

Boletín Gases de Efecto Invernadero

Año 2020



Foto: J. Daniel Agüero

Dirección Central de Monitoreo del Clima.

Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en la Producción y Servicios.

Servicio Meteorológico Nacional.

Ing. María Elena Barlasina. barlasina@smn.gov.ar, MCs. Gerardo Carbajal Benítez. gcarbajal@smn.gov.ar

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera de origen naturales y antropogénicos. Los GEI absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético, provocando consecuencias en el clima. La radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes, son absorbidas por los GEI provocando el efecto invernadero, que existe de forma natural en la atmósfera, y gracias a ello se mantiene la temperatura necesaria para la vida en el planeta. Sin embargo, cuando estos gases aumentan de manera significativa su concentración, aumenta también el calentamiento que producen, dando lugar al fenómeno que se estudia como “calentamiento global”, que trae consecuencias sobre los ecosistemas y las especies del planeta.

Los principales GEI naturales y antropogénicos son, el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4). Además, en la atmósfera hay una serie de GEI creados únicamente por las actividades humanas, como los clorofluorocarbonos (CFCs), que son los principales responsables del deterioro de la capa de ozono y los halocarbonos (como hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) e hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y las sustancias fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF_6)). Todos estos últimos, son regulados por el Protocolo de Montreal, debido a su alto poder para causar el agotamiento de la capa de ozono.

El vapor de agua es el mayor contribuyente al efecto invernadero natural y es el que está más directamente vinculado al clima y a la vez, el menos controlado por la actividad humana. Por el contrario, las concentraciones de los demás gases están sujetas a la influencia fuerte y directa de las emisiones asociadas con la quema de combustibles fósiles, actividades forestales, agrícolas e industriales.

Los boletines de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sobre los GEI (<https://community.wmo.int/wmo-greenhouse-gas-bulletins>), señalan año a año el incremento en el calentamiento de nuestro clima a causa estos gases. Las unidades en las que se miden los gases son, “Fracción Molar” y se expresa como partes por millón (ppm) y en partes por mil de millón (ppb). Ejemplo: 0.000400 Fracción Molar se expresa como 400 ppm.

Analizando los tres principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O), el último Boletín de OMM del año 2018 presenta las fracciones molares de CO_2 tuvieron un promedio de 407.8 ± 0.1 ppm, CH_4 a 1869 ± 2 ppb y N_2O a 331.1 ± 0.1 ppb, correspondiendo a 147%, 259% y 123% de los niveles preindustriales, anteriores a 1750 respectivamente.

Comparando los aumentos de CO_2 en el período 2017 – 2018, se observa que fue igual al período 2016 - 2017, pero menor que el observado durante el 2015 – 2016. Esto puede deberse a la influencia del evento de El Niño que alcanzó su punto máximo en 2015-2016.

Los eventos de El Niño están asociados con patrones climáticos anormales, como fuertes tormentas en algunos lugares y sequías o inundaciones en otras partes, lo que trae como consecuencia sequías en las regiones tropicales con una menor absorción de carbono por parte de la vegetación y un aumento de incendios, lo que hace que las emisiones de CO_2 aumenten y al no poder ser absorbidos, permanezcan en la atmósfera.

En la Figura 1a muestra las tasas de crecimiento de CO_2 , con datos registrados a partir de la red global in situ de NOAA desde 1960 y los períodos donde hubo eventos de El Niño, en la misma se observa que las tasas más altas de CO_2 coinciden con el final del evento del El Niño.

Un índice atmosférico para medir la fuerza de los eventos de El Niño y La Niña, así como sus posibles impactos, es el Índice de la Oscilación del Sur (SOI). El SOI es una medida de la intensidad o la fuerza de la circulación de Walker, que se calcula en base a la diferencia en la presión atmosférica en la cuenca del Pacífico. Cuando el índice es positivo, los vientos resultantes impulsan corrientes ascendentes que liberan CO_2 adicional a la atmósfera.

En la Figura 1b parece haber máximos coincidentes entre la concentración de CO₂ y el SOI, pero también notamos algunas tendencias opuestas, como en el período posterior a 2010.

Cuando el índice cae por debajo de 0, los eventos de "El Niño" se vuelven más prominentes y se suprimen los flujos ascendentes. Aunque esto puede evitar que el CO₂ atrapado en los océanos más profundos del Pacífico llegue a la superficie, los eventos de "El Niño" también pueden tener un impacto medible en el clima terrestre, lo que influye en la tasa de crecimiento de la vegetación y, por extensión, la absorción de CO₂.

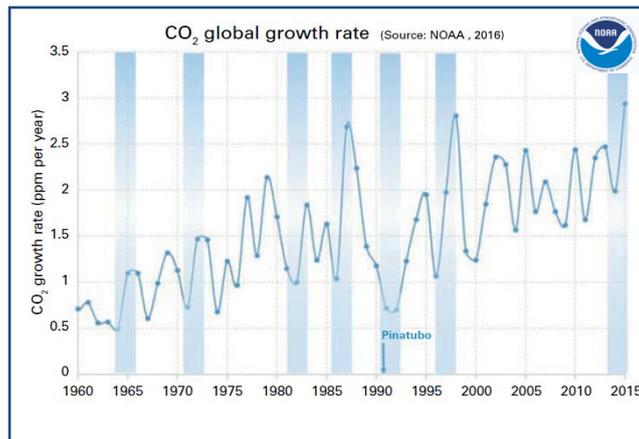


Figura 1a. Tasas de crecimiento de CO₂ (línea azul) y los eventos de El Niño (barra azul). (Fuente: NOAA).

