



Organización  
Meteorológica  
Mundial  
Tiempo · Clima · Agua



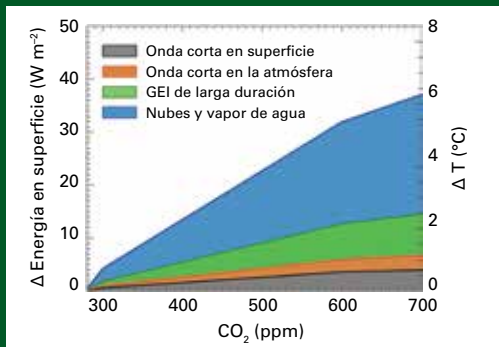
GLOBAL  
ATMOSPHERE  
WATCH

# BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2014

Nº 11 | 9 de noviembre de 2015

ISSN 2078-0818



**El vapor de agua y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son los principales gases de efecto invernadero (GEI), siendo el CO<sub>2</sub> el principal causante del cambio climático.**

**Los cambios del vapor de agua ocurren, en gran parte, como consecuencia de los cambios que se dan en el CO<sub>2</sub>.**

Algunos gases atmosféricos, como el vapor de agua y el CO<sub>2</sub>, absorben y reemiten la energía infrarroja de la atmósfera a la superficie. Este proceso, conocido como efecto invernadero, hace que la temperatura media en superficie sea unos 33 grados Kelvin más elevada de lo que sería sin estos gases. Sin embargo, son los GEI no condensables (principalmente el CO<sub>2</sub>, pero también el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y los clorofluorocarbonos (CFC)) los que funcionan como agentes de forzamiento. El vapor de agua y las nubes producen retroalimentaciones rápidas. El vapor de agua reacciona rápidamente a los cambios de temperatura a través de la evaporación, la condensación o la precipitación. Gracias a las observaciones realizadas en el marco del Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) pueden investigarse detalladamente estas cuestiones.

La radiación solar entrante de onda corta proporciona aproximadamente 340 Wm<sup>-2</sup> en la parte superior de la atmósfera, de los cuales un 30% es reflejado de vuelta al espacio, principalmente por las nubes, un 20% es absorbido por la atmósfera y un 50% es absorbido por la superficie de la Tierra. En una situación de equilibrio, los flujos de energía entrantes de onda corta y los salientes de onda larga en la parte superior de la atmósfera son equivalentes.

En condiciones preindustriales, el flujo de energía era 160 Wm<sup>-2</sup> mayor en la superficie que en la parte superior de la atmósfera debido al efecto invernadero. La figura muestra los cambios en el balance energético global en superficie relativos a las condiciones preindustriales según se incremente la concentración de CO<sub>2</sub>. El eje vertical de la derecha indica el aumento de la temperatura en la superficie necesario para alcanzar el equilibrio entre la radiación entrante (onda corta + onda larga) y la radiación saliente (onda larga).

La sección verde de la figura representa la energía térmica a la que contribuyen los GEI de larga duración homogéneamente mezclados, principalmente el CO<sub>2</sub>. La sección azul representa las contribuciones por medio de la retroalimentación que causa el agua en la atmósfera a medida que la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta. Una retroalimentación fuerte del vapor de agua quiere decir que en un escenario en el que se parte de que la concentración de CO<sub>2</sub> se duplicará en comparación con las condiciones preindustriales (desde aproximadamente 280 a 560 ppm<sup>[1]</sup>), el vapor de agua y las nubes causan, globalmente, un incremento de la energía térmica casi tres veces superior al de los gases de efecto invernadero de larga duración. (La figura se basa en Lacis y otros, 2013).

