

Satélites Ambientales para el Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero

Nota Técnica SMN 2021-92

Diana M. Rodríguez y Luciano Vidal

*Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos
Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios*

Mayo 2021

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.

Resumen

Los gases de efecto invernadero (GEI), son aquellos que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado “efecto invernadero”. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta. Es un fenómeno que ocurre en forma natural en la atmósfera. No obstante, su efecto beneficioso puede ser modificado por actividades humanas que aumentan la concentración en la atmósfera de muchos de los gases GEI que lo producen. En la actualidad existen varias plataformas satelitales que proporcionan datos destinados al monitoreo de dichos gases. En esta Nota Técnica se recopila información sobre distintas fuentes de adquisición de datos e incluye ejemplos actuales de algunos productos que se utilizan para el monitoreo en tiempo casi real y diferido de vapor de agua, dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, formaldehído y aerosoles.

Abstract

Greenhouse gases are those that are present in the earth's atmosphere and that give rise to the phenomenon called "greenhouse effect". Their atmospheric concentration is low, but they are of fundamental importance in increasing the temperature of the air near the ground, making it remain within a range of values suitable for the existence of life on the planet. It is a phenomenon that occurs naturally in the atmosphere. However, its beneficial effect can be modified by human activities that increase the concentration in the atmosphere of many of those gases that produce it. Currently there are several satellite platforms that provide data for monitoring that greenhouse gases. This Technical Note compiles information on different data acquisition sources and includes current examples of some products that are used for near-real-time and delayed monitoring of water vapor, carbon dioxide, methane, carbon monoxide, carbon dioxide. sulfur, nitrogen oxides, ozone, formaldehyde and aerosols.

Palabras clave: satélite, monitoreo, gases GEI, efecto invernadero

Citar como:

Rodriguez, D. M. y L. Vidal, 2021: Satélites Ambientales para el Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero. Nota Técnica SMN 2021-92.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Información General

En la actualidad existen varias plataformas satelitales de órbita baja que proporcionan datos sobre algunos Gases de Efecto Invernadero (en adelante, GEI) y gases traza. El objetivo de esta Nota Técnica es recopilar información sobre las distintas plataformas satelitales que permiten obtener datos en tiempo casi real y diferido para el monitoreo de algunos de ellos.

Se describen diferentes niveles de procesamiento, fuentes de visualización y descarga. También se muestran algunos ejemplos para vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3), formaldehído ($HCHO$) y aerosoles.

1.2 Cambio climático y efecto invernadero

El cambio climático es una variación persistente del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana durante períodos de tiempo comparables y adicional a la variabilidad climática natural observada por cambios del equilibrio entre la energía solar entrante y la energía reemitida por la Tierra hacia el espacio.

Esto se debe principalmente al aumento de la concentración atmosférica de los GEI por encima de los niveles naturales. La generación de energía con quema de combustibles fósiles, la generación de residuos urbanos, la agricultura, la ganadería y la deforestación, entre otras actividades antropogénicas, contribuyen a la proliferación de los GEI, incrementando así el efecto invernadero y causando el cambio climático.

Un informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) afirma que “*el calentamiento desde los niveles preindustriales hasta la década 2006-2015 se estima en 0,87 °C*” (IPCC, 2018). El efecto invernadero es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera “atrapan” la radiación que la Tierra emite al espacio. Esta emisión de la Tierra es producto del calentamiento de su superficie por la incidencia de la radiación solar (Fig. 1). Así, el efecto invernadero hace que la temperatura media de la Tierra sea de alrededor de 33 °C más que si este proceso no ocurriera. La superficie terrestre, los océanos y los hielos son calentados directamente por el Sol, absorbiendo parte de la energía recibida. Una fracción de la misma es devuelta hacia la atmósfera en forma de energía infrarroja siendo retenida momentáneamente por el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y otros gases, como los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso (N_2O) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), entre los más importantes. Los gases que tienen esta propiedad se denominan GEI.

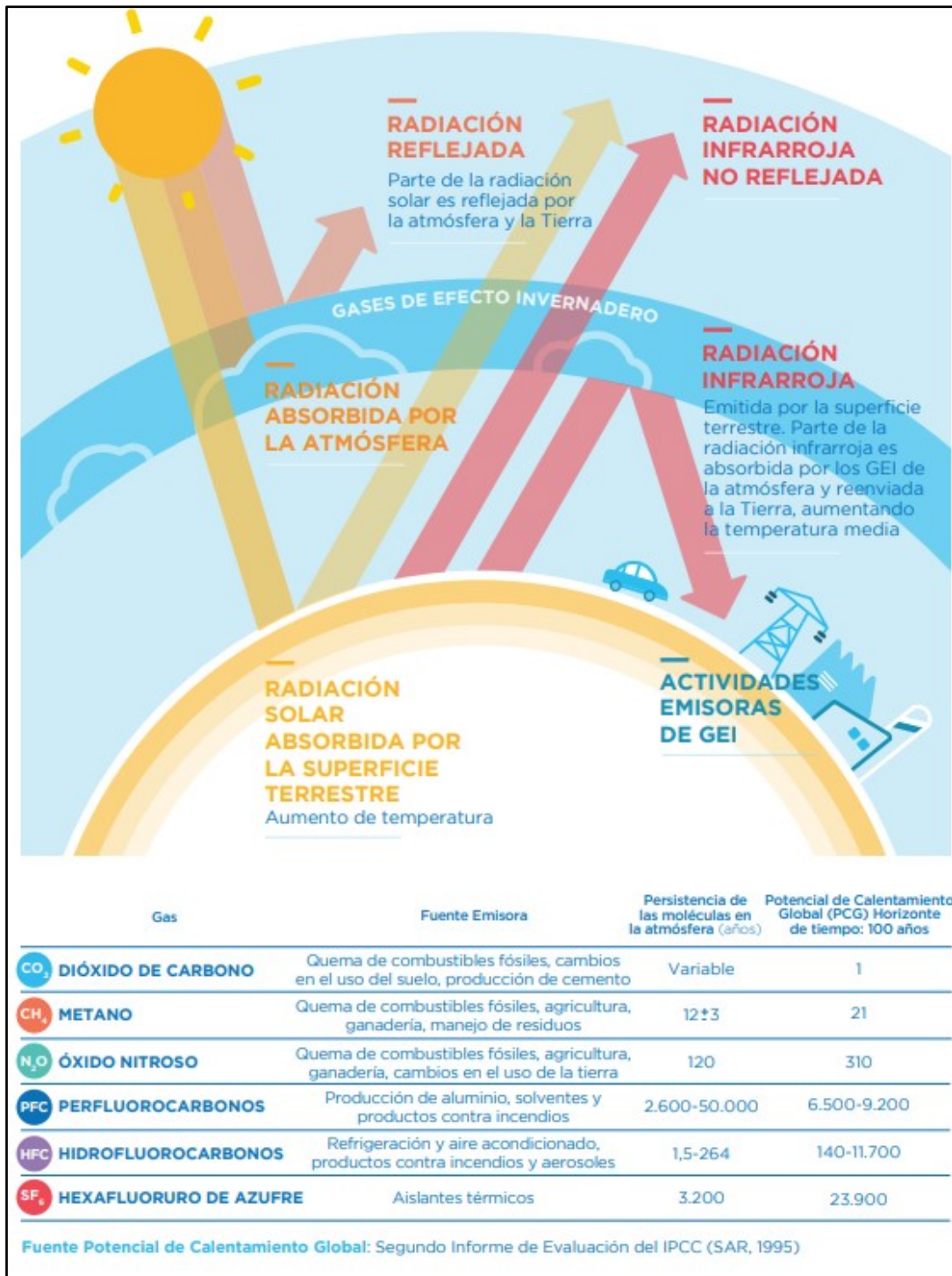


Fig. 1 Gases de efecto invernadero y su interacción.

Fuente: <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

El potencial de calentamiento global (PCG) es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención de calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma

manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que tiene un gas, mayor será su capacidad de retención de calor en la atmósfera.

2. PLATAFORMAS SATELITALES

Existen diversas plataformas satelitales cuyos sensores permiten obtener información de diferentes gases GEI y algunos precursores. Los productos se encuentran en sitios de descarga libre y gratuitos, en general con previa registración.

Entre algunos de los satélites diseñados específicamente para recopilar datos e imágenes que son fundamentales para el programa Copernicus¹ de la Comisión Europea se encuentra el satélite Sentinel-5 Precursor, también conocido como Sentinel-5P (Fig. 2) y corresponde a la primera misión de Copernicus dedicada a monitorear nuestra atmósfera. Este satélite lleva a bordo el instrumento TROPOMI de última generación para mapear una multitud de gases traza como el dióxido de nitrógeno, ozono, formaldehído, dióxido de azufre, metano, monóxido de carbono y aerosoles, los cuales afectan el aire que respiramos, nuestra salud y el clima. Este satélite tiene como objetivo completar el vacío de datos existente y proporcionar continuidad de datos entre el retiro del satélite Envisat y la misión Aura de la NASA.

A modo de resumen, en la Tabla 1 se presentan los principales satélites que permiten el monitoreo de los gases GEI, la agencia a la que pertenecen y la disponibilidad de datos.



Fig. 2 Satélite Sentinel-5P de la Agencia Espacial Europea (ESA). Fecha de lanzamiento: Octubre de 2017.

¹ <https://www.copernicus.eu/es>

Tabla 1 Principales plataformas satelitales disponibles para el monitoreo de gases de efecto invernadero

Satélite Sensor	GEI	Agencia	Res. al Nadir	Ciclo de Repetición orbital	Disponibilidad de datos
GOSAT TANSO-FTS	CO ₂ , CH ₄ y H ₂ O	JAXA/MOE	10.5 km (diámetro)	3 días	2009- Presente
GOSAT-2 NSO-FTS-2	CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O y CO	JAXA/MOE	9.7 km (diámetro)	6 días	2018- Presente
OCO-2	CO ₂	NASA	2.25 km(along-track) 1.29 km(cross-track)	16 días	2014- Presente
ISS OCO-3	CO ₂	NASA, CSA, ESA, JAXA, Roscosmos	2.25 km(along-track) 1.29 km(cross-track)	N/A	2019- Presente
TanSat (CarbonSat) CDS+CAPI	CO ₂	MOST/CAS/CMA	N/A	16 días	2016- Presente
Sentinel-5P TOPROMI	CO, HCHO, CH ₄ , NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , aerosoles	ESA/NSO	7 x 3.5 km ² 7x7 km ² (SWIR bands) y UV1 band (7x28 km ²)	16 días	2017- Presente
Aqua AIRS	CO, CH ₄ , SO ₂ , H ₂ O, O ₃ , CO ₂	NASA	13.5 km x 13.5 km	16 días	2002- Presente
Aura MLS	O ₃ , CO, CH ₄ , H ₂ O, N ₂ O, BrO	NASA	5 km (cross-track) x 500 km (along-track) x 3 km (vertical)	16 días	2004- Presente
Aura TES	CFCs, CH ₄ , CO, CO ₂ , H ₂ O, N ₂ O, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , aerosoles	NASA	0.53km x 5.3 km	16 días	2004- Presente
Aura OMI	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , HCHO, aerosoles	NASA	13 km x 24 km	16 días	2004- Presente
MetOp-A/B/C IASI	CO, CH ₄ , O ₃ , NH ₃ , SO ₂ , CO ₂ , H ₂ O, N ₂ O, HCOOH, aerosoles	EUMETSAT/CNES	12 km (diámetro)	29 días	*
MetOp-A/B/C GOME-2	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , H ₂ O, BrO, HCHO, aerosoles	EUMETSAT/ESA	40 x 40 km ² (MetOp-A), 80 x 40 km ² (MetOp-B/C)	29 días	*
Terra MOPITT	CO y CH ₄	NASA	22 km x 22 km	16 días	1999- Presente
SNPP NOAA-20 OMPS	O ₃ , BrO, HCHO, NO ₂ , SO ₂ , aerosoles	NOAA/NASA	50 km(mapper) 250 km(profiler)	16 días	**

* MetOp- A desde el 2006 al presente , MetOp- B desde 2012 al presente y MetOp- C desde 2018 al presente.

** SNPP desde el 2011 al presente y NOAA-20 desde el 2017 al presente.

3. VISUALIZACIÓN Y DESCARGA DE PRODUCTOS

Los productos satelitales se encuentran disponibles con distintos niveles de procesamiento y en una variedad de portales web. A continuación se describen generalidades de cada nivel ya que las definiciones detalladas de los productos pueden diferir según las distintas misiones satelitales. Los productos de Nivel 1 contienen parámetros físicos medidos directamente por instrumentos espaciales como radiancias espectrales. Mientras que los productos de Nivel 2 contienen parámetros físicos recuperados de parámetros en productos de Nivel 1 como concentraciones de gases de efecto invernadero. Por último, los productos de nivel 3 contienen productos reticulados con una determinada resolución espacial y temporal y están basados principalmente en productos de Nivel 2. Para los satélites GOSAT y OCO-2, los productos de Nivel 4A se definen como el flujo regional estimado en base a el análisis de inversión de las concentraciones de gases de efecto invernadero observadas (productos de Nivel 2) y utilizan modelos de transporte atmosférico. Los niveles de procesamiento pueden variar de acuerdo a las misiones satelitales.

A continuación se hará una reseña de los principales sitios web para la visualización y descarga de productos con diferentes niveles de procesamiento. En la Sección 4 se indagará en detalle abordando la descripción de acuerdo a cada uno de los gases GEI de interés.

3.1 NASA WorldView

La NASA desarrolló un servicio de exploración de imágenes globales llamado GIBS² que proporciona acceso rápido a más de 900 productos de imágenes satelitales con cobertura global. La mayoría de las imágenes se actualizan a diario; están disponibles pocas horas después de la observación satelital y algunos productos ofrecen un registro histórico de casi 30 años. Las imágenes de satélite se pueden procesar en su propio cliente web o aplicación GIS. Un número importante de productos están disponibles dentro de las 3 a 5 horas posteriores a su observación. El archivo de imágenes también se está ampliando para incluir más productos históricos además de los sensores más recientes. En el sitio Worldview³ se pueden visualizar las imágenes disponibles de GIBS. La Figura 3 corresponde a la pantalla de inicio de la plataforma de visualización de productos de la NASA WorldView. A través de la misma se pueden agregar como capas algunos productos de gases GEI, como así también otros productos satelitales y descargarlos en formatos JPG, PNG y GEOTIFF. También se encuentran las referencias de los mismos.

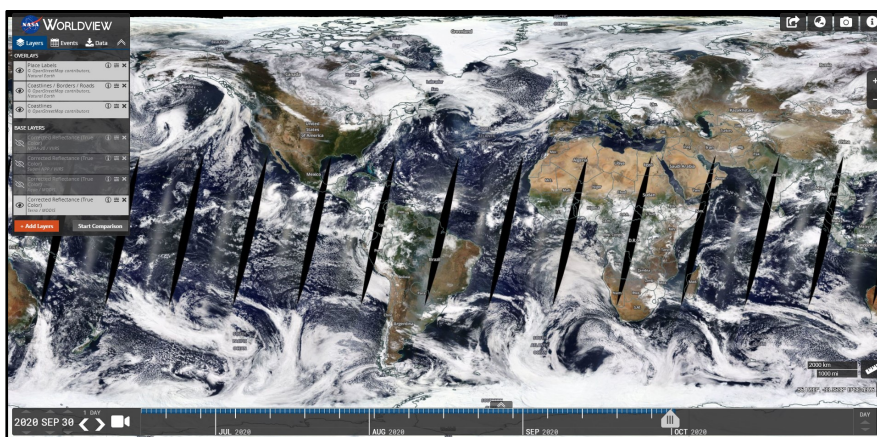


Fig. 3 Pantalla de inicio del visualizador online NASA WorldView.

² <https://wiki.earthdata.nasa.gov/display/GIBS/>

³ <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

3.2 EO Browser

La Figura 4 corresponde a la página de visualización y descarga de productos de varios satélites. Para poder acceder a la descarga de los mismos es necesario registrarse [aquí](#). Luego, se puede acceder a la pantalla [aquí](#). Mas información en: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>

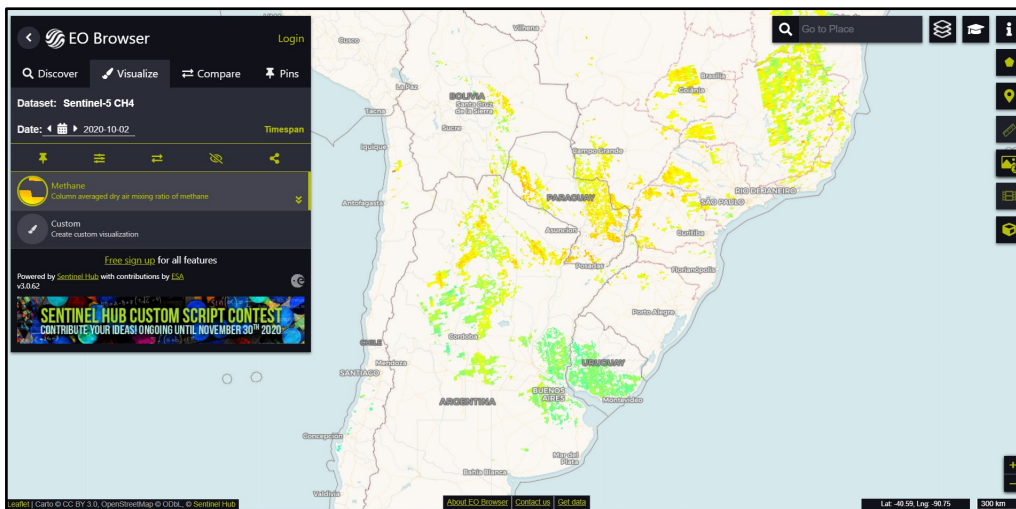


Fig. 4 Pantalla de la interfase de visualización y descarga EO Browser.

3.3 NASA Earthdata Search

Earthdata Search es un sitio que proporciona la visualización y el acceso para la descarga de datos de los productos y datos de ciencias de la Tierra de la NASA. Este sitio permite realizar búsquedas avanzadas por tema, colección o nombre de de producto. Con (GIBS), Earthdata Search permite la visualización de datos con alta disponibilidad. Es necesario crear una cuenta para descargar los datos. Para ello se puede acceder [aquí](#). La Figura 5 corresponde a la página visualización y descarga de productos en tiempo casi real de la NASA. Para poder descargar los productos es necesario registrarse previamente y luego acceder [aquí](#).

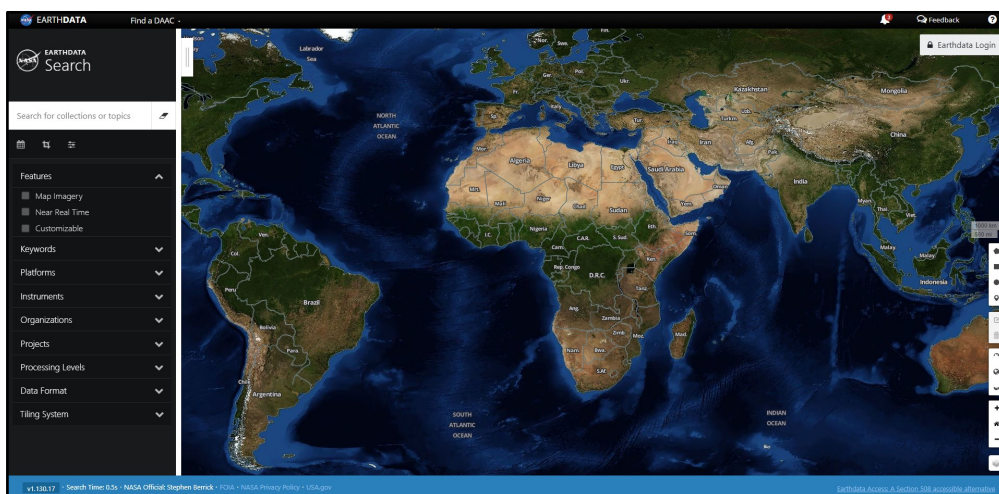


Fig. 5 Pantalla de inicio de la Interfase de visualización y descarga de productos de NASA.

3.4 NASA Giovanni

Para acceder a la visualización y descarga de datos se ingresa [aquí](#) (Fig. 6), donde hay que loguearse con el mismo usuario creado para Earthdata Search.

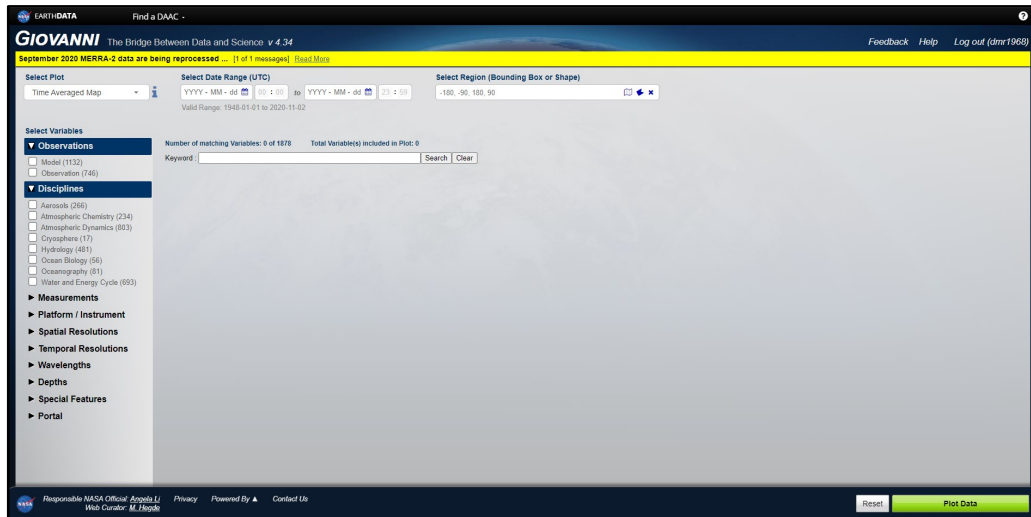


Fig. 6 Sitio de descarga Giovanni (NASA).

3.5 NASA GES DISC

GES DISC permite el acceso a datos de numerosas plataformas satelitales mediante un acuerdo de cooperación con la Agencia Espacial Europea (ESA). Los datos de TROPOMI suelen estar disponibles unos días después de la medición realizada por el instrumento. ESA proporciona información adicional sobre este producto de datos. Para acceder a la descarga loguearse en [GES DISC EOSDIS](#). La Figura 7 corresponde a la interfaz de inicio para la descarga de datos. Se accede con el mismo usuario creado para **Earthdata Search**.

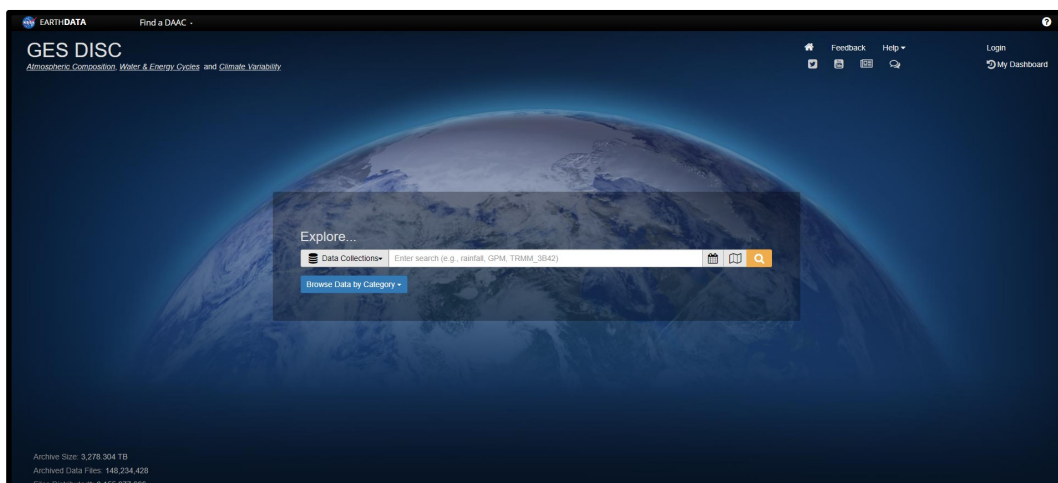


Fig. 7 Interfaz de inicio para descarga GES DISC.

