

Monitoreo de los gases de efecto invernadero en la Organización Meteorológica Mundial: de la ciencia a los servicios

Oksana Tarasova (OMM), Jarin Tasneem Oyshi (OMM)

Los primeros estudios sobre la composición de la atmósfera surgieron a partir de la curiosidad científica. En el siglo XVIII, los científicos identificaron los componentes atmosféricos fundamentales, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), y comenzaron a describir sus propiedades en la literatura científica.

El químico escocés Joseph Black [descubrió oficialmente el \$\text{CO}_2\$](#) a principios de la década de 1750 al someter el carbonato de magnesio a la acción de un ácido. Lo denominó “aire fijo” porque previamente había estado encerrado en un material sólido. El metano fue descubierto en 1776 por el físico italiano Alessandro Volta. Mientras exploraba las orillas pantanosas del lago Maggiore, en Italia, recogió burbujas de gas que se desprendían del sedimento y las identificó como un tipo de aire inflamable único.

En 1896, el científico sueco [Svante Arrhenius](#) [calculó](#) que si se reducía a la mitad la cantidad de CO_2 en la atmósfera se podía hacer bajar las temperaturas en Europa entre 4 °C y 5 °C, mientras que si la duplicaba elevaría la temperatura de la Tierra entre 5 °C y 6 °C. Ya en aquella época, Arrhenius señaló que la industria tenía un impacto en los niveles de CO_2 de la atmósfera, aunque no previó la magnitud de las futuras emisiones de combustibles fósiles. Más de un siglo después, las

concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) dibujan un panorama desolador.

El último análisis muestra que las concentraciones medias globales en superficie de CO_2 , CH_4 y óxido nitroso (N_2O) alcanzaron niveles récord en 2024, situándose el CO_2 en $423,9 \pm 0,2$ partes por millón (ppm), el CH_4 en $1\,942 \pm 2$ partes por mil millones (ppmm) y el N_2O en $338,0 \pm 0,1$ ppmm. Se trata de aumentos respecto a los niveles preindustriales (antes de 1750) del 152 %, el 266 % y el 125 %, respectivamente.

Medición de la atmósfera

Este análisis es posible gracias a décadas de observaciones atmosféricas realizadas por la comunidad científica y coordinadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En 1958, Charles Keeling, del Instituto Scripps de Oceanografía en San Diego, comenzó a realizar mediciones precisas de CO_2 con el fin de establecer un valor de referencia que permitiera evaluar los cambios futuros. Estas observaciones sirven de referencia global para los cambios en los niveles de CO_2 hasta la actualidad a través de la “curva de Keeling” (figura 1). Varias otras estaciones se unieron a la iniciativa, y en 1967 se formó la Red de Estaciones de Control de la Contaminación General Atmosférica (BapMoN). Posteriormente, esta

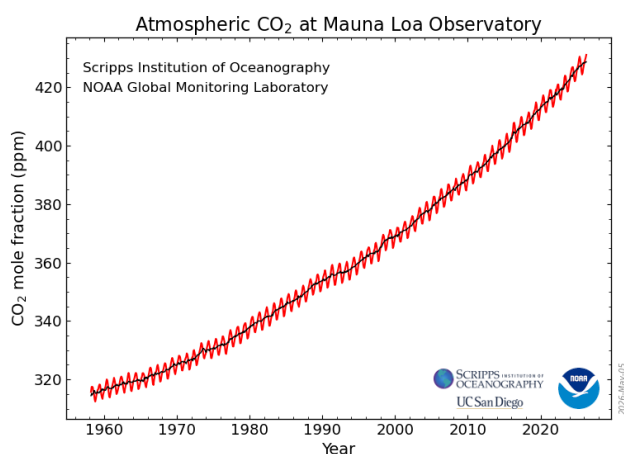


Figura 1. Conjunto de datos a largo plazo sobre los niveles de CO_2 en Mauna Loa.

