

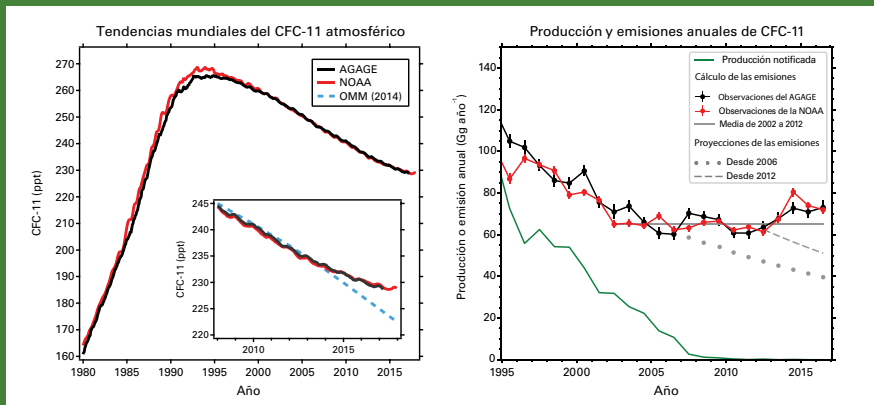


BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2017

Nº 14 | 22 de noviembre 2018

Aumento inesperado de las emisiones mundiales de CFC-11



entre 2002 y 2012 [1, 2]. En la gráfica izquierda de la figura se plasman estas tendencias mundiales según las redes de medición del Experimento Mundial Avanzado sobre Gases en la Atmósfera (AGAGE, en negro) y de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América (NOAA, en rojo). En el recuadro que figura en el interior de esta gráfica se muestra también la tendencia prevista por la OMM en 2014 (línea discontinua azul) en el supuesto de que se cumpliera el Protocolo de Montreal [3].

Las mediciones de la abundancia atmosférica de CFC-11 (triclorofluorometano o CCl_3F), un potente gas de efecto invernadero (GEI) y sustancia que agota la capa de ozono estratosférico regulado en el marco del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, muestran que desde 2012 la tasa de disminución de CFC-11 se ha lentificado aproximadamente a dos terceras partes con respecto al decenio anterior [1, 2]. La causa más probable de este ritmo de disminución más lento es la mayor cantidad de emisiones vinculadas a la producción de CFC-11 en Asia oriental. Este descubrimiento ilustra la importancia de las mediciones a largo plazo de la composición atmosférica, como las realizadas bajo los auspicios del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ya que brindan un apoyo eficaz y límites adicionales a la legislación para el control de las emisiones.

El Protocolo de Montreal se concibió con el objetivo de proteger la capa de ozono estratosférico restringiendo la producción de sustancias que agotan esta capa, como los clorofluorocarbonos (CFC). Fruto de este acuerdo, en 2010 se redujo a cero la producción de CFC-11 notificada en virtud del Protocolo de Montreal. Con la eliminación gradual del CFC-11, su abundancia atmosférica alcanzó un máximo a principios del decenio de 1990 para posteriormente descender de forma en general congruente con una menor producción, combinada con el escape gradual de emisiones residuales de CFC-11 de "bancos" de almacenamiento en productos y equipos existentes.

De las mediciones atmosféricas de CFC-11 realizadas por redes mundiales independientes se desprende que la tasa de disminución del CFC-11 atmosférico se ha lentificado desde 2012 a unas dos terceras partes de la tasa observada

Los resultados de los modelos conducen a la firme conclusión de que estos cambios están más relacionados con el aumento de las emisiones de CFC-11 que con otras posibles causas como las variaciones en el transporte atmosférico. Esta conclusión se ve avalada por el reciente aumento de la diferencia entre los niveles de concentración atmosférica del hemisferio norte y sur. Correlaciones entre la elevada abundancia de CFC-11 y de otros gases medidos apuntan además a que este aumento tiene su origen en las emisiones de Asia oriental [1].

En la gráfica que aparece a la derecha de la figura se muestran las tendencias de las emisiones de CFC-11 obtenidas mediante cálculos de modelos, tomadas de la evaluación del ozono 2018 de la OMM [2], que se basa en los datos de cada una de las redes mundiales de medición: AGAGE (negro) y NOAA (rojo). Las tendencias se comparan con la producción de CFC-11 notificada en el marco del Protocolo de Montreal (verde). Estos resultados indican una estabilización de las emisiones de CFC-11 en torno a 2005, seguida de un aumento de aproximadamente el 15 % después de 2012. La línea de puntos y la línea discontinua (gris) representan las proyecciones sobre el escenario de emisiones para los años 2006 y 2012, respectivamente, basadas en los datos atmosféricos, la producción notificada y las emisiones procedentes de bancos.

Esta labor demuestra la importancia que revisten las mediciones a largo plazo de la composición atmosférica, como las realizadas bajo los auspicios del Programa de la VAG, ya que aportan información basada en observaciones que se utiliza para mejorar los inventarios de emisiones nacionales, especialmente en el contexto de los acuerdos para hacer frente al cambio climático antropógeno, así como para la recuperación de la capa de ozono estratosférico.

Resumen ejecutivo

El último análisis de las observaciones realizadas en el marco del Programa de la VAG de la OMM muestra que los promedios mundiales de las fracciones molares en superficie¹⁾ calculados a partir de esta red *in situ* para el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nítrico (N₂O), alcanzaron nuevos máximos en 2017 al registrar 405,5 ± 0,1 ppm²⁾ para el CO₂, 1859 ± 2 ppb³⁾ para el CH₄ y 329,9 ± 0,1 ppb para el N₂O, lo que representa, respectivamente, el 146 %, el 257 % y el 122 % de los niveles preindustriales (antes de 1750). El aumento de CO₂ de 2016 a 2017 fue inferior al observado de 2015 a 2016 y prácticamente igual a la tasa de aumento medio del último decenio. La influencia del episodio de El Niño, que registró su intensidad máxima en 2015 y 2016 y contribuyó a la aceleración de la tasa de aumento durante ese período, disminuyó drásticamente en 2017. El aumento de CH₄ de 2016 a 2017 fue menor al observado de 2015 a 2016, pero casi igual a la media del último decenio. El incremento de N₂O de 2016 a 2017 fue mayor que el observado de 2015 a 2016 y prácticamente igual a la tasa de aumento medio de los 10 últimos años. El índice anual de gases de efecto invernadero (AGGI) de la NOAA [4] muestra que entre 1990 y 2017 el forzamiento radiativo debido a los GEI de larga duración aumentó en un 41 %, al que el CO₂ contribuyó en casi un 82 %.