3.6 NASA Jet Propulsion Laboratory

El Entorno de Datos de Ciencia Virtual de CO₂ reúne modelos, datos y herramientas para realizar investigaciones sobre el CO₂ atmosférico. Para acceder a la descarga es necesario registrarse [aquí](#). La Figura 8 corresponde a la página de descarga de datos y productos. El acceso es a través del siguiente link: [CO₂ Virtual Science Data Environment](#)

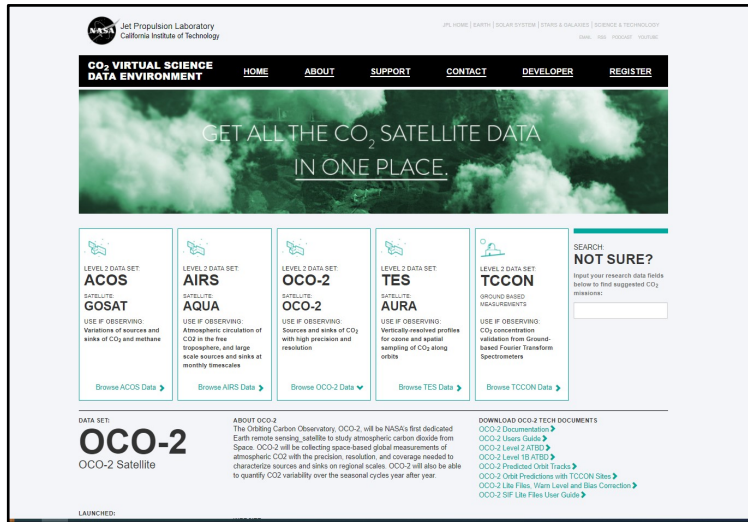


Fig. 8 Interfaz de descarga del Entorno de Datos de Ciencia Virtual de CO₂ (Jet Propulsion Laboratory-NASA).

3.7 NASA Earth Online

Para acceder a la descarga de productos de la ESA es necesario registrarse siguiendo los pasos descritos [aquí](#). La Figura 9 corresponde al portal de acceso para descarga de productos de [Earth online](#).

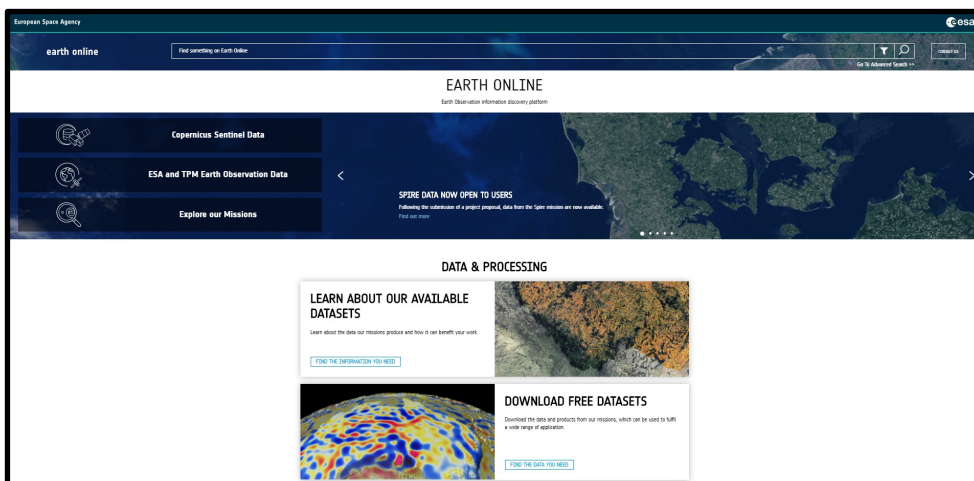


Fig. 9 Interfaz de descarga de Earth on line (ESA).

3.8 Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub (ESA-Copernicus)

Para acceder a las imágenes del satélite Sentinel-5P es necesario acceder al sistema de gestión y búsqueda de imágenes satélite del Sentinel- 5P [aquí](#) el cual presenta un sistema de descarga previa registración [aquí](#). La Figura 10 corresponde a la interfaz de descarga del sitio Copernicus.

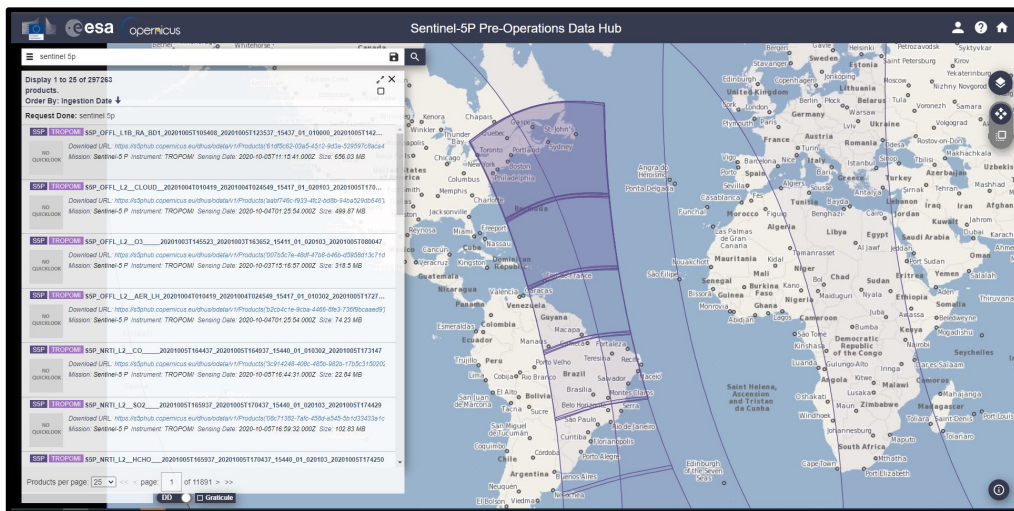


Fig. 10 Interfaz de descarga Sentinel 5p (ESA-Copernicus).

3.9 CAMS - ESA/ECMWF

El Servicio de Monitoreo de la Atmósfera de Copernicus (CAMS, por sus siglas en inglés), proporciona información consistente y de calidad controlada relacionada con la contaminación del aire, la salud, la energía solar, los gases de efecto invernadero y el forzamiento del clima en todo el mundo. CAMS es uno de los seis servicios que conforman Copernicus, el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea. Este ofrece servicios de información basados en la observación de la Tierra por satélite, datos y modelos *in situ* (no satelitales).

También utiliza observaciones satelitales para estimar las emisiones diarias de los incendios forestales y la quema de biomasa, para proporcionar series de tiempo de energía solar entrante para cualquier lugar del mundo y para monitorear el intercambio de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en la superficie de la Tierra. Más información se puede consultar [aquí](#).

La Figura 11 corresponde al sitio CAMS. En la misma se puede acceder al registro gratuito y descarga de datos y productos a través del siguiente [link](#). Datos disponibles: reanálisis global de la composición atmosférica, gases de efecto invernadero (Datos diarios y promedios mensuales), radiación solar y pronósticos de calidad del aire.

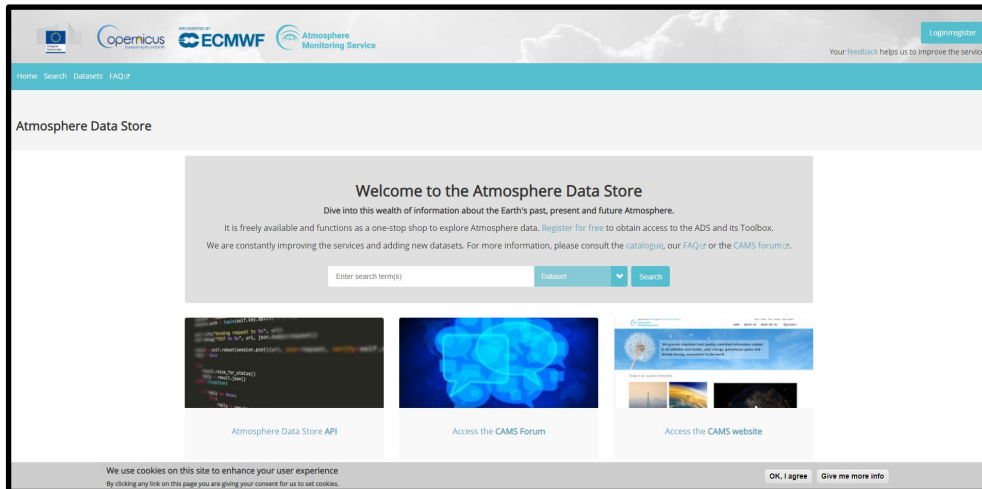


Fig. 11 Sitio de acceso CAMS.

3.10 Atmospheric Toolbox

Atmospheric Toolbox tiene como objetivo proporcionar herramientas para ingestar, procesar y analizar datos de percepción remota atmosférica. La caja de herramientas consta de varios componentes de software, siendo los principales: CODA, HARP, VISAN y QDOAS. Algunos de los datos admitidos por Toolbox son productos de instrumentos satelitales como TROPOMI (Sentinel-5P), Aeolus, GOME-2 (MetOp) y OMI (Aura). Pero la caja de herramientas también admite datos de modelos como CAMS y datos de instrumentos basados en tierra como los proporcionados por EVDC⁴. La Figura 12 muestra el portal de acceso al Atmospheric toolbox al cual se accede a través de este [link](#).

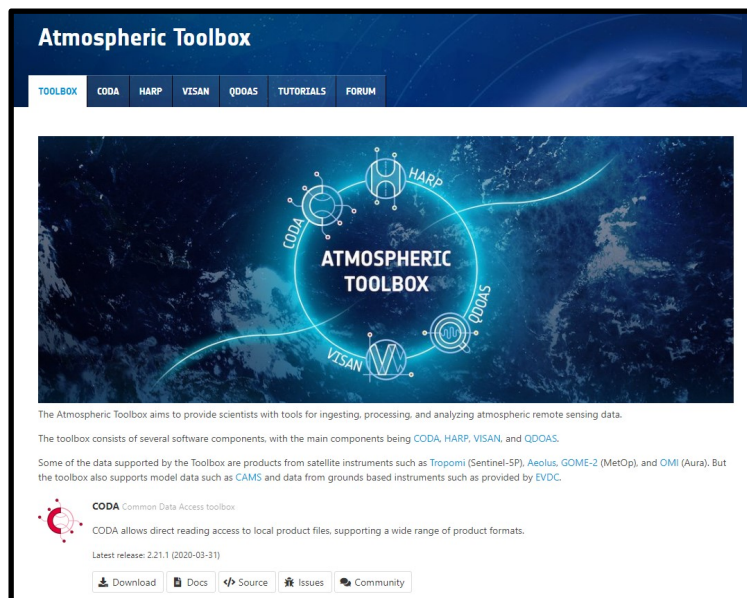


Fig. 12 Interfaz de Atmospheric Toolbox.

⁴ <https://evdc.esa.int/>

3.11 NOAA/NESDIS JSTAR Mapper

La Figura 13 corresponde a la página de inicio de la plataforma de visualización de productos satelitales [JSTAR Mapper](#). A través de esta interfaz se pueden superponer hasta tres capas de productos derivados de los siguientes satélites: S-NPP, NOAA-20, GCOM W-2 y Sentinel-5P. Por otra parte se pueden agregar varios fondos preestablecidos (mapa en blanco, mapa topográfico, fronteras nacionales, y seleccionar los gránulos de Sentinel-5P). Para más información acceder al siguiente [link](#).

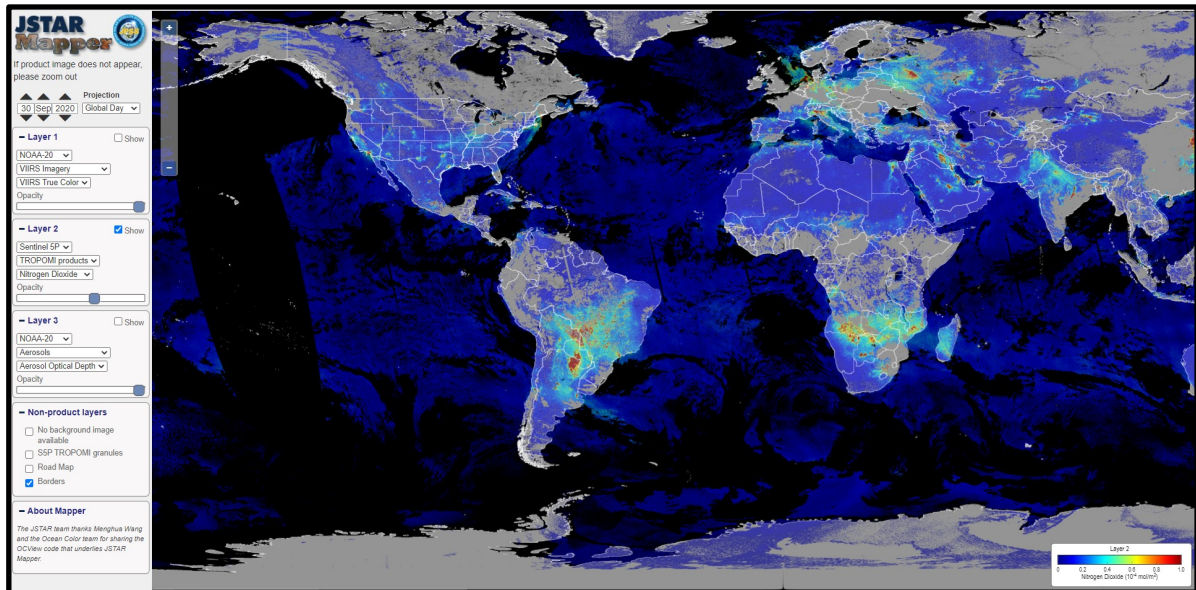
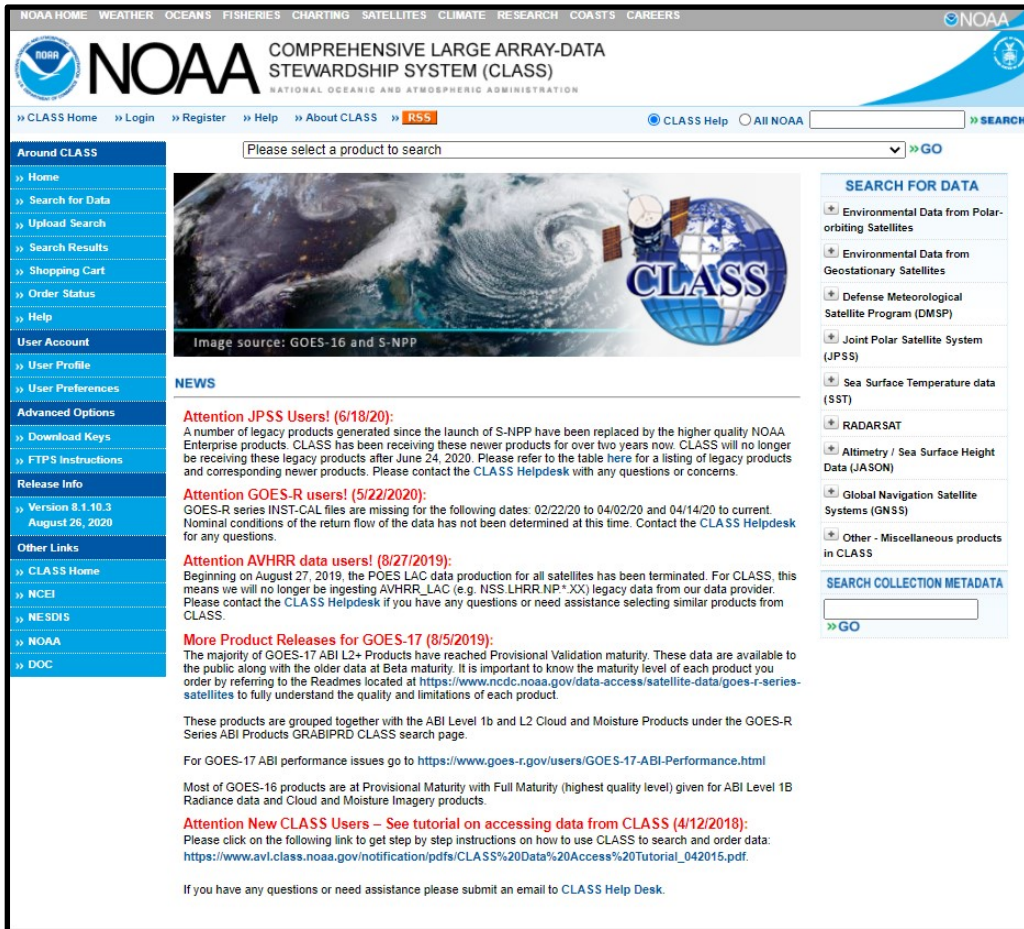


Fig. 13 Pantalla de inicio de plataforma de visualización de productos JSTAR Mapper.

3.12 NOAA CLASS

La Figura 14 corresponde al portal de descarga de datos de CLASS NOAA⁵. Este sitio web es la principal fuente de datos en línea de la NOAA para la distribución de datos de satélites ambientales operacionales de los satélites de órbita polar de la serie POES, del satélite geostacionario GOES (ambos de la NOAA) y productos derivados.

⁵ <https://www.class.noaa.gov/>



NOAA HOME WEATHER OCEANS FISHERIES CHARTING SATELLITES CLIMATE RESEARCH COASTS CAREERS NOAA

NOAA COMPREHENSIVE LARGE ARRAY-DATA STEWARDSHIP SYSTEM (CLASS) NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

» CLASS Home » Login » Register » Help » About CLASS » **RS** CLASS Help All NOAA SEARCH

» Home
» Search for Data
» Upload Search
» Search Results
» Shopping Cart
» Order Status
» Help
User Account
» User Profile
» User Preferences
Advanced Options
» Download Keys
» FTPS Instructions
Release Info
» Version 8.1.10.3
August 26, 2020
Other Links
» CLASS Home
» NCEI
» NESDIS
» NOAA
» DOC

Please select a product to search » GO

Image source: GOES-16 and S-NPP

NEWS

Attention JPSS Users! (6/18/20):
A number of legacy products generated since the launch of S-NPP have been replaced by the higher quality NOAA Enterprise products. CLASS has been receiving these newer products for over two years now. CLASS will no longer be receiving these legacy products after June 24, 2020. Please refer to the table here for a listing of legacy products and corresponding newer products. Please contact the CLASS Helpdesk with any questions or concerns.

Attention GOES-R users! (5/22/2020):
GOES-R series INST-CAL files are missing for the following dates: 02/22/20 to 04/02/20 and 04/14/20 to current. Nominal conditions of the return flow of the data has not been determined at this time. Contact the CLASS Helpdesk for any questions.

Attention AVHRR data users! (8/27/2019):
Beginning on August 27, 2019, the POES LAC data production for all satellites has been terminated. For CLASS, this means we will no longer be ingesting AVHRR_LAC (e.g. NSS.LHRR.NP*.XX) legacy data from our data provider. Please contact the CLASS Helpdesk if you have any questions or need assistance selecting similar products from CLASS.

More Product Releases for GOES-17 (8/5/2019):
The majority of GOES-17 ABI L2+ Products have reached Provisional Validation maturity. These data are available to the public along with the older data at Beta maturity. It is important to know the maturity level of each product you order by referring to the Readmes located at <https://www.nce.noaa.gov/data-access/satellite-data/goes-r-series-satellites> to fully understand the quality and limitations of each product.

These products are grouped together with the ABI Level 1b and L2 Cloud and Moisture Products under the GOES-R Series ABI Products GRABIPRD CLASS search page.

For GOES-17 ABI performance issues go to <https://www.goes-r.gov/users/GOES-17-ABI-Performance.html>

Most of GOES-16 products are at Provisional Maturity with Full Maturity (highest quality level) given for ABI Level 1B Radiance data and Cloud and Moisture Imagery products.

Attention New CLASS Users – See tutorial on accessing data from CLASS (4/12/2018):
Please click on the following link to get step by step instructions on how to use CLASS to search and order data: https://www.avl.class.noaa.gov/notification/pdfs/CLASS%20Data%20Access%20Tutorial_042015.pdf.

If you have any questions or need assistance please submit an email to CLASS Help Desk.

SEARCH FOR DATA

- Environmental Data from Polar-orbiting Satellites
- Environmental Data from Geostationary Satellites
- Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)
- Joint Polar Satellite System (JPSS)
- Sea Surface Temperature data (SST)
- RADARSAT
- Altimetry / Sea Surface Height Data (JASON)
- Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
- Other - Miscellaneous products in CLASS

SEARCH COLLECTION METADATA

» GO

Fig. 14 Interfaz de descarga de datos de CLASS NOAA.

3.13 GDAS-NIES

Para acceder a la descarga de productos de GOSAT⁶ es necesario el registro en GDAS (GOSAT Data Archive Service) a través del siguiente [link](#). La Figura 15 corresponde al sitio de descarga de los datos GOSAT y se accede a través del siguiente [link](#).

⁶ <http://www.gosat.nies.go.jp/en/index.html>



Greenhouse gases observing satellite GOSAT "IBUKI" ● SITE MAP ● 日本語

HOME ABOUT NEWS Research Announcement Whole-atmosphere mean CONTACT

Greenhouse Gases Observing Satellite "IBUKI"

NIES organized the research team dedicated to the GOSAT project within its organization in April 2004, and since then has been working for the research and development with respect to GOSAT "IBUKI". read more

News & Topics list

2019/3/22 **press release** [Press release] The WMO World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG) begins provision of data from the Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT)

2018/11/28 **technical info** GOSAT captured smoke rising from massive wildfire in northern California (acquired on Nov. 10 and Nov. 16, 2018)

2018/4/2 **NEWS** GOSAT captured the appearance of yellow sand spreading in Japan Sea (acquired on Mar. 28, 2018 and Mar. 29, 2018 (UTC))

2017/12/13 **press release** [Press Release] Agreements signed with the European Space Agency (ESA), the Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), and the German Aerospace Center (German: Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, abbreviated DLR) concerning the Cooperation in the Remote Sensing of Greenhouse Gases and Related Missions

2020.10.20 **technical info** The explanation of the "GOSAT Path Calendar" is here.

2019.12.28 **technical info** The explanation of the "GOSAT Path Calendar" is here.

2019.8.5 **topics** GOSAT-2 Level 1 products are available to the public.

2019.3.22 **press release** [Press release] The WMO World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG) begins provision of data from the Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT)

Our planet is changing.
GOSAT L4B W02.05 CO₂ (2015/04/03) Column Average Simulated Concentration

Animation of Simulated Global CO₂ Concentration
For more information, click here

SOC 衛星観測センター
Satellite Observation Center

Fig. 15 Página web del proyecto GOSAT.

4. PRODUCTOS

El objetivo de esta sección es describir algunos de los productos satelitales que se utilizan para el monitoreo de gases GEI y precursores, indicar la fuente de descarga de los mismos y dar algunos ejemplos de casos actuales. El orden estará dado por el gas a monitorear.

4.1 Vapor de Agua (H₂O)

Casi toda la humedad atmosférica se encuentra en forma de vapor de agua. Este es el motor de impulso para el desarrollo de sistemas meteorológicos en varias escalas de tiempo e influye en el clima en escalas de tiempo más largas. El vapor de agua es el principal gas GEI de la Tierra y atrapa más calor que el dióxido de carbono (CO₂). El desplazamiento del vapor de agua alrededor del mundo ayuda a determinar la cantidad de precipitación que puede recibir una región y ayuda a transportar el calor desde los trópicos a los polos.

Entre algunos de los sensores que ofrecen datos de vapor de agua se encuentra el instrumento Microwave Limb Sounder (MLS) a bordo del satélite Aura de la NASA, el instrumento AIRS a bordo del satélite Aqua y los satélites GOSAT, GOSAT-2 y MetOp.

4.1.1 Producto Aura/MLS

Entre los productos de Nivel 2 se encuentra el MLS/Aura Level 2 Water Vapor (H₂O) Mixing Ratio V005 cuyo nombre corto es ML2H2O que corresponde a un producto estándar MLS para vapor de agua diario con cobertura casi global (82°S a 82°N de latitud). Este producto se deriva de radiancias en el rango de las microondas (190 GHz). El rango vertical útil se encuentra entre 316 y 0,00215 hPa, la resolución vertical es de aproximadamente 1,5 km a 316 hPa y aumenta en 3,5 km a 4,64 hPa y se degrada a 15 km por encima de 0,1 hPa.

Descripción

- https://mls.jpl.nasa.gov/products/h2o_product.php
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/ML2H2O_005/summary?keywords=ML2H2O_005

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=ML2H2O_005

La Figura 16 muestra un ejemplo del producto MLS/Aura Level 2 Water Vapor (H₂O) Mixing Ratio en 46 hPa, para el día 6 de septiembre de 2020. Las unidades están expresadas en parte por millón por volumen (ppmv). Se observan en tonos de rojo, valores mayores a 4.5 ppmv y en tonos de verde valores más bajos, de alrededor de 3.90 ppmv aproximadamente. La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

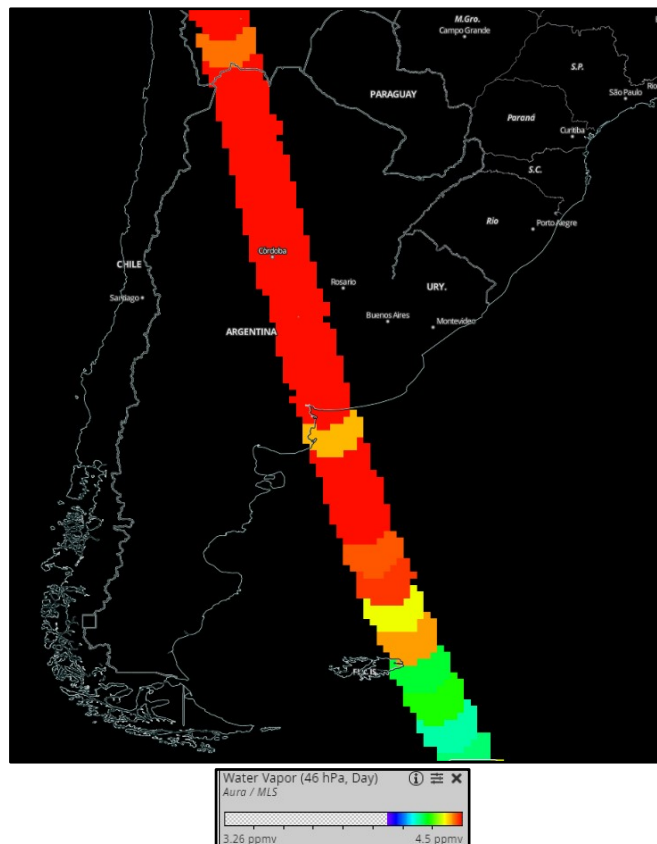


Fig. 16 Ejemplo del producto MLS/Aura Level 2 Water Vapor (H₂O) Mixing Ratio correspondiente al día 6 de septiembre de 2020. (Fuente: NASA WorldView).