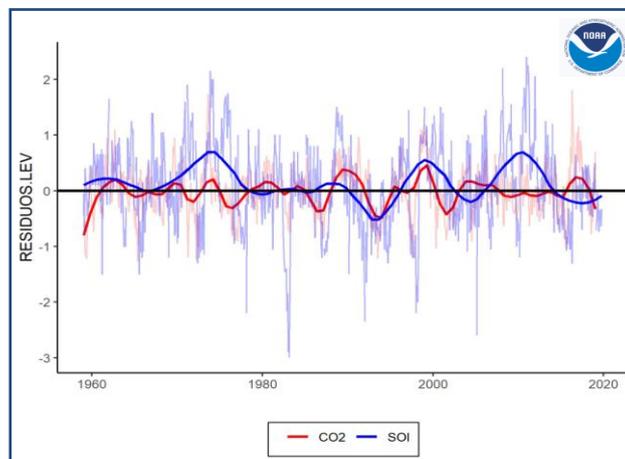


Figura. 1b. Las líneas azules y rojas débiles representan los residuos de SOI y CO₂ respectivamente. Las líneas azules y rojas intensas muestran el ajuste por el método de Loess para el SOI y el CO₂. Los valores de SOI, fueron divididos a la mitad para que coincidan con el rango del CO₂ y facilitar la comparación de las tendencias de SOI y CO₂. (Fuente NOAA).

Analizando el CH₄, el mismo tuvo un aumento en su concentración en el período 2016 - 2017, pero fue menor al observado en el 2015 - 2016 y prácticamente igual al promedio de la última década. La concentración de N₂O, aumento durante el período 2016 - 2017 y fue mayor que la observada durante el 2015 - 2016, pero prácticamente igual a la tasa de crecimiento promedio de los últimos 10 años.

La Figura 2 muestra la evolución de las concentraciones globales, obtenidos de la red de medición del programa VAG de OMM, para los principales gases de efecto invernadero.

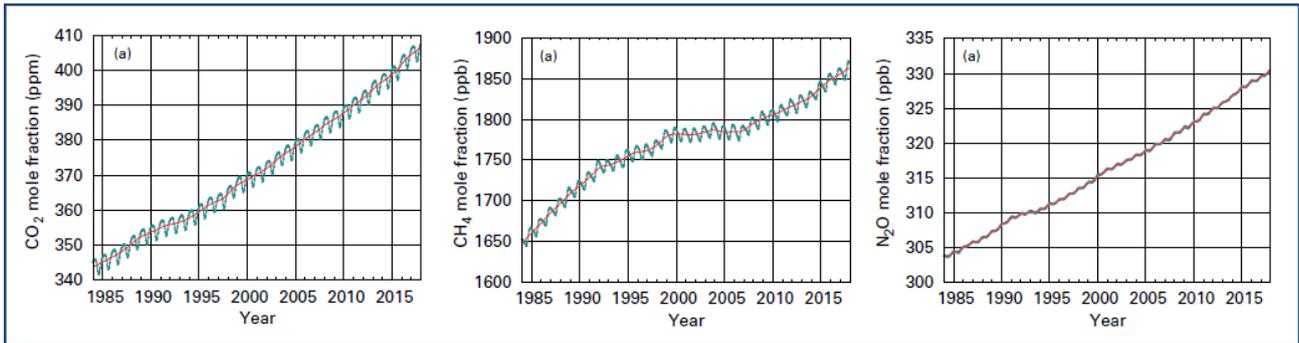


Figura. 2. Evolución de las fracciones molares medias globales para los principales GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) desde 1985 hasta 2018, según las observaciones de la red del programa VAG OMM. (Fuente OMM)

El presente boletín tiene por objeto difundir el monitoreo de los tres principales GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) relacionados con el calentamiento global y cambio climático, que se registraron hasta fines de 2019 a través de la red de medición de gases del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en marco del proyecto de monitoreo que se desarrolla en el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorología Mundial (OMM).

Debido a la crisis sanitaria que se esta viviendo a causa del COVID 19, se espera un impacto en el medioambiente asociada a la desaceleración de las actividades antropogénicas a nivel mundial, que podremos evaluar en el próximo boletín. El cierre de industrias y las restricciones en las actividades económicas y en el tráfico aéreo, terrestre y marítimo, como así también el confinamiento poblacional han contribuido a una disminución de la contaminación ambiental en algunos sitios del planeta, más adelante podremos evaluar los impactos a nivel global.

Programa de Medición VAG

El Programa de mediciones de VAG de la OMM (<http://www.wmo.int/gaw>) coordina a nivel mundial las observaciones y el análisis de los gases de efecto invernadero y de otros gases. Consta de 31 estaciones globales, más de 400 estaciones regionales y alrededor de 100 estaciones contribuyentes. (<https://gawsis.meteoswiss.ch/GAWSIS//index.html#/>) (Figura 3).

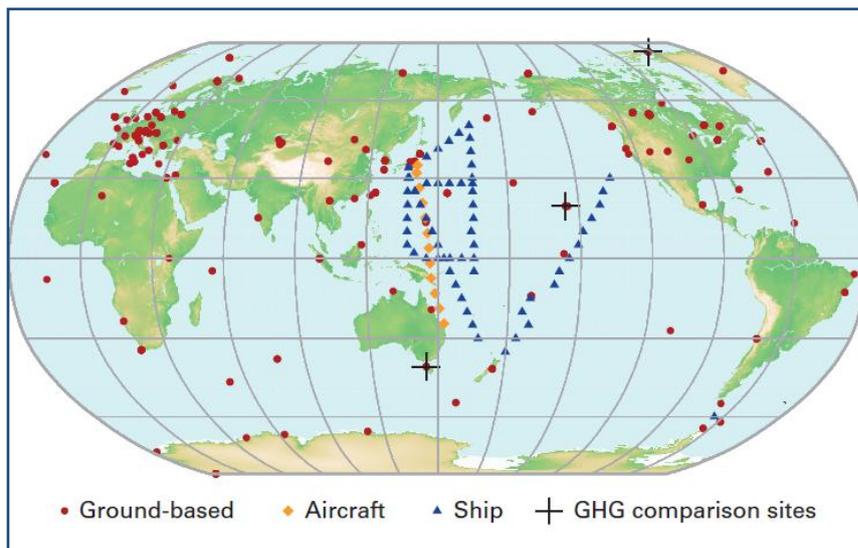


Figura. 3. Red de estaciones programa de mediciones VAG. (Fuente OMM)

Este programa de monitoreo se desarrolló en nuestro país a partir de la década del 90, situando puntos de monitoreo en distintas estaciones existentes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), como el Observatorio La Quiaca en Jujuy, el Observatorio Pilar en Córdoba, la estación Meteorológica San Julián en Santa Cruz y en Ushuaia, Tierra del Fuego, con la estación de Vigilancia Atmosférica Global (VAG).