## Resumen

El último análisis de las observaciones realizadas en el marco del programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) muestra que los promedios mundiales de las fracciones molares\* del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) alcanzaron nuevos valores máximos en 2014 al registrar, respectivamente, 397,7±0,1 ppm, 1 833±1 ppb<sup>[2]</sup> y 327,1±0,1 ppb, lo que representa respectivamente el 143%, el 254% y el 121% de los niveles de la era preindustrial (1750). El aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de 2013 a 2014 fue similar al promedio

de los últimos 10 años. En cambio, el aumento tanto del CH<sub>4</sub> como del N<sub>2</sub>O de 2013 a 2014 fue superior al observado de 2012 a 2013 y a la tasa media de aumento de los últimos 10 años. El índice anual de gases de efecto invernadero de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de Estados Unidos de América muestra que entre 1990 y 2014 el forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración aumentó un 36%, al que el CO<sub>2</sub> contribuyó casi en un 80%.

## Sinopsis

En este undécimo Boletín sobre los gases de efecto invernadero que publica anualmente la OMM en el marco de la VAG se informa acerca de la concentración atmosférica y la tasa de variación

\* La fracción molar puede interpretarse como una medida de la concentración.

de los principales GEI de larga duración ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) y se resumen las contribuciones de otros gases. Estos tres gases, junto con el CFC-12 y el CFC-11, contribuyen a ~96%<sup>[3]</sup> del forzamiento radiativo causado por GEI de larga duración (figura 1).

A través del programa de la VAG (<http://www.wmo.int/gaw>) se coordinan las observaciones sistemáticas y el análisis de los GEI y de otros elementos de traza. En la figura 2 se muestran los emplazamientos desde donde se han vigilado los GEI en el último decenio. Los países participantes en el programa notifican los datos de las mediciones y el Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero (CMDGEI), en el Servicio Meteorológico de Japón, se encarga de archivarlos y distribuirlos.

En el cuadro 1 figura el promedio mundial de las concentraciones atmosféricas de los tres principales GEI de larga duración en 2014 y su evolución desde 2013 y desde 1750. Estas cifras se han obtenido mediante un análisis (OMM, 2009) de diversas series de datos conformes a los patrones de referencia mundial de la OMM. En este análisis global no se utilizan los datos procedentes de estaciones móviles, excepto los resultantes de las actividades de muestreo de la NOAA en el Pacífico (triángulos azules en la figura 2).

Los tres GEI que se muestran en el cuadro 1 están muy relacionados con las actividades antropógenas e interactúan intensamente

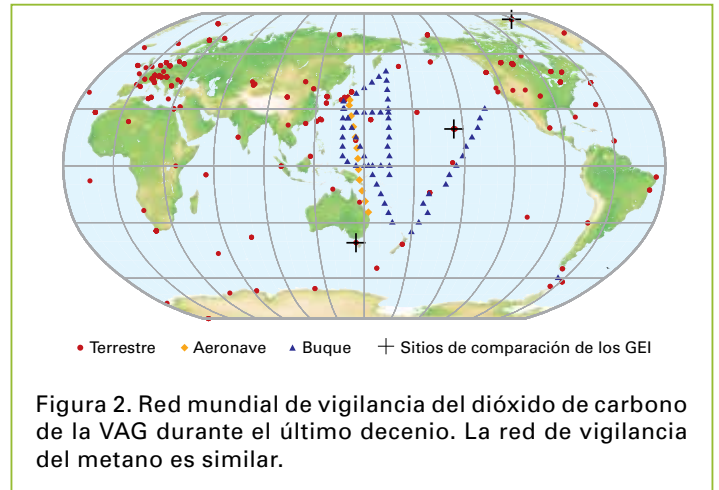


Figura 2. Red mundial de vigilancia del dióxido de carbono de la VAG durante el último decenio. La red de vigilancia del metano es similar.

con la biosfera y los océanos. Para poder predecir la evolución de la concentración atmosférica de los GEI es necesario tener un conocimiento cuantitativo de las numerosas fuentes, sumideros y transformaciones químicas de estos gases en la atmósfera. Las observaciones de la VAG facilitan una valiosa información acerca de los límites sobre los balances de estos y otros GEI de larga duración, y se utilizan además para verificar los inventarios de las emisiones y evaluar los datos recogidos por satélites sobre los promedios de las columnas de GEI de larga duración.

