

Boletín Gases de Efecto Invernadero

Año 2021

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 (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.

Las emisiones antropogénicas de CO_2 han ido aumentando a escala mundial desde la época preindustrial (antes de 1750). Ese aumento se ha podido registrar gracias a la red mundial de estaciones de observación en superficie del programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) (Figura 1), que detecta cambios a escala global en la concentración de CO_2 y otros GEI en la atmósfera a largo plazo.

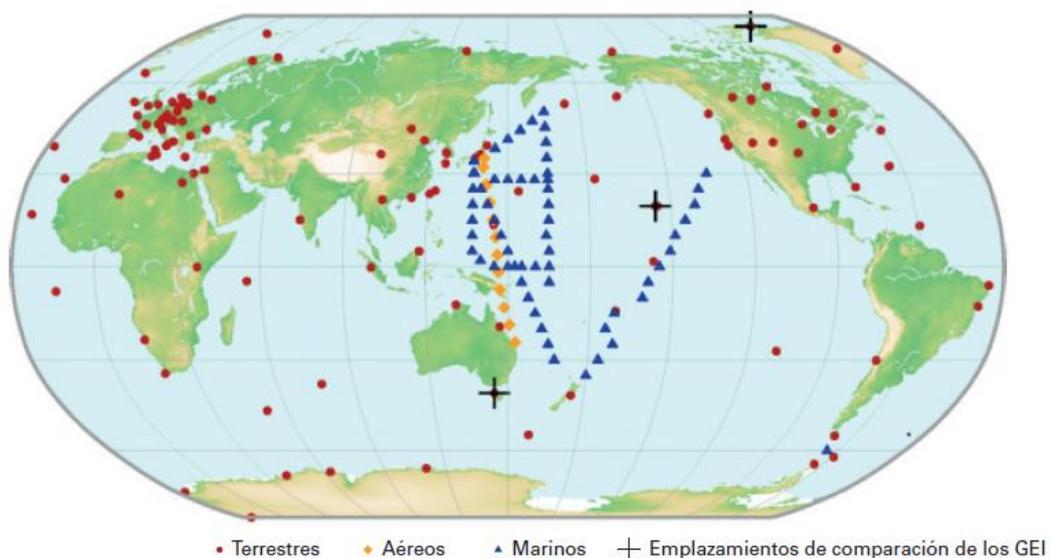


Figura. 1. Red mundial de observación in situ de GEI de estaciones VAG. (Fuente: OMM)

A principio del año 2020, durante las medidas más restrictivas del confinamiento forzoso debido al COVID-19, se observaron reducciones en las emisiones mundiales diarias de CO₂, sin embargo a escala mundial, esas reducciones no significaron una disminución en la concentración de CO₂ atmosférico. La gran variabilidad atmosférica natural del CO₂ hace que la determinación de los cambios en el aporte de los combustibles fósiles requiera una larga serie temporal, que permita generar estadísticas confiables, así como una compleja modelización de datos.

Los datos obtenidos a partir de la red VAG de Organización Meteorológica Mundial (OMM), y resumidos en la Tabla 1 del Boletín N° 16 de la OMM sobre GEI, muestra que los promedios mundiales de las fracciones molares de los tres principales GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) alcanzaron nuevos niveles máximos en 2019, registrando, 410,5 ± 0,2 ppm, 1.877 ± 2 ppmm y 332,0 ± 0,1 ppmm en la concentración de CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente. Esos valores corresponden al 148 %, el 260 % y el 123 % de los niveles preindustriales de los tres GEI. El aumento en la concentración de CO₂ de 2018 a 2019 fue superior al observado de 2017 a 2018 y mayor a la tasa de aumento medio anual del último decenio. En el caso del CH₄, la tasa de aumento de 2018 a 2019 fue ligeramente inferior a la observada entre 2017 y 2018, pero siguió siendo superior a la tasa de incremento medio anual del decenio anterior. En cuanto al N₂O, el incremento en su concentración de 2018 a 2019 fue inferior al observado de 2017 a 2018 y prácticamente igual a la tasa de aumento medio anual de los últimos diez años.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Abundancia media mundial en 2019	410,5 ± 0,2 ppm	1 877 ± 2 ppmm	332,0 ± 0,1 ppmm
Abundancia en 2019 con relación a 1750 ^a	148 %	260 %	123 %
Aumento en valor absoluto entre 2018 y 2019	2,6 ppm	8 ppmm	0,9 ppmm
Aumento en valor relativo entre 2018 y 2019	0,64 %	0,43 %	0,27 %
Aumento anual medio en valor absoluto en los últimos 10 años	2,37 ppm año ⁻¹	7,3 ppmm año ⁻¹	0,96 ppmm año ⁻¹

^a Suponiendo fracciones molares preindustriales de 278 ppm para el CO₂, 722 ppmm para el CH₄ y 270 ppmm para el N₂O. Número de estaciones utilizadas para los análisis: 133 para el CO₂, 134 para el CH₄ y 100 para el N₂O.

Tabla 1. Promedio mundial anual de las concentraciones en superficie en 2019 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. 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.

