

Boletín Gases de Efecto Invernadero

Año 2022

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

Ing. Lino Fabián Condori lcondori@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 (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄). 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 (SF₆). Todos estos últimos, son regulados por el Protocolo de Montreal, debido a su alto poder para causar el agotamiento de la capa de ozono.

Las emisiones antropogénicas de CO₂ han ido aumentando a escala mundial desde la época preindustrial, actualmente la mitad del CO₂ emitido por actividades humanas permanece en la atmósfera, mientras que el resto es absorbido por los océanos y los ecosistemas terrestres. La fracción de las emisiones que quedan en la atmósfera, llamada Fracción Aerotransportada (FA), es un indicador importante del equilibrio entre fuentes y sumideros. La FA varía mucho de un año a otro, y en los últimos 60 años los promedios anuales han variado entre 0,2 (20%) y 0,8 (80%), alcanzando hoy un valor medio de alrededor de 0,42, o sea que el 42% de las emisiones humanas de CO₂ permanecen en la atmósfera.

Los sumideros de CO₂ terrestres y oceánicos siguieron proporcionalmente el aumento de las emisiones, no obstante no se puede predecir el valor de FA en el futuro, ya que depende de procesos de absorción sensibles al clima y de los cambios en el uso de la tierra. Los valores de FA en el futuro serán claves para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París y así limitar el calentamiento global.

Estos registros de la atmósfera se han podido obtener gracias a la red mundial de estaciones de observación en superficie del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) (Figura 1), dependiente de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que detecta cambios a escala global en la concentración de CO₂ y otros GEI en la atmósfera a largo plazo como se mostraran en este Boletín.

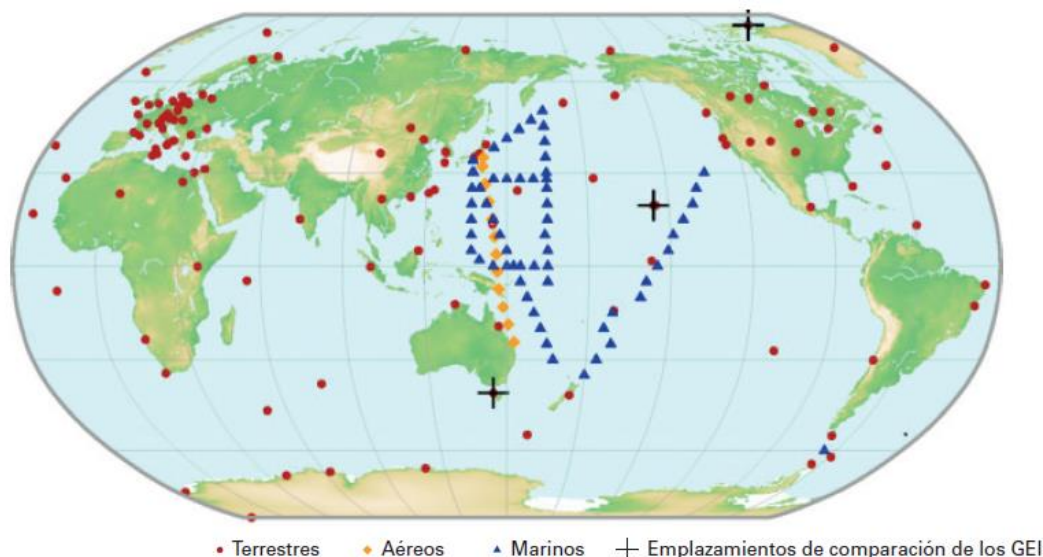


Figura. 1. Red mundial de observación in situ de GEI de estaciones VAG. (Fuente: OMM)

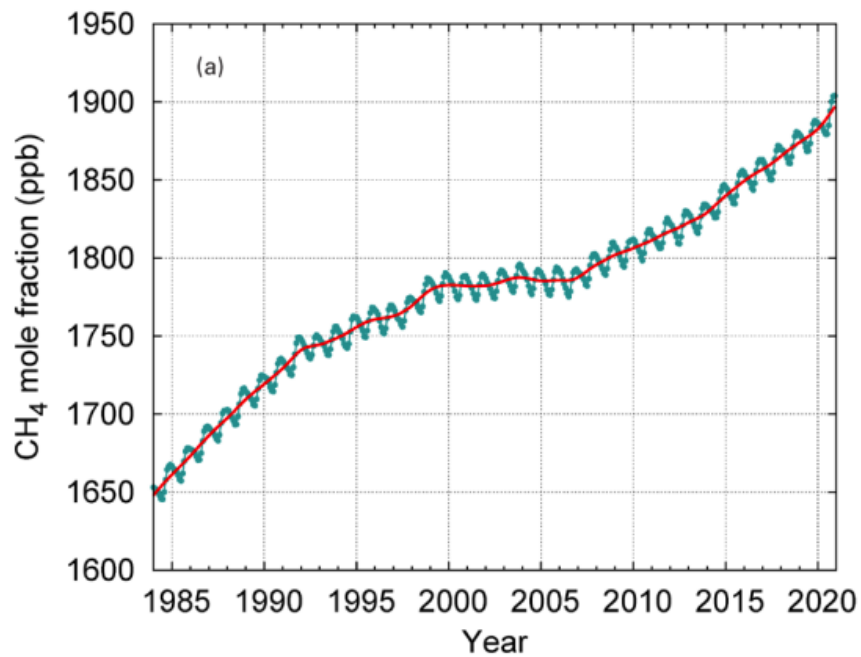
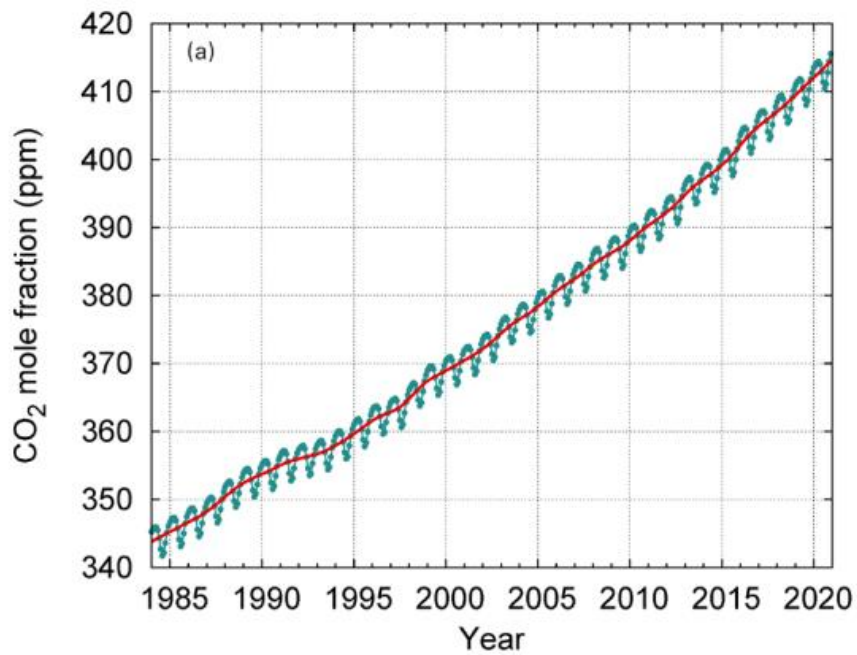
El último análisis de las observaciones in situ de la red VAG, realizado durante el 2020 y publicado en el Boletín N° 17 OMM, se mostraron las fracciones molares de los principales GEI (CO₂, CH₄ y N₂O), obteniéndose nuevos valores máximos en sus concentraciones, alcanzando a 413,2 ± 0,2 ppm de CO₂, 1889 ± 2 ppb de CH₄ y 333,2 ± 0,1 ppb de N₂O. Estos valores constituyen, respectivamente, 149%, 262% y 123% de los niveles preindustriales. Analizando la evolución en las concentraciones de los GEI analizados, se observó que el aumento de CO₂ de 2019 a 2020 fue ligeramente inferior a la observada de 2018 a 2019, pero superior a la tasa de crecimiento anual promedio durante la última década, esto es a pesar de la caída de aproximadamente un 5,6% en las emisiones de CO₂ de combustibles fósiles en 2020, debido a las restricciones relacionadas con la pandemia debido al COVID-19. Para CH₄, el aumento de 2019 a 2020 fue mayor que la registrada de 2018 a 2019 y también superior a la tasa de crecimiento anual promedio durante la última década. El N₂O, presentó un aumento de 2019 a 2020 mayor al observado de 2018 a 2019 y también superior a la tasa de crecimiento anual promedio durante los últimos 10 años. Los boletines de OMM (<https://community.wmo.int/wmo-greenhouse-gas-bulletins>), sobre los GEI, señalan año a año el incremento en el calentamiento de nuestro clima a causa de los gases GEI.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
2020 global mean abundance	413.2±0.2 ppm	1889±2 ppb	333.2±0.1 ppb
2020 abundance relative to 1750 ^a	149%	262%	123%
2019–2020 absolute increase	2.5 ppm	11 ppb	1.2 ppb
2019–2020 relative increase	0.61%	0.59%	0.36%
Mean annual absolute increase over the last 10 years	2.40 ppm yr ⁻¹	8.0 ppb yr ⁻¹	0.99 ppb yr ⁻¹

