

Boletín Gases de Efecto Invernadero y Gases Reactivos

Programa de monitoreo de Gases de Efecto Invernadero y Gases reactivos del Servicio Meteorológico Argentino.

Ing. María Elena Barlasina. barlasina@smn.gov.ar

Gustavo Emanuel Copes gcopes@smn.gov.ar

Departamento Vigilancia de la Atmósfera y Geofísica.

Servicio Meteorológico Nacional.

El presente boletín tiene por objeto difundir el monitoreo de los gases relacionados con el calentamiento global y cambio climático, a partir de las medidas de estos gases en todo el territorio argentino y la región antártica y presentar los resultados obtenidos de las mediciones realizadas por la red de medición de gases del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) durante el año 2018, en marco del Proyecto de monitoreo que se desarrolla dentro del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorología Mundial (OMM).

Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) y gases reactivos (GR) son componentes gaseosos de la atmósfera de origen naturales y antropogénicos. En el caso de GEI absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético, mientras que los GR reaccionan con los GEI influyendo en las concentraciones de estos, con sus 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). El ozono (O_3) y el monóxido de carbono (CO) son algunos de los llamados GR. 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.

Todos los gases mencionados, excepto el ozono, están directamente influidos por las emisiones humanas. El ozono también difiere de los demás gases, porque no se emite directamente hacia la atmósfera, sino que es formado en la atmósfera a partir de reacciones fotoquímicas, en las que participan sustancias denominadas "precursores". En este grupo se encuentran los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono.

Los boletines de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghgbull06_en.html), sobre los gases de efecto invernadero, señalan año a año el incremento en el calentamiento de nuestro clima a causa de los gases GEI. Debido a eso, este informe mostrará las concentraciones atmosféricas de los principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O) del programa de VAG de la OMM, como así también las contribuciones de otros gases reactivos (CO y O_3) y gases CFCs y SF_6 , que contribuyen al deterioro de la capa de ozono.

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.

En el último boletín de OMM (Greenhouse Gas Bulletin - GHG Bulletin - No. 14) que muestra el estado de los GEI en la atmósfera basado en observaciones globales hasta 2017 y revela que la concentración media mundial de dióxido de carbono (CO_2) año tras año rompe record en cada uno de los puntos de medición, pasando de 400,1 ppm en 2015 a 403,3 ppm en 2016 y a 405,5 ppm en 2017, al igual que el aumento de las concentraciones de metano y óxido nitroso. Pero sin dudas lo más preocupante es que reapareció el gas CFC-11, como muestra la Figura.1, donde se advierte que desde 2012 su tasa de disminución se ha reducido a aproximadamente dos tercios en relación a su tasa de disminución durante la década anterior. El CFC-11 o triclorofluorometano (CFCl_3) es un potente gas de efecto invernadero que agota el ozono estratosférico y que su emisión está regulada a partir de la firma del Protocolo de Montreal en 1987. Su reaparición en la atmósfera se debería a cambios en el transporte atmosférico o a emisiones originadas en Asia oriental.

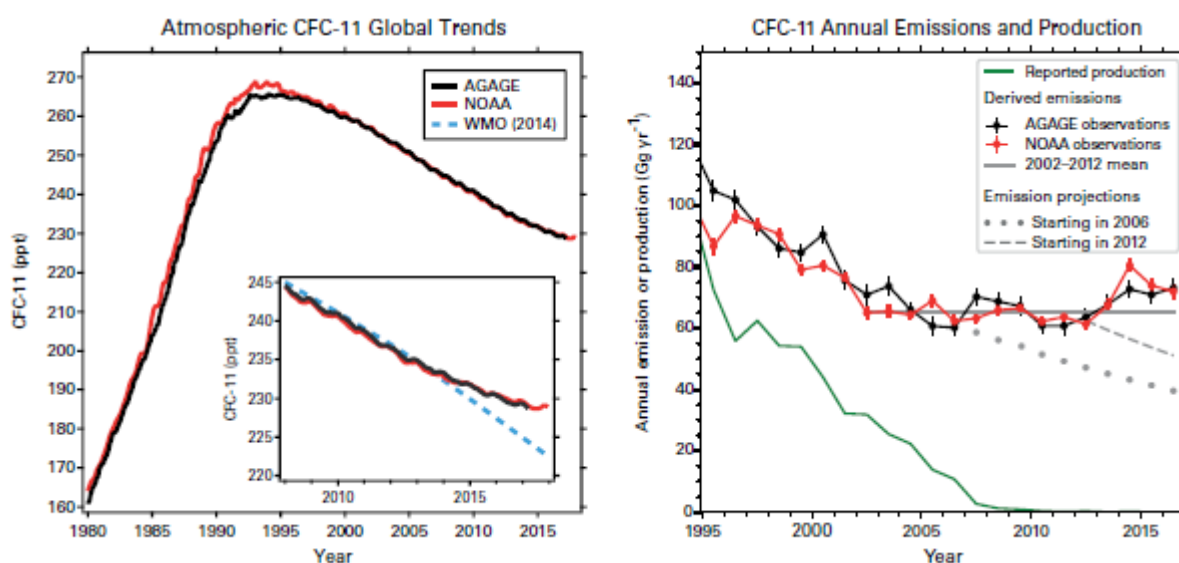


Figura. 1. Mediciones de la concentración atmosférica del clorofluorocarbono CFC-11 (Fuente OMM)

Este resurgimiento hace que tomen mayor importancia las mediciones a largo plazo de la composición atmosférica, tales como las que realiza el Programa VAG, ya que proporcionan información basada en observaciones in situ, a partir de las cuales se pueden elaborar inventarios de emisiones, controles, investigaciones y abordar el tema de cambio climático con datos concretos de la realidad del estado de la atmósfera y así tomar acciones, por ejemplo para recomponer la capa de ozono estratosférico.

Programa de Medición

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 (Figura 2). Actualmente, el programa VAG coordina 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 Observatorio La Quiaca en Jujuy, Observatorio Pilar en Córdoba, Estación Meteorológica San Julián en Santa Cruz y Ushuaia en Tierra del Fuego, con la Estación de Vigilancia Atmosférica Global.

En la Estación Marambio, Antártida, desde 1987 se monitorea la capa de ozono y en el 2011 se comenzó con las mediciones GR como el ozono superficial. Desde el 2013, en acuerdo con el Instituto Finlandés de Meteorología (FMI), se realizan mediciones de GEI como Metano y Dióxido de Carbono.



Figura. 2. Red de estaciones programa de mediciones VAG. (Fuente OMM)

En la figura 3 se muestran los sitios que forman la red de monitoreo en Argentina. En La Quiaca, Pilar, San Julián, Ushuaia y Marambio se registran mediciones continuas de ozono superficial.