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

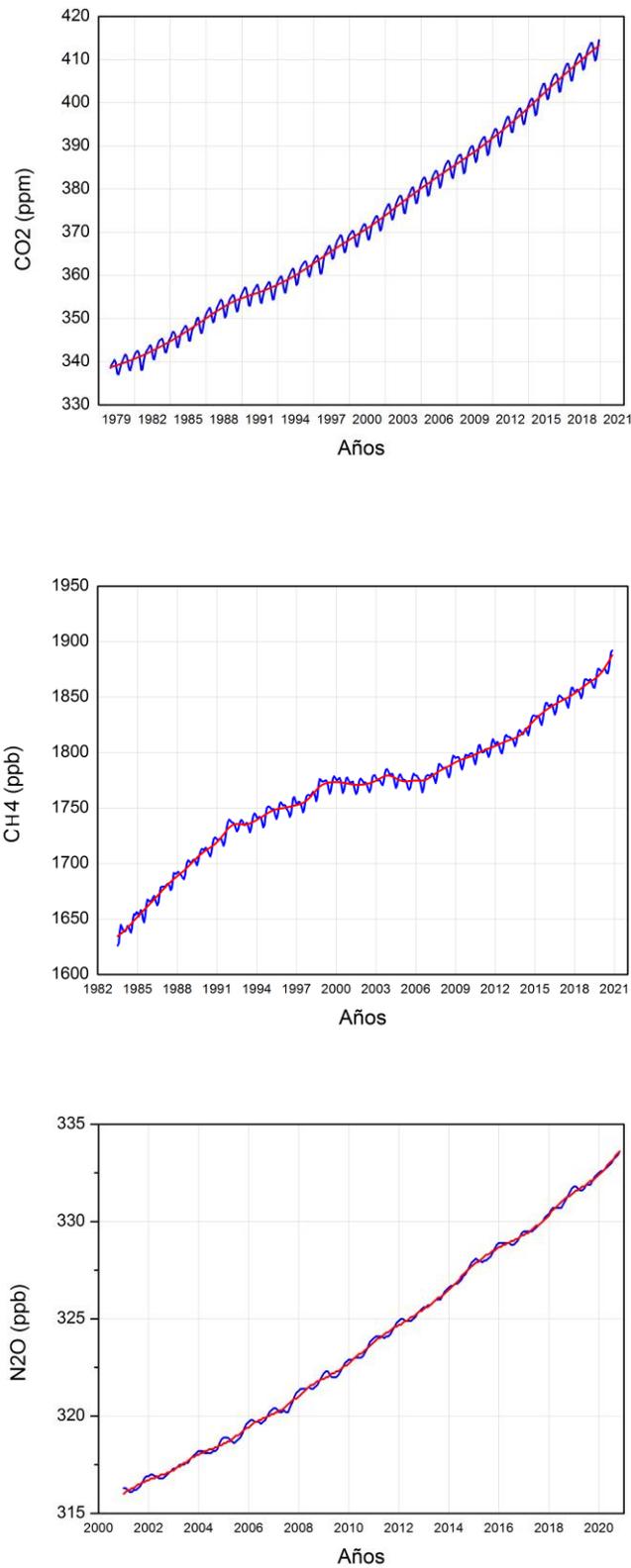


Figura. 2. Evolución de las fracciones molares medias globales para los principales GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) desde 1984 hasta 2019, según las observaciones de la red del programa VAG-OMM. (Fuente OMM)

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 Argentina

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en 1992, se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el objetivo de reforzar la conciencia pública en el mundo sobre el cambio climático y solicitando a los países que informen sobre sus inventarios de GEI.

En ese marco de concientización sobre el 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 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. Para poder predecir la evolución de la concentración atmosférica de los GEI es necesario tener un conocimiento cuantitativo de las numerosas fuentes, sumideros y transformaciones químicas de esos gases en la atmósfera. 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.

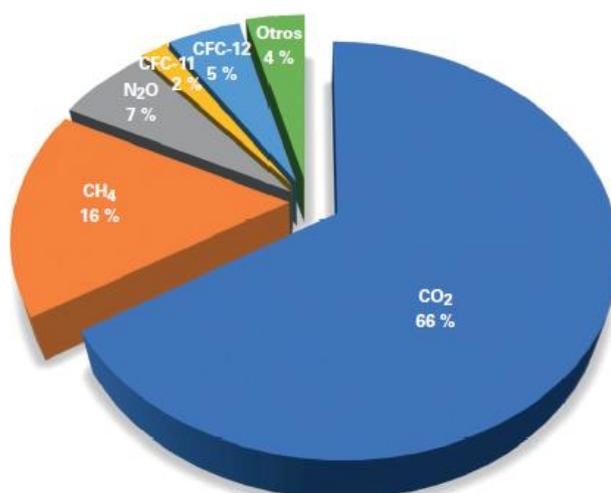


Figura 3. Contribuciones de los GEI de larga duración más importantes, al aumento del forzamiento radiativo mundial desde la era preindustrial hasta 2019. (Fuente OMM)

En la figura 3 se presentan las contribuciones relativas, de los GEI de larga duración más importantes, al aumento del forzamiento radiativo mundial desde la era preindustrial (1750) hasta 2019.

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.

Programa de Medición GEI 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.

