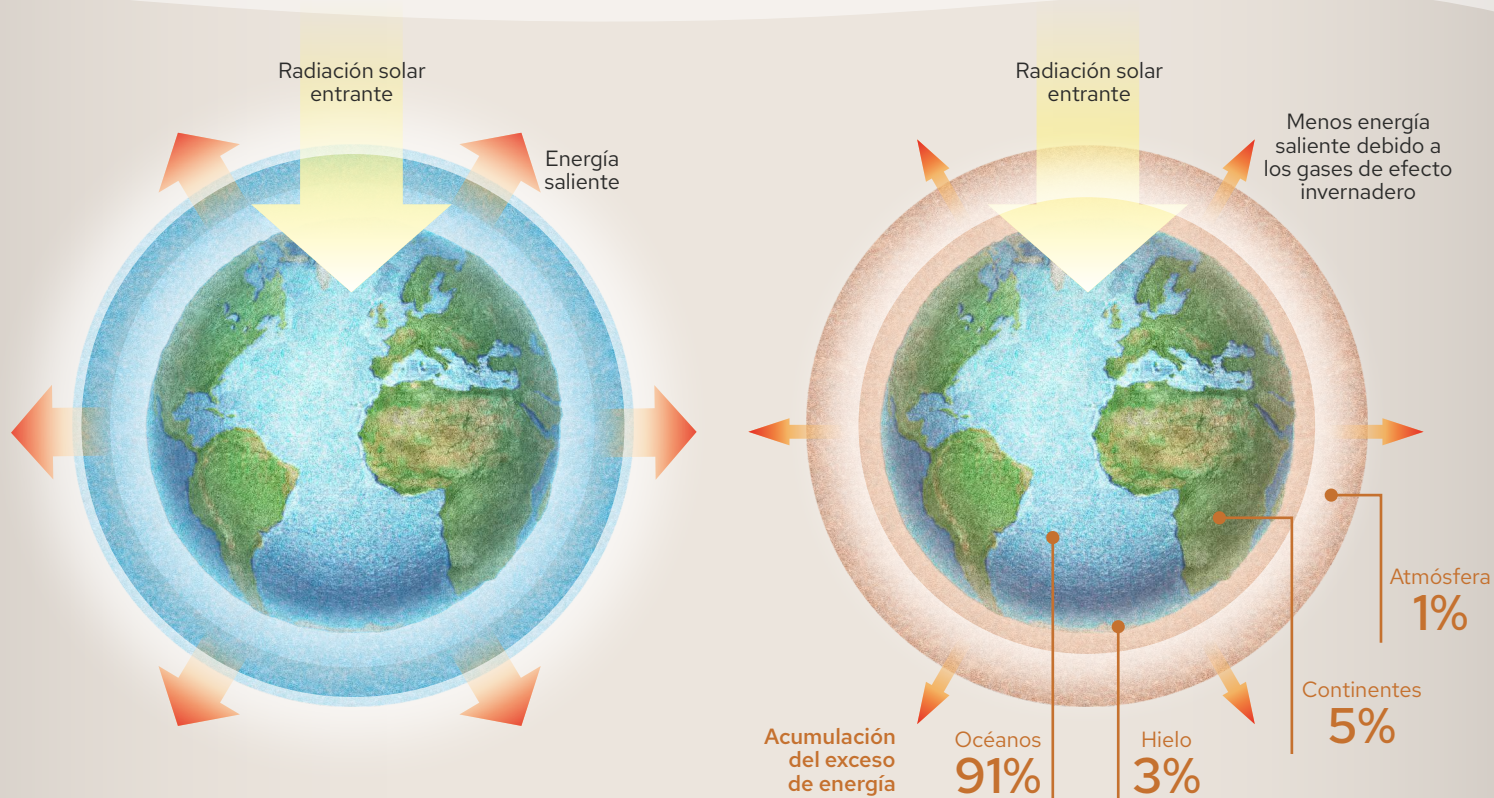


BASES CIENTÍFICAS PARA EXPLICAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