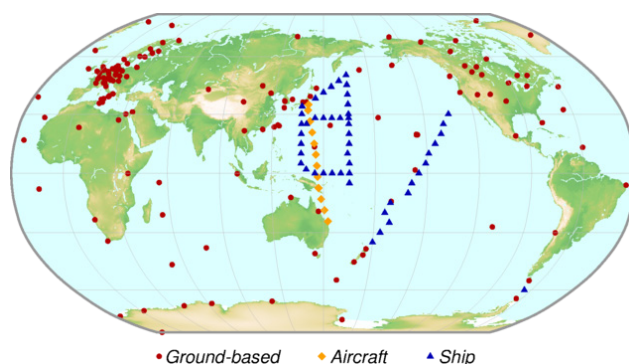


Figura 2. Red mundial de la VAG encargada del monitoreo del CO_2 durante los últimos 10 años. La red de monitoreo del CH_4 es similar. La red de monitoreo in situ del N_2O y de otros GEI de larga vida es sustancialmente menos densa. La red actual de estaciones que miden los principales GEI en el marco del Programa de la VAG está formada por más de 100 estaciones repartidas por todo el mundo.



Participantes de la primera reunión relativa a las técnicas de medición de los GEI celebrada en La Jolla (Estados Unidos) y de la más reciente (la 22ª), celebrada en São José dos Campos (Brasil).

red pasó a formar parte del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM (figura 2).

Desde que se iniciaron las observaciones atmosféricas en la década de 1960, quedó claro que las mediciones de distintos laboratorios solo podían compararse de forma fiable si se expresaban utilizando las mismas unidades y escalas de referencia. Esto reviste especial importancia

porque los cambios que los científicos pretenden medir suelen ser muy pequeños en comparación con la concentración total de GEI ya presentes en la atmósfera.

La OMM ha desempeñado un papel fundamental a la hora de facilitar la cooperación internacional en materia de observaciones y análisis de GEI. Desde 1975, la OMM ha prestado su apoyo a las reuniones de expertos sobre técnicas de medición de gases de efecto invernadero y trazadores conexos. La primera reunión se celebró en el Instituto Scripps de Oceanografía, en los Estados Unidos, y desde entonces se ha celebrado cada dos años.

Comprender las fuentes, los sumideros y las retroalimentaciones climáticas

Las observaciones atmosféricas globales precisas de los GEI muestran un aumento continuo de su concentración. En el caso del CO_2 , la tasa de incremento también se está acelerando. El mayor aumento anual registrado se observó entre 2023 y 2024, como se indica en el último [Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero](#) (figura 3).

Los tres gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O) guardan una íntima relación con las actividades antropógenas (humanas) e interactúan intensamente con la biosfera y los océanos. Para predecir las concentraciones atmosféricas futuras, es necesario comprender de forma cuantitativa las numerosas fuentes y sumideros de GEI, así como las transformaciones químicas que se producen en la atmósfera, y disponer de proyecciones sobre las condiciones climáticas futuras. El CO_2 es el principal GEI de origen antropógeno y el que más contribuye al calentamiento provocado