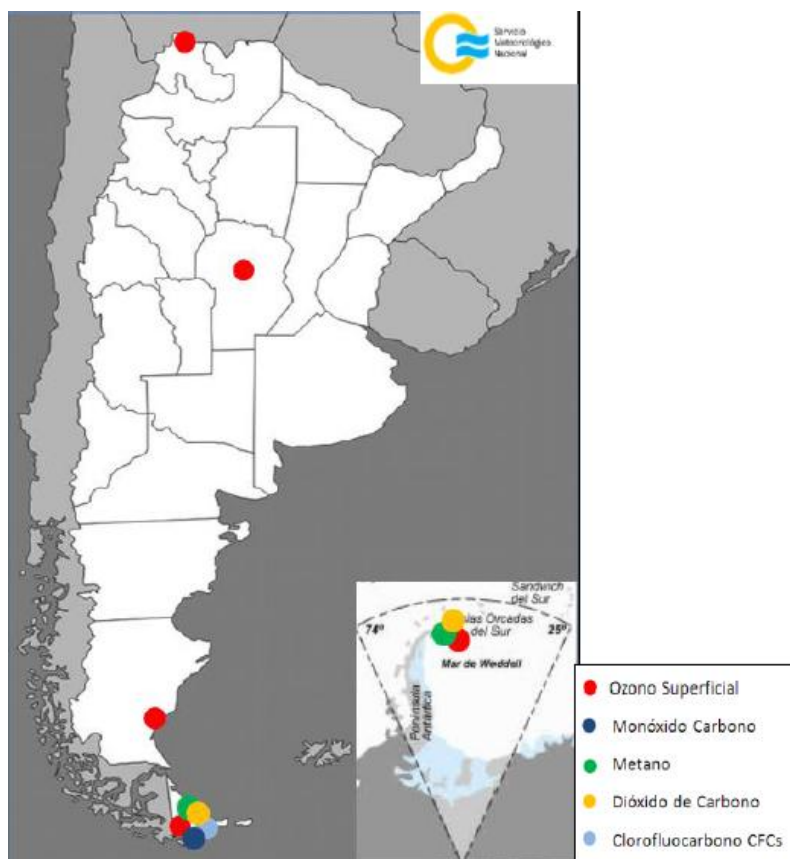


Figura. 3. Red de estaciones programa VAG en Argentina

En Ushuaia se analiza en forma continua las concentraciones de monóxido de carbono y ozono superficial con los instrumentos Horiba modelo APMA 360 y Thermo modelo 49 C respectivamente. Sumando en 2017 un analizador de gases Picarro modelo G2401, que registra simultáneamente la concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano y vapor de agua. Ushuaia también realiza mediciones discontinuas mediante flask de gases tales como clorofluorocarbono, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono, a través de un proyecto con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA Earth System Research Laboratory).

En la estación Marambio se monitorea en forma continua metano, dióxido de carbono y vapor de agua con un analizador Picarro modelo G2301.

El proyecto que la estación VAG Ushuaia lleva adelante con NOAA, en el cual se toman muestras de aire por medio de flask y mediante ellos se analizan diversos gases. En la figura 4 se muestran algunos resultados de este proyecto.

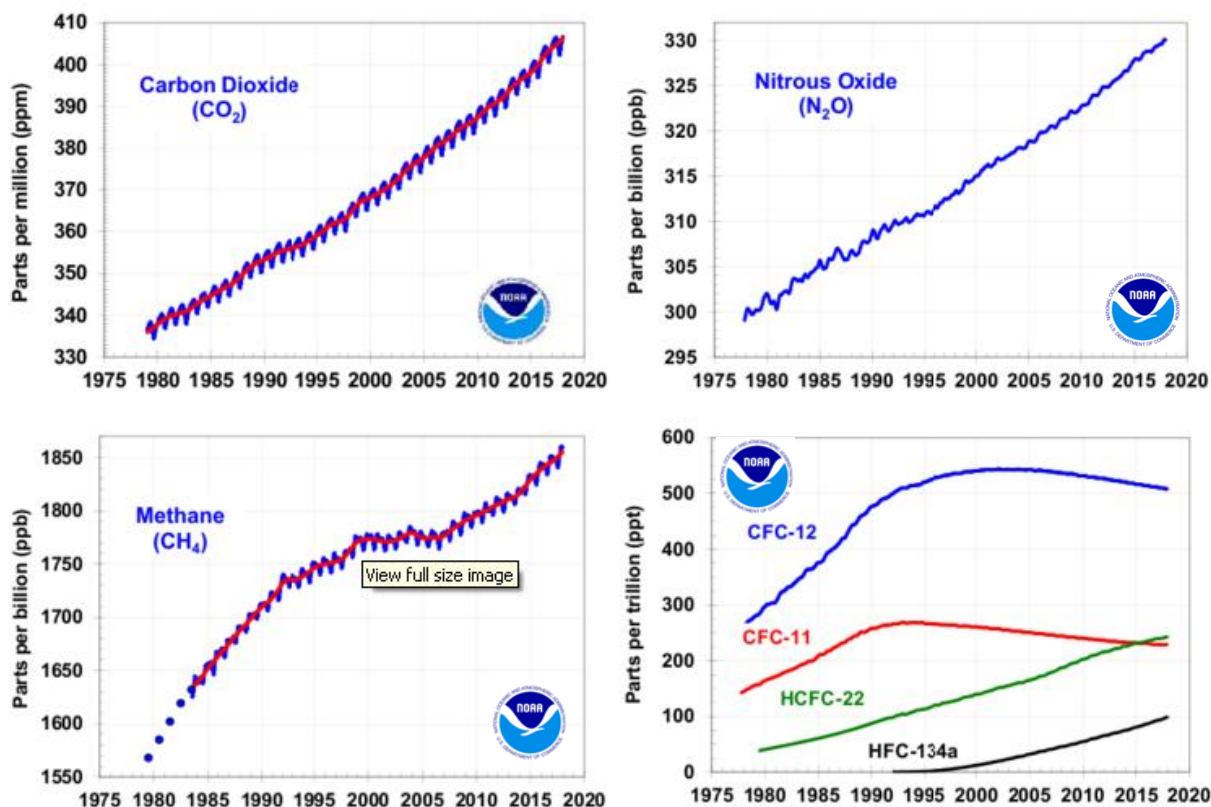


Figura 4. Promedio de las concentraciones globales de los principales gases de efecto invernadero de larga vida, (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFC-12 y CFC-11) de la red mundial de muestreo de aire de NOAA desde principios de 1979 (Fuente NOAA).

Estos cinco gases mostrados en la figura 4 representan aproximadamente el 96% del forzamiento radiativo directo de los gases de efecto invernadero. El 4% restante es aportado por una variedad de 15 gases halogenados menores.

Del mismo proyecto surgen gráficos de las concentraciones globales del gas CFC – 11 (Figura 5) y muestra la diferencia de concentración según la latitud del planeta, como así también como fue disminuyendo su tasa de decrecimiento en los últimos años.