Tabla 1. Promedio mundial anual de las concentraciones en superficie en 2020 y tendencias de los principales GEI medidos por la red de observación in situ de GEI del programa VAG. (Fuente: OMM)

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 (ppmm) o partes por billón (ppb). Ejemplo: 0.000400 Fracción Molar se expresa como 400 ppm.

La Figura 2 muestra la evolución de las concentraciones globales del planeta, obtenidos de la red de medición del programa VAG para los principales CO₂, CH₄ y N₂O. Los puntos azules representan los promedios mensuales de la concentración de los GEI y la línea roja, corresponde a la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del GEI correspondiente.



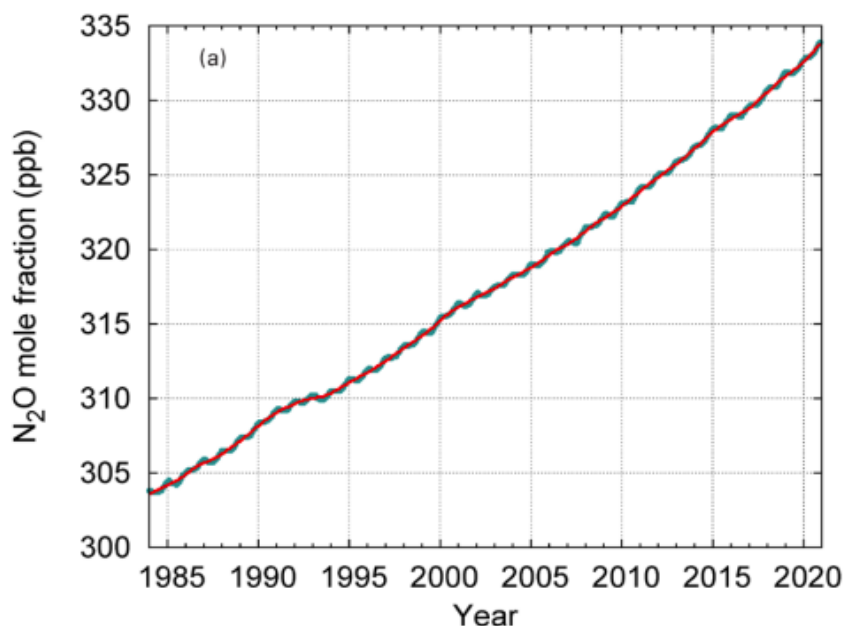


Figura. 2. Evolución de las fracciones molares medias globales para los principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O) desde 1984 hasta 2020, según las observaciones de la red del programa VAG-OMM. (Fuente OMM)

El presente boletín tiene por objeto difundir el monitoreo de los tres principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O) relacionados con el calentamiento global y cambio climático, que se registran a través de la red de medición de gases del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en marco del proyecto de monitoreo que se desarrolla dentro del Programa VAG de OMM.

Mediciones Gases de Efecto Invernadero

En el contexto del cambio climático y para contribuir con información precisa acerca de la abundancia atmosférica y la tasa de variación de los principales GEI de larga duración, el SMN continúa con el programa de mediciones de GEI del proyecto VAG de OMM, registrando mediciones continuas en las estaciones de Ushuaia y Marambio. Las mediciones servirán no solo para monitorear las concentraciones de base del planeta de los GEI, sino también brindar datos de calidad y así poder identificar las fuentes de emisión de ellos.

Los tres GEI que se mostraron en el Tabla 1, están directamente relacionados con las actividades antropógenas e interactúan intensamente con la biósfera y los océanos. Hasta el momento los planes de mitigación contra el cambio climático, no han logrado una reducción en la concentración de los GEI, llegando a elevados niveles de acumulación de estos en la atmósfera. Esto podría elevar las concentraciones de GEI en la atmósfera y, por lo tanto, el nivel de calentamiento planetario.