Sinopsis de las observaciones de la red *in situ* de la VAG para 2017

En este decimocuarto Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero se informa acerca de la abundancia atmosférica y los índices de evolución de los principales gases de efecto invernadero de larga duración (CO₂, CH₄ y N₂O) y se resumen las contribuciones de otros gases. Estos tres gases de efecto invernadero de larga duración, junto con el CFC-12 y el CFC-11, contribuyen aproximadamente el 96 %⁴⁾ al forzamiento radiativo debido a los 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 otras sustancias traza. En la figura 2 se muestran los emplazamientos desde donde se han realizado mediciones de 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), sito en el Servicio Meteorológico del Japón, se encarga de archivarlos y distribuirlos.

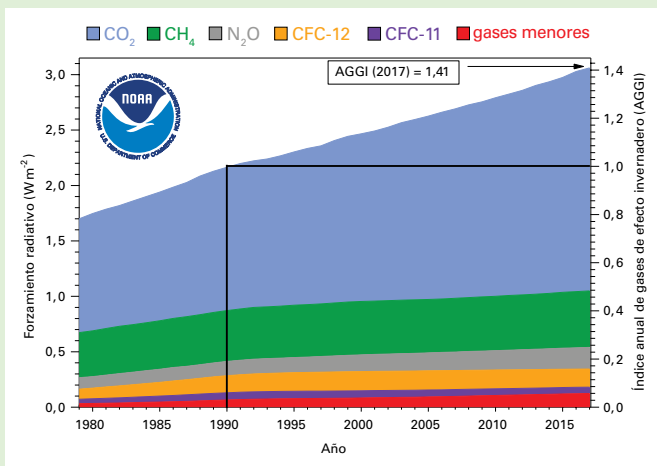


Figura 1. Forzamiento radiativo de la atmósfera debido a los GEI de larga duración, respecto de 1750, y actualización de 2017 del índice anual de gases de efecto invernadero de la NOAA [4]

Cuadro 1. Promedio mundial anual de las abundancias en superficie (2017) y tendencias de los principales GEI medidos por la red de observación global de los GEI de la VAG de la OMM. Las unidades son fracciones molares en aire seco y las incertidumbres tienen un límite de confianza del 68 % [5]; el método para determinar el promedio se describe en [7]. El número de estaciones utilizadas para los análisis es 129 para el CO₂, 126 para el CH₄ y 96 para el N₂O.

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Abundancia mundial en 2017 | 405,5±0,1 ppm | 1 859±2 ppb | 329,9±0,1 ppb |
| Abundancia mundial en 2017 con relación a 1750* | 146 % | 257 % | 122 % |
| Aumento en valor absoluto entre 2016 y 2017 | 2,2 ppm | 7 ppb | 0,9 ppb |
| Aumento registrado en valor relativo entre 2016 y 2017 | 0,55 % | 0,38 % | 0,27 % |
| Aumento anual medio en valor absoluto en los últimos 10 años | 2,24 ppm año ⁻¹ | 6,9 ppb año ⁻¹ | 0,93 ppb año ⁻¹ |

* Suponiendo unas fracciones molares preindustriales de 278 ppm para el CO₂, 722 ppb para el CH₄ y 270 ppb para el N₂O.

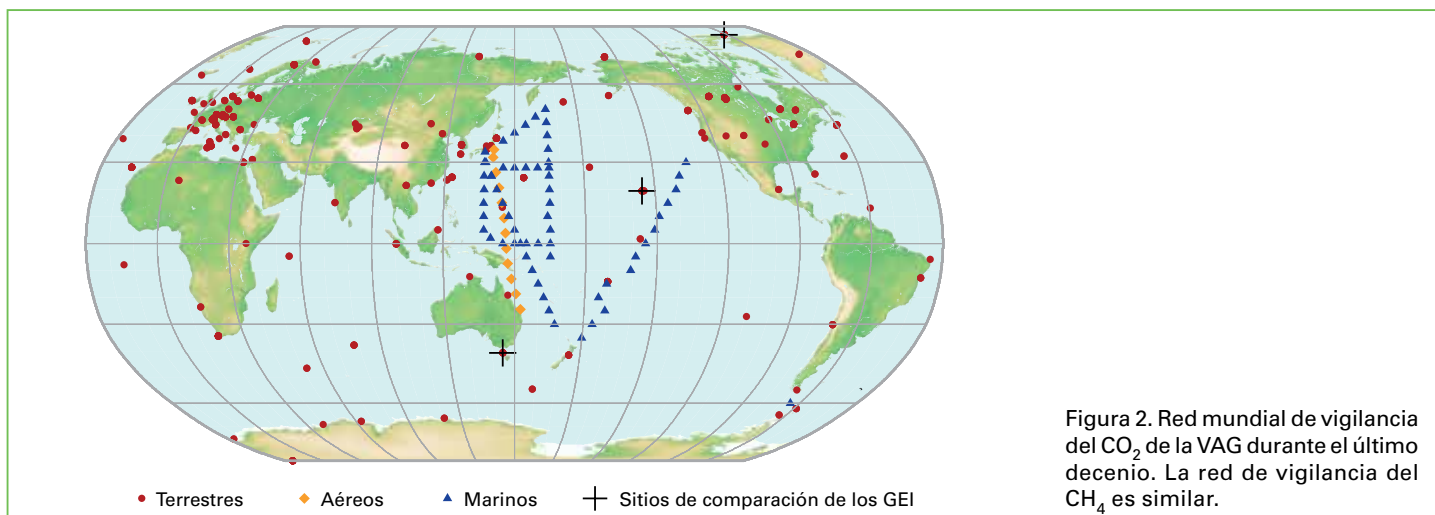
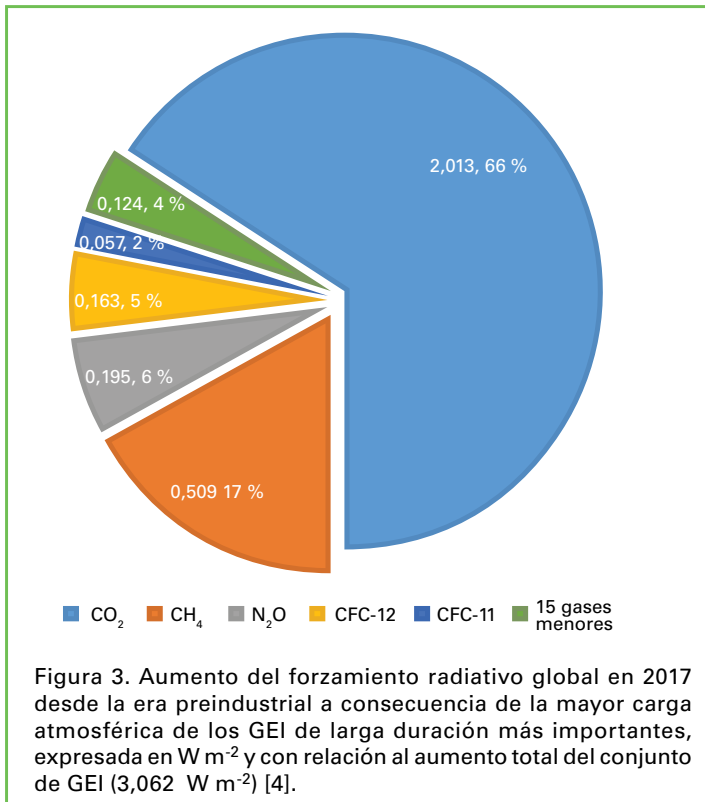


