The Alliance for Just Deliberation on Solar Geoengineering

Los sistemas climáticos interconectados de la Tierra

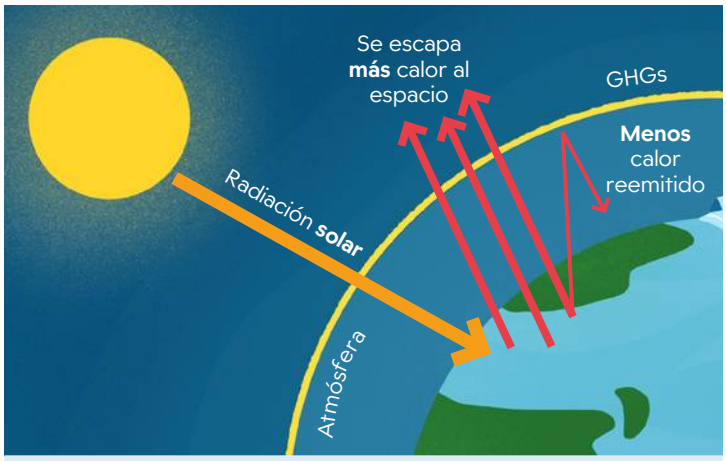
La atmósfera: el elemento que regula el clima de la Tierra

La atmósfera terrestre, compuesta principalmente por nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %) y argón (0,93 %), regula el clima del planeta y hace posible la vida. Los gases traza, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano y el óxido nitroso, retienen el calor mediante el efecto invernadero, lo que ayuda a mantener un clima habitable. Sin embargo, actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación han aumentado las concentraciones de gases de efecto invernadero, lo que retiene el exceso de calor y altera el equilibrio climático. La atmósfera también influye en los patrones meteorológicos al redistribuir el calor y la humedad, lo que significa que el aumento de los niveles de CO_2 puede alterar las precipitaciones, intensificar las tormentas y afectar la circulación oceánica: todo esto destaca la naturaleza interconectada de los sistemas de la Tierra.

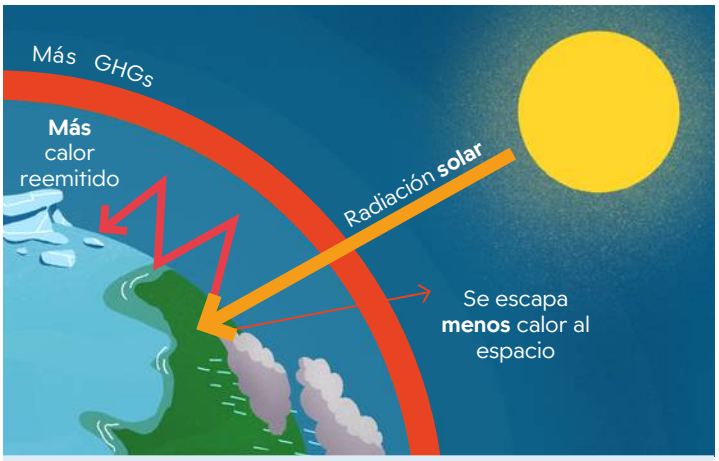
Equilibrio energético: cómo la Tierra mantiene su estabilidad

El clima de la Tierra se alimenta del Sol, cuya energía solar ingresa al sistema en forma de radiación de onda corta. Esta energía es absorbida por la superficie del planeta y emitida nuevamente en forma de radiación de onda larga. El equilibrio entre la energía solar que llega a la Tierra y el calor que se emite determina el equilibrio energético general del planeta y su temperatura media, lo cual resulta fundamental para la configuración del clima. Los gases de efecto invernadero retienen de forma natural parte de este calor que se escapa, lo que ha mantenido el planeta cálido y, en general, con un clima agradable.

Sin embargo, las actividades humanas han alterado este equilibrio energético al aumentar la concentración de gases de efecto invernadero, lo que provoca una mayor retención de calor. Este aumento del efecto invernadero lleva al incremento de las temperaturas a nivel mundial, lo que genera cambios como el derretimiento de los glaciares, la subida del nivel del mar y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos más extremos. Incluso pequeños cambios en este equilibrio energético pueden generar un efecto dominó y afectar los ecosistemas, los sistemas climáticos y la vida y los medios de vida de las personas.



Sistema estable



Efecto invernadero mejorado

Sumideros y fuentes de carbono: la función del almacenamiento y la liberación

Un componente clave del sistema climático de la Tierra es la interacción entre los sumideros y las fuentes de carbono, que regulan los niveles de gases de efecto invernadero de la atmósfera. Los sumideros de carbono son sistemas naturales que absorben y almacenan más carbono del que liberan.