Las concentraciones atmosféricas de los tres principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O), junto con diclorodifluorometano (CFC-12) y triclorofluorometano (CFC-11), representan aproximadamente 96% del forzamiento radiativo, tomando de referencia el año 1750.

El Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), define el forzamiento radiativo como la influencia de “un factor” que puede causar un cambio climático, como por ejemplo, los GEI. Un forzamiento radiativo se cuantifica por lo general como la “tasa de cambio de energía por área de unidad del planeta medida en la parte superior de la atmósfera” y se expresa en “Vatios por metro cuadrado”. Cuando el forzamiento radiativo de un factor es positivo, la energía del sistema atmósfera –Tierra se incrementará conduciendo un calentamiento. Por el contrario, un forzamiento radiativo negativo, hará que la energía disminuya produciendo a un enfriamiento.

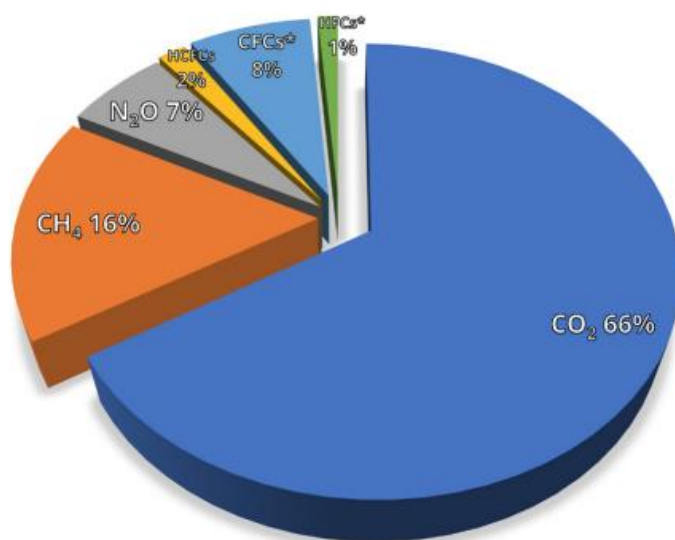


Figura 3. Contribuciones de los GEI de larga duración más importantes, al aumento del forzamiento radiativo mundial desde la era preindustrial hasta 2020. (Fuente OMM)

En la figura 3 se presentan las contribuciones relativas de los GEI de larga duración más importantes, o sea el aumento del forzamiento radiativo mundial desde la era preindustrial (1750) hasta 2020.

Las observaciones de la VAG contribuyen a estos estudios y se utilizan para perfeccionar las estimaciones de las emisiones y evaluar los datos recogidos por satélites sobre los promedios de las columnas de GEI de larga duración.

Programa de Medición de Gases Efecto Invernadero en la Argentina

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 GEI y de otros gases (Figura 1). Actualmente, el programa VAG regula las actividades y los datos de 31 estaciones globales, más de 400 estaciones regionales y alrededor de 100 estaciones contribuyentes operadas por redes contribuyentes (<https://gawsis.meteoswiss.ch/GAWSIS//index.html#/>).

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 la estación de VAG Ushuaia en Tierra del Fuego, donde se mide GEI, junto a la estación antártica Marambio.

La estación VAG 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 S-W 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, mediante tomas de muestras con flask, de estos gases 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 CO_2 , CH_4 , CO y vapor de agua.

La base Marambio se encuentra en la isla Marambio (Antártida), rodeada por el mar de Weddell y a 198 metros s.n.m, tiene gran importancia para los estudios del fenómeno del “agujero de ozono”, ya que parte del año está bajo la influencia de él. Por este motivo desde 1987 y 1988 se realizan mediciones diarias de ozono total y lanzamientos de ozono sondas respectivamente, que monitorean la capa de ozono. En el 2011 se comenzó con las mediciones de ozono superficial y en el 2013, en acuerdo con el Instituto Finlandés de Meteorología (FMI), se instaló un laboratorio donde se llevan a cabo varios programas de medición, entre los cuales se cuenta la medición de GEI (CH_4 , CO_2 y vapor de H_2O) con un analizador Picarro G2401. (Figura 5)



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

Dióxido de Carbono

El CO₂ es el GEI de origen antropogénico más abundante en la atmósfera (66%), el cual se genera principalmente a causa de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles 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 natural ciclo del carbono, sumando más concentración de CO₂ a la atmósfera, destruyendo los bosques que tienen la capacidad de absorber el CO₂ de la atmósfera y alterando los usos de las tierras afectando el almacenamiento del carbono en ellas. Si bien las emisiones de CO₂ provienen de diversas fuentes naturales, las emisiones relacionadas con las actividades del hombre son las responsables del excesivo aumento que se ha registrado en la atmósfera desde la revolución industrial.

El promedio mundial de la concentración de CO₂ correspondiente a 2020 fue de $413,2 \pm 0,2$ ppm, lo cual representa un aumento 149% desde los niveles preindustriales. Se observó un incremento de 2,5 ppm de 2019 a 2020, lo que resulta un incremento promedio de 2.40 ppm/año en los últimos 10 años.

En la estación VAG Ushuaia se registran concentraciones de CO₂ mediante dos programas de medición. El primero, a través de un proyecto de NOAA, que inició en 1994, por medio de mediciones discontinuas con flask y cuyo registros se muestran en la Figura 6. En la gráfica superior de la Figura 6, se muestran con una línea negra, los promedios mensuales de la concentración CO₂ y con una línea roja, la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CO₂.