Figura 2. Red mundial de vigilancia del CO₂ de la VAG durante el último decenio. La red de vigilancia del CH₄ es similar.



Los resultados aportados por el CMDGEI para el promedio mundial y la tasa de aumento difieren ligeramente de los resultados obtenidos por la NOAA para los mismos años [6] debido a las diferencias en las estaciones utilizadas, en el procedimiento para determinar el promedio y en el período de tiempo, ligeramente distinto, para el que las cifras son representativas. El CMDGEI sigue el procedimiento descrito en detalle en [7].

En el cuadro 1 figura el promedio mundial de las concentraciones atmosféricas de los tres principales GEI de larga duración en 2017 y su evolución desde 2016 y desde 1750. En este análisis global no se utilizan los datos procedentes de estaciones móviles (triángulos azules y rombos naranjas en la figura 2), excepto los resultantes de las actividades de muestreo de la NOAA en el Pacífico oriental.

Los tres GEI que figuran en el cuadro 1 están íntimamente relacionados con las actividades antropógenas e interactúan intensamente con la biosfera y los océanos. Para poder predecir la evolución del contenido atmosférico 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 aportan una información muy valiosa sobre los límites de los balances de estos y otros GEI de larga duración, y se utilizan como soporte para preparar los inventarios de las emisiones y evaluar los datos recogidos por satélite sobre los promedios de las columnas de GEI de larga duración. El Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero, promovido por la OMM, aporta más detalles sobre las fuentes de los GEI a escala nacional y subnacional. En el interior del presente Boletín figuran algunos ejemplos del tipo de información que suministran los proyectos llevados a cabo en el marco de este Sistema.

El índice anual de GEI de la NOAA [4] fue de 1,41 en 2017, lo que representa un aumento del 41 % del forzamiento radiativo

total⁴⁾ causado por el conjunto de GEI de larga duración desde 1990 y un aumento del 1,6 % de 2016 a 2017 (figura 1). En 2017 el forzamiento radiativo total causado por el conjunto de esos gases (3,062 W m⁻²) correspondió a una fracción molar equivalente de CO₂ de 493 ppm [4]. En la figura 3 se muestran las contribuciones relativas de los demás gases en el forzamiento radiativo total desde la era preindustrial.

Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es el principal GEI antropógeno de la atmósfera, que contribuye en aproximadamente un 66 %⁴⁾ al forzamiento radiativo ocasionado por el conjunto de GEI de larga duración. Es responsable de alrededor del 82 %⁴⁾ del aumento de ese forzamiento en los últimos 10 años y de esa misma cifra en los últimos 5. El nivel de 278 ppm de la era preindustrial representaba un equilibrio de flujos entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre. En 2017 el CO₂ atmosférico alcanzó el 146 % del nivel preindustrial a causa principalmente de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento (en 2016 el total de emisiones de CO₂ fue de 9,9 ± 0,5 PgC⁵⁾ [8]), de la deforestación y de los demás cambios del uso de la tierra (la media fue de 1,3 ± 0,7 PgC para el período 2007–2016). Del total de las emisiones procedentes de actividades humanas durante el período 2007-2016, cerca del 44 % se acumularon en la atmósfera, el 22 % en los océanos y el 28 %, en la tierra; el desequilibrio resultante no atribuido en el balance es del 5 % [8]. La porción de CO₂ 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 CO₂ y no sigue una tendencia global confirmada.

El promedio mundial de la fracción molar del CO₂ correspondiente a 2017 fue de 405,5 ± 0,1 ppm (figura 4). El aumento de la media anual de 2016 a 2017 (2,2 ppm) es inferior al registrado de 2015 a 2016 (3,2 ppm) y prácticamente igual a la tasa de aumento medio correspondiente al último decenio (2,24 ppm año⁻¹). La aceleración de esa tasa de aumento en 2016 y en 2015, respecto de los años anteriores a 2016, y el aumento de 2016 a 2017 se deben, en parte, al incremento de las emisiones naturales de CO₂ relacionado con el episodio más reciente de El Niño, como se explicó en la decimosegunda edición de este Boletín.

Metano

El metano contribuye en aproximadamente un 17 %⁴⁾ al forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración. Cerca del 40 % del CH₄ que se emite a la atmósfera procede de fuentes naturales (por ejemplo, humedales y termitas), mientras que cerca del 60 % proviene de fuentes antropógenas (por ejemplo, ganadería de rumiantes, cultivo de arroz, explotación de combustibles fósiles, vertederos y combustión de biomasa). Como resultado del aumento de las emisiones antropógenas, el CH₄ atmosférico llegó al 257 % de su nivel preindustrial (aproximadamente 722 ppb). El promedio mundial de CH₄, calculado a partir de observaciones *in situ*, alcanzó en 2017 un nuevo máximo de 1859 ± 2 ppb, lo que representa un aumento de 7 ppb con respecto al año anterior (figura 5). Este aumento es inferior al observado de 2015 a 2016 pero prácticamente igual al aumento medio anual durante el decenio anterior. El aumento medio anual de CH₄ se redujo de aproximadamente 12 ppb año⁻¹ a finales de los años ochenta a casi cero entre 1999 y 2006. Desde 2007 el CH₄ atmosférico ha ido aumentando

OBSERVACIONES Y ANÁLISIS DE LA ATMÓSFERA EN APOYO DE LA MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI – EJEMPLOS DE PROYECTOS DEL SISTEMA MUNDIAL INTEGRADO DE INFORMACIÓN SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL PROGRAMA DE LA VAG

