) el cartel que, previamente a la DANA, fue colocado por una empresa inmobiliaria promocionando unas viviendas en ese lugar, convertido poco después en un barrizal con un montón de coches arrastrados hasta allí por la fuerza del agua.



Si retrocedemos unos años, se puede constatar cómo desde 1950 las olas de calor han aumentado. Desde la década de 1980, cada década sucesiva ha sido más cálida que cualquier década anterior. Si nos situamos en 2025, podemos afirmar que el año 2024 ha sido el más cálido de todos, desde que comenzaron a registrarse estos datos en 1880. Es más: De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el grado de calentamiento en los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, ha sido excepcional (los diez años más cálidos registrados). En todos ellos, la temperatura media mundial superó en más de 1 °C los niveles preindustriales (1850-1900)³⁰ y por primera vez, en 2024, este aumento superó el umbral de 1,5 °C.

La evaporación ha aumentado debido a esas condiciones ambientales más cálidas. Así mismo, las precipitaciones (lluvia o nieve) en general han disminuido, a pesar de que esporádicamente se producen episodios de precipitaciones muy intensas que provocan graves inundaciones en determinadas

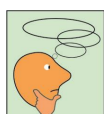
³⁰ El hecho de tomar como el periodo 1850-1900 como referencia de la temperatura media terrestre en los inicios de la era industrial (1750), es una estimación que se debe que es en dicho periodo cuando comenzaron a registrarse de forma extensa y fiable a lo largo de todo el planeta, las temperaturas cerca de su superficie.

zonas. Todo ello ha hecho que aumenten las regiones del planeta afectadas por sequías de larga duración. Si esos periodos de sequía van acompañados por olas de calor, la probabilidad de grandes incendios aumenta drásticamente.

En general, debido al aumento del efecto invernadero, un clima más cálido incrementa los riesgos de sequía donde no llueve y de inundaciones donde sí lo hace. De igual modo la probabilidad de precipitaciones en forma de lluvia en vez de nieve aumenta (sobre todo en latitudes medias y altas del hemisferio norte), lo que reduce la cantidad de recursos hídricos en verano, que es cuando más se necesitan.

En el caso de España, cabe señalar que, según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), en los últimos 40 años (desde principios de los 80), el verano se ha alargado en unas cinco semanas: empieza antes, termina más tarde y hace más calor. El sobrecalentamiento provoca una mayor evaporación. Como consecuencia, España tiene ahora 30.000 km² más (una superficie equivalente a toda Galicia) de territorio semiárido que hace 50 años, contribuyendo a la pérdida de tierras fértiles. Este aumento de las temperaturas provoca más noches “ecuatoriales”, en las que la temperatura mínima no baja en ningún momento de los 24 °C. Estas noches de calor extremo se dan sobre todo en ciudades de la costa mediterránea y durante el verano, ya que el fenómeno se ve favorecido por la elevada temperatura que este mar alcanza en esa época, lo cual influye en la temperatura del aire de las localidades costeras. A estas elevadas temperaturas nocturnas, también contribuye el efecto denominado “isla de calor” que se produce en las áreas urbanas en las que la concentración de grandes edificios, el suelo de asfalto, el aire caliente que expulsan los aparatos de aire acondicionado y el tráfico, contribuyen a una acumulación de calor durante el día y, sobre todo, a que dicho calor (a diferencia de las zonas rurales que rodean la urbe) sea más difícil de disipar durante las cortas noches de estío.

Una zona especialmente afectada por olas de calor es la Comunidad Valenciana (situada al este de España, en la costa mediterránea). Así, por ejemplo, el número de noches ecuatoriales en la ciudad de Valencia, también según datos registrados por AEMET, ha aumentado sensiblemente desde 1980 hasta la actualidad, de forma que, por ejemplo, antes de los años 80 apenas se daban estas noches con temperaturas mínimas tan altas, y a partir de 1980 estas noches tan tórridas han ido creciendo de forma que en la década de 2010 a 2019 hubo 128 noches con mínima superior a 24 °C (casi 13 noches al año) y 40 noches con mínima superior a 25 °C (un promedio de 4 noches al año). En las tablas siguientes, se muestra la evolución detallada de estos umbrales de temperaturas mínimas nocturnas desde 1950 a 2019 y desde 2020 a 2024.



Analizad cuidadosamente los datos incluidos en las dos tablas siguientes. ¿Qué es lo que muestran? ¿Qué consecuencias tiene la tendencia observada?

Observatorio de la ciudad de Valencia (España)		
Número de noches por década cuya temperatura mínima no bajó de 24 °C o de 25 °C		
Década	No bajó de 24 °C	No bajó de 25 °C
1940-1949	3	1
1950-1959	0	0
1960-1969	5	0
1970-1979	13	1
1980-1989	28	4
1990-1999	59	12
2000-2009	102	21
2010-2019	128	40

Fuente: https://aemetblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/07/noches_tropicales-1.pdf

Observatorio de Valencia		
Noches en lo que va de la última década, cuya temperatura mínima no bajó de 24 °C o de 25 °C		
Años	No bajó de 24 °C	No bajó de 25 °C
2020-2024	127	52

Fuente: Agencia Estatal de meteorología AEMET. España

Como puede observarse en la segunda tabla, solo en esos cinco primeros años de la década 2020-2029, el número de noches en las que la temperatura mínima en la ciudad de Valencia no bajó de los 24 °C es prácticamente el mismo que el correspondiente a toda la década anterior, y el de noches en las que no se bajó de los 25 °C, es ya mayor que en toda la década anterior. A ello hay que añadir que, debido a la elevada humedad relativa que suele haber, la sensación térmica o temperatura que realmente siente el cuerpo humano, es varios grados mayor que lo que marca el termómetro. La interpretación de esos datos es clara: debido principalmente al aumento del efecto invernadero, la tendencia es claramente alcista y el número de noches con temperaturas mínimas tan altas, es cada vez mayor. Esta situación, sin duda, afecta gravemente –y cada vez más– a la salud de muchas personas.



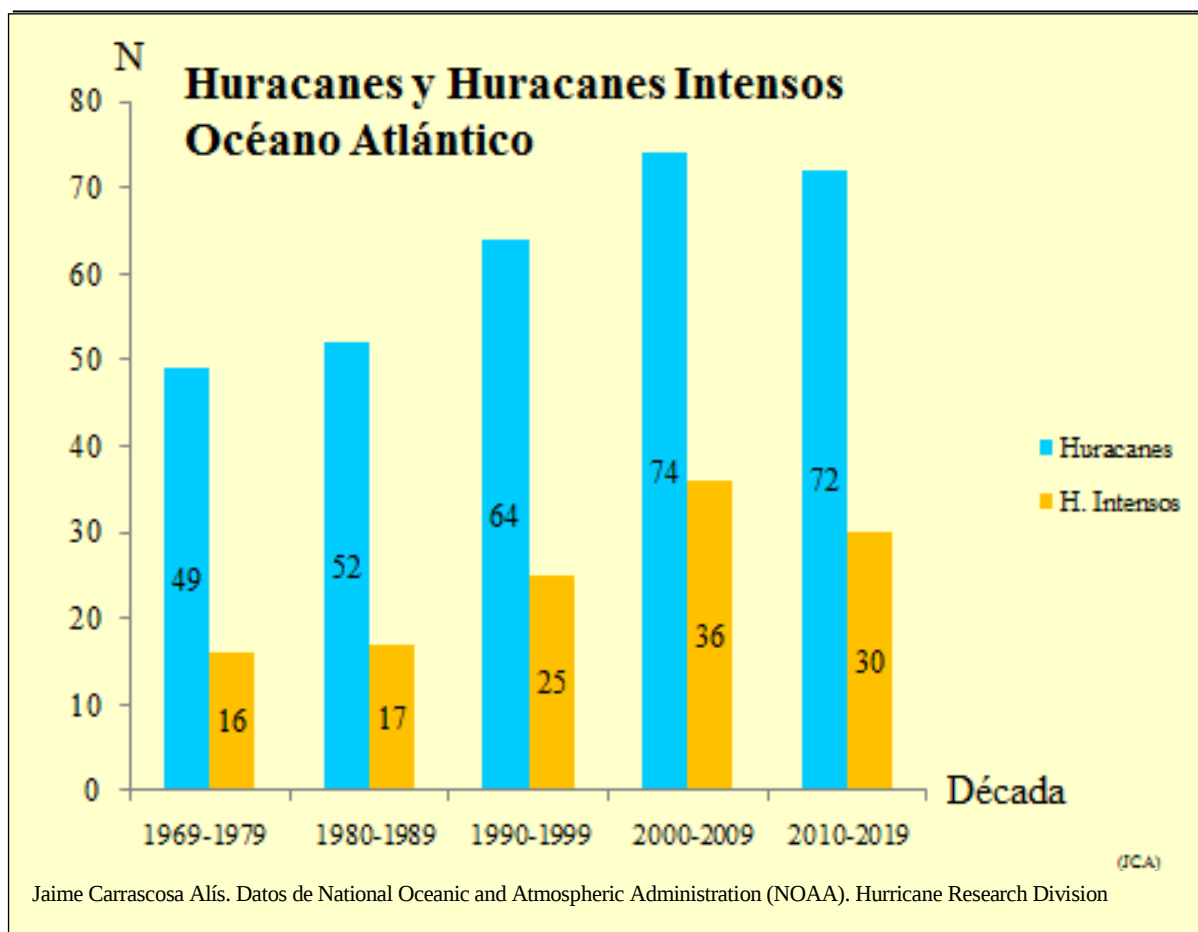
¿A qué puede deberse que los huracanes sean cada vez más catastróficos? (Pensad de dónde extraen su energía los huracanes).

Algunos fenómenos como los huracanes, extraen su energía del agua del mar y se frenan cuando chocan contra barreras costeras (arrecifes de coral, manglares, bosques) y montañas. El aumento en la temperatura del agua del mar y la degradación de zonas costeras (con la desaparición de arrecifes de coral y de vegetación) son factores que potencian estos fenómenos extremos y sus efectos.



Huracán Katrina. Fuente original: <http://www.nnvl.noaa.gov>

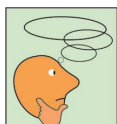
En la figura siguiente, se aprecia una tendencia claramente alcista en el número de huracanes registrados en el océano Atlántico durante las 5 décadas que van entre 1969 y 2019.



En general, el número de huracanes de categoría 4 y 5 en todo el mundo se duplicó entre principios de los 70 del siglo pasado y principios del siglo XXI y la velocidad máxima de los vientos de los ciclones tropicales ha crecido aproximadamente en un 50 % en los últimos 50 años (Fuente: National Geographic).

El aumento en la intensidad y frecuencia de todo tipo de extremos climáticos (huracanes, inundaciones, olas de calor, etc.), no solo suponen cuantiosas pérdidas económicas (daños en cultivos, viviendas, infraestructuras, industrias, patrimonio artístico, industria turística, etc.), sino que también causan la muerte de miles de seres humanos. Así, por ejemplo, las muertes de personas (sobre todo ancianos) durante el verano por las altas temperaturas han aumentado sensiblemente durante los últimos años, especialmente en algunos países de Europa donde los veranos solían ser más suaves. En la ola de calor extremo del verano de 2003 se llegaron a producir unas 15000 muertes en Francia y unas 70000 en toda Europa (Viñas, 2022).

4.4. Alteración de los ritmos vitales y pérdida de biodiversidad



El aumento del efecto invernadero ha contribuido a que en algunas zonas del planeta, como España, los inviernos sean cada vez más suaves y los veranos más calurosos y largos. ¿Qué impacto puede tener esto en la flora, la fauna y la relación entre ellas?

Algunos ejemplos de dicho impacto son: Las hojas de las higueras brotan antes y se caen después, y otro tanto ocurre con muchas flores y frutos. En general, los árboles caducifolios tardan más tiempo del acostumbrado en perder las hojas.

El adelanto en la floración conlleva una presencia más prolongada de polen en la atmósfera, lo que repercute en las alergias. Además, si no hay coordinación temporal entre la floración y los insectos que polinizan las plantas, podemos encontrarnos con que la producción de miel y de frutas se vea gravemente afectada. Esta descoordinación temporal puede afectar también a otras especies. Así, si las orugas se adelantan de junio a mayo, es posible (y así ocurre ya en algunos casos) que los pájaros cuyos polluelos nacen a primeros de junio, se pierdan gran cantidad de ellas y mueran, con la consiguiente proliferación de insectos al disminuir la población de aves que se alimentan de ellos.

Algunas especies de plantas como enebros, hayas y robles, se pueden encontrar cada vez a mayor altitud, desplazando a otras especies alpinas como el abeto. Por otra parte, especies de animales que antes emigraban (como las cigüeñas) ahora no lo hacen y pasan aquí (España) el invierno, debido no solo a que encuentran abundante comida en los grandes vertederos de basura sino también a que los inviernos son cada vez más suaves. Otras aves características de climas más cálidos (como algunas cotorras) se han instalado definitivamente en ciertas zonas de España. Esta situación no solo se da en plantas y aves sino que afecta también a otros seres vivos como, por ejemplo, algunos mosquitos, característicos (hasta ahora) de zonas tropicales, transmisores de graves enfermedades como la malaria, el dengue o la fiebre del Nilo, los cuales se detectan cada vez en latitudes más altas.

El aumento en la temperatura de los océanos también propicia este tipo de cambios (mucho más rápidos que en el medio terrestre debido a ser un medio abierto y a la gran movilidad de las especies marinas). Solo en el Mediterráneo se ha contabilizado una entrada de varios centenares de especies exóticas (en su mayor parte de origen tropical). El aumento en la temperatura del agua del mar favorece también otros fenómenos tales como la proliferación de algas o las invasiones de medusas (lo que puede afectar al turismo de muchas zonas costeras). El calentamiento y la reducción del hielo marino (junto con la acidificación del agua líquida) afecta también a la reproducción del krill³¹ antártico, el animal más abundante del planeta y un eslabón fundamental de la cadena trófica del que se alimentan ballenas, focas, pingüinos, peces, etc.



¿Cómo puede contribuir el calentamiento global a la pérdida de biodiversidad?

Los desajustes que hemos mencionado son ejemplos de cambios que trastornan las cadenas reproductivas y alimentarias de muchas especies de plantas y de animales. Apenas han comenzado y sus efectos pueden ser catastróficos. Uno de dichos efectos es su contribución a la pérdida de biodiversidad.

En la actualidad se conocen aproximadamente entre 1'5 y 2 millones de especies animales, de las que más de la mitad son insectos, menos de 50 000 vertebrados y unas 14 000 entre aves y mamíferos. Sin embargo, no se sabe exactamente cuántas especies más quedan todavía por descubrir.

Debido al cambio climático, está subiendo la temperatura media de la superficie terrestre y marina, cambian los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones, se está elevando el nivel del mar

³¹ Como krill se designa un pequeño crustáceo marino parecido a las gambas o camarones. La mayoría son bioluminiscentes (emiten luz) y en su etapa adulta miden entre 1cm y 2 cm.

y aumentando su grado de acidez, etc. Dichos cambios, sobre todo la subida de las temperaturas en algunas zonas, están afectando a:

- ✓ La estación de la reproducción de animales y también de plantas.
- ✓ La migración de animales.
- ✓ La distribución de las especies y el tamaño de sus poblaciones. (A este respecto, conviene recordar que algunas especies foráneas se comportan de forma agresiva, desplazando a otras especies autóctonas).
- ✓ La frecuencia de plagas que, en general, se activan más con las altas temperaturas (por ejemplo, algunas especies como el escarabajo del pino, proliferan y son capaces de sobrevivir y colonizar grandes extensiones de pinares).
- ✓ La salud de muchas especies.

Actualmente diversas especies de todo el mundo están amenazadas de extinción (osos polares, corales, algunos peces y anfibios...) y de hecho, algunos factores relacionados con el aumento del efecto invernadero también contribuyen a dicha extinción (por ejemplo, la destrucción de la selva amazónica y bosques en Indonesia, los grandes incendios forestales, el aumento de la temperatura y del grado de acidez del agua marina, la fusión del hielo ártico, etc.).

El calentamiento global cambiará el aspecto y la localización de muchos bosques del mundo. Los bosques de las zonas templadas tenderán a moverse a zonas de mayor altitud. Sin embargo, algunas especies arbóreas, como las hayas, podrían no ser capaces de migrar a velocidad suficiente y se extinguirían, con lo que variedades completas de bosques podrían desaparecer y provocar una hecatombe forestal que aceleraría la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global. Aunque no se conoce exactamente el número de especies de seres vivos que debido al cambio climático y a otras causas (relacionadas o no con el mismo) están desapareciendo cada año, sí sabemos que la tasa de extinción detectada es entre 100 y 1000 veces superior a la esperada por causas naturales. Estamos perdiendo biodiversidad a tal velocidad, que algunos autores hablan ya de una sexta extinción masiva y de que, esta vez, a diferencia de la anterior (desaparición de los dinosaurios)... el meteorito somos nosotros mismos.



¿Qué relación existe entre la pérdida de biodiversidad y la salud humana?

La organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que más del 70% de las enfermedades humanas en los últimos 40 años (incluyendo la COVID-19), han sido transmitidas por animales silvestres (proceso conocido como “zoonosis”). Para el Fondo Mundial para la Naturaleza, la proliferación de este tipo de enfermedades (sida, ébola, gripe aviar, coronavirus, etc.), guarda una relación indudable con la destrucción de ecosistemas naturales, la pérdida acelerada de biodiversidad, el tráfico de especies y el consumo de carne de algunos animales salvajes. En efecto, en un medio natural bien conservado, con gran diversidad, los virus y otros patógenos se diluyen distribuyéndose entre distintas especies antes de poder afectar al ser humano. Cuando esto no es así, esta protección natural se debilita, favoreciendo la transmisión a las personas.

4.5. Aumento de la probabilidad de cambios climáticos grandes y abruptos

De acuerdo con el informe elaborado en 2007 por el IPCC, para el siglo XXI no se considera probable que ocurran de forma abrupta (perceptibles en escalas de tiempo comparables a la vida humana) grandes cambios climáticos tales como el derrumbe de la capa de hielo de la Antártida occidental, la pérdida de la capa de hielo de Groenlandia o cambios a gran escala en la circulación oceánica, de consecuencias planetarias (teniendo en cuenta los datos disponibles en esa fecha). No obstante, tam-

bién se afirmaba allí que: "...la ocurrencia de tales cambios se torna cada vez más probable a medida que avanzan las perturbaciones del sistema climático".

Este tipo de cambios ya han sucedido en el pasado. Una preocupación constante es que el aumento de la temperatura media terrestre pueda conducir a unas perturbaciones lo bastante fuertes como para desencadenarlos. A este respecto es necesario considerar el importante papel que desempeñan los denominados **ciclos de auto-reforzamiento**³² en la aceleración del aumento del efecto invernadero.



Proponed posibles ciclos de auto-reforzamiento que partan y terminen en el aumento de la temperatura media global del planeta.

En efecto: Si continúa aumentando la temperatura media global del planeta:

- ✓ Aumentará la cantidad de agua evaporada así como la proporción de vapor de agua que puede contener la atmósfera (sabemos que por cada aumento de 1 °C la capacidad de retención de vapor de agua por la atmósfera aumenta alrededor de un 7%), lo cual hará aumentar el efecto invernadero (recordemos que el vapor de agua es el gas que más contribuye al efecto invernadero) y, consecuentemente, la temperatura.
- ✓ Aumentarán los grandes incendios (se reseca el suelo y las hojas, se producen más rayos), con los que se emitirán a la atmósfera gases invernadero a la vez que habrá menos plantas para absorber CO₂ mediante la fotosíntesis, lo que hará aumentar el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ Aumentará la cantidad de hielo marino fundido, con lo que disminuirá el efecto aislante de la capa de hielo, favoreciendo la emisión de calor al aire desde el mar, aumentando la temperatura del aire.
- ✓ Aumentará la temperatura de los océanos y la posibilidad de que se libere metano desde los fondos del fondo marino → aumento del efecto invernadero → aumento de la temperatura.
- ✓ Aumentará la descongelación de suelos congelados de la tundra siberiana, Canadá y Groenlandia, ricos en materia orgánica que al descongelarse se descompone liberando CO₂ y CH₄ → aumento del efecto invernadero → aumento de la temperatura.
- ✓ Aumentará la fusión de grandes masas de hielo (continentales y marinas) que cubren extensas superficies, con lo que se reflejará menos radiación solar al espacio, calentándose más las zonas próximas (más oscuras) de agua o de suelo, lo que acelerará el proceso haciendo que se funda más hielo y aumente más la temperatura.
- ✓ Habrá bosques enteros (como los hayedos) que no podrán adaptarse al aumento rápido de temperatura desplazándose a latitudes más altas (no tendrán tiempo) y desaparecerán, con lo que aumentará el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ Aumentará la pérdida de humedad del suelo en muchas zonas y la sequedad de las hojas con la consiguiente disminución de productividad en la agricultura y un aumento de la aridez → menos vegetación → aumento del efecto invernadero → aumento de la temperatura.
- ✓ Se disolverá menos CO₂ en el agua marina (el CO₂ se disuelve mejor en agua fría que en agua caliente) y el mar podría pasar de ser un sumidero neto de CO₂ a emisor neto de dicho gas, aumentando el efecto invernadero y, por tanto, la temperatura.
- ✓ ...

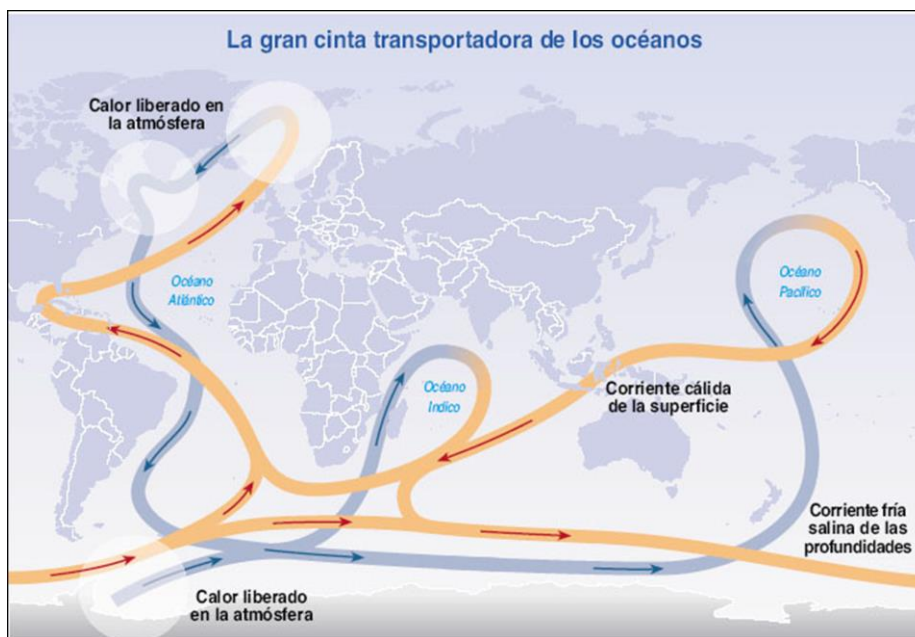
³² Un ciclo de auto-reforzamiento equivale a un proceso de retroalimentación en el cual la causa inicial que lo desencadena produce finalmente un efecto el cual alimenta a su vez la causa que lo produjo.

Los ciclos de auto-reforzamiento anteriores (y otros similares) pueden hacer que el sistema climático evolucione de manera imprevisible favoreciendo que se crucen determinados puntos críticos y se produzcan grandes cambios de forma rápida. A continuación, analizaremos un par de ellos.



¿Qué tendría que ocurrir para que se frenase o se parase la corriente del Golfo?

Un ejemplo de gran cambio climático es el posible **colapso de la Corriente del Golfo** que proporciona cantidades notables de energía mediante calor a los mares y tierras cercanas de Noruega, Groenlandia e Islandia. Esta corriente de aguas más cálidas, contribuye a que ciudades como París o Madrid, tengan temperaturas medias más elevadas que, por ejemplo, Montreal o Nueva York respectivamente, aunque se hallen en latitudes parecidas.



Fuente original: www.oceanservice.noaa.gov.

En el Atlántico N, al chocar las aguas cálidas con los vientos fríos que provienen del Ártico, se origina vapor que es llevado hacia el este por los vientos del oeste dominantes que circulan hacia nuestro continente. Después de la evaporación, el agua es más fría y más salada, lo que hace que su densidad sea mayor y se hunda en grandes cantidades y a gran velocidad hacia el fondo del océano, alimentando así la corriente transportadora de agua fría hacia el sur.

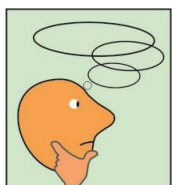
Se piensa que, si la densidad de las aguas superficiales del Atlántico Norte disminuyese debido al calentamiento, el agua dejaría de hundirse, con lo que esa cinta transportadora de energía podría pararse y con ello, la entrega de calor a amplias zonas del norte de Europa. Conviene conocer que la densidad del agua disminuye si lo hace la concentración de sales disueltas en ella, lo cual ocurre cuando aumenta la cantidad de agua dulce presente, bien sea proveniente de la fusión del hielo o de la intensificación del ciclo hidrológico. También disminuye (a partir de 4°C) con el aumento de temperatura.

En realidad, la determinación de en qué medida la corriente del Golfo contribuye a que los inviernos en Europa del norte sean más benignos que en las mismas latitudes de Estados Unidos o de Canadá, así como el grado de influencia que tiene la fusión del hielo ártico en frenar esta corriente, son cues-

tiones muy complejas, que dependen también de otros factores que los que se han considerado aquí, sin que en la actualidad se sepa muy bien cuánto influye cada uno. Sin embargo, lo que parece claro (ved informe 2019 del IPCC sobre océanos y criosfera) es que esta corriente y otras que circulan por Atlántico formando un entramado conocido por la siglas AMOC, se están debilitando y ralentizando durante las últimas décadas³³, afectando gravemente no solo al clima, sino también al fondo oceánico profundo, así como a la distribución de oxígeno y nutrientes marinos en el océano Atlántico y, consecuentemente, a la biodiversidad marina. Además se prevén otros efectos como, por ejemplo: una disminución de la productividad marina en el Atlántico Norte, más tormentas en el norte de Europa o un aumento del nivel del mar en la costa noreste de América del Norte, tanto más graves cuanto mayor sea dicho debilitamiento (de seguir la tendencia actual, el debilitamiento, a finales del siglo XXI, podría ser entre un 35% y un 40% mayor que el observado en la actualidad³⁴).

Otro posible cambio climático abrupto es la rápida desintegración del manto de hielo de Groenlandia o el derrumbe repentino de los mantos de hielo de la Antártida occidental. Los datos indican que hay un umbral de temperatura crítica (o punto de inflexión) más allá del cual el manto de hielo que cubre Groenlandia estaría condenado a desaparecer completamente. Ese umbral está situado entre 2 °C y 4 °C por encima del valor medio de la temperatura correspondiente al periodo preindustrial (estimada en 13,7 °C) y, desgraciadamente, podría cruzarse en el transcurso del siglo XXI. Aunque la fusión de ese manto de hielo sería un proceso que tardaría un milenio o más en completarse, lo cierto es que también puede verse acelerado por ciclos de auto-reforzamiento. Conviene saber que la fusión de la mitad de la capa de hielo de Groenlandia y la mitad de la de la Antártida occidental, ocasionarían tales inundaciones que habría que volver a dibujar los mapas del mundo.

En este cuarto apartado, hemos visto cómo el aumento del efecto invernadero está causando una elevación en la temperatura media global y algunas de las graves consecuencias de este calentamiento sobre el planeta (fusión del hielo continental y marino, aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, disminución del albedo terrestre, alteración de los ritmos vitales de numerosas especies, aumento de la acidez del agua de mar, etc.). También hemos visto que estas consecuencias y sus efectos se pueden ver aceleradas por determinados ciclos de retroalimentación, lo que puede dar lugar a que se superen determinados puntos de inflexión o umbrales críticos³⁵ y se produzcan algunos cambios catastróficos e irreversibles, de forma abrupta (Lenton, 2021). Concretamente hemos analizado cómo el retroceso de hielo marino y el calentamiento global asociado, está acelerando el derretimiento de la capa de hielo que cubre la mayor parte de Groenlandia y cómo esa agua de deshielo está contribuyendo, a su vez, al debilitamiento y posible colapso de corrientes marinas, produciéndose entonces toda una serie de efectos muy graves como, por ejemplo, en el clima europeo, en la distribución de nutrientes en las aguas marinas o la disminución de las capturas pesqueras.



A modo de síntesis de todo lo tratado en este apartado, elaborad un mapa conceptual que muestre las consecuencias del aumento del efecto invernadero y del consiguiente aumento en la temperatura media del planeta. Contemplad también en el mismo, algunos de los ciclos de retroalimentación a los que nos hemos referido. Después, proceded a cotejar vuestro mapa conceptual con el que se expone a continuación, introduciendo los cambios que se consideren oportunos para su mejora.

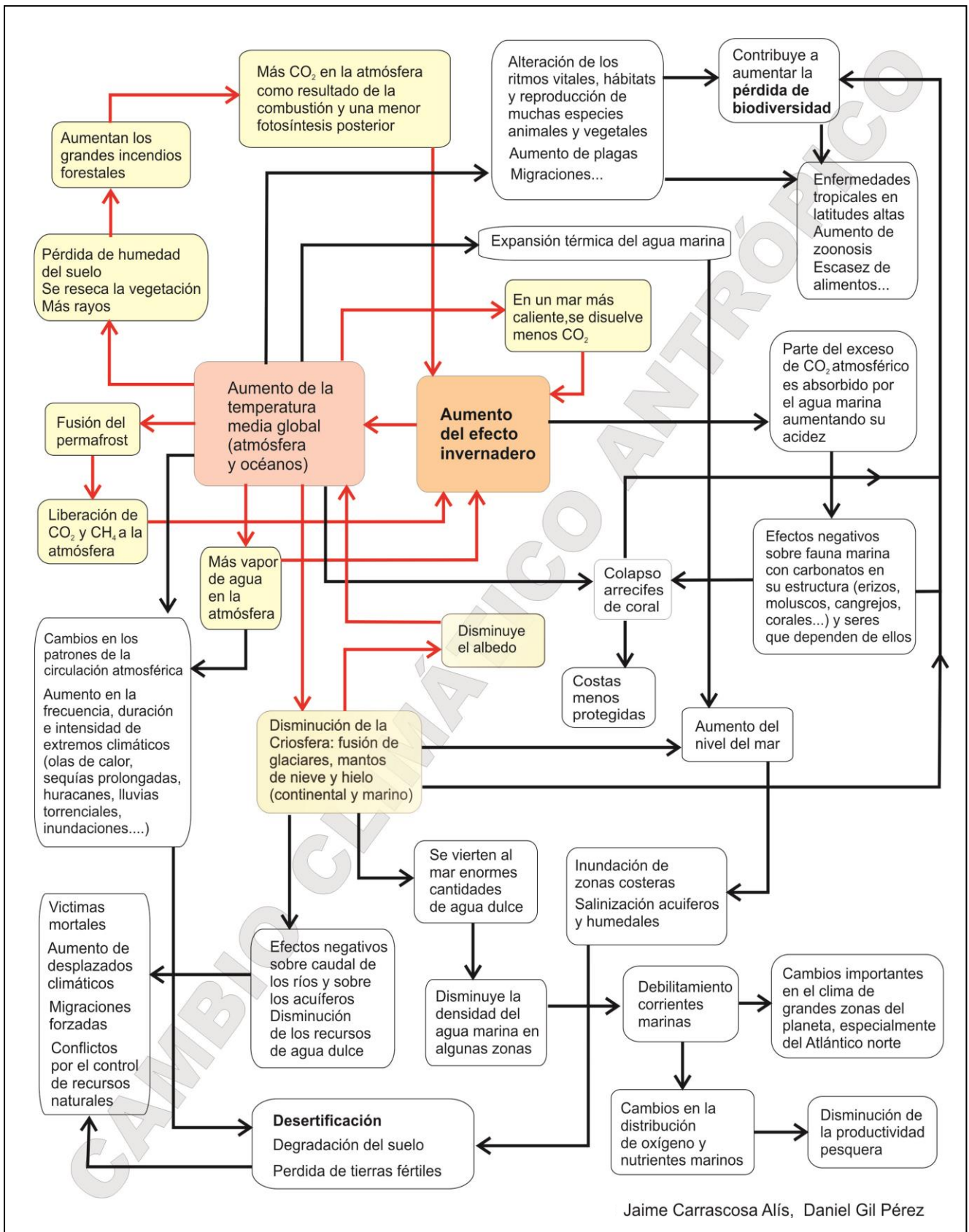
³³ Estudios recientes indican que la AMOC se ha ralentizado o debilitado ya un 15% desde la década de 1950. <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/reconstruction-major-north-atlantic-circulation-system-shows-weakening>

³⁴ José Migué Viñas. Nuestro reto climático. p. 230.

³⁵ Un punto de inflexión es un tipo de umbral tal que cruzar este actúa como un detonante que produce el que el sistema en el que ocurre pueda reorganizarse de forma abrupta e irreversible. Por ejemplo, de una Groenlandia cubierta casi totalmente de hielo a una Groenlandia en su mayor parte sin él.