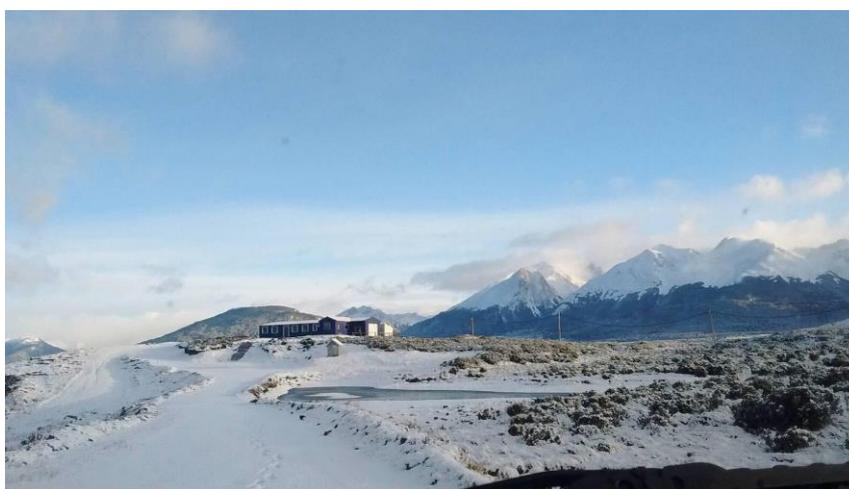


Figura 4. Estación VAG Ushuaia. Tierra del Fuego. Argentina

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 CO₂, CH₄, 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 (CH₄, CO₂ y vapor de H₂O) 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 2019 fue de $410,5 \pm 0,2$ ppm, con un aumento de la media anual de 2,6 ppm de 2018 a 2019, ambos valores superiores a los registrados de 2017 a 2018.

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 los promedios mensuales de la concentración CO₂ y la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CO₂. La gráfica inferior, detalla el crecimiento anual del CO₂, calculado a partir de la diferencia de la concentración entre diciembre y enero. El segundo programa de medición de CO₂, es a través de un analizador Picarro G2401, el cual registra mediciones continuas por minuto. En la Figura 7 se muestran los datos medios diarios obtenidos con el analizador durante el 2020.

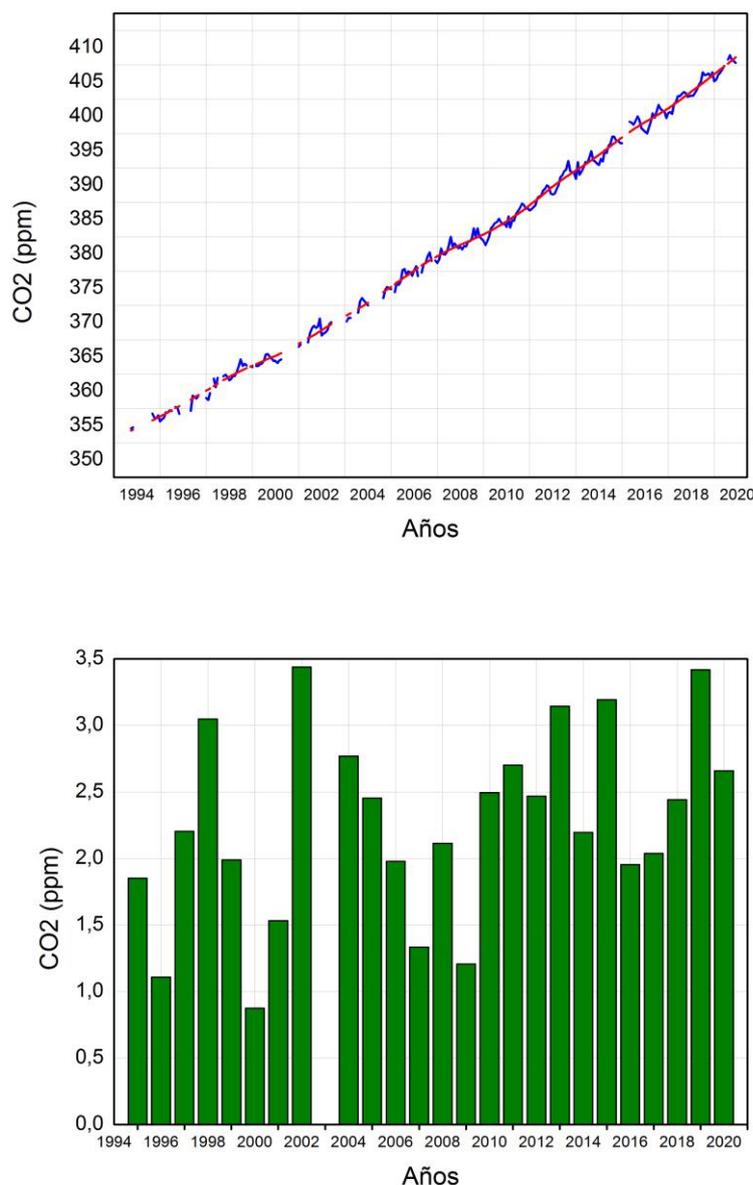


Figura 6. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2019). Los puntos azules representan los promedios mensuales de la concentración CO₂ y la línea roja corresponde a la concentración media 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.