4.1.2 Producto Aqua/AIRS

Descripción

- <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/glossary?keywords=giovanni%20measurements&title=Giovanni%20Measurement%20Definitions:%20Atmospheric%20Moisture>
- https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/AIRS/V7_L3_User_Guide.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3STD_7.0/summary

Descarga

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=AIRS3STD%207.0>

La Figura 17 representa el vapor de agua promedio diario para la columna total atmosférica captada por el sensor AIRS a bordo del satélite Aqua de la NASA para el día 15 de mayo de 2021. Las unidades están expresadas en kg/m^2 . La mayor concentración de vapor de agua (naranja y rojo), corresponde a valores mayores a 46.0 kg/m^2 que se observan al norte de Bolivia y sudoeste de Brasil. Los valores más bajos (celeste) entre 1.6 y 8.1 kg/m^2 , se encuentran en la zona de la cordillera. La resolución espacial es de $1^\circ \times 1^\circ$ y la temporal diaria.

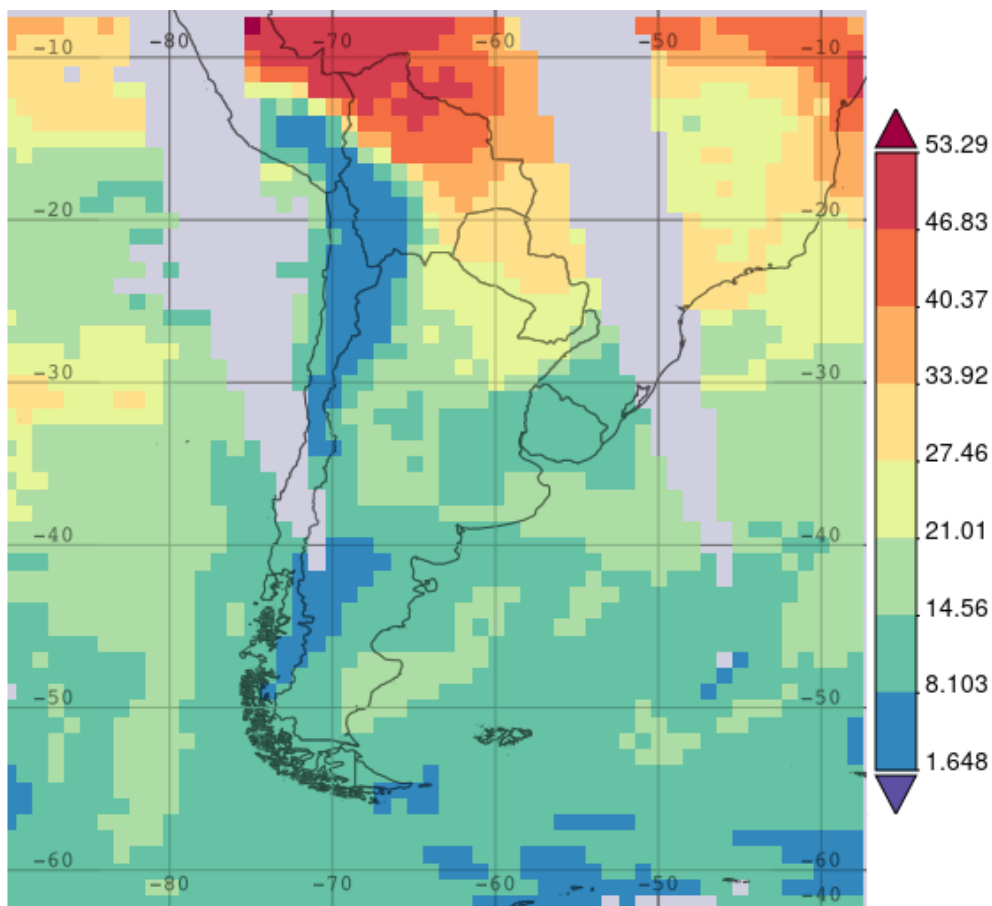


Fig. 17 Imagen correspondiente al vapor de agua promedio diario para la columna total atmosférica para el día 15 de mayo de 2021. Los datos fueron captados por el sensor AIRS a bordo del satélite AQUA. (Fuente: Giovanni -NASA)

4.2 Dióxido de carbono (CO₂)

La producción y absorción natural de dióxido de carbono (CO₂) se produce a través de la biosfera terrestre y el océano. Sin embargo, el hombre ha alterado el ciclo natural del carbono con la quema del carbón, el petróleo, gas natural y la madera. Desde que comenzó la revolución industrial a mediados del siglo XIX, cada una de estas actividades ha aumentado en escala y distribución. El CO₂ fue el primer gas de efecto invernadero que demostró aumentar la concentración atmosférica con las primeras mediciones concluyentes realizadas en la última mitad del siglo XX. Antes de la revolución industrial, las concentraciones eran bastante estables en torno a los 280 ppm. Hoy en día rondan las 415 ppm. La concentración atmosférica tiene una marcada oscilación estacional que se debe principalmente a la mayor extensión de la masa terrestre en el Hemisferio Norte y su vegetación. Una mayor reducción de CO₂ se produce en el Hemisferio Norte en primavera y verano, ya que las plantas convierten el CO₂ en material vegetal a través de la fotosíntesis. Luego se libera nuevamente en otoño e invierno a medida que las plantas se descomponen.

La Figura 18 muestra el promedio mensual de dióxido de carbono promedio global sobre los sitios de la superficie marina desde el año 2016 a mediados del 2020. La División de Monitoreo Global de NOAA / Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre ha medido CO₂ y otros gases GEI durante varias décadas en una red distribuida globalmente de sitios de muestreo de aire (Conway, 1994). La línea roja discontinua con símbolos de diamante representa los valores medios mensuales, centrados a mediados de cada mes. La línea negra con los símbolos cuadrados representa lo mismo, después de la corrección para el ciclo estacional promedio.

Los datos se informan como una fracción molar de aire seco definida como el número de moléculas de dióxido de carbono dividido por el número de todas las moléculas en el aire, incluido el CO₂ mismo, después de que se haya eliminado el vapor de agua. La fracción molar se expresa como partes por millón (ppm). Ejemplo: 0,000400 se expresa como 400 ppm.

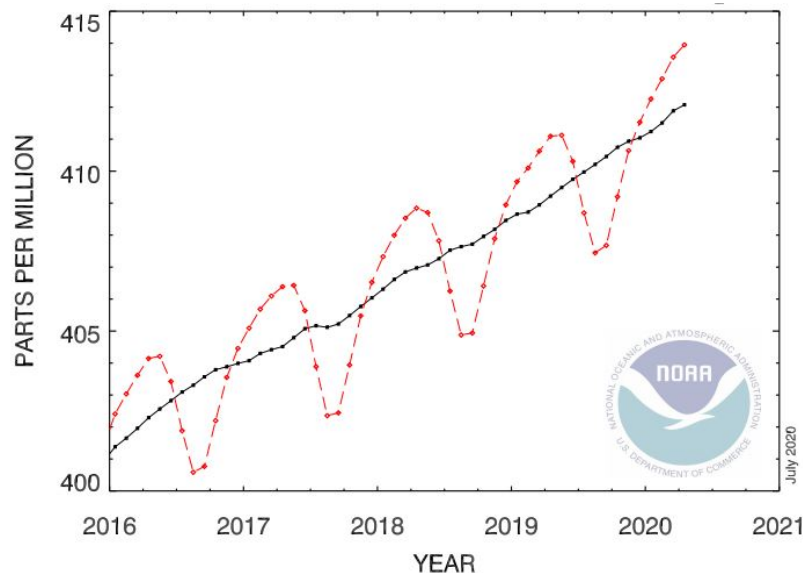


Fig. 18 Imagen promedio global mensual de CO₂ medido en partes por millón.
(Fuente: [Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases](#))

4.2.1 Producto GOSAT

GOSAT⁷ cuyo apodo es “IBUKI” fue la primera misión de la JAXA dentro del programa GCOM (Misión de Observación del Cambio Global). Los objetivos de la misión fueron aumentar los puntos de observación exponencialmente y obtener datos sobre regiones donde no existían datos. GOSAT lleva a bordo el Espectrómetro de Transformada de Fourier (TANSO-FTS) y el Generador de Imágenes de Nube y Aerosoles (TANSO-CAI) que permiten el estudio de los mecanismos de transporte de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano. Fue lanzado el 23 de enero del 2009 y se encuentra en su última fase de funcionamiento. La Figura 19 corresponde al producto global de concentración de CO₂ para el mes de agosto del 2013.

Descripción

- http://www.gosat.nies.go.jp/en/about_5_products.html
- https://data2.gosat.nies.go.jp/doc/manualForUsers_en.pdf

Descarga

- <https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/product.html>
- <https://co2.jpl.nasa.gov/#mission=ACOS>

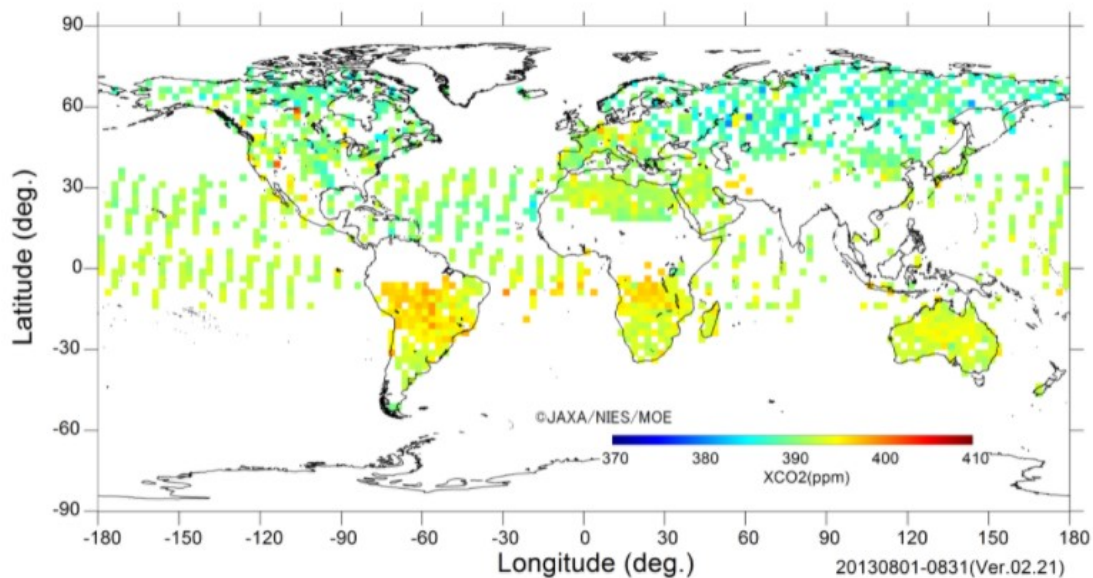


Fig. 19 Concentración global de CO₂ correspondiente al satélite GOSAT para el mes de agosto de 2013.
(Fuente: http://www.gosat.nies.go.jp/index_e2.html)

⁷ http://www.gosat.nies.go.jp/en/about_1_goal.html

4.2.2 Producto GOSAT-2

El satélite GOSAT-2⁸ cuyo apodo es "IBUKI-2", es un satélite de la JAXA dedicado a la observación de gases de efecto invernadero que reúne y amplía las capacidades de su antecesor GOSAT. Adquiere datos sobre concentraciones de dióxido de carbono y metano, pero también observa monóxido de carbono y contribuye a la determinación de la fuentes de emisión de CO₂. Este satélite lleva versiones mejoradas de los dos instrumentos que están presentes en GOSAT, TANSO-FTS-2 y TANSO-CAI-2. Fue lanzado el 29 de octubre de 2018 y se encuentra actualmente en operaciones.

Descripción

- https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/documents/pdf/User_Manual_en.pdf

Descarga

- <https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/index.html.en>
- <https://co2.jpl.nasa.gov/#mission=ACOS>

La Figura 20 corresponde a las concentraciones de CO₂ observadas por GOSAT y GOSAT-2. Ambas muestran buena concordancia, lo que permite un seguimiento a largo plazo con GOSAT-2. Al mejorar su capacidad de detección, GOSAT-2 puede recuperar la concentración de CO₂ en regiones que antes no era posible para GOSAT.

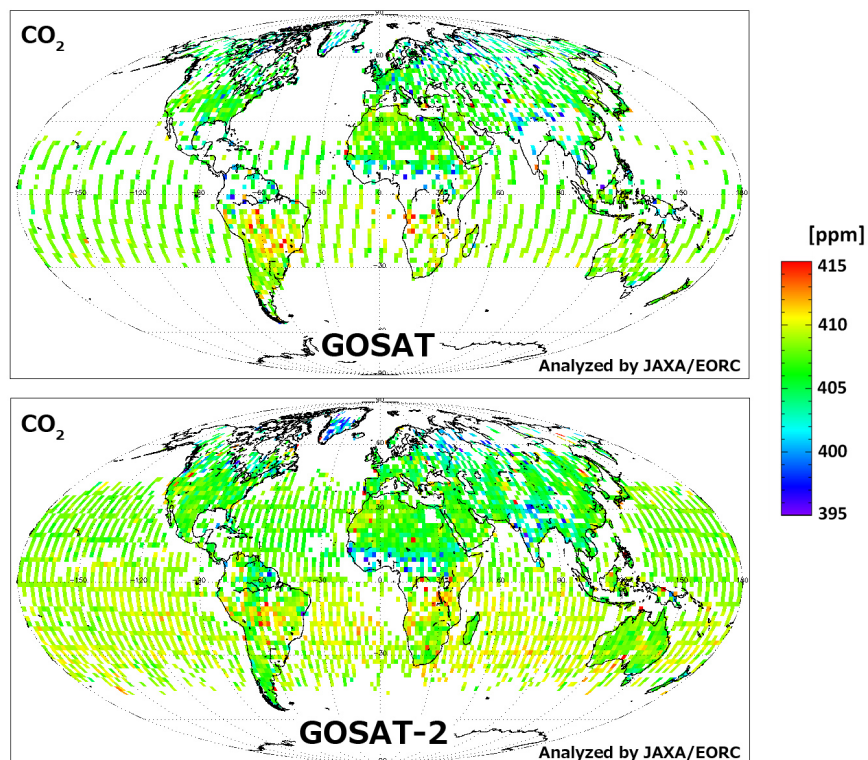


Fig. 20 Concentraciones de CO₂ GOSAT vs GOSAT-2 para el mes de septiembre de 2020.
(Fuente: <https://www.eorc.jaxa.jp/en/earthview/2020/tp200310.html>)

⁸ <http://www.gosat-2.nies.go.jp/about/mission/>

4.2.3 Producto OCO-2

El Observatorio Orbital de Carbono -2 (OCO-2, por sus siglas en inglés) es el primer satélite de detección remota de la Tierra perteneciente a la NASA diseñado para estudiar el dióxido de carbono atmosférico desde el espacio. El objetivo científico principal del proyecto OCO-2 es recopilar las primeras mediciones espaciales de dióxido de carbono atmosférico con la precisión, resolución y cobertura necesarias para caracterizar sus fuentes y sumideros y cuantificar su variabilidad durante el ciclo estacional. Lleva a bordo un instrumento con tres espectrómetros de rejilla de alta resolución, que fueron diseñados para medir la absorción en el infrarrojo cercano de la luz solar reflejada por el dióxido de carbono y el oxígeno molecular. La fecha de lanzamiento fue el 12 de julio del 2014 y actualmente está en operaciones.

Descripción

- <https://ocov2.jpl.nasa.gov/>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/documents?title=OCO-2%20Documents>

Descarga

- <https://co2.jpl.nasa.gov/?mission=oco-2>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=OCO2&page=1&source=OCO-2%20OCO-2>

La Figura 21 corresponde a una imagen de base en color verdadero correspondiente al satélite S-NPP del día 30 de agosto del 2020 a las 17:53 UTC. La misma tiene superpuesto el producto OCO-2 Level 2 Lite que corresponde al promedio de concentración de CO₂ total de la columna presente en la atmósfera. Los valores se encuentran expresados en parte por millón (ppm). Las mediciones fueron realizadas por el satélite OCO-2 mientras volaba sobre el oeste de la provincia de Buenos Aires para el mismo día alrededor de las 18:05 UTC. OCO-2 realiza ocho mediciones adyacentes simultáneas, cada una con una resolución espacial de 2.25 km x 1.29 km que se mapean en una retícula de 500 m². El ciclo de repetición es cada 16 días. En este ejemplo los colores anaranjados indican valores promedio de CO₂ (columna total) que se encuentran entre los 408 ppm y 414 ppm aproximadamente.

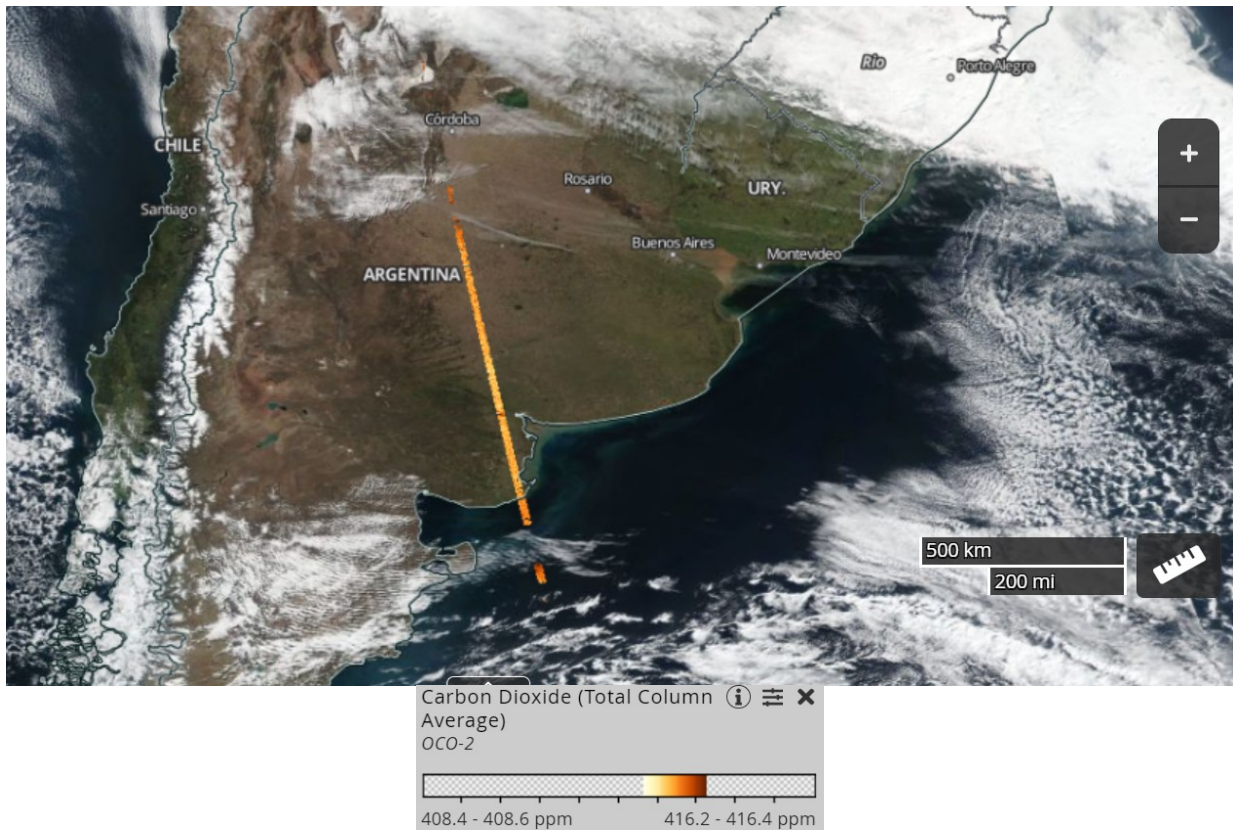


Fig. 21 Imagen promedio de columna total de CO₂ captada por el satélite OCO-2 superpuesta a una imagen RGB color verdadero captada por el satélite S-NPP para el día 30 de agosto de 2020 a las 17:53 UTC. (Fuente: NASA WorldView)

4.2.4 Producto OCO-3

El Observatorio Orbital de Carbono -3 (OCO-3, por sus siglas en inglés) se encuentra a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés) y continúa con las mediciones iniciadas por OCO-2 en 2014. OCO-3 es un elemento crítico en la continuación de las mediciones globales de CO₂ centradas en comprender las fuentes y sumideros regionales. Desde la ISS, este sensor monitorea las concentraciones de CO₂ que fluctúan a lo largo del día, realizando mediciones en diferentes momentos del día.

Descripción

- <https://ocov3.jpl.nasa.gov/>

Descarga

- <https://co2.jpl.nasa.gov/?mission=oco-3>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=OCO-3&page=1>

La Figura 22 corresponde a una imagen de base en color verdadero correspondiente al satélite NOAA-20 del día 18 de mayo del 2020 a las 17:55 UTC. La misma tiene superpuesto el producto de Nivel 2 (OCO-3 _L2_Lite_FP) que representa valores promedio de la columna total de CO₂ observados por OCO-3 alrededor de las 19:04 UTC para el mismo día mientras volaba sobre Argentina en trayectoria Suroeste/ Noroeste. Los valores se encuentran expresados en parte por millón (ppm). Se observan sobre la provincia de Buenos Aires y La Pampa valores en el rango de 409 ppm (magenta) a 413 ppm (amarillo). Cruzando el río Paraná, los valores son más bajos, 408 ppm (azul) y 409 ppm (magenta) aproximadamente.

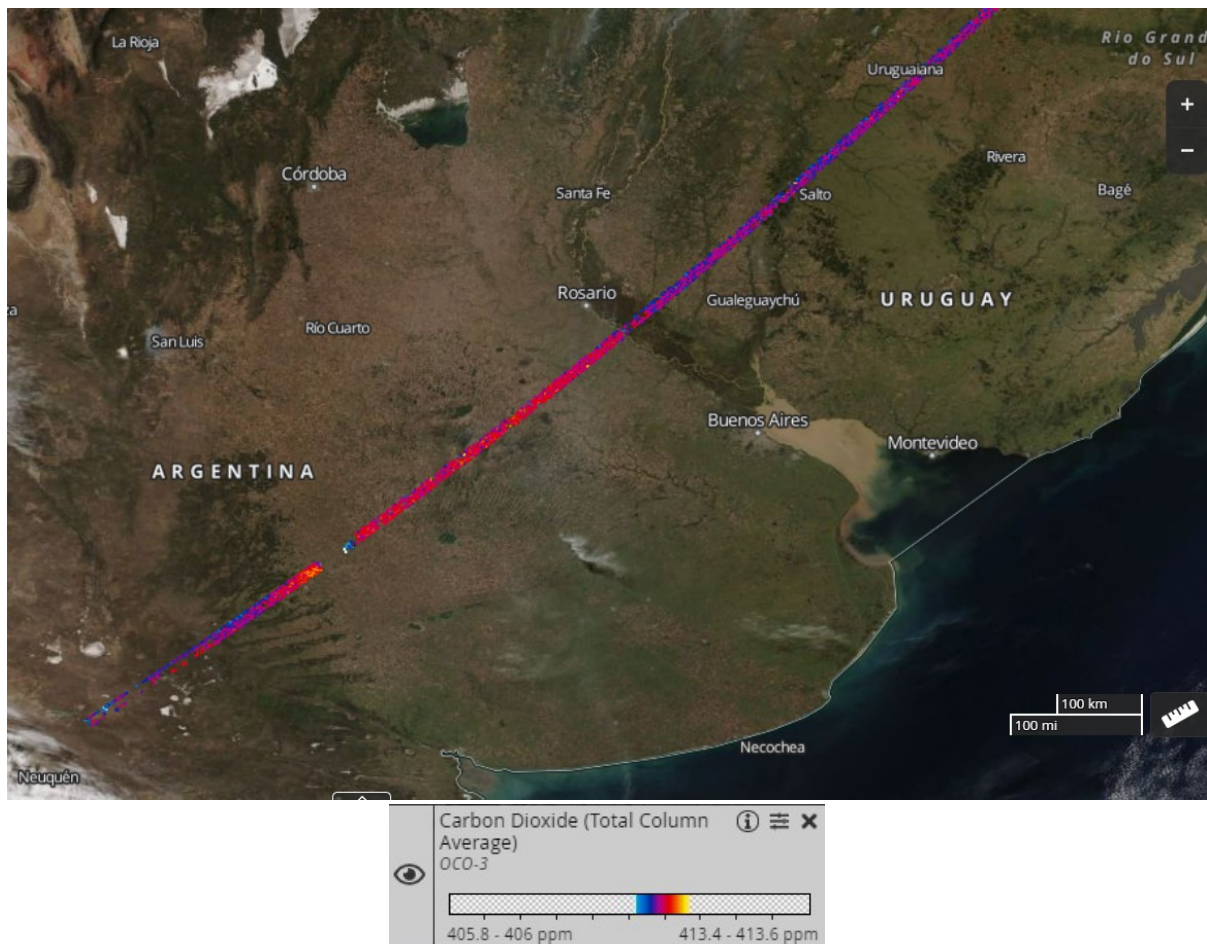


Fig. 22 Imagen promedio de CO₂ (columna total) captada por OCO-3 superpuesta a una imagen RGB color verdadero del satélite NOAA-20 para el día 18 de mayo de 2020 a las 17:55 UTC. (Fuente: NASA WorldView)

4.2.5 Producto TanSat/ACGS

TanSat es el primer minisatélite de China dedicado a la detección y seguimiento de CO₂. Es financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de China. Fue lanzado el 21 de diciembre del 2016 y se encuentra al momento de redactar esta Nota Técnica operacional.