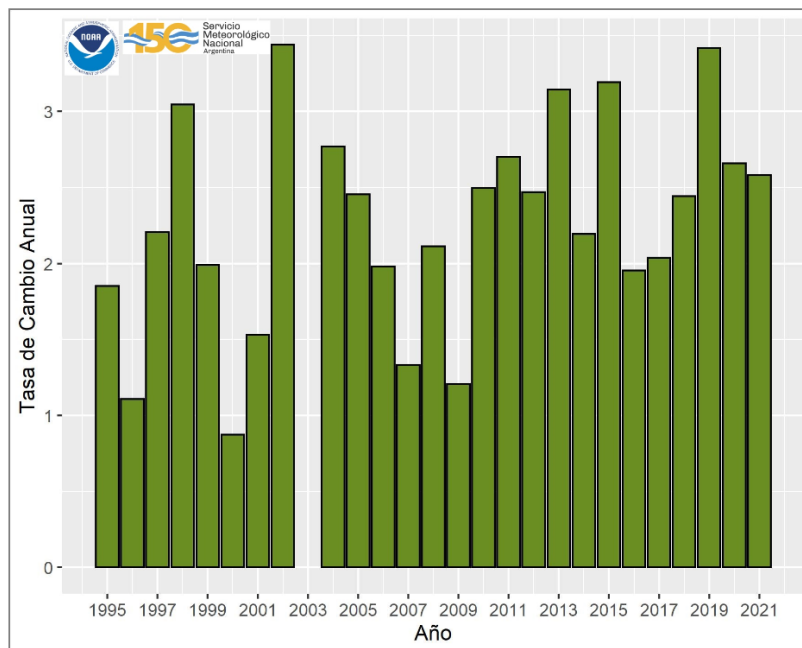
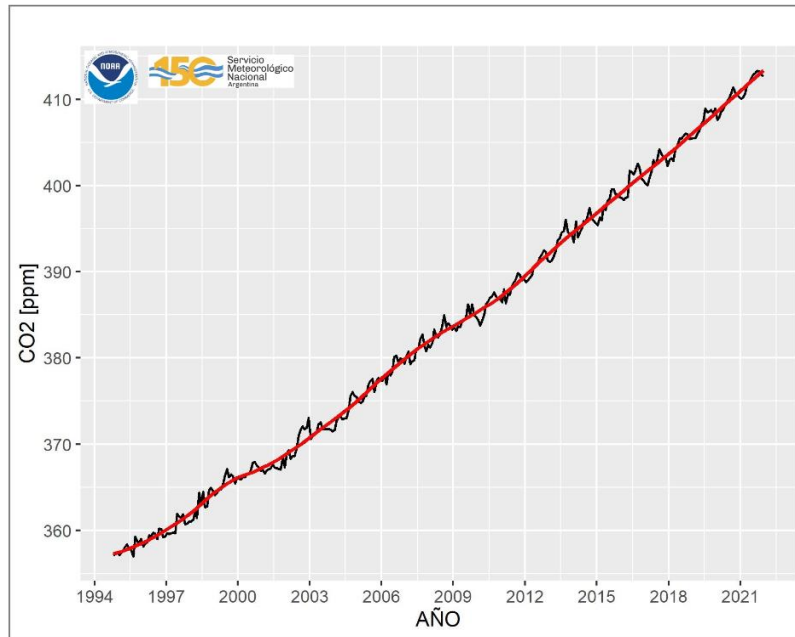


Figura 6. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2021). La línea negra representan los promedios mensuales de la concentración CO₂ y la línea roja corresponde a la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CO₂. Abajo. Crecimiento anual del CO₂, calculado a partir de la diferencia en la concentración de diciembre y enero de ese año.

El segundo programa de medición de CO₂, es a través de un analizador Picarro G2401, el cual registra mediciones continuas, obteniéndose promedios por minuto. La Figura 7 muestra, representadas por la línea continua azul, las concentraciones medias diarias de CO₂ registradas con Picarro y las mediciones registradas con flask, indicadas con puntos rojos, durante el mismo período 2017-2021.

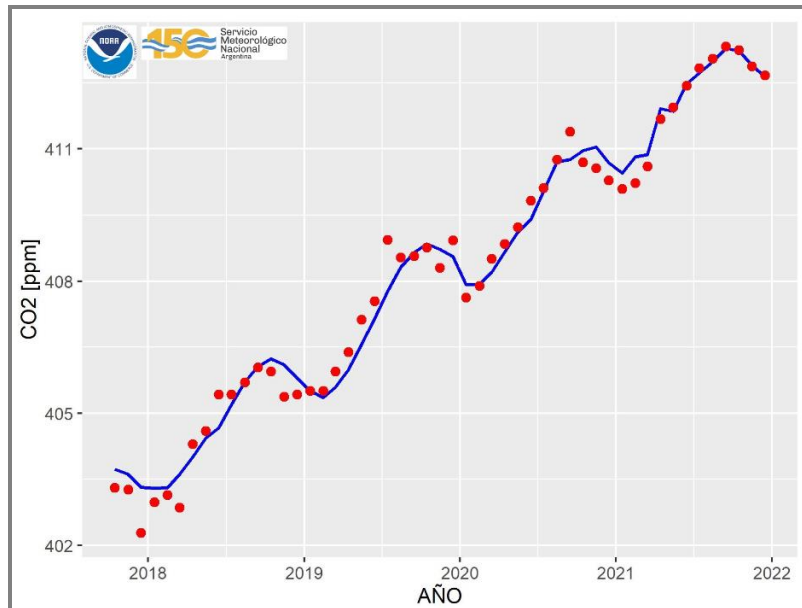


Figura 7. Mediciones de concentración promedio mensual de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, registradas con el analizador Picarro G2401 (línea azul) y mediciones con flask del proyecto de NOAA (puntos rojos).

En la figura 7 se puede apreciar el aumento constante en la concentración de CO₂, obteniéndose valores representativos del hemisferio Sur y también se distinguen los ciclos naturales del CO₂. Durante la primavera del hemisferio Sur (otoño del hemisferio Norte) las plantas inician el proceso de ahorro energía, disminuyendo su fotosíntesis y prescindiendo del CO₂ del ecosistema, dando lugar a un aumento de CO₂ de la atmósfera. En primavera y verano del hemisferio Norte (otoño – invierno del hemisferio Sur) es el fenómeno inverso, las plantas comienzan la fotosíntesis y consumen CO₂ de la atmósfera, para utilizarlo como fuente de carbono para su crecimiento y reproducción, provocando una disminución en los niveles de CO₂ en nuestra región.

Al mismo tiempo en la Figura 7, se representaron las muestras de aire con flask, realizadas durante el mismo período de funcionamiento del Picarro, observándose una muy buena correlación entre las mediciones continuas del analizador y las discretas de los flask.

En ambos programas de medición solo se consideran las concentraciones obtenidas bajo las condiciones de background o fondo del planeta, o sea cuando las masas de aire se consideran libre de contaminación antropogénica. En el caso de la estación VAG Ushuaia, es cuando las masas de aire provienen del sector S – SW.

Las mediciones de CO₂ realizadas en Ushuaia durante el 2021 alcanzaron un máximo en su concentración de 413,2 ppm en los meses de septiembre y octubre, según las mediciones del analizador Picarro y coincidiendo con los 413,3 ppm obtenidos de las muestras de flask para los mismos meses.

En Marambio las concentraciones de CO₂ se monitorean en forma continua a través del analizador continuo Picarro G2401. Los datos registrados se muestran en la Figura 8.