El índice anual de gases de efecto invernadero de la NOAA fue de 1,36 en 2014, lo que representó un aumento del 36% del forzamiento radiativo total causado por el conjunto de GEI de larga duración desde 1990 y de un 1,2% de 2013 a 2014 (figura 1). En 2014 ese forzamiento radiativo total correspondió a una fracción molar equivalente de  $\text{CO}_2$  de 481 ppm (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>).

## Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

El dióxido de carbono es el principal GEI antropógeno de la atmósfera al contribuir ~65%<sup>[3]</sup> del forzamiento radiativo ocasionado por el conjunto de GEI de larga duración. Es responsable de ~83% del aumento de ese forzamiento en los últimos 10 años y de ~82% en los 5 últimos. El nivel de ~278 ppm de la era preindustrial representaba un equilibrio de flujos entre la atmósfera, los océanos y la biosfera. En 2014 el  $\text{CO}_2$  atmosférico alcanzó el 143% del nivel preindustrial a causa, principalmente, de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación de cemento (las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  fueron de  $9,9 \pm 0,5$  PgC<sup>[5]</sup> en 2013, según <http://www.globalcarbonproject.org>), de la deforestación y de los demás cambios de uso del suelo ( $0,9 \pm 0,5$  PgC<sup>[5]</sup> en 2013). El aumento medio del  $\text{CO}_2$  atmosférico del último decenio corresponde ~44% del  $\text{CO}_2$  emitido por la actividad humana y el 56% restante es eliminado por los océanos y la biosfera terrestre. La porción de  $\text{CO}_2$  emitida por la quema de combustibles fósiles que permanece en la atmósfera (fracción atmosférica) varía de un año para otro debido a la elevada variabilidad natural de los sumideros de  $\text{CO}_2$  y no sigue una tendencia global confirmada. El promedio mundial de la fracción molar en 2014 fue de  $397,7 \pm 0,1$  ppm (figura 3). El aumento medio anual de 1,9 ppm que se produjo de 2013 a 2014 es menor que el aumento de 2012 a 2013 y que la tasa de aumento media del último decenio (~2,06 ppm año<sup>-1</sup>), pero mayor que la tasa de aumento media de la década de los noventa (~1,5 ppm año<sup>-1</sup>). Es muy probable que esta menor tasa de aumento en 2014 se deba a la mayor absorción anual de  $\text{CO}_2$  por la biosfera terrestre en las regiones tropicales y subtropicales.

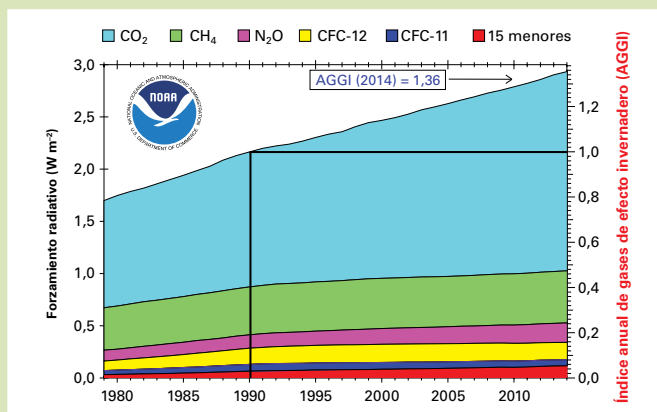


Figura 1. Forzamiento radiativo de la atmósfera debido a los GEI de larga duración, respecto de 1750, y actualización de 2014 del índice anual de gases de efecto invernadero de la NOAA.