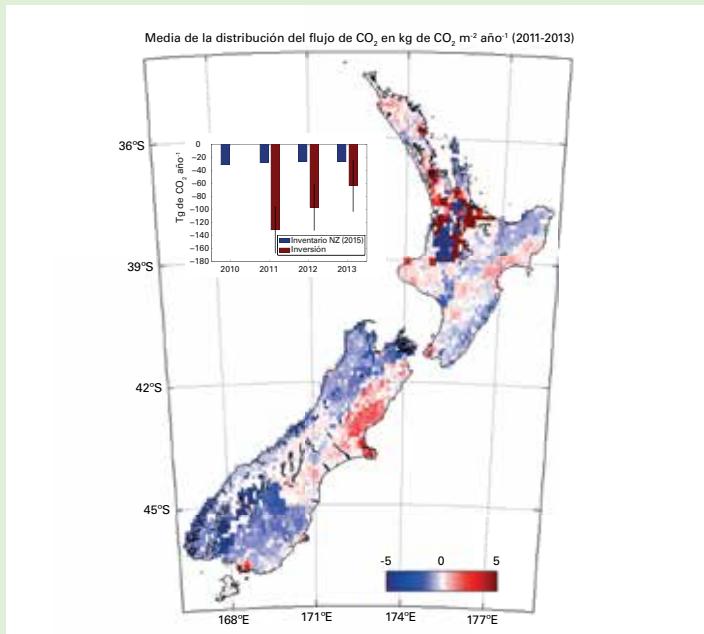


Figura 8. Promedio de la distribución geográfica del flujo de CO₂ entre la tierra y el aire en el período 2011-2013 [10]. Las regiones azules y rojas indican, respectivamente, la absorción y liberación neta de carbono. Los flujos oceánicos por zona son demasiado pequeños para reflejarse a esta escala. Las emisiones procedentes de combustibles fósiles están incluidas y alcanzan los 20 kg de CO₂ m⁻² año⁻¹ en algunas de las cuadrículas (zona de Auckland). Se ha reducido la escala de colores para limitarla a los flujos naturales. Gráfica interior: resultados de la media anual obtenidos a partir de modelos inversos [12] comparados con el Informe de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

1. Mediciones atmosféricas revelan un fuerte sumidero de carbono en Nueva Zelanda

Sara Mikaloff-Fletcher (Instituto Nacional de Investigaciones Hidrológicas y Atmosféricas, Nueva Zelanda) y Jocelyn Turnbull (GNS Science, Nueva Zelanda)

La absorción neta de CO₂ resultante del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura contrarresta en la actualidad alrededor de un 30 % de las emisiones de GEI de Nueva Zelanda [10]. Estos sumideros de carbono terrestres desempeñan una función central para cumplir los objetivos pasados de emisión de GEI de Nueva Zelanda en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y se prevé que sean un componente fundamental de la estrategia del país para la mitigación de GEI en el futuro. En el Informe de Inventario Nacional de Nueva Zelanda se calcula la absorción de carbono forestal midiendo el diámetro y la altura de los árboles en una red nacional de emplazamientos de estudio y realizando ecuaciones alométricas que permiten inferir la masa de carbono a partir de estas mediciones. Este enfoque, exigido por las directrices actuales del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) [11], presenta un grado de incertidumbre considerable.

Según observaciones y simulaciones de modelos inversos del CO₂ atmosférico [12], ilustradas en la figura 8, el sumidero

forestal de carbono de Nueva Zelanda podría superar con creces las estimaciones del Informe de Inventario Nacional de Nueva Zelanda [10] y los modelos basados en los procesos terrestres [12]. Asimismo, según se desprende de las observaciones atmosféricas, existe una variabilidad interanual significativa no detectable por la metodología del Informe de Inventario Nacional. Este estudio combinó observaciones *in situ* del CO₂ atmosférico en una red de emplazamientos con un modelo atmosférico de alta resolución. El patrón espacial del sumidero indica que gran parte de la absorción del carbono que falta se produce en Fiordland, una región con altas precipitaciones dominada por bosques nativos. El grupo de investigación de Nueva Zelanda está poniendo en marcha un nuevo programa de investigación para seguir evaluando los procesos que activan este sumidero. Mediante la estrecha participación de los usuarios en las comunidades de contabilización del carbono, gestión de la tierra y política, este programa financiado a nivel nacional ayudará a la misión del Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero a tender un puente entre la ciencia y la política para la vigilancia y la estimación de las emisiones de GEI.

2. Utilización de observaciones atmosféricas de gases de efecto invernadero para verificar el inventario nacional del Reino Unido

Alistair Manning (Oficina Meteorológica del Reino Unido)

Con el objetivo de facilitar las estimaciones de las emisiones que se ajustan al Protocolo del IPCC (“enfoque ascendente”) [11] y se notifican anualmente a la CMNUCC, el Reino Unido utiliza un método completamente independiente (“enfoque descendente”) [13] para informar sobre sus estimaciones de las emisiones de GEI. El método se basa en una combinación de observaciones y modelos atmosféricos y los resultados también se incluyen anualmente en el Informe de Inventario Nacional del Reino Unido a la CMNUCC. El Departamento de Comercio, Energía y Estrategia Industrial del Gobierno del Reino Unido utiliza las diferencias significativas existentes

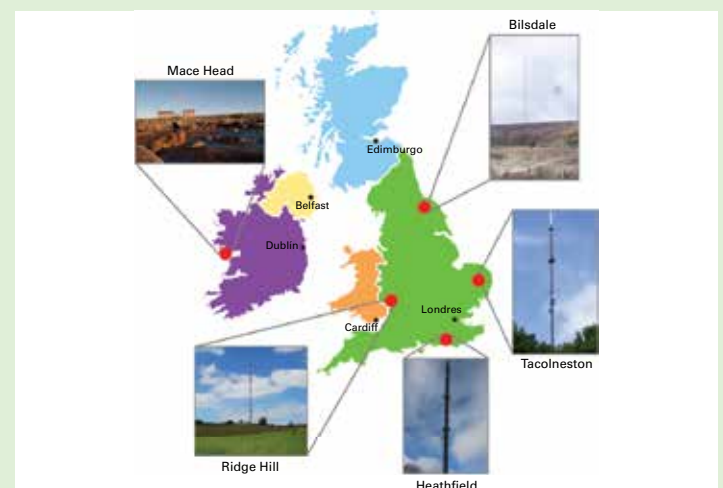


Figura 9. Red de emplazamientos de observación de la Red de Estudio de las Emisiones Vinculadas al Cambio Climático, financiada por el Reino Unido.