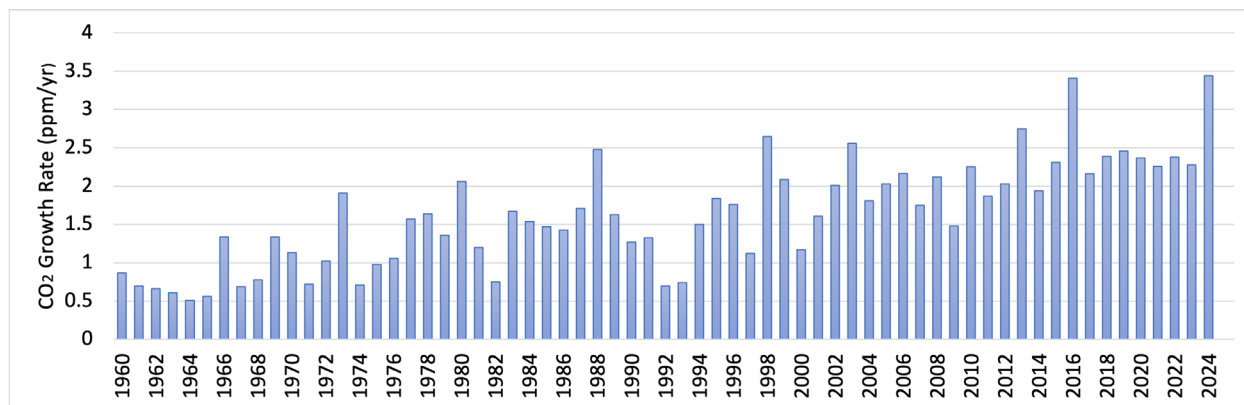


Figura 3. Aumentos en las medias anuales sucesivas del CO_2 atmosférico, calculados a partir de las observaciones de la red de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) (un subconjunto de emplazamientos remotos de observación marina en superficie de la red de la VAG de la OMM) para el período 1980-2024 y de las mediciones obtenidas en Mauna Loa y el Polo Sur por el Instituto Scripps de Oceanografía (SIO) durante el período 1960-1979.

por los GEI de larga vida. De acuerdo con el último análisis del [Proyecto Carbono Global](#), los sistemas naturales absorben aproximadamente la mitad de las emisiones antropógenas de CO₂, correspondiendo a los ecosistemas terrestres un 21 % y al océano un 29 % de media durante el período 2015-2024. El resto se acumula en la atmósfera.

Sin embargo, la capacidad de estos sumideros naturales de carbono varía de un año a otro. Procesos como El Niño y las retroalimentaciones provocadas por el cambio climático pueden influir considerablemente en la cantidad de CO₂ que absorben la tierra y los océanos.

Un mecanismo importante es la respuesta de la biosfera a las condiciones de sequía. Estas condiciones pueden incrementar la inflamabilidad de los bosques, lo que da lugar a emisiones directas de CO₂ a través de la quema de biomasa. También pueden alterar el equilibrio entre la respiración y la fotosíntesis, ya que los ecosistemas pasan de ser sumideros de carbono a fuentes de carbono. Este cambio ha quedado demostrado mediante observaciones directas en algunas zonas de la Amazonia.

Se considera que la región amazónica es un posible [punto de inflexión climático](#). Esto significa que, más allá de ciertos umbrales, los cambios medioambientales y las retroalimentaciones climáticas podrían desencadenar cambios importantes y posiblemente irreversibles en el ecosistema. Por lo tanto, reviste especial importancia observar los cambios en el ciclo del carbono de la Amazonia.

La OMM colabora estrechamente con el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil para mejorar la comprensión de los [cambios a largo plazo en el balance de carbono de la Amazonia](#). En los últimos 15 años, durante los cuales se llevaron a cabo estas mediciones, la Amazonia ha registrado una disminución de las precipitaciones, un aumento de las temperaturas y temporadas secas más prolongadas, debido a lo cual el bosque es más inflamable. La grave sequía de 2023 provocó unas emisiones por incendios excepcionalmente elevadas, como indican las mediciones atmosféricas a largo plazo.

A partir de estas observaciones realizadas a lo largo de 15 años, los científicos estimaron las emisiones totales de CO₂, las emisiones de CO₂ causadas por incendios y el intercambio neto en el bioma, que describe el balance neto total a largo plazo del carbono intercambiado entre un ecosistema terrestre (por ejemplo, un bosque o un bioma) y la atmósfera, incluidas las emisiones procedentes de los incendios y otros procesos. Durante el período 2010-2022, el balance de carbono de la Amazonia registró unas emisiones de 0,37 PgC al año. Las emisiones

aumentaron de 0,31 PgC al año entre 2010 y 2018 a 0,51 PgC al año entre 2019 y 2022.

Estos resultados indican que las emisiones forestales derivadas de la respiración y la quema de biomasa superaron la absorción de CO₂ mediante la fotosíntesis, lo que significa que, en general, la Amazonia actuó como una fuente neta de CO₂ para la atmósfera durante este período. Se han observado cambios similares en la absorción de carbono por parte de los bosques en otras regiones. En 2022, Europa registró temperaturas récord en verano y otoño. Cerca del 30 % del continente europeo se vio afectado por una grave sequía estival. Un estudio dirigido por científicos del Sistema de Observación Integrado del Carbono (ICOS) reveló que estas condiciones extremas redujeron la absorción de CO₂ por parte de la biosfera durante el verano en una cantidad estimada de entre 56 y 62 TgC en las zonas afectadas por la sequía. Esta reducción superó las emisiones anuales de los Países Bajos y representó aproximadamente el 80 % del total de las emisiones anuales de Francia.