ALGUNOS CAMBIOS QUE CONFORMAN EL CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPICO

Un proceso debido al aumento del efecto invernadero causado por actividades humanas, con enorme impacto sobre las personas, el medio físico y toda la biosfera



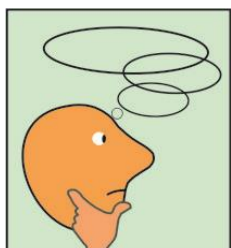
En este mapa conceptual -que sintetiza los diversos diagramas elaborados por varios equipos de profesores en formación y en activo- se ha intentado mostrar una visión global de algunos de los cambios más importantes que conforman el actual CCA. Como puede observarse, se trata de procesos que afectan a todos los componentes del sistema climático terrestre: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y la propia biosfera.

Los cambios representados, se hallan estrechamente vinculados, de forma que cada uno puede ser a la vez consecuencia y causa de otros. En algunos casos, estas vinculaciones producen ciclos de retroalimentación positiva que desempeñan un papel fundamental en la aceleración del cambio climático lo que puede favorecer que se sobrepasen determinados puntos críticos desencadenando cambios abruptos y, a veces irreversibles. Para resaltar estas retroalimentaciones se han coloreado los recuadros correspondientes y se han conectado entre sí mediante flechas de color rojo. También se puede observar efectos en cascada donde a partir de un cambio determinado, como es el vertido de grandes cantidades de agua dulce al mar, se produce toda una secuencia de importantes cambios.

El cambio climático antrópico es considerado como un límite fundamental que forma parte de los nueve límites planetarios que no deben sobrepasarse para así poder mantener la estabilidad y resiliencia del sistema terrestre en su conjunto. En este caso, una de las variables utilizadas para medir su evolución es la concentración de CO₂ en la atmósfera. El mapa conceptual, permite observar la estrecha vinculación que existe también entre dicha variable (integrada en el aumento del efecto invernadero que figura en el recuadro central), con otros límites planetarios como la integridad de la biosfera, la acidificación de los océanos o los cambios en el agua dulce y el suelo.

El mapa permite darse cuenta de la complejidad del cambio climático antrópico, en el que muchos sistemas se ven afectados (y en donde el tiempo de respuesta de cada uno a los cambios que en él se producen es diferente). La incidencia del cambio climático podría limitarse notablemente si se emprendiera una acción conjunta mundial de reducción drástica de las emisiones de gases invernadero (también debería interrumpirse la deforestación, especialmente en los bosques tropicales) a la vez que se ponen en marcha las medidas de adaptación necesarias (para el presente y para el futuro).

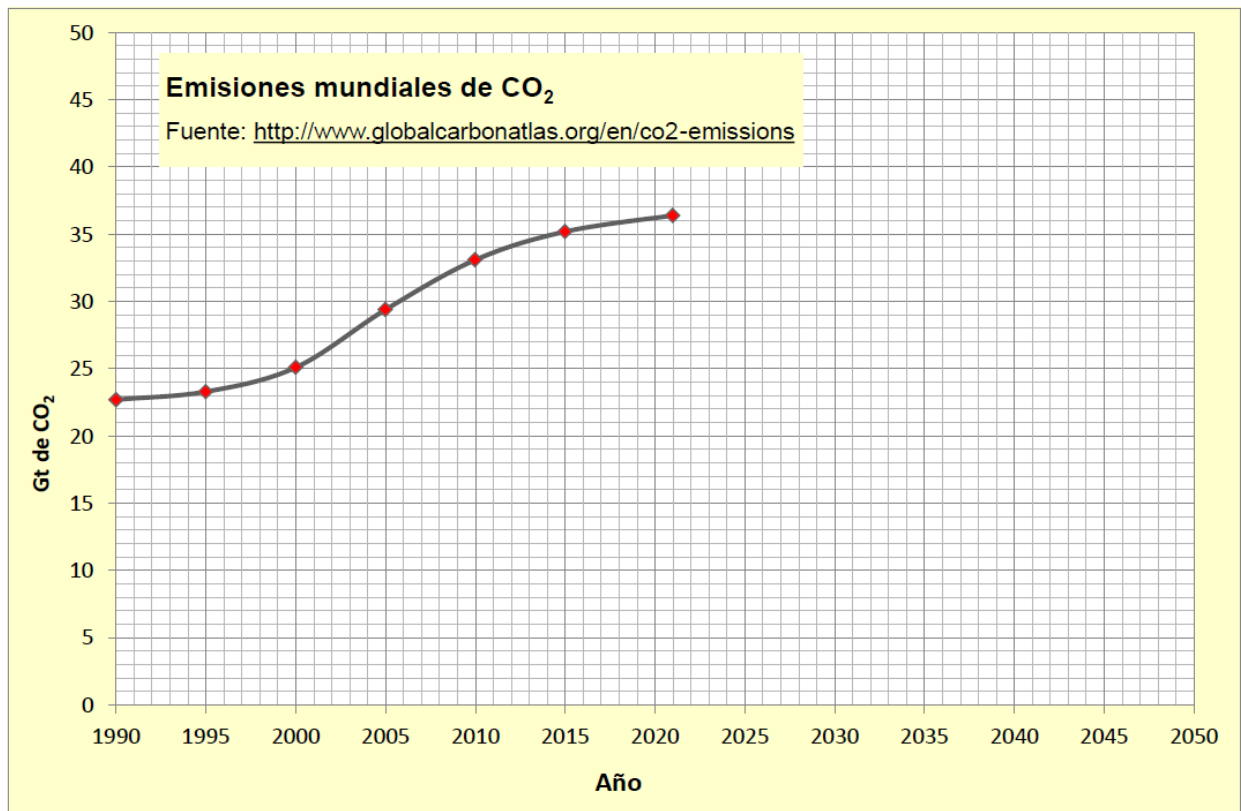
En el “[Informe Especial sobre el Calentamiento Global de 1,5 grados](#)”, publicado por el IPCC en 2018, se muestran los efectos que tendría superar en más de 1,5 ° la temperatura media terrestre (respecto de los niveles preindustriales). Para evitar consecuencias catastróficas e irreversibles, debemos conseguir que las emisiones globales de CO₂ en 2030 disminuyan aproximadamente en un 45% con respecto a las emisiones de 2010, y que continúen disminuyendo hasta alcanzar la neutralidad³⁶ en 2050. El informe advierte también de que será necesario el uso de tecnologías para la captura directa de CO₂ atmosférico.



En la gráfica siguiente se dan algunos valores anuales de las emisiones mundiales de CO₂ en Gt (gigatoneladas)¹, según datos de Global Carbon Project. De acuerdo con el párrafo anterior:

¿Qué valor máximo deberían alcanzar las emisiones globales de CO₂ en 2030? Dibujad ese punto en la gráfica y, luego, trazad una posible línea descendente desde 2021, que pase por dicho punto y termine en emisiones netas nulas (o casi nulas) para 2050. Comparad la línea obtenida con la que resultaría si se siguiera con la tendencia que se observa en la gráfica.

³⁶ Entendemos por neutralidad, que no se emita más CO₂ del que los reservorios naturales de carbono (como bosques y turberas), puedan absorber.



Hemos visto que el cambio es algo consustancial en nuestro planeta, que a lo largo de miles de millones de años ha experimentado cambios mucho más intensos que los ya iniciados y los que se avecinan. No obstante, hay algunas características del cambio climático actual que hacen que sea único.



¿Qué características específicas tiene el cambio climático actual que lo hacen diferente de otros cambios climáticos ya ocurridos a lo largo de la historia de la Tierra?

El cambio climático actual, se caracteriza esencialmente por:

- ✓ Estar causado por la humanidad, que en este caso actúa como una nueva y poderosa fuerza, capaz de afectar a procesos fundamentales de la biosfera.
- ✓ La rapidez con que está teniendo lugar: Desde los inicios de la era industrial (1750), la concentración de CO₂ atmosférico no ha cesado de crecer hasta alcanzar en 2023 las 420 ppm, lo que supone un aumento de 140 ppm en tan solo 273 años, un aumento mayor que el ocurrido en los 12000 años precedentes (desde que acabó la última glaciación hasta el comienzo de la era industrial). Dicha rapidez, incidirá negativamente en las posibilidades de adaptación de muchas especies.
- ✓ Forma parte de un cambio global más amplio caracterizado por toda una serie de graves problemas de distinto tipo que afectan a la humanidad y al resto de los seres vivos y que están estrechamente relacionados, interaccionando entre ellos de forma que cada uno puede ser, a la vez, causa de unos y consecuencia de otros.
- ✓ Sabemos cuáles son sus causas y cómo hacerle frente antes de que se produzcan grandes cambios, catastróficos e irreversibles a escala de tiempo humana.

Hasta aquí hemos estudiado qué es el efecto invernadero y en qué consiste su aumento. Los gases invernadero y sus fuentes, así como algunas de las consecuencias más importantes del proceso de calentamiento global del planeta al que estamos asistiendo, las cuales forman parte ya de un verdadero cambio climático terrestre de carácter global. Cabe plantearse ahora qué podemos (y debemos) hacer para frenar dicho cambio climático, mitigar sus efectos y adaptarnos en lo posible, antes de que se produzcan grandes cambios planetarios catastróficos e irreversibles, de gravísimas consecuencias para la humanidad y resto de seres vivos.

5. ¿QUÉ PODEMOS Y DEBEMOS HACER?

En primer lugar, hemos de analizar las causas profundas del problema. Si lo hacemos, nos daremos cuenta de que el cambio climático no es algo aislado, sino que se halla fuertemente ligado con otros graves problemas. Cabe pensar, pues, que la mejor estrategia (y seguramente la única realmente efectiva) para enfrentarnos al cambio climático sea una estrategia global en la que se aborde conjunta y simultáneamente el tratamiento de todos ellos.

5.1. ¿Con qué otros graves problemas está relacionado el cambio climático?

En 1990 se emitieron globalmente a la atmósfera unas 22'7 gigatoneladas (Gt) de CO₂ mientras que en 2023 esa cantidad aumentó a 37'8 Gt. De seguir esa tendencia, no será posible lograr que en 2030 las emisiones de CO₂ se hayan reducido a la mitad de las actuales (como se recomienda en la tercera parte del sexto informe del IPCC), ni que sigan disminuyendo drásticamente para evitar los peores efectos del cambio climático. Cabe, pues, plantearse:



¿Por qué emitimos cada vez más CO₂?

Cada vez emitimos más CO₂ porque el modo de crecimiento económico vigente necesita para mantenerse un consumo cada vez mayor de recursos naturales, y para extraerlos, procesarlos y distribuir todo lo que se obtiene de ellos, se precisa cada vez más energía, la cual se obtiene de forma mayoritaria quemando combustibles fósiles y, en consecuencia³⁷, emitiendo CO₂. El problema se agrava si tenemos en cuenta que la población mundial a comienzos 2025 superaba ya los 8200 millones de habitantes (de los cuales, cerca del 60% viven en ciudades) y que mientras que una quinta parte de toda esa población apenas tiene para poder subsistir, otra quinta parte consume muy por encima de lo que se necesita para vivir dignamente. Ese consumo incluye: viviendas, vehículos, alimentos, electrodomésticos, ropa... y muchos otros bienes y servicios.



Josep Renau. Sociedad de consumo

³⁷ La quema de cualquier combustible fósil (carbón, petróleo y sus derivados, gas natural) y de madera, siempre produce (entre otras sustancias) CO₂.

Así pues, el cambio climático está muy relacionado con otros graves problemas tales como el hiperconsumo, la superpoblación y las grandes desigualdades sociales. A continuación, analizaremos brevemente cada uno de ellos.

El modo de crecimiento económico actual es un crecimiento insostenible guiado por intereses particulares a corto plazo, que actúa como si el planeta dispusiera de recursos ilimitados. Un crecimiento especialmente acelerado desde la segunda mitad del siglo XX y que se traduce en el **hiperconsumo**. Se trata de un crecimiento explosivo, que algunos defienden como algo deseable por haber hecho posible indudables avances sociales (para una parte de la humanidad), pero que también tiene repercusiones muy negativas para el medio ambiente y consiguientemente, para el futuro de todos.

Para que este modo de crecimiento económico pueda continuar, es necesario un consumo cada vez mayor e ininterrumpido de todos los bienes que se producen continuamente. Un hiperconsumo sobre el que tenemos mucha mayor responsabilidad las sociedades “desarrolladas”, y que sigue creciendo como si las capacidades del planeta fuesen infinitas.



Enumerad aspectos importantes que caractericen el hiperconsumo

Entre otros, se pueden citar los siguientes:

- ✓ Estar estimulado por una publicidad agresiva, creadora de “necesidades”.
- ✓ Impulsar el usar y tirar, ignorando reducir, reutilizar, reciclar...
- ✓ Modas efímeras.
- ✓ Reducir la durabilidad de productos (obsolescencia programada).
- ✓ Promocionar ciertos productos, a pesar de su elevado gasto energético y su alto impacto ecológico, como los coches "todoterreno" circulando por ciudades.
- ✓ No reparar componentes de máquinas y aparatos. Cuando alguna pieza se estropea, se cambia el bloque completo al que pertenece o se tira y se compra otro aparato nuevo.

Algunos indicadores de hiperconsumo son: uso de vehículos particulares a motor para desplazarse escasos metros, acumulación en los hogares de numerosos objetos y productos innecesarios, renovación sistemática de aparatos y máquinas todavía útiles o de ropa y calzado en buen estado, etc.

No se trata, claro está, de condenar todo consumo, sin matizaciones. Es preciso disminuir, sobre todo, el consumo innecesario y evitar el de productos que tienen un gran impacto negativo sobre el medio natural, pero sin olvidar que el consumo contribuye al desarrollo humano cuando mejora la calidad de vida de unas personas sin menoscabo de la vida de las demás. Así, mientras que la mayoría de habitantes de Estados Unidos, Europa o Canadá, deberían consumir menos y eliminar un derroche que no contribuye en nada a la calidad de vida, para más de 650 millones de las personas más pobres del mundo, aumentar su consumo es cuestión de vida o muerte³⁸ y un derecho básico.

El hiperconsumo afecta solo a una quinta parte de la humanidad, pero esto no significa que el consumo mucho más moderado (y a menudo insuficiente para unas condiciones de vida aceptables) del resto, no repercuta también sobre el medio ambiente. Ello nos lleva a la consideración de un segundo factor: el crecimiento demográfico. Hablar de miles de millones con necesidad de consumir nos remite a la explosión demográfica en un planeta de recursos limitados. Obviamente, si en la Tierra

³⁸ Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de 2024, entre 713 y 757 millones de personas en el mundo podrían haber padecido hambre en 2023.

viviesen 2000 millones de personas, los problemas a los que nos estamos refiriendo no serían tan agobiantes.



La superpoblación representa hoy un grave problema, sobre el que se viene alertando desde hace décadas en las sucesivas Conferencias Mundiales de Población y en informes de los expertos. Sin embargo, una buena parte de la ciudadanía no parece tener conciencia del mismo y se detectan, incluso, resistencias a tomarlo en consideración; de ahí que sea necesario proporcionar algunos datos que permitan comprender su papel en el actual crecimiento insostenible:

- ✓ La población mundial superó en el año 2011 los 7000 millones de habitantes, el doble de la que había en 1971 (solo 40 años antes) y, aunque se ha producido un descenso en la tasa de crecimiento de la población, ésta sigue aumentando en unos 75 millones (netos) cada año. En 2023 sobrepasaba los 8000 millones. Para el 2050 se prevé más de 9000 millones de habitantes y la gran mayoría de ellos vivirá en ciudades (ahora mismo, en 2025, ya lo hace cerca del 60% de la población mundial), potenciando aún más otros problemas como el crecimiento urbanístico descontrolado, la acumulación de residuos en inmensos vertederos, la contaminación urbana y el aumento del efecto invernadero (en general, en el medio urbano se emite más CO₂ por persona y año, que en el medio rural).
- ✓ Solo con la población actual mundial se precisaría actualmente de los recursos de más de dos planetas como la Tierra para garantizar que todas las personas alcanzasen niveles y formas de vida semejantes a los de los países más desarrollados.
- ✓ Los seres humanos consumimos cada vez más recursos (como territorio, pesca, minerales, agua potable, algunas fuentes de energía, etc.), al mismo tiempo que generamos también más residuos. Además, dicho consumo de recursos avanza en la actualidad a un ritmo mucho mayor que el del crecimiento de la población mundial, lo que, de seguir así, supone que la **capacidad de carga**³⁹ de nuestro planeta se reduzca sensiblemente.

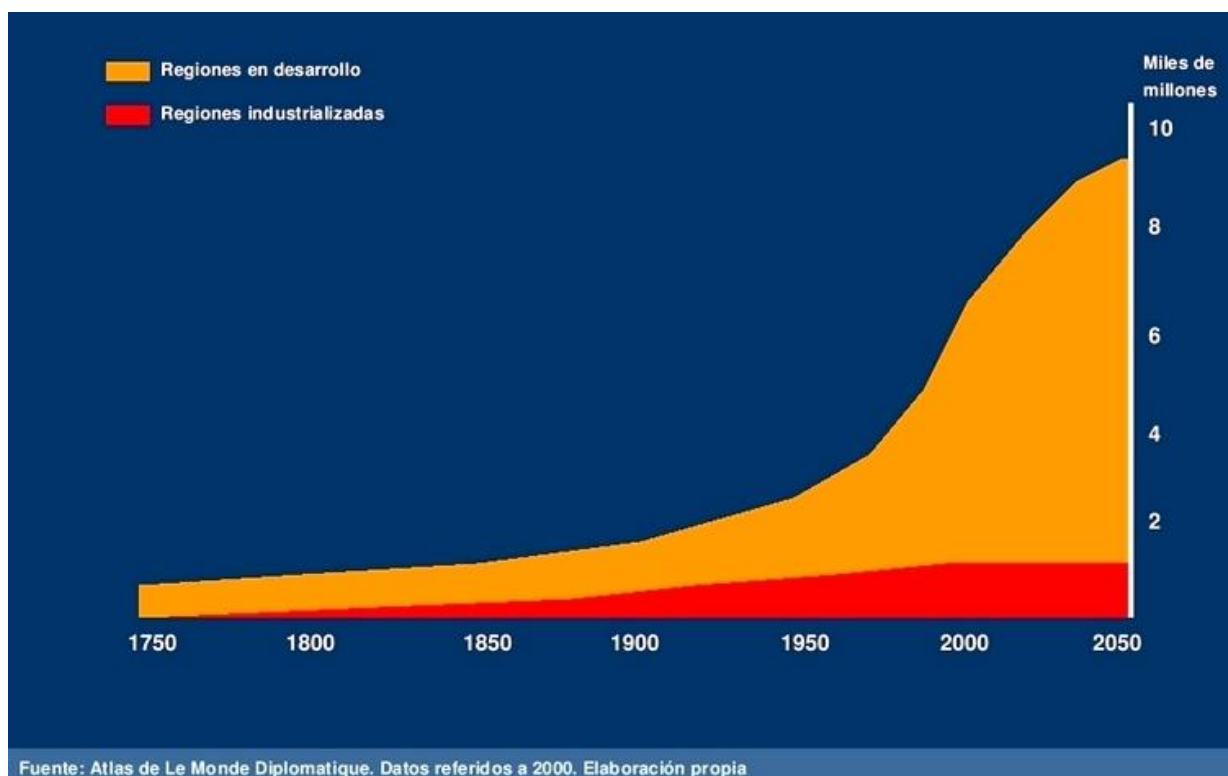
³⁹ Número máximo de personas que la Tierra puede soportar teniendo en cuenta los recursos existentes.

- ✓ Existen grandes diferencias. Por ejemplo, la **huella ecológica**⁴⁰ sobre el planeta de un norteamericano medio es unas 18 veces mayor que un ciudadano medio de Haití o de República del Congo. En cuanto a las emisiones globales de CO₂, una pequeña minoría en torno al 10% de la población mundial, está produciendo entre el 34% y el 45% de toda la emisión global de CO₂ (Fuente: VI informe IPCC parte III).

La superpoblación constituye, pues, un factor destacado que potencia muchos otros problemas, ya que las personas de los países subdesarrollados aspiran, legítimamente, a alcanzar el mismo nivel de vida que las de los más desarrollados, lo que se traduce en cosas tan concretas como: tener electrodomésticos, vehículo a motor, utensilios, vestidos y demás bienes de consumo, así como acceso a una buena alimentación, educación, sanidad, capacidad para viajar, etc. Todo ello, cuando se multiplica por los millones de personas que lo demandan, supone utilizar cantidades ingentes de recursos naturales y de energía, así como la generación de un gran número de residuos de todo tipo, incrementando problemas como el agotamiento de combustibles fósiles, la deforestación, la disminución de las pesquerías, el aumento del efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad, la disminución de agua potable, la contaminación pluriforme, etc. Pensemos en los últimos datos que tenemos sobre países como China o India. China, por ejemplo, emite ya, globalmente, más CO₂ que los Estados Unidos y si estos dos grandes países alcanzasen un nivel de vida similar al de Estados Unidos o Europa, el consumo mundial de recursos se triplicaría.



La gráfica siguiente representa el crecimiento de la población mundial y su previsión, entre 1750 y 2050, distinguiendo entre zonas más desarrolladas (industrializadas) y zonas más pobres. Utilizadla para responder las tres cuestiones que se plantean a continuación:



⁴⁰ Índice de impacto ambiental que se define como el área de territorio ecológicamente productivo necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos producidos por habitante y año, para una población dada.

- a) Aproximadamente, ¿qué población había en 1970?
b) ¿Cuánto tardó en duplicarse?
c) A la vista de las diferencias que se aprecian en la gráfica (regiones en desarrollo e industrializadas), ¿cuál es el modo más efectivo de enfrentarnos a la superpoblación del planeta?

Analizando la gráfica, podemos ver que la población mundial en 1970 era del orden de 3500 millones de habitantes y que se duplicó aproximadamente en 40 años. Las previsiones indican que para 2050 se superarán los 9000 millones de habitantes. También podemos ver que el aumento de población es mucho mayor en las regiones en desarrollo que en las industrializadas (o más desarrolladas), mostrando así claramente que el mejor método anticonceptivo es la incorporación de la mujer al trabajo (junto con el acceso a la cultura, sanidad, educación, una jubilación digna, etc.).

De los más de 8200 millones de habitantes que pueblan la Tierra⁴¹, tan solo una quinta parte consume recursos naturales en exceso (y la mayoría quiere consumir más aun y/o no está dispuesta a “rebajar” nada), mientras que los 4/5 restantes aspiran a imitar a ese grupo “privilegiado” (y la mayoría se pone a ello en cuanto puede). Dentro de este gran grupo hay muchos (aproximadamente la quinta parte de la población mundial) que apenas tienen para vivir. Esta situación, da lugar a la existencia de graves desigualdades. Cabe, pues, plantearse:



¿Qué relación puede haber entre el cambio climático y la existencia de grandes desigualdades y conflictos entre distintas poblaciones humanas?

Entre las grandes (y graves) desigualdades que afectan a distintos grupos humanos, es posible referirse a las diferencias en la esperanza de vida (en algunos países africanos, por ejemplo, la esperanza de vida no llega a los sesenta años); las condiciones de trabajo; el acceso a la educación o la sanidad, disponer de una vivienda digna, etc., pero también, a la existencia de grandes diferencias en la calidad del medio ambiente y en la disponibilidad de agua potable y otros recursos básicos. Todas esas desigualdades están siendo (cada vez más) una fuente de conflictos.

El cambio climático, al incidir negativamente en recursos naturales como el agua potable, algunas fuentes de energía, suelos de cultivo, bosques, pesquerías, etc., contribuye a acelerar su agotamiento, a potenciar las luchas por el control de los mismos y a la aparición de migraciones masivas de un gran número de personas buscando mejores condiciones de vida en otros lugares (desplazados climáticos) y, como ya se ha señalado anteriormente, un habitante de una gran ciudad consume más recursos y más energía que un habitante del medio rural (de hecho, según ONU-HABITAT⁴², más del 70% de las emisiones de CO₂ proceden de usos urbanos).

Además, la pobreza extrema obliga también a la sobreexplotación de los ecosistemas contribuyendo a la disminución de recursos naturales, algunos de ellos muy importantes para frenar el cambio climático (como sucede con los bosques).

Los efectos negativos del cambio climático son más devastadores en las mujeres que en los hombres, y van desde una carga más pesada en el hogar a una mayor mortalidad por desastres naturales cada vez más grandes y frecuentes.

No podemos olvidar tampoco, los graves conflictos que se pueden producir entre los países ribereños al polo norte por el control de los enormes recursos (alrededor del 22% de las reservas mundia-

⁴¹ Cifra referida a comienzos de 2025

⁴² <https://onu-habitat.org/index.php/las-ciudades-cause-y-solucion-del-cambio-climatico>

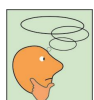
les de hidrocarburos se hallan en el Ártico) allí existentes, los cuales serán más accesibles si, debido al calentamiento global, continúa fundiéndose el casquete polar.

5.2. ¿Qué medidas concretas conviene impulsar frente al cambio climático?

Hemos visto que el cambio climático es un problema extraordinariamente grave al que se enfrenta la humanidad en su conjunto, pero no es el único ya que a su vez está relacionado con otros como el hiperconsumo, la superpoblación y la existencia de grandes desigualdades entre diferentes grupos humanos. Las estrechas relaciones existentes entre todos ellos, permiten comprender la necesidad prioritaria de un desarrollo sostenible⁴³ mundial como marco global en el que hacerles frente de forma conjunta y simultánea y la poca efectividad que tendría tratarlos de forma aislada.

Sabemos cuáles son los problemas y sus causas. Además, disponemos de los conocimientos y medios necesarios para poder enfrentarnos a ellos. Falta, sin embargo, tomar las decisiones adecuadas para poner en marcha de una forma realmente efectiva las medidas que permitan una transición justa hacia la sostenibilidad. Todavía es posible hacerlo, pero cada vez disponemos de menos tiempo y es necesario actuar ya, antes de que se desencadenen cambios grandes e irreversibles, como a los que nos hemos referido anteriormente. A continuación, trataremos algunas de esas medidas.

5.2.1. Medidas científico-tecnológicas



¿Qué medidas de tipo científico-tecnológico conviene impulsar para favorecer un desarrollo sostenible y poder hacer frente así al cambio climático y al resto de graves problemas que suponen una seria amenaza para la vida en el planeta?

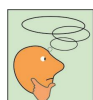
Es necesario dirigir los esfuerzos de investigación e innovación hacia el logro de tecnologías favorecedoras de un desarrollo sostenible incluyendo, entre otras:

- ✓ Mayor utilización de fuentes de energías limpias y renovables.
- ✓ Incremento de la eficiencia energética (que posibilite el necesario ahorro de energía). Ello puede hacerse mediante mejoras tecnológicas en muchos campos (por, ejemplo, en la construcción, iluminación, electrodomésticos, automoción...) y dando prioridad a sectores como el ferrocarril y el transporte marítimo.
- ✓ Reducción de la contaminación, con la disminución y tratamiento de residuos.
- ✓ Gestión sostenible del agua y otros recursos esenciales.
- ✓ Desarrollo de tecnologías agrarias y forestales sostenibles.
- ✓ Prevención y tratamiento de enfermedades (en particular las que azotan a los países menos desarrollados).
- ✓ Logro de una paternidad y maternidad responsables, evitando los embarazos indeseados y fomentando tasas de natalidad adecuadas a los recursos disponibles.
- ✓ Regeneración de entornos dañados.
- ✓ Fabricación de objetos con materiales biodegradables.
- ✓ Uso de tecnologías sostenibles para la captura y almacenamiento del CO₂.
- ✓ ...

No obstante, es preciso también analizar con cuidado las nuevas medidas científico-tecnológicas que se pretendan llevar a cabo, para que las aparentes soluciones no generen problemas más graves, co-

⁴³ El desarrollo sostenible, es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. No hay que confundir ni tergiversar este concepto asociándolo erróneamente a crecimiento físico cuantitativo. Para más detalles y aclaraciones, consultad el excelente trabajo de Gil y Vilches (2019) al respecto. (Ved referencia bibliográfica en la página 55 de esta unidad).

mo ha sucedido ya otras veces. Pensemos, por ejemplo, en la revolución agrícola que tras la segunda guerra mundial, incrementó notablemente la producción de las cosechas gracias a los fertilizantes y a pesticidas químicos como el DDT, satisfaciendo así las necesidades de alimentos de una población mundial que experimentaba un rápido crecimiento; pero sus efectos perniciosos (cáncer, malformaciones congénitas...) fueron denunciados y el DDT y otros “Contaminantes Orgánicos Persistentes” (COP) han sido prohibidos en muchos países. Recordemos también lo ocurrido durante la década de los 80 del siglo pasado, al pretender resolver el problema de los despojos animales reutilizándolos en forma de piensos (harinas cárnicas) que generó el problema, mucho más grave, de las “vacas locas”, obligando a sacrificar millones de cabezas de ganado. Recientemente se han sugerido, para luchar contra el cambio climático, soluciones muy discutibles, tales como echar hierro a los océanos (para estimular el crecimiento de algas marinas que eliminen más CO₂ a través de la fotosíntesis), inyectar sulfatos en la estratosfera (que reflejen la luz solar) o impulsar el uso de la energía nuclear (que produce solo la sexta parte de CO₂ que el carbón, por cada kWh de energía eléctrica producido).



Además de no generar problemas más graves que los que pretenden solucionar ¿qué otros criterios convendría tener presentes para hacer que las nuevas soluciones científico-tecnológicas puedan contribuir realmente a un desarrollo sostenible?

Para que las soluciones científico-tecnológicas puedan contribuir a un desarrollo realmente sostenible⁴⁴, habría que conseguir, al menos, que:

- ✓ Las tasas de explotación de los recursos naturales renovables no superen a las de su regeneración (o, para los no renovables, a las de creación de sustitutos renovables).
- ✓ Las tasas de emisión de residuos deberían ser inferiores a las capacidades de asimilación de los ecosistemas a los cuales se emiten esos residuos.
- ✓ Dar prioridad a tecnologías que aumenten la productividad de los recursos, más que incrementar la cantidad de recursos extraídos. Esto significa, por ejemplo, formas de iluminación más eficiente, frente a más centrales eléctricas.
- ✓ Favorecer aquellas las tecnologías orientadas a la satisfacción de necesidades básicas y que contribuyan a reducir las desigualdades entre los distintos grupos humanos (por ejemplo, más placas solares en viviendas y menos centrales nucleares).

Cabe señalar que la aplicación adecuada de nuevas tecnologías se enfrenta, a menudo, con intereses particulares a corto plazo y también, a veces, con impedimentos de tipo ético y político. Ello viene a cuestionar la idea simplista de que las soluciones a los problemas con que se enfrenta hoy la humanidad dependen, únicamente, de la disposición de tecnologías más avanzadas.

Entre las nuevas tecnologías, tienen un papel esencial las que permiten utilizar energías renovables. Por energía renovable se entiende aquella que se obtiene de una fuente prácticamente inagotable y que se encuentra en la naturaleza. Su carácter inagotable hace referencia a su cantidad y duración (por ejemplo, el Sol va a durar bastante más que la Tierra) o bien a que se puede reponer de forma natural y volver a ser usada (por ejemplo, la madera o el agua). Entre las energías renovables se encuentran la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, y la procedente de la biomasa (ésta última tiene graves inconvenientes cuando se obtiene de cereales que podrían dedicarse a la alimentación en lugar de quemarlos, y no de deshechos vegetales).

⁴⁴ No puede ser realmente sostenible nada que suponga un crecimiento neto continuado, basado en el consumo de unos recursos naturales finitos, no renovables.

El agotamiento de fuentes de energía como el petróleo o el uranio y los graves problemas medioambientales que ocasiona el creciente consumo de dichas fuentes, han abierto un gran debate en torno a la necesidad de potenciar el uso de las fuentes de energía renovables limpias.



En España, en el año 2010, las energías renovables en su conjunto supusieron algo más del 9% del total de energías primarias utilizadas, y el 35% de la generación de electricidad, siendo la energía eólica (aerogeneradores) el sector de mayor crecimiento. Sin embargo, entre los años 2011 y 2016, el apoyo al desarrollo de las renovables se vio drásticamente reducido (algo verdaderamente incomprensible en un país tan rico en sol y tan pobre en petróleo). Afortunadamente, en la actualidad, el sector de las renovables ha vuelto a recuperarse y durante el año 2023, según Red Eléctrica de España, supuso más del 50% del total de la energía eléctrica total generada. Este auge de las renovables también se extiende a muchos otros países pero a pesar de ello, en la actualidad, el consumo de energía obtenida a partir de combustibles fósiles todavía es unas 14 veces mayor que el consumo de energía fotovoltaica y eólica⁴⁵.

Una medida también de gran interés es la investigación, desarrollo y puesta en práctica de tecnologías eficaces para secuestrar y almacenar CO_2 de la atmósfera. Su importancia se hace evidente si pensamos que, aunque dejásemos de emitir CO_2 , los efectos del ya emitido sobre el calentamiento global, seguirán notándose (debido a su larga vida en la atmósfera), durante centenares de años. Una forma de paliar esto, sería capturar todo ese exceso de CO_2 .

Algunos autores proyectan un futuro basado en las energías renovables, su almacenamiento, distribución y aprovechamiento usando nuevas tecnologías. En mayo de 2011 el IPCC publicó un sólido informe donde se mostraba la viabilidad de satisfacer las necesidades energéticas del planeta contando únicamente con recursos renovables y limpios. En dicho informe se expresaba también la necesidad de realizar las inversiones necesarias para lograr este objetivo antes de 2050, con lo que se podría evitar que la concentración de gases de efecto invernadero supere valores que impliquen cambios incontrolables.