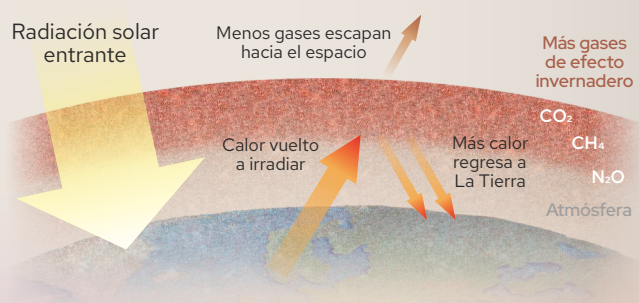
JOSÉ MANUEL RICO ORDÁS



Efecto natural de gases invernadero

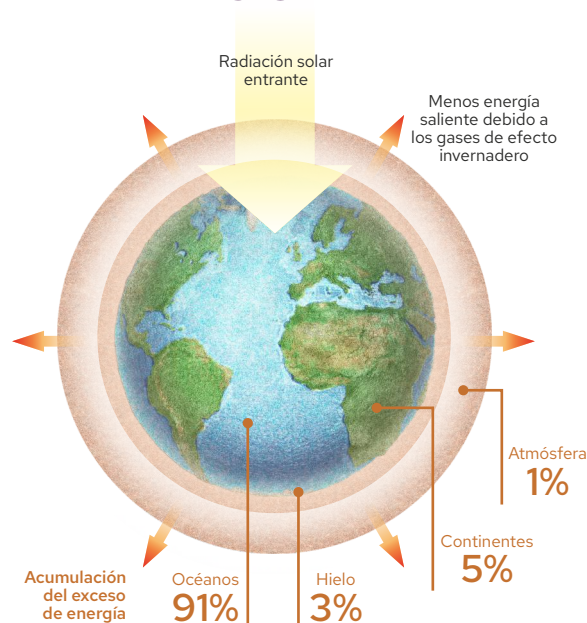


Efecto de gases invernadero aumentado por el ser humano



EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD HUMANA Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN

Es una característica de los planetas con atmósfera. La atmósfera es una envoltura formada por una mezcla de gases, distinta en cada planeta, que se comporta como un filtro selectivo respecto a la radiación que recibe el planeta proveniente de la estrella (en el sistema solar, la radiación emitida por el Sol) y la radiación que emite el planeta. El balance, si no se modifica la composición atmosférica, se mantiene constante y se dice que el planeta está en equilibrio radiativo, es decir, que emite tanta radiación como recibe, y por ello tiene una temperatura media superficial constante. En el sistema solar, el equilibrio radiativo se calcula entre la energía incidente procedente del Sol, que es mayor cuanto más cercano está el planeta al Sol, y la energía saliente.



Planeta	Constante solar (W/m ²)	Temperatura equilibrio (°C)	Temperatura real en la superficie (°C)	Diferencia (°C)
Mercurio	9116,4	168	entre -180 (noche) y +430 (día)	-
Venus	2611,9	-49	+477	516
Tierra	1366,1	-18	+15	33
Marte	588,6	-57	-47	10

Como se puede ver en esta tabla, la energía recibida (que se denomina constante solar) disminuye al alejarnos del Sol. La temperatura de equilibrio, por lo tanto, también, aunque en este equilibrio influye también cuanta energía se refleja (debido a las características de la superficie de cada planeta, en la Tierra, por ejemplo, la nieve o la arena reflejan mucha energía, mientras que la superficie del mar, con oleaje, refleja muy poca). En el caso de Mercurio, el planeta más cercano al Sol y carente de atmósfera, la temperatura varía de forma extrema entre día y noche por la cantidad de energía que recibe la cara iluminada frente a la cara oculta. Para los tres siguientes, sin embargo, la temperatura real se desvía siendo siempre mayor de la teórica, mucho en el caso de Venus, algo menos en la Tierra y menos aún en Marte. Los tres son planetas con atmósfera, pero la cantidad (densidad, indicada por la presión en superficie, a mayor presión, mayor cantidad de atmósfera) de dicha atmósfera y su composición son diferentes.

	Venus	Tierra	Marte
Presión superficial	90 bar	1 bar	0.007 bar
Gases mayoritarios	96% CO ₂ 3.5% N ₂	78% N ₂ 21% O ₂	95% CO ₂ 2.7% N ₂ 1.6% Ar, 1.3% O ₂
Gases minoritarios (ppm = partes por millón)	150 ppm SO ₂ - 100 ppm Agua 70 ppm Argon	0.25% Agua 330 ppm CO ₂ 1.5 ppm Metano 0.4 ppm Ozono	700 ppm CO 300 ppm Agua 0.1 ppm Ozono

Como se ve en la tabla (arriba), la atmósfera de Venus está formada casi totalmente por dióxido de carbono, que también es el gas mayoritario en la atmósfera de Marte. La atmósfera terrestre, en cambio, está formada mayoritariamente por el gas nitrógeno, y además contiene una fracción significativa de oxígeno, consecuencia de la aparición de la fotosíntesis hace más de 2000 mil millones de años. Sin embargo, también contiene dióxido de carbono, en una baja proporción (ppm son partes por millón), suficiente para producir un efecto invernadero (junto con otros gases, especialmente el vapor de agua y el metano) que eleva la temperatura media en más de 30°C respecto a la esperada.