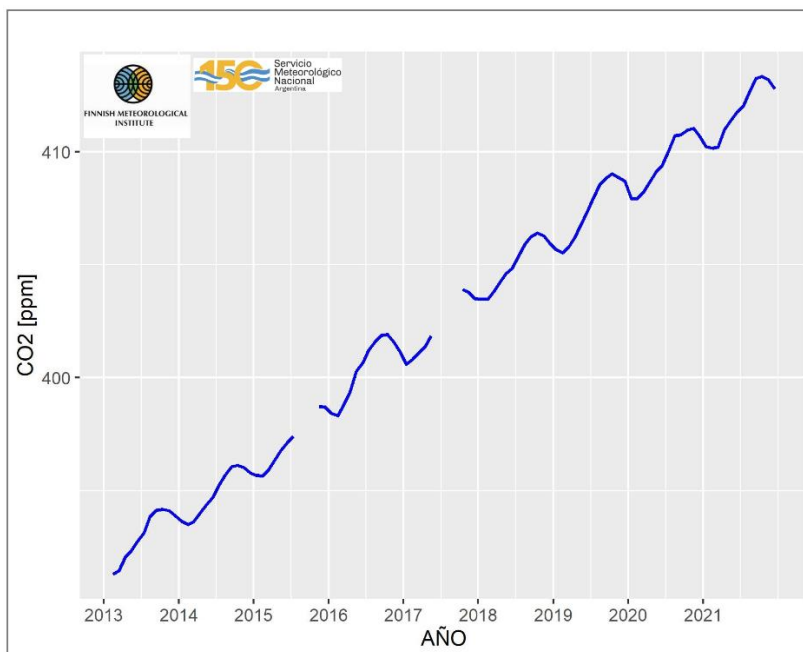


Figura 8. Mediciones de concentración promedio mensual de CO2 en Marambio, registradas durante 2013-2021 con el analizador Picarro G2401. (Fuente Instituto Finlandés de Meteorología (FMI))

La serie de datos de concentración de CO2 registradas en Marambio muestra el aumento constante que se da cada año describiendo los ciclos anuales para el hemisferio Sur. Durante el 2021 se registró una concentración máxima de CO2 de 413,2 ppm en el mes de septiembre y octubre.

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 metano. Otras fuentes de generación de metano 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. Además, al ser uno de los principales componentes del gas natural, se extrae en yacimientos para ser utilizado como combustible o con fines industriales.

El CH4 contribuye al cambio climático, aunque su duración en la atmósfera es relativamente corta comparada con la de otros GEI, pero a la vez es más eficaz a la hora de atrapar el calor.

En la Figura 9 se muestran la serie de concentraciones de CH4 que se registraron en la estación VAG Ushuaia, a través de proyecto que lleva a cabo NOAA, desde 1994 hasta la actualidad. En la gráfica se presentan con una línea negra, los promedios mensuales de la concentración CH4 y con la línea roja, la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CH4.

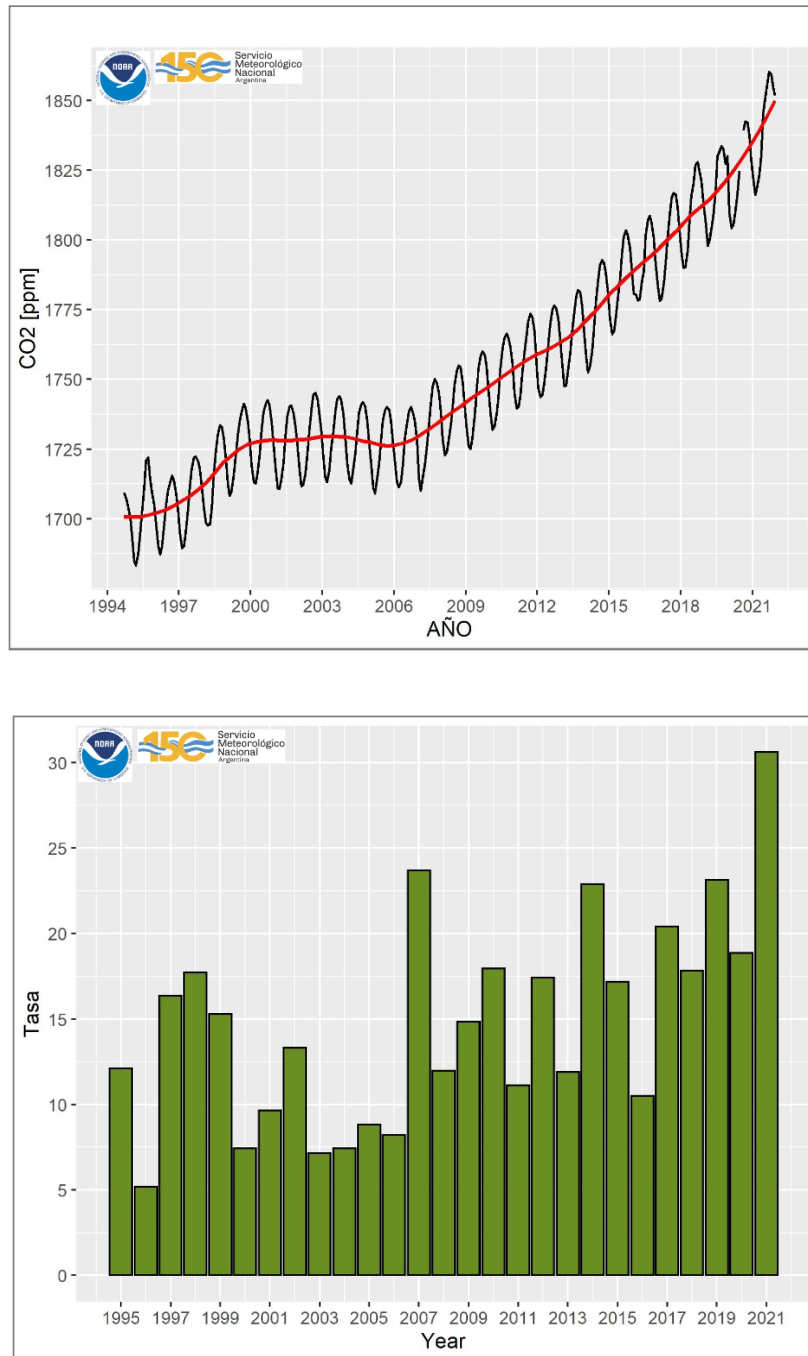


Figura 9. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de CH₄ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2021). La línea negra representa los promedios mensuales de la concentración CH₄ y la línea roja, corresponde a la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CH₄. Abajo. Crecimiento anual del CH₄, calculado a partir de la diferencia en la concentración de diciembre y enero de ese año.