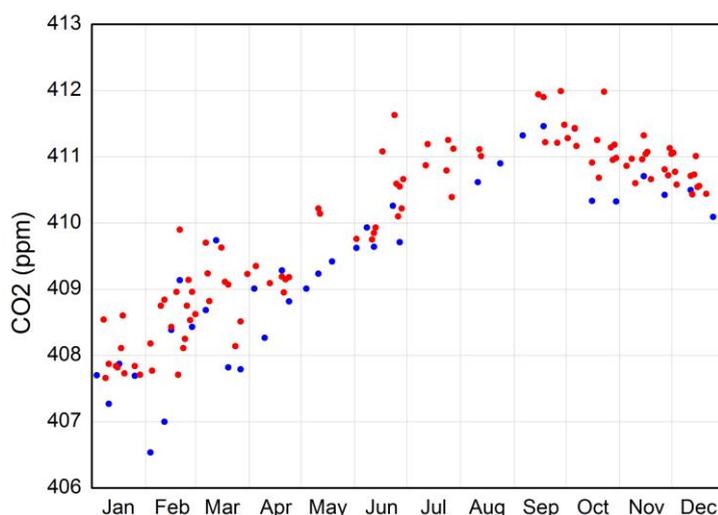


Figura 7. Mediciones de concentración promedio diarias de CO₂ en la estación VAG Ushuaia, registradas con el analizador Picarro G2401 (puntos rojos). Mediciones con flask del proyecto de NOAA (puntos azules).

En la figura 7 se muestran los promedios diarios registrados con el analizador continuo Picarro G2401, donde se puede ver el aumento de concentración de CO₂ desde los primeros meses del 2020, coincidiendo con el ciclo natural del CO₂ para el hemisferio Sur. 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.

En la Figura 7 también representan las tomas de muestras de aire con flask realizadas durante el 2020, en el marco del proyecto de NOAA, observándose una 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 2020 alcanzaron un máximo en su concentración de 411,9 ppm en el mes de septiembre, según las mediciones del analizador Picarro, mientras que las muestras de flask muestran un valor de CO₂ de 411,4 ppm para el mismo mes.

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.

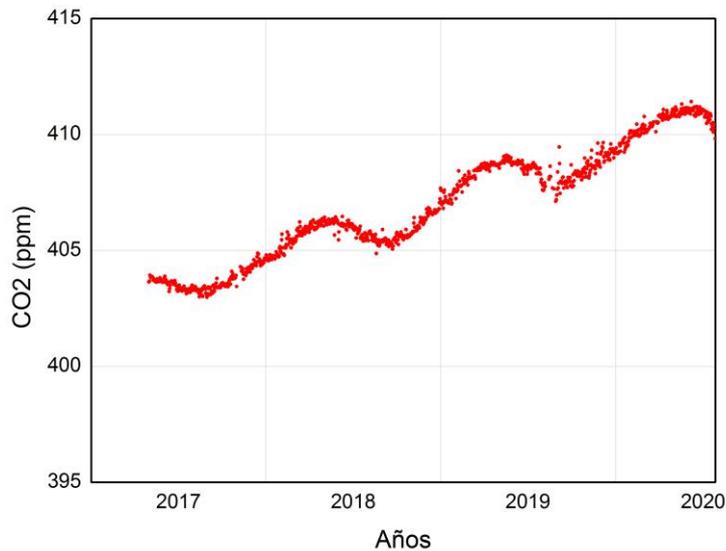


Figura 8. Mediciones de concentración promedio diarias de CO₂ en Marambio, registradas durante 2017-2020 con el analizador Picarro G2401. (Fuente Instituto Finlandés de Meteorología (FMI))

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 2020 se registró una concentración máxima de CO₂ de 411,2 ppm en el mes de noviembre y una mínima de 407,1 ppm en febrero.

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 superior, se presentan los promedios mensuales de la concentración CH₄ y la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del CH₄. La gráfica inferior, detalla el crecimiento anual del CH₄ calculado a partir de la diferencia de la concentración entre diciembre y enero.