La estación VAG de Ushuaia (Figura 4), es la única estación de carácter global en Argentina y Sudamérica. Se encuentra en la Isla Grande de la Tierra del Fuego a unos 10 km al SW de la ciudad de Ushuaia (54.85°S 68.31°W), a orillas del Canal de Beagle. Su entorno natural compuesto por pastos y arbustos y por los vientos predominantes que soplan del sector S – SW, sector que es considerado como “limpio” y sin la influencia de contaminantes locales, hacen que la estación sea importante para medir condiciones de base del planeta en cuanto a gases se refiere y de allí su categoría de VAG Global.



Figura 4. Estación VAG Ushuaia. Tierra del Fuego, Argentina.

La estación VAG Ushuaia cuenta con mediciones de los principales GEI. Desde su inicio en 1994, se realizan mediciones discontinuas de estos gases mediante “flask”, a través de un proyecto con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA Earth System Research Laboratory). En el 2017 se adquirió un analizador continuo de gases, Picarro modelo G2401, que registra simultáneamente la concentración de dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono y vapor de agua.

En la Antártida, la Base Marambio, situada en la isla Marambio y rodeada por el mar de Weddell a 198 metros s.n.m, tiene gran importancia para llevar a cabo estudios científicos. En el 2011 se comenzó con las mediciones de ozono superficial y desde el 2013, en acuerdo con el Instituto Finlandés de Meteorología (FMI), se instaló un laboratorio (Figura 5), donde se llevan a cabo varios programas de medición, entre los cuales se realiza la medición de GEI (CH₄, CO₂ y vapor de H₂O) con un analizador Picarro G2401.



Figura 5. Laboratorio instalado en acuerdo con el Instituto Finlandés de Meteorología (FMI) en Marambio, Antártida.

Mediciones Gases de Efecto Invernadero en Argentina

En 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el objetivo de reforzar la conciencia pública y a escala mundial sobre el cambio climático. Por tal motivo la CMNUCC ha solicitado a los países que informen sobre sus inventarios de GEI. En ese contexto, en el año 2014 Argentina presentó el último inventario de GEI, correspondiente al segundo Reporte Bienal de Actualización (BUR) elaborado en 2016-2017. El mismo se pudo realizar una estimación de los GEI que surgen analizando todas las fuentes de emisiones y absorciones.

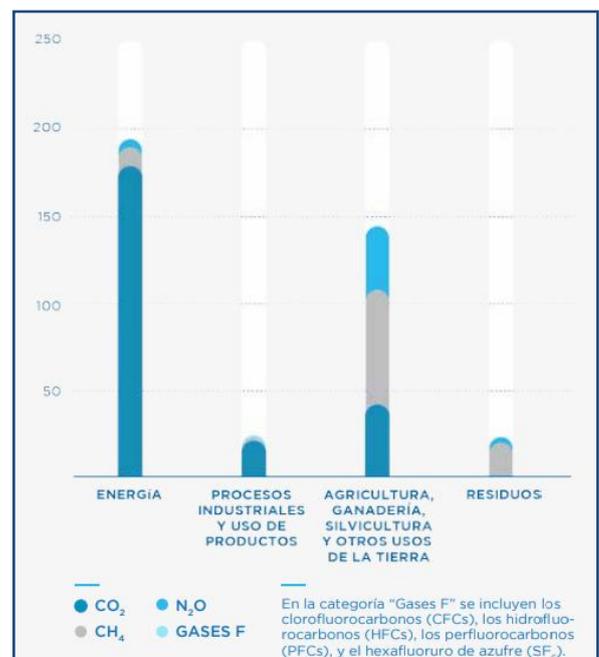
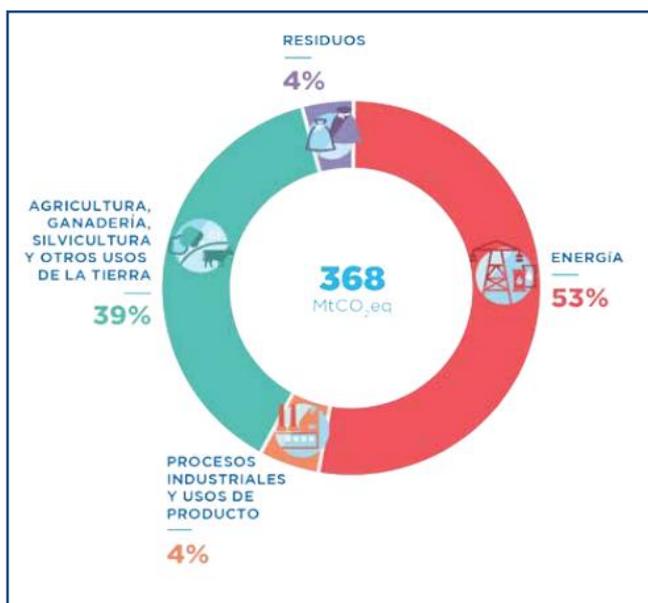


Figura 6. Inventario GEI 2014 de Argentina (izquierda). Cantidad de GEI emitidos por cada sector analizado expresados es MtCO₂eq (derecha) (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente)

En el inventario GEI 2014. Según puede verse en la Figura 6 (izquierda), los porcentajes de las emisiones según el sector analizado como "fuente de emisión de GEI". El primer lugar, en cantidad de emisiones generadas, lo tiene el sector de

“Energía” con un 53%, luego le sigue el sector agrícola ganadero, que comprende actividades “Agricultura, ganadería, silvicultura y usos de tierra”, con un 39 % y finalmente los sectores “Industriales” y de “Residuos” con un 4 % para cada uno.