En Ushuaia, al igual que con el CO₂, se realizan mediciones continuas de CH₄ con el analizador continuo Picarro G2401. La figura 10 representa con la línea azul, las mediciones medias diarias del analizador Picarro y con puntos azules, las tomas de muestras de aire con flask del proyecto de NOAA durante el período de medición con el Picarro. Ambos programas de medición tienen una muy buena correlación y siguen el comportamiento cíclico del CH₄ en la atmósfera.

Las concentraciones de CH₄ registradas en Ushuaia para el 2021, alcanzan un máximo de 1860,1 ppb durante, medida con el analizador Picarro y coinciden con los 1860,3 ppb de las mediciones de flask para septiembre.

La figura 10 muestra las concentraciones medias diarias de CH₄ registradas en Ushuaia el analizador Picarro, representadas por la línea continua azul, y las mediciones registradas con flask, indicadas con puntos rojos, durante el mismo período.

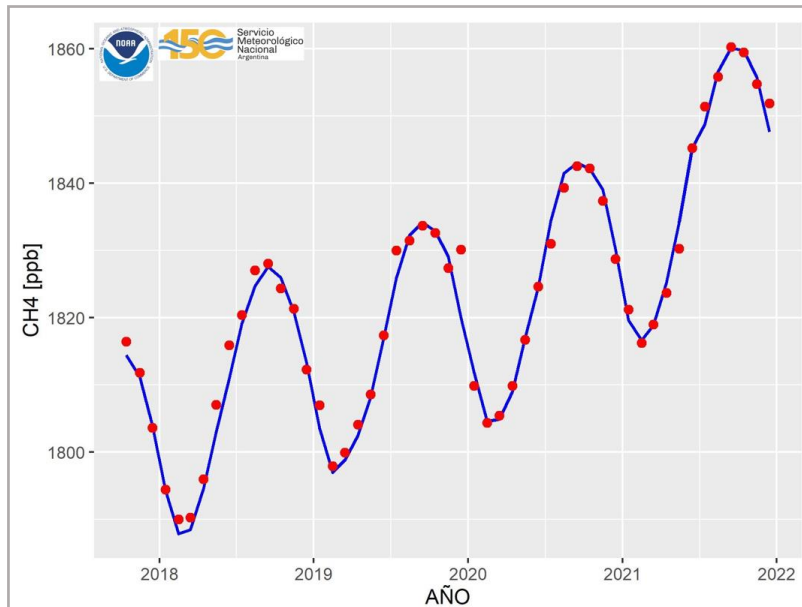


Figura 10. Mediciones de concentración promedio mensuales de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, registradas con el analizador Picarro G2401 (línea azul) y mediciones con flask del proyecto de NOAA (puntos rojos).

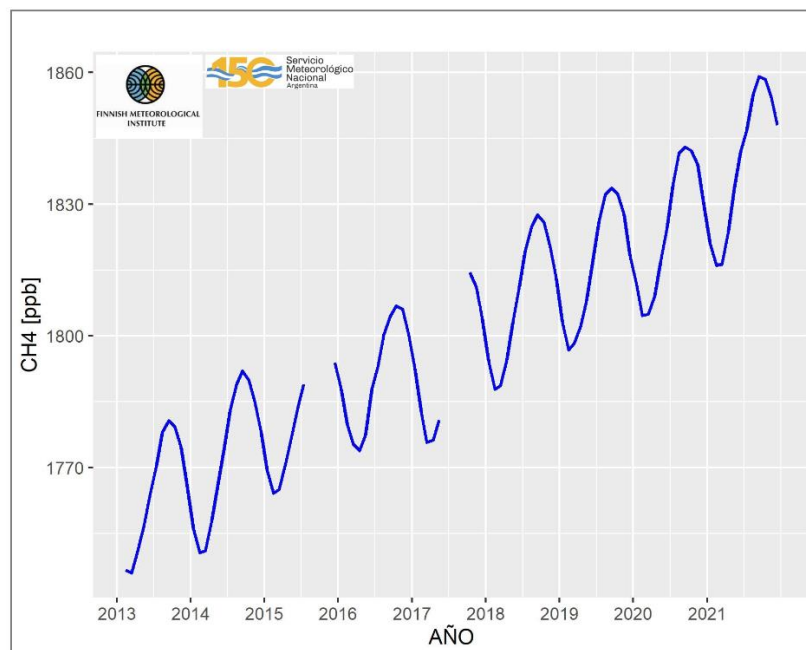


Figura 11. Mediciones de concentración promedio mensuales de CH₄ en Marambio, registradas durante 2017-2021 con el analizador Picarro G2401. (Fuente Instituto Finlandés de Meteorología (FMI))

En la Figura 11 muestra los registros obtenidos en Marambio con un analizador continuo Picarro G2401. Los registros describen los ciclos anuales de este GEI y el aumento constante en su concentración cada año. Durante el 2021 se alcanzó un máximo en la concentración de CH₄ de 1858,7 ppb, durante septiembre – octubre, mientras que los mínimos, se registraron en febrero - marzo con 1815,5 ppb de CH₄.

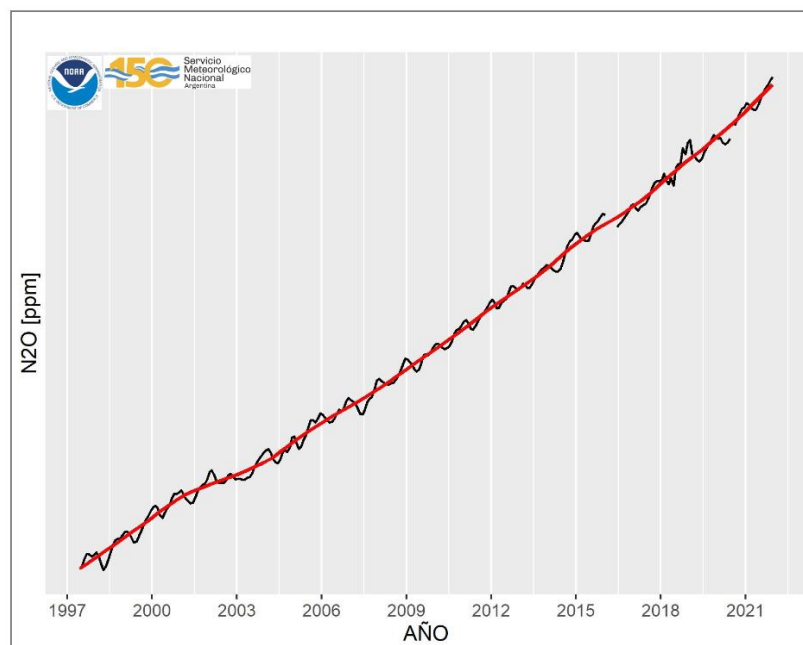
Óxido Nitroso

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 calórico es superior al del CO₂ y además su permanencia en la estratosfera genera la destrucción de moléculas de ozono.