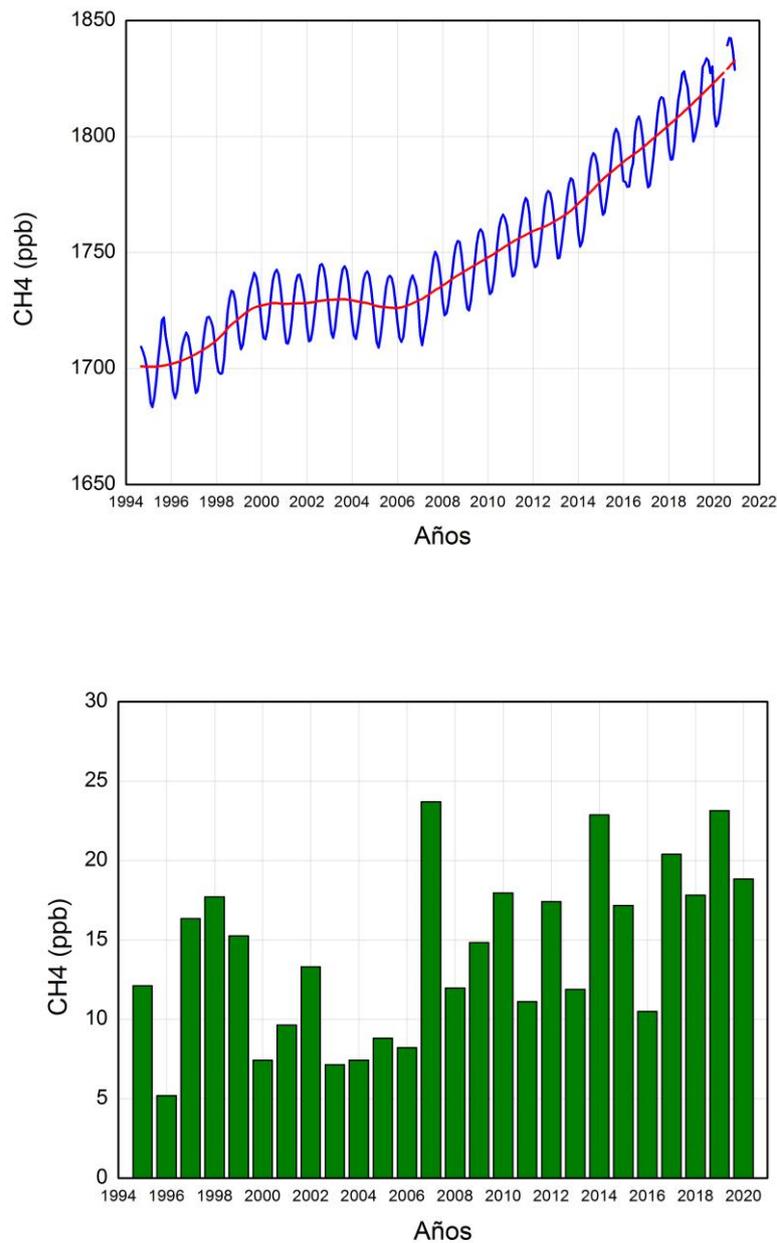


Figura 9. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de CH₄ en la estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2020). Los puntos azules representan los promedios mensuales de la concentración CH₄ y la línea roja corresponde a la concentración media 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 puntos rojos, 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 2020. 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 2020, alcanzan un máximo de 1842,5 ppb durante septiembre, medida con el analizador Picarro y de 1842,9 ppb para octubre, con las mediciones de flask. Los mínimos se dan en el mes de febrero con 1804,23 ppb y 1803,2 ppb, según las mediciones del analizador y flask respectivamente.

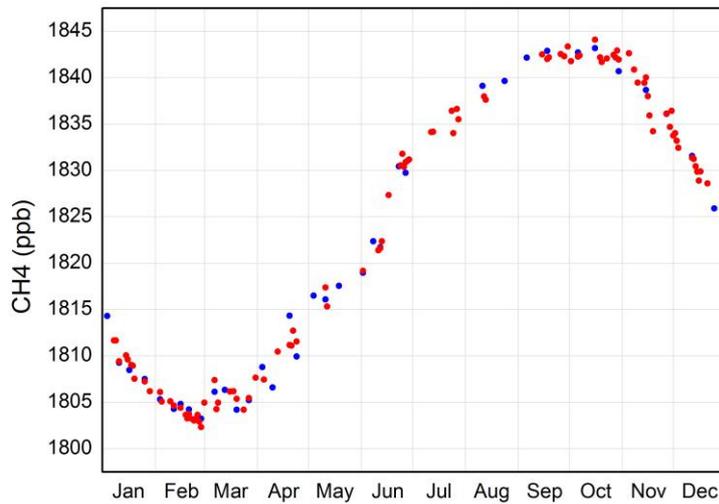


Figura 10. Mediciones de concentración promedio diarias de CH₄ en la estación VAG Ushuaia, registradas con el analizador Picarro G2401 (puntos rojos). Mediciones con flask del proyecto de NOAA (puntos azules).

Los registros de la concentración de CH₄ en la estación Marambio describen los ciclos anuales de ese GEI, observándose un aumento constante cada año. En el año 2020 se alcanzó un máximo en la concentración, de 1842 ppb durante septiembre –octubre y los mínimos en febrero, con 1804 ppb.

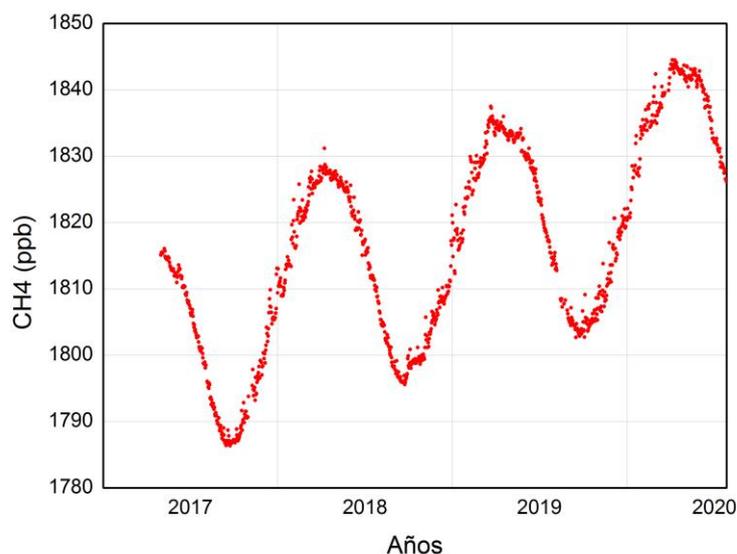


Figura 11. Mediciones de concentración promedio diarias de CH₄ en Marambio, registradas durante 2017-2020 con el analizador Picarro G2401. (Fuente Instituto Finlandés de Meteorología (FMI))

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.