También pueden intensificarse otras retroalimentaciones climáticas como respuesta al cambio climático, desde el aumento de las emisiones de CH₄ asociadas al deshielo del permafrost hasta la reducción de la absorción de CO₂ por parte de los océanos, ya que las aguas más cálidas absorben menos gas. Por ejemplo, Muller y otros, en su [artículo de 2025](#), demostraron que las aguas oceánicas no polares a nivel mundial absorbieron aproximadamente un 10 % menos de CO₂ de lo previsto, según las estimaciones derivadas de observaciones sobre el intercambio de CO₂ entre el océano y la atmósfera.

De las observaciones a los servicios

Las observaciones de GEI coordinadas por la OMM son fundamentales para comprender los factores que impulsan el cambio climático y las retroalimentaciones conexas. A medida que han avanzado las observaciones atmosféricas y las capacidades de modelización, se ha prestado cada vez más atención a cómo estas observaciones pueden contribuir a una mejor comprensión de las emisiones y la absorción de GEI a diferentes escalas.

En 2010, ya resultaba más fácil realizar observaciones atmosféricas de los GEI. Al mismo tiempo, los avances en la modelización numérica mejoraron las técnicas de modelización inversa, que utilizan las concentraciones atmosféricas observadas de GEI para estimar dónde se producen las emisiones y las absorciones en la superficie terrestre. Estos enfoques ayudan a los científicos a comprender mejor la distribución de las fuentes y los sumideros de GEI.

Con el fin de apoyar a sus Miembros en la aplicación de estos nuevos enfoques, la OMM puso en marcha el desarrollo del Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero (IG³IS) durante la decimosexta reunión de la Comisión de Ciencias Atmosféricas, celebrada en 2013. Este sistema fue aprobado posteriormente por el Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial.

En el marco del IG³IS, las mediciones de las concentraciones atmosféricas se combinan con los datos de los inventarios socioeconómicos para mejorar las estimaciones de las emisiones y la absorción de GEI. La característica principal del sistema es que puede aplicarse a múltiples escalas, desde instalaciones concretas hasta el ámbito urbano y nacional.

A medida que la iniciativa ha avanzado, la OMM ha colaborado estrechamente con las partes interesadas y los usuarios para desarrollar de manera conjunta productos de información y reforzar los conocimientos sobre cómo las observaciones atmosféricas pueden servir de apoyo a diferentes aplicaciones. Para comprender mejor las necesidades de los usuarios y el ámbito de aplicación, la OMM organiza consultas periódicas con las partes interesadas. La última consulta, celebrada entre el 20 y el 22 de abril de 2026, contó con la participación de más de 100 personas.

El IG³IS apoya la elaboración de métodos y normas coherentes para estimar las emisiones y la absorción de GEI en diferentes aplicaciones y escalas. Por ejemplo, en 2025, la OMM publicó unas directrices sobre el uso de las observaciones atmosféricas para mejorar la cuantificación de las emisiones y la absorción a escala nacional y urbana.

El recorrido desde los primeros trabajos teóricos de Arrhenius hasta las redes mundiales actuales de monitoreo de los GEI refleja una evolución notable en las ciencias de la atmósfera. Aunque se han logrado avances significativos, siguen existiendo grandes desafíos. Todavía quedan por subsanar importantes carencias en materia de observación. Es necesario desarrollar y poner en marcha instrumentos nuevos, más económicos y fáciles de manejar. En todas las regiones se debe fortalecer la capacidad para realizar mediciones de GEI e interpretar los datos.

Lo que comenzó como una curiosidad científica sobre el efecto invernadero se ha convertido en un esfuerzo científico a escala mundial para comprender mejor las fuentes y los sumideros de GEI, así como sus interacciones con el sistema Tierra. Las observaciones continuadas y la cooperación internacional seguirán siendo fundamentales para comprender mejor los cambios en la composición atmosférica y su papel en el sistema climático.