El N₂O 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, la combustión de combustibles, el manejo de aguas residuales y ciertos procesos industriales dan origen a emisiones de N₂O a la atmósfera.

En la estación VAG Ushuaia se registraron datos de N₂O desde 1996 a la actualidad y los mismos se pueden observar en la Figura 12. Las concentraciones registradas en durante el 2021 alcanzan un mínimo de 332,8 ppb, durante los meses de marzo y abril y un máximo de 334,4 ppb en el mes de diciembre.

En la Figura 12 se diferencian, con una línea negra, los promedios mensuales de la concentración de N₂O y con una línea roja, la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del N₂O



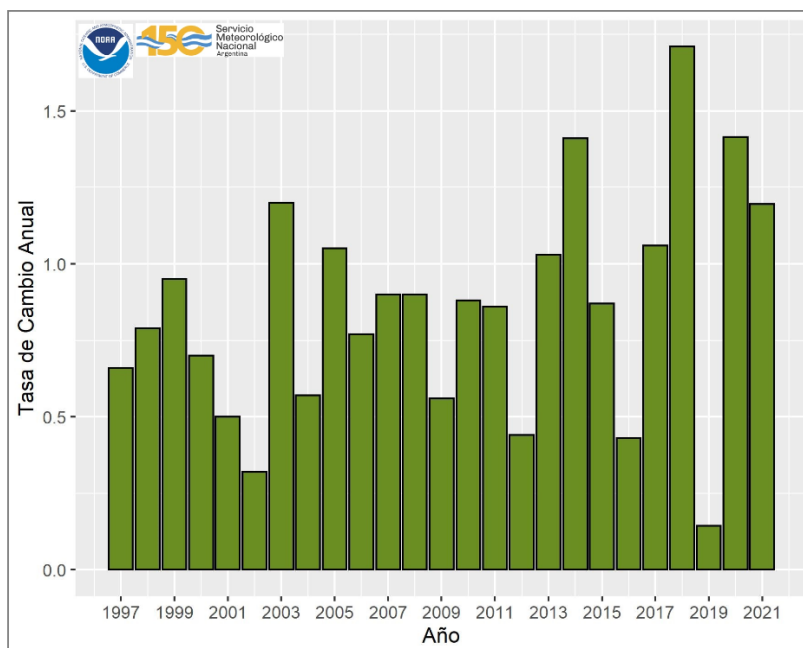


Figura 12. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de N₂O en la Estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2021). Los línea negra representa los promedios mensuales de la concentración N₂O y la línea roja, corresponde a la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del N₂O. Abajo. Crecimiento anual del N₂O, calculado a partir de la diferencia en la concentración de diciembre y enero de ese año.

Proyecciones de los GEI en la VAG-Ushuaia.

Según el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en 2021, los científicos están observando cambios en el clima de la Tierra en todas las regiones y en el sistema climático en general. Los cambios observados no tienen precedente y muchos ya se están observando, tales como el aumento continuo del nivel del mar.

Por ello, una reducción sostenida en el tiempo de las emisiones de los GEI permitiría limitar el cambio climático, y así, aunque las mejoras en la calidad del aire serían rápidas, podrían pasar entre 20 y 30 años hasta que las temperaturas mundiales se estabilizasen, según el informe del IPCC.

Las estimaciones prevén sobre las probabilidades de sobrepasar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, a menos que las emisiones de GEI se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, de esta manera limitar el calentamiento que se estima.

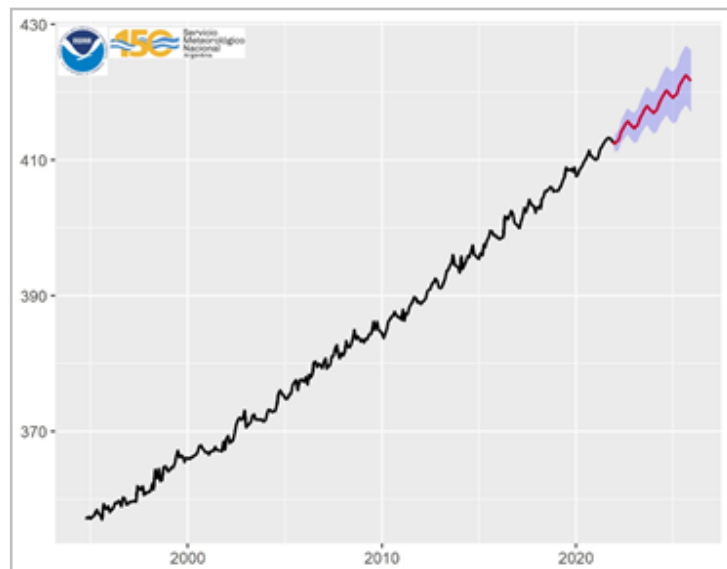
De no ser así, como consecuencia del cambio climático, las diferentes regiones experimentan distintos cambios, que se intensificarán con el aumento del calentamiento; en particular, se observarán cambios en la humedad y la sequedad, en los vientos, la nieve y el hielo, en las zonas costeras y los océanos.

En base a ese escenario mundial realizamos tres proyecciones estadísticas de los tres principales GEI (CO₂, CH₄, N₂O) para las mediciones llevadas a cabo con el proyecto NOAA en la estación VAG Ushuaia, utilizando el modelo estadístico ARIMA para los próximos 4 años (2022 al 2025), las mismas se muestran en la Figura 13.