Descripción

- <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/tansat>

Descarga

- <http://satellite.nsmc.org.cn/PortalSite/Data/Satellite.aspx>

En la Figura 23 se puede observar los niveles de concentración de xCO₂ en tierra, capturados por el sensor ACGS a bordo del satélite TanSat. Los valores están expresados en partes por millón (ppm) y corresponden al 31 de julio de 2017.

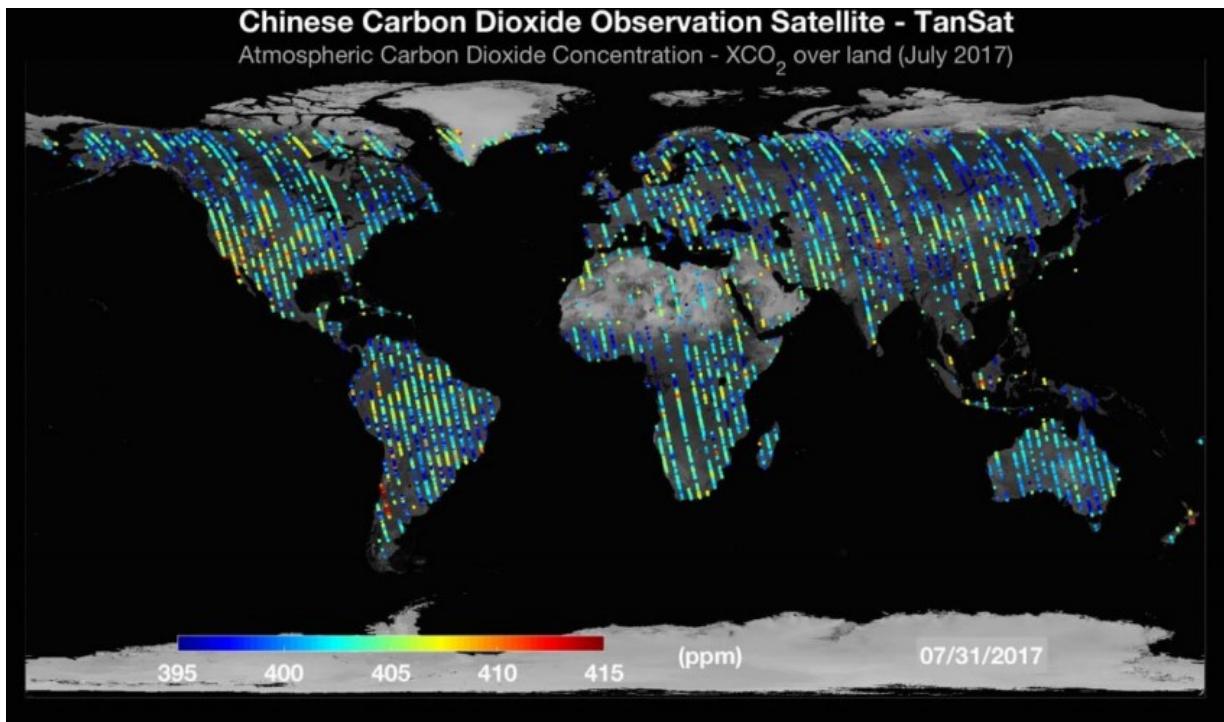


Fig. 23 Primer mapeo de xCO₂ global sobre Tierra correspondiente al día 31 de julio de 2020
(Créditos: Prof. Liu Yi from CAS/IAP at 2018 http://ggim.un.org/unwgic/presentations/2.5_Gu_Xingfa.pdf)

4.2.6 Producto Aqua/AIRS

La sonda infrarroja atmosférica AIRS de la NASA se encuentra a bordo del satélite Aqua. El satélite fue lanzado el 4 de mayo de 2002 y se encuentra operacional formando parte de la constelación A-Train. El sensor AIRS proporciona datos de CO₂ en la troposfera media durante todo el día sobre el océano y la tierra, inclusive en presencia de nubes. Las recuperaciones de este sensor utilizan el espectro de radiación infrarroja térmica en la banda de 15 micrones midiendo la concentración de CO₂ en ppmv con una sensibilidad máxima al nivel de presión de 400 hPa y resolución horizontal al nadir de 90 km x 90 km. La máxima precisión se encuentra en los trópicos y latitudes medias (aproximadamente 2 ppm) . AIRS permite mapear la distribución global de CO₂ todos los días. Los datos de AIRS corresponden a la versión de procesamiento 5 y están disponibles solo para una parte de la misión (hasta marzo del 2017).

Descripción

- <https://airs.jpl.nasa.gov/sounding-science/composition/>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/documents?title=AIRS%20Documentation>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=CO2&page=1&measurement=Atmospheric%20Carbon%20Dioxide&source=Aqua%20AIRS>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3C2M_005/summary

Descarga

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=AIRS3C2M%20005>

La Figura 24 muestra el producto de nivel L3 de dióxido de carbono correspondiente al promedio mensual en la troposfera para febrero de 2017. Los datos fueron captados por el sensor AIRS a bordo del satélite Aqua. Las unidades se encuentran expresadas en partes por millón por volumen (ppmv). Los tonos más claros (blancos y amarillos) corresponden a valores más bajos y se encuentran en el rango de 398 a 402 ppmv y los tonos naranjas y rojos a los valores más altos con un rango que va desde 403 a 405 ppmv aproximadamente. La resolución espacial es de 2.5° x 2.0° y la temporal es mensual.

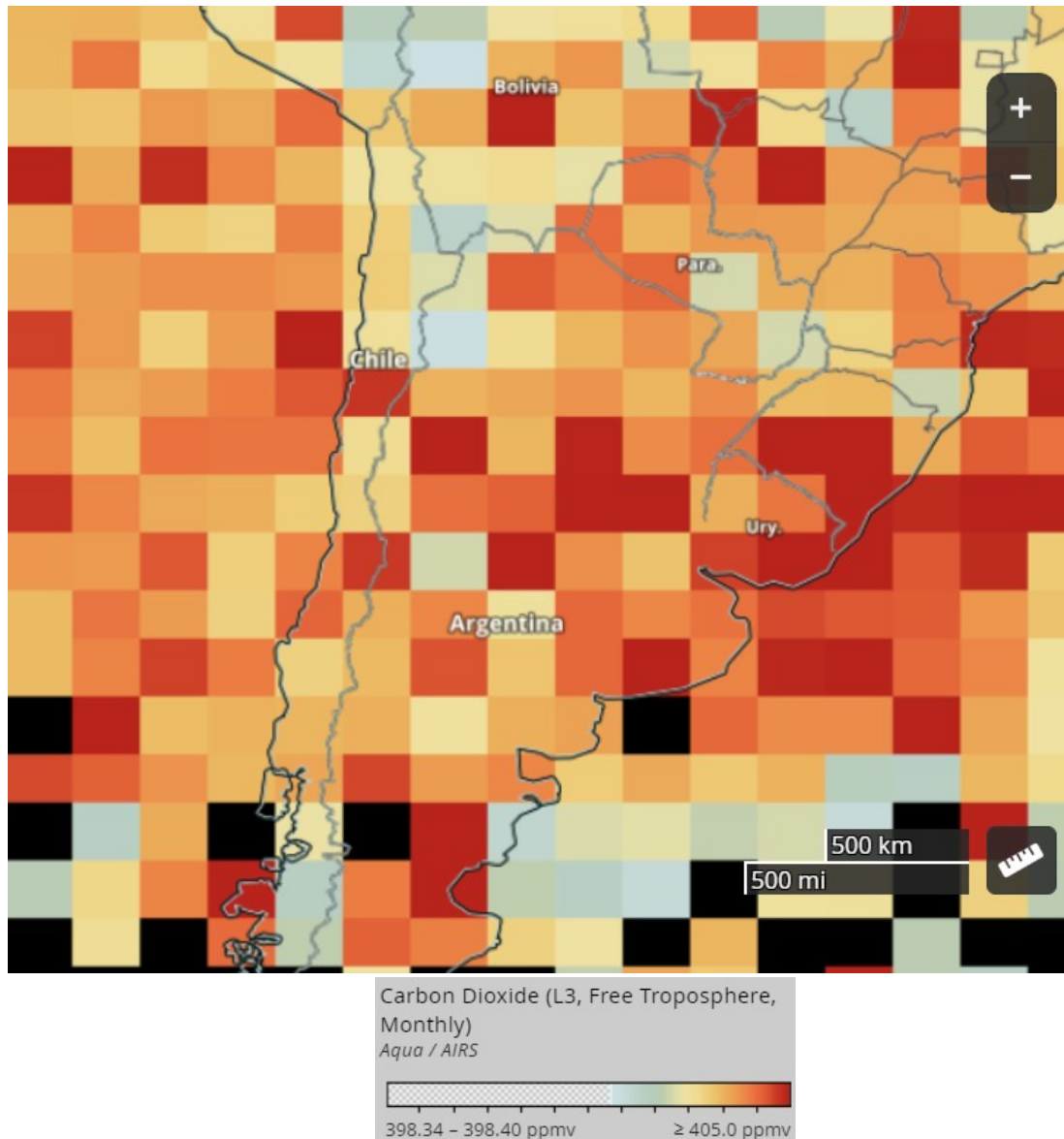


Fig. 24 Imagen del producto CO₂ promedio mensual en la troposfera correspondiente sensor AIRS a bordo del satélite Aqua para el mes de febrero del 2017. (Fuente: NASA WorldView)

4.3 Metano (CH₄)

El metano es un gas de efecto invernadero emitido por una variedad de fuentes naturales y antropogénicas (Kirschke y otros 2013; Saunio y otros 2016). Es un muy buen absorbente de la radiación, aunque su concentración atmosférica es menor que el CO₂ y su vida útil en la atmósfera es de 10 a 12 años. Se libera como parte de los procesos biológicos en ambientes con poco oxígeno, como en las tierras pantanosas o en la producción de arroz (en las raíces de las plantas).

En los últimos 50 años, las actividades humanas como el cultivo de arroz, la cría de ganado, el uso de gas natural y el carbón han aumentado la concentración atmosférica de este gas. La medición atmosférica directa del CH₄ atmosférico ha sido posible desde fines de la década de 1970 y su concentración aumentó de 1.52

ppmv desde 1978 en aproximadamente un 1 % por año hasta 1990. Desde entonces, ha habido un pequeño aumento sostenido. La concentración atmosférica actual es de aproximadamente 1.89 ppmv.

La Figura 25 muestra la abundancia de metano global atmosférico medio mensual determinado a partir de los sitios de la superficie marina. La División de Monitoreo Global del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de NOAA ha medido metano desde 1983 en una red distribuida globalmente de sitios de muestreo de aire (Dlugokencky y otros 1994). Se construye un promedio global al suavizar primero los datos para cada sitio en función del tiempo, y luego los valores suavizados para cada sitio se grafican en función de la latitud para 48 pasos de tiempo iguales por año. Las medias globales se calculan a partir del gráfico de latitud en cada paso de tiempo (Masarie y Tans 1995).

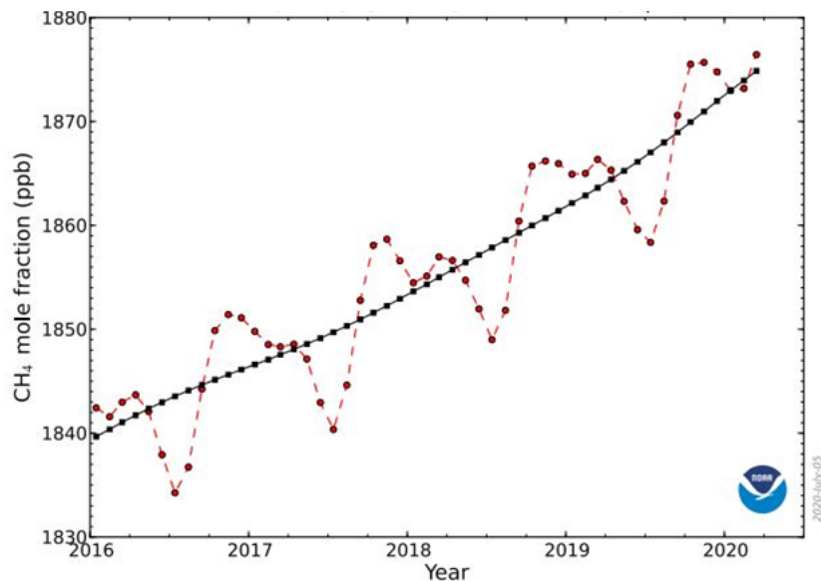


Fig. 25 Representación de datos medidos en partes por millón correspondientes al promedio global mensual de CH_4 (Fuente: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/).

En el gráfico se muestran las medias mensuales de los últimos cuatro años más el año actual. Los valores del último año son recalibraciones preliminares, pendientes de gases estándar y otros pasos de control de calidad. Las líneas rojas y los círculos son valores medios mensuales promediados globalmente centrados a mediados de cada mes. La línea y los cuadrados negros muestran la tendencia a largo plazo (en principio, similar a una media de ejecución de 12 meses) donde se ha eliminado el ciclo estacional promedio. Los datos de CH_4 se informan como una "fracción molar de aire seco", definida como el número de moléculas de metano dividido por el número total de moléculas en la muestra, después de que se haya eliminado el vapor de agua. La fracción molar se expresa como nmol mol^{-1} , abreviado "ppb" (para partes por mil millones; 1 ppb indica que una de cada mil millones de moléculas en una muestra de aire es CH_4).

Una dificultad para cuantificar las emisiones antropogénicas es que tienden a originarse en un gran número de fuentes puntuales relativamente pequeñas y a menudo transitorias, como actividades ganaderas, fugas de petróleo y/o gas, vertederos y ventilación de minas de carbón. Las observaciones satelitales contribuyen eficazmente debido a la cobertura global y continua que brindan. Entre las principales misiones que miden CH_4 se encuentran GOSAT, GOSAT-2, Aqua, Aura, MetOp y Sentinel-5P.

4.3.1 Producto Aqua/AIRS

Descripción

- <https://airs.jpl.nasa.gov/sounding-science/composition/>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/documents?title=AIRS%20Documentation>
- <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=ch4&page=1&measurement=Methane&source=Aqua%20AIRS>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3STD_7.0/summary

Descarga:

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=AIRS3STD%207.0>

La Figura 26 corresponde al producto de CH_4 para el nivel de 400 hPa. Los datos fueron captados por el sensor AIRS a bordo del satélite Aqua para el día 18 de abril del 2021. Las unidades se encuentran expresadas en partes por mil millones por volumen (ppbv). Los tonos amarillos corresponden a los valores más bajos y se encuentran entre $1.67\text{e}3$ y $1.768\text{e}3$ ppbv. Los tonos anaranjados y rojos alcanzan valores entre $1.816\text{e}3$ y $1.906\text{e}3$ ppbv aproximadamente. La resolución espacial es de $1^\circ \times 1^\circ$ y la temporal es diaria.

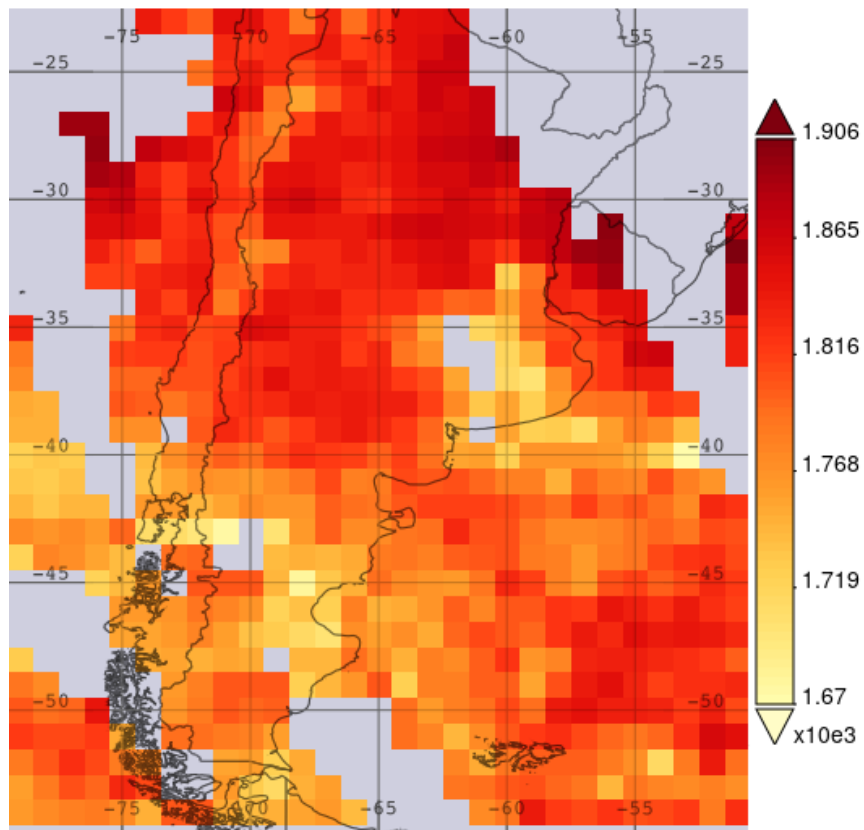


Fig.26 Imagen del producto de CH_4 para el nivel de 400 hPa correspondiente sensor AIRS a bordo del satélite Aqua para el día 18 de abril de 2021. (Fuente: Giovanni NASA)

Descripción

- https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/MetOp/About_IASI
- https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-07/IASI%20Level%202_%20Product%20Guide.pdf

Descarga

- <https://iasi.aeris-data.fr/ch4/>
- <https://iasi.aeris-data.fr/catalog/>
- https://iasi.aeris-data.fr/CH4_IASI_B_data/

La Figura 28 muestra el producto global de la relación de mezcla de aire seco de CH₄ de columna total para la tropósfera media. El ejemplo corresponde al sensor IASI a bordo del satélite Metop-B para el día 14 de septiembre de 2020. Las unidades se encuentran expresadas en partes por mil millones (ppb). En el ejemplo se muestran valores más bajos (azul) de alrededor de 1700 ppb a valores más altos (rojo) de alrededor de 1900 ppb.

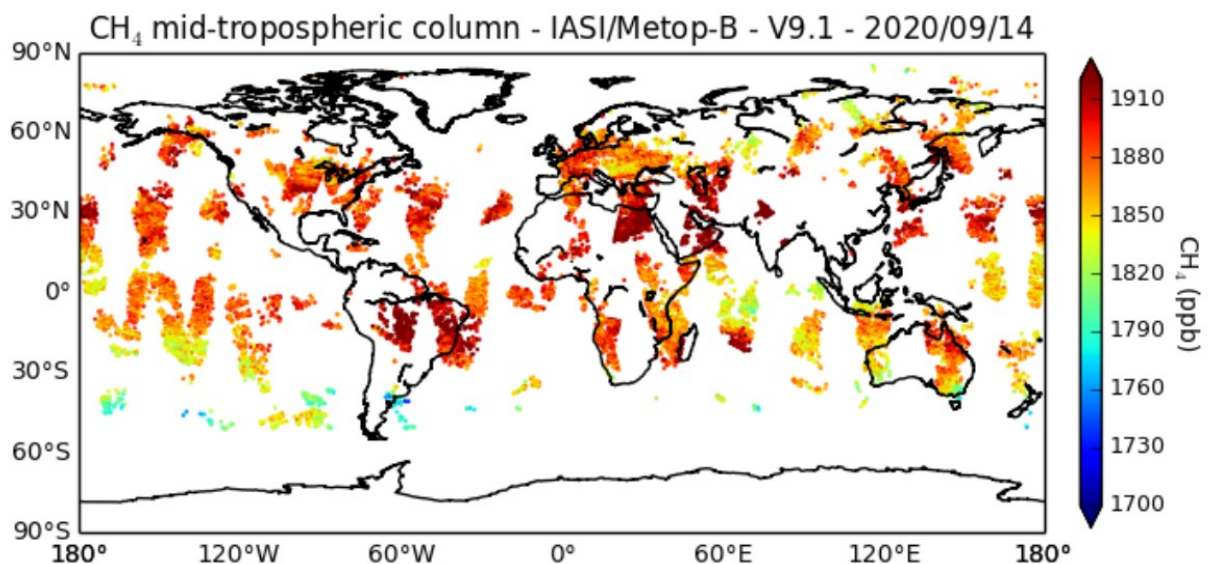


Fig.28 Imagen del producto global de CH₄ troposférico (columna total) correspondiente sensor IASI a bordo del satélite Metop-B para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: CH₄-IASI Portal)

4.4 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas traza atmosférico importante para nuestra comprensión de la química troposférica. Es un contaminante que puede persistir en la atmósfera durante aproximadamente un mes y transportarse a grandes distancias. Desempeña un papel tanto en la contaminación del aire como en el cambio climático. Las principales fuentes de CO son la quema de combustibles fósiles y de biomasa, así como la oxidación atmosférica del metano y otros hidrocarburos. Mientras que la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de CO en las latitudes medias del Hemisferio Norte, la oxidación del isopreno y la quema de biomasa juegan un papel importante en los Trópicos. Los instrumentos satelitales miden la concentración CO en la atmósfera a través de la detección de cuánta radiación es absorbida por sus moléculas en el sector SWIR (ventana infrarroja de onda corta) y MW (microondas) del espectro electromagnético. Entre las misiones que miden CO se encuentran las siguientes: MetOp/IASI, Aqua/AIRS, Terra/MOPITT, Aura/MLS, GOSAT-2 y Sentinel 5p/TROPOMI.

4.4.1 Producto Aqua/AIRS

El producto CO del sensor AIRS a bordo del satélite Aqua se disponibiliza como un perfil vertical a partir de una retícula fija en niveles de presión pero también como el integrado total en la columna. Las estimaciones se basan en cálculos previos climatológicos tanto para el Hemisferio Norte como Sur con una transición suavizada en las regiones tropicales. La sensibilidad máxima se produce a 500 hPa. El algoritmo se basa en una estimación óptima y la recuperación se realiza para 9 capas.

Descripción

- <https://airs.jpl.nasa.gov/sounding-science/composition/>
- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3STD_7.0/summary

Descarga

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=AIRS3STD%207.0>

En la Figura 29 se muestra un ejemplo del producto de monóxido de carbono correspondiente al día 14 de septiembre de 2020 a las 17:35 UTC para el nivel de 500 hPa. Las unidades están expresadas en partes por mil millones por volumen (ppbv). Los tonos anaranjados y rojos corresponden a valores muy altos de CO (mayores que 27.0×10^1 ppbv) y los mismos están asociados a los incendios de pasturas en Bolivia, Paraguay y Brasil. La resolución espacial es de $1^\circ \times 1^\circ$ y la temporal es diaria.