⁴⁵ Fuente: Ver en bibliografía Ripple et al, (2024)

Para el economista norteamericano Jeremy Rifkin, nos encontramos ante una tercera revolución industrial. Si la primera estuvo asociada al uso del vapor (locomotoras) y construcción de vías de ferrocarril, la segunda al petróleo (motor de explosión) y la construcción de carreteras, esta tercera se asocia a la expansión de las energías renovables. Según este autor, en los próximos años se renovarán o construirán millones de hogares que funcionarán como plantas energéticas, además de cómo hábitats. Estos edificios acumularán y generarán energía local a partir de fuentes como el Sol o el viento para cubrir sus propias necesidades, así como para generar un excedente que pueda compartirse. Estos millones de productores locales con acceso a redes eléctricas inteligentes, podrían producir y compartir una cantidad de energía muy superior a la de las viejas formas centralizadas de las que actualmente dependemos. Experiencias de este tipo ya se están llevando a cabo con éxito (a nivel local) en algunos países como Alemania.

Muchas de las medidas tecnocientíficas expuestas están ya disponibles, pero precisan para su implantación efectiva y generalizada de una serie de condiciones que no se proporcionan, quizás porque afectan a determinados planteamientos ideológicos e intereses económicos. Todo ello hace ver la importancia de las medidas educativas y políticas que deben acompañarlas.

5.2.2. Medidas educativas

No podemos pensar en un cambio en el modo de crecimiento económico y de modelo energético, ni tampoco en que los políticos lo impulsen, si no existen ciudadanos bien informados que lo demanden y un consenso social que favorezca su desarrollo. Y para ello, la educación ambiental debe jugar un papel fundamental en todos los centros escolares, en la formación del profesorado, en los medios de comunicación (museos, TV, prensa, etc.) y también en las familias.



La educación ambiental también ha de servir para aclarar algunas ideas erróneas ampliamente extendidas, como la confusión entre los conceptos de Tiempo (meteorología) y Clima, pensar que el adelgazamiento de la capa de ozono guarda una relación directa de causa-efecto con el cambio climático, creer que no sabemos todavía bastante sobre el cambio climático y que habría que esperar a saber más para tomar decisiones y actuar, etc. (Ved anexo 1 al final del tema).

En concreto, necesitamos una educación que ayude a comprender los problemas ambientales y del desarrollo, en su globalidad, teniendo en cuenta su interconexión y las repercusiones a corto, medio y largo plazo, tanto para una colectividad dada como para el conjunto de la humanidad y nuestro planeta. Por eso, el tema de la sostenibilidad debe impregnar los currículos escolares. Pero no se trata solo de conocer y comprender. Es necesario también, que toda esa educación ambiental se traduzca, sobre todo, en ciudadanos críticos frente a los bulos y campañas de desinformación, junto a **acciones** con las que poner en práctica lo que cada persona puede hacer (junto a muchas otras), en los distintos ámbitos.



¿Qué podemos hacer cada uno de nosotros? (Elaborad una lista con vuestras propuestas concretas y argumentadlas posteriormente).

A continuación, y a título de ejemplo, se detallan algunas propuestas:

Reducir el consumo de:

Agua. Utilizar dispositivos de ahorro en casa, duchas rápidas, control de fugas de agua, riego por goteo, no dejar grifos abiertos...

Energía en climatización. Aislar térmicamente la vivienda; no programar temperaturas ni demasiado altas ni demasiado bajas; priorizar otros métodos como ventilación natural, toldos, ponerse más o menos ropa...

Energía en iluminación. Usar luces de bajo o muy bajo consumo como la tecnología LED, aprovechar al máximo la luz natural, apagar siempre las luces innecesarias o de los sitios donde no vayamos a estar, no contratar una potencia eléctrica mayor de la necesaria o, en su caso, rebajar la existente...

Energía en transporte. Desplazarse a pie o en bicicleta, usar transporte público colectivo como tren o autobús, organizar desplazamientos de varias personas en un mismo vehículo, conducir a velocidad reducida utilizando marchas largas y sin aceleraciones bruscas, subir y bajar por escaleras en vez de usar ascensores, evitar viajes en avión siempre que sea posible, bajar límites de velocidad...

Energía en electrodomésticos. Comprar electrodomésticos de bajo consumo; cargar al máximo el lavavajillas o lavadora antes de poner en funcionamiento; mantener aparatos en buen estado para evitar sobreconsumos; no dejar televisor, ordenador o equipos de música en modo stand-by; utilizar pilas recargables...

Energía en la alimentación. Mejorar la alimentación incluyendo más frutas y verduras, sin excederse en el consumo de carnes; evitar productos exóticos que exigen transportes largos; consumir productos de temporada; priorizar alimentos con baja huella ecológica; dieta lo más variada posible; comprar productos de proximidad...

Papel. Evitar imprimir documentos que se puedan leer en pantalla; escribir, fotocopiar e imprimir a doble cara, sin utilizar márgenes excesivos...

Artículos y productos innecesarios. Ir a la compra con una lista previa de lo que nos hace falta, no dejarse arrastrar por campañas publicitarias (“Black Friday”, “Cyber Monday”, etc.).

...

Colaborar en el reciclaje:

Separar restos producidos en el hogar para su recogida selectiva (vidrio, papel, orgánicos...).

Llevar a ecoparques u otros puntos de recogida selectiva todo tipo de productos contaminantes que haya que desechar (pilas usadas, aceite, móviles, ordenadores, productos tóxicos, electrodomésticos, baterías de coche usadas, fluorescentes...).

Usar productos reciclados (papel, cartuchos de tinta...)

...

Utilizar:

Productos respetuosos con el medio ambiente como materiales reciclables, no tóxicos, biodegradables, con baja huella de carbono⁴⁶....

Energías renovables. Paneles solares, comercializadoras de electricidad que utilicen renovables...

Sistemas inteligentes como programadores, luces que se encienden solo cuando pasas o estás...

Energía eléctrica de origen limpio. Por ejemplo, contratando con compañías comercializadoras que trabajen solo con energía obtenida a partir de fuentes renovables.

...

Reutilizar:

El papel ya escrito por una cara.

Agua de lluvia para regar.

Ropa y otros complementos usados.

Aceite usado para hacer jabón.

Llevar a las farmacias medicamentos sobrantes para que los puedan utilizar otras personas.

Dar ropa, juguetes, calzado... a organizaciones que se encarguen de gestionar su reparto a otros.

Tratar de conseguir lo que necesitemos en el mercado de segunda mano.

Dar otros usos (convertir botes vacíos en contenedores de lápices y bolígrafos, bidones vacíos en compostadoras para transformar restos vegetales en abono...)

...

Rechazar el usar y tirar:

Sustituir las bolsas de plástico de un solo uso (en particular en las compras), por bolsas de uso continuado.

Reparar antes que desechar y cambiar (suelas de zapatos, ropa, electrodomésticos y otros aparatos...).

...

Participar activamente en la educación ciudadana y las decisiones políticas:

Colaborar con organizaciones ecologistas, votar a partidos políticos que en sus programas incluyan medidas para la sostenibilidad, realizar tareas de divulgación (amigos, familia, etc.), cuestionar bulos y campañas de desinformación en redes sociales...

Pedir a las autoridades locales que promuevan nuevas medidas para impulsar el reciclaje y la sostenibilidad en general y apoyarlas cuando se pongan en práctica.



⁴⁶ Huella de carbono de un producto es un índice para cuantificar la cantidad de gases invernadero (medidos en CO₂ equivalente) emitidos a la atmósfera por causa directa o indirecta de dicho producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su inicio o fabricación, manufacturación, transporte, comercialización... hasta el tratamiento final de sus residuos.

(En la foto anterior izquierda, la joven sueca Greta Thunberg durante su discurso en 2019 ante el parlamento europeo. A la derecha, protesta estudiantil por la falta de medidas contra la crisis climática. Ambas obtenidas de internet).

...

Respecto al profesorado, tanto en formación como en activo, cabe plantearse la siguiente cuestión:



Una reflexión esencial, que no puede faltar aquí, es qué es lo que puede hacer el profesorado para contribuir desde la educación a la transición hacia la sostenibilidad. Debatid la cuestión y sugerid propuestas concretas.

Dar testimonio de actitudes y comportamiento personal sostenibles, que tomen en consideración las medidas recopiladas en la actividad anterior, la apuesta por tecnologías respetuosas con el medio y las personas, la participación en acciones ciudadanas para la sostenibilidad, y la evaluación (y compensación) de la propia huella ecológica, etc.

Incorporar la sostenibilidad en la propia enseñanza. Impregnar los currículos de las materias impartidas (en todos los niveles y para todas las áreas) de la problemática de la sostenibilidad; proceder sistemáticamente a la evaluación (entendida como seguimiento y apoyo) de los cambios de actitud y comportamiento conseguidos en los alumnos...

Hacer uso de la educación no reglada. Utilizar la prensa y otros medios de comunicación, los documentales de divulgación, los museos de ciencias y etnológicos, etc., aprovechando tanto sus aportaciones como sus carencias (estimulando el análisis crítico). Prestar una atención particular a desarrollar el pensamiento crítico entre su alumnado analizando los numerosos bulos y mentiras en relación con el cambio climático, aportando datos científicos y argumentos con los que rebatir toda esa desinformación difundida principalmente a través de redes sociales.

Impulsar medidas de sostenibilidad dentro del propio centro educativo. Contribuir a crear y participar en comisiones de centro para establecer compromisos de consumo responsable (luz, agua, papel...), separación y reciclado de residuos, etc., y realizar su seguimiento; contribuir a la incorporación de la sostenibilidad en los currículos de todas las materias impartidas en el centro; implicar al conjunto de la comunidad educativa en acciones por la sostenibilidad; organizar actos con motivo de días señalados (5 de junio, 10 de diciembre...)

Contribuir a la formación ciudadana fuera de la escuela. Elaborar materiales para la formación ciudadana; organizar conferencias, debates, talleres, cursos, seminarios, campañas de divulgación, etc., colaborando con instituciones cívicas y académicas; instar a las autoridades educativas y políticas para que se incorpore la educación para la sostenibilidad en todas las áreas y niveles, incluida la educación no formal (TV, radio, prensa, museos...)

Participar en tareas de investigación e innovación para la sostenibilidad. Implicarse en proyectos de investigación e innovación para impulsar actitudes y comportamientos sostenibles y salir al paso de obstáculos como, por ejemplo, algunas concepciones contrarias a la sostenibilidad, tanto de los estudiantes, como de la ciudadanía en general y el propio profesorado; analizar el tratamiento dado a la sostenibilidad en los libros de texto y otros materiales y recursos escolares, así como en los media, museos, etc.; elaborar materiales escolares y para la formación del profesorado; promover la incorporación de esta problemática en congresos, seminarios, jornadas y en las revistas educativas...

Atención a los llamamientos de Naciones Unidas sobre los 17 objetivos para alcanzar un desarrollo sostenible (ODS), impulsando a todo el alumnado a participar activamente para contribuir a su consecución (agenda 2030). www.un.org/sustainabledevelopment/es/

5.2.3. Medidas políticas

La incidencia del cambio climático podría limitarse si se emprendiera una acción conjunta mundial para facilitar el paso de una economía marrón (basada en el uso de combustibles fósiles) a una economía verde (basada en el uso de energías más limpias y el desarrollo de tecnologías que permitan su implantación) a la vez que se impulsan otras medidas para favorecer una transición justa a la sostenibilidad, como las comentadas. Para mostrar la importancia de la política podemos hacer referencia, a modo de ejemplo, a algunos acuerdos y medidas políticas ya adoptadas, que constituyen auténticos logros para la sostenibilidad de la especie humana. *(Esto mismo, puede ser planteado al alumnado como una actividad de búsqueda bibliográfica sobre el tema):*

Protocolo de Montreal. Tratado internacional para evitar la destrucción de la capa de ozono que nos protege de las radiaciones ultravioleta, mediante el control de los compuestos CFC responsables de dicha destrucción. (En vigor desde 1989).

Corte Penal Internacional. Tribunal de justicia internacional con sede en La Haya, para juzgar a quienes hayan cometido crímenes de genocidio, de guerra y de lesa humanidad como esclavitud, apartheid, exterminio y destrucción ambiental. (En vigor desde 2002).

Protocolo de Kioto. Tratado internacional para la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global del planeta. (Adoptado en 1997, entró en vigor en 2005). Constituye un ejemplo de la existencia de distintas políticas enfrentadas y de la necesidad de apoyar la que defiende, fundamentadamente, los intereses generales. Ratificado por 132 países, solo dos de los países desarrollados no lo firmaron: Estados Unidos y Australia. Finalizó en 2012.

Después del protocolo de Kioto se sucedieron diversas **Cumbres sobre el clima** (COP) como la de Bali (2007), Copenhague (2009), Cancún (2010), Durban (2011), Varsovia (2013), con resultados, en general, poco destacables. En la cumbre de Varsovia (noviembre de 2013), los cerca de 200 países participantes consiguieron llegar a un acuerdo de última hora que, aunque modesto, perfilaba una hoja de ruta hacia el pacto global y vinculante sobre reducción de emisiones que debía alcanzarse en París, en 2015.

En París 2015 se logró, afortunadamente, un acuerdo mundial sobre el clima firmado por 195 países (muchos de ellos con intereses contrapuestos). Desgraciadamente, desde el punto de vista científico, se trata de un acuerdo insuficiente, aunque en opinión de algunos, este acuerdo mundial abre un camino en la buena dirección, que se estrechará o ampliará dependiendo de la capacidad social y política de cada país. El acuerdo tiene como aspecto positivo que puede convertirse en un punto de inflexión para avanzar hacia el necesario cambio de modelo energético. Un objetivo fundamental de este acuerdo es evitar que el aumento de la temperatura media global del planeta respecto a los niveles preindustriales no supere los 2°C, buscando además el promover todos los esfuerzos adicionales necesarios para que ese aumento no rebase los 1'5 °C.

Posteriormente a la entrada en vigor de los acuerdos de París tuvo lugar la COP 25 en Madrid (diciembre de 2019). Esta ha sido hasta el momento la COP más larga de las realizadas. En ella solo 84 países se comprometieron a programas estrictos para recortar las emisiones en 2020, sin que los principales emisores (Estados Unidos, China, Rusia e India) se encuentren entre ellos. Durante esta cumbre, la ONU advirtió de la necesidad de triplicar los esfuerzos globales para poder conseguir que el aumento de temperatura quede por debajo de 2°C (una de las metas de los acuerdos de París) ya que, de acuerdo con los planes hasta ahora presentados, ese aumento superaría (si no hay cambios) los 3 °C.

En noviembre de 2021 tuvo lugar la COP 26 en Glasgow. Al final de la misma se hizo público un documento firmado por los casi 200 países participantes. No es legalmente vinculante, pero en él se destaca que el carbón es el combustible fósil que actúa como causa principal del aumento del efecto invernadero y se establece un compromiso para reducir su uso como fuente de energía. (Ved más detalles de la cumbre en: Naciones Unidas. Acción por el Clima.

<https://www.un.org/es/climatechange/cop26>)

En noviembre de 2022 tuvo lugar en Egipto, la COP 27. De acuerdo con el profesor Fernando Valladares, el balance global de la misma no puede ser positivo, porque los avances no han sido todo lo ambiciosos que se precisa para poder afrontar de forma efectiva la situación de emergencia climática que vivimos. (Ved detalles en:

<https://theconversation.com/cop-27-siete-logros-ocho-problemas-y-una-gran-decepcion-194990>)

En 2023, tuvo lugar la COP 28 en Dubái. Una conclusión importante de la misma fue, que:

Para limitar el calentamiento global a 1,5°C, el acuerdo establece que se deben reducir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero un 43% hasta 2030 y un 60% hasta 2035 en relación con los niveles de 2019, y alcanzar las emisiones netas de dióxido de carbono cero para 2050.

Ved más conclusiones en: <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28>

En 2024 se llevó a cabo la COP 29 en Bakú (Azerbaiyán). Posiblemente el acuerdo más importante fue el de triplicar la financiación a los países en desarrollo, pasando del objetivo anterior de 100.000 millones de dólares anuales a 300.000 millones de dólares anuales para 2035.

Ved más conclusiones en: <https://unfccc.int/es/news/cop29>

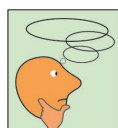
Otras medidas positivas en marcha.

Con posterioridad a los acuerdos de París, se produjeron algunos hechos esperanzadores, como:

- ✓ Entrada en vigor de los acuerdos de París (en noviembre de 2016).
- ✓ Cumbre de los alcaldes de 86 grandes ciudades (en diciembre de 2016) en la que se acordó reducir a la mitad sus emisiones de carbono.
- ✓ Prohibición por los gobiernos de Canadá y de Estados Unidos (también en diciembre de 2016) a la búsqueda de petróleo y gas en gran parte del océano Ártico.
- ✓ Acuerdo vinculante firmado por 200 países en Kigali (octubre de 2016) por el que se comprometen a reducir el uso de los gases HFC que se utilizan en los aparatos de refrigeración y aires acondicionados los cuales son, como hemos visto, gases invernadero miles de veces más potentes que el CO₂ (lo que puede suponer por sí solo una reducción de unos 0'5 °C en el aumento de temperatura media global previsto para el año 2100).
- ✓ Reincorporación en enero de 2021 de los Estados Unidos al Acuerdo del Clima de París.
- ✓ En la cumbre “One Planet” (París, enero de 2021), más de 50 países anunciaron su firme compromiso de proteger al menos el 30% de la Tierra y los océanos del mundo para 2030.
- ✓ El domingo 5 de marzo de 2023, la Organización de Naciones Unidas (ONU), anuncia un acuerdo para firmar un tratado que preserve la altamar, abriendo el camino para proteger al menos al 30% del océano en 2030, un hecho considerado "histórico" para la conservación de la biodiversidad.
- ✓ A finales de febrero de 2024, el parlamento europeo aprobó la Ley de la Recuperación de la Naturaleza. Una ley entre cuyos objetivos está el rehabilitar al menos el 30% de la zona terrestre y marina de la Unión Europea para 2030 y todos los ecosistemas degradados para 2050.

Finalmente, señalar la existencia de leyes y proyectos de protección del medio ambiente que conviene conocer como, por ejemplo, la obligatoriedad de colocar placas fotovoltaicas en nuevos edificios, como ocurre en el estado de California donde, desde 2020, una ley obliga a instalar paneles solares en nuevas viviendas (en la Unión Europea, se pretende una norma similar que entre en vigor en 2029), la sustitución masiva de las antiguas bombillas incandescentes por otras de muy bajo consumo, las normas para disminuir la contaminación del aire en las ciudades o la inclusión en las etiquetas de productos agroalimentarios de la huella de carbono correspondiente. Una pequeña tasa a los combustibles fósiles tendría, en estos momentos, un efecto tremendo ya que haría a las energías limpias y renovables más competitivas frente a dichos combustibles. El mismo efecto tendría un pequeño subsidio a las energías renovables o bajar las subvenciones actuales a combustibles fósiles como el carbón. Desafortunadamente, estas leyes y proyectos no abundan y, lo que es peor, a veces se legisla en sentido contrario como, por ejemplo, cuando se recortan o eliminan subvenciones públicas a energías renovables y a la investigación en ese campo y se crean (o se permiten) obstáculos a quienes quieren utilizarlas.

Se ha dicho, acertadamente, que una característica fundamental de los gobernantes competentes, es (o debería ser) tener la suficiente capacidad anticipativa para comprender los escenarios de futuro y ordenar el marco jurídico pertinente, tomando las decisiones adecuadas para hacer que aquello que convenga impulsar encuentre facilidades, y aquello que convenga frenar encuentre dificultades. La necesidad de llevar esto a cabo en todos los aspectos (económicos, legales, sociales, educativos, etc.) de la vida cotidiana para el bien general, se hace aún más patente, si cabe, en lo que se refiere al problema del cambio climático, dadas sus gravísimas consecuencias que para las generaciones actuales y futuras tiene el no afrontar correctamente dicho cambio. Lamentablemente no podemos parar el cambio climático, ya es tarde para eso, pero sí que se puede legislar para impulsar medidas que contribuyan a frenarlo, mitigar sus efectos y adaptarnos a ellos todo lo posible.



Revisad todo el tema elaborando un breve informe en el que se incluyan, al menos, las preguntas inicialmente planteadas y las respuestas elaboradas. Después, elaborad un esquema o mapa conceptual que proporcione una visión global de los contenidos tratados.

Con esta actividad, propuesta al finalizar esta unidad didáctica sobre Cambio Climático, se pretende que los estudiantes procedan a realizar una revisión global de los aspectos tratados que consideren más importantes y, después, plasmen todo ello en un mapa conceptual que facilite una visión global y rápida. En un contexto de enseñanza (secundaria o universitaria), conviene que todo ello se realice por pequeños grupos de estudiantes y que luego se comparen las síntesis y los mapas elaborados por cada grupo y, también, con los que, a modo de ejemplo, se exponen a continuación:

SINTESIS DE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES TRATADOS EN ESTE TEMA

1. Causas fundamentales del Cambio Climático Antropogénico

El valor de la temperatura media terrestre está determinado por un equilibrio energético, según el cual, la energía que entra al planeta (toda la superficie y la capa de aire que la envuelve), ha de ser igual a la energía que desde el planeta se emite al espacio exterior. Este equilibrio es lo que ha hecho que la temperatura media de la Tierra, durante los últimos miles de años, se haya mantenido (con ligeras fluctuaciones) en torno a unos 14 °C.

Todo ese flujo de energía entrante y saliente va asociado a radiaciones electromagnéticas. Por una parte, la radiación solar entrante y reflejada (básicamente luz visible y algo de infrarrojo y ultravioleta) y por otra, la radiación terrestre emitida (básicamente en el llamado infrarrojo térmico).

Desde hace unos cientos de años, los seres humanos estamos modificando notablemente ese balance energético, debido por una parte a los gases invernadero que de forma creciente y continuada estamos emitiendo a la atmósfera (principalmente, por la utilización que hacemos de los combustibles fósiles para obtener energía) y, por otra, a la deforestación (bien sea por talas masivas de bosques o por grandes incendios provocados). Ambos factores (junto con otros, como la fabricación de grandes cantidades de cemento o la potenciación de la ganadería intensiva), están produciendo un aumento del efecto invernadero lo que conlleva una alteración del citado equilibrio energético haciendo que salga menos energía de la que entra, lo que provoca un proceso de aumento de la temperatura media del planeta hasta que se alcance un nuevo estado de equilibrio. Concretamente, de acuerdo con datos de la NASA, en 2024, la temperatura media del planeta fue 1'47 °C mayor que a mediados del siglo XIX (1850-1900).

Entre los expertos en el clima, existe un consenso científico prácticamente total, en cuanto a que ese aumento de temperatura media no puede explicarse considerando únicamente los factores naturales ocurridos (variaciones de la radiación solar, erupciones volcánicas, etc.). También existe un consenso muy elevado en cuanto a que dicho aumento no debería sobrepasar los 1'5 °C, para evitar que se produzcan grandes cambios catastróficos e irreversibles a escala planetaria (como, por ejemplo, el colapso de corrientes oceánicas o la fusión total de la capa de hielo que cubre Groenlandia).

2. Algunas consecuencias del calentamiento global

El aumento de la temperatura media terrestre está afectando seriamente a la **hidrosfera**, ya que es responsable tanto de la fusión de una enorme cantidad de hielo (continental y marino), como la expansión térmica del agua marina, lo que, entre otros efectos, está produciendo la desaparición de numerosos glaciares de montaña, la reducción de los casquetes polares (con la consiguiente disminución del albedo), y un aumento continuado del nivel del mar. Por otra parte, una **atmósfera** y unos mares más calientes, favorecen una mayor frecuencia, duración e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (huracanes, sequías, inundaciones, etc.). Estos y otros efectos, inciden en cambios en la **criosfera** y la **litosfera** (menos hielo, menos nieve, menos permafrost, más costas cubiertas por las aguas, etc.) y en la **biosfera** debido fundamentalmente a que unos mares y una atmósfera más calientes producen desajustes que alteran los ciclos vitales de muchas especies (marinas y terrestres), afectando a su reproducción, su alimentación, y su resistencia a plagas y enfermedades, contribuyendo así a la pérdida de biodiversidad.

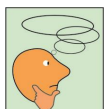
El calentamiento global en el que estamos inmersos tiene, pues, graves consecuencias que afectan a **todos los componentes del sistema climático terrestre**. Por esta razón, se habla del cambio climático terrestre. Este se caracteriza (entre otras cosas), por la rapidez con que está ocurriendo y por la existencia de ciclos de reforzamiento (o retroalimentación positiva). Así, por ejemplo, si sigue aumentando la temperatura, aumentará la descongelación del permafrost o suelo helado, rico en materia orgánica que al descongelarse se descompone liberando CO₂ y CH₄, lo que aumentará el efecto invernadero y consecuentemente la temperatura. Este ciclo de reforzamiento (que ya se está produciendo) junto con otros, van a acelerar y potenciar aún más el cambio climático, dificultando la adaptación de muchos seres vivos (incluyendo el ser humano), a unos efectos que, si no afrontamos correctamente el problema, se producirán de forma cada vez más rápida y caótica.

Aunque el cambio climático actual es uno de los problemas más graves a los que se enfrenta toda la humanidad, afortunadamente, conocemos sus causas, sabemos qué hay que hacer para frenarlo, mitigar sus efectos y adaptarnos, y tenemos los medios necesarios para hacerlo. Lamentablemente, el tiempo de que disponemos no es mucho y si no tomamos medidas más efectivas y a tiempo, vamos a

sobrepasar ese límite de aumento de temperatura de 1'5 °C. Cabe plantearse, pues, qué es lo que hemos de hacer para evitar dicho aumento.

3. ¿Qué hacer para evitar que siga aumentando la temperatura media terrestre?

De acuerdo con lo que hemos comentado hasta aquí, resulta obvio concluir que la mayor prioridad es dejar de emitir gases invernadero (particularmente CO₂ que es quien más contribuye al aumento del efecto invernadero) a la atmósfera en las cantidades en que lo hacemos y evitar la deforestación. Pero, si queremos profundizar un poco más, es importante que primero reflexionemos sobre otra pregunta:



¿Por qué emitimos cada vez más CO₂ y deforestamos más?

La respuesta a las preguntas anteriores hay que buscarla fundamentalmente en el modelo económico imperante, basado en el hiperconsumo, que actúa como si los recursos del planeta fueran infinitos. Para que ese hiperconsumo pueda continuar, se necesita energía con la que extraer materias primas, convertirlas en bienes y distribuirlos (electrodomésticos, ropa, materiales de construcción, vehículos, etc.). El problema es que más del 80 % de esa energía se obtiene de combustibles fósiles (derivados del petróleo, gas y carbón).

Es necesario tener en cuenta que ya vivimos en un planeta superpoblado. De los más de 8200 millones de habitantes que pueblan la Tierra, tan solo una quinta parte consume recursos naturales en exceso (y la mayoría quiere consumir más aun y/o no está dispuesta a “rebajar” nada), mientras que los 4/5 restantes aspiran a imitar a ese grupo “privilegiado” (y la mayoría se pone a ello en cuanto puede). Dentro de este gran grupo, hay muchas personas (aproximadamente la quinta parte de la población mundial) que apenas pueden subsistir, para las cuales, el consumir más no solo es un derecho, sino una cuestión de supervivencia. La superpoblación potencia muchos otros problemas, entre ellos la emisión de gases invernadero, la contaminación, el agotamiento de recursos naturales, la deforestación, la degradación de los ecosistemas, el crecimiento urbanístico desordenado, etc. Esta situación, da lugar a la existencia de graves desigualdades.

Entre las grandes (y graves) desigualdades que afectan a distintos grupos humanos, es posible referirse a las diferencias en la esperanza de vida (en algunos países africanos, por ejemplo, la esperanza de vida no llega a los sesenta años); las condiciones de trabajo; el acceso a la educación o la sanidad, etc., pero también, a la existencia de grandes diferencias en la calidad del medio ambiente y en la disponibilidad de agua potable y otros recursos básicos. Todas esas desigualdades son (cada vez más) una fuente de conflictos y favorecen los desplazamientos masivos de miles de personas buscando mejores condiciones de vida. Muchos de esos desplazados climáticos se van a las grandes ciudades, aumentando las emisiones de gases invernadero (mayor movilidad para ir al trabajo, p.e.). De hecho, más del 70% de las emisiones de CO₂ proceden de usos urbanos. Además, la pobreza extrema obliga también (a quienes se quedan) a la sobreexplotación de los ecosistemas contribuyendo a la disminución de recursos naturales, algunos de ellos muy importantes para frenar el cambio climático (como sucede con los bosques).

Finalmente, no podemos olvidar que todos los conflictos bélicos que ocurren, además del coste en vidas humanas, suponen también la liberación a la atmósfera de millones de toneladas de CO₂ (desplazamientos de armamento y de tropas, utilización de aviones y vehículos pesados) y otros numerosos problemas (contaminación, destrucción de recursos, etc.).

Así pues, las causas profundas de por qué está aumentando la temperatura media terrestre y con ella el caos climático global, hay que buscarlas en la existencia de otros graves problemas, como los que acabamos de comentar. Se trata de problemas que se potencian mutuamente y que si no actuamos correctamente conducen a sobrepasar los llamados **límites planetarios** (como los que se refieren a la concentración de CO₂ en la atmósfera, la biodiversidad o la acidez del agua marina). Si cruzamos dichos límites, la habitabilidad de la Tierra resultará seriamente comprometida. Por tanto, afrontar el cambio climático terrestre de forma efectiva, exige un tratamiento conjunto y simultáneo de todos los problemas con el relacionados, poniendo fin a la existencia de graves desigualdades y conflictos entre distintos grupos humanos y a un crecimiento (económico y demográfico) que resulta enormemente agresivo con el medio físico y nocivo para muchos seres vivos.

Lograr el objetivo anterior implica tener claro cuáles son las verdaderas prioridades y desarrollar toda una serie de medidas concretas, poniéndolas en práctica teniendo en cuenta el consenso científico sobre la urgencia de hacerlo. Estas medidas ya han sido enunciadas y explicadas claramente por diversos expertos y organismos internacionales, tales como los sucesivos informes publicados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), los acuerdos internacionales alcanzados en las distintas cumbres sobre el Clima realizadas hasta la fecha, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible impulsados por Naciones Unidas. A toda esta información se puede acceder libremente en internet. Entre ellas y, a título de ejemplo, podemos destacar:

a) Medidas científico-tecnológicas, con investigaciones y proyectos que favorezcan la sostenibilidad (ahorro y eficiencia energética, cambio de modelo energético basado en combustibles fósiles a otro basado en energías limpias y renovables, regeneración de entornos, gestión sostenible de recursos, capturar y fijar CO₂...).

b) Medidas sociales y educativas, impulsando una educación ciudadana en todos los ámbitos, que se traduzcan en un gran consenso social para demandar (y aceptar) medidas efectivas con las que afrontar eficazmente el cambio climático y los problemas con él relacionados, así como en comportamientos y acciones a nivel individual y colectivo con los que favorecer la sostenibilidad...

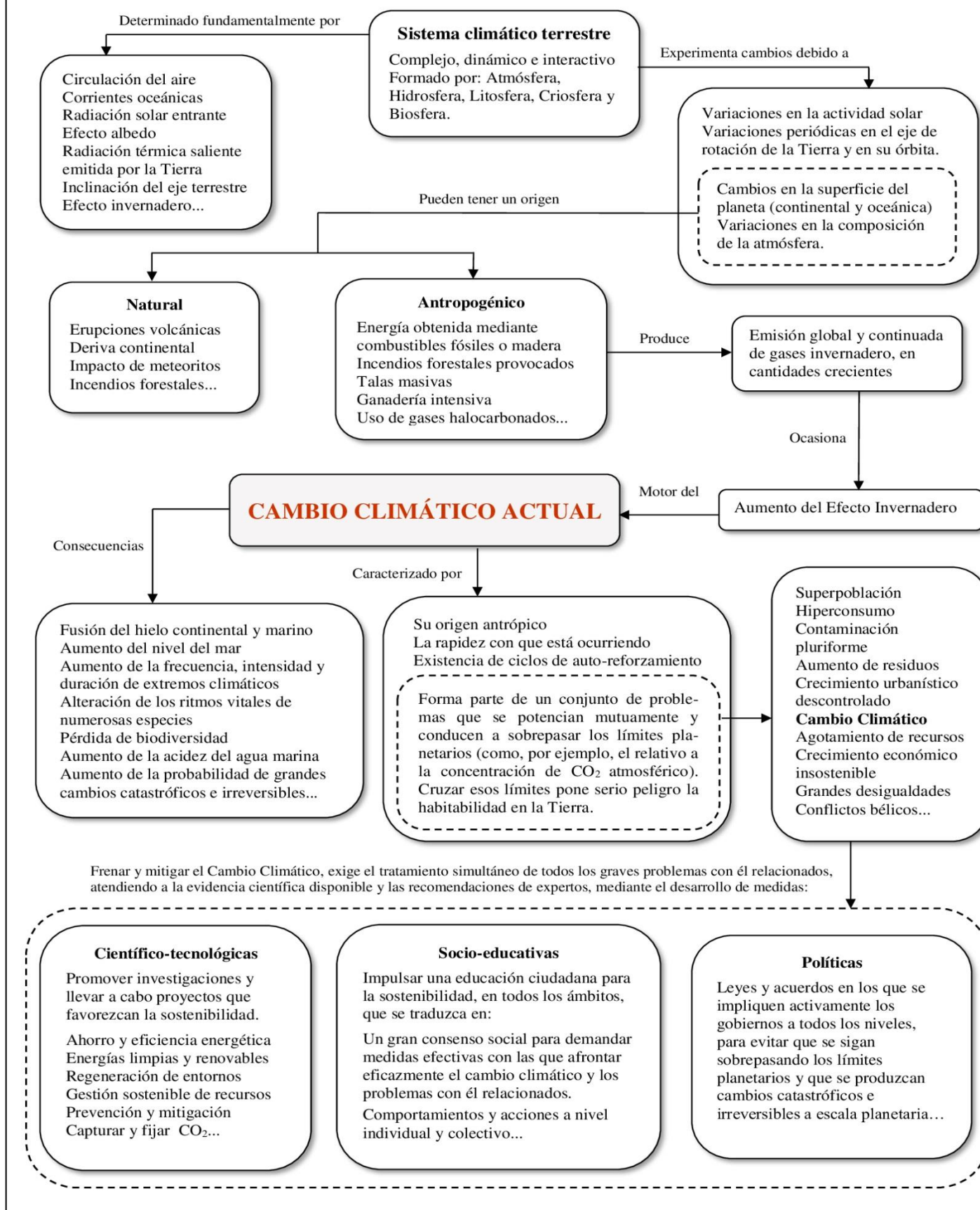
c) Medidas políticas, con leyes y acuerdos en los que se impliquen activamente los gobiernos a todos los niveles (desde el local al internacional), para adaptarnos y para evitar que se sigan sobrepasando los límites planetarios y que se produzcan cambios catastróficos e irreversibles a escala planetaria...