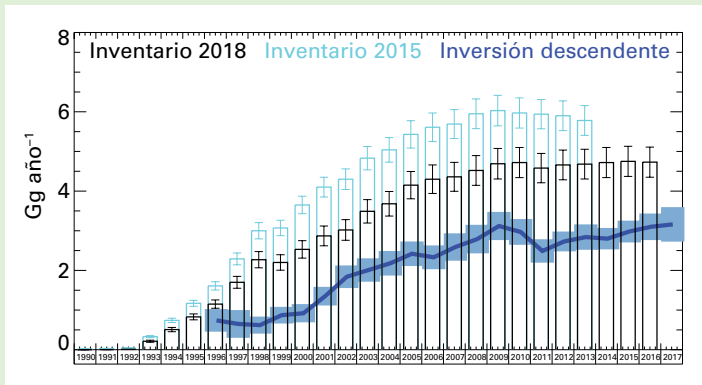


Figura 10. Estimaciones de las emisiones de HFC-134a del Reino Unido. Estimaciones del inventario correspondientes a dos años de notificación comparadas con las estimaciones obtenidas mediante enfoques descendentes (InTEM).

entre las estimaciones de las emisiones obtenidas mediante los dos enfoques para determinar los ámbitos que requieren seguir investigando.

En 2012 este Departamento hizo una inversión en una red de emplazamientos de observación (figura 9) denominada Red de Estudio de las Emisiones Vinculadas al Cambio Climático del Reino Unido [14]. Se trata principalmente de antenas de telecomunicaciones con torres elevadas dotadas de equipo de observación de última generación que mide el CO₂, el CH₄, el N₂O, los HFC, los perfluorocarbonos, el SF₆ y el trifluoruro de nitrógeno (NF₃) con elevada precisión y calidad.

En la figura 10 se muestra un ejemplo reciente de la utilización del enfoque descendente para verificar la estimación ascendente. Las barras azul claro muestran la estimación ascendente de HFC-134a del país calculada en 2015, con una incertidumbre estimada del 8 %. La estimación descendente fue sistemáticamente un 50 % de este valor a lo largo de la serie cronológica desde 1994, cuando se empezaron las observaciones, hasta 2013, el último año de ese inventario. Debido a este resultado y a la labor realizada posteriormente [15], el Departamento de Comercio, Energía y Estrategia Industrial del Gobierno del Reino Unido siguió investigando y un experto de la industria revisó parte de las estimaciones del inventario de HFC-134a del Reino Unido.

Las barras negras de la figura 10 muestran el resultado de la estimación ascendente revisada: se ha reducido considerablemente la distancia con respecto a las estimaciones

descendentes. Se cree que la discrepancia que persiste se debe a la hipótesis que se sigue utilizando para la tasa de recarga.

3. Emisiones de metano procedentes del petróleo y el gas en Alberta (Canadá): acopio de datos atmosféricos para la formulación de políticas

Daniel Zavala-Araiza (Fondo de Defensa del Medio Ambiente, Estados Unidos de América)

El sector del petróleo y del gas en el Canadá es responsable de aproximadamente la mitad de las emisiones totales de CH₄ en el inventario nacional [16]. Recientemente el Gobierno federal ha anunciado reglamentos que tienen por finalidad reducir entre el 40 % y el 45 % de las emisiones de CH₄ procedentes del sector del petróleo y del gas por debajo de los niveles de 2012 hasta el año 2025 [17].

Para poder cumplir de forma realista los objetivos y las políticas de reducción de las emisiones, es condición *sine qua non* conocer las cantidades de referencia de las emisiones actuales y las características de las principales fuentes emisoras. Por consiguiente, en otoño de 2016 tuvo lugar en Alberta una campaña a escalas múltiples dirigida a las regiones productoras de petróleo y gas [18-20] y los datos se utilizaron para estimar las emisiones (enfoque del balance de masa). Posteriormente se compararon estas estimaciones descendentes con inventarios espacialmente explícitos y específicos para cada región, y con las emisiones notificadas por la industria. Además, mediante mediciones móviles terrestres (caracterización en el sentido del viento, en todo el emplazamiento, utilizando la liberación dual de trazadores y el modelo de dispersión gaussiano) fue posible caracterizar la distribución de las emisiones y las principales fuentes de emisiones (véase la figura 11 a)).

En la región de Lloydminster (Alberta), la principal fuente de emisiones está relacionada con el venteo directo de metano a la atmósfera procedente de las tuberías de producción. Los resultados basados en observaciones atmosféricas sugieren que las emisiones superan entre tres y cinco veces los inventarios. Esta gran discrepancia es especialmente importante en el contexto de los reglamentos propuestos y las políticas de reducción de emisiones en el Canadá. Si estos resultados se extrapolan en términos conservadores al conjunto de emplazamientos similares en Alberta, es posible que las emisiones reales de metano procedentes de la producción de petróleo y gas en la provincia sean entre un 25 % y un 50 % más elevadas (véase la figura 11 b)).