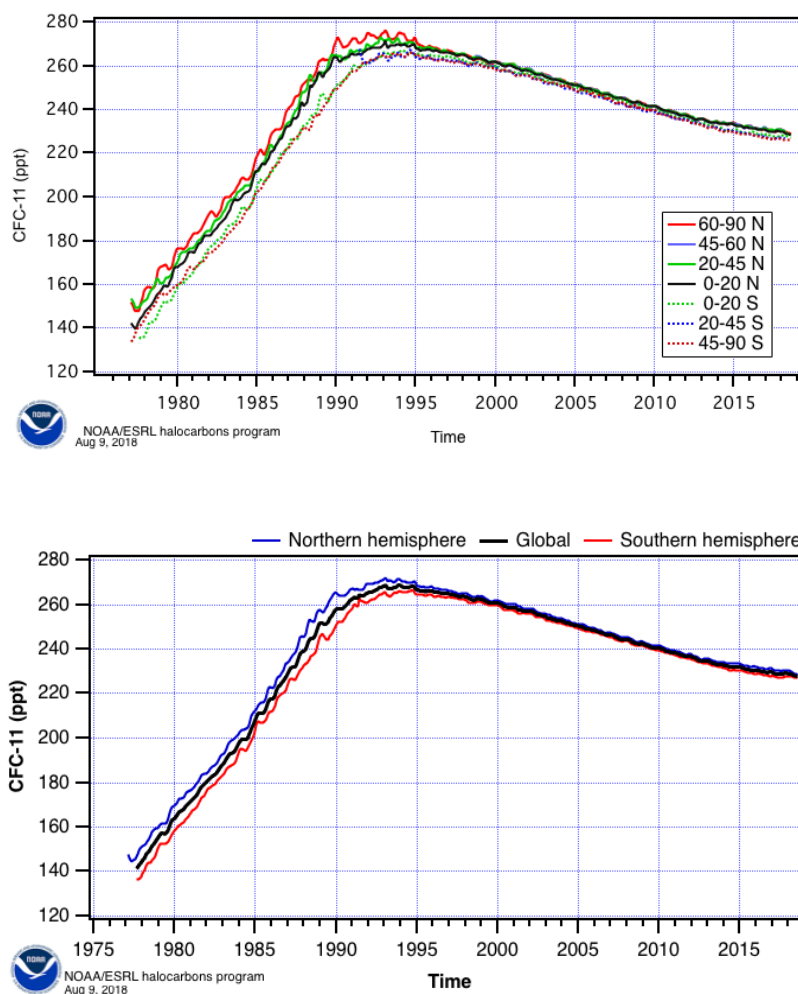


Figura 5. Concentraciones promedios globales de CFC-11 de la red mundial de muestreo de aire de NOAA desde principios de 1979 (Fuente NOAA)

Los gases clorofluorocarbono (CFCs) fueron creados para utilizarse en muchas aplicaciones y son inertes en la tropósfera, sin embargo mas tarde se descubrió que en la estratósfera, por acción de la radiación ultravioleta, sufrían una descomposición liberando cloro inorgánico. Parte de ese cloro liberado se activaría para destruir el ozono en la estratósfera. El ozono es un gas localizado principalmente en la estratósfera, que absorbe la radiación ultravioleta dañina en las longitudes de onda entre 280 y 320 nm que puede causar daños biológicos en plantas y animales.

En la década de 1980, durante la primavera, se observó un gran agotamiento del ozono estratosférico, que se acentuaba cada año. Esta pérdida de ozono fue llamada "agujero de ozono", que se observó principalmente en la Antártida debido a diversos factores que se dan en esa region, tales como las temperaturas, la presencia de las nubes estratosféricas polares (PSC) y el aislamiento dinámico de la región.

Debido a la importancia de controlar los CFCs y otras sustancias que agotan el ozono estratosférico, el 16 de septiembre de 1987, se firmó el Protocolo de Montreal para Reducir Sustancias que Agotan la Capa de Ozono. El mismo fue suscrito por 27 naciones y tenía por objeto una disposición para reducir los niveles de

producción de estos compuestos en un 50% en comparación con 1986 antes del año 2000. Este acuerdo internacional incluía restricciones en la producción de CFC-11, -12, -113, -114, -115 y los halones. Una enmienda aprobada en Londres en 1990, fue más restrictiva y exigió la eliminación de la producción de CFC para el año 2000, como así también se agregaron los disolventes clorados, el metilcloroformo (CH_3CCl_3) y el tetracloruro de carbono (CCl_4) como sustancias controladas en 1992. Las enmiendas posteriores agregaron bromuro de metilo (con exenciones para usos específicos), hidrobromofluorocarbonos y bromoclorometano.

Estaciones de la red VAG en Argentina

Estación VAG Ushuaia

La estación de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) Ushuaia, como su nombre lo indica 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), situada en un acantilado costero a una altitud de 18 metros s.n.m, a orillas del Canal de Beagle.



Figura 6. Estación VAG Ushuaia, en la ciudad de Ushuaia, Tierra del Fuego.

El entorno inmediato de la estación es suelo formado por pastos y arbustos. Los vientos predominantes soplan del sector S – SW y está considerado como aire limpio, sin la influencia de contaminantes locales, de allí de la importancia de esta estación y de su categoría de VAG Global.

La estación fue inaugurada en 1994 junto con otras estaciones de las mismas características "Global" en otras partes del mundo y desde esa fecha, se realiza trabajo ininterrumpido durante todo el año, en principio registrándose mediciones de concentraciones de distintos gases como ozono superficial, monóxido de carbono y por intermedio de flask, se miden concentraciones de los siguientes gases: metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hexafluoruro de azufre. Recientemente se incorporó un analizador de gases de efecto invernadero, registrando simultáneamente concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano y vapor de agua.



Figura 7. Medición de gases en la estación VAG Ushuaia. Mediciones continuas de monóxido de carbono y ozono superficial con los analizadores Horiba APMA 360 y Thermo 49 C respectivamente (izq.). Mediciones discontinuas con Flask (der.)



Figura 8. Analizador continuo de gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano y vapor de agua) Picarro G2401 de la estación VAG Ushuaia.

Otro programas de medición que se realizan en la estación es el monitoreo de la capa de ozono por medio de mediciones de ozono total con un espectrofotómetro Dobson y el lanzamiento de ozonosondas que permiten conocer el perfil de ozono en la atmósfera. Estas mediciones son muy importantes para conocer la evolución en las zonas próximas al agujero de ozono antártico, incluso algunos días al año durante la primavera, la ciudad de Ushuaia está bajo la influencia del “agujero de ozono antártico” y con estas mediciones se puede conocer las concentraciones ozono estratosférico y tomar las medidas del caso. También desde 2014 se realiza la medición de la componente troposférica y estratosférica de ozono, ion de iodo y dióxido de nitrógeno, a través de un Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS).

Mediciones estación VAG Ushuaia

A partir de las mediciones continuas registradas por el analizador Picarro modelo G2401, se puede conocer los valores alcanzados por el dióxido de carbono y metano en la región cercana a Ushuaia.

En la Figura 9, se observa el ciclo anual del dióxido de carbono, con valores más altos en invierno y más bajos en verano. También se observa el incremento en la concentración del gas que se da año a año, alcanzando el valor promedio en 2018 de alrededor de 401 ppb, siendo este valor algo inferior al informado a nivel global que llega a 405 ppb.

En la Figura 10, se muestran las concentraciones de metano. Asimismo se puede ver claramente como varía la concentración de metano durante el año, alcanzando los máximos valores de su concentración en los meses invernales, con valores promedios registrados de 1.82 ppb.