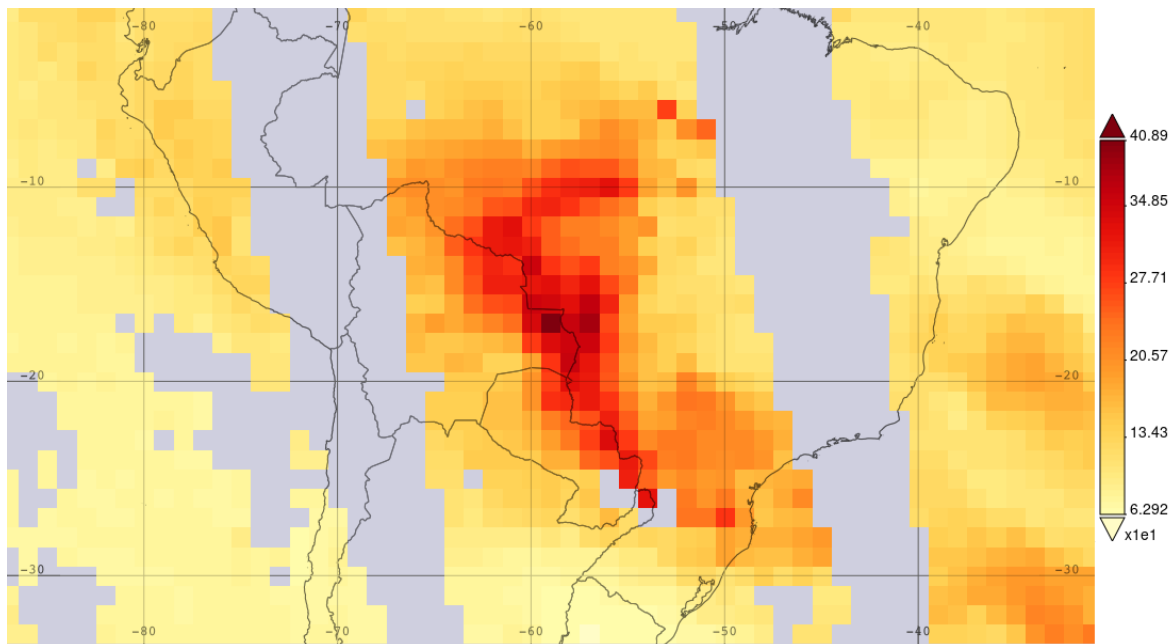


Fig. 29 Imagen de producto de CO correspondiente al nivel de 500 hPa del satélite Aqua/AIRS para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: Giovanni (NASA))

4.4.2 Producto Terra/MOPITT

El sensor MOPITT es un instrumento del satélite Terra de la NASA que permite realizar mediciones de monóxido de carbono troposférico a escala global. Las mediciones de MOPITT permiten a los científicos analizar la distribución, el transporte, las fuentes y los sumideros de CO. MOPITT está operativo desde marzo de 2000. Entre los productos disponibles se encuentran los de Nivel 2 (MOPITT NRT), diarios (diurno y nocturno) que corresponden a la cantidad de CO presente en la columna vertical total de la troposfera en moles por centímetro cuadrado (mol/cm^2) y son derivados de radiancias térmicas. Los productos de Nivel 3 se encuentran disponibles tanto diarios como mensuales (diurno y nocturno), representan la cantidad de CO presente en la tropósfera y se miden en partes por mil millones por volumen (ppbv).

Descripción

- <https://www2.acom.ucar.edu/mopitt>
- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/mopitt-nrt>

Descarga

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MOPITT%20NRT>
- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MOP02R>
- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MOP02J>

En la Figura 30 se muestra un ejemplo del producto de Nivel 2 (diurno/nocturno) correspondiente al día 13 de septiembre de 2020. Los tonos naranjas corresponden a cantidades altas de CO (mayores que $3.800 \times 10^{18} \text{ mol}/\text{cm}^2$) en la columna vertical total de la tropósfera debido a los incendios producidos en Bolivia, Paraguay y Brasil. La resolución es de 2 km y la temporal es diaria.

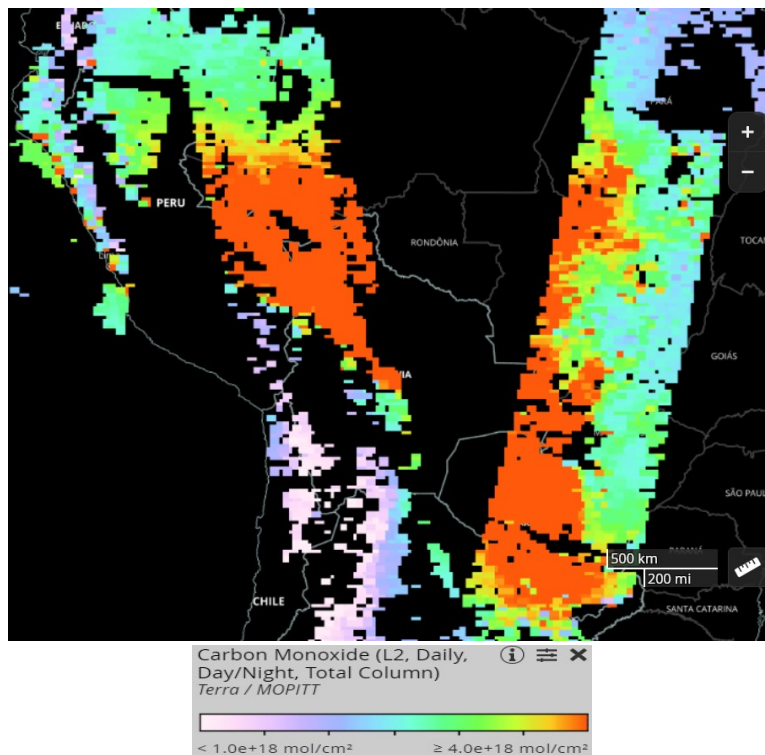


Fig. 30 Imagen del producto CO de Nivel 2 del sensor MOPITT a bordo del satélite Terra correspondiente al día 13 de septiembre de 2020. (Fuente: NASA WorldView)

4.4.3 Producto Aura/MLS

MLS es un sensor de microondas a bordo del satélite Aura que permite medir la capa mezclada de monóxido de carbono (CO) en la troposfera superior. Estos datos contribuyen a cuantificar el transporte a gran escala de la contaminación en la troposfera superior y de los intercambios troposfera-estratosfera en el marco de la química atmosférica. Los productos están disponibles desde octubre de 2013.

Descripción

- https://mls.jpl.nasa.gov/products/co_product.php
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/ML2CO_NRT_004/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=ML2CO_NRT_004

En la Figura 31 se muestra un ejemplo del producto de CO Mixing Ratio para el nivel de 215 hPa derivado del producto (ML2CO_NRT) y se encuentra disponible para el sensor MLS a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. En la misma se observa en la zona del Mato Grosso (en Brasil), que tonos naranjas corresponden a cantidades altas de CO (mayores a 233 ppbv) debido a los incendios producidos en esa región. La resolución es de 2 km y la temporal es diaria.

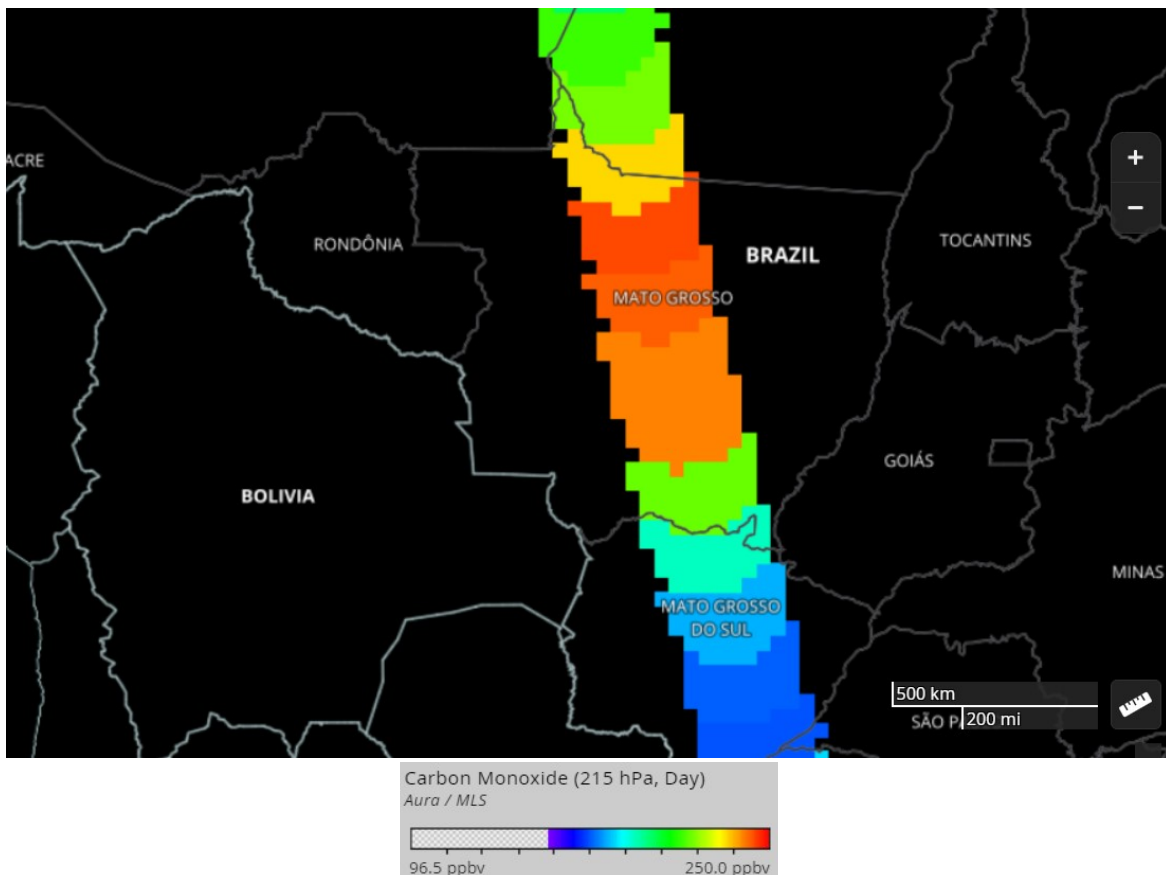


Fig. 31 Imagen del producto CO Mixing Ratio en 215 hPa derivado del sensor MLS a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: NASA WorldView)

4.4.4 Producto Sentinel-5P/TROPOMI

Descripción

- <http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/S5P_L2_CO_HiR_1/summary?keywords=co2%20tropomi

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_CO_1&fst0=Atmosphere

En la Figura 32 se muestra un ejemplo del producto CO de columna total correspondiente al sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P el 14 de septiembre de 2020. Los tonos naranjas y bordó corresponden a cantidades altas de CO (mayores que $0.8 \times 10^{-1} \text{ mol/m}^2$) que se encontraba presente en la columna vertical de la tropósfera como consecuencia de los incendios producidos en Bolivia, Paraguay y Brasil. La resolución espacial es de 5.5 km x 7 km y la temporal es diaria.

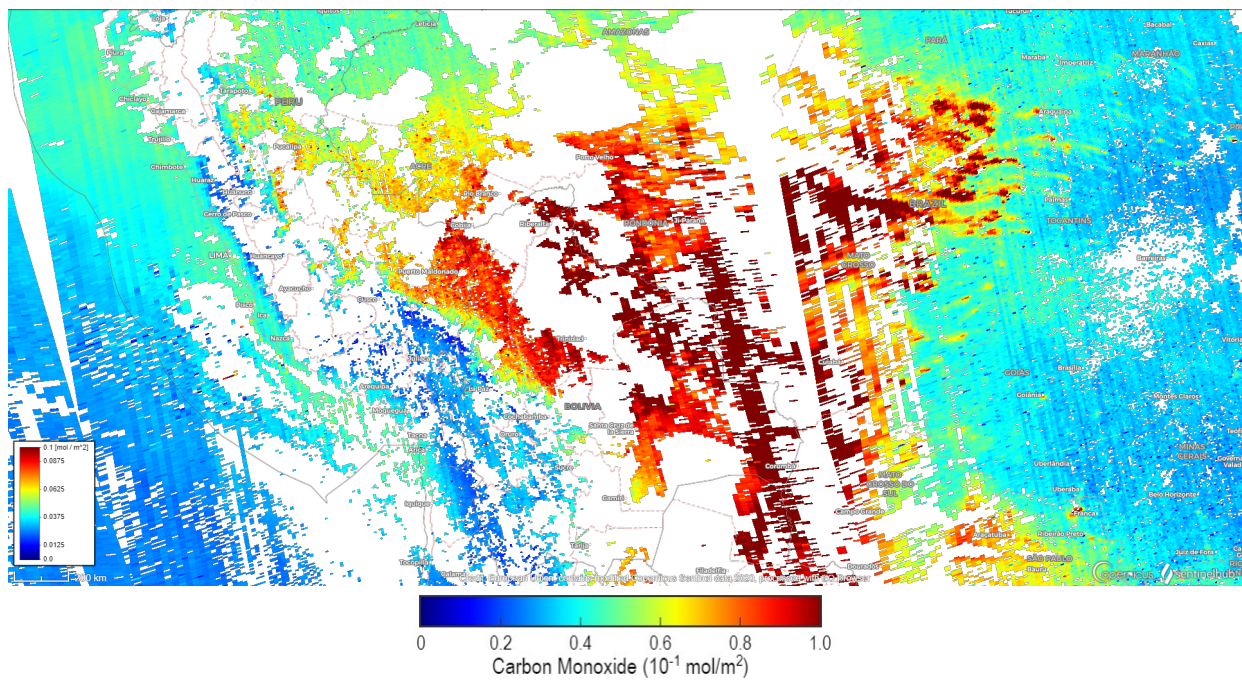


Fig. 32 Imagen del producto CO (Columna Total) captado por el sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: Sentinel Hub EO Browser)

4.4.5 Producto MetOp/IASI

Descripción

- https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/MetOp/About_IASI
- <https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-07/IASI%20Level%20%20Product%20Guide.pdf>

Descarga

- <https://iasi.aeris-data.fr/co/>
- <https://iasi.aeris-data.fr/catalog/>

La Figura 33 muestra el producto global de la relación de CO de columna total correspondiente al sensor IASI a bordo del satélite Metop-B para el día 14 de septiembre de 2020. Las unidades están expresadas en moléculas por centímetro cuadrado (moléculas x cm⁻²). En la misma se observan en tonos de rojo valores altos que superan 4.0 x 10¹⁸ moléculas x cm⁻² debido a los incendios forestales producidos en Brasil.

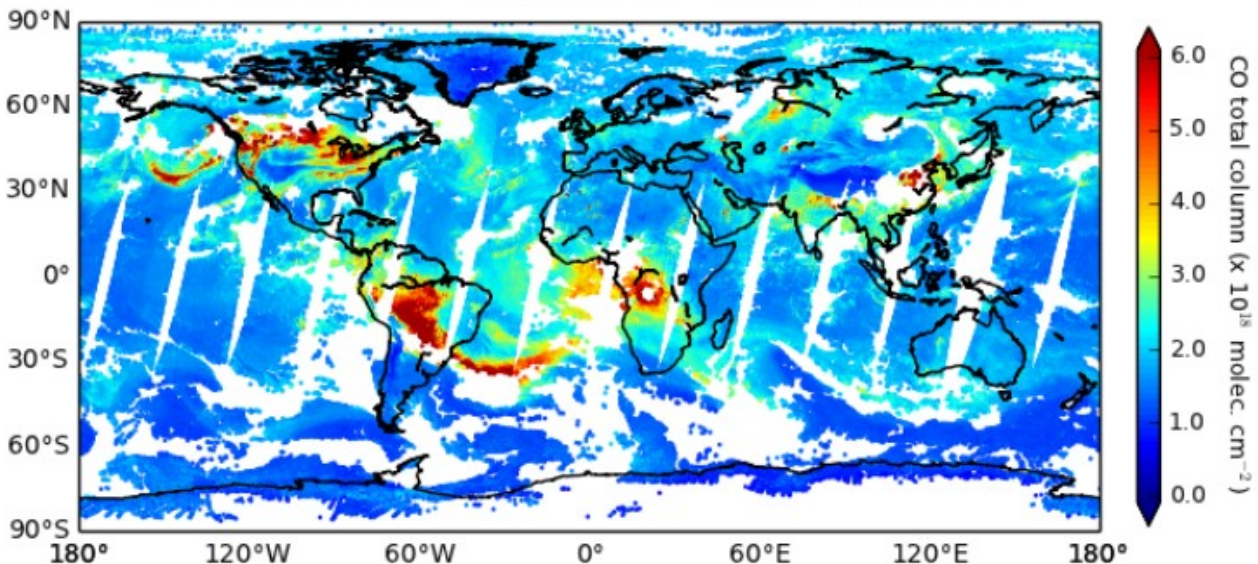


Fig. 33 Producto Global de CO (columna total) de nivel 2 correspondiente al sensor IASI a bordo del satélite Metop-B para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: CO-IASI Portal)

4.5 Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro con un olor penetrante y sofocante que es soluble en agua. Por otra parte es uno de los seis principales contaminantes de criterio regulados por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA). Ingresa a la atmósfera de la Tierra a través de procesos tanto naturales como antropogénicos y desempeña un papel en la química a escala local y global. Su impacto varía desde la contaminación a corto plazo hasta los efectos a largo plazo sobre el clima. Solo alrededor del 30 % emitido proviene de fuentes naturales pero la mayor parte es de origen antropogénico afectando la salud y la calidad del aire. El SO₂ es un precursor del ácido sulfúrico (H₂SO₄), que es un componente principal de la lluvia ácida. De manera natural se inyecta en la estratósfera mediante erupciones volcánicas. El SO₂ también es un precursor importante de PM2.5 (material particulado de hasta 2,5 micrómetros de tamaño). El PM2.5 es uno de los principales factores que contribuyen a la mala visibilidad. Una de las misiones satelitales más

importante es la del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P. Su buena resolución temporal y espacial permite observar detalles finos, incluida la detección de fuentes de SO₂ más pequeñas. Las unidades se expresan en mol por metro cuadrado (mol/m²). Otras misiones que miden SO₂ son: Aqua/AIRS, Aura, MetOp y S-NPP.

4.5.1 Producto Sentinel-5P/TOPROMI

Descripción

- <http://www.tropomi.eu/data-products/sulphur-dioxide>
- <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Sulphur-Dioxide>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/S5P_L2_SO2_1/summary?keywords=SO2

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_SO2_1

La Figura 34 muestra un ejemplo del producto de SO₂ de columna total que corresponde al sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P del día 16 de septiembre de 2020 a las 17:38 UTC. Se observan los valores más bajos (color azul) de SO₂ que van entre 0 y 1.25e-3 mol/m². En la zona próxima a la ciudad de Fray Bentos se pueden ver valores de alrededor de 3.75e-3 mol/m² (color celeste) y valores más altos en (color rojo) de alrededor de 8.75e-3 mol/m². La resolución espacial es de 3.5 x 5.5 km y la temporal diaria.

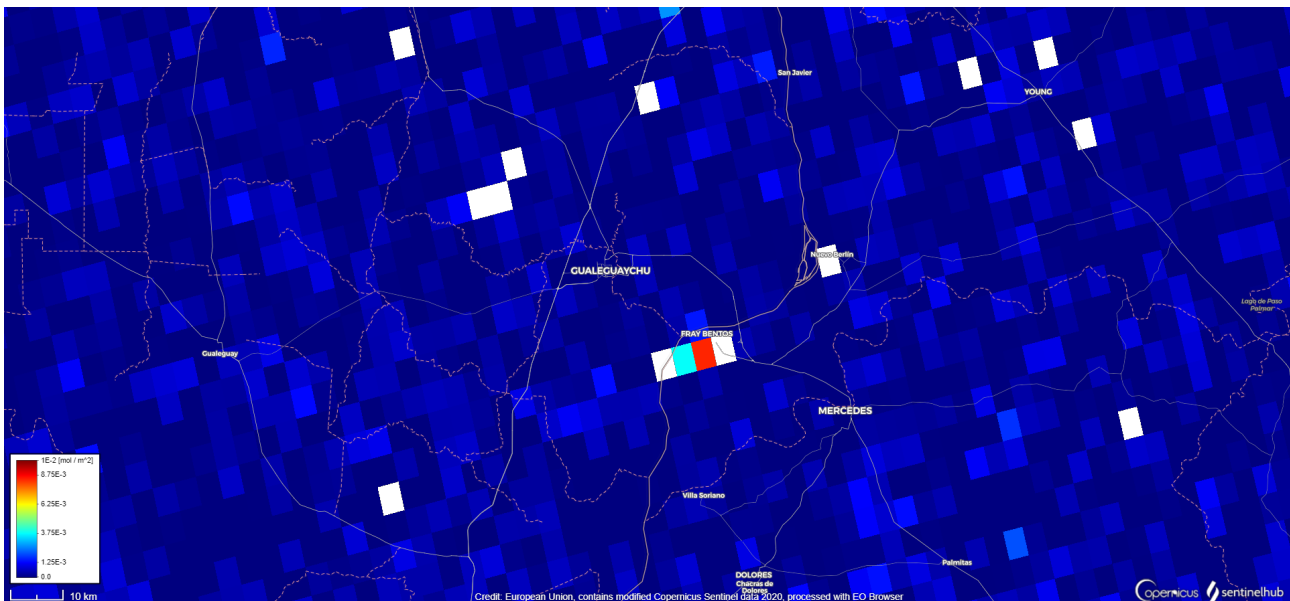


Fig. 34 Imagen correspondiente al producto SO₂ (Columna total) del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P para el día 16 de septiembre de 2020. (Fuente: Sentinel Hub EO Browser)

4.5.2 Producto Aqua/AIRS

El producto SO₂ Index (día y noche) de Aqua/AIRS indica la cantidad de este gas presente en la columna atmosférica y se mide en unidades Dobson (DU). El algoritmo AIRS Sulphur Dioxide Index Prata fue creado por el Dr. Fred Prata del Instituto Noruego de Investigación Aérea. El parámetro científico *AIRS Prata SO₂ Index* es un parámetro derivado de las radiancias calibradas y geolocalizadas de canales infrarrojos (IR) en tiempo casi real de nivel 1b (AIRIBRAD_NRT).

Descripción

- <https://airs.jpl.nasa.gov/sounding-science/composition/>
- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRIBRAD_NRT_005/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=AIRIBRAD_NRT%200005

En la Figura 35 se muestra un ejemplo del producto SO₂ Index correspondiente al sensor AIRS a bordo del satélite AQUA para el día 22 de diciembre de 2012 a las 19:00 UTC. El SO₂ se inyecta en la estratósfera mediante erupciones volcánicas. Los valores de SO₂ están expresados en Unidades Dobson (Dobson Units – DU, 1 DU= 2.687×10¹⁶ moléculas/cm²). En la misma se observan en tonos de rojo, concentraciones altas de SO₂ que superan los 29 DU para la erupción del volcán Copahue (Chile). La resolución espacial de la imagen es de 2 km y la temporal es diaria.

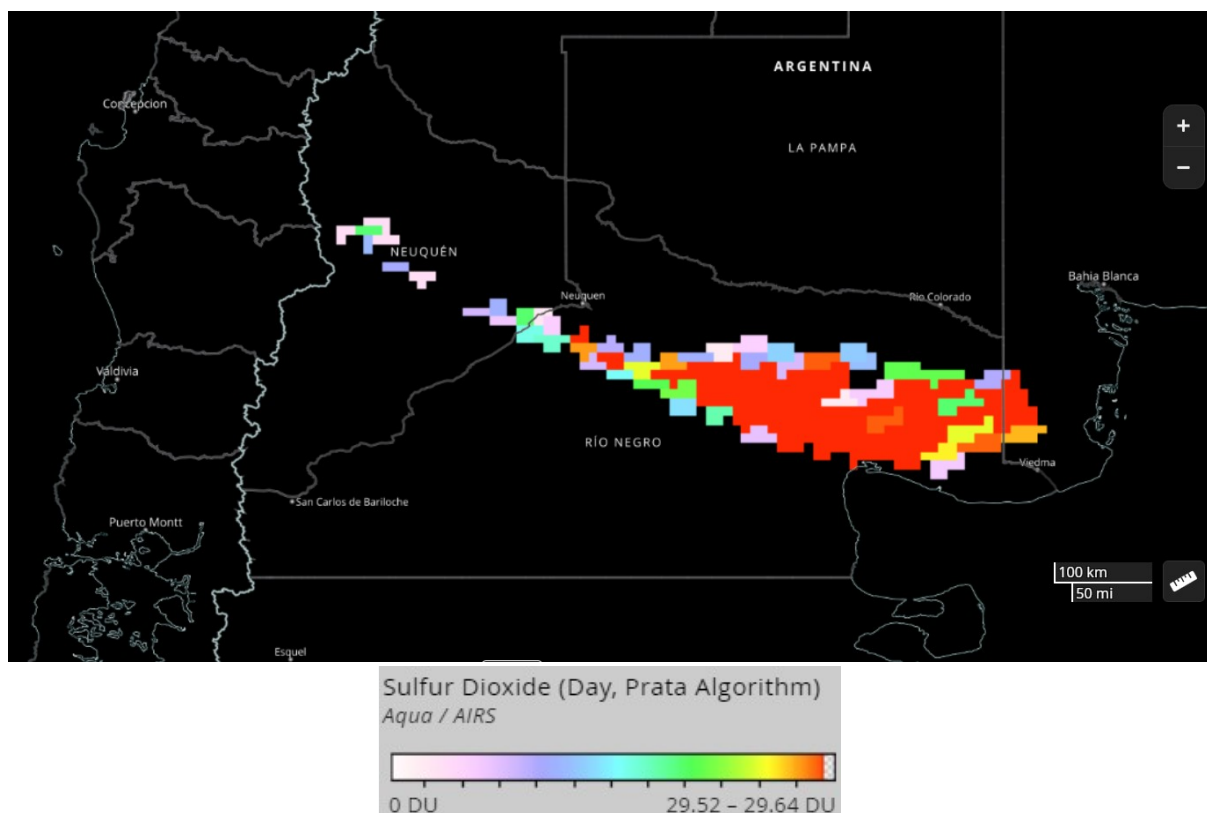


Fig. 35 Imagen correspondiente al producto SO₂ Index del sensor AIRS a bordo del satélite AQUA para el día 22 de diciembre de 2012. (Fuente: NASA WorldView)

4.5.3 Producto Aura/OMI

Se encuentran disponibles tres productos. El primero de ellos corresponde a la capa límite planetaria y representa el total en la columna de SO_2 , el segundo es la densidad de la columna a una altitud del centro de masa de 2.5 km (tropósfera media) y el tercero a la densidad de la columna a una altitud del centro de masa de 17 km (tropósfera alta y estratósfera). Todos ellos se muestran en unidades Dobson (DU).