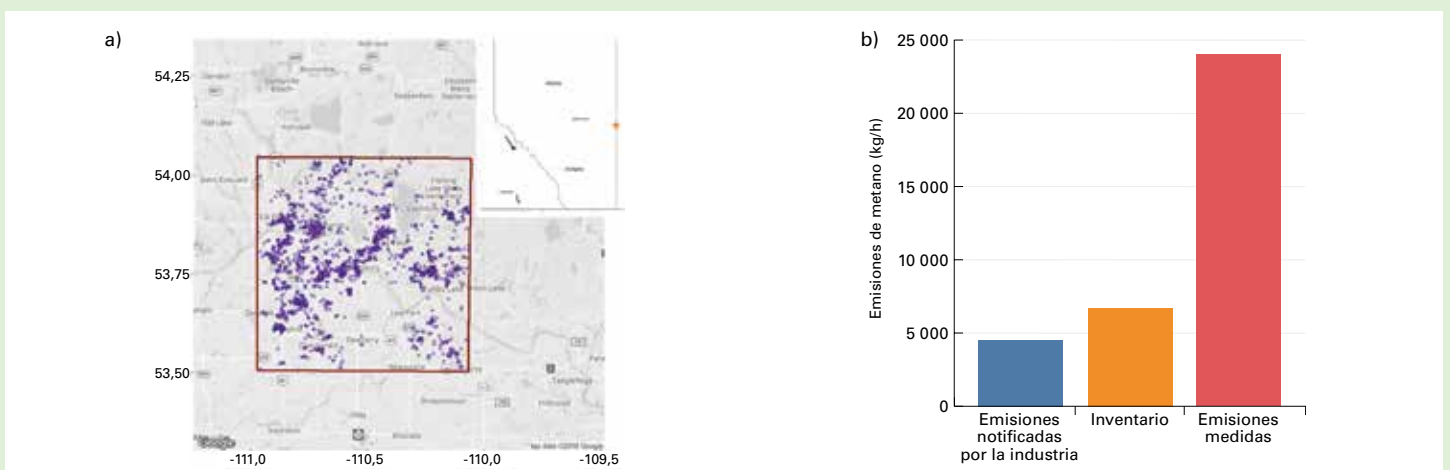


Figura 11. a) Región de muestreo cerca de Lloydminster (Alberta). El recuadro rojo ilustra la zona donde se encuentran las fuentes en las que la aeronave realizó mediciones. Los puntos violetas en el interior del recuadro representan pozos petrolíferos activos. b) Comparación entre las emisiones de CH₄ medidas y las estimaciones "ascendentes" basadas en los informes de inventario y de la industria.

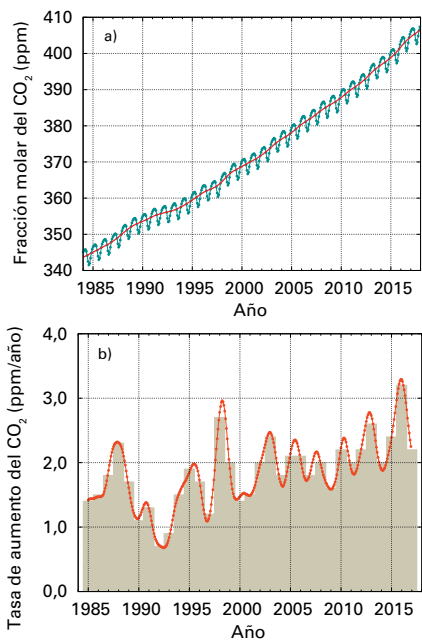


Figura 4. Promedio mundial de la fracción molar del CO_2 a) y su tasa de aumento b) de 1984 a 2017. Los incrementos de las medias anuales sucesivas se muestran mediante columnas sombreadas en b). La línea roja en a) es la media mensual de la fracción molar a la que se le han quitado las variaciones estacionales; la línea y los puntos azules muestran las medias mensuales. Para este análisis se han utilizado observaciones de 129 estaciones.

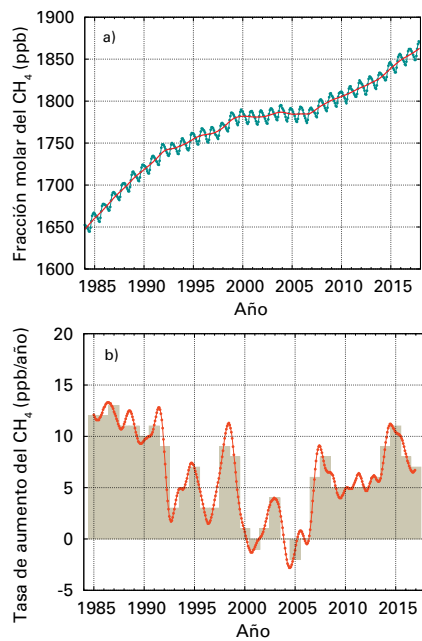


Figura 5. Promedio mundial de la fracción molar del CH_4 a) y su tasa de aumento b) de 1984 a 2017. Los incrementos de las medias anuales sucesivas se muestran mediante columnas sombreadas en b). La línea roja en a) es la media mensual de la fracción molar a la que se le han quitado las variaciones estacionales; la línea y los puntos azules muestran las medias mensuales. Para este análisis se han utilizado observaciones de 126 estaciones.

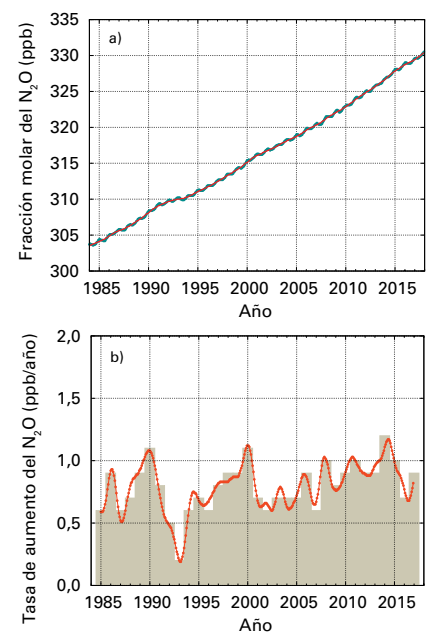


Figura 6. Promedio mundial de la fracción molar del N_2O a) y su tasa de aumento b) de 1984 a 2017. Los incrementos de las medias anuales sucesivas se muestran mediante columnas sombreadas en b). La línea roja en a) es la media mensual de la fracción molar a la que se le han quitado las variaciones estacionales; en esta gráfica se solapa con la línea y los puntos azules, que muestran las medias mensuales. Para este análisis se han utilizado observaciones de 96 estaciones.

nuevamente. Los estudios que utilizan las mediciones de CH_4 de la VAG indican como causa probable de ello el aumento de las emisiones de CH_4 procedentes de los humedales en los trópicos y de fuentes antropógenas en las latitudes medias del hemisferio norte.

Óxido nítrico

El óxido nítrico contribuye en aproximadamente un 6 %⁴⁾ al forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración,

y es el tercer gas que más contribuye a ese forzamiento. Las emisiones de N_2O a la atmósfera provienen de fuentes naturales (cerca del 60 %) y de fuentes antropógenas (aproximadamente el 40 %), por ejemplo, los océanos, los suelos, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes y diversos procesos industriales. En 2017 el promedio mundial de la fracción molar de N_2O alcanzó $329,9 \pm 0,1$ ppb, es decir, 0,9 ppb por encima del año anterior (figura 6) y un 122 % del nivel de la era preindustrial (270 ppb). El aumento anual de 2016 a 2017 es mayor al registrado de 2015 a 2016 y prácticamente igual a la