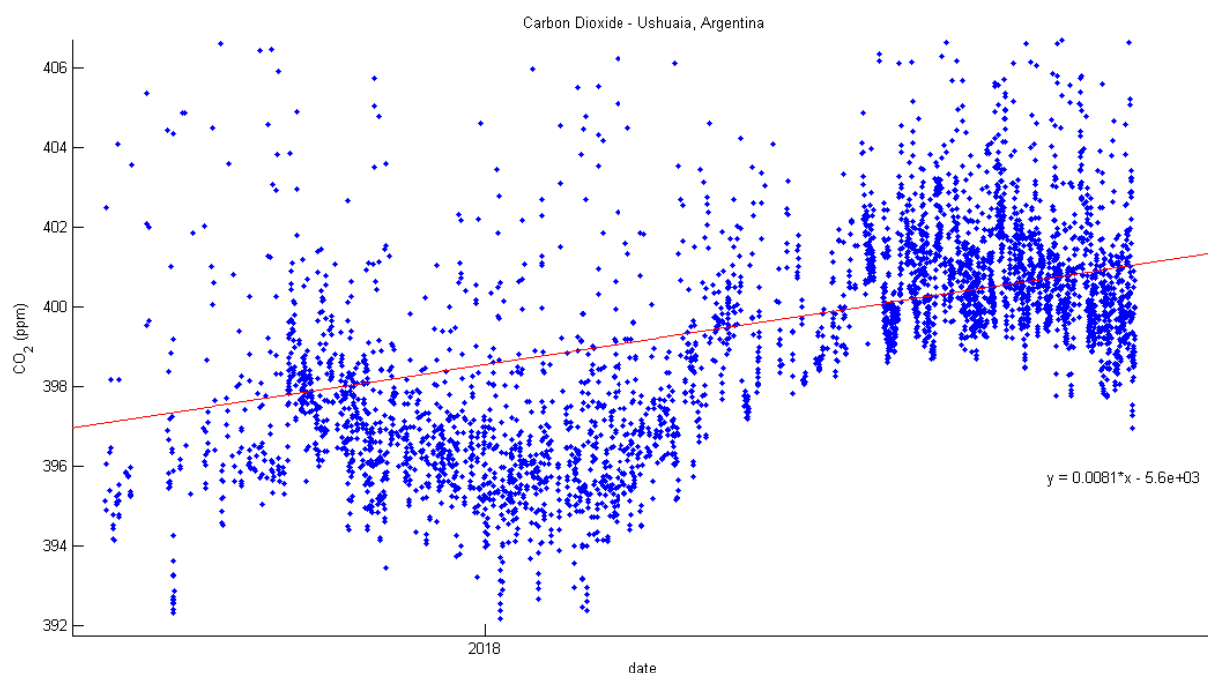


Figura 9. Concentraciones de dióxido de carbono registradas por analizador Picarro G2401 en la estación VAG Ushuaia.

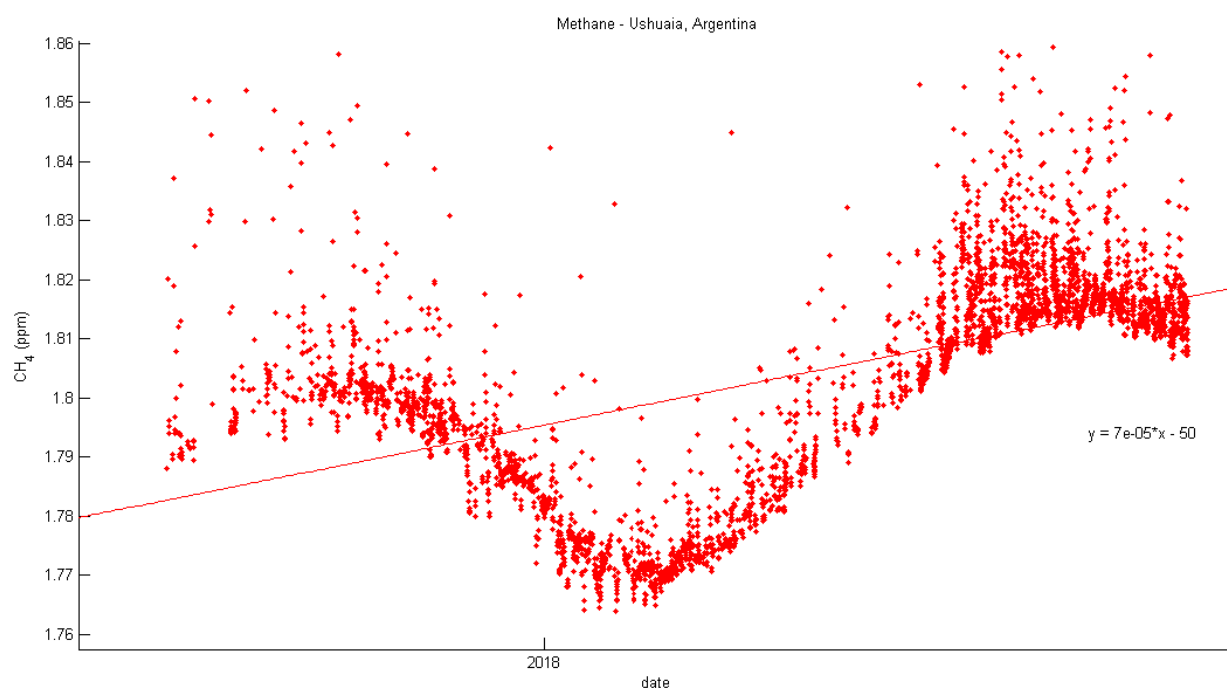


Figura 10. Concentraciones de metano registradas por analizador Picarro G2401 en la estación VAG Ushuaia.

Desde 1994, a través del proyecto de NOAA, se realizan mediciones discontinuas de metano y dióxido de carbono por medio de flask, como lo muestran las figuras 11 y 12 respectivamente. En las mismas se advierte que las concentraciones obtenidas son coincidentes con los flask son coincidentes con las registradas a través de las mediciones continuas del analizador Picarro.