Cuadro 1. Concentraciones mundiales promedio (2014) y tendencias de los principales GEI medidos por la red mundial de vigilancia de los GEI de la VAG de la OMM. Las unidades son fracciones molares de aire seco, y las incertidumbres tienen un límite de confianza del 68%.

|  | $\text{CO}_2$              | $\text{CH}_4$             | $\text{N}_2\text{O}$       |
|--|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Concentración mundial en 2014 <sup>[4]</sup>                   | $397,7 \pm 0,1$ ppm        | $1833 \pm 1$ ppb          | $327,1 \pm 0,1$ ppb        |
| Concentración en 2014 respecto del año 1750 <sup>a</sup>       | 143%                       | 254%                      | 121%                       |
| Aumento absoluto de 2013 a 2014                                | 1,9 ppm                    | 9 ppb                     | 1,1 ppb                    |
| Aumento relativo de 2013 a 2014                                | 0,48%                      | 0,49%                     | 0,34%                      |
| Promedio de aumento absoluto anual durante los últimos 10 años | 2,06 ppm año <sup>-1</sup> | 4,7 ppb año <sup>-1</sup> | 0,87 ppb año <sup>-1</sup> |

<sup>a</sup> En el supuesto de que la fracción molar preindustrial fuera de 278 ppm para el  $\text{CO}_2$ , de 722 ppb para el  $\text{CH}_4$  y de 270 ppb para el  $\text{N}_2\text{O}$ . Para los análisis se usaron los números de estaciones siguientes: 122 para el  $\text{CO}_2$ , 123 para el  $\text{CH}_4$  y 33 para el  $\text{N}_2\text{O}$ .

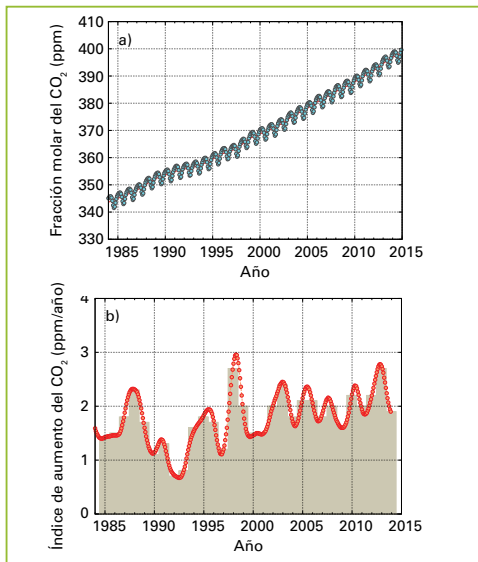


Figura 3. Promedio mundial de la fracción molar del  $\text{CO}_2$  a) y su índice de aumento b) de 1984 a 2014. El índice de crecimiento medio anual se muestra mediante columnas en b) .

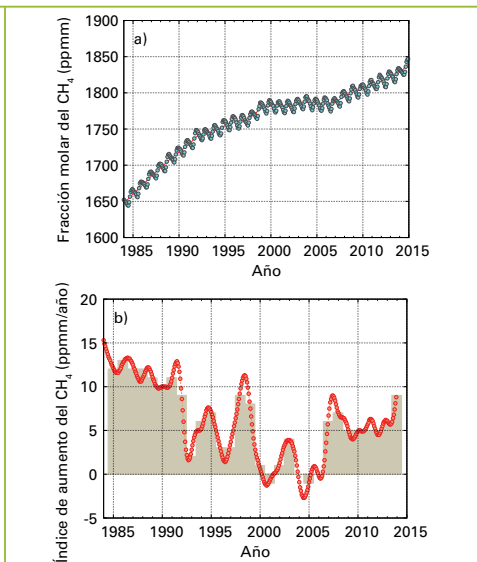


Figura 4. Promedio mundial de la fracción molar del  $\text{CH}_4$  a) y su índice de aumento b) de 1984 a 2014. El índice de crecimiento medio anual se muestra mediante columnas en b) .