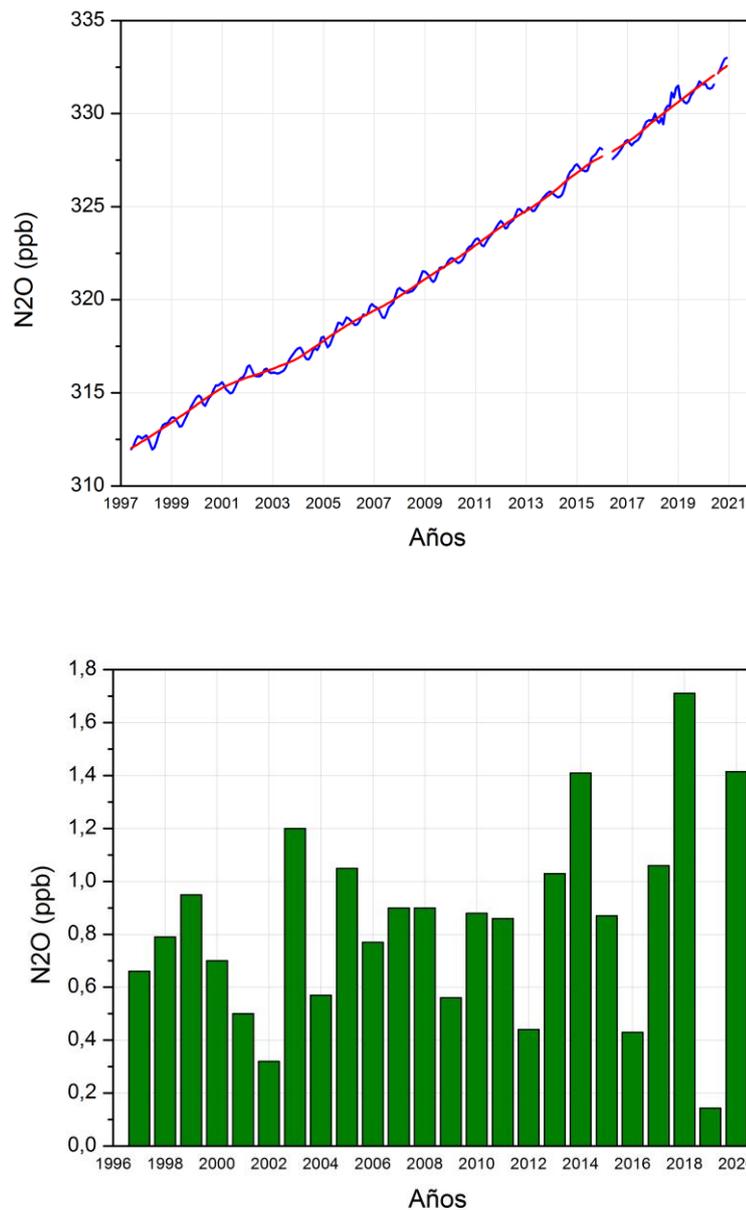


Figura 12. Arriba. Mediciones de las fracciones molares de N₂O en la Estación VAG Ushuaia, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de NOAA (1994- 2020). Los puntos azules representan los promedios mensuales de la concentración N₂O y la línea roja corresponde a la concentración media 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.

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 2020 alcanzan un mínimo de 331,4 ppb, durante el mes de febrero y un máximo de 332,9 ppb en el mes de noviembre.

En la imagen superior de la Figura 12 se diferencian, en azul, los promedios mensuales de la concentración de N₂O y en rojo, la concentración media mensual que resulta de suprimir la variación estacional del N₂O. El crecimiento anual del N₂O, en ppb, calculado a partir de la diferencia de la concentración entre diciembre y enero, se muestra en la imagen inferior de la Figura 12.

Proyecciones de los GEI en la VAG-Ushuaia.

En el último informe del IPCC publicado en septiembre del 2019, realiza un estudio especial acerca de temas concretos como, fenómenos extremos y desastres, energías renovables, impactos del calentamiento global de 1.5 °C, y trayectorias correspondientes de las emisiones de GEI, los océanos y la criósfera, y usos de la tierra.

Es importante establecer, antes del análisis de las proyecciones de los tres principales GEI, lo que manifiesta un párrafo de dicho informe del IPCC “El calentamiento global antropógeno en escalas de tiempo multidecenales se detendría si se alcanzaran y mantuvieran emisiones globales netas de CO₂ iguales a cero y se redujera el forzamiento radiativo neto distinto del CO₂ (nivel de confianza alto). Por consiguiente, la temperatura máxima que se alcanzará está determinada por las emisiones antropogénicas globales netas de CO₂ acumuladas hasta el momento en que las emisiones netas de CO₂ sean iguales a cero (nivel de confianza alto) y por el nivel de forzamiento radiativo distinto del CO₂ en los decenios inmediatamente anteriores al momento en que se alcancen esas temperaturas máximas (nivel de confianza medio). En escalas temporales más largas, para evitar un mayor calentamiento debido a la retroalimentación del sistema Tierra y la acidificación inversa de los océanos, podría hacer falta mantener emisiones antropogénicas globales netas negativas de CO₂ o reducir aún más el forzamiento radiativo distinto del CO₂ (nivel de confianza medio); ambas condiciones serán necesarias para minimizar el aumento del nivel del mar (nivel de confianza alto)” (IPCC, 2019).

El año 2020 se caracterizó por estar entre los tres años más calientes desde que se tiene registro, junto con los años 2016 y 2019. Si esta situación o tendencia persiste, seguramente el 2021, será un año que podía ser el más cálido que los anteriores. Debido a la pandemia mundial, dos eventos cumbres, cruciales para el medio ambiente fueron suspendidos: la reunión climática que se debía celebrar en Glasgow (Reino Unido) y la de biodiversidad de Kunming (China).