Parte de las medidas anteriores con las que afrontar el cambio climático y los graves problemas con él relacionados, afortunadamente, están ya en marcha. Sin embargo, es imperativo impulsarlas y desarrollarlas todas y a tiempo. Ello implica unos costes y unos riesgos que hay que asumir, pero si no lo hacemos o si lo hacemos tarde, no cabe duda de que los costes serán mucho más elevados, existiendo el riesgo real de que se produzcan cambios climáticos catastróficos e irreversibles en la escala de tiempo humana.

En definitiva, como señala el biólogo Fernando Valladares (<https://youtu.be/J9p1qlaHe-k?t=2091>):

“Es evidente que calentamiento global sería mayor si no se hubiese hecho todo lo que ya se ha hecho, pero también es evidente que es necesario hacer más, teniendo en cuenta la interconexión y la complejidad de todos los problemas y sus efectos”.

MAPA CONCEPTUAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL



Selección bibliográfica

Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., Bauer-Gottwein, P. (2021). Polar drift in the 1990s explained by terrestrial water storage changes.

Geophysical Research Letters, 48, e2020GL092114. <https://doi.org/10.1029/2020GL092114>

Duarte, C. (Coord.) (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC.

Escrivá, A. (2016). *Encara no es tard. Claus per a entendre i aturar el canvi climàtic*. Edicions Bromera. Alcira (Valencia).

Gil Pérez, D. y Vilches, A. (2017). El olvido de la demografía en los estudios de Sostenibilidad. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(2), 1-17.

Gil Pérez, D. y Vilches, A. (2019). La comprensión e impulso de la sostenibilidad: un requisito imprescindible para una acción educativa y ciudadana eficaz. *Revista de educación ambiental y sostenibilidad*, 1(2), 1-14

Global Carbon Budget (GCB). <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

International Energy Agency (IEA). *CO₂ Emissions from fuel combustion. Highlights*. (2019 edition). Available online at: www.iea.org/t&c/

IPCC, 1988-2023. Intergovernmental Panel on Climate Change. Assessment Reports about knowledge on climate change, its causes, potential impacts and response options. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/reports/>

Lenton M.T. (2021). *Tipping points in the climate system*. Weather. Royal Meteorological Society. (RMetS). Brief Reports. Open Acces. <https://doi.org/10.1002/wea.4058>

Meira, P. A. (2015). ¿Hay un agujero en la capa de ozono de tu cambio climático? De la cultura científica a la cultura común. *Mètode Science Studies Journal*, 85, 49-55.

Naciones Unidas. Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

Pearce, F. (2007). *La última generación*. Benasque: Barrabes

Rifkin, J. (2010). *La civilización empática. La carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*. Barcelona: Paidós.

Ripple, J.W., Wolf, C., Jillian, W. G., Rockström, J., Mann, M.E., Oreskes, N., Lenton, M.T., Rahmstorf, S., Newsome, M. T., Xu, C., Svenning, J.C., Cardoso, P.C., Beverly, E. I. and Crowther, W.T. (2024). The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth. *BioScience*, 2024, 0, 1–13. Downloaded from <https://academic.oup.com/bioscience/advance-article/doi/10.1093/biosci/biae087/7808595> by guest on 18 October 2024

Uriarte, A. *Historia del Clima de la Tierra*. (Última actualización on line consultada: febrero 2011). (2ª edición impresa accesible en <http://www.elkar.com>).

Vilches, A. y Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible*. Diálogos de supervivencia. Madrid: Cambridge University Press.

Vilches, A., Gil Pérez, D., Toscano, J.C. y Macías, O. (2008). Obstáculos que pueden estar impidiendo la implicación de la ciudadanía y, en particular, de los educadores, en la construcción de un futuro sostenible. Formas de superarlos. *Revista CTS*, 11 (4), 139-162 (2008). Accesible en: <http://oeibolivia.org/files/Volumen%204%20-%20N%C3%BAmero%2011/doss06.pdf>

Vilches, A., Macías, O. Y Gil-Pérez, D. (2014). *La transición a la Sostenibilidad. Un desafío urgente para la ciencia, la educación y la acción ciudadana*. Temas clave de reflexión y acción. Madrid: OEI. ISBN 978-84-7666-204-5

Viñas, J.M. Bloque de contenidos sobre Cambio Climático en página web: <http://www.divulgameteo.es>

Viñas, J.M. (2022) *Nuestro reto climático*. Editorial Alfabeto (Madrid)

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2015). Ciencia de la Sostenibilidad: ¿Una nueva disciplina o un nuevo enfoque para todas las disciplinas? *Revista Iberoamericana de Educación*, 69 (1), 39-60.

WMO. State of the Global Climate 2023.
<https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>

Yeon-Hee, K; Seung-Ki, M; Nathan, P. G; Dirk, N; Elizaveta, M. (2023). Observationally-constrained projections of an ice-free Arctic even under a low emission scenario. *Nature Communications*. June. DOI: [10.1038/s41467-023-38511-8](https://doi.org/10.1038/s41467-023-38511-8)

CUESTIONES, EJERCICIOS Y PROBLEMAS

Nota previa: La mayoría de las actividades siguientes no tienen una respuesta numérica sino que han sido propuestas para favorecer el debate y la discusión argumentada a la luz de lo tratado en el tema.

1. ¿Es peligroso el efecto invernadero? Diferencias entre efecto invernadero, aumento del efecto invernadero y cambio climático.
2. Actualmente ya hay coches eléctricos en el mercado. Dado que el tráfico a motor es responsable de una parte muy considerable de las emisiones no naturales de CO₂ a la atmósfera, si la gran mayoría de los vehículos fuesen eléctricos (varios gobiernos europeos ya han aprobado medidas para conseguir este objetivo antes de 2050) ¿podría solucionarse el problema del aumento del efecto invernadero?
3. Dicen que el uso de combustibles como el biodiesel no aumenta la cantidad de CO₂ existente en la atmósfera. Sin embargo, en Química se estudia que al quemar estos productos siempre se produce CO₂. ¿No es algo contradictorio? Por otra parte, suponiendo que no se de ese aumento, ¿habría algún posible inconveniente para impulsar el uso de este tipo de combustibles a gran escala?
4. Aunque no seamos capaces de reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, los combustibles fósiles acabarán por agotarse y a partir de ese momento la concentración de CO₂ en la atmósfera debería comenzar a disminuir gracias a la fotosíntesis de las plantas, con lo que los problemas medioambientales creados se irían solucionando poco a poco de forma natural. ¿Es así?
5. Algunos expertos en sostenibilidad afirman que los graves problemas que aquejan a nuestro planeta están conectados unos con otros formando una especie de red y que eso hace imposible que, por ejemplo, el calentamiento global, pueda ser tratado separadamente de los demás problemas. Es necesario aclarar esto, ya que mucha gente puede no entender, por ejemplo, qué tiene que ver la miseria en la que vive una gran parte de la humanidad con la emisión creciente de CO₂ por industrias y vehículos en los países más desarrollados, o los conflictos bélicos con el cambio climático, etc. Por otra parte, si se tratase de solucionar la miseria de miles de millones de personas... ¿no se potenciaría más todavía dicha emisión?
6. Para no emitir tanto CO₂ a la atmósfera debemos consumir menos pero... si reducimos mucho el consumo entramos en crisis económica, se cierran empresas y se pierde empleo. ¿No sería mejor entonces no combatir el cambio climático y tratar de adaptarnos a él?
7. Vamos a suponer que todos los gobiernos del mundo se pusieran de acuerdo en una serie de medidas económicas y medioambientales, para afrontar el cambio climático. ¿Podrían tener éxito si la población mundial continuase aumentando al mismo ritmo con que lo hace ahora?, (según datos de Naciones Unidas, unos 80 millones más de habitantes cada año, entre 1990 y 2020).
8. Algunos afirman que la Comunidad Valenciana es una de las comunidades españolas que emite menos CO₂ a la atmósfera, debido a que gran parte de la electricidad que consumimos proviene de la central nuclear de Cofrentes, situada a solo 80 km de Valencia. ¿Puede la energía nuclear ayudar a solucionar el problema del cambio climático? Por ejemplo, Francia, que tiene muchas más centrales nucleares que España ¿cuánto CO₂ menos emite (por habitante y año) que otros países similares? Debatid la cuestión dando argumentos a favor y en contra.
9. ¿Es verdad que el consenso entre la comunidad científica, acerca de que el cambio climático actual está causado fundamentalmente por los seres humanos, es prácticamente total? En las redes so-

ciales e internet... se difunden a menudo noticias de gente que niega el cambio climático. ¿A quién hemos de hacer caso? Si los científicos han mostrado claramente la gravedad de la situación ¿por qué la ciudadanía no reacciona?

10. En la película “El día de mañana” el científico protagonista explica la entrada en una nueva era glaciaria en el hemisferio norte, por la incorporación masiva de agua dulce procedente del deshielo, que paraliza la Corriente del Golfo. Este mismo efecto, se sugiere que podría tener lugar, en el documental de Al Gore “Una verdad incómoda” si se fundiesen los hielos de Groenlandia. ¿Podría realmente ocurrir esto?

11. En algunos textos y documentales sobre el calentamiento global se menciona que nos queda poco tiempo para evitar que se produzcan graves cambios de carácter irreversible en nuestro planeta. Los científicos advierten también de la necesidad de evitar que la temperatura media global aumente en solo dos grados con respecto a la que había al inicio de la era industrial. A veces da la sensación de que nos amenazan con el fin del mundo ¿No se está exagerando? ¿Tanto influyen un par de grados más?

12. El CH₄ es un gas invernadero unas 28 veces más potente que el CO₂ y el vapor de agua es quien más contribuye al efecto invernadero en nuestro planeta. Además, siempre que se queman hidrocarburos no solo se produce CO₂ sino también H₂O. ¿Por qué, entonces de quien más se habla es del CO₂?

13. Los expertos sobre cambio climático se refieren, a veces, a procesos de retroalimentación que pueden desencadenar cambios grandes y abruptos en el clima. ¿Hasta qué punto esto es así? ¿Podría afectar, a nosotros o a nuestros hijos, alguno de estos cambios? El aumento de la temperatura media global será necesariamente lento (la Tierra es muy grande), así que cabe plantearse si no habrá tiempo para ir adaptándonos a las nuevas condiciones.

14. Según la mayoría de los gobiernos de la Comunidad Europea es urgente acordar estrategias conjuntas para luchar contra el cambio climático. Entonces... ¿Por qué no se han tomado ya una serie de medidas efectivas a nivel europeo como, por ejemplo, la obligación de que todo nuevo edificio disponga de paneles solares? Es más, ¿Por qué el gobierno español entre 2012 y 2018 desarrolló una política energética en contra del uso de las energías renovables poniendo, por ejemplo, obstáculos muy serios al autoconsumo? ¿Qué cambios en cuanto al uso de la energía se han propuesto posteriormente y cuáles se han podido desarrollar?

15. ¿Podrán todos los países soberanos someterse a un procedimiento de control y decisión internacional con una serie de medidas que afecten a sectores estratégicos para su desarrollo, como la energía, el transporte o la agricultura? Los precedentes no son muy optimistas (haced una revisión crítica de las conclusiones de los encuentros internacionales ya celebrados o en marcha y de los países que no están dispuestos a cumplir lo que allí se acuerde).

16. Cuáles son las principales razones por las que los jóvenes (y el resto de la sociedad) deberíamos preocuparnos por el problema del cambio climático. ¿En qué nos va a afectar concretamente?

17. Un problema tan enorme e importante como es el del cambio climático, ¿no es responsabilidad de las grandes industrias y de los políticos?, ¿qué importancia puede tener lo que cada uno de nosotros haga o deje de hacer?

18. Seguro que la ciencia acabará encontrando la manera de resolver el problema del cambio climático, igual que ha resuelto ya muchos otros, entonces ¿para qué preocuparnos?

19. ¿Cuáles son los problemas más preocupantes a los que se enfrenta la humanidad? ¿Cuál habría que empezar a resolver prioritariamente?

20. En una situación de crisis económica y financiera, la puesta en práctica de medidas adecuadas con las que afrontar problemas tan graves como el cambio climático, la contaminación o el agotamiento de recursos naturales, es vista por muchos dirigentes como un obstáculo a la salida de dicha crisis, para la que no ven otra solución que reactivar el consumo, volviendo a las tasas de crecimiento anteriores. Sin embargo, también hay quienes afirman que esa crisis constituye una buena oportunidad para reconsiderar el modelo económico vigente, basado en los combustibles fósiles y en el hiperconsumo, y comenzar a cambiarlo por otro basado en energías renovables, nuevas tecnologías y sostenibilidad, que al mismo tiempo que crea nuevos empleos permita avanzar en la solución de esos problemas. Organizad un debate en el que se argumente a favor de una y otra postura.

21. ¿Por qué la atmósfera deja pasar la mayor parte de las radiaciones solares que la atraviesan y, sin embargo, atrapa y refleja en todas direcciones la mayor parte de la radiación que emite la Tierra hacia el espacio? Es decir: ¿Por qué el efecto invernadero actúa en un solo sentido?

22. La sustitución de una bombilla incandescente de 100 W por otra moderna de bajo consumo evita la emisión de unas 0'5 toneladas de CO₂ al año. Calculad cuántas toneladas de CO₂ dejaron de emitirse por la sustitución de 10 millones de esas antiguas bombillas. Rdo. $5 \cdot 10^6$ t al año.

23. Una persona cambia una antigua bombilla incandescente de 60 W por otra equivalente de bajo consumo de 10 W. Suponiendo que esa bombilla esté encendida un total de 500 h al año y que cada kWh se pague a 0'20 euros. a) ¿Cuánta energía y cuánto dinero se ahorraría por ese pequeño cambio? b) ¿Y si en lugar de una sola persona fuesen 100 millones? Rdo. a) 25 kWh y 5 €; b) 2500 000 kWh y 500 000 000 €.

24. De acuerdo con su distancia al Sol, la temperatura media teórica de Venus debería ser 155 °C y la de Marte de -63 °C, mientras que las temperaturas medias reales son 447 °C y -55 °C. ¿A qué pueden deberse esas diferencias? (Se sabe que la atmósfera de Venus es muy densa y está formada aproximadamente por un 96% de CO₂ y un 3'5% de N₂, mientras que Marte tiene una atmósfera muy tenue).

25. ¿Por qué la deforestación favorece el efecto invernadero?

26. En 2025, una persona gastó de media al mes: 300 kWh de electricidad y 40 m³ de gas natural. Además hizo 20000 km con su todoterreno. También realizó un viaje de ida y vuelta Madrid-Shanghái en avión. ¿Cuántos kg totales de CO₂ supusieron ese año todas esas acciones?

Datos: Suponed que por cada kWh se han producido 376 g de CO₂. Cada m³ de gas natural quemado produce aproximadamente 2 kg de CO₂. El coche emite 230 g de CO₂ por cada km recorrido. En un avión de pasajeros (el vehículo que más CO₂ produce) se emiten aproximadamente unos 94'2 g de CO₂ por persona y kilómetro. Distancia Madrid-Shanghái es de 9217 km.

Rdo. 8650'1 kg de CO₂

27. En las noches despejadas de invierno suele notarse que la temperatura baja bastante más que durante la misma época si el cielo permanece nublado. ¿A qué puede ser debido?

28. Los HFCs son gases invernadero en auge, debido a la creciente demanda mundial de aire acondicionado y refrigeración en general. Con este dato, proponed un posible ciclo de reforzamiento, similar a los que se han presentado en el tema.

29. Los datos siguientes han sido extraídos (excepto los últimos) del anexo II del V informe del IPCC. A partir de ellos, construid una gráfica que muestre la evolución histórica de la concentración de CO₂ atmosférico y haced una predicción de cuándo podría alcanzarse una concentración de 500 ppm si no actuamos y se sigue la tendencia plasmada dicha gráfica. Luego buscad en la bibliografía qué efectos puede tener aproximarse o sobrepasar dicha concentración.

Año	Concentración de CO ₂ en ppm	Año	Concentración de CO ₂ en ppm
1760	276'5	1920	303'3
1780	278'2	1940	310'4
1800	282'6	1960	316'7
1820	283'3	1980	338'0
1840	284'1	2000	368'7
1860	286'1	2021	416'0
1880	289'8	2022	417'9
1900	296'2	2023	420'0

30. Una cuestión especialmente importante es la percepción de la ciudadanía sobre el cambio climático y sus efectos. Para que esta se ajuste a la realidad, es necesario (entre otras cosas) conocer bien los bulos que al respecto circulan por las redes sociales y saber rebatirlos. Por ejemplo:

- Las estelas que dejan los aviones a reacción son en realidad productos químicos con los que los gobiernos están cambiando el clima.
- La DANA que asoló muchos pueblos de la provincia de Valencia el 29 de noviembre de 2024, fue enviada por Marruecos para perjudicar al campo español con el que rivaliza.
- El CO₂ apenas representa el 0,04% en la atmósfera y además es beneficioso para el crecimiento de las plantas. No se le puede atribuir que sea el causante de un calentamiento que obedece solo a causas naturales.

Os proponemos que forméis grupos de trabajo y realicéis una investigación respecto a estos bulos (y otros que ya conozcáis o nuevos que podáis encontrar), buscando información científica y argumentos para rebatirlos, así como organizaciones que se dedican sistemáticamente a desmentirlos. Después, haced una puesta en común en clase, exponiendo y debatiendo los resultados obtenidos por cada grupo.

31. En la página siguiente se reproducen unos recortes de prensa, publicados hace ya años, sobre el cambio climático. Uno, alertando sobre la necesidad de realizar cambios radicales a nivel mundial, sin lo cual los daños ocasionados por el cambio climático, serán irreversibles. En el otro se comentan algunas posibilidades de negocio que abre el cambio climático. Leed con atención ambos textos y luego debatid y argumentad en torno a las siguientes cuestiones: ¿A costa de qué y de quienes se obtendrán esos beneficios económicos? ¿Quiénes los obtendrán? ¿Podrán compensarse con ellos los daños de todo tipo ocasionados?

[El País](#). 15 de abril de 2014

Cuanto más tiempo pasa, peores son las predicciones sobre los efectos del cambio climático. Solo una acción decidida y radical a nivel mundial podrá asegurar que la temperatura no suba más de dos grados de aquí a finales de siglo. Esta es la enésima advertencia que lanza el panel científico de Naciones Unidas ante la pasividad que demuestra la comunidad internacional, y especialmente los países que más contaminan —Estados Unidos y China— frente al reto más importante que tiene el planeta. En un nuevo informe, en este caso sobre políticas a aplicar, el panel científico alerta de que no hay demasiado tiempo, pero si se toman decisiones valientes y radicales a nivel global, aún es posible evitar el desastre y mitigar los efectos, aunque no por completo pues las emisiones realizadas ya han provocado un aumento de temperaturas que está alterando el clima.

Sin esa determinación, las consecuencias se verificarán muy pronto: aumentarán los fenómenos meteorológicos extremos, que serán más frecuentes y más virulentos; la subida del nivel del mar provocará cuantiosos daños económicos, especialmente en los países insulares; las oleadas de calor y las inundaciones echarán a perder enormes extensiones de cultivo, con lo que las cosechas disminuirán hasta en un 50%; se producirán oleadas migratorias y enfrentamientos por los recursos, en particular por el agua, y veremos un nuevo fenómeno: el de los refugiados climáticos.

El cambio que reclama el panel de Naciones Unidas exige un nuevo acuerdo político que permita ir más allá del Protocolo de Kioto que, además de no haberse cumplido, se ha demostrado totalmente insuficiente. El nuevo acuerdo debe adoptarse en la cumbre prevista en París en 2015, para entrar en vigor a partir de 2020. Europa debe seguir siendo el gran impulsor del cambio. Su objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% respecto a 1990 debe generalizarse y, si es posible, aumentarse.

[El País](#). 24 de febrero de 2014

El año pasado un satélite de la Nasa registró en la Antártida 92,9° bajo cero. La segunda temperatura más baja de la historia. Incluso en los veranos marcianos, en sus polos, la climatología resulta más benigna. A la vez, el periodo que va de 1983 a 2012 el más cálido en 1400 años, según las conclusiones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. En este mundo extremo, la [OCDE advierte](#) de que casi la mitad de la población mundial vivirá en 2030 en condiciones graves de estrés hídrico, algunos se preparan para hacer (mucho) dinero.

El calentamiento global aumenta la posibilidad de padecer alergias, incrementa los déficits nutricionales, multiplica la exposición de la población a [catástrofes ambientales](#) y enfrenta a millones de seres humanos al desabastecimiento de agua y alimentos. Frente a esta situación, la industria actúa de dos formas: adaptándose o innovando. Y ambas pueden ser muy lucrativas.

La previsible carestía de agua está provocando que cada vez más países e inversores acaparen tierras en África y Latinoamérica para asegurarse reservas acuíferas. La plataforma [Land Matrix](#) ya contabiliza 35,64 millones de hectáreas de tierras (casi cuatro veces el tamaño de Portugal) acaparadas en el mundo.

Como señala el periodista [McKenzie Funk](#), quien acaba de publicar *Windfall (The Booming Business of Global Warming)*: “el deshielo en el Ártico abre paso a la explotación de las petroleras y a nuevas rutas de navegación y comercio”, lo cual, a la vez, podría avivar la tensión geopolítica entre los países de la zona.

El cambio climático minará la producción mundial de alimentos. Compañías como Cargil, (negocio del grano), Monsanto (primer fabricante de semillas genéticamente modificadas), o Yara, (fertilizantes), obtienen ya beneficios récord”, avisa Devlin Kuyek, experto de la ONG Grain. Y advierte: “El control de las multinacionales resulta cada vez más extremo”.

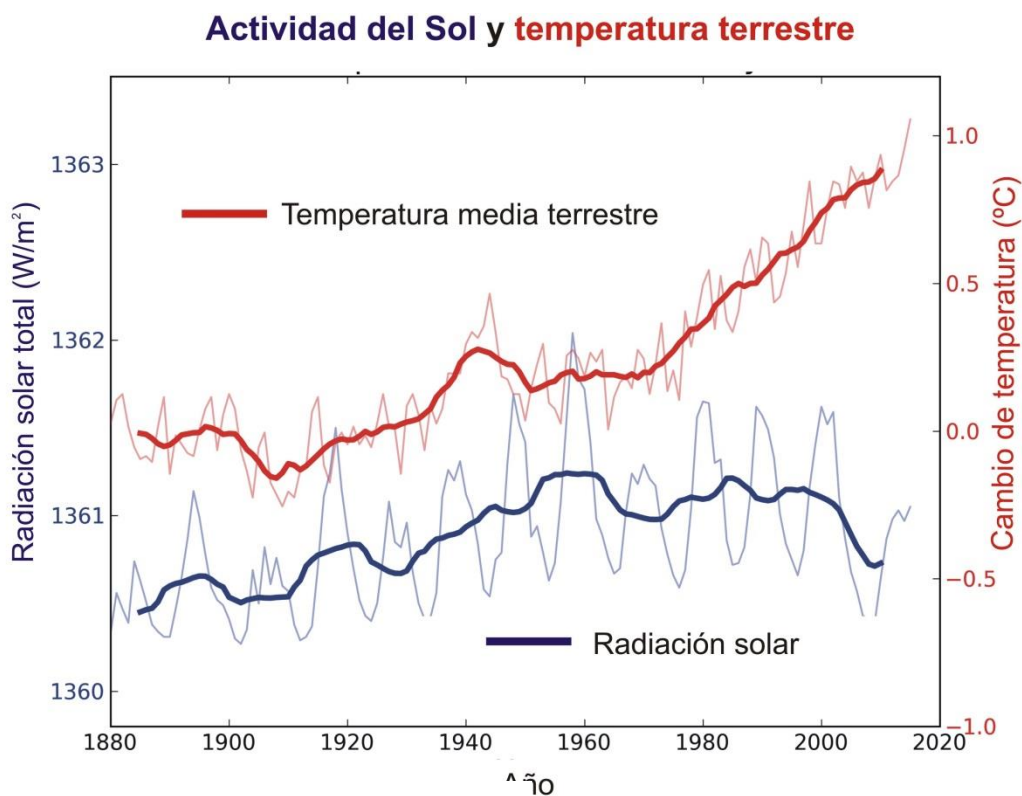
32. Sabemos que una meta muy importante es que el aumento de la temperatura media en la superficie terrestre no supere los 1'5 °C respecto de la temperatura media en la época preindustrial. De acuerdo con los científicos del IPCC, para que esto se pueda lograr, se requiere una disminución en 2030 del 45% de las emisiones globales de CO₂ respecto de 2010.

En la tabla siguiente se reproducen algunos datos, obtenidos de la Agencia Internacional de la Energía, respecto a las emisiones mundiales de CO₂ (en gigatoneladas) debidas a la combustión de derivados del petróleo, gas y carbón para obtener energía y a procesos industriales, correspondientes a distintos años entre 1990 y 2023. (<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>).

- a) Utilizad dicha tabla para construir la gráfica correspondiente (colocad los años en abcisas y valores desde el 2000 hasta el 2030).
- b) Analizad cuál es la tendencia y completad la gráfica dibujando una posible evolución de las emisiones desde 2023 hasta 2030 en la que se cumpla el objetivo mencionado.
- c) ¿A qué pudo deberse la disminución de emisiones globales observada en 2020?

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Gt	21'3	22'4	24'6	28'7	32'6	34'7	34'3	37'4

33. En la gráfica siguiente se muestra, de forma aproximada, la evolución de la temperatura media de la atmosfera terrestre (en rojo) y la evolución de la radiación solar que llega a la Tierra (en azul oscuro). ¿Qué conclusión se puede extraer respecto a la posible influencia de las variaciones en la radiación solar en el calentamiento global experimentado por el planeta?



(Fuente original: Climate.nasa.gov)

ANEXO 1

IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL CAMBIO CLIMÁTICO. CUESTIONES PARA ANALIZAR SU INCIDENCIA

Jaime Carrascosa Alís

Entre una gran parte de la población, incluso en los mismos estudiantes de ciencias, se detectan con frecuencia una serie de ideas sobre algunos conceptos importantes relacionados con el problema del Cambio Climático, que son muy diferentes a las ideas científicamente aceptadas. La existencia de tales ideas alternativas o simplistas, supone un serio obstáculo para una formación adecuada en torno a este grave problema y, por tanto, para avanzar de forma más efectiva en la lucha contra el mismo.

El origen de este tipo de ideas seguramente es diverso. Puede estar ligado al tratamiento, habitualmente superficial, que se suele hacer en los medios de comunicación cuando se refieren a estos temas. También es posible que el estudio del cambio climático no se contemple adecuadamente en los currículos escolares o que, por falta de tiempo u otras razones, no se le dedique en clase la atención necesaria.

En este anexo, comentaremos brevemente algunas de tales ideas para proponer, a continuación, una serie de cuestiones específicas con las que se puede analizar su extensión y su implantación entre estudiantes de distintos niveles educativos.

1. El hielo flotante cuando se funde y se convierte en agua líquida hace subir el nivel de agua líquida previamente existente.

Esta idea lleva a pensar que la fusión de la enorme masa de hielo flotante que hay en los océanos Ártico y Antártico produciría un gran aumento en el nivel del mar, lo cual es científicamente incorrecto ya que el efecto directo provocado por dicha fusión en el nivel del mar sería casi despreciable. Hemos dicho casi despreciable y no cero o nulo, porque junto con la idea alternativa expuesta, coexiste otra (esta entre personas con mayor formación científica) según la cual el volumen del agua líquida resultante de esa fusión es idéntico al volumen de hielo sumergido y, por tanto, solo por causa de esa fusión el nivel del mar no se vería directamente alterado. Esta segunda idea, solo es científicamente aceptable en el caso de masas de hielo flotantes en agua dulce, pero no lo es en lo que se refiere a masas de hielo flotante (sea cual sea su origen) en el mar donde, aunque el aumento sea muy poco, no es nulo. Fijémonos que estamos hablando de aumento del nivel del mar debido directamente al cambio de estado de hielo a agua líquida, ignorando otros efectos que se producirían como un aumento en la temperatura del agua y su consiguiente dilatación térmica. (Ved los detalles en el anexo 2).

2. El gas que más contribuye al efecto invernadero es el dióxido de carbono y el que menos contribuye es el vapor de agua.

Posiblemente esta idea se debe a no distinguir dos cosas claramente distintas: el efecto invernadero y el aumento del efecto invernadero. Si hablamos de efecto invernadero, el gas que más contribuye al mismo es el vapor de agua, mucho más que el resto de todos los demás gases juntos. En cambio, si de lo que hablamos es del aumento del efecto invernadero, el gas que más contribuye a dicho aumento es el dióxido de carbono (ved más detalles en los contenidos de este tema).

3. Una de las causas más importantes del cambio climático, es la disminución en el grosor de la capa de ozono.

Considerar el adelgazamiento experimentado en la capa de ozono como una causa del cambio climático, es una idea ampliamente extendida. Algunos estudiantes la justifican argumentando que los rayos ultravioleta llegan a la superficie de la Tierra con más potencia y la calientan más, aumentando así el efecto invernadero. Curiosamente, en muchos casos también se defiende que este adelgazamiento, de alguna manera, ha sido causado o es una consecuencia más del cambio climático. No obstante, ninguna de esas dos ideas (aunque se hallan ampliamente extendidas, se detectan todos los niveles educativos y gozan de gran aceptación), se puede considerar como científicamente aceptable. El adelgazamiento de la capa de ozono no es una causa del cambio climático. Tampoco el cambio climático como tal, ha sido hasta ahora causa directa de dicho adelgazamiento, aunque esto, desgraciadamente, puede cambiar.¹

Para poder cuantificar la extensión de las ideas anteriores entre distintos niveles educativos y también en qué medida se perciben como científicamente correctas, hemos elaborado las siguientes cuestiones específicas, en las que el convencimiento acerca de que la respuesta dada es correcta, se mide con una nota de seguridad que va de 0 a 10 (0 mínimo, 10 máximo):

1. Imagina que todo el hielo que hay flotando sobre las aguas del océano Ártico (polo norte) y del océano Antártico (polo sur), se fundiera transformándose en agua líquida.

¿Qué consecuencias directas importantes piensas que tendría en el planeta la fusión de esa inmensa cantidad de hielo flotante?

Utiliza la tabla siguiente para escribirlas (cita como máximo tres consecuencias distintas).

	Consecuencia	Seguridad
1		
2		
3		

Si deseas aclarar o justificar brevemente alguna respuesta puedes hacerlo a continuación:

¹ En un reciente estudio científico, se muestra que el humo presente en la estratosfera procedente de los grandes incendios, junto con moléculas de cloruro de hidrógeno (HCl) y oxígeno (O₂) también allí presentes, desencadenan una serie de reacciones químicas que activan especies reactivas de cloro, como el radical ClO*, cuyo efecto es aumentar las tasas de pérdida de ozono estratosférico. Este hecho ya ha sido observado, de modo que si el efecto invernadero sigue aumentando al ritmo que lo hace y con él aumentan también los megaincendios emitiendo miles de toneladas de humo a la atmósfera, cabe temer que se produzca un retroceso en la recuperación de la capa de ozono que protege de la radiación ultravioleta y esta vuelva a adelgazar, no solo en las regiones polares, sino también en latitudes medias.

Fuente: Solomon, S., Stone, K., Yu, P. et al. Chlorine activation and enhanced ozone depletion induced by wildfire aerosol. Nature 615, 259–264 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05683-0>

2. Todas las sustancias siguientes se encuentran en la atmósfera en estado gaseoso:

Ozono, metano, dióxido de carbono, óxido nitroso, vapor de agua, nitrógeno

Si se considera globalmente el **efecto invernadero**, resulta que de todas ellas:

Seguridad

-La que más contribuye a este efecto es ----- ☐

-La que no contribuye a este efecto es ----- ☐

3. La disminución de grosor de la capa de ozono es un problema muy grave para toda la humanidad y muchos otros seres vivos, ya que dicha capa actúa como un filtro para las radiaciones ultravioleta. A continuación, se hacen dos afirmaciones sobre la capa de ozono. Indica si crees que la afirmación es verdadera o es falsa, poniendo una X en la casilla correspondiente (podría ser una verdadera y otra falsa, las dos verdaderas o las dos falsas):

Afirmación	Verdadera	Falsa	Seguridad
La disminución del grosor de la capa de ozono ha sido una consecuencia más del cambio climático actual.			
La disminución del grosor de la capa de ozono ha sido una de las causas del cambio climático actual.			