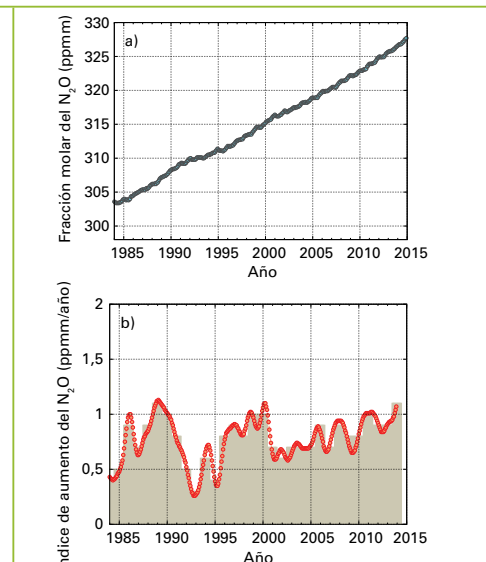


Figura 5. Promedio mundial de la fracción molar del  $\text{N}_2\text{O}$  a) y su índice de aumento b) de 1984 a 2014. El índice de crecimiento medio anual se muestra mediante columnas en b) .

## Metano ( $\text{CH}_4$ )

El metano contribuye  $\sim 17\%$ <sup>[3]</sup> del forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración. Aproximadamente un 40% del  $\text{CH}_4$  que se emite a la atmósfera procede de fuentes naturales (p. ej. humedales y termitas), mientras que cerca del 60% procede de fuentes antropógenas (p. ej. ganadería de rumiantes, cultivo de arroz, explotación de combustibles fósiles, vertederos y combustión de biomasa). Como resultado del aumento de las emisiones antropógenas, el  $\text{CH}_4$  atmosférico llegó al 254% de su nivel en la era preindustrial ( $\sim 722$  ppb). El promedio mundial de  $\text{CH}_4$  registró un nuevo máximo de  $1833 \pm 1$  ppb en 2014, lo que significa un aumento de 9 ppb con respecto al año anterior (figura 4). La tasa de aumento del  $\text{CH}_4$  se redujo de  $\sim 13$  ppb  $\text{año}^{-1}$  a principios de los años ochenta a casi cero durante el período de 1999 a 2006. Desde 2007, el  $\text{CH}_4$  atmosférico ha ido aumentando nuevamente debido al incremento de las emisiones en latitudes tropicales y latitudes medias del hemisferio norte. Los estudios que emplean las mediciones de  $\text{CH}_4$  de la VAG indican como causas probables de ello el aumento de las emisiones de  $\text{CH}_4$  procedentes de los humedales de los trópicos y de fuentes antropógenas en las latitudes medias del hemisferio norte.

## Óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ )

El óxido nítrico contribuye  $\sim 6\%$ <sup>[3]</sup> del forzamiento radiativo ocasionado por los GEI de larga duración, siendo el tercer gas que más contribuye a ese forzamiento. Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  a la atmósfera proceden de fuentes naturales (alrededor del 60%) y antropógenas (alrededor del 40%), las cuales abarcan los océanos, los suelos, la combustión de biomasa, el uso de fertilizantes y varios procesos industriales. El promedio mundial de la fracción molar del  $\text{N}_2\text{O}$  en 2014 alcanzó  $327,1 \pm 0,1$  ppb, lo que representa un aumento de 1,1 ppb con respecto al año anterior (figura 5) y el 121% del nivel preindustrial (270 ppb). El aumento anual de 2013 a 2014 es mayor que la tasa de aumento media de los últimos 10 años ( $0,87$  ppb  $\text{año}^{-1}$ ).

## Otros gases de efecto invernadero

El hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) es un potente GEI de larga duración. Lo produce la industria química y se usa principalmente como aislante en los equipos de distribución eléctrica. Su fracción molar actual es casi el doble de la cifra registrada a mediados de los años noventa (figura 6 a)). Los clorofluorocarbonos (CFC), que destruyen la capa de ozono, y los gases halogenados menores aportan  $\sim 12\%$ <sup>[3]</sup> del forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración. Si bien los CFC y la mayoría de los halones están disminuyendo, los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC), potentes GEI, están aumentando a un ritmo bastante rápido, aunque su concentración es todavía relativamente baja (en niveles de ppt<sup>[6]</sup>, figura 6 a) y b)).