En Glasgow (Cumbre del clima) los países tenían que haber presentado sus planes de recorte de emisiones de GEI más ambiciosos, de los que han sido presentados en el acuerdo de París.

En un comunicado, la Agencia Internacional de la Energía prevé que para el año 2021, las emisiones de CO₂ ligadas a la energía, tendrían un crecimiento aproximadamente del 5%, lo que podría llegar a ser, el segundo mayor crecimiento registrado hasta ahora. Una situación anterior se presentó en el año 2010, después de una gran crisis financiera.

Aproximadamente, la mitad (~51%) del CO₂ emitido, se acumulándose en la atmósfera y el resto lo absorben los océanos y la vegetación terrestre. Esa acumulación atmosférica, es la más alta de los últimos 800.000 años según la OMM.

En el Acuerdo de París se estableció que, para evitar los efectos más desastrosos del cambio climático, los países debían reducir sus emisiones de tal forma que a partir de 2050 tendrían que desaparecer. La problemática radica en que, los planes de recorte de los países, llevarán a un incremento global de más de tres grados centígrados de temperatura, por eso se requiere que los Estados aumenten sus objetivos de reducción. Estados Unidos y China, que acumulan cerca del 40% de las emisiones mundiales, actualmente se han negado a firmar los acuerdos de reducción, aunque EEUU en el último Foro sobre Economía Circular + Clima, prometió acciones mucho más estrictas para el 2030.

En base a ese escenario mundial realizamos tres proyecciones estadísticas de los tres principales GEI (CO₂, CH₄, N₂O) utilizando el modelo estadístico ARIMA para los próximos 4 años (2021 al 2024), 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 2024 el valor medio mensual de la concentración de CO₂ será de 419,3 ppm, comparado con los 410,3 ppm del 2020, es decir se espera un incremento de 9 ppm durante los próximos 4 años ($2,25 \text{ ppm} \cdot \text{Año}^{-1}$). Según la proyección realizada para el gas CH₄, Figura 13 b., se alcanzaría una concentración de 1857,9 ppb para el año 2024, en tanto para el 2020 su concentración fue 1828,7 ppb, es decir se incrementaría 29,2 ppb en los próximos 4 años ($7,3 \text{ ppb} \cdot \text{Año}^{-1}$). Finalmente, el gas N₂O puede alcanzar los 336,5 ppb para el año 2024, comparado con los 332,9 ppb del año 2020, o sea se incrementaría 3,6 ppb ($0,9 \text{ ppb} \cdot \text{Año}^{-1}$) según las proyecciones realizadas (Figura 13 c.).

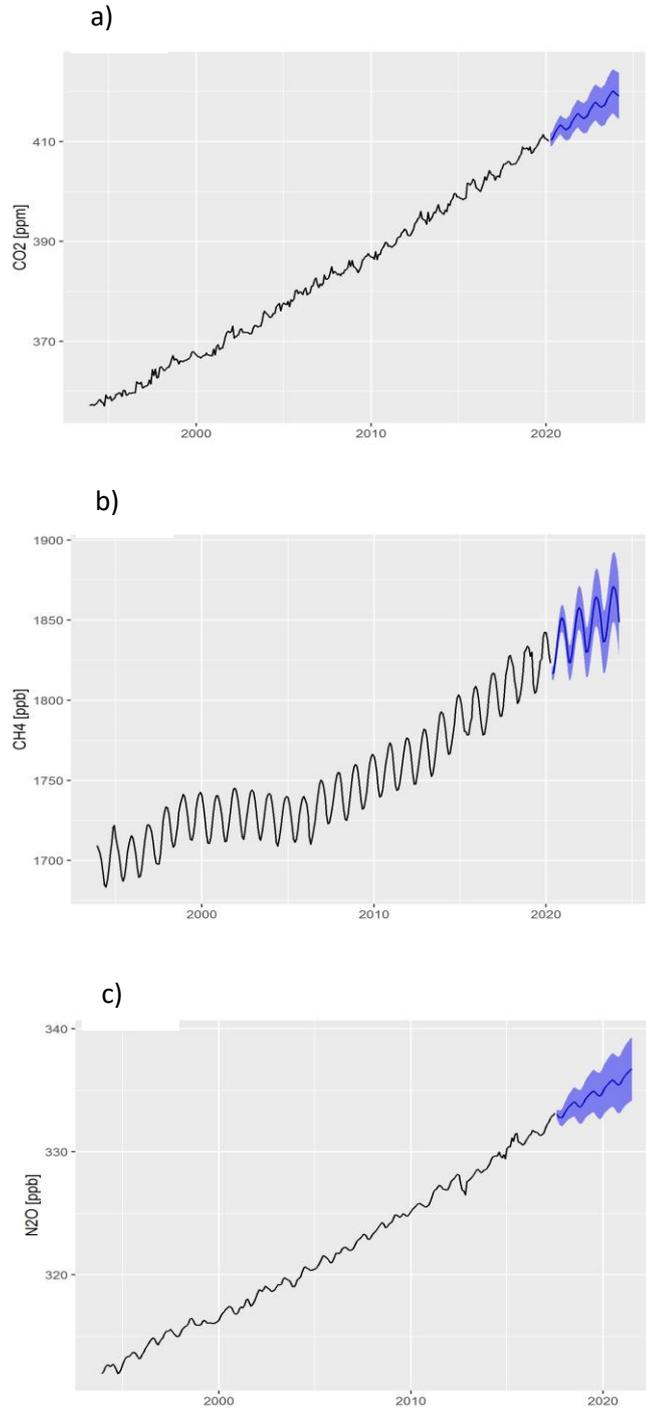


Figura 13. Proyecciones estadísticas a 4 años (intervalo de confianza del 95%) para los tres principales GEI en la estación VAG Ushuaia. a. Mediciones de las fracciones molares expresadas en partes por millón (ppm) de CO₂. b. Mediciones de las fracciones molares expresadas en partes por billón (ppb)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