Descripción

- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMSO2_003/summary
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMSO2e_003/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMSO2_003
- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMSO2e_003

En la Figura 36 se muestra un ejemplo del producto SO_2 para la tropósfera media correspondiente al sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 22 de diciembre de 2012 a las 19:10 UTC. Los valores de SO_2 están expresados en Unidades Dobson. En la misma se observan en tonos celestes y blancos la densidad de la columna de SO_2 que superan los 27 DU para la erupción del volcán Copahue (Chile). La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

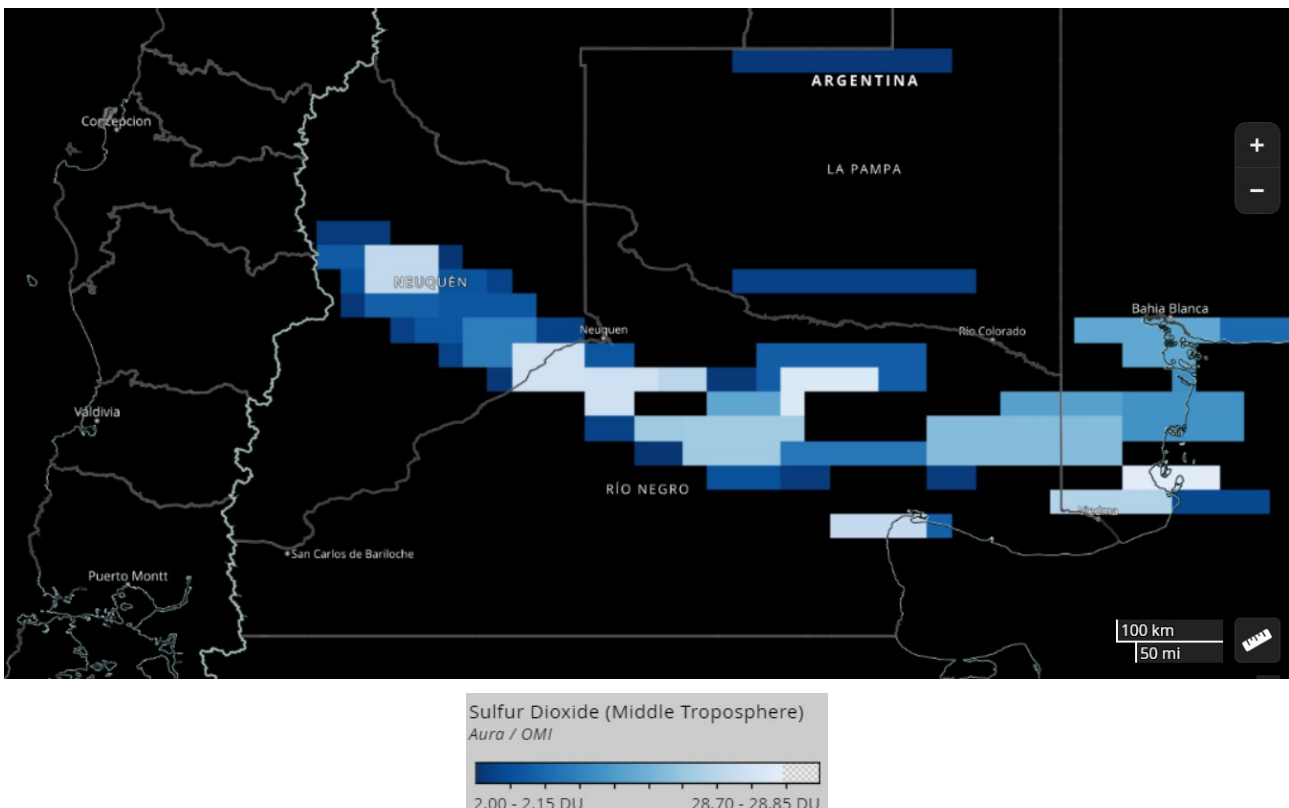


Fig. 36 Imagen correspondiente al producto SO_2 del sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 22 de diciembre de 2012. (Fuente: NASA WorldView)

4.5.4 Producto Aura/MLS

El producto ML2SO₂_NRT que es la capa de relación de mezcla de dióxido de azufre (SO₂) indica niveles de SO₂ en el nivel de presión de 147 hPa y se mide en partes por mil millones por volumen (ppbv). Contiene perfiles de SO₂ derivados de las regiones del espectro electromagnético de 190 y 240 GHz. Los datos suelen estar disponibles dentro de las 3 horas posteriores a la observación y se dividen en archivos que contienen aproximadamente 15 minutos. Los datos de los 7 días más recientes están disponibles en línea. La cobertura espacial es casi global y cada perfil, se encuentra a 1.5° o aproximadamente 165 km a lo largo de la trayectoria de la órbita. La cobertura vertical se encuentra entre 215 hPa y 10 hPa.

Descripción

- https://mls.jpl.nasa.gov/products/so2_product.php
- <https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/MLS/NRT-user-guide-v42.pdf>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/ML2SO2_NRT_004/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=ML2SO2_NRT_004

En la Figura 37 se muestra un ejemplo del producto SO₂ en el nivel de presión de 147 hPa para el sensor MLS a bordo del satélite AURA correspondiente al día 23 de abril de 2015 a las 18:45 UTC. En la misma se observan en tonos rojos valores que superan los 200 ppbv para la erupción del volcán Calbuco (Chile). La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

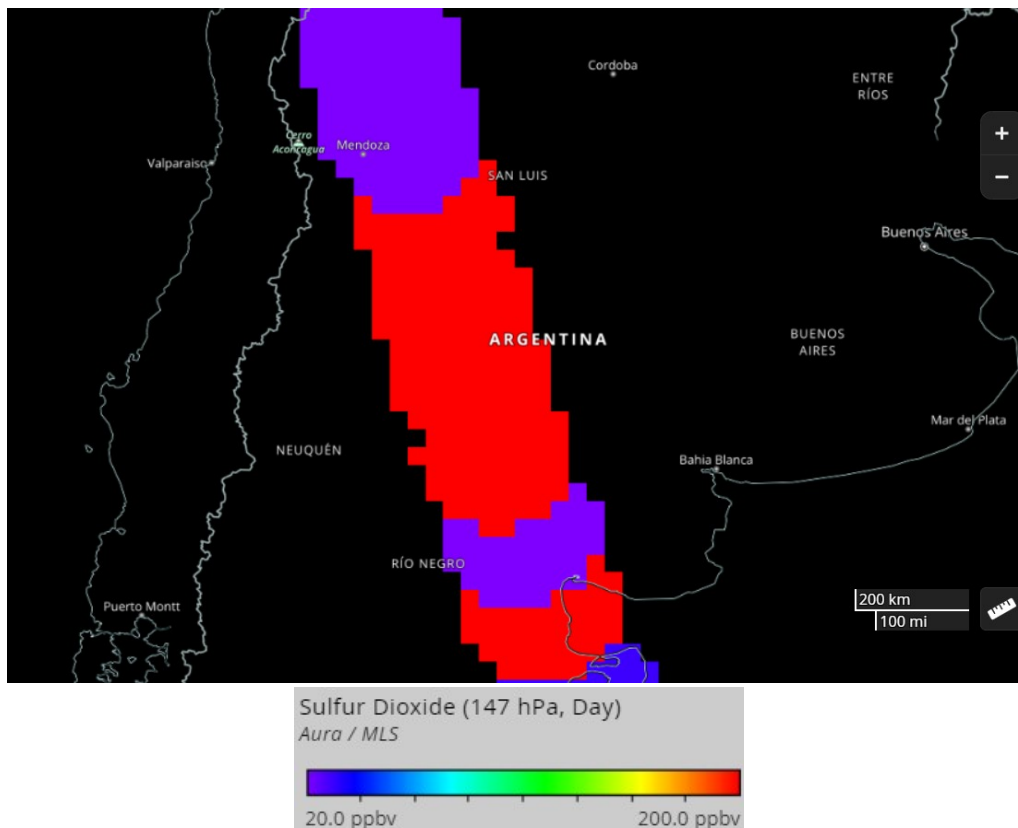


Fig. 37 Imagen correspondiente al producto SO₂ para el nivel de 147 hPa captada por sensor MLS a bordo del satélite AURA, correspondiente al día 23 de abril de 2015. (Fuente: NASA WorldView)

4.5.5 Producto S-NPP/OMPS

El sensor OMPS a bordo del satélite S-NPP permite generar productos que indican la densidad de la columna de SO₂ presente en distintas capas de la tropósfera y estratósfera. Los mismos se utilizan para realizar estudios referentes a contaminación de SO₂ en regiones cercanas a la superficie, erupciones volcánicas explosivas y desgasificación de fuentes volcánicas. La unidad de medida es Dobson (DU).

Descripción

- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_NMSO2_PCA_L2_2/summary?keywords=so2

Descarga

- <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=NMSO2-PCA-L2-NRT>

En la Figura 38 se muestra un ejemplo del producto SO₂ para la tropósfera media correspondiente al sensor OMPS Nadir-Mapper (NM) a bordo del satélite Suomi NPP para el día 23 de abril de 2015 a las 19:15 UTC. Los valores de SO₂ están expresados en Unidades Dobson. En la misma se observa en color blanco la densidad de la columna de SO₂ con valores cercanos a 32 DU para la erupción del volcán Calbuco (Chile). La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

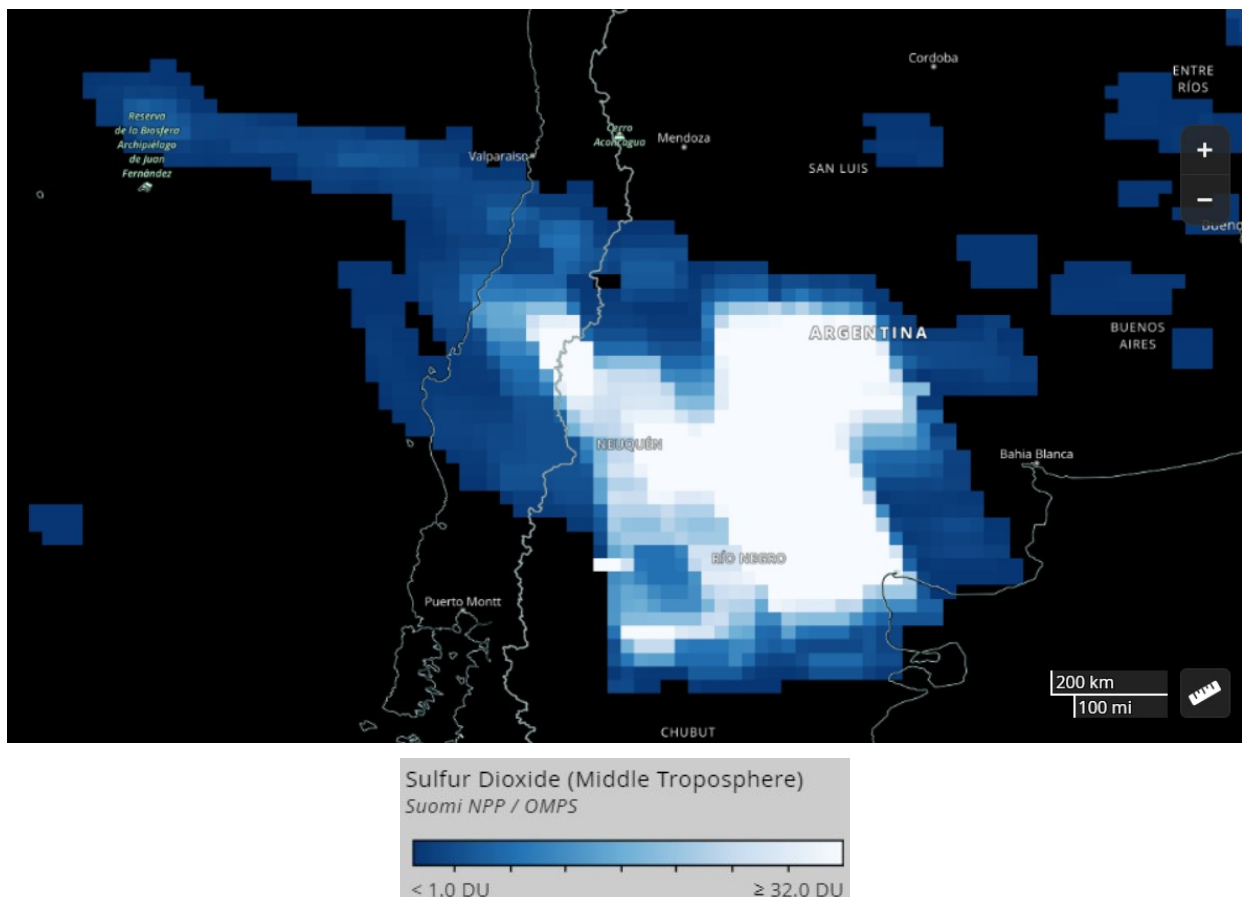


Fig. 38 Imagen correspondiente al producto SO₂ para tropósfera media del sensor OMPS a bordo del satélite Suomi NPP para el día 23 de abril de 2015. (Fuente: NASA WorldView)

4.6 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno (NO₂) y el óxido de nitrógeno (NO) juntos suelen denominarse óxidos de nitrógeno (NO_x = NO + NO₂). Se trata de gases traza importantes en la atmósfera de la Tierra, presentes tanto en la troposfera como en la estratosfera. Entran en la atmósfera como resultado de actividades antropogénicas (en particular, quema de combustibles fósiles y de biomasa) y procesos naturales (como procesos microbiológicos en suelos, incendios forestales y rayos). En presencia de la luz solar, un ciclo fotoquímico que involucra al ozono (O₃) convierte el NO en NO₂ (y viceversa) en una escala de tiempo del orden de los minutos, de modo que el NO₂ es una medida robusta para las concentraciones de óxidos de nitrógeno.

Las concentraciones troposféricas y estratosféricas de NO₂ se monitorean en todo el mundo mediante una variedad de instrumentos, ya sea en tierra, in situ (globos, aviones) o por satélites. El sistema de procesamiento TROPOMI NO₂ se basa en los desarrollos de algoritmos para el producto DOMINO-2 y para el conjunto de datos reprocesados EU QA4ECV NO₂ para OMI y ha sido adaptado para TROPOMI⁹. Este sistema de recuperación-asimilación-modelado utiliza el modelo de transporte químico tridimensional global TM5-MP con una resolución de 1 grado como un elemento esencial. Por otra parte Aura/OMI proporciona datos en retículas diarias (0.25° de latitud x 0.25° de longitud) y productos en la resolución nativa (tamaño de píxel mínimo de 13 km x 24 km).

El sensor OMPS a bordo de los satélites S-NPP y NOAA-20 proporciona el producto OMPS-NPP L2 NM de dióxido de nitrógeno (NO₂) de columna total troposférica. Utiliza un algoritmo de ajuste de columna vertical directo (DVCF) para recuperar la cantidad total en la columna de NO₂ y aplica una nueva técnica espacial para separar las cantidades estratosféricas y troposféricas. La resolución espacial es de aproximadamente 50 km x 50 km en el nadir.

4.6.1 Producto Sentinel-5P/TOPROMI

Descripción

- <http://www.tropomi.eu/data-products/nitrogen-dioxide>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>
- <https://earthdata.nasa.gov/learn/articles/feature-articles/health-and-air-quality-articles/find-no2-data>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/S5P_L2_SO2_1/summary?keywords=S5P_L2_SO2_1

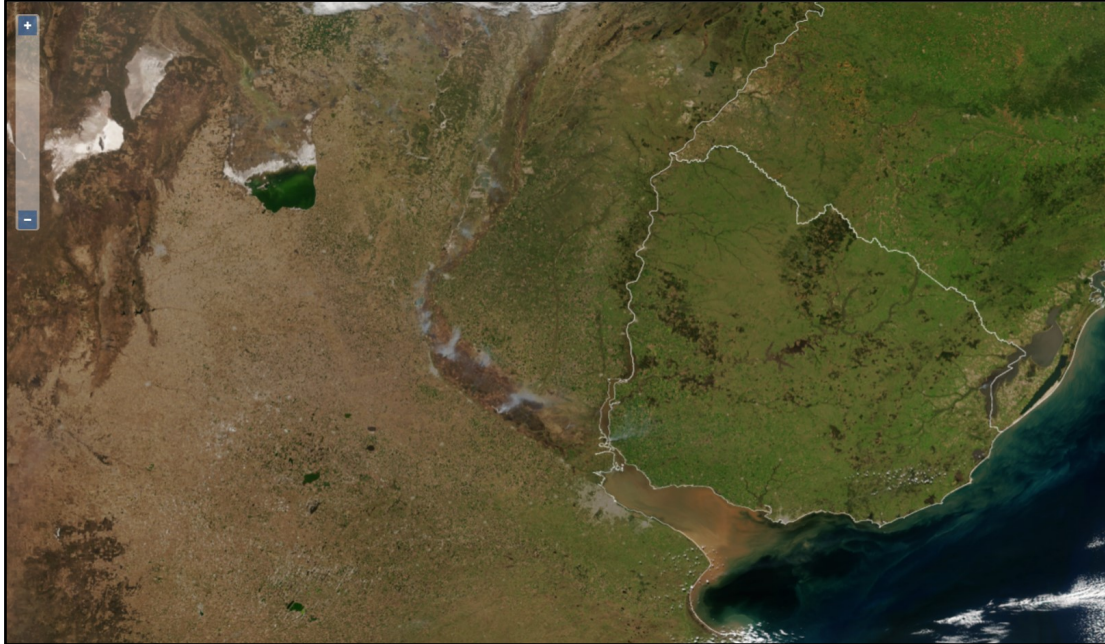
Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_SO2_1

La Figura 39a corresponde a una imagen en color verdadero del sensor VIIRS a bordo del satélite S-NPP. En la misma se pueden observar en color blanco las plumas de varios incendios de pastizales que ocurrieron el día 20 de septiembre de 2020 a las 18:00 UTC en cercanías de ciudades que se encuentran a orillas del Río Paraná en su tramo medio e inferior. En la Figura 39b se observa el producto de NO₂ de columna total que corresponde al sensor TOPROMI a bordo del satélite Sentinel-5P. Los valores más bajos (color azul) de NO₂ se encuentran entre 0 y 1.25e-5 mol/m². Los valores aumentan notablemente debido a los incendios de pastizales alcanzando valores de alrededor de 8.75e-5 mol/m² (color naranja y rojo). Por otra parte, en la Ciudad de Buenos Aires se encuentran valores altos debido a las actividades antropogénicas que allí se generan. La resolución espacial es de 3.5 x 7 km y la temporal diaria.

⁹ <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2476257/Sentinel-5P-TROPOMI-ATBD-NO2-data-products>

(a)



(b)

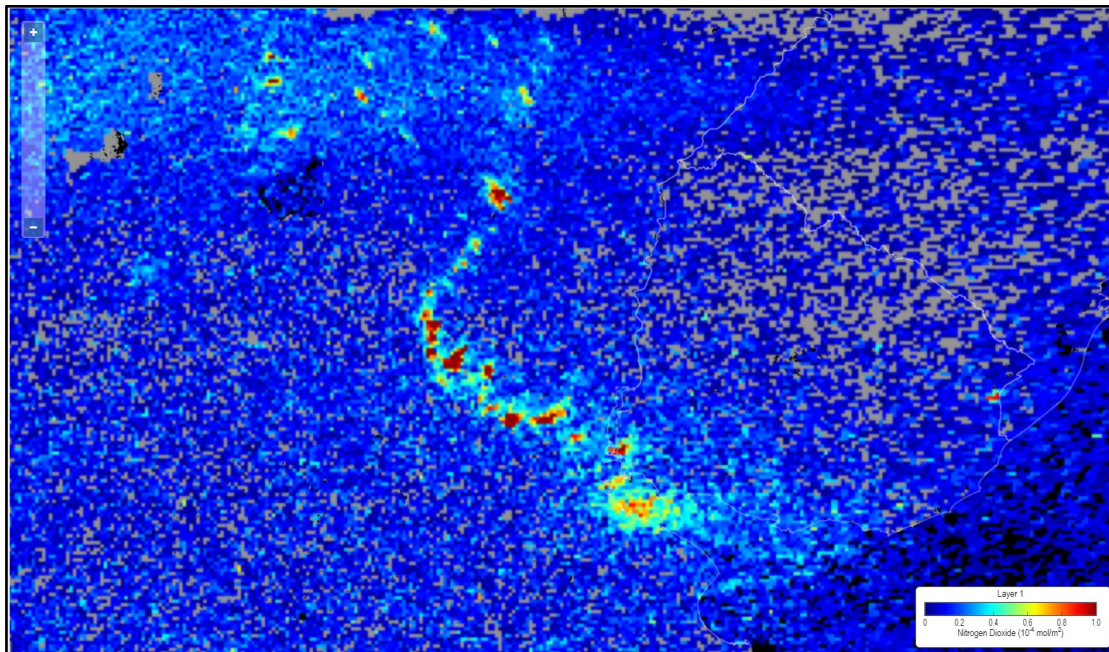


Fig. 39 (a) Producto RGB color verdadero del satélite S-NPP el día 20 de septiembre de 2020 a las 18:05 UTC. (b) Producto NO₂ (Columna total) correspondiente al satélite Sentinel-5P (TROPOMI) para el mismo día a la misma hora, aproximadamente. (Fuente: JSTAR Mapper)

4.6.2 Producto S-NPP/OMPS y NOAA-20/OMPS

Descripción :

- https://snpp-omps.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/SNPP_OMPS_Level2/OMPS_NPP_NMNO2_L2.2/doc/README_OMPS_NPP_NMNO2_L2.2.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_NMNO2_L2_2/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMPS_NPP_NMNO2_L2_2

La Figura 40 muestra el producto global de dióxido de nitrógeno de columna total para la tropósfera. El ejemplo corresponde al sensor OMPS a bordo del satélite S-NPP para el día 16 de febrero de 2014. Las unidades se encuentran expresadas en moléculas/cm². En este ejemplo, los tonos que van del naranja al rojo corresponden a los valores más altos registrados para ese día de aproximadamente 18×10^{15} moléculas/cm².

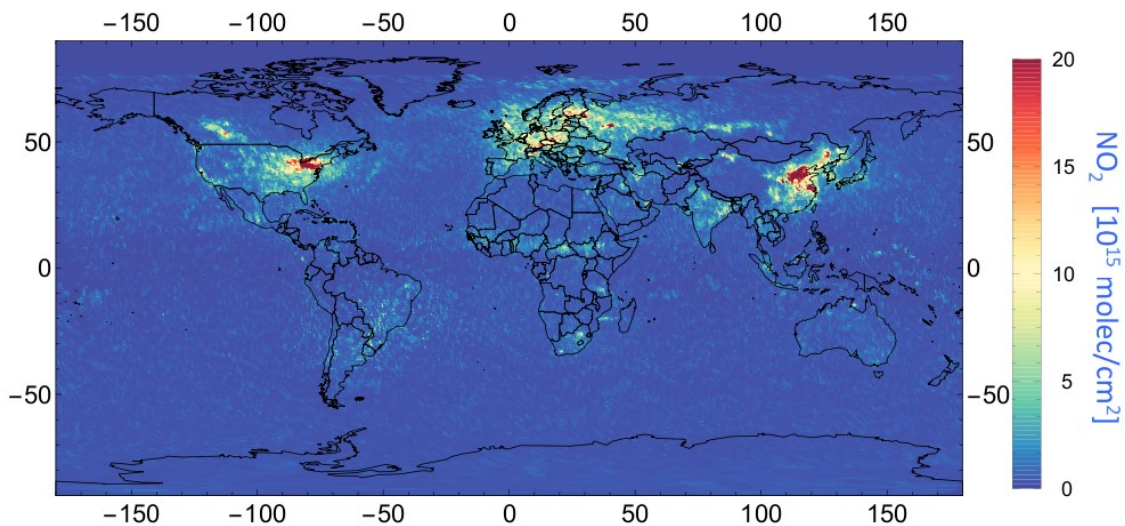


Fig. 40 : Imagen correspondiente a mediciones globales de NO₂ troposférico (Columna total) para el día 16 de febrero de 2014. Los datos fueron captados por el sensor OMPS Nadir Mapper (NM) a bordo del satélite S-NPP. (Fuente: <https://disc.gsfc.nasa.gov/>)

4.7 Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso (N₂O) se produce casi en su totalidad en la superficie de la Tierra. Aproximadamente el 70 % en los procesos biológicos (procesos de descomposición natural de la tierra y el océano) y el resto de las actividades humanas (por ejemplo: fertilización agrícola y quema de combustibles fósiles). Desde la década de 1950 se ha observado un aumento de N₂O de aproximadamente un 0,3 % al año en este importante gas de efecto invernadero.