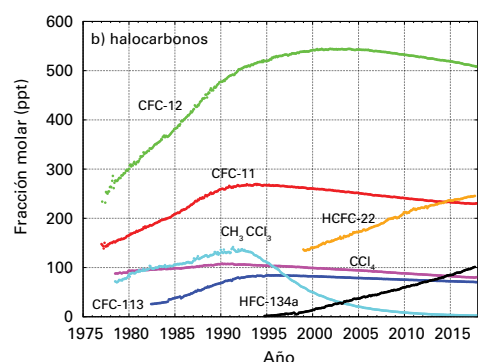
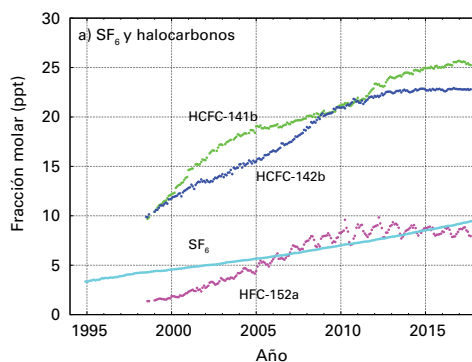


Figura 7. Promedio mensual de las fracciones molares del SF_6 y de los halocarbonos más importantes: a) SF_6 y fracciones molares más pequeñas a) y más grandes b) de halocarbonos. Número de estaciones utilizadas para los análisis: SF_6 (85), CFC-11 (23), CFC-12 (25), CFC-113 (21), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (24), HCFC-141b (9), HCFC-142b (14), HCFC-22 (13), HFC-134a (10), HFC-152a (9).

tasa de aumento medio de los últimos 10 años (0,93 ppb año⁻¹). Las causas probables del aumento de N₂O en la atmósfera son un mayor uso de fertilizantes en la agricultura y una mayor liberación de N₂O de los suelos debido a un exceso de deposición de nitrógeno atmosférico como consecuencia de la contaminación del aire.

Otros gases de efectos invernadero

El hexafluoruro de azufre (SF₆) es un potente GEI de larga duración. Es producido por la industria química y se usa principalmente como aislante eléctrico en los equipos de distribución eléctrica. Su fracción molar actual es más del doble de su nivel a mediados de los años noventa (figura 7a)). Los CFC, que agotan la capa de ozono estratosférico, y los gases halogenados menores, contribuyen en aproximadamente un 11 %⁴⁾ al forzamiento radiativo causado por los GEI de larga duración. Si bien los CFC y la mayoría de los halones están disminuyendo, algunos hidroclorofluorocarbonos (HCFC) e hidrofluorocarbonos (HFC), que son también potentes GEI, están aumentando a un ritmo relativamente rápido, aunque su concentración es todavía baja (en niveles de ppt⁶⁾).

En este Boletín se abordan sobre todo los GEI de larga duración. El ozono troposférico, cuyo ciclo de vida es relativamente corto [9], produce un forzamiento radiativo comparable al de los halocarbonos. Otros muchos contaminantes, como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, que no se consideran GEI, tienen pequeños efectos directos o indirectos en el forzamiento radiativo. Los aerosoles (partículas en suspensión) son también sustancias de corta duración que modifican el balance de radiación. Todos los gases citados, así como los aerosoles, son vigilados en el marco del Programa de la VAG, con apoyo de los Miembros de la OMM y de las redes colaboradoras.

Agradecimientos y enlaces

Cincuenta y tres Miembros de la OMM han aportado datos sobre el CO₂ y otros GEI al CMDGEI de la VAG. Alrededor del 41 % de los registros de medición enviados a ese Centro procedían 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° 229 de la VAG. El Experimento mundial avanzado sobre gases en la atmósfera aportó también sus observaciones al presente Boletín. Asimismo, las estaciones de observación de la VAG que han aportado datos a esta publicación, mostradas en la figura 2, se enumeran en la lista de contribuyentes del sitio web del CMDGEI (<https://gaw.kishou.go.jp/>) y se describen en el Sistema de Información de las Estaciones de la VAG (<https://gawsis.meteoswiss.ch/>) que gestiona MeteoSwiss.

Referencias

- [1] Montzka, S. A. y otros, 2018: An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC 11, en *Nature*, 557, págs. 413–417, doi:10.1038/s41586-018-0106-2.
- [2] Organización Meteorológica Mundial, 2018: *Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018*.

Informe N° 58 del Proyecto Mundial sobre la Investigación y la Vigilancia del Ozono de la Organización Meteorológica Mundial, 67 págs., Ginebra.

[3] ———, 2014: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*. Informe N° 55 del Proyecto Mundial sobre la Investigación y la Vigilancia del Ozono de la Organización Meteorológica Mundial, 416 págs., Ginebra.

[4] Butler, J.H. and S.A. Montzka, 2018: *The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)*, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.

[5] 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. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 99, págs. 22831–22855, doi:10.1029/94JD01951.

[6] Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera, Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre, 2018: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.

[7] Organización Meteorológica Mundial, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center 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, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.

[8] Le Quéré, C. y otros, 2018: Global carbon budget 2017, en *Earth System Science Data*, 7(10), págs. 405–448, doi:10.5194/essd-10-405-2018.

[9] Organización Meteorológica Mundial, 2018: *Boletín de la OMM sobre los Gases Radiactivos N° 2: aspectos más destacados del Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global*, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5244.

[10] Ministerio de Medioambiente – Manatu Mo Te Taiao, 2018: *New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990–2016*. Número de publicación: ME 1351. Wellington.

[11] IPCC, 2006: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Volume 1, General Guidance and Reporting (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe, eds). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Section 6.10.2. IGES, Japan.

[12] Steinkamp, K., S.E. Mikaloff-Fletcher, G. Brailsford, D. Smale, S. Moore, E. Keller, T. Baisden, H. Mukai y B. Stephens, 2017: Atmospheric CO₂ observations and models suggest strong carbon uptake by indigenous forests in New Zealand. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, págs. 47–76.

[13] Stanley, K. M., A. Grant, S. O'Doherty, D. Young, A.J. Manning, A.R. Stavert, T.G. Spain, P.K. Salameh, C.M. Harth, P.G. Simmonds, W.T. Sturges, D.E. Oram y

R.G. Derwent, 2018: Greenhouse gas measurements from a UK network of tall towers: Technical description and first results. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(3), págs. 1437–1458.

[14] Arnold, T., A.J. Manning, J. Kim, L. Shanlan, H. Webster, D. Thomson, J. Mühle, R.F. Weiss, S. Park y S. O'Doherty, 2018: Inverse modelling of CF_4 y NF_3 emissions in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, págs. 13305–13320.

[15] Say, D., A.J. Manning, S. O'Doherty, M. Rigby, D. Young and A. Grant, 2016: Re-evaluation of the UK's HFC-134a emissions inventory based on atmospheric observations. *Environmental Science and Technology*, 50(20), págs. 11129–11136.