A la derecha de la Figura 6, se representa las distintas proporciones de los GEI generados por cada sector de estudio. En la misma se puede ver que el sector de “Energía” es el que emite más CO₂, mientras que el CH₄ es generado por los sectores de “Residuos” y de “Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra”. Este último sector también tiene una importante emisión de N₂O, relacionados con el uso de fertilizantes nitrogenados y la deforestación.

El inventario se realizó acorde a los principios de calidad que propone el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), a través de su equipo de tareas que fijaron las pautas para realizar los inventarios. Más tarde el IPCC publicó Directrices 2006, para la actualización de las fuentes y los gases, en la medida en que el conocimiento científico y técnico avanza. Estas Directrices 2006 incluirán el uso de mediciones atmosféricas y análisis de modelos en los inventarios, dada la gran cantidad de nuevos conocimientos científicos y empíricos existentes en la actualidad.

En ese marco de concientización sobre el cambio climático, el SMN continúa con las mediciones in situ de GEI en Ushuaia y Marambio. Las mismas servirán no sólo para monitorear las concentraciones de base de los GEI en el planeta, sino también brindar datos de calidad y así poder identificar las fuentes de emisión.

Dióxido de Carbono

El CO₂ es el principal GEI que se emite como consecuencia de las actividades del hombre y a la vez también se hace presente de manera natural en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra, a través de la circulación natural de carbono entre la atmósfera, los océanos, la tierra, las plantas y los animales.

Desde hace años las actividades antropogénicas están alterando el ciclo natural del carbono, sumando más concentración de CO₂ a la atmósfera, destruyendo los bosques que tienen la capacidad de absorber el CO₂ de la atmósfera. Si bien las emisiones de CO₂ provienen de diversas fuentes naturales, las emisiones relacionadas con las actividades del hombre son las responsables del aumento que se ha registrado en la atmósfera desde la revolución industrial.

Los procesos industriales emiten CO₂, sin embargo, aquellas actividades que se relacionan con la quema de los combustibles de origen fósiles, tales como la generación de energía y el transporte son las que más emiten CO₂.

En la estación VAG Ushuaia se registran las concentraciones de CO₂ desde 1994, a través de muestras de aire o flask. Las muestras se realizan cuando el viento proviene del sector S - SW, o sea, cuando las masas de aire se consideran sin contaminación antropogénica, de esa forma se puede medir las concentraciones de fondo de CO₂ del planeta. Los registros se muestran en la Figura 7, donde cada punto de la línea corresponde a la concentración de CO₂ registrada en una medición de flask expresadas en ppm.

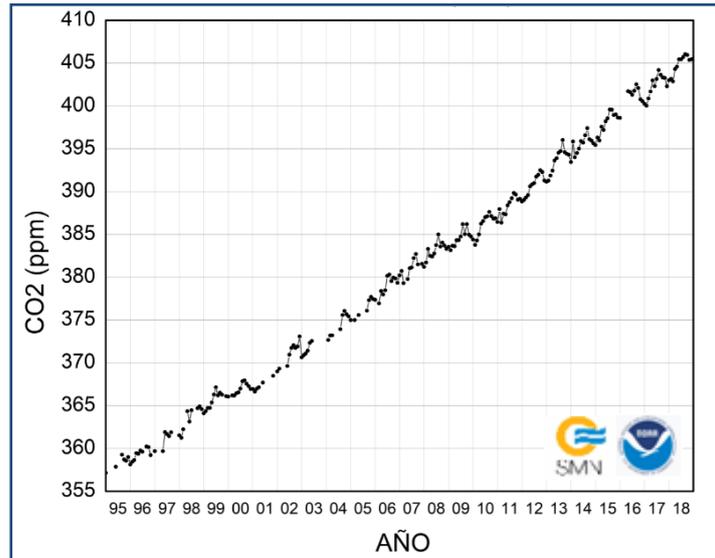


Figura 7. Mediciones de las fracciones molares de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2019). (Fuente NOAA).

En la figura 7 se puede ver el aumento de la concentración de CO₂ desde los comienzos de la medición. En septiembre de 1994 se registraban valores de 356 ppm y en septiembre de 2019 se alcanzaron 408 ppm de concentración de CO₂, obteniéndose un aumento de 52 ppm en 25 años.

De seguir en las mismas condiciones en cuanto a emisiones, la concentración de CO₂ en Ushuaia seguirá aumentando y se puede estimar una proyección como muestra la Figura 8 para los próximos cuatro años.

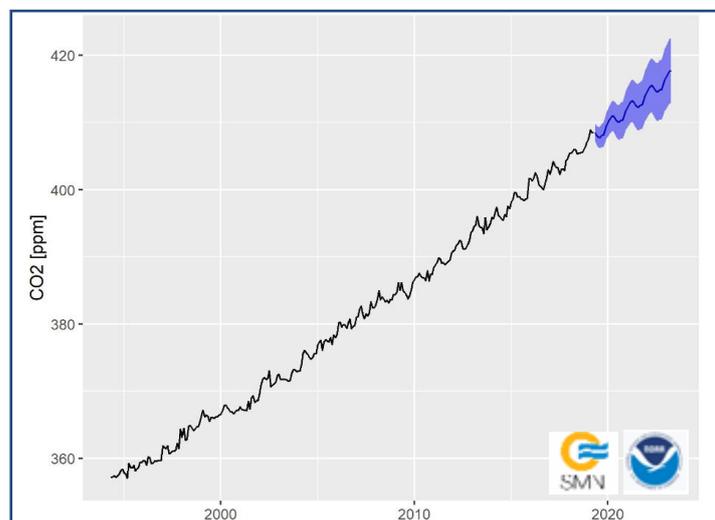


Figura 8. Proyecciones de las fracciones molares medias de CO₂ según los datos registrados en la estación VAG Ushuaia por el proyecto NOAA. La línea en color negro representa las mediciones realizadas y el color azul la incertidumbre asociada a la proyección de 4 años. (Fuente NOAA).