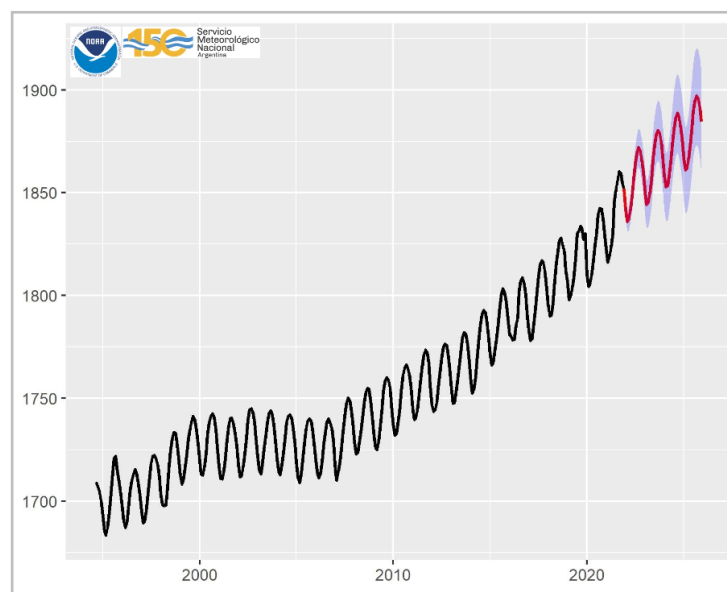
En la figura 13 a. se observa un incremento sostenido del CO₂, de tal manera que para finales del año 2025 el valor medio mensual de la concentración de CO₂ será de 422.5 ppb, comparado con los 413,3 ppm del 2021, es decir se espera un incremento de 9,2 ppm durante los próximos 4 años ($2,3 \text{ ppm} \cdot \text{Año}^{-1}$).

Para el CH₄, según la proyección realizada en la Figura 13 b., se alcanzaría una concentración de 1897.0 ppb para el año 2025, en tanto para el 2021 su concentración fue 1860,4 ppb, es decir se incrementaría 36,6 ppb en los próximos 4 años ($9,2 \text{ ppb} \cdot \text{Año}^{-1}$).

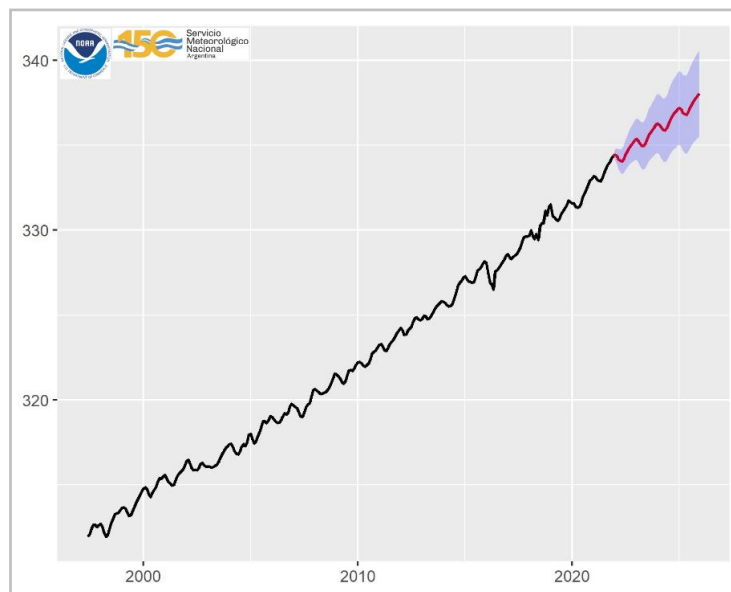
Finalmente, el gas N₂O puede alcanzar los 338.1 ppb para el año 5 comparado con los 334,4 ppb del año 2021, o sea se incrementaría 3,7 ppb ($0,9 \text{ ppb} \cdot \text{Año}^{-1}$) según las proyecciones realizadas (Figura 13 c.).



(a)



(b)



(c)

Figura 13. Proyecciones estadísticas a 4 años (intervalo de confianza del 95%) para los tres principales GEI en la estación VAG Ushuaia. a. Mediciones de las fracciones molares expresadas en partes por millón (ppm) de CO₂. b. Mediciones de las fracciones molares expresadas en partes por billón (ppb) de CH₄. c. Mediciones de las fracciones molares expresadas en partes por billón (ppb) de N₂O.

Conclusiones

De acuerdo a lo que se viene observando todos los años, las series de datos de concentración de los GEI presentados en este boletín muestran un incremento respecto a las mismas del año anterior. Este aumento que registramos en Ushuaia y Marambio coincide con los que se muestran en otras estaciones VAG y los datos promedio a nivel global, tal como lo muestra en Boletín N°17 de OMM.

Es evidente que la tendencia de los GEI se ha acelerado significativamente en los últimos años, por ello, en este contexto, las proyecciones estadísticas realizadas a través del modelo ARIMA, muestran una tendencia en el incremento de las concentraciones de los GEI analizados para los próximos 4 años (2022 a 2025), con un aumento de 2,3 ppm*Año⁻¹ para el CO₂, mientras que el CH₄ se espera que continúe su incremento a un ritmo de 9,2 ppb*Año⁻¹ y finalmente, el N₂O con 0,9 ppb*Año⁻¹ de aumento.

Esto significa que a pesar de los esfuerzos en cumplir con los objetivos de mitigación, éstos no son suficientes y que de seguir con este incremento en las emisiones de GEI, se cumplirán las proyecciones de un calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, respecto a los niveles preindustriales y los impactos en el cambio climático cada vez serán más notorios, tal como lo expone el informe del IPCC de año 2021.

Referencias

- Informe IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis. (2021)
- Boletín de gases de efecto invernadero de la OMM (Boletín de GEI) - No.17: El estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera basado en observaciones globales hasta 2020. (2021)
- 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.
- Carbajal, B., G. y Barlasina, Ma. E., Greenhouse gases measuring network of the Argentina Meteorological National Service/ red de medición de gases de efecto invernadero del servicio meteorológico nacional argentino. Taller Regional de Metrología y Retos Tecnológicos en las Ciencias del Clima y la Energía Renovable. LATU, Montevideo, 2014. Uruguay
<https://www.nist.gov/system/files/documents/iaao/1010GerardoCarbajalBenitez.pdf>.
- Carbajal, B., G., Barlasina, M. E., y Condori, L., 2021: Evaluación de seis metodologías para analizar ajustes y tendencias de los datos de los tres principales gases de efecto invernadero en la estación de vigilancia atmosférica global de Ushuaia. Nota Técnica SMN 2021-91.
- Carbajal, B., G., Barlasina, Ma. E., y Condori, L., 2021: Evaluación de seis metodologías para analizar ajustes y tendencias de los datos de los tres principales gases de efecto invernadero en la estación de vigilancia atmosférica global de Ushuaia. Parte 2: metano (CH₄). Nota Técnica SMN 2021-100.
- Carbajal B., G., M. E. Barlasina, L. Condori, 2021: Evaluación de seis metodologías para analizar ajustes y tendencias de los datos de los tres principales gases de efecto invernadero en la estación de vigilancia atmosférica global de Ushuaia. Parte 3: óxido nitroso (N₂O). Nota Técnica SMN 2021-101.
- 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.