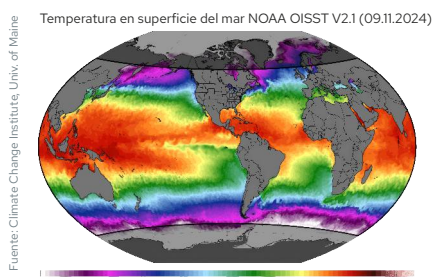
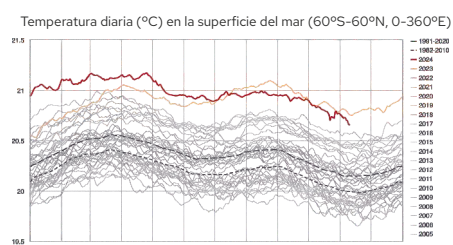
LOS CAMBIOS ANTROPOGÉNICOS

La temperatura superficial de un planeta, por lo tanto, depende del efecto invernadero producido por su atmósfera, y cualquier cambio en esta composición atmosférica que afecte a los gases implicados en el efecto invernadero producirá un cambio en esa temperatura media. En el caso de la Tierra, el cambio se debe al aumento de dióxido de carbono como producto, principalmente, de la combustión de petróleo, gas y carbón, y de metano procedente de la actividad agrícola y ganadera.

Este equilibrio se ha modificado en los últimos 150 años, particularmente, por el aumento de concentración de dióxido de carbono y metano en la atmósfera. A partir de registros paleoclimáticos (es decir, del "clima antiguo") obtenidos mediante, entre otros, testigos de hielo de la Antártida se ha podido comprobar que la concentración atmosférica de CO₂ ha estado por debajo de las 300 partes por millón (ppm) durante los últimos 800.000 años, pero no ha dejado de aumentar, por encima de ese valor, desde 1911, y está ya en 425 ppm en 2025. Este aumento de CO₂ es el principal (aunque no el único) causante del aumento de la temperatura media del planeta, que en 2025 se sitúa en 1,42°C por encima de la media de la temperatura del periodo anterior a la Revolución Industrial.

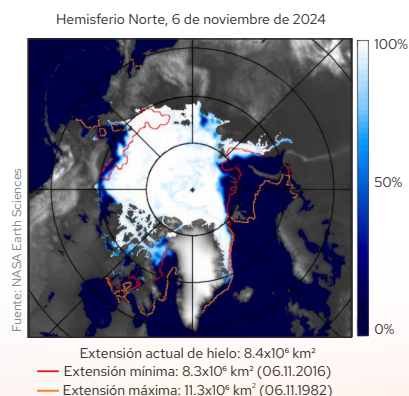
LA SITUACIÓN ACTUAL

Siendo el aumento de la temperatura el rasgo más evidente del cambio climático no es el único. De hecho, ni siquiera podemos considerarlo el más preocupante. El aumento de CO_2 atmosférico perturba el ciclo biogeoquímico global del C, en el cual los océanos juegan un papel decisivo. Al aumentar el CO_2 atmosférico, aumenta el intercambio de este gas entre la atmósfera y la superficie del océano, y este aumento se incorpora a un sistema complejo de equilibrio entre distintas formas de C disuelto en el agua de mar conocido como sistema carbónico-carbonatos. Este equilibrio se desplaza, por el aumento de origen antrópico, aumentando la acidez del agua de mar y disminuyendo la facilidad con la que muchos organismos (entre ellos los corales y las conchas de muchos moluscos) forman estructuras de carbonato cálcico. Por eso, los corales en muchas zonas de los mares tropicales están perdiendo tamaño y blanqueándose, y este proceso se intensificará si continua el aumento del paso de CO_2 atmosférico al océano.



El aumento de la temperatura atmosférica también produce un aumento de la temperatura del agua de mar, a partir de un mayor calentamiento que empieza en la superficie, pero que por la circulación de las masas de agua se transite en profundidad. El aumento de temperatura del agua de mar está ocasionando cambios en los límites de distribución de muchas especies de algas marinas y de animales, incapaces de sobrevivir en condiciones más cálidas. En la costa de Asturias, por ejemplo, los grandes bosques submarinos de especies del género *Laminaria*, un grupo de grandes algas pardas formadores de bosques, se han reducido en más del 90% desde 1990. Esta reducción afecta además a numerosas especies de peces e invertebrados que son pescados por las pesquerías tradicionales en la región.