[16] Servicio Meteorológico del Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, 2016: *National Inventory Report 1990–2014: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*, http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En81-4-1-2014-eng.pdf.

[17] ———, 2017: Regulations respecting reduction in the release of methane and certain volatile organic compounds (upstream oil and gas sector). *Canada Gazette*, Part I, Volume 151, <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2017/2017-05-27/html/reg1-eng.php>.

[18] Johnson, MR, D.R. Tyner, S. Conley, S. Schwietzke y D. Zavala-Araiza, 2017: Comparisons of airborne measurements and inventory estimates of methane emissions in the Alberta upstream oil and gas sector. *Environmental Science and Technology*, 51(21), págs. 13008–13017.

[19] Zavala-Araiza D., S.C. Herndon, J.R. Roscioli, T.I. Yacovitch, M.R. Johnson, D.R. Tyner, M. Omara y B. Knighton, 2018: Methane emissions from oil and gas production sites in Alberta, Canada, en *Elementa Science of the Anthropocene*, 6(1), p. 27.

[20] Roscioli J.R., S.C. Herndon, T.I. Yacovitch, W.B. Knighton, D. Zavala-Araiza, M.R. Johnson y D.R. Tyner, 2018: Characterization of methane emissions from five cold heavy oil production with sands (CHOPS) facilities, en *Journal of the Air and Waste Management Association*, 68(7), págs. 671–684.

Contactos

Organización Meteorológica Mundial

División de Investigación sobre el Medioambiente Atmosférico,
Departamento de investigación, Ginebra
Correo electrónico: gaw@wmo.int
Sitio web: <http://www.wmo.int/gaw>

Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero

Servicio Meteorológico de Japón, Tokio
Correo electrónico: wcdgg@met.kishou.go.jp
Sitio web: <https://gaw.kishou.go.jp/>

¹⁾ Fracción molar = expresión de preferencia para la abundancia (concentración) de una mezcla de gases o fluidos. En química atmosférica se utiliza para expresar la concentración como el número de moles de un compuesto por mol de aire seco.

²⁾ ppm = número de moléculas de gas por millón (10^6) de moléculas de aire seco.

³⁾ ppb = número de moléculas de gas por mil millones (10^9) de moléculas de aire seco.

⁴⁾ Este porcentaje se calcula en términos de la contribución relativa del o de los gas(es) mencionado(s) al aumento del forzamiento radiativo mundial causado por el conjunto de GEI de larga duración desde 1750.

⁵⁾ 1 PgC = 1 petagramo (10^{15} gramos) de carbono.

⁶⁾ ppt = número de moléculas de gas por billón (10^{12}) de moléculas de aire seco.

Red atmosférica del Sistema Integrado de Observación del Carbono



Konsta Punkka y Alcide di Sarra

Red de estaciones atmosféricas del Sistema Integrado de Observación del Carbono (ICOS): los puntos amarillos representan estaciones de observación combinada de la atmósfera y el ecosistema, los puntos rojos corresponden a estaciones de observación de la atmósfera. No se muestran las estaciones de Guyana Francesa, La Reunión y Cabo Verde. Algunos ejemplos de estaciones son: Pallas (Finlandia), Jungfrauoch (Suiza), Svartberget (Suecia), Lampedusa (Italia). (Fotografías: Konsta Punkka y Alcide di Sarra).

Desde mediados de 2018, la red europea de estaciones atmosféricas de la infraestructura de investigación del ICOS (<https://www.icos-ri.eu>) es una red colaboradora de la VAG formada por 33 estaciones (de las cuales 22 son torres altas). Si bien muchas de las estaciones atmosféricas del ICOS ya llevan mucho tiempo en funcionamiento, en la actualidad el ICOS se ha expandido también a nuevas regiones y dispone de nuevos emplazamientos. El ICOS ha desarrollado diseños y protocolos de medición normalizados y definidos por la comunidad que, para las observaciones de GEI en la atmósfera, se basan en las recomendaciones de la OMM, y las amplían, en relación con la compatibilidad, la calibración a la escala de fracción molar de la OMM y la transparencia del ciclo de vida de los datos. Todas las estaciones del ICOS tienen que cumplir las normas acordadas. Todos los datos son procesados por el Centro Temático de la Atmósfera del ICOS, y comprobados y anotados diariamente por los responsables de las estaciones. Los Laboratorios Centrales Analíticos realizan análisis de frascos de muestreo para, por ejemplo, detectar el radiocarbono existente en el CO₂ atmosférico (¹⁴CO₂) asociado a las emisiones de combustibles fósiles, y facilitan a todas las estaciones normas de trabajo calibradas según la escala de la OMM. Todos los datos del ICOS sobre la atmósfera, sometidos a un control de calidad exhaustivo, son publicados como datos de libre acceso a través del Portal del ICOS sobre el Carbono (<https://data.icos-cp.eu/portal>) y actualmente se actualizan unas dos veces al año. Los datos en tiempo casi real, que utilizan el control de la calidad automático, se publican con un retraso máximo de un día a partir del momento en que la versión final ha sido sometida a un control completo de calidad. Los datos atmosféricos también podrán consultarse a través del CMDGEI, forman parte de las actualizaciones periódicas de los productos de datos de ObsPack de la NOAA y se envían cada día a los servicios de COPERNICUS (<http://www.copernicus.eu/main/overview>).

El buque oceanográfico *Investigator*, primera estación móvil de la red de la VAG

El buque *Investigator* de la Instalación Nacional de la Marina Australiana posee dos laboratorios dedicados a muestreos atmosféricos que de forma continuada realizan observaciones *in situ* de gran calidad de CO₂, CH₄ y N₂O, además de otros importantes gases traza como monóxido de carbono, ozono troposférico y radón. Asimismo miden una amplia gama de parámetros meteorológicos y del aerosol. En 2018 *Investigator* se convirtió en la primera estación móvil de la red de la VAG.

Investigator navega 300 días al año en las aguas próximas a Australia, en una travesía desde el Ecuador hasta el borde del hielo antártico en la que recoge de forma permanente datos sobre la composición atmosférica de partes de la atmósfera de las que existen pocas muestras. En sus frecuentes viajes por el remoto océano Austral, esta nueva estación de la VAG arroja datos sobre lo más parecido que tenemos a una atmósfera prístina o inalterada. Estos nuevos conocimientos son inestimables para mejorar los modelos climáticos.



El buque *Investigator* navega ante un gigantesco iceberg en el océano Austral.

CSIRO