El valor alcanzado en Ushuaia para la concentración de CO₂ durante el 2019 es 408 ppm, un valor similar al de otras estaciones del Hemisferio Sur (HS), e inferior, si se compara con la concentración global del planeta o las que se registran en las estaciones del Hemisferio Norte (HN). Realizando una comparación entre las series de mediciones de las estaciones, Mauna Loa (USA) en el HN y Cape Grim (Australia) y Ushuaia (Argentina) del HS y los valores medio globales del planeta, se puede apreciar la diferencia en sus concentraciones (Figura 9).

Las estaciones de Cape Grim y Ushuaia tienen sus series de concentraciones comparables, alcanzando máximos similares. Mientras que la estación Mauna Loa, como otras situadas en el HN, alcanzan concentraciones superiores, incluso superiores a la media global, teniendo ciclos de variación anual del CO₂ más marcado, debido a la generación de mayores emisiones de CO₂, a la actividad fotosintética y de respiración de las plantas.

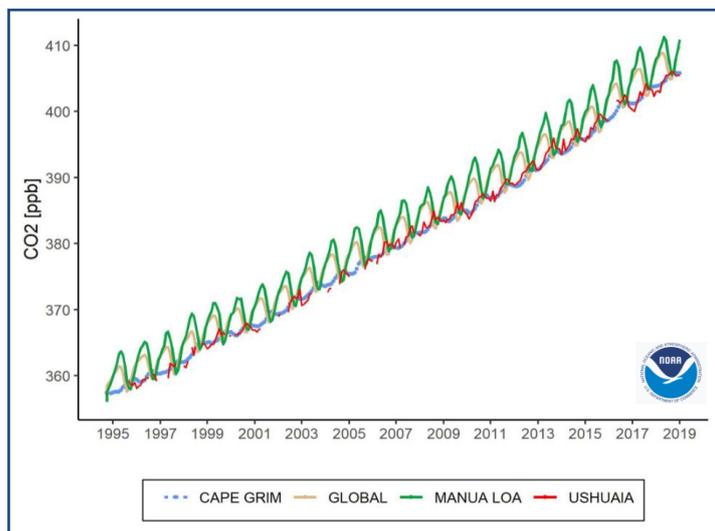


Figura 9. Mediciones de las fracciones molares de CO₂ globales y las registradas in situ en las estaciones VAG Cape Grim, Mauna Loa y Ushuaia. (Fuente NOAA).

Las plantas comienzan su fotosíntesis en primavera-verano, consumiendo CO₂ de la atmósfera para utilizarlo como fuente de carbono para su crecimiento y reproducción, provocando una disminución en los niveles de CO₂. En el invierno, cuando disminuyen las temperaturas, las plantas ahorran energía, disminuyendo su fotosíntesis y el proceso dominante es la exhalación de CO₂ por el ecosistema, incluidas las bacterias, las plantas y los animales, dando lugar a un aumento de CO₂ en la atmósfera. En los océanos también se da la fotosíntesis, aunque la difusión del CO₂ hacia la atmósfera no es significativa, por esta razón la variación de los ciclos del CO₂ sólo queda circunscripta a las plantas terrestres y por ello el HN es el más afectado, debido a la presencia de mayor vegetación y a la variación de la temperatura que originan los ciclos anuales del CO₂. En el Ecuador, si bien hay mucha vegetación, casi no hay variación en la temperatura y eso hace que los ciclos anuales sean menos marcados, al igual que en el HS.

Metano

El CH₄ es uno de los principales GEI y se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica. Los procesos de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, como ocurre en las zonas pantanosas y en los cultivos de arroz, emiten importantes cantidades de CH₄. Otras fuentes de generación de CH₄ son los procesos digestivos de los rumiantes, la combustión en bosques (incendios), la actividad microbiana en aguas servidas y las fugas por acumulaciones de hidrocarburos en los campos de petróleo.

El CH₄ contribuye al cambio climático, aunque su duración en la atmósfera es relativamente corta, comparada con la de otros gases de efecto invernadero, pero a la vez es más eficaz a la hora de atrapar radiación infrarroja y emitir energía en forma de calor.

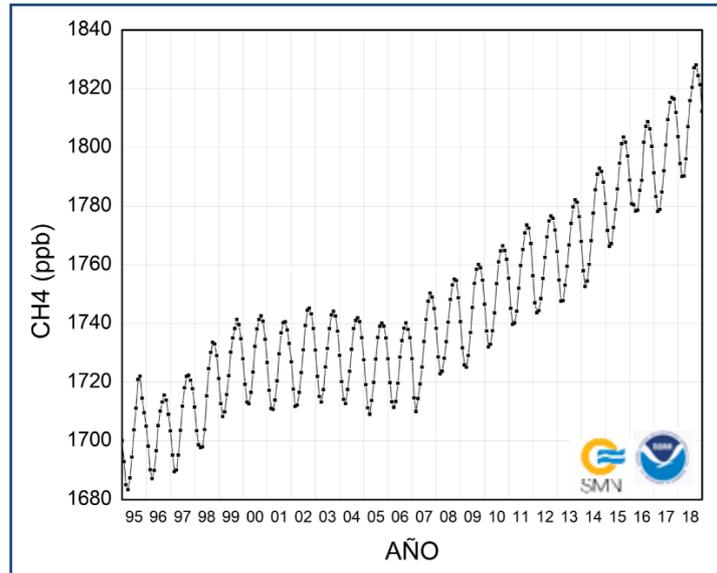


Figura 10. Mediciones de las fracciones molares de CH₄ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2019). (Fuente NOAA).