4. Durante los últimos 100 años el nivel del mar ha subido casi 20 cm. Por favor, indica a qué se debe o puede deberse dicha subida:

Seguridad

a) ----- ☐

b) ----- ☐

Como ampliación o complementarias a las cuestiones anteriores, se pueden utilizar también las siguientes:

5. Imagina que todo el hielo que hay flotando en las aguas del océano Ártico (polo norte) y del océano Antártico (polo sur), se fundiese totalmente convirtiéndose en agua líquida. Si eso se produjese, el nivel del mar (subraya solamente la opción con la que estés más de acuerdo):

Seguridad

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| a) No subiría nada | ☐ |
| b) Subiría mucho menos de un metro | ☐ |
| c) Subiría entre uno y diez metros | ☐ |
| d) Subiría mucho más de diez metros | ☐ |

Si deseas aclarar o justificar brevemente tu respuesta puedes hacerlo a continuación:

6. A continuación se enumeran cuatro procesos que desencadenan graves daños para el medio ambiente, los seres humanos y una gran parte de los seres vivos en general.

Para cada caso, señala con una X en la casilla correspondiente según creas que el proceso es una de las causas directas más importantes del Cambio Climático actual:

<i>Problema medioambiental</i>	<i>Agente causante del AEI</i>		<i>Seguridad</i>
	<i>SI</i>	<i>NO</i>	
<i>Crecientes emisiones de dióxido de carbono</i>			
<i>Pérdida de masa forestal</i>			
<i>Disminución del grosor de la capa de ozono</i>			
<i>Erupciones volcánicas</i>			

El profesorado interesado en cuantificar en qué medida estas ideas afectan a sus alumnos, así como la fortaleza de las mismas, pueden utilizar las cuestiones anteriores para averiguarlo. Nosotros, hace años, lo hicimos con estudiantes de Enseñanza Secundaria y también otros de Magisterio. Los resultados se pueden consultar en:

Carrascosa, J., Martínez, S., Alonso, M. y Ruíz, J.J. (2022). Análisis de algunas ideas alternativas relacionadas con el cambio climático. *Revista Científica* 45 (3), 296-314. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.17442>

En el siguiente anexo, se expone una posible estrategia adecuada para tratar una de tales ideas.

ANEXO 2

CONTRIBUCIÓN DE LA FUSIÓN DEL HIELO CONTINENTAL Y DEL HIELO MARINO AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

Autores: Jaime Carrascosa Alís. Salvador Martínez Sala. Manuel Alonso Sánchez
Diciembre 2018.

Antes de comenzar, conviene reflexionar acerca de la siguiente cuestión (escogiendo la propuesta que se considere más adecuada y, en su caso, adjuntando una breve explicación).

Supongamos un enorme bloque de hielo flotando en medio de un pequeño lago de agua dulce a comienzos del verano. Cuando avance el estío y ese bloque de hielo se haya fundido totalmente, se puede afirmar que el nivel del agua del lago, debido a este hecho (elige una de las opciones siguientes):

- a) *Habrà disminuido algo*
- b) *Permanecerà igual que antes*
- c) *Habrà aumentado un poco*
- d) *Habrà aumentado bastante*
- e) *No tengo ninguna opinión*



La propuesta correcta a la cuestión anterior es la b. En efecto: el hecho de fundirse todo el bloque de hielo no altera para nada el nivel del agua existente en ese momento porque, en este caso, el volumen total de agua líquida que se genera, es justamente igual al volumen de la parte sumergida del bloque de hielo y, consecuentemente, el nivel del agua del lago no variaría por esta causa².

A continuación, aplicando el principio de Arquímedes y algunos conocimientos básicos de Física, trataremos de demostrar el razonamiento anterior.

Datos y símbolos que se van a utilizar:

Densidad del agua dulce líquida: $d_a = 1000 \text{ kg/m}^3$

Densidad del hielo: $d_h = 916,8 \text{ kg/m}^3$

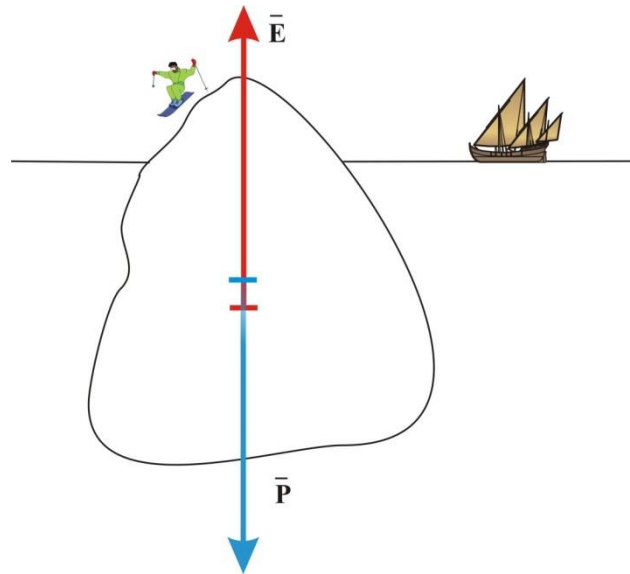
Volumen total del bloque de hielo flotante: $V_T = 100 \text{ m}^3$

Volumen de la parte del hielo sumergido: V_s

Conviene recordar que, según el principio de Arquímedes, el empuje experimentado por el hielo es una fuerza vertical y hacia arriba de valor igual al peso del volumen de agua que desaloja (el volumen de agua desalojada coincide exactamente con el volumen de hielo sumergido V_s).

² Naturalmente, sí podría variar por otras como la evaporación, aportes externos, dilatación del agua por aumento de la temperatura, etc.

Por otra parte, al encontrarse el bloque de hielo en equilibrio, se cumplirá que los módulos de la fuerza de empuje $\vec{E}$ y de la fuerza peso $\vec{P}$, han de ser iguales ($E = P$).



Podemos ahora plantearnos cuanto valdrá el volumen de hielo sumergido V_s

En principio, cabe esperar que el volumen sumergido de hielo dependa de la densidad del hielo, de la densidad del agua del lago y del volumen total del bloque:

$$V_s = f(d_h, d_a, V_T)$$

Concretamente, se puede pensar que V_s aumentará cuando, a igualdad de todos los restantes factores influyentes, d_a disminuya, d_h aumente o bien el volumen V_T aumente. Incluso es posible imaginar algún caso límite como, por ejemplo, que si $V_T \rightarrow 0$ el volumen de parte sumergida V_s también tenderá a 0, o bien que si la densidad del hielo pudiera aumentar hasta casi igualar a la densidad del agua líquida del lago ($d_h \rightarrow d_a$) el bloque sería prácticamente agua dulce líquida y $V_s \rightarrow V_T$.

Igualando los módulos de la fuerza de empuje y de la fuerza peso:

$$E = P \rightarrow V_s \cdot d_a \cdot g = V_T \cdot d_h \cdot g \rightarrow V_s = \left(\frac{d_h}{d_a} \right) \cdot V_T \quad (1)$$

Si analizamos el resultado anterior nos daremos cuenta de que no solo es dimensionalmente homogéneo (condición imprescindible para aceptarlo) sino también que en él se contemplan las hipótesis y casos límite considerados.

$$\text{Y sustituyendo valores: } V_s = \left(\frac{916,8}{1000} \right) \cdot 100 \rightarrow V_s = 91,68 \text{ m}^3$$

¿Qué volumen V_a de agua líquida produce el bloque de hielo cuando se funde totalmente?

Está claro que, aunque los volúmenes sean distintos ($V_a \neq V_h$), la masa de agua líquida (m_a) y la masa de hielo del cual procede (m_h) han de ser iguales ($m_a = m_h$). Calcularemos, pues, la masa de agua líquida y con ella y la densidad del agua líquida, el volumen de agua líquida, V_a , pedido:

$$m_a = m_h = d_h \cdot V_T ; \quad V_a = \frac{m_a}{d_a} \rightarrow V_a = \frac{d_h \cdot V_T}{d_a} \quad (2)$$

Con las ecuaciones (1) y (2), comprobamos que $V_a = V_s$

$$\text{Sustituyendo valores: } V_a = \frac{916'8 \cdot 100}{1000} = 91'68 \text{ m}^3$$

Así pues, el volumen de agua líquida que produce la fusión total del hielo flotante, cuando se trata de agua dulce, coincide exactamente con el volumen de la parte sumergida de dicho hielo. Vale la pena darse cuenta de que (1) y (2) son iguales porque la densidad del agua del lago y la densidad del agua resultante de la fusión del hielo, también lo son (por eso hemos utilizado para ambas el mismo símbolo, d_a).

Por tanto, en estas condiciones:

El nivel de agua del lago no cambiará por causa de que se funda el bloque de hielo que flota en él.

A esta misma conclusión se puede llegar de forma cualitativa mediante una estrategia experimental, fácil de llevar a cabo en cualquier laboratorio escolar. Como inicio de la misma, se puede plantear al alumnado que *proponga una posible experiencia destinada a mostrar que la fusión de hielo flotante sobre el agua dulce no altera el nivel de la misma*. La realización de esta actividad por los alumnos distribuidos en pequeños grupos de trabajo, junto con la orientación del profesor, suele conducir a la propuesta de utilizar diversos recipientes como botellas o probetas grandes y trozos de hielo adecuados. Basta con, por ejemplo, introducir el trozo de hielo en una de tales probetas y añadir después agua líquida hasta un determinado nivel para comprobar que, una vez fundido totalmente el trozo de hielo, el nivel sigue siendo el mismo que inicialmente

Cabe ahora preguntarse:

¿Ocurre lo mismo cuando hablamos de un gran bloque de hielo flotando en el océano?

Se trata de una pregunta muy importante, ya que, si no ocurriese lo mismo y resultase que el agua generada por la fusión del bloque de hielo ocupase más volumen que la parte sumergida del bloque de hielo que la originó, tendríamos que la fusión del hielo del casquete polar ártico y de la banquisa de hielo antártica, debido al calentamiento global, sí que estaría contribuyendo directamente, en alguna medida, al aumento del nivel del mar.

Y lo cierto es que tenemos razones para pensar que no ocurre lo mismo. En efecto: el agua salada es más densa que el agua dulce, por lo que *una misma masa de hielo* flota más en el mar que en un lago de agua dulce. Acabamos de ver que, en el caso del lago, el volumen de agua líquida generado coincide exactamente con el volumen de la parte de hielo sumergida. En el caso del mar, el volumen de

agua generado será el mismo que en el caso del lago (recordemos que la masa de hielo es la misma en ambos), pero como el volumen de hielo sumergido en el mar es menor que en el lago de agua dulce, el agua líquida generada tendrá un volumen algo mayor que el del hielo sumergido. La diferencia entre ambos volúmenes $\Delta V = V_a - V_s$ es el volumen de agua que puede, en principio, afectar al nivel del mar contribuyendo a su elevación. No obstante, antes de ningún tratamiento operativo, siempre que se pueda, conviene realizar alguna **estimación cualitativa previa**. En este caso, por ejemplo, podemos avanzar que esa diferencia de volumen no debe ser muy grande, ya que la diferencia entre la densidad del agua de mar y la densidad del agua dulce tampoco lo es.

Si llamamos d_{am} a la densidad del agua marina y aceptamos un valor medio de 1027 kg/m^3 , calculad el volumen sumergido para un bloque de hielo cuyo volumen total sea de 100 m^3 .

Teniendo en cuenta que el bloque de hielo se encuentra en equilibrio, la fuerza de empuje y el peso han de tener el mismo módulo (y sentidos contrarios), así que procediendo igual que anteriormente, tendremos que:

$$E = P \rightarrow V_s \cdot d_{am} \cdot g = V_T \cdot d_h \cdot g \rightarrow V_s = \left(\frac{d_h}{d_{am}} \right) \cdot V_T \quad (3)$$

$$\text{Y sustituyendo valores: } V_s = \left(\frac{916'8}{1027} \right) \cdot 100 \rightarrow V_s = 89'27 \text{ m}^3$$

Como vemos, el hecho de que el agua de mar sea más densa que el agua dulce, implica que el volumen de hielo sumergido es menor que anteriormente (porque flota más) y, por tanto, también es menor que el volumen de agua líquida originado cuando se funde todo el bloque. Basta comparar las expresiones (2) y (3) para, sin necesidad de ningún cálculo, darse cuenta de ello. Además se ha utilizado para d_h el mismo valor que en el caso anterior ($916'8 \text{ kg/m}^3$), sin distinguir si el bloque de hielo corresponde a un glaciar que desemboca en el mar (formado a partir de nieve caída) o bien se ha formado por congelación de agua marina (es decir, a partir de agua salada). Esto es así porque en este último caso, debido a determinados procesos físicos, la densidad del hielo marino con el tiempo llega a ser prácticamente igual a la del hielo continental y cuando se funde, lo que resulta es fundamentalmente agua líquida dulce. No ocurre lo mismo con la densidad del agua marina, la cual varía de unos lugares a otros.

¿En cuánto excede ahora el agua líquida producida al volumen de hielo sumergido?

Como es lógico este exceso vendrá dado por $\Delta V = V_a - V_s$

Sustituyendo V_a y V_s por sus expresiones correspondientes (2) y (3), tenemos que:

$$\Delta V = V_a - V_s = \left(\frac{d_h}{d_a} \right) \cdot V_T - \left(\frac{d_h}{d_{am}} \right) \cdot V_T$$

$$\text{Y simplificando, obtenemos finalmente: } \Delta V = d_h V_T \cdot \left(\frac{1}{d_a} - \frac{1}{d_{am}} \right) \quad (4)$$

Si analizamos el resultado obtenido, podemos darnos cuenta de que ΔV será nulo cuando las densidades del agua resultante de la fusión del hielo y del líquido en el que se encuentra flotando dicho hielo sean iguales (como ocurre cuando el hielo se encuentra en un lago de agua dulce). Si se trata de

un bloque de hielo flotando en el mar, como $d_{\text{am}} > d_a$ ocurrirá que $\Delta V > 0$ y ese ΔV es el que incide en el nivel del agua aumentándolo.

Si sustituimos los valores numéricos pertinentes en la expresión (4), obtenemos $\Delta V = 2'41 \text{ m}^3$

A este mismo resultado numérico, podríamos haber llegado directamente sin más que considerar que el bloque de hielo marino de 100 m^3 de volumen genera al fundirse totalmente el mismo volumen de agua líquida independientemente de cómo se haya originado o de dónde se encuentre. Como ese volumen ya se calculó anteriormente y era de $91'68 \text{ m}^3$, basta una simple resta para obtener el ΔV buscado:

$$\Delta V_a = 91'68 - 89'27 = 2'41 \text{ m}^3$$

Esta diferencia, insistimos, sí que afecta al aumento del nivel del mar, aunque mucho menos que si se tratase de agua líquida procedente de un bloque de hielo continental. En efecto, acabamos de ver que 100 m^3 de hielo continental producen $91'68 \text{ m}^3$ de agua líquida y que toda esa agua al ser vertida en el mar actúa directamente aumentando el nivel de este, mientras que del mismo volumen de hielo flotante, al fundirse totalmente, solo $2'41 \text{ m}^3$ del agua líquida generada, inciden en el nivel del mar (el resto, hasta $91'68 \text{ m}^3$, ocupa el mismo volumen que ocupaba la parte sumergida del hielo).

En conclusión: En términos de aumento del nivel del mar, la fusión de cada m^3 de hielo flotante equivale a un aporte extra de $0'0241 \text{ m}^3$ de agua.

Podemos preguntarnos ahora, por la intensidad de este efecto. Para ello puede ser útil situarnos en un escenario hipotético en el que se fundiese totalmente todo el hielo existente en el planeta, tanto continental como hielo marino flotante, en un momento dado, analizando cada caso por separado y cuantificando la elevación del mar que se produciría.

Como punto de partida, aceptaremos como válidos los valores medios que se dan en la siguiente tabla, aunque no correspondan con los valores reales actuales (muy posiblemente, menores).

Hielo		Volumen (km^3)	% del total
Continental	Marino flotante		
Glaciares		87000	0'29
Groenlandia		2980000	9'95
Antártida		262777000	87'74
	Casquete ártico	20000	0'07
	Banquisa antártica	585500	1'95

A partir de la tabla, calculad el volumen total de hielo continental total y el volumen total de hielo flotante existentes en el planeta para el periodo correspondiente a los datos de dicha tabla.

Simplemente sumando los datos correspondientes, se obtiene:

$$\text{Volumen total de hielo continental} \approx 29'3 \cdot 10^6 \text{ km}^3$$

Pero si lo que nos interesa es el volumen de hielo continental realmente capaz de producir un aumento del nivel del mar cuando se funda, conviene saber que en la Antártida hay unos $2'5 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ de hielo situados por debajo del nivel del mar y que, por tanto, su fusión no afectaría al nivel del agua marina. Restando, pues, este volumen del total, obtenemos que:

$$\text{Volumen total de hielo continental efectivo} = 29'3 \cdot 10^6 - 2'5 \cdot 10^6 = 26'8 \cdot 10^6 \text{ km}^3$$

Sumando también los datos correspondientes, se obtiene:

Volumen total de hielo flotante $\approx 605500 \text{ km}^3$

Teniendo en cuenta los dos últimos resultados numéricos obtenidos y admitiendo que la superficie estimada de los océanos y mares del planeta es de unos $360 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, calculad el aumento (en metros) que se produciría en el nivel del mar si todo el hielo continental se fundiese completamente y el agua líquida originada acabase en el mar. ¿Y si todo el hielo flotante en el mar se fundiese?

En cuanto al hielo continental (situado sobre tierra), basta aplicar la expresión (2) anteriormente deducida para obtener el volumen de agua que se produciría:

$$V_a = \frac{d_h \cdot V_T}{d_a} = \left(\frac{916'8}{1000} \right) \cdot 26'8 \cdot 10^6 = 24'57 \cdot 10^6 \text{ km}^3$$

Utilizando ahora la expresión matemática que relaciona el volumen V con la superficie S y la altura h , se obtiene:

$$V = S \cdot h \rightarrow h = V/S \rightarrow h = 24'57 \cdot 10^6 / 360 \cdot 10^6 = 0'06825 \text{ km} = 68'25 \text{ m}$$

Si tenemos en cuenta la imprecisión de las medidas, podemos situar dicho aumento, entre 60 y 70 m por encima del nivel actual.

Como la superficie marina no es la base de ningún cilindro, todo ese aumento de nivel haría que el agua del mar se adentrara kilómetros en todos los continentes, cambiando totalmente la configuración de los mapas. Naturalmente, hemos considerado un proceso hipotético, pero conviene no olvidar que el hielo continental, a consecuencia del calentamiento global, se está fundiendo y que eso ya está contribuyendo al aumento del nivel del mar (que ha sido de unos 19 cm en los últimos 100 años) y a la disminución de su salinidad, ambas cosas de muy graves consecuencias para toda la humanidad y la biodiversidad en general.

Aplicando la misma expresión (2) pero con los datos relativos al hielo marino flotante:

$$V_a = \frac{d_h \cdot V_T}{d_a} = \left(\frac{916'8}{1000} \right) \cdot 605.500 = 555.122'4 \text{ km}^3 \text{ de agua líquida}$$

Pero, según hemos visto anteriormente, ahora, a diferencia del hielo terrestre, solo una pequeña fracción de esta agua incide en el aumento del nivel del mar. Concretamente, $0'0241 \text{ m}^3$ de agua líquida por cada 1 m^3 de hielo marino flotante que se funda totalmente (equivalente a $0'0241 \text{ km}^3$ por cada 1 km^3). Teniendo esto en cuenta, obtenemos:

$$\Delta V = 605.500 \cdot 0'0241 \approx 14\,592'55 \text{ km}^3$$

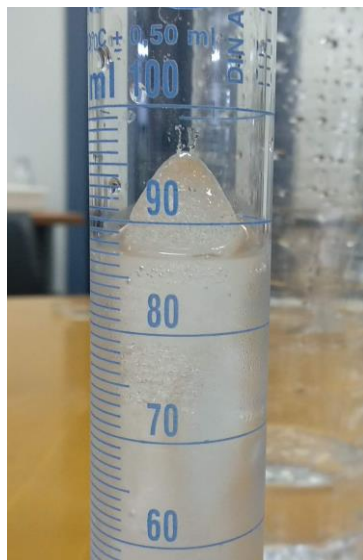
$$\text{Con lo que } h = V/S = 4'05 \cdot 10^{-5} \text{ km} \approx 4 \text{ cm}$$

Vemos, pues, que la subida del nivel del mar ocasionada directamente por la fusión de todo el hielo flotante (cualquiera que sea su origen) existente en un momento dado, se puede considerar despreciable frente a la subida ocasionada por la fusión del hielo continental asentado en tierra, por lo que, en lo que se refiere al calentamiento global, es perfectamente lícito ignorar la contribución de la fu-

sión del hielo flotante al aumento del nivel del mar³ (no así respecto a otros problemas, como, por ejemplo, la disminución de biodiversidad o el aumento de temperatura en las regiones polares debido a la pérdida progresiva de ese enorme escudo protector...).

Otra posible estrategia para resolver este problema es optar por la vía experimental. Ello, además, es una forma de someter a prueba el resultado obtenido teóricamente. Al igual que en el caso anterior, se puede recurrir a la utilización de botellas de plástico o probetas grandes y trozos de hielo adecuados. Sin embargo, aquí, en lugar de utilizar agua líquida dulce, se utiliza una disolución saturada de sal en agua. Obviamente, su densidad no es la misma que la del agua de mar, pero el experimento sirve igualmente para comprobar que al introducir un trozo de hielo en una probeta grande y después añadir el agua salada hasta alcanzar un nivel determinado, una vez completada la fusión del hielo, el nivel del líquido, al contrario que en la experiencia anterior, no es el mismo que inicialmente, sino que ha aumentado. El hecho de utilizar una disolución saturada de sal en agua hace que, al ser la densidad de dicha disolución sensiblemente mayor que la densidad del agua de mar, el aumento de volumen sea más perceptible. Por supuesto, esta comprobación, se puede hacer, incluso, de forma cuantitativa y constatar que los resultados numéricos (el obtenido teóricamente y el obtenido experimentalmente), dentro del margen de error correspondiente, coinciden.

En nuestro caso, se utilizó una probeta de 100 ml (calibrada en ml), en la que se introdujo un bloque cilíndrico de hielo de 28'87 g de masa (previamente fabricado con agua destilada) e inmediatamente después se vertió parte de una disolución saturada de sal común en agua destilada (densidad 1'18 g/ml) hasta enrasar a 85 ml. Una vez fundido totalmente el hielo, se volvió a medir el volumen de agua salada resultante en el interior de la probeta, el cual resultó ser de 89 ml, lo que supone un aumento de volumen $\Delta V = 4$ ml. En la figura siguiente se puede observar la probeta utilizada en un momento dado durante la fusión del hielo en su interior.



Bloque de hielo fundiéndose en una disolución de sal común en agua. (Fuente: elaboración propia)

Introduciendo los datos experimentales en la ecuación 4 anterior (donde se ha sustituido d_{am} por la densidad del agua salada utilizada), se obtiene:

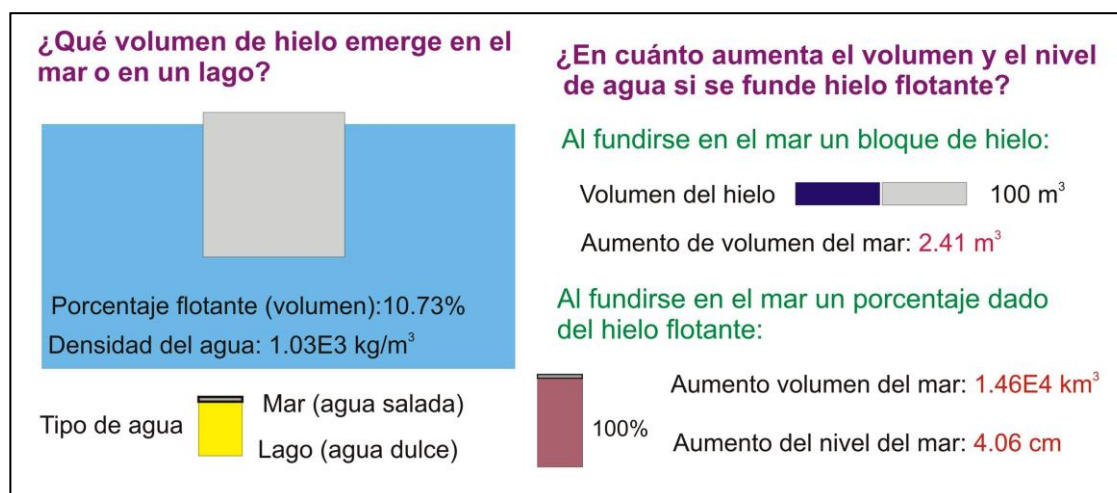
³ Hablamos de contribución directa debida exclusivamente a la fusión. Otra cosa es la mayor elevación del mar que se produciría debido a la expansión térmica de un agua más caliente.

$$\Delta V = d_h V_T \cdot \left(\frac{1}{d_a} - \frac{1}{d_{am}} \right) = 28'87 \cdot \left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{1180} \right) = 0'0044 \text{ m}^3 = 4'4 \text{ ml}$$

Calculando la imprecisión absoluta correspondiente, se obtiene $\varepsilon(\Delta V) = \pm 0'5 \text{ ml}$, con lo que: $\Delta V = (4'4 \pm 0,5) \text{ ml}$. Como puede verse, el resultado experimental obtenido queda dentro del intervalo de imprecisión del resultado teórico.

Para reforzar varios de los conceptos involucrados en este anexo existen dos animaciones interactivas que se pueden utilizar:

En una de ellas se representa un bloque de hielo flotando sobre una masa de agua. Los alumnos pueden usar un controlador manual para elegir entre agua marina y agua dulce, y otro para fijar el volumen total inicial del bloque de hielo flotante. La animación calcula y representa el porcentaje de hielo flotante, junto con el aumento del volumen de agua líquida que se produciría si se fundiera totalmente dicho bloque. También permite obtener el incremento en el volumen y en el nivel del mar que tendría lugar si se fundiera un porcentaje (que se puede determinar usando un tercer controlador manual) de todo el hielo flotante actual.



La otra animación, remite a la estrategia de resolución del problema por vía experimental. Representa un trozo de hielo flotante en una probeta llena de una disolución salina, y se pueden usar tres controladores manuales para modificar la densidad de la disolución, la masa del pedazo de hielo y la propia densidad del hielo. Además de calcular los porcentajes y los volúmenes de hielo flotante y sumergido, la animación también obtiene el incremento volumen que se produciría en la probeta si se derritiera el pedazo de hielo.

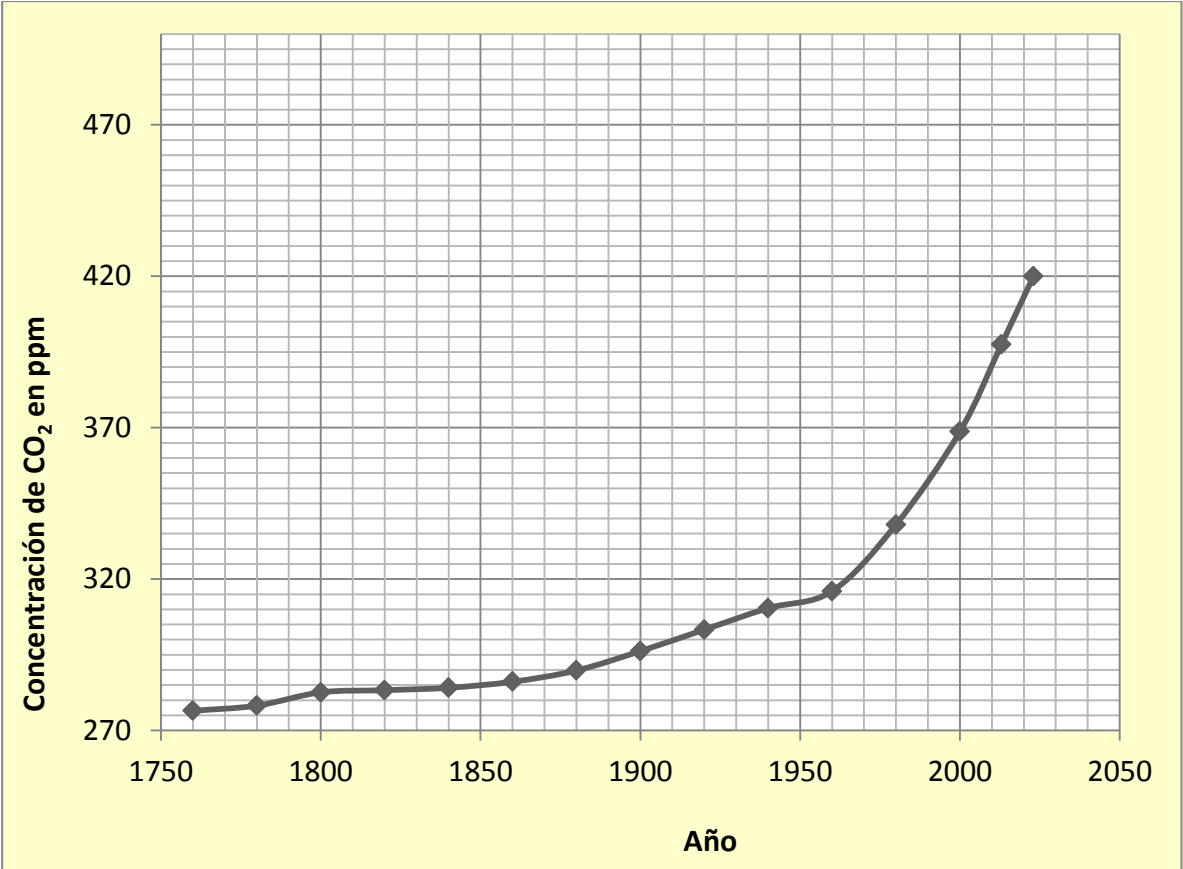
Las dos animaciones y el programa para hacerlas correr están disponibles en la página “Web de Materiales para la Enseñanza y la Divulgación de la Física”, de la Sección Local de Alicante de la RSEF. <http://rsefalicante.umh.es/Animaciones/Animaciones06.htm>
 (Para abrirlas en el ordenador se necesita instalar el programa libre y gratuito [Modellus2.5](#) en ordenadores de 32 bits o la aplicación [Modellus 3](#) en ordenadores de 64 bits).

ANEXO 3

GRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES INVERNADERO EN LA ATMÓSFERA DESDE 1760 HASTA 2021

En este anexo 3, se muestran las gráficas (elaboradas por el autor) correspondientes a los gases invernadero dióxido de carbono, metano y monóxido de dinitrógeno.