Algunos ejemplos de sumideros de carbono:

- Bosques: almacenan carbono en la biomasa y en los suelos.
- Océanos: absorben CO_2, pero están perdiendo su eficacia debido al calentamiento.
- Suelos: almacenan carbono orgánico, pero su degradación libera CO_2.

Estos sumideros resultan fundamentales para la compensación de las emisiones humanas al capturar CO_2 en distintos horizontes temporales. Por ejemplo, la absorción de carbono por parte de los océanos puede prolongarse siglos, mientras que los bosques almacenan carbono en plazos más cortos, según las tasas de deforestación y la salud de los ecosistemas.

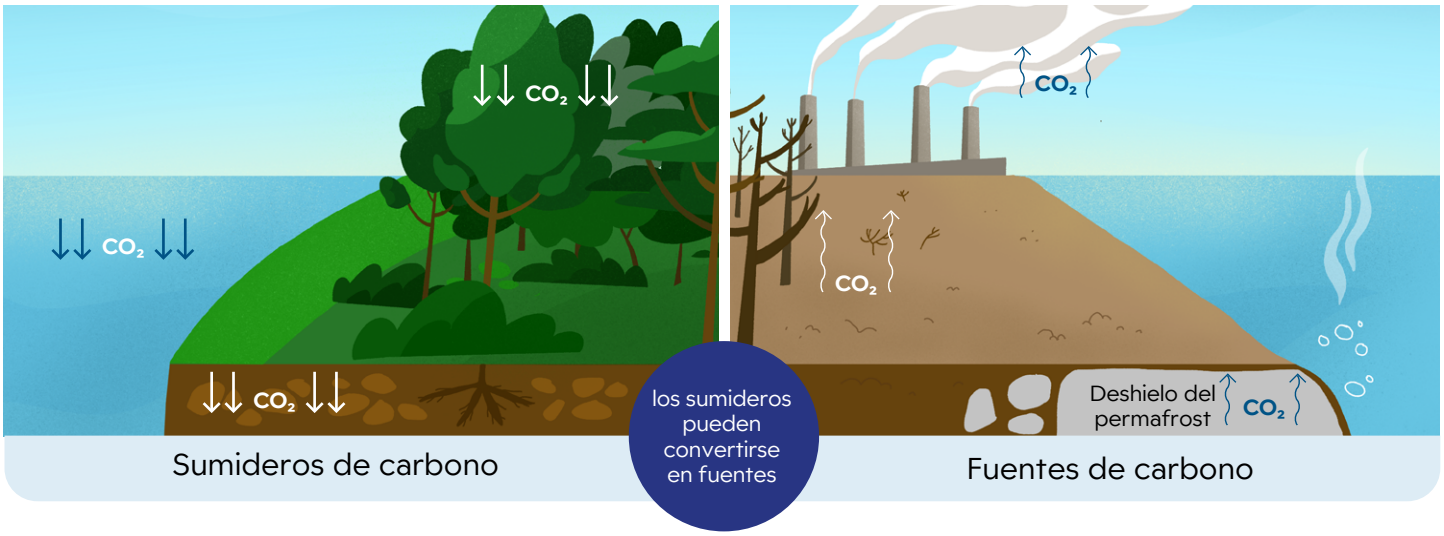
Por el contrario, las fuentes de carbono liberan más carbono del que absorben, lo que contribuye al aumento de los niveles de CO_2 en la atmósfera.

Algunos ejemplos de fuentes de carbono:

- Quema de combustibles fósiles: aporta CO_2 a la atmósfera.
- Deforestación: reduce la capacidad de absorción de carbono.
- Deshielo del permafrost: libera metano y CO_2 almacenados.

La distinción entre sumideros y fuentes es dinámica, lo que significa que, en determinadas condiciones, los sumideros pueden convertirse en fuentes. Por ejemplo, a medida que las temperaturas aumentan a nivel mundial, el permafrost se descongela, liberando el metano y el dióxido de carbono que almacenaba, lo que convierte lo que antes era un sumidero de carbono en una potente fuente de emisiones. Del mismo modo, el calentamiento de los océanos reduce la capacidad del agua marina para absorber CO_2, lo que debilita uno de los mayores sumideros de carbono del planeta.

Resulta fundamental comprender estos cambios entre sumideros y fuentes, que varían con el tiempo, para poder mitigar el cambio climático. Las estrategias que potencian los sumideros naturales —como la reforestación y el secuestro de carbono en el suelo— pueden ayudar a frenar el cambio climático, aunque sigue siendo fundamental reducir las emisiones de las principales fuentes para restablecer el equilibrio energético de la Tierra.



Bucles de retroalimentación: las reacciones en cadena del clima

Los bucles de retroalimentación son procesos del sistema climático de la Tierra que amplifican o atenúan los cambios. Estos ciclos ponen de manifiesto la estrecha interrelación entre la atmósfera y el equilibrio energético con el resto del sistema climático.