Este Boletín trata sobre todo de los GEI de larga duración. El ozono troposférico, cuyo ciclo de vida es relativamente corto, produce un forzamiento radiativo comparable al de los halocarbonos. Otros muchos contaminantes, como el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, aunque no se denominan GEI, provocan ciertos efectos, directos o indirectos, en el forzamiento radiativo. Los aerosoles (partículas en suspensión) también son sustancias de corta duración que influyen en el balance de radiación. Todos los gases citados, así como los aerosoles, son objeto de seguimiento por parte del programa de la VAG, con el apoyo de los países Miembros de la OMM y de redes colaboradoras.

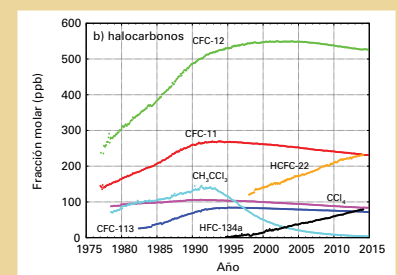
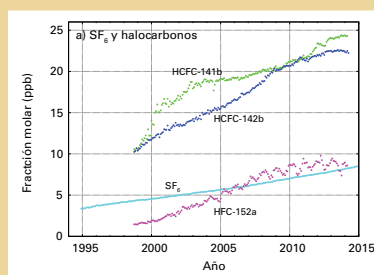


Figura 6. Fracción molar media mensual del  $\text{SF}_6$  y los halocarbonos más importantes:  $\text{SF}_6$  y fracciones más pequeñas a) y más elevadas b) de los halocarbonos. Los números de estaciones utilizadas para los análisis son los siguientes:  $\text{SF}_6$  (23), CFC-11 (24), CFC-12 (24), CFC-113 (23),  $\text{CCl}_4$  (21),  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  (23), HCFC-141b (9), HCFC-142b (13), HCFC-22 (13), HFC-134a (9), HFC-152a (8).

## Distribución de los boletines

La Secretaría de la OMM prepara y distribuye los boletines en cooperación con el Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero (CMDGEI), en el Servicio Meteorológico de Japón, y el Grupo consultivo científico de la VAG sobre gases de efecto invernadero, y con la asistencia del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la NOAA. Los boletines pueden consultarse en los sitios web de la VAG y del CMDGEI.

## Agradecimientos y enlaces

Cincuenta países Miembros de la OMM han aportado datos sobre el CO<sub>2</sub> al CMDGEI de la VAG. Alrededor del 46% de los registros de medición facilitados a ese Centro proceden de estaciones de la red cooperativa de muestreo del aire del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la NOAA. Para obtener información sobre otras redes y estaciones puede consultar el Informe N° 206 de la VAG relativo a la 16ª reunión de la OMM y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sobre el dióxido de carbono, otros gases de efecto invernadero y las técnicas de medición correspondientes (2011) (<http://www.wmo.int/gaw>). El Experimento mundial avanzado sobre gases en la atmósfera (AGAGE) también aporta los resultados de sus observaciones al presente Boletín. Asimismo, las estaciones de vigilancia de la VAG que han aportado datos a esta publicación (figura 2) figuran en la lista de contribuyentes del sitio web del CMDGEI (<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>) y se describen en el Sistema de información de las estaciones de la VAG (GAWSYS) (<http://gaw.empa.ch/gawsys>), que gestiona MeteoSwiss (Suiza).

## Referencias

- Lacis, A.A., J.E. Hansen, G.L. Russell, V. Oinas y J. Jonas, 2013: "The role of long-lived greenhouse gases as principal LW control knob that governs the global surface temperature for past and future climate change" en *Tellus B*, **65**, 19734, doi:10.3402/tellusb.v65i0.19734.
- Conway, T.J., P.P. Tans, L.S. Waterman, K.W. Thoning, D.R. Kitzis, K.A. Masarie y N. Zhang, 1994: Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network, *J. Geophys. Res.*, **99**:22831–22855.
- WMO, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami y T.J. Conway). Informe N° 184 de la VAG (WMO/TD No. 1473), Ginebra, 29 págs..