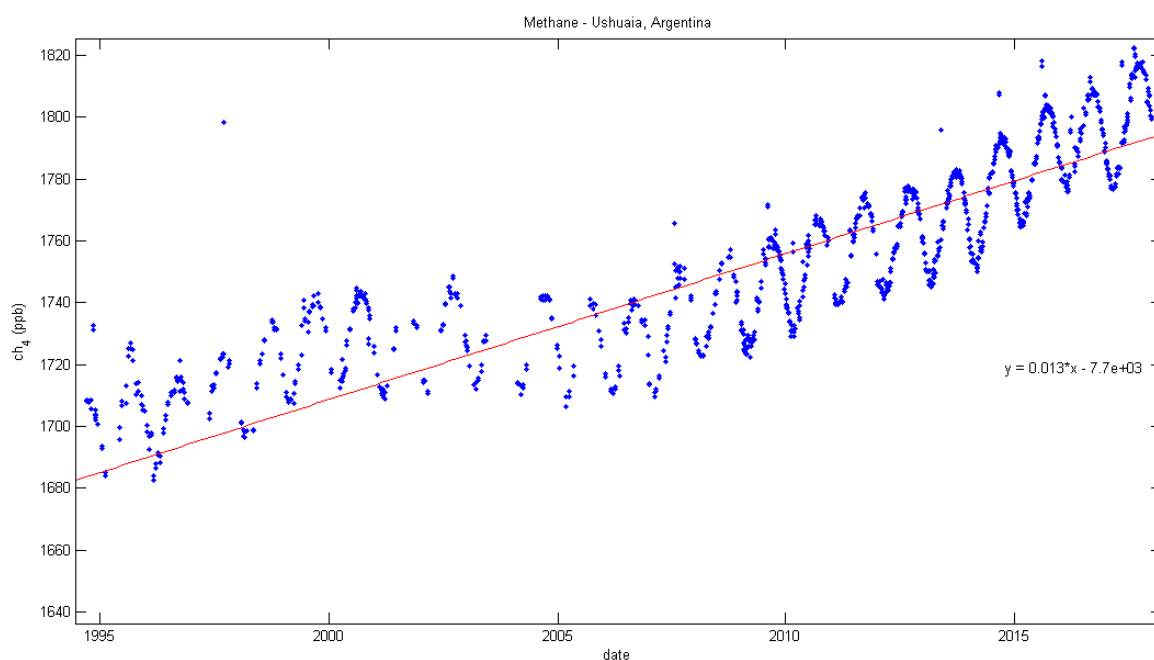


Figura 11. Concentraciones de metano a través del proyecto NOAA de medición de gases con flask en la estación VAG Ushuaia.

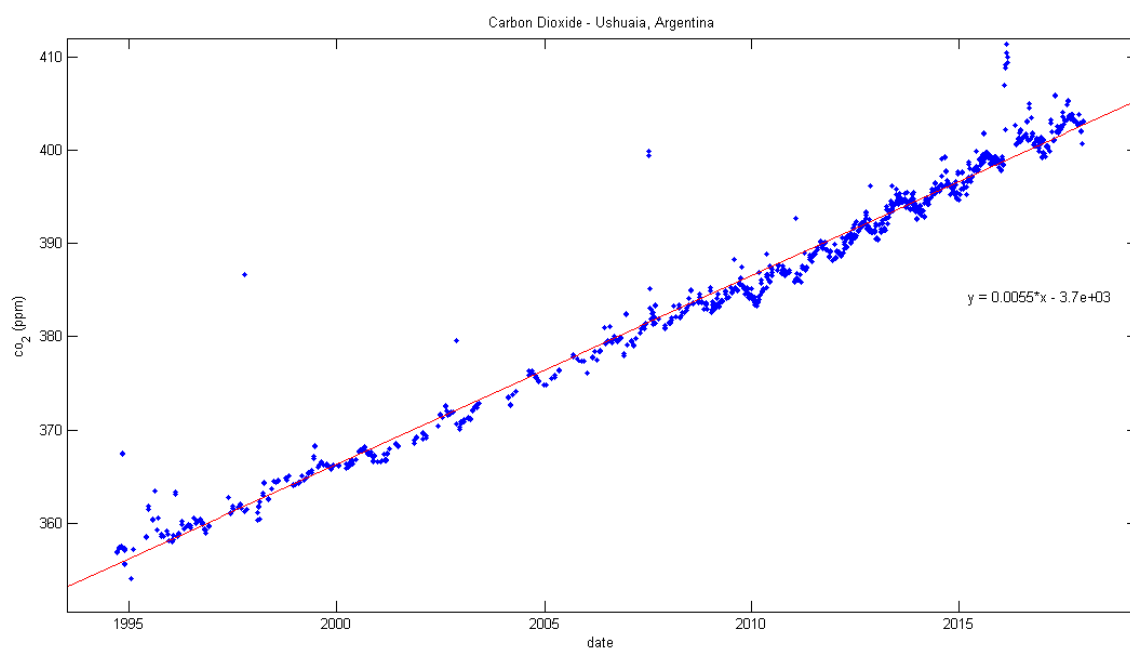


Figura 12. Concentraciones de dióxido de carbono a través del proyecto NOAA de medición de gases con flask en la estación VAG Ushuaia.

En la serie de medición de ozono superficial de Ushuaia se observan concentraciones horarias con un ciclo de variación correspondiente a las latitudes medias que se ubica la estación. Los registros de concentraciones máximas se observan en invierno y se dan en el rango de 35 ppb a 37 ppb y valores mínimos en verano, con valores alrededor de 5 ppb. En 2018 se registró un valor de concentración máximo de ozono superficial en el rango de concentración esperable (Figura 13).

La concentración de ozono superficial es medida mediante fotometría de absorción UV. (Thermo Environmental Instruments Modelo 49C).

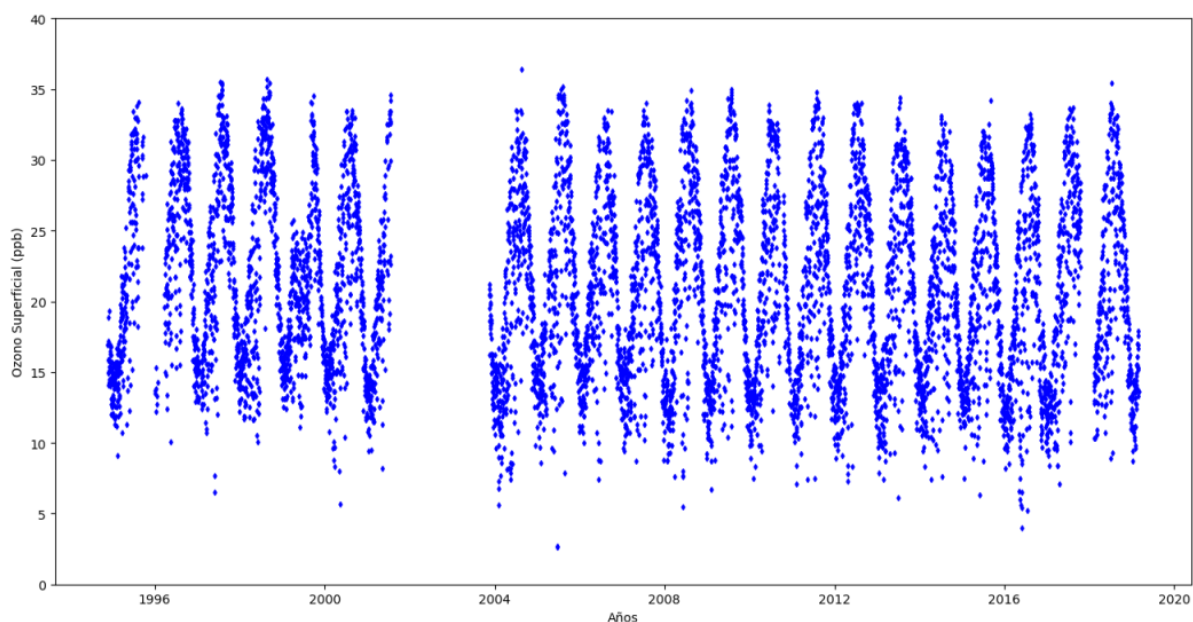


Figura 13. Concentraciones de ozono superficial en la estación VAG Ushuaia.