Conclusiones

Las series de datos de concentración de GEI que se prestaron del año 2020 muestran un incremento respecto a las mismas del 2019. Los datos promedio a nivel global y para distintas estaciones VAG de monitoreo evidencian este aumento, tal como muestra la Tabla 2 en comparación a la Tabla 1, correspondiente a los incrementos de los principales GEI a nivel global para el 2019. Esto significa que a escala global, a pesar de los aislamientos y restricciones que se aplicaron por la pandemia a causa del COVID 19, no se reflejó en una disminución de las concentraciones de los principales GEI. También se puede ver que las tendencias expuestas en la Tabla 2, son muy similares a las que se publicó la OMM en la Tabla 1.

Si se comparan las mediciones de los hemisferios, podemos ver que una estación de referencia del hemisferio Norte, como Mauna Loa (USA), registró concentraciones en el orden de las concentraciones globales del planeta, mientras que las estaciones Ushuaia (Argentina) y Cape Grim (Australia), ubicadas en el hemisferio Sur, sus concentraciones son comparables entre sí e inferiores a las del hemisferio Norte y las globales. Si analizamos las tendencia de los últimos 10 años, vemos que también se observan diferencias entre ambos hemisferios. El aumento en el hemisferio Norte, se acerca mucho al crecimiento registrado a nivel global y es mayor al que se registra en el hemisferio Sur. Estos resultados coinciden con la generación de mayores emisiones y la gran actividad fotosintética de las plantas del hemisferio Norte.

La estación Marambio, como mencionamos anteriormente cuenta con mediciones de CH₄ y CO₂, cuyos concentraciones son del mismo orden que las de las estaciones mencionadas del hemisferio Sur. Por no tener una serie superior a 10 años, no se calculo la tendencia.

Estación	Fracciones molares medias de los principales GEI en el año 2020			Tendencias últimos 10 años de los principales GEI		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
USHUAIA	410 ppm	1824 ppb	332 ppb	2,35 ppm/año	7,89 ppb/año	0,96 ppb/año
CAPE GRIM	410 ppm	1824 ppb	332 ppb	2,44 ppm/año	7,77 ppb/año	0,94 ppb/año
MARAMBIO	409 ppm	1825 ppb	-----	-----	-----	-----
MAUNA LOA	414 ppm	1887 ppb	333 ppb	2,49 ppm/año	8,24 ppb/año	0,96 ppb/año
GLOBAL	414 ppm	1872 ppb	333 ppb	2,46 ppm/año	8,42 ppb/año	0,97 ppb/año

Tabla 2. Promedios anuales de las concentraciones de los principales GEI en 2020 y sus tendencias de los últimos 10 años, registrados a nivel global y en las estaciones VAG de Mauna Loa, Ushuaia, Cape Grim y Marambio.

Es evidente que la tendencia de los GEI se ha acelerado significativamente en los últimos 10 a 12 años y en particular las emisiones de CH₄ con cambios mayores a 7,5 ppb año⁻¹. El CO₂ también acelera su tendencia a valores mayores a 2,4 ppm año⁻¹. Finalmente, el N₂O es el que presenta menor incremento, aunque también importante, alcanza valores mayores a 0,94 ppb año⁻¹.

Durante en 2020 el mundo se ha visto amenazado por la pandemia debido a COVID 19, por ello los países aplicaron medidas de control, como el aislamiento social, lo que llevó a la disminución de la presencia del hombre en las actividades de su vida normal. Si bien este aislamiento del hombre hizo evidenciar cambios en el ambiente, luego de un año, se puede decir que fueron cambios puntuales y en ciertos lugares, pero a nivel global no se evidenció una disminución en las concentraciones de los principales GEI causantes del calentamiento global, tal como muestran las concentraciones expuestas en la Tabla 2.

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 (2021 a 2024), con un aumento de 2,35 ppm*Año⁻¹ para el CO₂, mientras que el CH₄ se espera que continúe su incremento a un ritmo de 7,3 ppb*Año⁻¹ y finalmente, el N₂O con 0,9 ppb*Año⁻¹ de aumento. Todos estos aumentos en las proyecciones de las concentraciones de los GEI son acordes a las tendencias de los últimos 10 años.

Finalmente, se destaca que todos los esfuerzos globales que se realizan por disminuir las emisiones de GEI, sin embargo, aún no se ven reflejadas en las curvas de medición presentadas, por el contrario, se muestra claramente que los principales GEI analizados en este boletín aceleran su concentración en la atmósfera, de tal manera que, de no tomarse medidas más drásticas, el calentamiento global se ira acentuando más con el tiempo y en un corto plazo.

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. Gilje, 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.