1. Gráfica de la evolución de la Concentración de CO₂ en la atmósfera

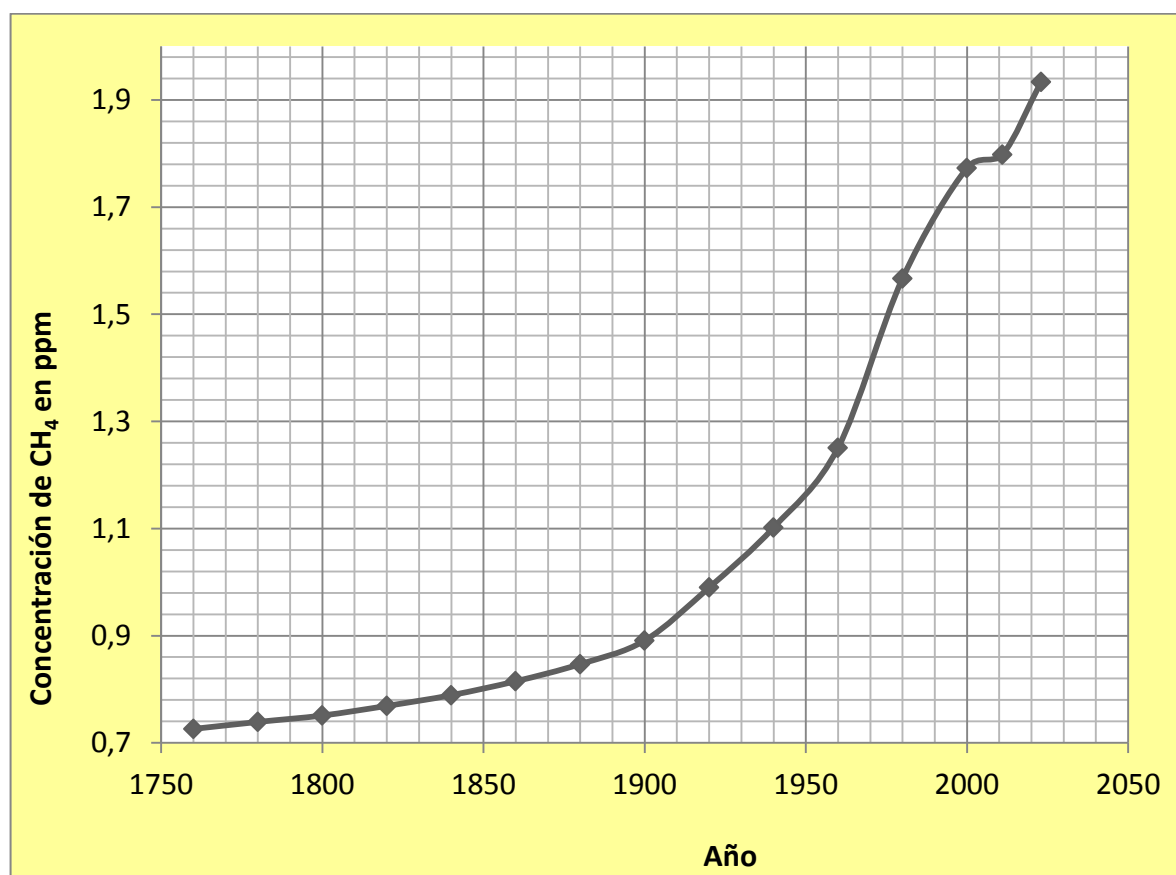


Año	1760	1780	1800	1820	1840	1860	1880	1900	1920	1940	1960
Conc.CO ₂	276,5	278,2	282,6	283,3	284,1	286,1	289,8	296,2	303,3	310,4	316,0

Año	1980	2000	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Conc. CO ₂	338,0	368,7	417,9	420,0							

Analizando los datos de la gráfica, se puede determinar que el incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera desde los inicios de la era industrial (1760) hasta el 2023, ha sido del orden del 52 %

2. Gráfica de la evolución de la Concentración de CH₄ en la atmósfera

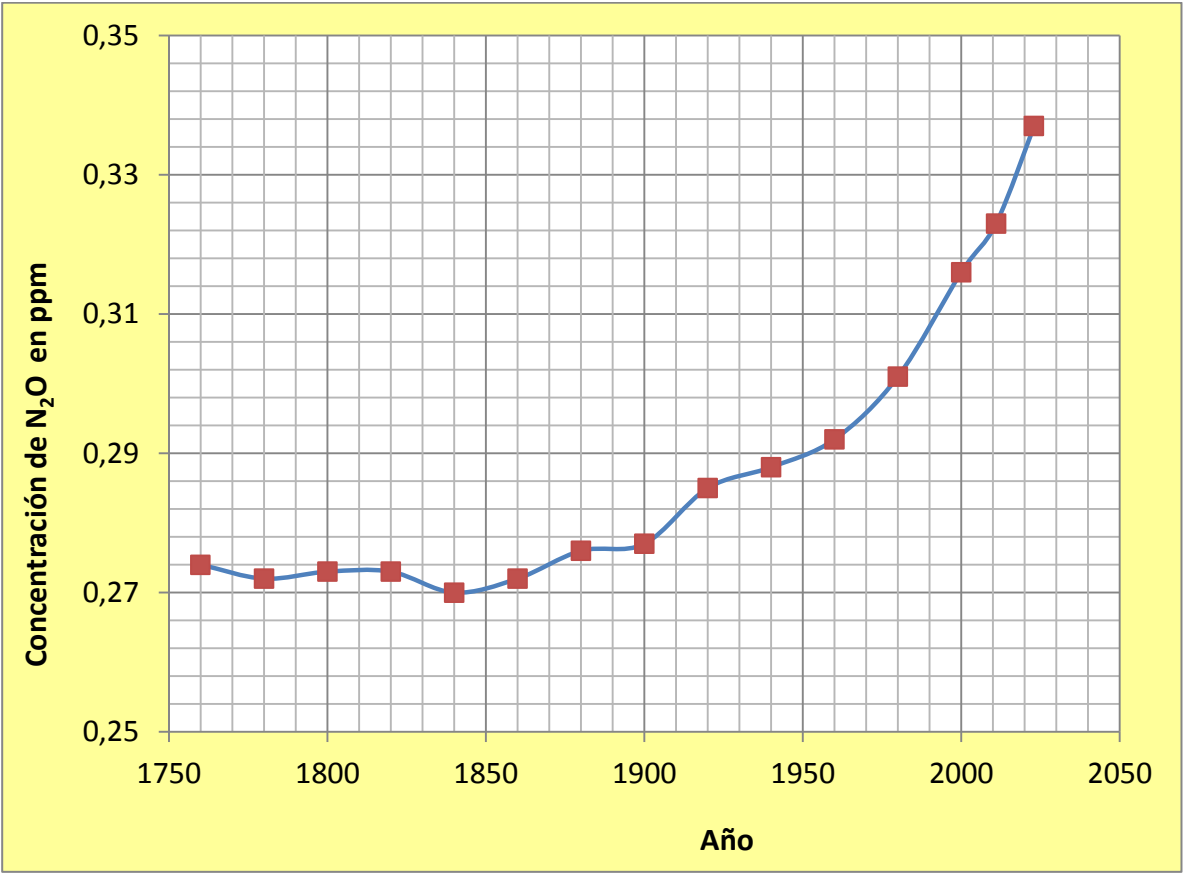


Año	Conc. CH ₄
1760	0,726
1780	0,739
1800	0,751
1820	0,769
1840	0,789
1860	0,815
1880	0,800
1900	0,891
1920	0,990
1940	1,102
1960	1,251
1980	1,567
2000	1,773
2011	1,798
2022	1,923

Año	Conc. CH ₄
2023	1,934

Analizando los datos de la gráfica, se puede determinar que el incremento en la concentración de CH₄ en la atmósfera desde los inicios de la era industrial (1760) hasta el 2023, ha sido del orden del 166 %

3. Gráfica de la evolución de la Concentración de N₂O en la atmósfera



Año	Conc. N ₂ O
1760	0,274
1780	0,272
1800	0,273
1820	0,273
1840	0,27
1860	0,272
1880	0,300
1900	0,277
1920	0,285
1940	0,288
1960	0,292
1980	0,301
2000	0,316
2011	0,323
2022	0,335

Año	Conc. N ₂ O
2023	0,337

Analizando los datos de la gráfica, se puede determinar que el incremento en la concentración de N₂O en la atmósfera desde los inicios de la era industrial (1760) hasta el 2023, ha sido del orden del 23 %.

ANEXO 4

CONCEPTO DE TEMPERATURA MEDIA GLOBAL

En la Tierra existe una gran variedad de climas. Podemos hablar así de una temperatura media de -20°C en Groenlandia o de $+25^{\circ}\text{C}$ en el Sáhara, etc. Cuando se calcula la media de todos esos valores locales de temperatura abarcando todo el planeta, se obtiene un valor al que se denomina temperatura media global.

De acuerdo con lo anterior, la temperatura media global no es algo que se pueda medir directamente. Por el contrario, se trata de una magnitud estadística, resultado de muchas medidas diferentes. Cabe plantearse cuál es el sentido y la utilidad de esta magnitud.

Desde un punto de vista científico, la temperatura global de la Tierra es la temperatura de equilibrio radiativo. Según el cual, la temperatura media del planeta viene determinada por el hecho de que la energía que entra en el planeta ha de ser la misma que la que sale de él. Si por alguna razón ese balance se ve alterado y, por ejemplo, se emite al exterior menos energía de la que entra, el valor de la temperatura media global aumenta hasta que se alcanza un nuevo equilibrio.

La determinación del valor de la temperatura media global de la Tierra correspondiente a cada año no es algo sencillo, pero de hecho se puede calcular con una fiabilidad aceptable. Las lecturas que se deben tratar estadísticamente, provienen de millones de estaciones meteorológicas repartidas por todos los continentes, así como de instrumentos ubicados en boyas marinas y barcos científicos. También, desde los años 80 del siglo pasado, se utilizan datos proporcionados por satélites meteorológicos.

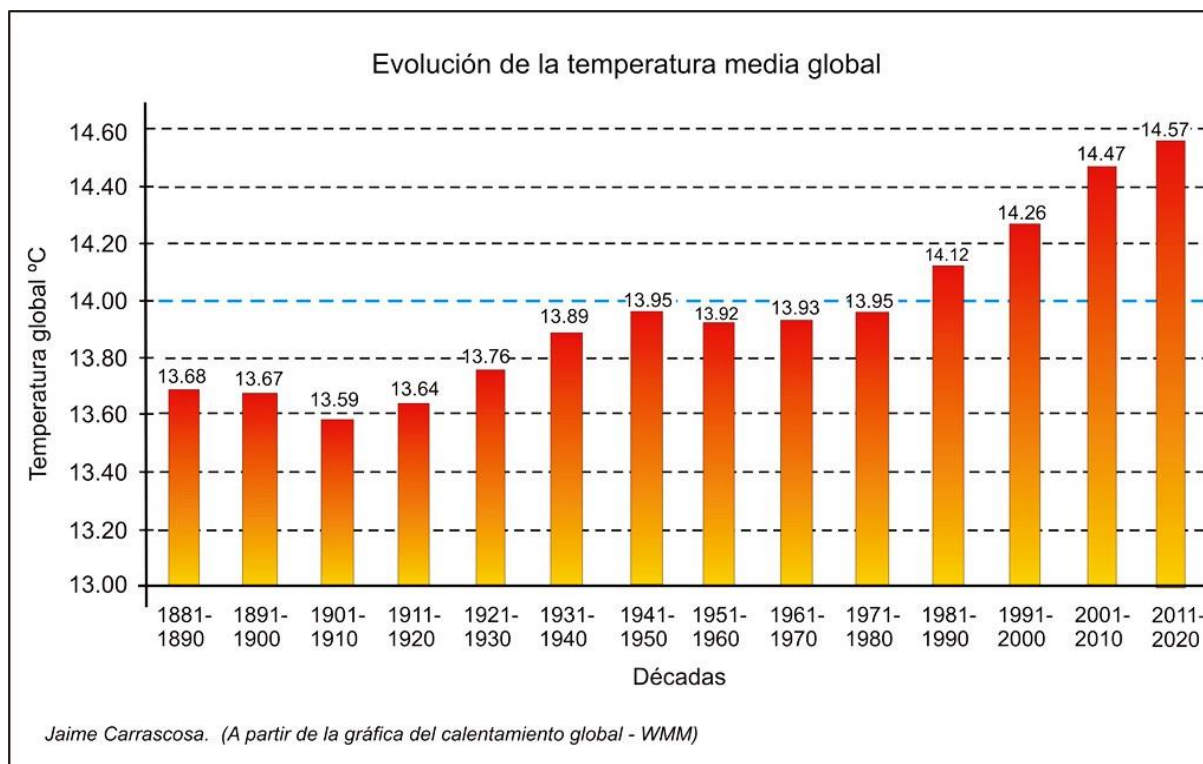
El tratamiento estadístico de toda esa cantidad ingente de datos ha permitido determinar, por ejemplo, que el valor de la temperatura media global correspondiente al periodo 1961-1990 (habitualmente utilizado como referencia), fue de 14°C , con un margen de error de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y que la diferencia entre la temperatura media global en 2010 y la de dicho periodo de referencia se eleva a $+0.53^{\circ}\text{C}$ con un margen de error de solo $\pm 0.09^{\circ}\text{C}$. Tanto el quinquenio 2015-2019, como el decenio, 2010-2019, han sido los más calurosos desde que hay registros. (Fuente: Agencia Estatal de Meteorología -AEMET).

Todos estos datos, cuando se extienden atrás en el tiempo, permiten concluir que:

A fecha de enero de 2025, veinticuatro de los 25 años más cálidos, desde que empezaron a registrarse estos datos (1880), han ocurrido desde 2001, con la sola excepción de 1998.

El grado de calentamiento en los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, ha sido excepcional (los 10 años más cálidos desde 1880), ocupando 2024, 2023, 2016, 2019 y 2020 los cinco primeros puestos con 2024 a la cabeza. En cada uno de esos diez años, la temperatura media mundial siempre ha superado en más de 1°C la correspondiente al periodo que se toma como referencia (1850-1900).

En la gráfica siguiente se puede ver claramente cómo, desde los años 80, cada década sucesiva ha sido más cálida que cualquiera otra anterior, tal y como se muestra claramente en el gráfico siguiente.



(Gráfica elaborada por el autor a partir del original de calentamiento global de WMO y temperaturas medias del decenio 2011-2020).

Si observamos la gráfica anterior, podemos ver la evolución de las temperaturas medias globales de la Tierra correspondientes a las décadas desde 1880 (cuando comenzaron a registrarse los datos) hasta el 2020 inclusive. En ella se observa una tendencia general a aumentar y cómo esa tendencia es mucho más acusada durante las cuatro últimas décadas en las que siempre ha ido al alza. La línea punteada en azul corresponde a la temperatura media global del periodo 1961-1990 (14 °C), habitualmente tomado como referencia. Es en la década de los años 80 del siglo pasado cuando se supera ese valor de 14 °C.

Ya hemos comentado en el tema que el aumento de la temperatura media global del planeta es un claro indicador del Cambio Climático y de las graves consecuencias que tendría el no conseguir mantener ese aumento por debajo de 1'5 °C respecto al inicio de la era industrial. Existe una amplia evidencia científica de que sobrepasar los 2°C de aumento produciría grandes cambios climáticos catastróficos e irreversibles a escala planetaria, poniendo en riesgo la habitabilidad de gran parte del planeta. En ese sentido, la gráfica anterior, no es nada tranquilizadora.

ANEXO 5

EVOLUCIÓN DE LOS GLACIARES DEL PIRINEO ESPAÑOL

El mayor glaciar que existe en España es el del Aneto (la segunda montaña más alta de la península). Se trata de una especie de lengua blanca de unos 2 km de longitud. En la figura siguiente se puede observar la disminución de la extensión de hielo de este glaciar. En efecto, la línea amarilla muestra el borde de la lengua de hielo en el año 1985, la blanca en 2011 y la ocre en 2020.



Hace poco más de 170 años, se contabilizaban en el Pirineo español un total de 52 glaciares. En el 2020 solo quedaban 19 y todos ellos se encuentran agonizando o bien ya están muertos (han dejado de moverse y se han convertido en heleros).

En la tabla siguiente se muestra el número de glaciares existente junto con la extensión total de hielo que suponen, en distintos años, desde 1850 hasta 2022.

Año	1850	1984	2008	2016	2023
Total de glaciares en el pirineo español	52	39	22	19	15
Extensión total de hielo (km ²)	20'60	8'10	3'07	2'42	1'40

Analizando los datos de la tabla anterior, se puede comprobar que:

De 1850 a 1984 (es decir en 134 años), desaparecieron 13 glaciares y la superficie total de hielo se redujo en 12'5 km² (es decir, algo más del 60 %). Ello supone una pérdida de más de 0'1 km² de superficie de hielo cada año.

De 1984 hasta 2023 (es decir en los 39 años posteriores), desaparecieron 24 glaciares y la superficie total de hielo se redujo en 6'70 km² (más del 80 %). Ello supone, una pérdida de 0'17 km² de superficie de hielo cada año.

De acuerdo con los datos anteriores parece claro que el retroceso y la desaparición final de los glaciares pirenaicos es un proceso irreversible. De hecho algunos expertos estiman que hacia 2050 habrán desaparecido prácticamente en su totalidad.

Fuentes:

Rico, I., Izagirre, E., Serrano, E., López-Moreno, J. I. (2017). Superficie glaciar actual en los Pirineos: Una actualización para 2016. *Pirineos*, 172, e029. Accesible en internet (05-01-2021). <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2017.172004>

Instituto Pirenaico de Ecología

ANEXO 6

URBANISMO Y AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO

Todos los expertos en cambio climático, están de acuerdo en el importante protagonismo que tienen las grandes ciudades en el calentamiento global. En efecto, según datos de Naciones Unidas (Acción por el Clima) y del Banco Mundial, las ciudades en todo el mundo consumen más del 70 % de la energía que se genera en el planeta (principalmente mediante el uso de combustibles fósiles) y son responsables, también, de más del 70 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

Proposed posibles explicaciones a los datos suministrados en el párrafo anterior

Hay que tener en cuenta el hecho de que, a comienzos del siglo pasado, menos del 5% de la población mundial habitaba en grandes ciudades mientras que, tan solo un siglo después (concretamente en el año 2007), el número de habitantes urbanos en el mundo sobrepasó al número de habitantes rurales, y en el 2023, según datos del Banco Mundial, alrededor del 56% de la población mundial vivía en ciudades. Para el 2050, se espera que más de las dos terceras partes de la población mundial (7 de cada 10 personas) viva en zonas urbanas.

Actualmente en el planeta hay más de 500 ciudades con más de 1 millón de habitantes, 74 de ellas superan los 5 millones de habitantes y 42 de estas últimas son megaciudades, es decir, superan los 10 millones de habitantes.

Y aunque el territorio que ocupan todas estas ciudades es solo el 2% de la superficie terrestre, son muchas las grandes ciudades que sustituyen las tierras agrícolas cercanas, por determinadas infraestructuras, tales como carreteras de circunvalación o polígonos industriales, de modo que una gran cantidad de alimentos que se consumen diariamente por sus habitantes, han de ser transportados desde largas distancias.

Además, una gran cantidad de hogares se hallan muy alejados del lugar de trabajo o de estudio, dispersos en suburbios o en zonas que no disponen de un buen transporte público, por lo que muchos de sus habitantes, utilizan diariamente medios de transporte motorizado privados para ir y volver del trabajo o del centro escolar, lo que produce un aumento notable de vehículos motorizados en las carreteras (y no podemos olvidar que, por ejemplo, en la Unión Europea, el transporte por carretera, es responsable de la quinta parte de las emisiones totales de CO₂)⁴. Por otra parte, son también muchos los hogares en los que para cocinar, disponer de agua caliente o controlar la temperatura en su interior, disponen de sistemas y aparatos (cocina, baños, calderas, refrigeradores...) que funcionan utilizando energía proveniente en su mayoría de combustibles fósiles. La situación descrita anteriormente, se potencia cuando los precios de compra o de alquiler en las ciudades son muy altos y muchas personas no pueden permitirse vivir en ellas.

Tampoco podemos ignorar el efecto “isla de calor” que se da en muchas grandes urbes. Dicho efecto se produce cuando la estructura urbana impide la adecuada circulación del aire de las típicas brisas de tierra nocturnas. También contribuyen otros factores tales como un denso y continuo tráfico de vehículos a motor junto con la escasez de zonas verdes, así como la existencia de grandes superficies de asfalto. Además, hay que tener en cuenta que la escasez de vegetación y suelos de tierra, impiden que se produzca el enfriamiento por evaporación y transpiración que se da en zonas en las que abunda la vegetación. Todo ello hace que en el centro de la ciudad se acumule mucho calor durante el día

⁴<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>

y que este resulte después muy difícil de disipar durante las cortas noches de verano, produciéndose así un sobrecalentamiento con respecto a las zonas rurales que rodean la ciudad (de ahí el calificativo de “isla de calor”). La consecuencia es que en estas ciudades (y más si están en la costa mediterránea, cerca de un mar cada vez más caliente), está aumentando muy notablemente el número de noches ecuatoriales, con temperaturas mínimas por encima de 24 °C. (Sánchez Mora, J.A., 2020).⁵ Naturalmente, ello hace que se destine mucha energía para la refrigeración de las viviendas, haciendo funcionar continuamente, también durante las noches, numerosos aparatos de aire acondicionado.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se comprende que todos esos factores que acabamos de enumerar, asociados a la urbanización creciente y la despoblación del medio rural, sean elementos muy influyentes en el aumento del efecto invernadero, además de ocasionar otros graves problemas interrelacionados con este, como la alta contaminación ambiental que afecta los habitantes de las ciudades superpobladas y el efecto isla de calor que acabamos de explicar. Esto es así, fundamentalmente, por la gran cantidad de energía asociada a la construcción, mantenimiento y funcionamiento de todas las infraestructuras (transporte, comunicaciones, climatización, limpieza, tratamiento de residuos generados, turismo, etc.), energía que, insistimos, en su mayor parte, proviene de combustibles fósiles, lo que, entre otras cosas, genera emisiones de CO₂, el principal causante del aumento del efecto invernadero.

Enumerad posibles acciones a llevar a cabo, que contribuyan a disminuir la alta emisión de gases de efecto invernadero desde las ciudades.

Las ciudades son, como hemos visto, los principales agentes causantes del problema que supone el aumento del efecto invernadero debido, fundamentalmente, a las crecientes emisiones de CO₂, pero también son lugares en los que existen universidades y otros centros de investigación que desempeñan un papel muy destacado en dar respuestas y soluciones creativas a este problema. A este respecto, sabemos que determinadas prácticas urbanas, tienen un gran potencial para disminuir las emisiones de CO₂ y de otros gases invernadero. Entre otras:

- ✓ Suministrar la energía necesaria mediante fuentes de energías limpias y renovables.
- ✓ Llenar los tejados de centros comerciales, escolares, fábricas, hogares... de placas fotovoltaicas, facilitando el autoconsumo de los ciudadanos.
- ✓ Diseñar edificios eficientes energéticamente, teniendo en cuenta el clima local.
- ✓ Planificar las ciudades para las personas y no para los vehículos a motor.
- ✓ Disuadir del uso innecesario del vehículo privado, en particular de los que funcionen con combustibles derivados del petróleo.
- ✓ Potenciar las redes de transporte público eficiente y barato, así como las rutas para peatones y los carriles para bicicletas.
- ✓ Mejorar la gestión de basuras y deshechos.
- ✓ Capturar y reutilizar el metano que se desprende en los vertederos.
- ✓ Aumentar la extensión de la cubierta arbórea y de espacios verdes.
- ✓ Favorecer un crecimiento urbano más compacto (edificios altos separados por zonas verdes y arbolado) en vez de una urbanización fragmentada, extensa y desordenada, sin apenas espacios verdes.
- ✓ ...

Afortunadamente, en muchas ciudades se están apoyando buenas prácticas urbanas como las que acabamos de enumerar. Por citar un ejemplo, podemos referirnos a la creación en 2010 de la figura de “capital verde” de la Unión Europea, en la que cada año se elige una ciudad que destaque por sus

⁵ <https://aemetblog.es/2020/07/03/noches-muy-calidas-en-las-ciudades-mediterraneas/>

aportaciones a la sostenibilidad urbana. En España ostentó ese título la ciudad de Vitoria-Gasteiz (en 2012) y Valencia en el 2024.

Conviene también tener en cuenta que son las ciudades de los países poco desarrollados las que, a pesar de contribuir muy poco a todas las emisiones de CO₂, más sufrirán los impactos del cambio climático. Esas ciudades, son muchas y, como es lógico, aspiran a prosperar y modernizarse. Por eso, es necesario, que los países ricos (que son los mayores emisores de CO₂), contribuyan a que ello se pueda realizar de forma ordenada, sin aumentar las emisiones de gases invernadero, para no dañar peligrosamente la habitabilidad de todo el planeta.

Las medidas anteriormente expuestas, junto con otras, si se impulsan y desarrollan en **todas** las ciudades, pueden lograr una transición en la que estas pasen de ser los mayores emisores de CO₂ a convertirse en ciudades verdes, ecológicas y resilientes ante el caos climático en el que nos encontramos.

Bibliografía consultada en la elaboración de este anexo

ONU. Noticias. Las ciudades, “causa y solución” del cambio climático. 18 Septiembre 2019. [Cambio climático y medioambiente](https://news.un.org/es/story/2019/09/1462322). Accesible en marzo de 2024 en: <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462322>

Banco Mundial. Comunicado de prensa. 18 de mayo de 2023. Las ciudades son la clave para resolver la crisis climática. Accesible en marzo de 2024 en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2023/05/18/cities-key-to-solving-climate-crisis>

Vilches, A., Gil Pérez, D., Toscano, J.C. y Macías, S, O. (2014). «Educación para la Sostenibilidad» [artículo en línea]. OEI. ISBN 978-84-7666-213-7. <http://www.oei.es/decada/accion.php?accion=2>

Núñez Mora, J.A. (2020). [Noches muy cálidas en las ciudades mediterráneas](https://aemetblog.es/2020/07/03/noches-muy-calidas-en-las-ciudades-mediterraneas/). [aemetblog](https://aemetblog.es/2020/07/03/noches-muy-calidas-en-las-ciudades-mediterraneas/). <https://aemetblog.es/2020/07/03/noches-muy-calidas-en-las-ciudades-mediterraneas/>

ANEXO 7

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS A LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA

En el número de National Geographic de 5 de febrero de 2020, se hace referencia a un estudio publicado en 2018 en la revista Science por científicos de la Universidad de Oxford, en el que se afirma que al menos un 25 % de las emisiones anuales de los gases de efecto invernadero corresponden al sector de la alimentación, entendiendo por tal la suma de la agricultura y de la ganadería. Es más, de esa cuarta parte de las emisiones, cerca del 60 % se debe a la generación de productos cárnicos.

En un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación⁶ (FAO), presentado en 2023, se detalla que en 2015, los sistemas agroalimentarios ganaderos, que incluyen las actividades de producción en las explotaciones y algunos procesos fundamentales de la cadena de suministro, como el cambio en el uso de la tierra relacionado con los piensos, el transporte y la fabricación de insumos, representaron aproximadamente 6 200 millones de toneladas de CO₂ equivalente, lo que equivale a alrededor del **12 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero** antropogénicas y a cerca del 40 % de las emisiones totales de los sistemas agroalimentarios, que la [FAO](#) ha estimado que ascienden a unas 16 000 millones de toneladas de CO₂ equivalente. En ese mismo informe, se señala que sin intervenciones y sin aumentos de la productividad, es probable que, para satisfacer el aumento de la demanda, las emisiones mundiales del sector ganadero sobrepasen los 9000 millones de toneladas de CO₂ equivalente, para el año 2050.

Estas cifras tan altas se explican porque los alimentos, bien sean de origen animal o vegetal, antes de llegar a la mesa han tenido que ser producidos, elaborados, envasados, transportados, preparados, etc. Cada uno de estos procesos requiere usar energía. Pensemos en la ingente cantidad de animales destinados a suministrar carne para nuestro consumo (vacas, cerdos, corderos, etc.). Solo en ganado vacuno, se calcula que en el mundo hay actualmente unos 1500 millones de animales. Cada uno de ellos requiere de una cierta cantidad de agua, energía y suelo (pastos) para su crianza y para su comercialización final, una vez sacrificado. Si esa energía la multiplicamos por cientos de millones, eso supone una emisión muy importante de gases invernadero. Además, también hay que contabilizar las contribuciones indirectas a la emisión de gases invernadero, que suponen, por ejemplo el transporte de soja desde Sudamérica para alimentar el ganado en Europa, camiones que transportan las cabezas de ganado al matadero, barcos y aviones que llevan carne a otros países, etc.

Una atención particular merece la emisión de metano que, como se ha visto en el tema, se genera en parte por la digestión en los animales rumiantes, por el estiércol, por humedales (como los terrenos en los que se cultiva el arroz) y en los vertederos con materia orgánica en descomposición.

En cuanto a otro gas invernadero como es el N₂O, recordemos que parte de las emisiones de este gas se deben al uso de fertilizantes químicos (abonos nitrogenados) en la agricultura.

De acuerdo con un reciente trabajo publicado en la revista National Geographic⁷, Nueva Zelanda tiene unas siete veces más cabezas de ganado rumiante (entre vacas y ovejas) que habitantes. En el artículo, también se afirma que esa gran abundancia de ganado tiene un elevado coste medioambiental, ya que la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero del país proceden del sector

⁶ [Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems](#)

⁷ Hicks Wogan. El impuesto a los gases de las vacas llega a Nueva Zelanda. Actualizado 27 de enero de 2023. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/11/>

agrícola-ganadero, sobre todo en forma de metano biológico procedente de las ventosidades del ganado y N_2O de los orines y fertilizantes. Ante esta situación, en octubre de 2022, la entonces primera ministra Jacinda Ardern presentó un plan para que los ganaderos neozelandeses paguen nuevos impuestos basados en el cálculo de las emisiones de sus rebaños. El dinero recaudado por el impuesto se devolvería a la industria agrícola para la investigación, la tecnología y el pago de incentivos a los agricultores por sus esfuerzos para reducir los gases de efecto invernadero⁸.

Es comprensible, pues, que se reclame la puesta en marcha de medidas apropiadas que permitan disminuir las emisiones de gases invernadero asociadas al sector agrícola y ganadero. También habría que avanzar progresivamente hacia un menor consumo de productos cárnicos y lácteos, y favorecer en nuestra dieta alimentos locales y de temporada (lo que supone menos energía asociada a su transporte y distribución). Este último punto es importante, ya que a veces, el consumo de una simple pieza de fruta importada de un país lejano tiene un impacto mayor en el aumento del efecto invernadero, que el de una cortada de jamón proveniente de un animal de la zona.

⁸ Conviene tener en cuenta que, a pesar de su extensa cabaña ganadera, Nueva Zelanda obtiene más del 80 % de su energía de fuentes renovables y apenas aporta el 0,17% a las emisiones mundiales de CO_2

ANEXO 8

¿POR QUÉ NO ESTAMOS HACIENDO MÁS DE LO QUE HACEMOS (Y MEJOR) PARA FRENAR EL CAMBIO CLIMÁTICO ANTES DE QUE SEA DEMASIADO TARDE?

Jaime Carrascosa Alís

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.

España. jaime.carrascosa@uv.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4707-1706>

“A mitad del camino de la Agenda 2030, la ciencia es clara: el planeta está muy lejos de cumplir sus objetivos climáticos” (OMM. Unidos en la Ciencia. 2023).

En la actualidad una gran parte de la población entre la que se incluyen gobernantes, grandes empresas y grupos de comunicación de todo el mundo, es consciente del problema que supone el cambio climático antropogénico. En una reciente e histórica encuesta mundial⁹ elaborada para Naciones Unidas, con la colaboración de la Universidad de Oxford y GeoPoll, en la que participaron ciudadanos de 77 países se muestra, entre otros resultados muy relevantes, que:

-Un 80% de la población mundial quiere que sus gobiernos tomen medidas más contundentes para hacer frente a la crisis climática.

-Un 86% desea que los distintos países aparquen sus diferencias geopolíticas y colaboren en la lucha contra el cambio climático.

-Un 72 % está a favor de una rápida transición para abandonar los combustibles fósiles. Este resultado, se señala, es válido también para los países que figuran como grandes productores de petróleo, carbón o gas, con mayorías que van desde el 89% en Nigeria al 54% en los Estados Unidos.

Los resultados anteriores (publicados en junio de 2024), muestran un consenso muy elevado en la población mundial, una demanda clara para que se reconozca el cambio climático como una prioridad y, en consecuencia, los líderes políticos dejen de lado sus diferencias y se centren en hacer frente común, de la forma más justa y eficaz posible, a este grave problema global.

Por otra parte, los sucesivos y detallados informes científicos del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1988-2023), junto con muchos otros informes y miles de documentos científicos, coinciden en señalar al cambio climático antropogénico como uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la humanidad (Ripple et al. 2024). Para darse cuenta de ello, basta con reflexionar acerca de los efectos que tienen para toda la población mundial, algunos procesos asociados al cambio climático, tales como la elevación del nivel del mar; el aumento de la frecuencia, duración e intensidad de extremos climáticos (sequías, inundaciones, olas de calor...); el creciente número de megaincendios; la fusión del hielo continental y marino; la pérdida de más biodiversidad, etc. Afortunadamente, en esos informes, también se apunta que se conocen las principales causas del cambio climático, se sabe qué hay que hacer para frenarlo y para mitigar sus efectos, se disponen de los medios necesarios para ello, y aún se está a tiempo de hacerlo. No obstante, se dispone también de evidencia científica más que suficiente, para saber que no queda mucho tiempo y que es urgente actuar de forma eficaz, antes de que se hagan inevitables, a escala planetaria, grandes cambios catastróficos e irreversibles para toda la humanidad y la biosfera en general.

⁹ Para acceder a estos datos: <https://news.un.org/es/story/2024/06/1530696>

Ante esta situación, resulta del todo pertinente plantearse la pregunta que encabeza este documento:

¿Por qué no estamos haciendo más de lo que hacemos (y mejor), para frenar el cambio climático actual y mitigar sus efectos, antes de que sea demasiado tarde? Pensad acerca de esta cuestión y enumerad posibles explicaciones al respecto.

Existen diversas explicaciones (que no justificaciones) a esta importante cuestión. Se trata de respuestas que conviene conocer bien para poder actuar mejor frente al cambio climático y también para convencer a quienes, por unas u otras razones, no están dispuestos a implicarse en medidas para frenarlo y mitigar sus efectos evitando que se alcancen puntos de no retorno. En este trabajo, se exponen y comentan brevemente algunas de ellas.