## Contactos

### Organización Meteorológica Mundial

División de Investigación sobre el Medioambiente Atmosférico,

Departamento de investigación, Ginebra  
Correo electrónico: AREP-MAIL@wmo.int  
Website: <http://www.wmo.int/gaw>

### Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero

Servicio Meteorológico de Japón, Tokio  
Correo electrónico: wdcgg@met.kishou.go.jp  
Sitio web: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg>

<sup>[1]</sup> ppm = número de moléculas de gas por millón (10<sup>6</sup>) de moléculas de aire seco.

<sup>[2]</sup> ppm = número de moléculas de gas por mil millones (10<sup>9</sup>) de moléculas de aire seco.

<sup>[3]</sup> Este porcentaje se calcula en términos de la contribución relativa del o de los gas(es) mencionado(s) al incremento del forzamiento radiativo mundial causado por el conjunto de GEI de larga duración desde 1750.

## Diversos observatorios de gases de efecto invernadero



La estación de Izaña (28.31°N, 16.50°W, 2 373 m s. n. m., <http://izana.aemet.es>) se encuentra en la cima de una montaña en Tenerife (islas Canarias, España), muy por encima de una fuerte capa de inversión térmica

subtropical. La administra el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de España. Las mediciones de GEI en la estación empezaron en 1984 para el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, y en 2007 para el N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>. En el informe de actividades de 2012-2014 del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (Informe N° 219 de la VAG, 2015) figura más información sobre el programa de mediciones de la estación.

La estación Anmyeondo (AMY) (36,54° N, 126,33° E, 46 m s. n. m.), operada por la Administración Meteorológica de Corea, se encuentra en la costa oeste de la península de Corea y está sometida a



masas de aire continentales en el invierno y la primavera y a masas de aire marítimas procedentes del Pacífico Norte en el verano. Desde 1999 las mediciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> se efectúan en la estación con un espectrómetro de cavidad de anillo desplegable, mientras que el N<sub>2</sub>O, los CFC y el SF<sub>6</sub> se miden con un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de captura de electrones. En el marco de su cooperación con la NOAA la estación AMY recopila datos sobre la composición isotópica del CO<sub>2</sub> a través de una red de muestreo con frascos.



La estación Puy de Dôme (PUY) en Francia (45,77° N, 2,97° E, 1 465 m s. n. m.) la gestiona el Centro Nacional de Investigación Científica de Francia y la Universidad Blaise Pascal ([www.opgc.fr/SO/mesures/index.php](http://www.opgc.fr/SO/mesures/index.php)).

A escala sinóptica el aire es representativo de la composición de la atmósfera en la región. Las fracciones molares del CO<sub>2</sub> atmosférico se han estado midiendo continuamente en PUY desde el año 2000. Desde el año 2000 se usó un analizador de gases no dispersivo en el infrarrojo que, en 2011, se reemplazó por un espectrómetro de cavidad de anillo desplegable que mide el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> (<https://icos-atc.lscce.ipsl.fr/PUY>). Desde 2010 hasta el presente también se han medido el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub> con un cromatógrafo de gases. La vigilancia de los GEI continuará en la cima de Puy de Dôme como parte del Sistema integrado de observación del carbono (ICOS), infraestructura europea de investigación; se han previsto auditorías de esas mediciones por la OMM y el ICOS para 2016.

<sup>[4]</sup> Los márgenes de incertidumbre indicados se calculan mediante el método *bootstrap* según Conway y otros (1994). Esta incertidumbre se calcula con un intervalo de confianza del 68% (un sigma).

<sup>[5]</sup> 1 PgC = 1 GtC = mil millones (10<sup>9</sup>) de toneladas o 10<sup>15</sup> g de carbono.

<sup>[6]</sup> ppb = número de moléculas de gas por billón (10<sup>12</sup>) de moléculas de aire seco.