Estación Marambio

(Antártida)

La estación Marambio se encuentra en la isla Marambio, a $64^{\circ} 14' S$ $56^{\circ} 37' W$, rodeada por el mar de Weddell y a 198 metros s.n.m. Las temperaturas medias en el sitio son $-1.5^{\circ} C$ durante el verano y $-15^{\circ} C$ durante el invierno.

Esta estación 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.



Figura 14. Pabellón científico. Estación Marambio Antártida

En 2011 se comenzó con las mediciones de las concentraciones de ozono superficial con un Thermo Environmental Instruments, mediante fotometría de absorción UV, dando lugar a la serie de datos mostrada en la Figura 15.

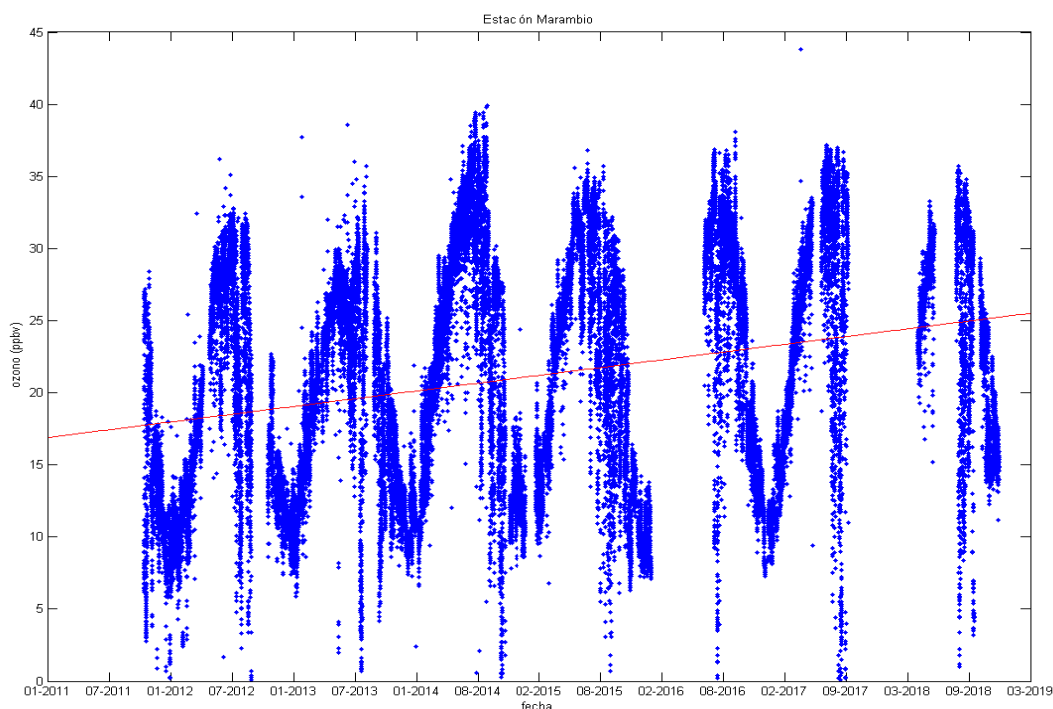


Figura 15. Concentraciones de ozono superficial en la Estación Marambio.

En la serie de datos se observa el ciclo estacional para el ozono superficial en la estación Marambio, con valores máximos de concentración en invierno y los mínimos en verano. Si bien la concentración máxima registrada para el 2018 fue algo inferior que la observada en 2017, a lo largo de la serie se observa una tendencia creciente en la concentración de este gas a lo largo de los años. Como cada año también se registran grandes destrucciones de ozono troposférico durante la primavera antártica.

En febrero de 2013, a través de un acuerdo con el Instituto de Finandés de Meteorología (FMI), se instaló un laboratorio (Figura 16) donde funcionan instrumentos varios, entre los cuales se encuentra un analizador Picarro G2301, que registra mediciones continuas y por minuto de dióxido de carbono, metano y vapor de agua.



Figura 16. Laboratorio instalado en acuerdo con Finlandés de Meteorología (FMI) en Marambio.

Del analizador Picarro G2301, se obtuvieron las siguientes series de datos de dióxido de carbono y metano en la estación Antártica, alcanzando a valores comparables a los reportados a nivel global. Se puede observar tendencias crecientes en la concentraciones de dióxido de carbono y metano, alcanzando en 2018 valores máximos de dióxido de carbono de 405 ppm y de 1.83 ppm para metano, coincidiendo con los valores registrados en otras puntos de medición del mundo.

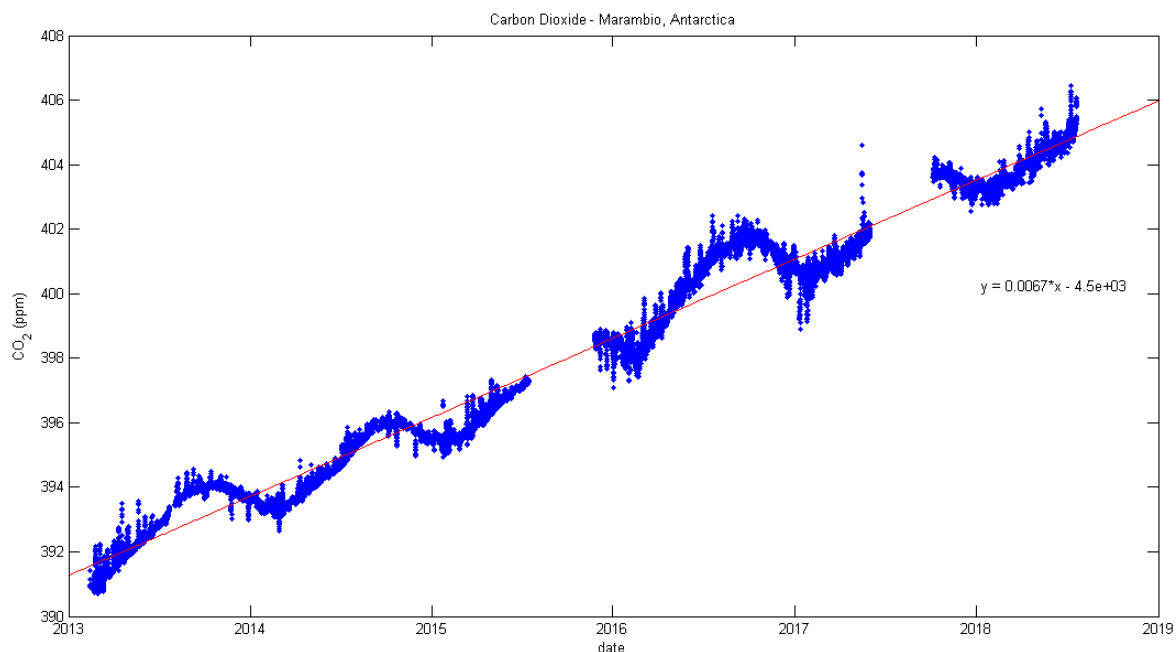


Figura 17. Concentraciones de dióxido de carbono registradas por analizador Picarro G2301 en la Estación Marambio.