Los estudios de N₂O contribuyen a la investigación de la estabilidad de la capa de ozono estratosférico. Este gas traza permite determinar el movimiento de masas de aire a través del tiempo, ya que su vida útil es prolongada (más de 100 años a 20 km) .

4.7.1 Producto Aura/MLS

El producto ML2N2O_NRT_004 está disponible para MLS/Aura y corresponde a la capa de relación de mezcla de óxido nítrico en el nivel de 46 hPa tanto de día como de noche y se mide en partes por mil millones por volumen (ppbv).

Descripción

- https://mls.jpl.nasa.gov/products/n2o_product.php
- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/ML2N2O_NRT_004/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=ML2N2O_NRT_004

En la Figura 41 se muestra un ejemplo del producto MLS N₂O Mixing Ratio para el nivel de 46 hPa correspondiente al sensor MLS a bordo del satélite AURA para el día 21 de abril de 2021 a las 05:15 UTC . Los valores de N₂O están expresados en ppbv. En la misma se observa en tonos que van del naranja claro al rojo los valores más altos que se encuentran en el rango de 218 a 225 ppbv. La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

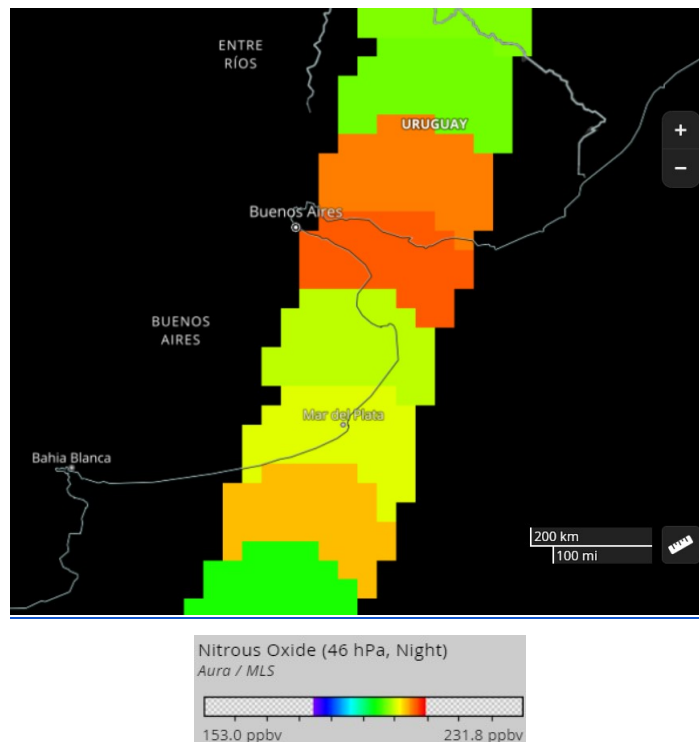


Fig. 41 Imagen correspondiente al producto N₂O Mixing Ratio para el nivel de 46 hPa del sensor MLS a bordo del satélite AURA para el día 21 de abril de 2021. (Fuente: NASA WorldView)

4.8 Ozono (O₃)

El ozono (O₃) es de crucial importancia para el equilibrio de la atmósfera terrestre. En la estratósfera, la capa de ozono protege a la biosfera de la radiación solar ultravioleta. En la troposfera, actúa como un agente limpiador eficaz, pero a altas concentraciones también se vuelve perjudicial para la salud de los seres humanos, los animales y la vegetación. El ozono también es un importante contribuyente de gases de efecto invernadero al cambio climático.

Desde el descubrimiento del agujero de ozono en la Antártida en la década de 1980 y el Protocolo de Montreal que regula la producción de sustancias que agotan la capa de O₃ que contienen cloro, el O₃ se ha monitoreado de manera rutinaria desde el suelo y desde el espacio.

Uno de los satélites que aportan datos es el Sentinel-5P con su sensor TROPOMI. Este utiliza dos algoritmos que generan el producto ozono total: a) GDP en tiempo casi real y b) GODFIT para los productos en tiempo diferido. Actualmente, el GDP se utiliza para generar los productos operativos totales de ozono de GOME, SCIAMACHY y GOME-2; mientras que GODFIT se está utilizando en los proyectos ESA CCI¹⁰ y Copernicus C3S¹¹.

A través del sensor OMI se desarrollaron una gran cantidad de productos de ozono troposférico, tanto para la medición de la cantidad total en la columna como en perfiles verticales.

El ozono troposférico se deriva de datos provistos por Aura/OMI en forma individual o en combinación con los instrumentos MLS y TES. Por otra parte, los datos de ozono de Aqua/AIRS se derivan en forma individual o en combinación con el sensor AMSU.

El sensor OMPS a bordo de los satélites S-NPP y NOAA-20 permite obtener datos sobre la distribución global y vertical del ozono dentro de la estratósfera.

4.8.1 Producto Aura/OMI

Descripción

- <https://aura.gsfc.nasa.gov/ozone.html>
- https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2_ProductRequirements_Designs/README.OMI_DUG.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMTO3e_003/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMTO3e_003

En la Figura 42 se muestra un ejemplo del producto Ozone TOMS Like correspondiente al sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 15 de abril de 2021 a las 17:55 UTC. Este indica la columna de ozono total y se mide en unidades Dobson (DU). El producto OMTO3, es uno de los dos productos de ozono totales proporcionados por el instrumento OMI y se calcula utilizando el algoritmo del espectrómetro de mapeo de ozono total (TOMS) Versión 8 en el rango de radiación ultravioleta de 317.5 nm y 331.2 nm. En la misma se observa en tonos que van del amarillo claro al naranja, valores más altos que se encuentran en el rango de 277 DU a 335 DU, los tonos celestes y verde claro corresponden a valores más bajos en el rango de 232 DU a 260 DU. La resolución espacial es de 2 km y la temporal es diaria.

¹⁰ <https://climate.esa.int/en/>

¹¹ <https://climate.copernicus.eu/>

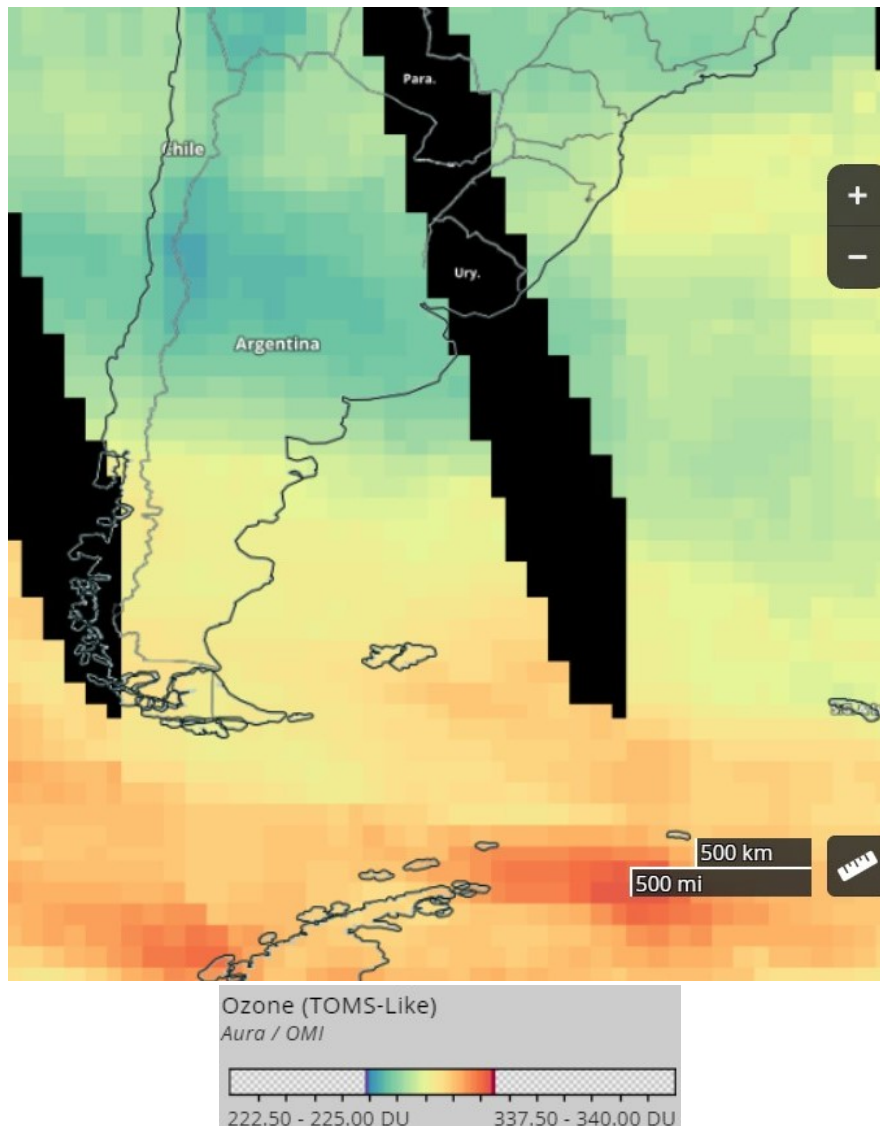


Fig. 42 Imagen correspondiente al producto O_3 TOMS Like de columna total derivado del sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 15 de abril del 2021. (Fuente: NASA WorldView)

4.8.2 Producto S-NPP/OMPS

Descripción

- <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_NMTO3_L2_2/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMPS_NPP_NMTO3_L2_2

En la Figura 43 se muestra un ejemplo del producto de columna total de ozono OMPS-NPP L2 NM (O_3) que proporciona mediciones de ozono total del instrumento Nadir-Mapper (NM) del sensor OMPS a bordo del satélite Suomi NPP para el día 15 de abril de 2021 a las 18:15 UTC. La cantidad total de ozono de la columna

se deriva de radiancias normalizadas utilizando las longitudes de onda de 317.5 nm y 331.2 nm. En la misma se observa en tonos que van desde el amarillo al naranja claro valores que se encuentran en el rango de 277 DU a 335 DU, los tonos celestes y verde claro corresponden a valores más bajos en el rango de 225 DU a 260 DU. La resolución espacial es de 50 km² y la temporal es diaria.

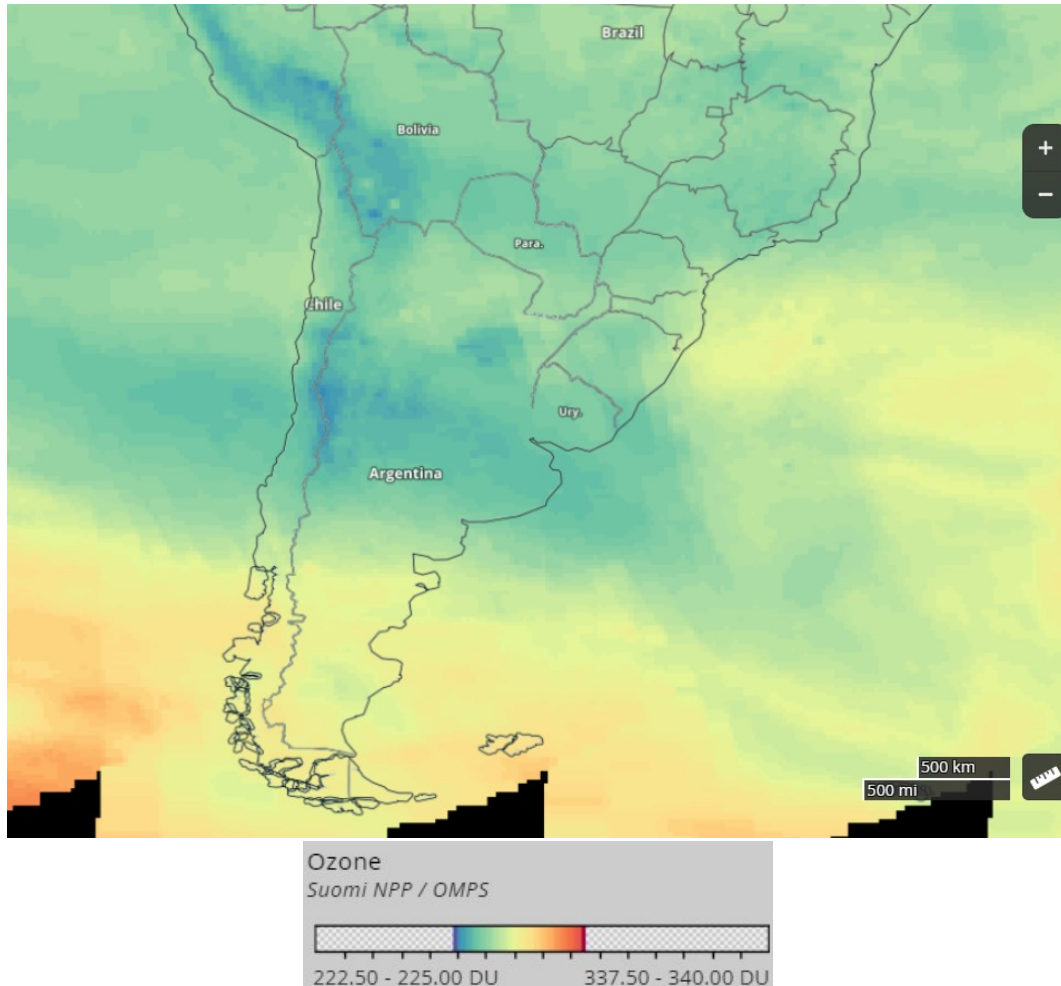


Fig. 43 Imagen correspondiente al producto O₃ (Columna total) del sensor OMPS a bordo del satélite Suomi NPP para el día 15 de abril de 2021. (Fuente: NASA WorldView)

4.8.3 Producto Sentinel-5P/TROPOMI

Descripción

- <http://www.tropomi.eu/data-products/total-ozone-column>
- <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Ozone-Tropospheric-Column>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/S5P_L2_O3_TCL_2/summary?keywords=O3%20tropomi

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_O3_TCL_2

La Figura 44 muestra un ejemplo del producto de O₃ (columna total) que corresponde al sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P para el día 19 de septiembre de 2020. Los valores más bajos de O₃ en color celeste, corresponden a 0.135 mol/m² y los valores más altos, en tonos de amarillo verdoso, se encuentran alrededor de 0.225 mol/m². La resolución espacial es de 0.5° x 1.0° ya temporal es diaria.

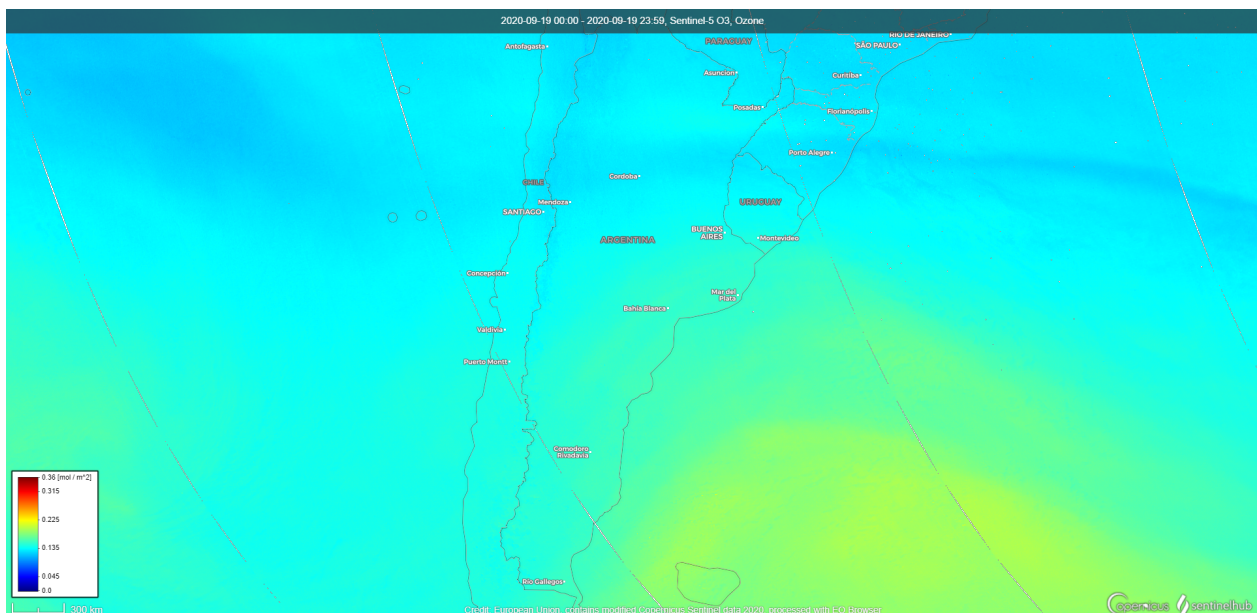


Fig. 44 Imagen correspondiente al producto O₃ (Columna total) del satélite Sentinel-5P para el día 19 de septiembre de 2020. (Fuente: Sentinel Hub EO Browser)

4.9 Formaldehído (HCHO)

El formaldehído (HCHO) es un gas intermedio en casi todas las cadenas de oxidación de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVNM), que eventualmente conduce a CO₂. Los compuestos orgánicos volátiles no metanos (COVNM) se encuentran, junto con NO_x, CO y CH₄, entre los precursores más importantes del O₃ troposférico. La principal fuente de HCHO en la atmósfera remota es la oxidación del CH₄. En los continentes, la oxidación de COVNM que es producida por la vegetación, los incendios, el tráfico y las fuentes industriales da como resultado mejoras importantes y localizadas de los niveles de HCHO. Las variaciones estacionales e interanuales de la distribución del formaldehído están relacionadas principalmente con los cambios de temperatura y los incendios, pero también con los cambios en las actividades

antropogénicas. Con una vida útil del orden de unas pocas horas, las concentraciones de HCHO en la capa límite pueden estar directamente relacionadas con la liberación de hidrocarburos de vida corta, que en su mayoría no se pueden observar directamente desde el espacio.

Las observaciones satelitales a largo plazo del formaldehído troposférico son esenciales para respaldar los estudios relacionados con la calidad del aire y la química y el clima desde la escala regional hasta la global. Entre las misiones espaciales actuales que monitorean HCHO se encuentran: Sentinel-5P/TROPOMI, Aura/OMI, MetOp/GOME-2 y S-NPP/OMPS.

4.9.1 Producto Aura/OMI

Descripción

- https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2_ProductRequirements_Designs/README.OMI_DUG.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMHCHOd_003/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMHCHOd_003

La Figura 45 muestra un ejemplo del producto HCHO (columna total) diario global que corresponde al sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. Cada archivo contiene valores de HCHO promediados y filtrados por nubes. En este ejemplo los valores más bajos van desde el celeste al magenta y se encuentran en el rango de $0.0e16$ moléculas/cm² a $1.032e16$ moléculas/cm². Los valores más altos, en rojo y amarillo superan los $2.063e16$ moléculas/cm² y corresponden a los incendios producidos en Brasil. La resolución espacial es de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ y la temporal es diaria.

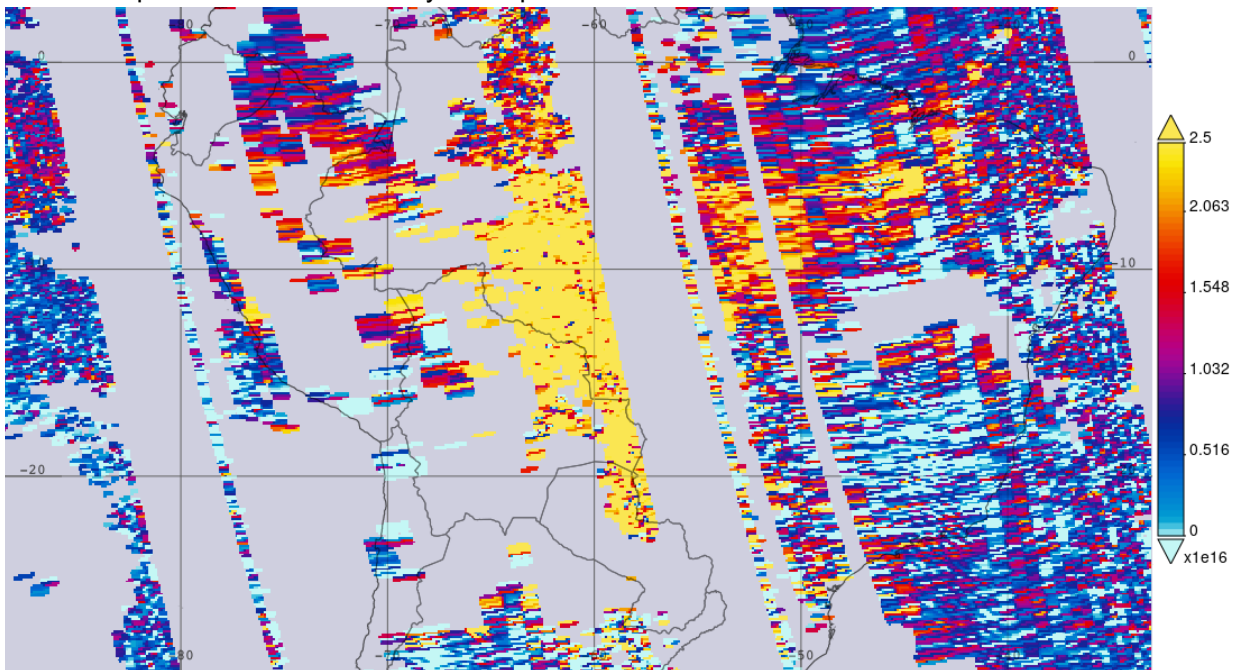


Fig. 45 Imagen correspondiente al producto columna total de HCHO del sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente:Giovanni (NASA))

4.9.2 Producto Sentinel-5P/TROPOMI

Descripción

- <http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde>
- https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/data-products/-/asset_publisher/fp37fc19FN8F/content/sentinel-5-precursor-level-2-formaldehyde
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/S5P_L2_HCHO_HiR_2/summary?keywords=HCHO

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_HCHO_HiR_2

La Figura 46 corresponde a una imagen RGB de color verdadero del sensor VIIRS a bordo del satélite S-NPP del día 30 de septiembre de 2020. En la misma se observan los incendios forestales producidos en las Sierras de Córdoba y al este de la provincia de San Luis. Estos fueron captados por el sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P y produjeron un aumento en los niveles de HCHO que se observa en la Figura 47. Los valores altos de HCHO se indican en colores (cian, verde, amarillo y rojo) y corresponden a valores que se encuentran en el rango de $3.75e-4$ mol/m² a $8.75e-4$ mol/m². La resolución espacial es de 3.5 km x 5.5 km y la temporal es diaria.