En la Figura 10 se muestran la serie de concentraciones de CH₄ que se realizaron en la estación VAG Ushuaia, a través de proyecto que lleva a cabo NOAA como en otras partes del mundo. En Ushuaia se comenzó a registrar de muestras de aire con flask desde 1994 y se continúan hasta la actualidad.

De seguir en las mismas condiciones en cuanto a emisiones de CH₄ a la atmósfera, se puede proyectar para Ushuaia un aumento similar al que se muestra en la Figura 11 para los próximos años.

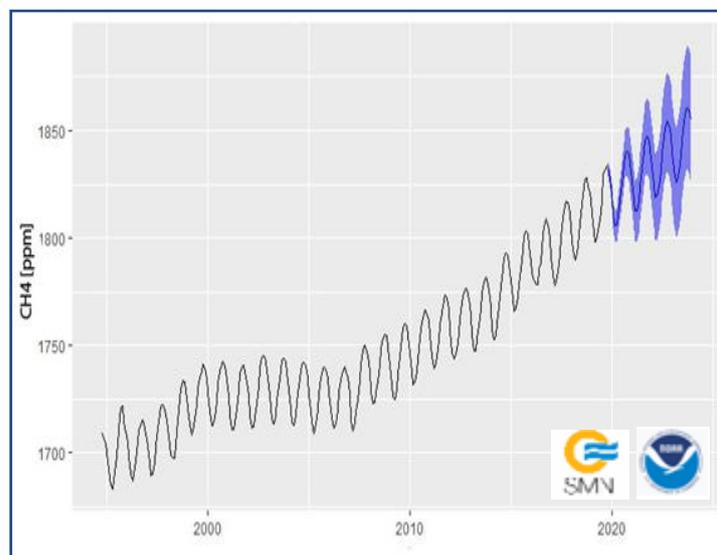


Figura 11. Proyecciones de las fracciones molares medias de de CH₄ según los datos registrados en la estación VAG Ushuaia por el proyecto NOAA. La línea en color negro representa las mediciones realizadas y el color azul la incertidumbre asociada a la proyección de 4 años. (Fuente NOAA).

Los valores de la concentración de CH₄ a nivel global alcanzaron valores de 1869 ppb, como se puede ver en la Figura 12. En la figura se compara la concentración global, con las registradas en la estación Mauna Loa (USA) en el HN y las del HS, Cape Grim (Australia) y Ushuaia (Argentina). Como ocurre con el CO₂, las concentraciones obtenidas como una media global de CH₄ son menores a las del HN, pero superiores a las del HS.

Las concentraciones de CH₄ registradas en Cape Grim y Ushuaia son comparables en cuanto a los ciclos anuales del gas y los valores alcanzados. En los inicios de muestreo con flask en Ushuaia, a fines de 1994, se registraron valores en la concentración de 1708 ppb y en 2019 se alcanzó valores de 1829 ppb.

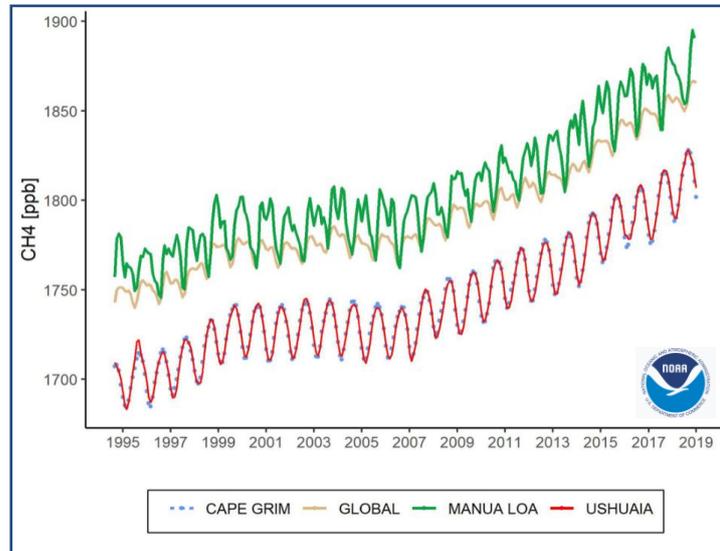


Figura 12. Mediciones de las fracciones molares de CH₄ globales y las registradas in situ en las estaciones VAG Cape Grim, Mauna Loa y Ushuaia. (Fuente NOAA).

Óxido Nitroso

El N₂O es el tercer gas de efecto invernadero más importante después del CO₂ y el CH₄. Si bien se encuentra en menor cantidad que otros GEI, su poder de emitir calor es superior al del CO₂ y además su gran estabilidad en su estructura química, permite que éste gas llegue a la estratósfera, generando la destrucción de moléculas de ozono.

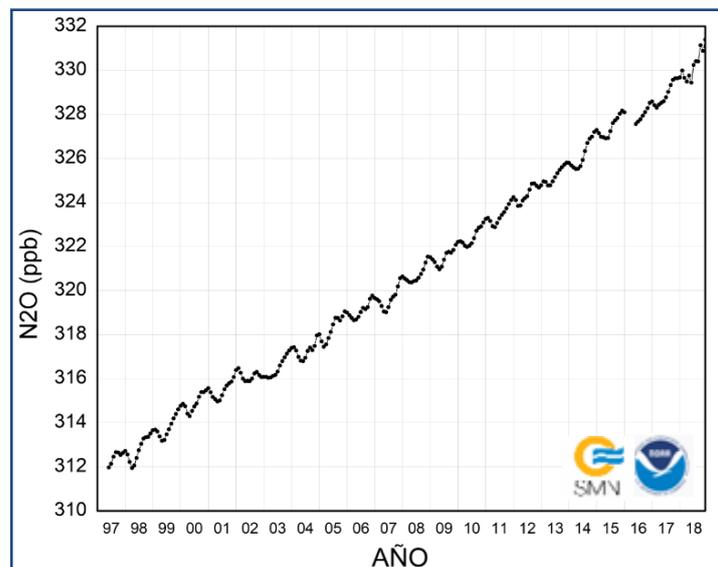


Figura 13. Mediciones de las fracciones molares de N₂O en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2019). (Fuente NOAA).