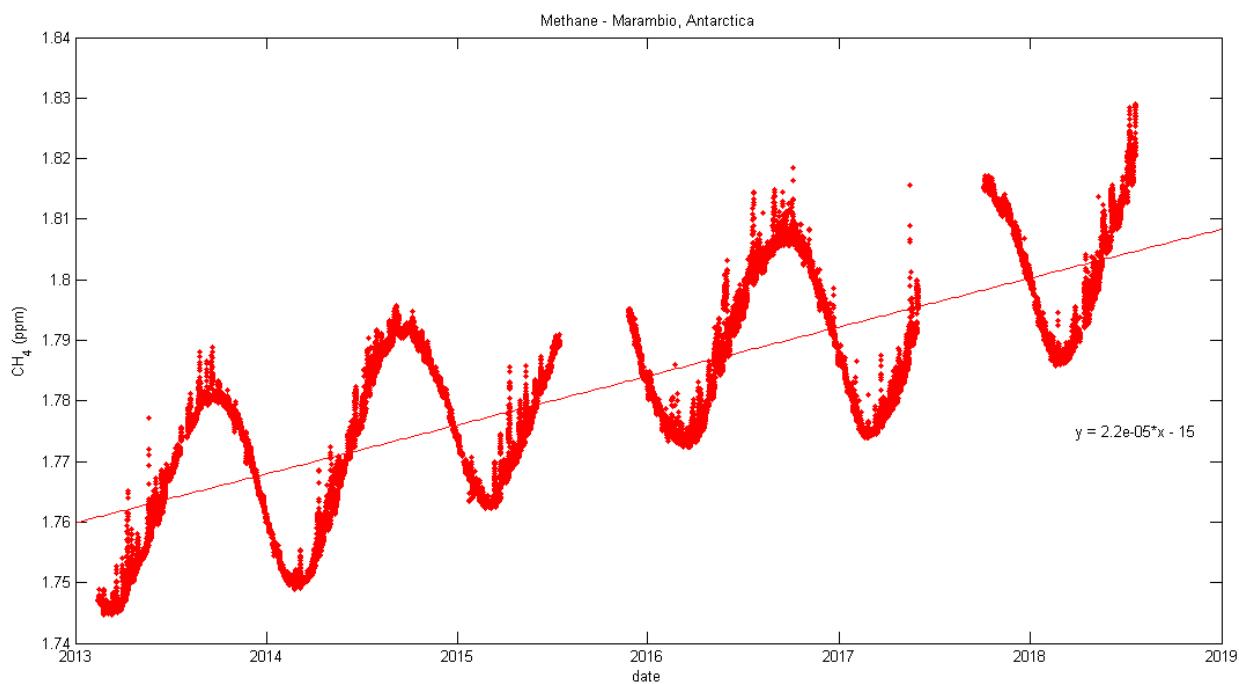


Figura 18. Concentraciones de metano registradas por analizador Picarro G2301 en la Estación Marambio.

Observatorio La Quiaca

El Observatorio La Quiaca está ubicado en la ciudad fronteriza La Quiaca, provincia de Jujuy a 22.10°S 65.60°W y a 3459 m s.n.m. Su geografía de zona de Puna y su elevación, hace que el Observatorio tenga características particulares, como una gran amplitud térmica diaria y una precipitación anual de alrededor de 350 mm.



Figura 19. Observatorio La Quiaca, La Quiaca, Jujuy.

En el Observatorio se realizan mediciones diarias de meteorología, como así también mediciones de ozono superficial, ozono total y radiación solar. En 1996 se instaló un analizador de ozono superficial Environmental Instruments Modelo 49 (TEI 49) que realizó mediciones continuas, hoy cuenta con un Thermo Environmental Instruments Modelo 49 C (TEI 49 C). Los registros obtenidos en el Observatorio, se muestran en la Figura 20.

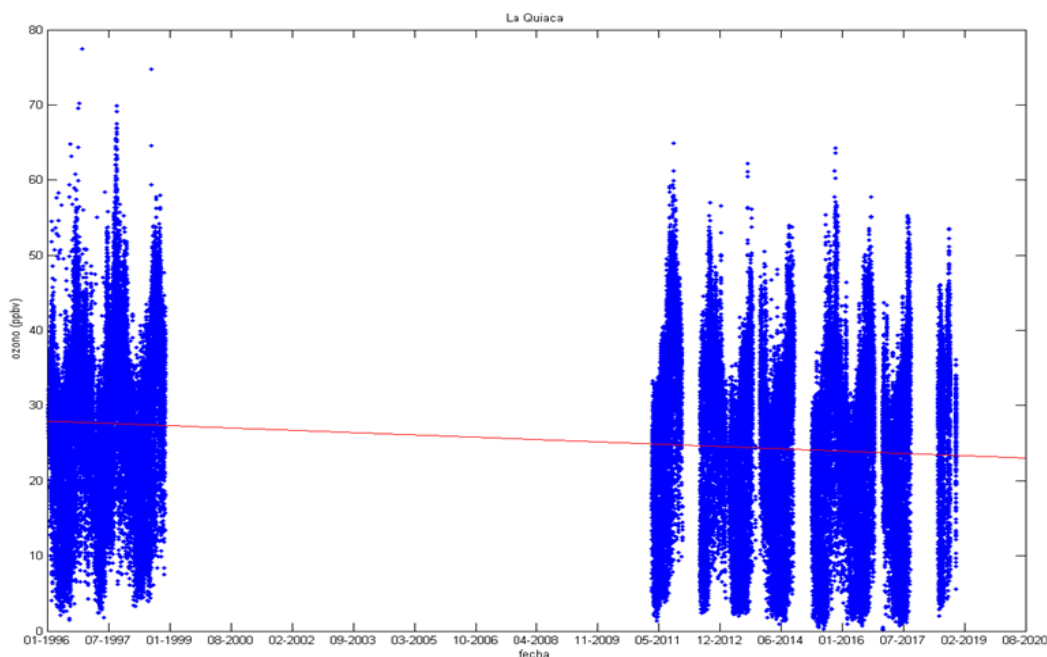


Figura 20. Concentraciones de ozono superficial del Observatorio La Quiaca.

La serie de datos mostrada corresponde a valores horarios de la concentración de ozono superficial, registrada mediante fotometría de absorción UV.

El ozono superficial en esas latitudes cumple con ciclos de variabilidad, observándose valores de concentración máximos en primavera-verano y mínimos en invierno. Las concentraciones oscilan en un rango de 58 ppb. El valor promedio de la serie de concentración de ozono superficial para el Observatorio La Quiaca es de 28 ppb.

Observatorio Pilar

El Observatorio Pilar se encuentra situado en el centro del país, a unos 60 km de la ciudad de Córdoba y a 31,4 ° S, 63.53 ° W, con una altitud de 338 metros s.n.m.