1. No valoramos correctamente los riesgos a largo plazo

Algunos efectos del aumento de la temperatura media global del planeta (como, por ejemplo, la fusión de los glaciares, la desertificación o la elevación del nivel del mar), aunque en escalas geológicas de tiempo están ocurriendo rapidísimamente, a escala de la duración de la vida humana parece que suceden muy lentamente, lo que contribuye sin duda a que, por una parte de la población, no se perciban como indicadores de una situación de verdadera emergencia planetaria en la que la humanidad se juega su futuro. La investigadora del CSIC (Centro Superior de Investigaciones Científicas) Encarni Montoya, explica esta percepción argumentando que el ser humano está adaptado para comprender mejor el *presente* y el *aquí*¹⁰, mientras que las predicciones científicas sobre algunas de las consecuencias más importantes del cambio climático, como el aumento del nivel del mar o la fusión del hielo continental y marino, a menudo se remiten a finales de siglo y lugares lejanos. Este mismo razonamiento se puede encontrar en diversos trabajos publicados al respecto como, por ejemplo, en Pérez (2024), en donde se afirma que, a pesar de los avances, todavía hay bastantes personas que perciben el cambio climático como una amenaza lejana o bien como un proceso lineal en el que la temperatura media del planeta va aumentando continuamente pero con lentitud y que, por tanto, las consecuencias de ese calentamiento global también serán lentas y se producirán poco a poco, de manera que habrá tiempo suficiente para adaptarse o bien para que los científicos encuentren nuevas soluciones. Sin embargo, lo cierto es que:

-Un aumento de solo 2 °C en la temperatura media terrestre podría llevar a superar determinados puntos de inflexión, de forma que se desencadenarían de forma abrupta grandes cambios catastróficos a escala planetaria. Además, es preciso tener en cuenta que existen diversos mecanismos de retroalimentación o ciclos de autorreforzamiento, capaces de acelerar el proceso (Carrascosa, 2024, pp 27; Viñas 2022, pp 114; Oyarzún 2014, pp 14; Ripple et al, 2024). Por eso, algunos expertos medioambientales señalan que cabe temer que haga falta un enorme y repentino desastre ambiental, para que se produzca una verdadera toma de conciencia ciudadana, que obligue a desarrollar y aplicar de forma generalizada las medidas políticas, científico-tecnológicas y educativas necesarias. El problema es que para entonces sea ya demasiado tarde y no se pueda impedir que los cambios producidos sean irreversibles.

-El desarrollo científico-tecnológico no puede ofrecer solución a todos los problemas y necesita su tiempo para producirse y para implementarse, un tiempo que puede alargarse mucho (como ocurre, por ejemplo, con la posible aplicación de la fusión nuclear para generar energía utilizable). Además, antes de proceder a su aplicación generalizada, es preciso tener la seguridad de que, con las nuevas

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=w1GxcfmGXmA>

medidas o herramientas disponibles, no se van a generar problemas más graves que aquellos sobre los que se pretende incidir.

2. Se reclaman certezas, no probabilidades

Existen muchos satélites orbitando alrededor de la Tierra y también miles de observatorios meteorológicos, sondas, boyas, etc., distribuidos por todo el planeta, todos ellos con sofisticados instrumentos de gran precisión que continuamente están tomando numerosos datos de muchas variables climáticas (desde temperaturas y grado de humedad a espesor y volumen del hielo ártico). Esos datos, como ocurre con todos los resultados científicos, vienen afectados siempre de una cierta imprecisión y ello hace inevitable que en los informes científicos donde se manejan, se hable siempre en términos de probabilidades y no de certezas absolutas. No obstante, la interpretación de los mismos es clara: La Tierra se está calentando rápidamente y es necesario tomar, cuanto antes, las decisiones pertinentes para afrontar ese problema de forma eficaz. Esas decisiones afectan profundamente al modelo económico, al modelo energético y a toda la sociedad, que deberán experimentar cambios importantes. Lamentablemente, el hecho de no tener certezas absolutas sino altas probabilidades, es utilizado con frecuencia para sembrar dudas y evitar o frenar la toma de las decisiones pertinentes. Sin embargo, hay que ser consciente de que, si no se actúa inmediatamente y se espera a disponer de más información, el grado de certeza, las pruebas y el conocimiento científico disponible sobre el cambio climático aumentarán, pero también lo harán (y mucho) los costes (y no solo económicos) para afrontar dicho cambio y sus gravísimas consecuencias. Los datos de que disponemos actualmente y el grado de certeza son ya más que suficientes.

3. Enormes intereses económicos en juego

Existe un conflicto de intereses entre quienes pretenden proteger a toda la población mundial de los graves y crecientes problemas asociados al cambio climático y una minoría que pretende a toda costa defender unos beneficios multimillonarios basados en el uso de combustibles fósiles como modelo energético y en el hiperconsumo continuo como modelo económico. No podemos olvidar a este respecto que algunos gobernantes junto con poderosas empresas multinacionales, fueron capaces de comenzar una guerra en Irak basada en una información (existencia de armas de destrucción masiva) que luego resultó ser falsa, pero que para ellos era absolutamente fiable (porque esa guerra la veían buena para sus intereses). Ahora, hay gobernantes y grandes grupos económicos (entre otros, los relacionados con la industria de los combustibles fósiles) a los que la inacción frente al cambio climático también favorece sus intereses y, por eso, no tienen tampoco ningún reparo en oponerse al desarrollo y puesta en marcha de las medidas necesarias para afrontarlo y tratar de mitigar sus consecuencias de forma eficaz aduciendo, en este caso, que falta disponer de más información y de unas pruebas científicas más fiables. Se trata, sin duda, de una estrategia para favorecer a corto plazo los beneficios multimillonarios de unos pocos, aunque eso vaya en detrimento de toda la población (incluidos ellos mismos y sus descendientes). En resumen: Una supuesta “certeza” se utilizó como coartada para desencadenar una guerra desastrosa cuyos efectos aún perduran. Es necesario evitar ahora que una supuesta “incerteza”, pueda utilizarse como coartada para justificar la inacción o el retraso en la puesta en marcha de medidas eficaces para luchar contra el cambio climático. En ambas situaciones, la base es la misma: Enormes intereses económicos en juego. Por otra parte, aducir falta de fiabilidad y de información no es la única estrategia utilizada para defender tales intereses.

4. Negacionismo

La negación frente al cambio climático se expresa en distintos ámbitos, desde el ideológico al político y el económico (Abellán, 2021) y puede adoptar diversas formas, desde la negación del propio fenómeno (“no está ocurriendo”), la negación de la responsabilidad humana (“es un fenómeno natural”), la negación de los riesgos que conlleva (“no es peligroso”) o la negación de la necesidad de

actuar frente al cambio climático (“debemos ocuparnos por problemas más urgentes o importantes”). También hay que tener en cuenta el denominado “negacionismo organizado” (Heras, 2017), en el cual, de forma interesada y planificada, se promueven dudas sobre determinados aspectos del conocimiento científico disponible acerca del cambio climático, sus causas y sus consecuencias.

En muchos casos se recurre a utilizar las redes sociales para difundir bulos y medias verdades. Un ejemplo claro es la defensa del rol vital que juega el CO₂ en nuestras vidas, afirmando que es un gas bueno y necesario para los seres vivos (fotosíntesis de las plantas verdes) y que sin él la vida en el planeta no sería posible. Se denuncia que se culpabiliza a este gas, cuando en realidad el vapor de agua (del que apenas se habla) es responsable, él solo, de más de dos tercios del efecto invernadero. Todo esto es cierto, pero, lo verdaderamente importante es que se está haciendo trampa confundiendo dos conceptos distintos. En efecto, no es lo mismo “efecto invernadero” que “aumento del efecto invernadero”. Es cierto que el vapor de agua es el principal gas responsable del efecto invernadero, pero lo preocupante no es este efecto en sí mismo sino su rápido aumento desde los inicios de la era industrial, y en este caso, el principal responsable es, sin lugar a dudas, el CO₂ producido principalmente por la creciente utilización de combustibles fósiles. Este gas, contribuye a dicho aumento más que todos los restantes gases invernadero (incluido el vapor de agua) en su conjunto. Se dice (y también es cierto), que en toda combustión de hidrocarburos se produce siempre CO₂ y vapor de agua, pero se ignora (o no se añade) que ese vapor de agua (a diferencia del CO₂) no tarda en condensar convirtiéndose en agua líquida.

Otro ejemplo de negacionismo organizado son las referencias a científicos que cuestionan el cambio climático¹¹. Con ello se trata de sembrar dudas en cuanto al amplísimo consenso existente entre la comunidad científica internacional, en torno a este tema. A este respecto, conviene recordar el trabajo de la profesora de la Universidad de Harvard, Naomi Oreskes, especialista en Historia de la Ciencia, que analizó en torno a un millar de artículos sobre Cambio Climático (Oreskes, 2004) publicados en revistas científicas entre 1993 y 2003. Una de sus conclusiones fue que existía un consenso prácticamente universal acerca de su existencia real y de su origen antrópico. Resulta curioso que, a pesar de este elevado consenso, todavía existan políticos, economistas y ciudadanos en general, que piensen que el tema no está del todo claro y que existen discrepancias importantes entre la comunidad científica. Esa falsa impresión está muy bien alimentada, como ya se ha mencionado, por los beneficios económicos colosales que se pueden obtener gracias a la explotación de esa mentira. Muchas iniciativas de negacionistas en los Estados Unidos fueron financiadas por industrias relacionadas con los combustibles fósiles (por ejemplo, la campaña publicitaria de “CO₂ is Green” durante el verano de 2010). Sin embargo, como muestran Naomi Oreskes y Erik Conway en su libro “Mercedes de la duda” (editado en España en 2108), más efectivo que negar resulta fingir que las cosas no están suficientemente claras, que hay desacuerdos importantes entre grupos de científicos o que se está exagerando demasiado y no es para tanto.

5. Falta de formación en gran parte de la ciudadanía

La formación de gran parte de la ciudadanía en relación al problema del cambio climático es, en general, bastante escasa. Una muestra de ello, es la existencia de ciertas ideas erróneas relacionadas con el cambio climático. Se trata de ideas asociadas a una particular interpretación de un concepto o fenómeno dado, muy diferente a la interpretación científica. Dichas ideas se caracterizan, fundamentalmente, por su amplia extensión (afectan a estudiantes de distintos niveles educativos y a una gran parte de la población en general) y por que quienes las detentan suelen estar bastante seguros acerca de su validez. A modo de ejemplo, cabe citar la confusión entre los conceptos de “tiempo” (meteorología) y “clima”, consistente en considerar ambos como sinónimos de la misma cosa. Esta identi-

¹¹ <https://climatica.coop/nobel-fisica-negacionista-climatico/ed>

cación ha sido utilizada, unas veces por ignorancia y otras de forma torticera e interesada, para poner públicamente en duda la existencia del calentamiento global antropogénico, aprovechando la ocurrencia, en una región y momento dados, de grandes nevadas o episodios de frío extremo. A título de ejemplo, se reproduce un mensaje del entonces presidente de Estados Unidos Donald Trump, en la red social Twitter (ahora X), el 29 de enero de 2019, durante la ola de frío que padeció el país por esas fechas:

“In the beautiful Midwest, windchill temperatures are reaching minus 60 degrees, the coldest ever recorded. In coming days, expected to get even colder. People can’t last outside even for minutes. What the hell is going on with Global Warming? Please come back fast, we need you!”

Además, en la educación, este problema no siempre se trata con la importancia que merece, tanto en la formación del alumnado como en la del propio profesorado. Incluso hay docentes que lo siguen viendo como un tema que les quita tiempo para impartir los contenidos “propios” de su materia. Algo parecido ocurre con el tratamiento que se le ha venido dando al problema del cambio climático en los medios de comunicación (prensa, radio, televisión), en general escaso y superficial, aunque, afortunadamente, esto está cambiando y cada vez se le presta más atención.

En Carrascosa et al (2022), se analiza la elevada incidencia entre alumnos de enseñanza secundaria y profesores en formación, de esta y de otras ideas erróneas también relacionadas con el cambio climático, tales como: identificar el adelgazamiento de la capa de ozono como un poderoso agente causante del cambio climático; asociar el cambio climático actual a causas exclusivamente naturales (durante la larga historia de la Tierra, se dice, ha habido ya muchos cambios climáticos, sin que ni siquiera existiese la especie humana); no distinguir entre efecto invernadero y aumento del efecto invernadero, o creer que la fusión de todo el hielo flotante que hay en los polos ocasionaría de forma directa un gran aumento del nivel del mar.

Es preciso tener en cuenta que, no puede pensarse en cambios en el modo de crecimiento económico y en el modelo energético, ni tampoco en que los gobernantes los impulsen, si no existen ciudadanos bien formados que los demanden y un consenso social que favorezca la aceptación, desarrollo e implementación de dichos cambios y para ello, la simple difusión de la información no es suficiente. La educación ambiental debe tener un papel fundamental en todos los centros escolares, en la formación del profesorado, en las familias y también en todos los medios de comunicación (museos, TV, prensa y redes sociales). En particular, el tema del cambio climático, debería estar presente en los currículos de todos los niveles educativos en todo el mundo, como forma de aumentar la conciencia sobre la gravedad del problema, mejorar la alfabetización climática, formar ciudadanos con capacidad crítica frente a los bulos climáticos y, sobre todo, empoderar a los estudiantes para la acción (Ripple et al, 2024).

6. Actitudes pesimistas y auto-exculpatorias

Cuando se habla sobre el problema del cambio climático, con frecuencia se insiste demasiado en sus graves consecuencias y poco en sus soluciones. Esto no es conveniente, puesto que si se insiste en señalar los problemas y se ignora la posibilidad de hacerles frente, se favorece la ansiedad, el desánimo y la frustración entre la población. Por tanto, es necesario hacer énfasis, desde el primer momento, en que el estudio de los problemas está al servicio de la búsqueda de soluciones (Vilches et al, 2008).

Ciertamente, se haga lo que se haga, no va a ser posible parar un cambio climático que ya ha comenzado. Ya es tarde para eso. No se va a poder evitar que, por ejemplo, el nivel del mar continúe aumentando de forma imparable durante muchos años, pero sí se puede lograr que ese aumento sea el

menor posible mediante una reducción apropiada en la emisión de gases de efecto invernadero, reducción que deberá ir acompañada de medidas adecuadas para mitigar los efectos de la subida del nivel del mar entre las poblaciones costeras. En general, se trata de aplicar a tiempo las medidas necesarias para evitar que se crucen puntos de inflexión y se produzcan grandes cambios catastróficos e irreversibles a escala planetaria (por ejemplo, extinción masiva de especies, fusión del hielo que cubre Groenlandia o un notable debilitamiento de las corrientes oceánicas). Para ello, es necesaria una masa crítica de ciudadanos que se impliquen activamente con pasión, entusiasmo, y de forma colectiva, en un proyecto ilusionante centrado en el impulso y desarrollo efectivo de esas medidas, alejándose de las actitudes pesimistas de quienes piensan que ya no se puede hacer nada (y que, por tanto, no vale la pena intentarlo) o de las auto-exculpatorias de quienes piensan que la culpa es exclusivamente de las grandes industrias y de los políticos y que poco o nada se puede hacer individualmente. Por eso, es preciso insistir en la idea correcta de que aún se está a tiempo y saber implicar a una gran mayoría de la población en la toma de decisiones y en acciones para afrontar correctamente este problema y mitigar sus efectos sobre la población y biosfera en general.

7. Las acciones individuales son irrelevantes

Muchas personas dudan acerca de la efectividad que puedan tener las acciones individuales para afrontar el cambio climático y otros problemas con él relacionados, pensando que lo que pueda hacer cada individuo al respecto introduciendo determinados cambios en sus costumbres o estilo de vida es insignificante frente a lo que pueden y deben hacer las grandes empresas y los gobiernos. Este es uno de los obstáculos que se mencionan en un interesante trabajo (Gil et al, 2008) en el que los autores analizan algunos de los obstáculos que impiden una mayor implicación de la ciudadanía en la construcción de un futuro sostenible. En ese mismo trabajo, se apunta que se trata de una idea incorrecta tal y como se puede demostrar con algunos cálculos bien sencillos. En efecto, una pequeña reducción en el consumo de energía per cápita, al multiplicarlo por los millones de personas que pueden hacerlo, se obtiene un ahorro de energía enorme y, consecuentemente, una disminución significativa de emisiones de CO₂. No es difícil acompañar este razonamiento de cálculos que muestren de forma cuantitativa la falsedad de que las pequeñas acciones personales sean irrelevantes (ved, por ejemplo, algunos de los ejercicios numéricos incluidos en esta misma unidad didáctica).

Así, pues, el futuro va a depender también en gran parte de las acciones individuales que se lleven a cabo por la ciudadanía y en ello, una vez más, tiene una importancia fundamental la educación para la sostenibilidad impulsada en todos los sistemas educativos, de manera que sus resultados no se limiten a una mayor comprensión del problema del cambio climático (y del resto de problemas vinculados con el mismo) sino que incluyan también una transformación real en los hábitos cotidianos de cada persona, orientándolos hacia una sociedad más sostenible.

8. Individualismo

Una de las cosas más claras relativas al cambio climático, es que estas sus consecuencias y los efectos de dichas consecuencias, se van a notar en todo el planeta y que, por tanto, las actitudes individualistas (o egoístas), tanto a nivel personal como de grupos (naciones), carecen de sentido.

A nivel personal, un factor a tener en cuenta es lo que el profesor Santiago Giralt, investigador del CSIC, denomina como *propiedad difusa*¹². Para ilustrar su significado se refiere al hecho de que para muchas personas, su casa se limita a lo que hay una vez se cruza la puerta de entrada a su vivienda. La escalera y otros elementos comunes que pueda haber en el edificio son de todos y no son de nadie. Algo similar ocurre con determinadas consecuencias del cambio climático antropogénico.

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=w1GxcmGXmA>

Hay personas que admiten su existencia, pero no se sienten demasiado concernidas por cosas tan lejanas a su entorno inmediato como, por ejemplo, la disminución de la extensión de la banquisa de hielo ártico. No perciben ese lugar como realmente suyo ni tampoco los problemas medioambientales que ocurren en aquella zona.

Es posible que debido al cambio climático algunas zonas hasta ahora frías (Noruega, Canadá, Suecia...) se transformen en zonas más cálidas y que en ellas puedan crecer cultivos impensables hace años. Sin embargo, el balance global a escala planetaria, si no se pone remedio, será desastroso, incluyendo migraciones masivas e incontroladas hacia las zonas más ricas y/o menos afectadas, generando graves conflictos por el control de recursos naturales (como el acceso al agua potable) y ninguna nación, esté donde esté, se librará de ello. España, por ejemplo, actualmente recibe una gran cantidad de migrantes africanos, muchos de los cuales se pueden considerar como refugiados climáticos, pero si no somos capaces de frenar el cambio climático y mitigar sus efectos de forma eficaz, los españoles y otros muchos habitantes del sur de Europa, inevitablemente, se verán también obligados a emigrar hacia latitudes más altas.

Parece razonable, pues, superar todo individualismo e impulsar organizaciones supranacionales, dotándolas de capacidad efectiva para hacer cumplir los acuerdos firmados, permitiendo abordar este problema de una forma más adecuada para todos los habitantes del planeta, superando actitudes egoístas y cortoplacistas de algunos gobernantes que, por unas u otras razones, se niegan a actuar solidariamente con el resto en la puesta en marcha real de soluciones justas y efectivas para todos.

9. Disminuir la emisión de gases invernadero exige cambiar muchas cosas

Uno de los ejemplos que se suelen utilizar para poner de manifiesto la posibilidad real de combatir graves problemas medioambientales tomando las decisiones adecuadas, es el éxito obtenido en parar y revertir el adelgazamiento de la capa de ozono. Este problema se produjo el siglo pasado durante la década de los años 70, cuando comenzó a observarse que algunos gases utilizados de forma generalizada en sistemas de refrigeración y como propelentes, principalmente compuestos de cloro, flúor y carbono (CFCs), producían procesos en la atmósfera en los que se destruían las moléculas de ozono. En 1987 hubo una reunión de muchos países en la que se elaboró el llamado Protocolo de Montreal. Con el cumplimiento de dicho protocolo (en el que los CFCs fueron sustituidos por otros compuestos) comenzó solucionarse el problema.

La rápida reducción mundial de las sustancias que destruían la capa de ozono muestra, sin ninguna duda, que se pueden resolver grandes problemas cuando se actúa de manera solidaria y decidida. Sin embargo, el problema del cambio climático es más complejo, porque la disminución necesaria en las emisiones de gases invernadero, exige importantes cambios sociales y económicos. Sustituir un modelo energético basado en el consumo de combustibles fósiles por otro basado en el ahorro y en fuentes renovables, tiene repercusiones importantes en nuestro modo de vida y en la economía. En el caso del ozono, no fue difícil para los fabricantes de CFCs cambiar estos gases por otros, esto no les supuso grandes pérdidas económicas. Tampoco para los ciudadanos, que no vieron afectados sus hábitos de consumo ni su forma de desplazarse. Sin embargo, la renuncia a quemar más petróleo supone renunciar a unos beneficios colosales para algunos (que no están dispuestos a perderlos) y a una forma de vida basada en el hiperconsumo por parte de, al menos, una quinta parte de la población mundial.

Además de las consideraciones anteriores, es necesario tener muy en cuenta que el actual cambio climático antropogénico no es un problema aislado, sino que forma parte de un conjunto de problemas estrechamente vinculados que se potencian mutuamente y que han dado ya lugar a una crisis socioambiental mundial sin precedentes, sobrepasando varios de los límites planetarios (como el de

la concentración de CO₂ en la atmósfera o el de pérdida de biodiversidad) que, al ser superados, ponen en serio peligro la habitabilidad en la Tierra (Diamond, 2006., Ripple et al, 2024). Estos problemas se refieren fundamentalmente a: un crecimiento insostenible, tanto económico como demográfico; una urbanización creciente, especulativa y desordenada, junto al abandono del mundo rural; el hiperconsumo de recursos esenciales, que está provocando su agotamiento; una contaminación pluri-forme y sin fronteras; la pérdida de diversidad (biológica y cultural); la degradación de ecosistemas; inaceptables desigualdades extremas, en la que coexisten el hambre con el desperdicio de alimentos; y los conflictos bélicos (la actividad humana más contaminante y destructora de recursos). Lamentablemente, la vinculación existente entre estos problemas y el cambio climático en particular, no siempre se tiene presente. En efecto: en la primera década del siglo XXI algunos autores (Vilches et al, 2008) denunciaban ya que la forma de abordar estos problemas en los medios de comunicación es demasiado puntual y reduccionista y que dependiendo de la urgencia y los titulares del momento, las noticias pasan de las migraciones, a las pandemias, al cambio climático, a los megaincendios, olas de calor, escasez de agua, etc., con lo que cada problema es desplazado por otro lo que equivale, de facto, a su desvinculación y neutralización. En la actualidad, este tratamiento inconexo de los problemas se sigue produciendo y muy en particular en las noticias que se difunden por las redes sociales, cuya influencia (especialmente entre la población joven), es cada vez mayor.

La estrecha conexión existente entre todos estos problemas y con el cambio climático (Carrascosa, Gil y Vilches, 2024), permite comprender que afrontar correctamente el problema del cambio climático exige no limitarse a un cambio en el modelo energético (ahorro, eficiencia y energías renovables, sustituyendo a los combustibles fósiles). Por el contrario, la manera más efectiva de afrontarlo es luchar de forma conjunta y simultánea contra él y contra todos los graves problemas relacionados estrechamente con el mismo. En otras palabras: la lucha contra el cambio climático no puede reducirse a un cambio de modelo energético y seguir despilfarrando recursos, contaminando, consumiendo... y reproduciéndonos, como hasta ahora. Por ello, la Asamblea General de Naciones Unidas, aprobó en septiembre de 2012, establecer unos Objetivos de Desarrollo Sostenible, mediante un proceso abierto a todas las partes interesadas. Durante cerca de tres años, equipos científicos, organizaciones no gubernamentales, representantes sindicales y empresariales, etc., trabajaron para establecer dichos objetivos, los cuales fueron aprobados en la Asamblea General de 2015 con pleno consenso científico sobre la necesidad de avanzar con urgencia en su logro. Constituyen 17 grandes objetivos, con 169 metas concretas, concebidos para superar el conjunto de graves problemas que afectan a la humanidad. El número trece está dedicado específicamente a “Acción por el Clima”. Puede accederse a estos objetivos y sus metas concretas en:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

10. Los efectos de la acción van a notarse a corto plazo

Los efectos del cambio de los CFCs que destruían la capa de ozono, por otros gases, comenzaron a notarse en un corto espacio de tiempo y se espera que a lo largo de este siglo, si no surgen contra-tiempos¹³, la capa de ozono se haya recuperado totalmente. Sin embargo, en el caso de los gases invernadero (al contrario de lo que puedan pensar muchas personas), no va a ser así; de hecho, aun-

¹³ Como ya se ha comentado en esta unidad didáctica, en un reciente estudio científico, se demuestra que el humo presente en la estratosfera procedente de los grandes incendios, junto con moléculas de cloruro de hidrógeno (HCl) y oxígeno (O₂) también allí presentes, desencadenan una serie de reacciones químicas que activan especies reactivas de cloro, como el radical ClO*, cuyo efecto es aumentar las tasas de pérdida de ozono estratosférico. Este hecho ya ha sido observado, de modo que si el efecto invernadero sigue aumentando al ritmo que lo hace y con él aumentan también los megaincendios emitiendo miles de toneladas de humo a la atmósfera, cabe temer que se produzca un retroceso en la recuperación de la capa de ozono que protege de la radiación ultravioleta y esta vuelva a adelgazar, no solo en las regiones polares, sino también en latitudes medias. (Solomon, S., Stone, K., Yu, P., et al, 2023).

que dejasen de emitirse totalmente y de forma radical, los efectos de esta medida tardarían muchos años en percibirse. Esto se debe, fundamentalmente, a dos razones:

En primer lugar, a la larga vida en la atmósfera del CO₂ y de otros gases invernadero que se están emitiendo a ella, lo que hace que estos gases tarden centenares de años en desaparecer.

En segundo lugar, está la gran inercia térmica de los océanos¹⁴. Actualmente, la mayor parte (más del 90%) del exceso de energía acumulado en el planeta debido al calentamiento global producido desde los inicios de la era industrial, se encuentra en los mares y océanos que cubren las tres cuartas partes del planeta, por lo que, aunque de repente cesara la emisión de gases invernadero a la atmósfera, el mar tardaría muchos años en enfriarse volviendo a su situación previa al calentamiento global.

Naturalmente, a pesar de estos inconvenientes, es necesario, tomar medidas urgentes de adaptación y mitigación para el cambio climático y los problemas con él relacionados y, al mismo tiempo, reducir drásticamente las emisiones de CO₂ (el gas que más contribuye al aumento del efecto invernadero) y proceder a secuestrar de la atmósfera parte del que ya se ha emitido y del que se continúa emitiendo, siempre que la tecnología permita hacerlo de forma respetuosa con el medio ambiente (Kivi, I.R et al, 2022). Ambas cosas, adaptación y reducción, son absolutamente necesarias. Con ello, no se va a evitar que determinados parámetros, como la temperatura media del planeta o el nivel del mar, sigan aumentando durante años, pero sí es posible conseguir que lo hagan sin sobrepasar límites insostenibles.

11. Los gobernantes no ponen en marcha las medidas necesarias

Una educación que forme ciudadanos informados, responsables y con capacidad crítica, es algo que requiere de bastantes años de formación escolar. Sin embargo, al menos en las democracias, los gobernantes pueden cambiar cada cuatro o cinco años, lo que suele contribuir a que muchos de ellos, para continuar en el poder, no se atrevan a elaborar las leyes adecuadas ni a aplicar de forma generalizada determinadas medidas que contribuyan a evitar el aumento del efecto invernadero, tales como, por ejemplo, frenar el hiperconsumo, disuadir del uso del coche particular en las ciudades o facilitar y promover el uso de energías renovables. Medidas que pueden hacer enfadar a muchos de sus votantes, así como a los poderosos mercados y a los grupos de comunicación que les sirven. Recientemente, en un interesante artículo de opinión¹⁵, el profesor Joan Romero se refería a este problema afirmando que el tiempo político, que en democracia suele ser de unos cuarenta y ocho meses, prevalece sobre un tiempo ecológico, que se mide en décadas e incluso siglos, y ello condiciona las agendas ambientales. Por eso, precisamente, es absolutamente necesaria una educación ciudadana que permita no solo aceptar esas medidas sino reclamar colectivamente su aplicación a tiempo.

Por otra parte, no se puede ignorar el importante papel que tienen los conflictos bélicos, que obligan a los gobernantes de los países implicados, a ignorar o posponer la puesta en marcha de medidas para afrontar el cambio climático y otros problemas con él relacionados, ni tampoco el hecho de que existan gobernantes que directamente, por unas u otras razones, niegan el problema y promueven, incluso, medidas y leyes que lo agravan.

12. Auge de los populismos y nacionalismos

¹⁴ Gran inercia térmica significa que el agua tarda mucho en calentarse y también mucho en enfriarse.

¹⁵<https://www.levante-emv.com/opinion/2024/09/01/cambio-climatico-en-valencia-puertas-infierno-107593880.html>

El éxito de los populismos y nacionalismos, que desde la segunda década del siglo XXI está teniendo lugar en diversos países de Europa y del resto del mundo, está favoreciendo el desarrollo de posturas individualistas en contra de los acuerdos multilaterales para frenar el cambio climático. La Agenda 2030, por ejemplo, suele ser denostada y repudiada sin ningún titubeo por parte de todos los grupos conservadores nacionalpopulistas de la Unión Europea, los cuales formulan discursos negacionistas sobre el Cambio Climático, basándose en perspectivas acientíficas y teorías conspirativas a partir de las cuales cuestionan los compromisos internacionales para afrontar el problema, acusando a sus promotores de querer transformar los modos tradicionales de vida. Algunos de dichos grupos hablan, incluso, de “camelo” climático y de imposiciones ideológicas arbitrarias en nombre de la “religión” climática (Bosch, J. 2024). La voluntad manifestada y llevada a la práctica por Donald Trump en su etapa como presidente de los Estados Unidos, de retirarse de los llamados “Acuerdos de París”, es un ejemplo de estas políticas ultraconservadoras en las que se ponen muy por delante los intereses particulares frente a los intereses comunes. Además, este tipo de propuestas, realizadas por gobernantes de países con tanto peso, anima a otros países a ser también menos colaborativos y no se puede olvidar que en un asunto como la lucha contra el Cambio Climático, la colaboración y los consensos amplios, son absolutamente necesarios. Por eso, es preciso tener muy en cuenta que los países pobres, con bajo nivel de desarrollo, son los que menos gases invernadero han emitido históricamente a la atmósfera, pero muchos de ellos también son los que más están sufriendo las consecuencias del cambio climático. Es necesario, pues, que por parte de los más ricos, se les ayude para que puedan cumplir las medidas que colectivamente se acuerden, pero sin que ello suponga una renuncia a mejorar las condiciones de vida de su población.

13. El miedo no funciona

La comunicación sobre el cambio climático tal y como se señala en Heras (2018), contiene unos elementos emocionales que no pueden ser ignorados, ya que estos afectan notablemente a las reacciones personales y colectivas. En efecto, en los medios de comunicación durante los últimos años está aumentando la proliferación de imágenes catastróficas (sequías, grandes incendios, inundaciones, deforestación, etc.) asociadas al cambio climático, mientras que se incide menos en las medidas y acciones que necesariamente hay que llevar a cabo para afrontar el problema de una forma efectiva. La reiteración de esas imágenes hace que causen menos impacto emocional y que el miedo a las graves consecuencias del cambio climático sea cada vez menos útil como estrategia de concienciación. No cabe duda de que una cierta dosis de temor es inevitable, pero ese temor debe ser consecuencia del conocimiento del problema y actuar como un resorte que potencie los comportamientos (individuales y colectivos) más positivos en la lucha contra el cambio climático.

Con vistas a la lucha contra el cambio climático y sus consecuencias sería, pues, más efectivo, descartar la estrategia del miedo haciendo más hincapié en las soluciones y en presentar las respuestas al problema del cambio climático como un reto colectivo en el que todos hemos de implicarnos, mostrando los beneficios de todo tipo (económicos, sociales, ambientales, salud, bienestar, etc.,) que esto conlleva para toda la población.

14. No hay ya nada que hacer. La extensión de la desesperanza

Aumenta el número de personas (incluyendo políticos y antiguos activistas en la lucha contra el cambio climático), que por unas u otras razones piensan que **ya es demasiado tarde** para evitar efectos catastróficos e irreversibles ocasionados por el cambio climático. Esta idea es igual de engañosa que el negacionismo extremo (en claro retroceso) o que el negacionismo disfrazado en forma de siembra de dudas e incertidumbres (mucho más presente). En primer lugar, porque aún no es demasiado tarde (Escrivá, A. 2021) y, en segundo lugar, porque la extensión de la desesperanza y de las actitudes pesimistas respecto a la posibilidad de afrontar eficazmente el problema del cambio

climático, lamentablemente, conduce en demasiados casos al mismo resultado que las actitudes negacionistas, es decir, a la inacción, y eso es algo que la humanidad no puede permitirse. Los mensajes son, sin duda, diferentes, Unos niegan o cuestionan la existencia del problema, los otros niegan la existencia de soluciones, pero ambas posturas son igualmente perjudiciales en lo que se refiere a la lucha contra el cambio climático.

15. Afrontar el cambio climático es demasiado caro

Una idea que también conduce a la inacción frente al cambio climático, es pensar que el coste económico necesario para impulsar y desarrollar las medidas más adecuadas para enfrentarse eficazmente a este problema, es tan grande que resulta inasumible. Sin embargo, existen muchos estudios en los que se demuestra que esto no es así. En efecto:

Ya en 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su histórico informe afirmaba que, para limitar el calentamiento a 1,5 °C¹⁶ (y evitar así efectos medioambientales catastróficos a escala planetaria), las inversiones anuales en energía limpia debían aumentar hasta aproximadamente el 3% del PIB mundial. Otros organismos y grupos de trabajo han llegado a conclusiones similares. Así, la Agencia Internacional de la Energía, señala que para lograr una economía con cero emisiones netas de carbono bastaría con invertir un 2% del PIB mundial anual más de lo que ya gastamos en nuestro sistema energético. Para tener una idea clara de lo que suponen estas cifras, conviene tener presentes algunos datos, como, por ejemplo, que en 1945, Estados Unidos dedicó casi el 36% del PIB a ganar la Segunda Guerra Mundial, o que durante la crisis financiera de 2008-2009, gastó alrededor del 3,5% del PIB en el rescate de las instituciones financieras consideradas “demasiado grandes para quebrar”. En resumen, pues, el precio de hacer lo correcto para frenar de forma eficaz el cambio climático, supone invertir un mínimo porcentaje del PIB mundial anual.