Las aguas más cálidas, en todo el planeta, facilitan en la región ártica y antártica la fusión de enormes cantidades de hielo. Este hielo que se funde se transforma en agua dulce (cuando el agua de mar se congela, en cierto modo, "expulsa" las sales, y el hielo de origen marino es mayoritariamente agua dulce) y produce dos efectos muy negativos: por una parte, más agua líquida se traduce en un aumento del nivel de mar, que es especialmente preocupante en regiones costeras. Si tenemos en cuenta que alrededor de 10% de la población mundial vive a menos de 5 km de la costa, lo que equivale a aproximadamente 748,1 millones de personas, toda esta población está expuesta a temporales e inundaciones más intensos y más frecuentes, y deberá ir abandonando estas zonas para desplazarse a zonas más elevadas, cuando eso sea posible (no lo será, por ejemplo, en los estados insulares del Pacífico); por otro lado, la presencia de acumulaciones de agua dulce superficial en las zonas polares, procedente de la fusión del hielo, supone una barrera para la circulación global del agua marina a lo largo de la



superficie y las zonas profundas de los océanos. Este fenómeno es especialmente notable en la región ártica del Atlántico. En esta zona se forma muy activamente agua profunda que luego circula de N a S hacia la Antártida por el fondo del Atlántico, y desde la Antártida se distribuye al Pacífico y al Índico. Al colapsarse esta circulación global en el Ártico atlántico, el efecto de "cortocircuito", conocido como colapso de la AMOC (las siglas en inglés de Circulación de Vuelco Meridional del Atlántico) tiene efectos sobre el clima global (y sobre todo sobre el clima de la fachada atlántica europea) y sobre la estabilidad climática.

FUTURO CLIMÁTICO

El futuro del clima y de los efectos de estos cambios dependen de la evolución de las emisiones de CO₂. Los modelos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) plantean varios escenarios, con el objetivo de explorar vías para alcanzar los objetivos fijados, por ejemplo, en el Acuerdo de París (establecido en 2015) y estimar plazos para alcanzar estos objetivos. Los modelos actuales están basados en la combinación de la evolución de las emisiones en el futuro considerando el contexto socioeconómico. Se denominan escenarios SSP, y van desde el más optimista que asume una reducción en emisiones y un futuro hacia la sostenibilidad (SSP1, *Seguir la senda verde*), con el que se llegaría a una situación de emisiones netas negativas (reducción de CO₂ atmosférico) en 2100, pasando por escenarios intermedios como el SSP2 (*A mitad del camino*) con emisiones de CO₂ reducidas a la mitad a fines del siglo XXI, y escenarios menos optimistas como el SSP3 (*Un camino tortuoso*), en el que predominan las políticas enfocadas a la seguridad, aumentan las barreras al comercio internacional, aumenta la desigualdad y se ralentiza el crecimiento económico, que duplicaría la concentración de CO₂ o el SSP5 (*La autopista al infierno*), que mantiene altos ritmos de consumo basados en combustibles fósiles, lo que aumentará el crecimiento económico con políticas centradas en el libre mercado y el aumento del comercio global, llevando a un máximo de concentración de CO₂ antes de que termine el siglo XXI.

Tabla. Incremento en la temperatura global de la superficie según periodos en los cinco SSP considerados por el último informe del IPCC.

Escenario	Rango probable de incremento de las temperaturas (°C)		
	2021 - 2040	2041 - 2060	2081 - 2100
SSP1-1.9	1.2 - 1.7	1.2 - 2.0	1.0 - 1.8
SSP1-2.6	1.2 - 1.8	1.3 - 2.2	1.3 - 2.4
SSP2-4.5	1.2 - 1.8	1.6 - 2.5	2.1 - 3.5
SSP3-7.0	1.2 - 1.8	1.7 - 2.6	2.8 - 4.6
SSP5-8.5	1.3 - 1.9	1.9 - 3.0	3.3 - 5.7

En la actualidad parece que es el escenario SSP3 el más probable, y esto supone un mayor problema de cambio climático, con una mayor proporción de la población mundial expuesta a olas de calor extremo de mayor duración e intensidad antes de 2050.