El N_2O se hace presente de manera natural en la atmósfera como parte del ciclo del nitrógeno de la Tierra, sin embargo diversas actividades antropogénicas, tales como la agricultura, el proceso de combustión de materia orgánica, el manejo de aguas residuales y ciertos procesos industriales dan origen a emisiones de N_2O a la atmósfera.

En la estación VAG Ushuaia se registran datos de N_2O desde 1996 a la actualidad y los mismos se pueden observar en la Figura 13. Las concentraciones registradas en febrero de 1996 eran de 312 ppb y se llega a registros de 331 ppb para febrero 2019.

Las emisiones de N_2O a nivel mundial han aumentado considerablemente en las últimas décadas. Realizando una proyección para los próximos cuatro años, considerando los datos registrados en Ushuaia y si no se realizan cambios para evitar su emisión a la atmósfera, se puede ver un incremento considerable de este gas, como lo muestra la zona azul de la Figura 14.

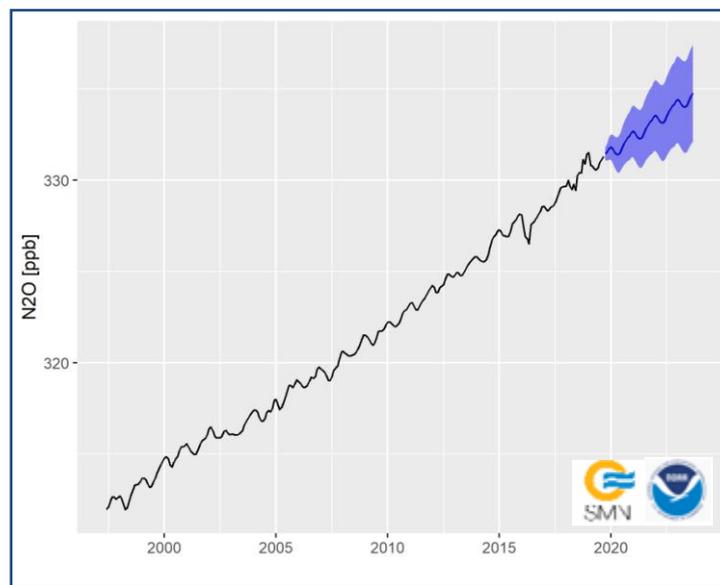


Figura 14. Proyecciones de las fracciones molares medias de de N_2O según los datos registrados en la estación VAG Ushuaia por el proyecto NOAA. La línea en color negro representa las mediciones realizadas y el color azul la incertidumbre asociada a la proyección de 4 años. (Fuente NOAA).

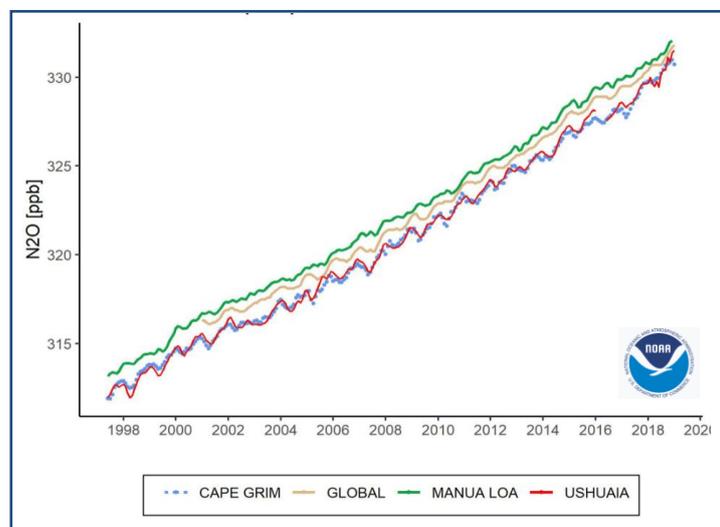


Figura 15. Mediciones de las fracciones molares de N_2O globales y las registradas in situ en las estaciones VAG Cape Grim, Mauna Loa y Ushuaia. (Fuente NOAA).

Si comparamos los registros de las concentraciones obtenidas en Mauna Loa, en el HN; con los del HS, de las estaciones Cape Grim y Ushuaia, se observa un comportamiento similar a los de CO₂ y CH₄. El HN tiene mayores concentraciones que el HS, mientras que las concentraciones globales medias son inferiores a las del HN, pero superiores a las del HS. (Figura 15).

Mediciones Gases de Efecto Invernadero en Antártida.

La Antártida, es el continente que posee en sus glaciares el 90% del reservorio de agua dulce del planeta. Un aumento de la temperatura de los océanos no sólo provoca el derritimiento constante de estos glaciares y las barreras de hielo, sino que arroja millones de litros de agua dulce al mar, causando un aumento en los niveles del océano y la alteración química del agua de la cual dependen incontables especies.

El derretimiento de los hielos en la Antártida, a causa del calentamiento ocasionado por el aumento de la temperatura que provocan los GEI que están naturalmente en la atmósfera y que contribuyen a mantener el calor adecuado en la superficie, se ve acelerado en los últimos tiempos debido a los GEI provenientes de las actividades antropogénicas, que traen como consecuencia un rápido aumento de la temperatura.