(Texto anterior basado en el estudio de Yuval Noah Harari: La solución del 2% para frenar la crisis climática. <https://www.sapienship.co/decision-makers/2-percent-more>).

En un reciente estudio del Instituto de Potsdam (Alemania) para la Investigación del Impacto Climático (PIK), publicado en la revista Nature, se afirma que la economía mundial, debido fundamentalmente al calentamiento global, se ve abocada a una reducción de ingresos del 19% en los próximos 26 años y que esos daños ya superan en seis veces los costes de mitigación necesarios para limitar el aumento de temperatura media global a 2 °C (Kotz, Levermann y Wenz, 2024).

Finalmente, conviene tener en cuenta que la idea de que llevar a cabo las medidas necesarias para frenar el cambio climático y mitigar sus graves consecuencias para la vida humana y la naturaleza en general es económicamente inabordable, no solo es errónea, sino que también se utiliza interesadamente como estrategia para justificar no hacer más cosas (y mejor) para afrontar el problema.

16. Ecoimpostura y Conspiración verde

La ecoimpostura, lavado verde o greenwashing, son términos que se utilizan para designar aquellas acciones que llevan a cabo grandes empresas u otras entidades, con el propósito de convencer de que sus medidas para disminuir el impacto medioambiental que genera su actividad principal, son mucho más efectivas de lo que resultan ser en realidad.

¹⁶ Cuando se habla de limitar el aumento de la temperatura media global terrestre evitando que este supere un cierto valor, se toma como referencia el valor de dicha temperatura al inicio de la era industrial. En la actualidad este aumento es del orden de 1,1 °C.

La ecoimpostura utiliza técnicas de marketing a través de las redes sociales y medios de comunicación en general, mediante las cuales muchas empresas y grandes corporaciones internacionales, conscientes de la creciente preocupación por el medio ambiente por una gran parte de la población mundial, intentan lavar su imagen o, mejor dicho, darle un tono más “verde”, presentándose como entidades respetuosas con el medio ambiente, con el fin de ocultar o restar importancia a las prácticas insostenibles que desarrollan. De esta forma, se aseguran de no disminuir sus ventas y de sortear posibles trabas y mecanismos de control por parte de diversos organismos reguladores, que puedan limitar seriamente su actividad y recortar sus enormes beneficios. El hecho de que las dos últimas cumbres sobre el cambio climático se hayan celebrado en países productores de tanto petróleo como Dubái (COP 28) y Azerbaiyán (COP 29) puede percibirse también como una gran ecoimpostura.

Sabemos que para evitar un aumento de la temperatura media global que produzca efectos climáticos irreversibles y catastróficos para toda la biosfera, las emisiones de gases invernadero deben reducirse drásticamente¹⁷. La extensión de la ecoimpostura a través de redes sociales y medios de comunicación, engaña a consumidores y a la opinión pública en general, debilitando una mayor implicación para que esa necesaria reducción de emisiones, que afecta a sectores tan importantes como la alimentación, la industria, el transporte, etc., se produzca a tiempo.

Son muchas las empresas que han sido denunciadas por ecoimpostura en sus campañas de marketing. A modo de ejemplo, se pueden citar empresas de la industria de la moda (como la española Inditex o la sueca HM) y empresas petroleras (como la española Repsol o la francesa TotalEnergies). De acuerdo con la investigación de la Universidad de Harvard encargada por Greenpeace Países Bajos (three shades of greenwashing), empresas como estas destinan miles de millones para su lavado verde en redes sociales como X, Instagram, TikTok o YouTube, que se han convertido en el nuevo escenario de la desinformación y el engaño sobre la crisis climática (Supran, G., Hickey, C., 2022). Los resultados de esa investigación muestran que las empresas más responsables del calentamiento global utilizan mensajes publicitarios e imágenes para posicionarse estratégicamente como marcas verdes, innovadoras y socialmente responsables. El órgano autorregulador de la industria de la publicidad en el Reino Unido (Advertising Standards Authority) ha prohibido a la petrolera Repsol un anuncio en el que se da la falsa impresión de que esta empresa está dando prioridad a la producción de energía de bajas emisiones, cuando en realidad su actividad principal y absolutamente mayoritaria, sigue siendo la producción de combustibles fósiles.

Por el contrario, la conspiración verde (o greenblaming) se puede considerar como una parte muy importante del discurso de los movimientos de ultraderecha, en la que se atribuye la culpa de toda una serie de problemas de nuestra sociedad a determinadas leyes y regulaciones medioambientales. Para ilustrar qué implicaciones tiene este discurso en la lucha contra el cambio climático, se puede tomar como ejemplo algunos hechos ocurridos durante las protestas agrarias que se desarrollaron al comienzo del año 2024 en varios países europeos (entre ellos España). En palabras del eurodiputado Javi López (miembro de la Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Seguridad Alimentaria, del parlamento europeo), en un artículo de opinión publicado en el diario El País¹⁸, en dichas protestas se mezclan reivindicaciones legítimas, otras cuestionables y otras que solo pueden calificarse de greenblaming paranoico. De acuerdo con el profesor López, las primeras son de obligada defensa y deberían suscitar un elevado consenso. Entre ellas, se pueden citar: garantizar unos precios justos en

¹⁷ Concretamente, según el informe especial que el panel de la ONU sobre cambio climático (IPCC), publicó en 2018, para lograr limitar el calentamiento a 1,5 °C y poder evitar estos efectos: “sería necesario que las emisiones netas globales de CO₂ de origen humano disminuyeran en 2030 alrededor de un 45 % respecto de los niveles de 2010”.

¹⁸ <https://elpais.com/opinion/2024-02-28/la-culpa-la-tiene-la-conspiracion-verde.html>

todos los eslabones de la cadena alimentaria y en particular en el sector primario, evitar la competencia desleal y trabajar para que todos los tratados comerciales contemplen unas buenas condiciones de producción, revisar la Política Agrícola Común para que las ayudas lleguen con facilidad a los pequeños productores que más las necesitan y dejen de ser una suculenta subvención a grandes terratenientes y poderosos grupos empresariales... Pues bien, el hecho es que lo que, a través de redes sociales y algunos importantes medios de comunicación, más se visibilizó de esas protestas, no fueron precisamente estas legítimas reivindicaciones, sino mensajes y proclamas culpando de los problemas agrarios al Pacto Verde Europeo, a la ley del cambio climático y transición energética, a las limitaciones a cultivar en zonas declaradas como protegidas, etc. En España, se pudo ver, incluso, alguna pancarta culpando a la Agenda 2030.

No cabe duda, pues, que la proliferación de estas ideas conspirativas, en las que se culpa a las políticas enfocadas a afrontar el cambio climático y otros graves problemas vinculados con el mismo, de todos los males que aquejan a la agricultura y otros sectores como la ganadería o la pesca, es un factor importante a tener en cuenta, además de los ya citados hasta aquí.

17. Proliferación de bulos climáticos

La lucha contra el cambio climático suele ser atacada en las redes sociales, donde no existen verificadores, con bulos de todo tipo que se expanden inmediatamente. Desmontar este tipo de ideas, desgraciadamente, requiere mucha más energía y tiempo que difundirlas. De hecho, se pueden utilizar las mismas redes sociales para rebatirlas pero el combate está amañado de antemano, puesto que los algoritmos que determinan el funcionamiento de dichas redes han sido expresamente diseñados para priorizar y favorecer temáticas ultraconservadoras (Bosch, 2024). A lo largo de este anexo, se ha hecho ya referencia al papel de las redes sociales como altavoces con los que difundir noticias falsas, mentiras y medias verdades para potenciar el negacionismo, la duda y la desinformación en torno al cambio climático y sus efectos.

Buscad información sobre alguna otra falsedad relacionada con el Cambio Climático que no se haya mencionado en este anexo y que tenga una fuerte presencia en redes sociales.

Un bulo, ya clásico, es creer que las estelas de condensación dejadas por aviones contienen productos químicos dispersados por los gobiernos (u otras entidades) con propósitos oscuros, como el **control del clima** o la manipulación de la población. Se trata de una más de las denominadas “teorías conspiranoicas” que a pesar de lo absurda que resulta, se halla ampliamente difundida. Como es lógico, no hay ninguna evidencia que la respalde. Las estelas que dejan los aviones se deben principalmente a la condensación y sublimación del vapor de agua del aire y al que se genera como resultado de la combustión de los hidrocarburos presentes en el combustible de dichos aviones. Es decir, esas estelas no son sino un tipo de nube¹⁹.

Este tipo de bulos se potencian en situaciones de crisis climáticas. En la reciente DANA sufrida especialmente en algunas poblaciones de la provincia de Valencia (octubre de 2024), entre los numerosos bulos que corrieron por las redes sociales, destacaba el de que ese inmenso desastre climático se debió a un ataque extranjero de ingeniería climática efectuado por Marruecos con el fin de minimizar la competencia en el sector agrícola que este país mantiene con el sector español.

Existe preocupación generalizada por toda la desinformación que circula por las redes sociales. Como ya hemos comentado, la efectividad con que se difunden falsedades por estos medios se debe

¹⁹ Para más detalle acerca de este bulo y de otros similares, recomendamos ver el video del físico y divulgador científico José Miguel Viñas: <https://www.youtube.com/watch?v=old2HFDOWtA>

principalmente al hecho de que sus algoritmos priorizan este tipo de mensajes. A esto hay que añadir que el contexto en sí mismo de las redes sociales y concretamente el hecho de compartir de forma inmediata noticias falsas e impactantes por un gran número de personas, es algo que predispone a creer en su veracidad por muy absurdas que sean (Epstein, et al. 2024).

Los avances en el conocimiento científico acerca del cambio climático exigen la elaboración de modelos y de cálculos muy complejos, que solo los ordenadores pueden realizar. Los resultados así obtenidos nos alertan de una catástrofe sin precedentes. Sin embargo, al mismo tiempo en millones de otros ordenadores (fundamentalmente, teléfonos móviles), a través de las redes sociales y los algoritmos que las gobiernan, se potencian, fundamentalmente, los videos y los mensajes que niegan y/o plantean dudas acerca de esa alerta. Es, pues, necesario, cambiar esos algoritmos que priorizan la difusión de bulos y falsedades, por otros en los que se priorice la verdad, al mismo tiempo que se potencia la educación ambiental en todos los niveles educativos y la sociedad en general.

Consideraciones finales

En este anexo, se han recogido y comentado algunas de las razones más importantes que explican por qué no estamos haciendo más de lo que hacemos y mejor de lo que lo hacemos para enfrentarnos al problema del cambio climático antropogénico ya instalado entre nosotros y mitigar así sus graves consecuencias antes de que sea demasiado tarde y se produzcan efectos catastróficos e irreversibles a escala planetaria. Dichas razones (y otras que puedan añadirse) no han de verse como elementos que justifican la inacción sino como verdaderos obstáculos a superar. Una conclusión importante a tener en cuenta es que no constituyen compartimentos estancos, sino que están interconectados y se potencian unos a otros, por lo que para poder afrontar el cambio climático de forma eficaz es necesario su tratamiento urgente, conjunto y en todos los ámbitos (social, político, económico y educativo). Aquí nos hemos limitado a una labor de recopilación, en la que se han analizado 17 de ellos, suministrando una visión más global de lo que habitualmente suele aparecer en los medios. Convendría ahora ir más allá, realizando análisis más profundos y, sobre todo, estudiando y proponiendo fundamentalmente, acciones para superarlos. El éxito de tales acciones dependerá, fundamentalmente, de que se perciba el cambio climático como lo que realmente es: un problema global y absolutamente prioritario, que afecta no solo a las generaciones actuales sino también a las futuras, las cuales no entenderían que, teniendo los medios y el conocimiento, no hiciéramos todo lo necesario para frenarlo y mitigar sus efectos.

Bibliografía consultada en la elaboración de este anexo

Abellán-López, M. A. (2021). El cambio climático: negacionismo, escepticismo y desinformación. *Tabula Rasa*, 37, 283-301. <https://doi.org/10.25058/20112742.n37.13>

Bosch, J. (2024). *Jaque a la democracia*. Ediciones Ariel (Barcelona).

Carrascosa Alís, J. (2024). Del cambio climático hacia la construcción de un futuro sostenible, *preprint*, DOI: 10.13140/RG.2.2.30563.37928/1

Carrascosa Alís, J., Gil Pérez, D. y Vilches Peña, A. (2024). Los mapas conceptuales: Una herramienta educativa para hacer frente al cambio climático y a la crisis socioambiental global. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 8(2), 53-65. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2024.8.2.10683>

Carrascosa, J., Martínez, S., Alonso, M. y Ruíz, J.J. (2022). Análisis de algunas ideas alternativas relacionadas con el cambio climático. *Revista Científica* 45 (3), 296-314. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.17442>

Diamond, J. (2006). *Colapso*. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen. Debate (Barcelona).

Epstein, Z., Sirlin, N., Arechar, A., Pennycook, G., Rand, D. (2023). The social media context interferes with truth discernment. *Science*. Downloaded from: <https://www.science.org> on December 04, 2024

Escrivá, A. (2021). ¿Todavía no es tarde? [Mètode: Revista de difusió de la Investigació](#), ISSN 2171-911X, [Vol. 3, N° 110](#), págs. 108-108

Heras, F. (2017). Respuestas ante el negacionismo climático. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*. N° 140 2017/18, pp. 119-130.

Heras, F. (2018). ¿Cómo comunicar el cambio climático? *Observatorio de la sostenibilidad*. Fundación Cristina Enea. San Sebastián (España).

IPCC, 1988-2023. Intergovernmental Panel on Climate Change. Assessment Reports about knowledge on climate change, its causes, potential impacts and response options. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/reports/>

Kivi, I.R., Makhnenko, R.Y., Oldenburg, C.M., Rutqvist, J. and Vilarasa, V. (2022). Multi-layered systems for permanent geologic storage of CO₂ at the gigatonne scale. *Geophysical Research Letters*, 49 (24) e2022GL100443. DOI: [10.1029/2022GL100443](https://doi.org/10.1029/2022GL100443)

Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L. (2024). The economic commitment of climate change. *Nature* 628, 551–557. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0>

Oreskes, N y Conway, E, M. (2018). *Mercaderes de la duda*. Capitán Swing Libros.

Oreskes, N. (2004). The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, 306, (5702): 1686. DOI: [10.1126/science.1103618](https://doi.org/10.1126/science.1103618)

Oyarzún, J. (2014). Cambio climático global, ascenso del nivel de los mares y otras consecuencias: Una revisión y síntesis del conocimiento actual. www.aulados.net

Pérez-Torres, Vanesa. (2024). ¿De qué depende que actuemos ante el cambio climático o nos quedemos de brazos cruzados? *The Conversation*. 29 de abril. Accesible en internet: <https://theconversation.com/de-que-depende-que-actuemos-ante-el-cambio-climatico-o-nos-quedemos-de-brazos-cruzados-225831>.

Ripple, J.W., Wolf, C., Jillian, W, G., Rockström, J., Mann, M.E., Oreskes, N., Lenton, M.T., Rahmstorf, S., Newsome, M, T., Xu, C., Svenning, J.C., Cardoso, P.C., Beverly E. L. and Crowther, W.T. (2024). The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth. *BioScience*, 2024, 0, 1–13. Downloaded from <https://academic.oup.com/bioscience/advance-article/doi/10.1093/biosci/biae087/7808595> by guest on 18 October 2024

Solomon, S., Stone, K., Yu, P., et al. (2023). Chlorine activation and enhanced ozone depletion induced by wildfire aerosol. *Nature* 615, 259–264. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05683-0>

Supran G and Hickey C (2022) Three Shades of Green(washing): *Analysis of Social Media Discourse by European Oil, Car, and Airline Companies*. Available at <https://ati.io/three-shades-of-greenwashing/>

OMM. Unidos en la Ciencia. (2023). Informe de la Organización Meteorológica Mundial. El informe puede consultarse en formato electrónico en el siguiente enlace:
<https://library.wmo.int/idurl/4/68235>

Vilches, A., Gil, D., Toscano, J.C. y Macías, O. (2008). Obstáculos que pueden estar impidiendo la implicación de la ciudadanía y, en particular, de los educadores, en la construcción de un futuro sostenible. Formas de superarlos. *Revista CTS*, 11 (4).

Accesible en:

<http://oeibolivia.org/files/Volumen%204%20-%20N%C3%BAmero%2011/doss06.pdf>

Viñas, J.M. (2022). *Nuestro reto climático*. Editorial Alfabeto.

Viñas, J.M.(2024). El negacionismo climático y otros bulos atmosféricos. Videoconferencia en la Universidad de la Rioja. <https://www.youtube.com/watch?v=old2HFDOwtA>

ANEXO 9

ENERGÍA NUCLEAR Y CAMBIO CLIMÁTICO

Jaime Carrascosa Alís. Mayo de 2022.

Algo que debe haber quedado claro después de la lectura de esta unidad didáctica es que el aumento de la temperatura media terrestre (calentamiento global) es el principal motor que alimenta el cambio climático actual y sus efectos. Dicho aumento se debe fundamentalmente a las crecientes y continuas emisiones de gases invernadero y, en particular, del dióxido de carbono generado de la combustión de carbón, gas y derivados del petróleo, para obtener energía. Así, pues, la reducción del uso de combustibles fósiles como fuentes de energía es una prioridad para poder hacer frente al cambio climático.

La industria nuclear, desde hace años sostiene que la energía nuclear no emite, en el proceso de su generación, gases invernadero y la reivindica como una parte fundamental para hacer frente de forma eficaz al cambio climático. En febrero de 2022 la Comisión Europea catalogaba al gas y a la nuclear como fuentes de energía sostenibles para la transición ecológica. Esto, si se consolida, supondrá un reconocimiento institucional muy importante y abrirá las puertas a la financiación de la industria nuclear por su papel en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, apoyar el crecimiento de esta fuente de energía supone muchos más inconvenientes que ventajas. A continuación, se comentan algunos de ellos:

1. La energía nuclear no está exenta de emisiones de CO₂

En efecto, cualquier reactor nuclear, precisa de uranio 235 para su funcionamiento. La obtención de este isótopo a partir del mineral de uranio, abarca diferentes fases y en todas ellas se emiten gases de efecto invernadero. Por otra parte, hay que contabilizar también las emisiones de gases invernadero que supone la construcción de una central nuclear, su mantenimiento, el tratamiento y almacenamiento del combustible gastado y, finalmente, la clausura y desmantelamiento de la misma de forma segura.

Se han realizado muchos estudios para evaluar la emisión de gases invernadero por una central nuclear teniendo en cuenta todo su ciclo de vida. En general, se estima que la energía nuclear emite 66 gramos de CO₂ por cada kWh producido. Una cantidad sensiblemente menor que los 440 g CO₂/kWh correspondiente al gas natural, pero mayor que las que se producen con el uso de cualquier energía renovable como, por ejemplo: los 30 g CO₂/kWh de la fotovoltaica y que los 9 g CO₂/kW de la eólica (Bohigas, 2017).

2. La energía nuclear es muy cara

El precio de cualquier fuente de energía debería incluir todos los costes reales que conlleva su generación, desde el inicio del proceso hasta su finalización. Eso incluye sus repercusiones ambientales y para la salud humana no solo a corto sino también a medio y largo plazo. Actualmente, la contribución de la energía nuclear a la generación de electricidad en el mundo, no supera el 10 % y existen alrededor de 400 reactores nucleares en funcionamiento (Bohigas, 2017). Ello implica que si se pretende sustituir la electricidad generada por combustibles fósiles por electricidad generada por la fisión del U-235, se deberían construir cientos de centrales nucleares. Sin embargo, los costes financieros para construir una central nuclear son muy altos y frecuentemente las obras suelen estar sujetas a sobrecostes tan elevados que son solo asumibles con capital público. Este ha sido el caso, por ejemplo, de Olkiluoto-3, en Finlandia; Flamanville-3, en Francia; o Hinkley Point, en Reino Unido.

Apostar por la energía nuclear supone, pues, una mayor centralización y unos costes desorbitados que la hacen inviable en muchas regiones empobrecidas del mundo que no disponen de los recursos económicos ni de la sofisticada tecnología que se precisa. Todo lo contrario que las energías renovables, las cuales permiten un modelo energético descentralizado con la posibilidad de producir electricidad localmente y de forma mucho más simple y económica. En efecto, existen estudios en donde se muestra que el precio por MWh producido es mucho más alto en cualquier central nuclear que en fotovoltaica. No obstante, incluso aunque no fuese tan caro, la creación de nuevas centrales o de minirreactores nucleares, similares a los que está considerando el ejército estadounidense para proveer de energía barata a sus bases militares (Jiménez y Moreno, 2021), implica unos riesgos muy serios para la mayoría de la población.

3. Aumentar el número de reactores nucleares supone riesgos inasumibles

En general, cuando se habla de un reactor nuclear de fisión, existen tres tipos de riesgos que conviene tener muy en cuenta:

a) Accidentes. Se trata de un riesgo cierto, algo que lamentablemente ya ha ocurrido muchas veces y, en ocasiones, produciendo grandes daños al ser humano y al medio ambiente. Baste recordar al respecto, los dos sucesos más graves hasta la fecha: el ocurrido en la central nuclear de Chernóbil (Ucrania) en 1986 y el de la central de Fukushima (Japón) en 2011. Estos accidentes, debidos a la naturaleza o a fallos humanos, suponen, entre otros efectos, la contaminación del suelo cercano durante mucho tiempo, así como la difusión por la atmósfera o el agua de material radiactivo, que puede llegar a lugares muy alejados de la central.

Por otra parte, no se pueden descartar los accidentes producidos en el transporte y la manipulación de los materiales radiactivos empleados ni tampoco la posibilidad de otro tipo de eventos como ataques terroristas o los daños (colaterales o a propósito) resultantes de conflictos bélicos desarrollados en zonas con centrales nucleares o con almacenes de residuos radioactivos.

La construcción y funcionamiento de más reactores (convencionales o modulares), aumenta, como es lógico, la probabilidad de que se produzca cualquier tipo de accidente con consecuencias catastróficas. Por otra parte, es un hecho que la construcción de nuevos reactores nucleares es un proceso largo, muy caro y difícil de financiar, por lo que la mayoría de las compañías propietarias de centrales nucleares lo que hacen es presionar para extender la vida de sus reactores cuantos más años mejor y ello supone, también, un mayor riesgo de accidentes producidos, en este caso, por fallos técnicos en sistemas demasiado antiguos.

b) Generación de residuos radiactivos. La energía generada mediante fisión, bien sea en centrales convencionales o en minirreactores, conlleva la producción de residuos radiactivos de media y de alta actividad, con vidas medias de centenares de años y, en algunos casos, de milenios (Gil y Vilches, 2012). La gestión y cuidado de esos residuos por cientos de años, supone un coste económico inmenso y una hipoteca económica y de seguridad para las generaciones futuras. Como es lógico, el aumento de reactores nucleares, haría también aumentar la cantidad de residuos generada.

4. Consideraciones finales

Los inconvenientes que acabamos de señalar, permiten concluir que la energía nuclear de fisión no puede ser considerada una fuente de energía limpia ni sostenible y no debería contemplarse como una fuente de energía que haya que fomentar construyendo más centrales nucleares, sino como un problema que requiere solución.

Para hacer frente al calentamiento global y con él al cambio climático, es necesario un cambio real de modelo energético que lleve, mediante una transición justa, a abandonar progresivamente los combustibles fósiles y los reactores nucleares para producir energía, sustituyéndolos por energías limpias y renovables. Existen, no obstante, autores que ponen en duda la posibilidad de conseguir este objetivo en un plazo de tiempo razonable argumentando, por ejemplo, que ni el sol brilla siempre ni el viento sopla constantemente. Otros acompañan sus opiniones a favor del uso creciente de la energía nuclear, con cálculos según los cuales sería necesario cubrir la mitad de la superficie terrestre de paneles solares para que la energía generada por ellos pudiera cubrir la demanda mundial actual (Jiménez y Moreno, 2021). Incluso el profesor James Lovelock (conocido por su teoría de Gaia en la que considera la Tierra como un organismo vivo) se refiere a las energías renovables como “visionary energy sources” y considera a la energía nuclear como “the only green solution” (Gil y Vilches, 2008). Frente a estas críticas conviene tener presente que:

Ciertamente, la energía solar y la eólica son “intermitentes”. Sin embargo ese problema se reduce si tenemos en cuenta el papel que pueden desempeñar otras fuentes de energía renovables no sujetas a esa variabilidad (como, por ejemplo, la energía geotérmica) y tecnologías de almacenamiento (como las de bombeo hidráulico diferencial). Además, es un hecho, como se afirma en Rifkin (2010), que actualmente es posible disponer de muchos aerogeneradores junto con millones de placas fotovoltaicas conectadas a redes eléctricas inteligentes y que estando estos elementos suficientemente dispersos, pueden dejar de considerarse como fuentes intermitentes y compartir energía donde se precisa, ya que siempre brilla el Sol y sopla el viento en algún lugar.

También hay estudios que cuestionan la idea de que habría que cubrir hasta la mitad del suelo terrestre con placas solares para disponer de energía suficiente, mostrando que con un cuadrado de 380 km de lado sería suficiente para abastecer las necesidades eléctricas actuales (Mártel, 2020). Si tenemos en cuenta que la electricidad representa no más de un 20% del consumo total, para satisfacer las necesidades energéticas mundiales sería suficiente con una superficie cinco veces la citada.

Las energías renovables hace ya tiempo que son una realidad en un fuerte proceso de expansión y son muchos los estudios en los que se muestra que es posible satisfacer, antes de 2050, las necesidades de energía del planeta contando, para entonces, únicamente con energías limpias y renovables. Uno, de ellos es el Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION, accesible en Internet). Todo ello recomienda que no se construyan más reactores nucleares y se clausuren los ya existentes conforme se vaya disponiendo de más recursos renovables, hasta la desaparición completa de la energía nuclear del mix energético a medio plazo.

Sin embargo, quienes afirman que únicamente con el cambio a un modelo energético basado en fuentes de energía renovables, no será posible evitar que la temperatura media terrestre siga aumentando, tienen razón; pero no porque estas fuentes no puedan suministrar la energía necesaria para vivir dignamente, sino porque, tal y como se ha visto en esta unidad didáctica, el cambio climático está estrechamente relacionado con otros graves problemas y no es posible actuar de manera eficaz si no los tratamos todos a la vez y de forma conjunta (Vilches y Gil Pérez, 2015). Por eso es necesario impulsar el desarrollo y el uso mundial de las energías renovables, pero esto también ha de ir necesariamente, acompañado de otras medidas tendentes a disminuir el consumo (como suele decirse la energía más limpia es la que no se gasta), a disminuir la tasa de aumento de población mundial, a evitar las migraciones desde el medio rural a las grandes ciudades, el urbanismo descontrolado, la existencia de grandes desigualdades entre la población, etc., pasando también por el desarrollo de la investigación y de la innovación en tecnologías que permitan aumentar el ahorro y la eficiencia energética.

A modo de conclusión, se puede decir que nuestro planeta necesita realizar una transición energética, acompañada de toda una serie de medidas para poder evitar así que siga aumentando la temperatura media del planeta. Ese cambio de modelo energético precisa de tiempo y de recursos, y la energía nuclear no debería formar parte de ese futuro. La humanidad no puede permitirse los riesgos que supondría aumentar los reactores nucleares ya existentes, aunque tampoco podamos cerrarlos de golpe. La energía nuclear generada por las centrales actuales seguirá jugando un papel, pero este ha de ser cada vez menor, no al contrario.

Bibliografía consultada para este anexo

Bohigas, X. (2017). Centrales nucleares, emisiones de CO₂ y cambio climático. *PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global*, 138, pp 109-121. Accesible en:
https://www.fuhem.es/papeles_articulo/centrales-nucleares-emisiones-de-co2-y-cambio-climatico/

IPCC (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Accesible en abril de 2022 en:
https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf

Jiménez, R. y Moreno, L. (2021). Energía nuclear compacta: discutamos. *Catalunyapress*.
<https://www.catalunyapress.es/texto-diario/mostrar/3297316/>

Mártil, I. (2020). *Energía solar: De la utopía a la esperanza*. Escolar y Mayo (Madrid)

Rifkin, J. (2010). *La civilización empática*. Barcelona: Paidós. Capítulo 13.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2008). La Sostenibilidad y el debate nuclear, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5 (1), 94-99.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2012). Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos: La transición desde las energías no renovables a la energía sostenible. *Revista Española de Física*, 26 (4), 15-18.

ANEXO 10

INFORMACIÓN NO REGLADA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

En este apartado se incluye información sobre museos y otros centros en los que se trata el tema de Cambio Climático, así como algunas películas y documentales en los que este tema está presente. La lista no pretende ser exhaustiva y se irá actualizando periódicamente.

1. Observatori de Canvi Climàtic.

Se trata de un centro educativo y divulgativo con sede en la calle Doctor Lluç, 60, 46011 (Valencia). El espacio físico del centro y los recursos educativos que alberga en relación con el Cambio Climático, permiten una visita interactiva y dinámica a todo tipo de público. Más información: <http://canviclimatic.org/observatori-del-canvi-climatic/que-es-l-observatori/>
Correo electrónico: observatori@canviclimatic.org

2. Página web Divulgameteo.

Página web del físico y comunicador científico José Miguel Viñas. Entre sus contenidos hay una sección completa dedicada a recoger diversas publicaciones de gran interés relacionadas con el tema del Cambio Climático, cuyo texto completo se puede descargar libremente.
Accesible en: <https://www.divulgameteo.es/lecturas.html>

3. Climantica.

Proyecto de Educación Medioambiental de la Xunta de Galicia. Dirigido al alumnado de secundaria. Entre otros contenidos dispone de 8 unidades didácticas sobre diferentes problemas ambientales. En ellas el cambio climático actúa como un marco en el que se relacionan temas medioambientales clásicos como energía, biodiversidad, hidrosfera, etc., lo que permite que se aborde este problema global en el conjunto de las unidades, mediante un enfoque interdisciplinar. Además, gracias su estructura, también es posible que los profesores que lo deseen, puedan usar capítulos aislados, o extraer aquellas partes que consideren más interesantes para sus alumnos. Para universalizar el acceso al proyecto, la información está disponible en gallego, castellano e inglés.
Más información: [Acceso a la web de Climantica](#)

4. MEDiNa, la divulgación cerca de ti

MEDiNa (Meteorología, Educación y Divulgación en el ámbito Nacional), es un proyecto de AEMET, que debe su nombre en honor de D. Mariano Medina Isabel (1922-1994). Con este proyecto AEMET pretende acercarse a la sociedad, desde un punto de vista divulgativo, para atender esa necesidad que se demanda cada vez más, desde diferentes colectivos.
En la web se puede encontrar y descargar material muy interesante que incluye, juegos, experimentos y unidades didácticas para trabajar con estudiantes de primaria y de primeros cursos de secundaria. También tiene un bloque de contenidos sobre Cambio Climático
Para acceder a esta web: <https://medina.aemet.es/cambio-climatico>

5. Documentales y películas sobre cambio climático

Existe una amplia oferta en este campo y se puede acceder a muchos documentales y películas de gran interés mediante una sencilla búsqueda en internet. Solo a título de ejemplo (hay muchas más opciones), mencionaremos:

- Una verdad incómoda (2006)
- Una Verdad muy Incómoda: Ahora o Nunca (2017)
- Home (2009)
- Merchants of Doubt (Ciencia a sueldo). (2014)
- Persiguiendo el hielo (2012)
- Antes de que sea tarde (2016)
- The day after tomorrow (El día de mañana). (2004)
- No mires arriba (2021)
- Desertificación y Cambio Climático. Pasando a la acción. Con motivo del Día de la Tierra, el 22 de abril de 2022, en la Ciutat de les Arts i les Ciències de Valencia, se produjo un encuentro en torno al tema: *Desertificación y Cambio Climático. Pasando a la acción*, en el que se realizaron mesas redondas, ponencias y diversas actividades divulgativas. En el siguiente link, se puede ver en YouTube, un interesante video sobre el evento:
<https://www.youtube.com/watch?v=J9p1qlaHe-k&t=1519s>

-El siguiente enlace, remite a una serie de documentales sobre Cambio Climático y Sostenibilidad, que pueden verse en YouTube:

<https://futuroverde.org/2021/12/11-documentales-sobre-conciencia-ambiental-que-puedes-ver/>

-Finalmente, en los siguientes enlaces, se puede acceder a una presentación de esta misma unidad didáctica, dividida en dos partes, realizada por el autor en 2021:

<https://www.youtube.com/watch?v=FgzL3p3Iaeo>

<https://www.youtube.com/watch?v=nywOBGWZep0>

Esta unidad didáctica acabó de revisarse el 30 de enero de 2025.

Se insta a su copia, divulgación y utilización con fines educativos, sin más que citar la fuente. Se puede acceder a la misma en la página web: didactica fisica y quimica.es donde, normalmente, se va actualizando cada año, así como en la plataforma de ResearchGate y en la web: Divulgameteo.es

Jaime Carrascosa Alís