La estación está rodeada por tierra de pastoreo o campo, con vientos predominantes desde el sector N-NO y una precipitación media anual de 786 mm.

En el Observatorio se realizan mediciones horarias de meteorología y también medición de ozono superficial y radiación solar. Asimismo, se registran medidas de campo geomagnético



Figura 21. Observatorio Pilar, Pilar, Córdoba.

Para la medición de ozono troposférico, en 1995 se instaló un analizador de ozono superficial Thermo Environmental Instruments Modelo 49 (TEI 49), que realizó mediciones continuas de este gas mediante fotometría de absorción UV, como se muestra en la Figura 22.

Los datos horarios de la concentración de ozono superficial del Observatorio Pilar presentan máximos en primavera-verano con valores entre 50 y 60 ppb y mínimos en invierno con registros alrededor de 4 ppb. El valor promedio de la serie de concentración de ozono superficial para el Observatorio Pilar es de 22 ppb.

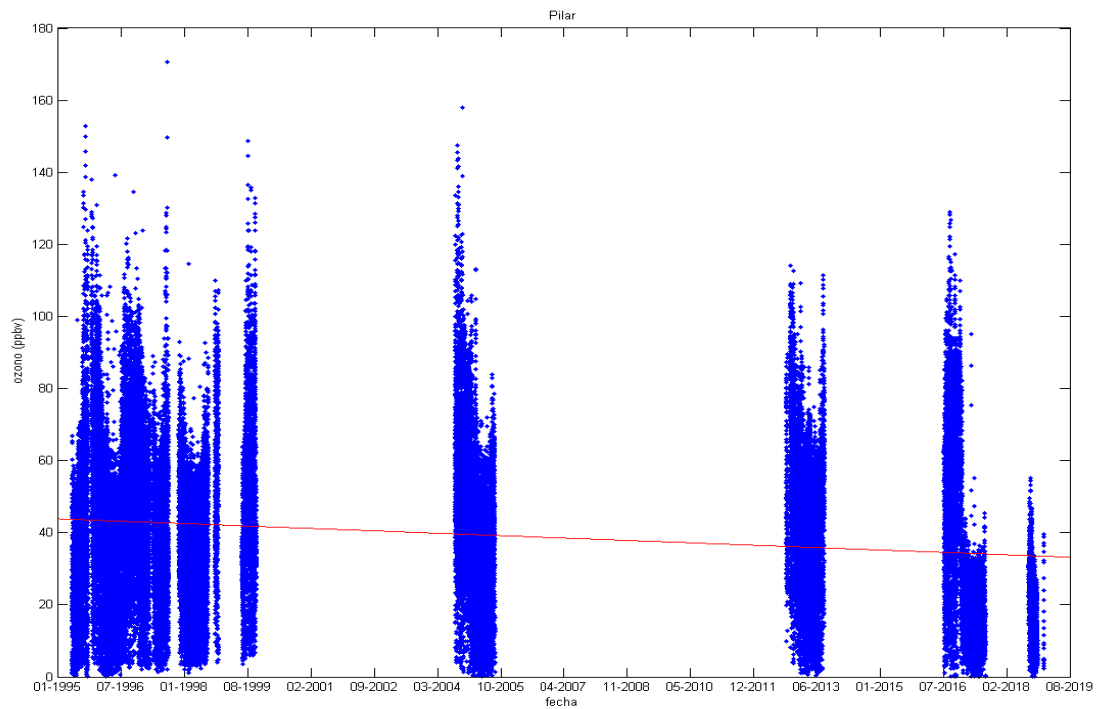


Figura 22. Concentraciones de ozono superficial del Observatorio Pilar.

Estación San Julián

La Estación San Julián se localiza al Oeste de la ciudad de San Julián (Santa Cruz) a 49.30°S 67.82°W y a 62 metros s.n.m.



Figura 23. Estación San Julián, San Julián, Santa Cruz.

Se encuentra distante a 8 km de la bahía de San Julián (Océano Atlántico) y a 373 Km de distancia desde Río Gallegos. Con su geografía patagónica, la zona tiene vientos predominantes del W-SW.

Desde 1997 en la estación está instalado un Thermo Environmental Instruments Modelo 49 (TEI 49), que registra concentraciones de ozono superficial y la serie de datos puede verse en la Figura 9. La Estación también realiza mediciones de radiación solar y parámetros meteorológicos.

La Estación San Julián, por encontrarse ubicada en latitudes medias tiene variaciones en la oscilación de la serie de datos distintas a las estaciones de Pilar y La Quiaca.

Los datos de concentraciones diarias de ozono superficial registran valores más altos en invierno, alcanzando los 31 ppb y valores mínimos en verano, con registro de 3 ppb. El valor promedio de la serie de concentración de ozono superficial para la Estación San Julián es de 17 ppb, como puede observarse en la Figura 24.

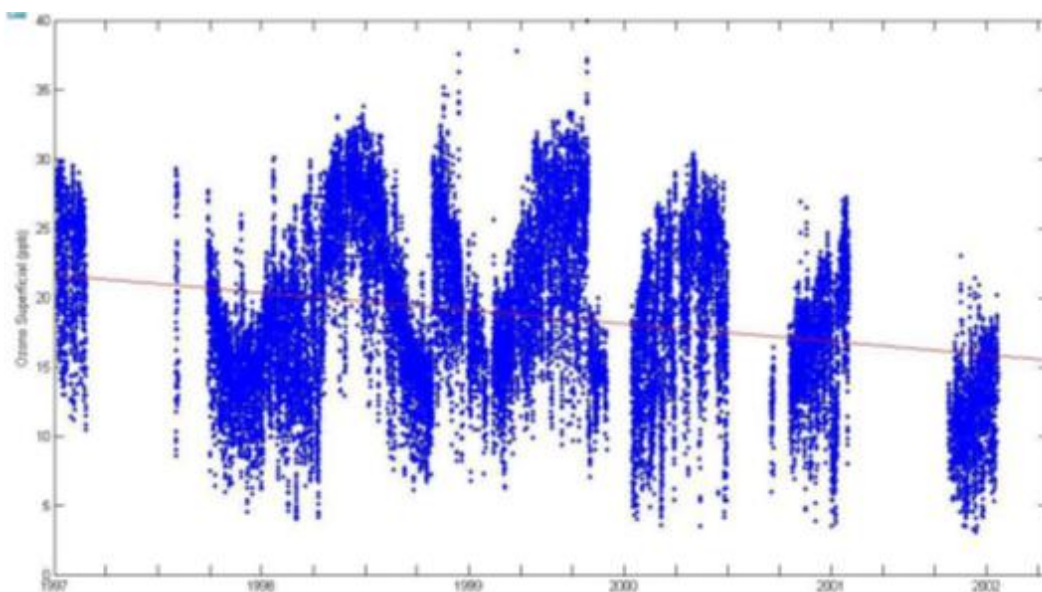


Figura 24. Concentraciones de ozono superficial del Observatorio Pilar.

Actualmente la estación se encuentra sin registros de ozono superficial.

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 Girgzdienė • 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 Decision 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.