En la Base Marambio, el SMN en acuerdo con el FMI, monitorean en forma continua las concentraciones de CH₄ y CO₂ desde 2013. El analizador PICARRO G2401, con que se cuenta en la estación permite mediciones simultáneas y precisas de estos gases. La Figura 16 muestra la serie de mediciones obtenidas.

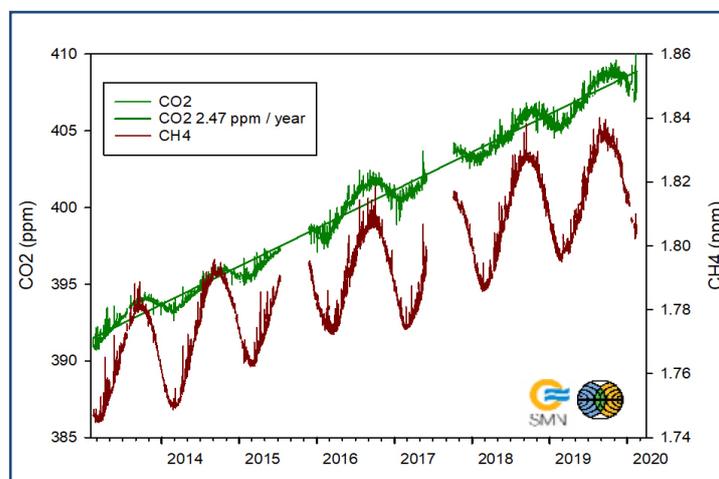


Figura 16. Mediciones de las fracciones molares de CH₄ y CO₂ en la Base Marambio (Antártida), a través del convenio con el Finnish Meteorological Institute. (Fuente FMI).

En la Figura 16 se observa el incremento en la concentración de ambos gases desde los inicios de la medición, en el 2013. El CO₂ muestra un incremento promedio de 2,47 ppm por año, alcanzando 408 ppm a finales del 2019, siendo concentraciones comparables con las medidas en la estación VAG Ushuaia y en el orden de las del HS. El gas CH₄ también registra una curva creciente en las concentraciones obtenidas durante los años de medición y con un ciclo anual muy marcado, alcanzando máximos de 1840 ppb (1,840 ppm) en el mes de Agosto y llegando a mínimos cercanos a 1810 ppb (1,810 ppm) en Diciembre de 2019. Estos valores obtenidos en la concentración de CH₄ en Marambio, son similares a las concentraciones a los obtenidos en Ushuaia (1809 ppb a 1829 ppb).

Las mediciones de CO₂ y CH₄ en Marambio son semejantes a las que se registran en otros puntos del HS e inferiores a las del HN y los promedios globales. También se observan los ciclos anuales bien marcados entre el invierno y el verano.

Referencias

- A. Wagner, A.-M. Blechschmidt, I. Bouarar, E.G. Brunke, C. Clerbaux, M. Cupeiro, P. Cristofanelli, H. Eskes, J. Flemming, H. Flentje, M. George, S. Gilge, A. Hilboll, A. “Evaluation of the MACC operational forecast system potential and challenges of global near-real-time modeling with respect to reactive gases in the troposphere”. *Inness. Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 14005–14030, 2015.

- Carbajal Benítez G., Copes G., Cupeiro M., Barlasina M. E., Sánchez R., Asmi E., Laurila, T, Rafanelli, C., Ochoa H. Red de medición de gases de efecto invernadero (GEI's) en la Argentina. CONGREGMET XII, Mar del Plata. 2015.

- D.D. Parrish, I.E. Galbally, J.-F. Lamarque, V. Naik, L. Horowitz, D.T. Shindell, S.J. Oltmans, R. Derwent, H. Tanimoto, E. Brunke, M. Cupeiro. J. “Seasonal cycles of O₃ in the marine boundary layer: Observation and model simulation comparisons” *Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024101.

- E D Sofen • D Bowdalo • M J Evans • F Apadula • P Bonasoni • M Cupeiro • R Ellul • I E Galbally • R Girgzdiene • S Luppó • M Mimouni • A C Nahas • M Saliba. “Gridded global surface ozone metrics for atmospheric chemistry model evaluation”. *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 41–59, 2016

- Summaru for Decisión Makers “Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants for Latin America and the Caribbean: Improving air quality while mitigating climate change. Summary for decision makers” Environment Programme (UNEP) and Climate and Clean Air Coalition (CCAC). Abril 2016.

- Martin G. Schultz et. all. Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and metrics data of global surface ozone observations. *Elem Sci Anth*, 5: 58, <https://doi.org/10.1525/elementa.244>.

- Jose Adame, Manuel Cupeiro, Margarita Yela, Emilio Cuevas, and Gerardo Carbajal Ozone and carbon monoxide at the Ushuaia GAW-WMO global station. *Geophysical Research*, EGU General Assembly, Vol. 18, EGU2016-8474 © Author(s) 2016. CC Attribution 3.0 License.

-Adame, J.A., Cupeiro, M., Yela, M., Cuevas, E., and Carbajal, G. Variabilidad del ozono y el monóxido de carbono en el observatorio de Ushuaia. Ozone and carbon monoxide variability at the remote global observatory of Ushuaia. 9ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Madrid Junio 2016.

-Results and Recommendations of the 5th Comparison of Surface Ozone Analysers RCC III – WMO BUENOS AIRES – ARGENTINA. WCC-Empa Report 17/3. Octubre 2017.

-Adame J.A., Cupeiro M., Yela M., Cuevas E., Carbajal G. “Ozone and carbon monoxide at the Ushuaia GAW-WMO global station” *ELSEVIER - Journal of Atmospheric Research* (2019) 1-9. Doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.10.015.

-Atmospheric Chemistry in a Changing World. 2003, XIV, 300 p. 131 illus. Series: Global Change - The IGBP Series.