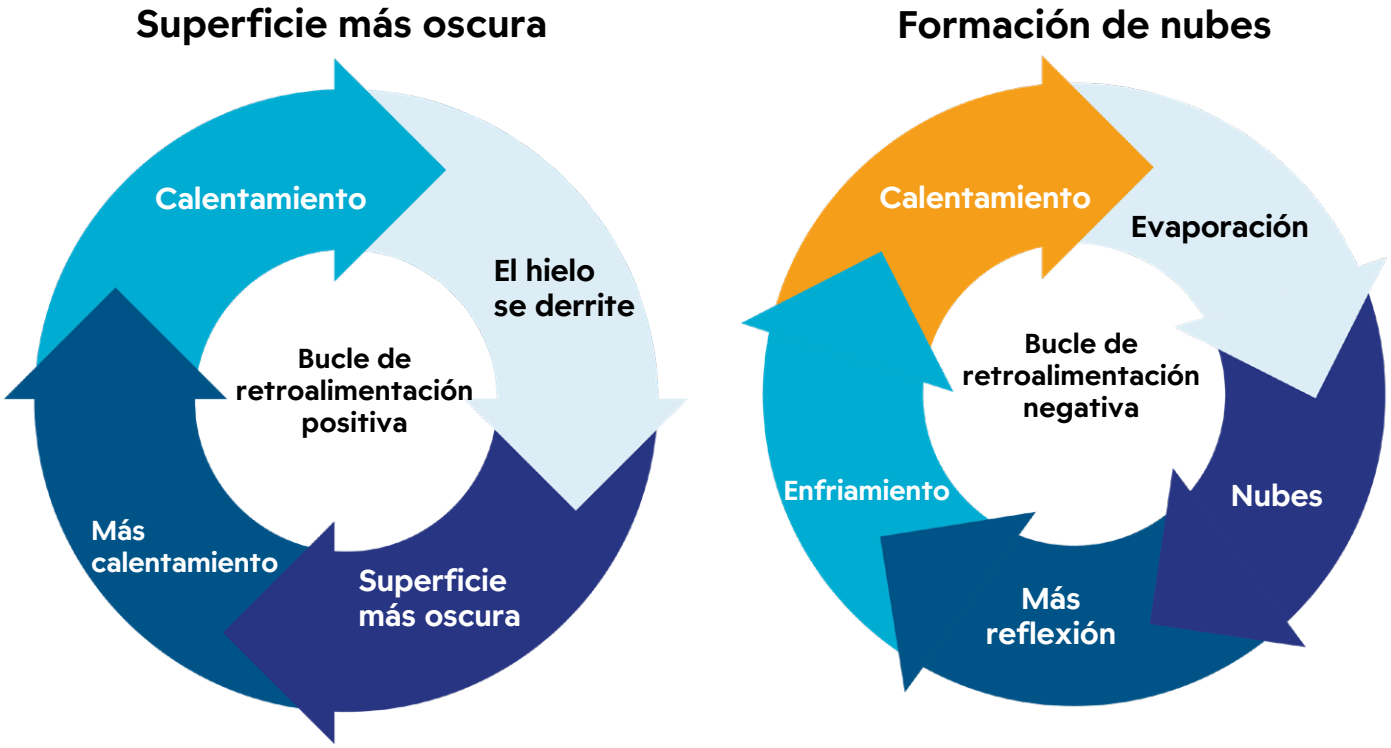
Los bucles de retroalimentación positivos aumentan el calentamiento. Algunos ejemplos:

- Efecto albedo del hielo: El derretimiento del hielo deja al descubierto aguas oceánicas más oscuras, que absorben más calor, lo que provoca una mayor pérdida de hielo.
- Deshielo del permafrost: Al derretirse, el permafrost se derrite, libera metano —un potente gas de efecto invernadero— lo que acelera el calentamiento.

Los bucles de retroalimentación negativos enlentecen o reducen los cambios. Algunos ejemplos:

- Formación de nubes: Las temperaturas más cálidas pueden provocar mayor evaporación y nubosidad, lo que refleja la luz solar y reduce el calentamiento.

Si bien los bucles de retroalimentación negativos aportan cierta estabilización natural, muchos de los bucles provocados por el cambio climático de origen humano son positivos, lo que aumenta el calentamiento y sus consecuencias.



Por qué estos sistemas son importantes

La atmósfera terrestre, el equilibrio energético y los bucles de retroalimentación están estrechamente interrelacionados. Un cambio en una parte del sistema puede propagarse a otras, lo que aumenta los efectos del cambio climático. Por ejemplo, el calentamiento de la atmósfera (desequilibrio energético) acelera el derretimiento del hielo (retroalimentación positiva), lo que altera los patrones meteorológicos a nivel mundial. Resulta fundamental comprender estos sistemas interconectados para estabilizar el clima y evitar los efectos en cadena del calentamiento global.