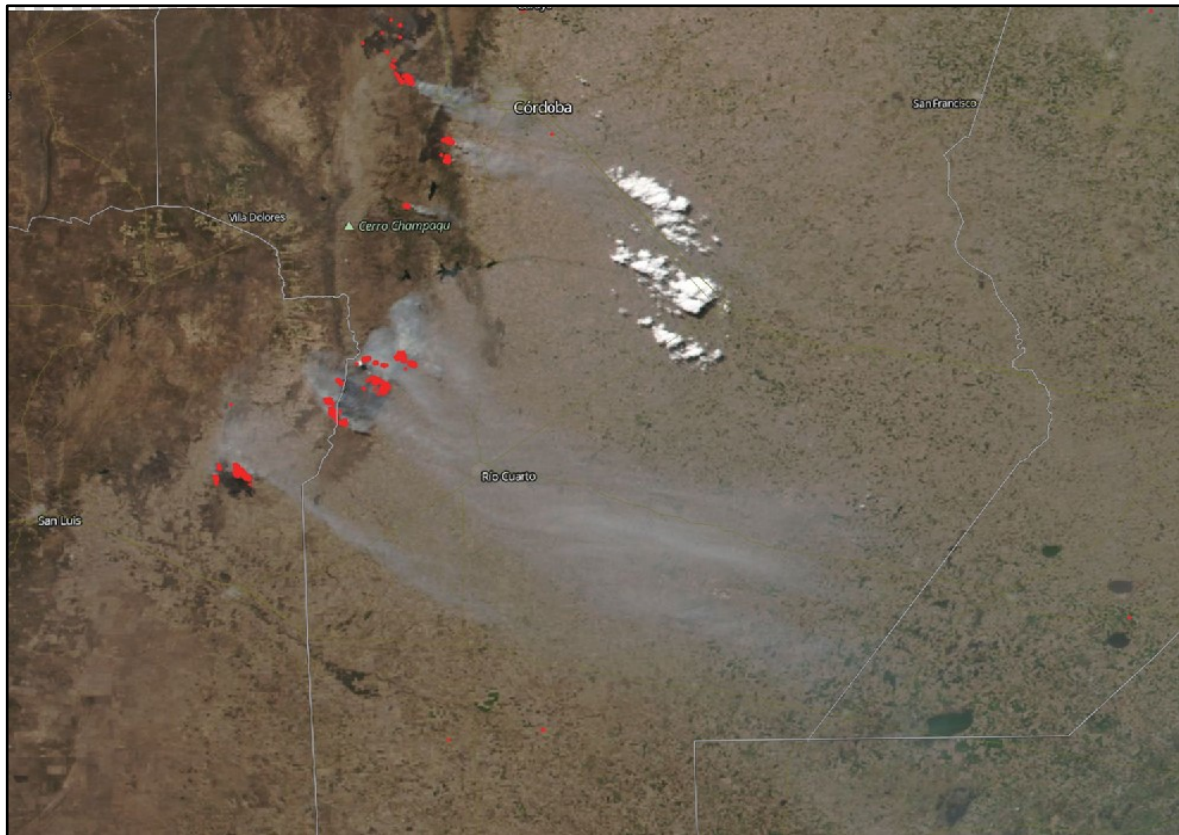


Fig. 46 Imagen correspondiente al producto RGB color verdadero del sensor VIIRS a bordo del satélite S-NPP para el día 30 de septiembre de 2020 a las 18:15 UTC. (Fuente:NASA WorldView)

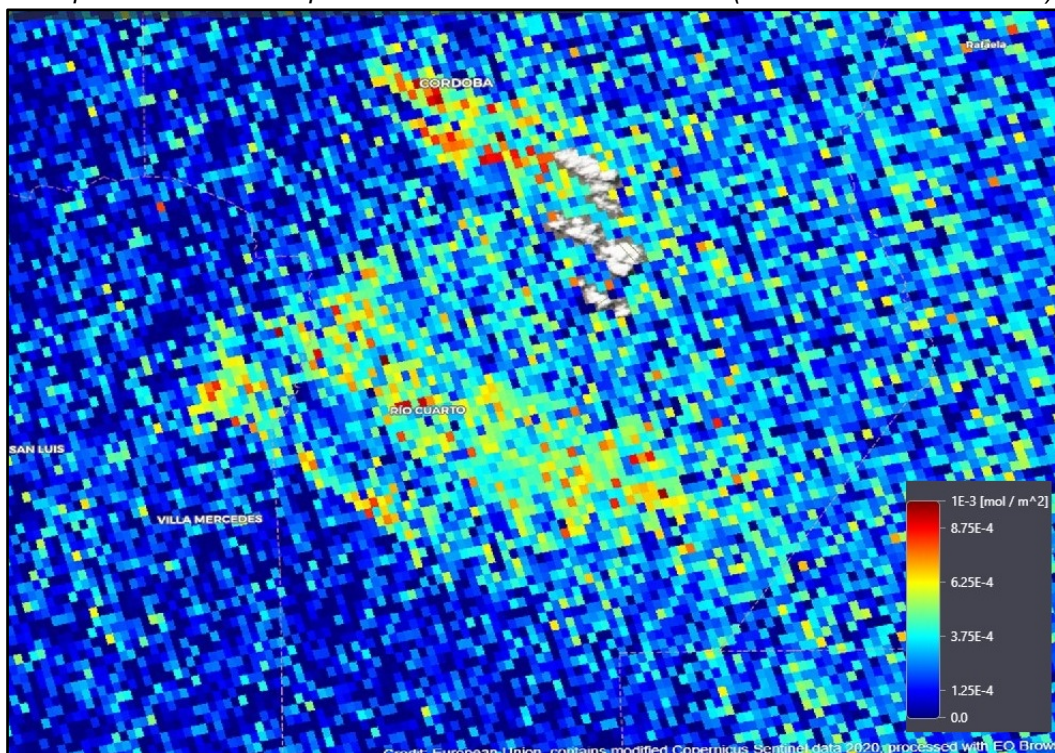


Fig. 47 Imagen de producto HCHO del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P correspondiente al día 30 de septiembre de 2020. (Fuente:Sentinel Hub EO Browser)

4.10 Aerosoles

Los aerosoles son una mezcla química pequeña y compleja de líquido y partículas suspendidas en el aire. En la práctica, referirse a aerosoles incluye tanto partículas como su medio circundante. Debido a sus diminutas dimensiones, suelen ser invisibles para el ojo humano. Sin embargo, interactúan de manera eficiente con la radiación solar y afectan fuertemente su distribución por la atmósfera (Dubovik y otros, 2019).

Su presencia no sólo perturba el clima, el total de energía y la visibilidad atmosférica, la salud y seguridad del hombre, sino que también interfiere con las observaciones satelitales de los gases traza atmosféricos. Además, la dispersión y la absorción por aerosoles impactan el flujo actínico y en consecuencia modifica las tasas de fotólisis de procesos importantes en la atmósfera (Palancar y otros, 2013).

Se diferencian de los gases por el mayor tamaño de sus moléculas. Existen varias clasificaciones de aerosoles atmosféricos pero la más utilizada es según su tamaño. Van desde el modo superfino más pequeño, con diámetros de unos pocos nanómetros (nm), hasta partículas grandes de modo grueso, con diámetros de más de 100 micrómetros (μm) o más. Entre las partículas de modo superfina y gruesa se encuentran las partículas de modo fino, con diámetros que oscilan entre 0,1 μm y unos pocos μm (Seinfeld, 1986). Cuando hablamos de contaminación por aerosoles nos referimos en general al material particulado (PM) por sus siglas en inglés. En general el más utilizado es el PM₁₀ que se refiere a la masa seca de partículas con un diámetro menor a 10 μm .

Las fuentes de aerosoles combinan procesos naturales y antropogénicos. Pueden ser de emisión directa debido a la dispersión de material en la superficie de la Tierra como el spray marino, el polvo que surge de los desiertos, la combustión de biomasa, las cenizas volcánicas resultantes de erupciones, los aerosoles orgánicos primarios y los desechos industriales. Por otra parte, existen los de emisión indirecta producidos por la emisión de gases traza precursores que conducen a la formación de aerosoles secundarios como los sulfatos, nitratos, sales de amonio y aerosoles orgánicos secundarios, entre otros.

Entre las misiones satelitales se encuentra la Sentinel-5P/TROPOMI y genera el índice de aerosoles que es un producto de datos que se ha calculado para varios instrumentos satelitales diferentes que abarcan un período de casi 40 años. El índice de aerosol se conoce como índice de aerosol ultravioleta (UVAI). El cálculo relativamente simple del índice de aerosol se basa en cambios dependientes de la longitud de onda en la dispersión de Rayleigh en el rango espectral UV donde la absorción de ozono es muy pequeña. El UVAI también se puede calcular en presencia de nubes para que sea posible una cobertura global diaria. Esto es ideal para rastrear la evolución de las columnas de aerosol de las nubes de polvo, nubes de cenizas volcánicas y quema de biomasa.

El sensor OMI a bordo del satélite AQUA y el sensor OMPS a bordo de los satélites S-NPP y NOAA-20, generan el índice de aerosoles (AI) que indica la presencia de partículas que absorben en el rango del ultravioleta (UV). El AI es un índice cualitativo que indica la presencia de capas elevadas de aerosoles en la atmósfera. Se puede utilizar para detectar la presencia de aerosoles absorbentes de rayos ultravioleta, como polvo del desierto, incendios y columnas de ceniza volcánica.

4.10.1 Producto Sentinel 5P/TROPOMI

Descripción

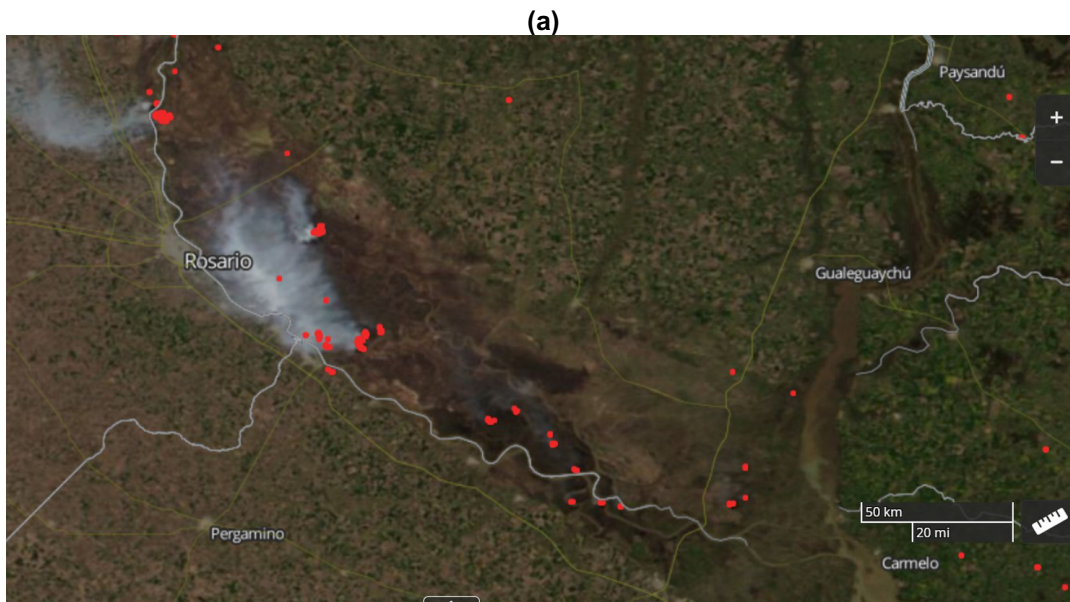
- <http://www.tropomi.eu/data-products/uv-aerosol-index>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=S5P_L2_AER_AI_1

La Figura 48a corresponde a una imagen en color verdadero del sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-20 del día 14 de septiembre de 2020, donde se observan los incendios (puntos calientes) producidos en el Delta del Paraná en cercanías de la ciudad de Rosario. Para este evento se observan valores de AI registrados por mediciones realizadas del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P (Fig. 48b).

Los valores positivos (de azul claro a rojo) indican la presencia de aerosol absorbente de UV. Este índice se calcula para dos pares de longitudes de onda: 340/380 nm y 354/388 nm. En este ejemplo, los valores observados oscilan entre 0.25 y 1.25 y se encuentran en el rango de colores que van desde el azul al celeste, coincidiendo con el área de los incendios. La resolución espacial es de 3.5 km x 5.5 km y la temporal es diaria.



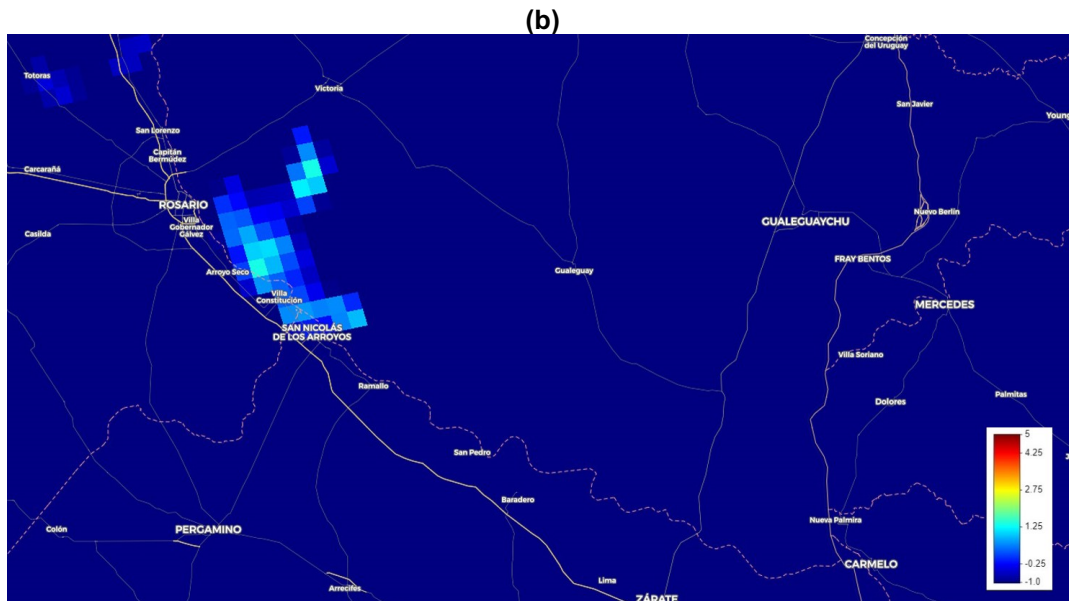


Fig. 48 (a) Producto color verdadero captado por el satélite NOAA-20 (sensor VIIRS) el día 14 de septiembre de 2020 a las 17:22 UTC. **(b)** Producto AI (Aerosol Index) correspondiente al satélite Sentinel-5P (TROPOMI) para el mismo día. (Fuente: NASA WorldView y Sentinel Hub EO Browser)

4.10.2 Producto Aura/OMI

Descripción

- https://measures.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/AER/OMIAuraAER.1/doc/README.MEaSURES_Aerosols.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMTO3d_003/summary?keywords=OMTO3d_003_UVAerosolIndex

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMTO3d_003

En la Figura 49 se muestra un ejemplo del producto de UV aerosol index (AI) correspondiente al sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. Los tonos amarillo, rojo, y negro, corresponden a valores de UV AI mayores a $15e-1$ que se registraron como consecuencia de los incendios producidos en la región del Mato Grosso en Brasil. La resolución espacial es de $1^\circ \times 1^\circ$ y temporal es diaria.

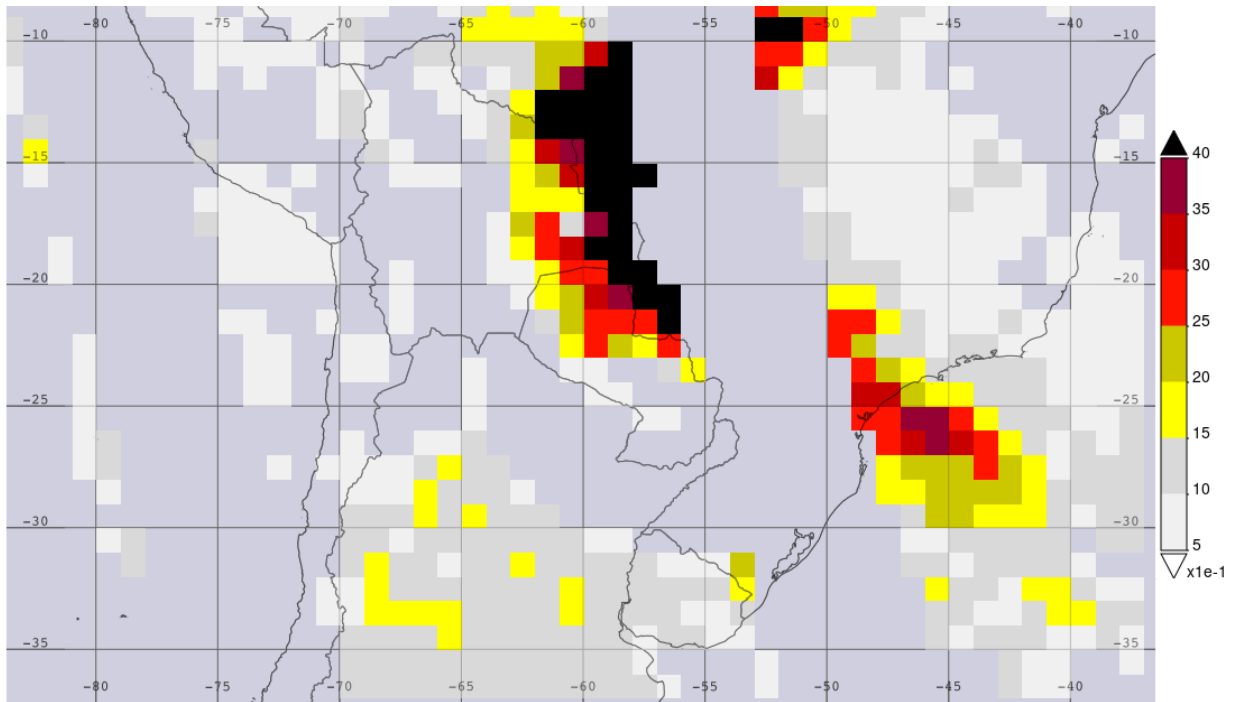


Fig. 49 Imagen correspondiente al producto diario de UV aerosol index del sensor OMI a bordo del satélite AURA para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente:Giovanni (NASA))

4.10.3 Producto S-NPP/OMPS y NOAA-20/OMPS

Descripción

- https://snpp-omps.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/SNPP_OMPS_Level2/OMPS_NPP_NMMIEAI_L2.2/doc/README.OMPS_NPP_NMMIEAI_L2.2.pdf
- https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_NMMIEAI_L2_2/summary

Descarga

- https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=OMPS_NPP_NMMIEAI_L2_2

En la Figura 50 se muestra un ejemplo del producto de índice de aerosol (AI) correspondiente al sensor OMPS a bordo del satélite Suomi NPP para el día 14 de septiembre de 2020. Este índice se deriva de radiancias normalizadas utilizando longitudes de onda de 340 nm y 378.5 nm. Los tonos magenta, rojo, naranja y amarillo corresponden a valores de AI mayores a 2.0 e indican la presencia de partículas que se encuentran en el aire y que absorben radiación ultravioleta como consecuencia de los incendios producidos en la región del Mato Grosso en Brasil. La resolución es de 2 km y la temporal es diaria.

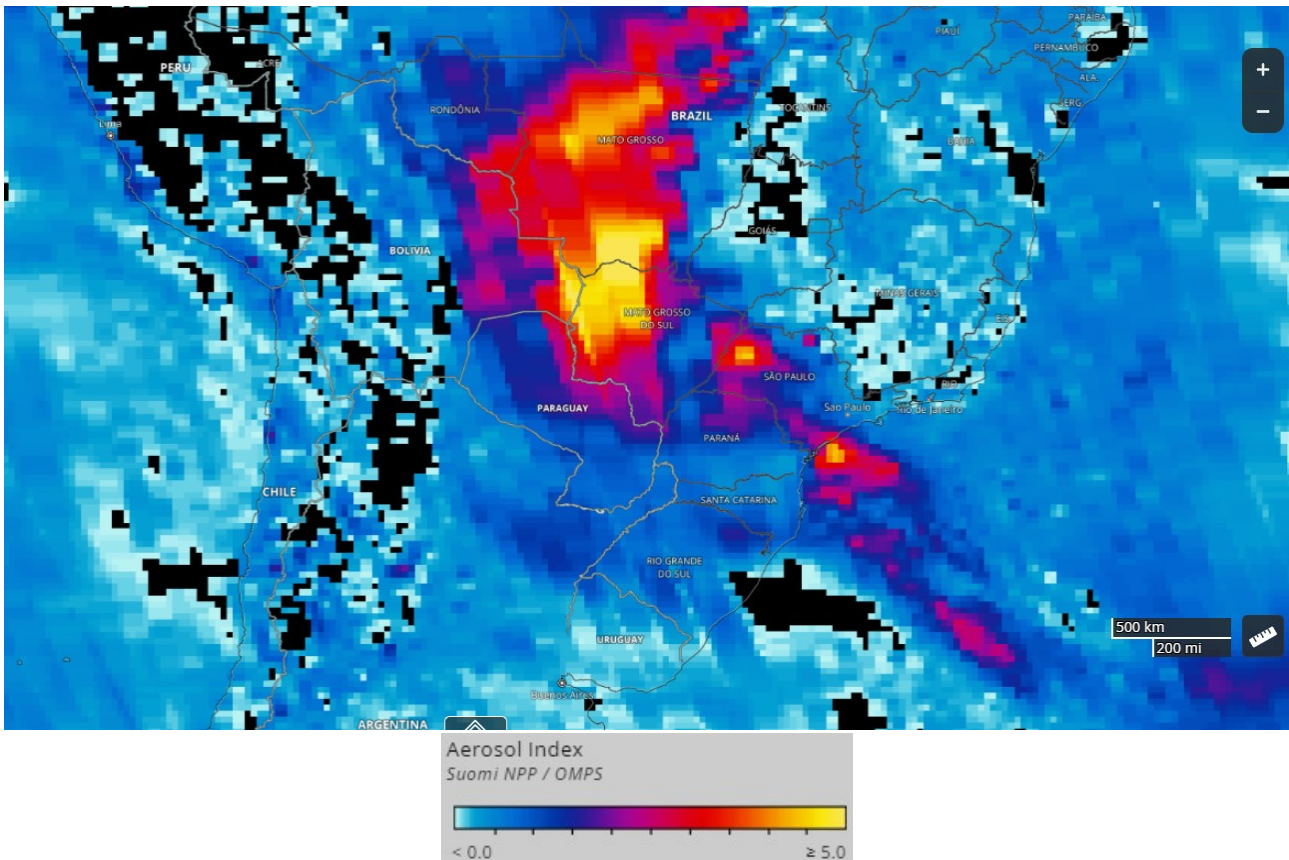


Fig. 50 Imagen correspondiente al producto de Aerosol Index del sensor OMPS a bordo del satélite Suomi NPP para el día 14 de septiembre de 2020. (Fuente: NASA WorldView)

5. REFERENCIAS

Conway, T. J., P. P. Tans y L. S. Waterman. 1994: Atmospheric CO₂ records from sites in the NOAA/CMDL air sampling network. In T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski y F.W. Stoss (eds.), Trends '93: A Compendium of Data on Global Change. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Conway, T. S., P. P. Tans, L. S. Waterman, K. W. Thoning, D. R. Kitzis, K. A. Masarie y N. Zhang, 1994: Evidence of interannual variability of the carbon cycle from the NOAA/CMDL global air sampling network, J. Geophys. Research, vol. 99, 22831-22855.

Crisp, D., Fisher, B. M., O'Dell, C., Frankenberg, C., Basilio, R., Bösch, H., Brown, L. R., Castano, R., Connor, B., Deutscher, N. M., Eldering, A., Griffith, D., Gunson, M., Kuze, A., Mandrake, L., McDuffie, J., Messerschmidt, J., Miller, C. E., Morino, I., Natraj, V., Notholt, J., O'Brien, D. M., Oyafuso, F., Polonsky, I., Robinson, J., Salawitch, R., Sherlock, V., Smyth, M., Suto, H., Taylor, T. E., Thompson, D. R., Wennberg, P. O., Wunch, D. y Yung, Y. L., 2012: The ACOS CO₂ retrieval algorithm – Part II: Global XCO₂ data characterization, Atmos. Meas. Tech., 5, 687–707, <https://doi.org/10.5194/amt-5-687-2012>.

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of

strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Matsunaga T. y S. Maksyutov, 2018: A Guidebook on the Use of Satellite Greenhouse Gases Observation Data to Evaluate and Improve Greenhouse Gas Emission Inventories, Satellite Observation Center, National Institute for Environmental Studies, Japan, 129 pp.

Kirschke, S., P. Bousquet, P. Ciais, M. Saunois, J.G. Canadell, E.J. Dlugokencky, P. Bergamaschi, D. Bergmann, D.R. Blake, L. Bruhwiler, P. Cameron-Smith, S. Castaldi, F. Chevallier, L. Feng, A. Fraser, M. Heimann, E.L. Hodson, S. Houweling, B. Josse, P.J. Fraser, P.B. Krummel, J.-F. Lamarque, R.L. Langenfelds, C. Le Quéré, V. Naik, S. O'Doherty, P.I. Palmer, I. Pison, D. Plummer, B. Poulter, R.G. Prinn, M. Rigby, B. Ringeval, M. Santini, M. Schmidt, D.T. Shindell, I.J. Simpson, R. Spahni, L.P. Steele, S.A. Strode, K. Sudo, S. Szopa, G.R. van der Werf, A. Voulgarakis, M. van Weele, R.F. Weiss, J.E. Williams y G. Zeng, 2013: Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geosci.*, **6**, 813-823, doi:10.1038/ngeo1955.

Saunois, M., P. Bousquet, B. Poulter, A. Peregon, P. Ciais, J. G. Canadell y Q. Zhu, 2016: The global methane budget 2000–2012. *Earth Syst. Sci. Data*, **8**(2), 697-751. doi:10.5194/essd-8-697-2016.

Dlugokencky, E. J., L. P. Steele, P. M. Lang y K. A. Masarie, 1994: The growth rate and distribution of atmospheric methane. *Journal of Geophysical Research* **99**: doi: 10.1029/94JD01245.

Dubovik, O., Z. Li, M. I. Mishchenko, D. Tanré, Y. Karol, B. Bojkov, B. Cairns, D. J. Diner, W. R. Espinosa, P. Goloub, X. Gu, O. Hasekamp, J. Hong, W. Hou, K. D. Knobelspiesse, J. Landgraf, L. Li, P. Litvinov, Y. Liu, A. Lopatin, T. Marbach, H. Maring, V. Martins, Y. Meijer, G. Milinevsky, S. Mukai, F. Parol, Y. Qiao, L. Remer, J. Rietjens, I. Sano, P. Stammes, S. Stammes, X. Sun, P. Tabary, L. D. Travis, F. Waquet, F. Xu, C. Yan y D. Yin, 2019: Polarimetric remote sensing of atmospheric aerosols: instruments, methodologies, results, and perspectives. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **224**, 474-511, doi:10.1016/j.jqsrt.2018.11.024.

Masarie, K. A. y P. P. Tans, 1995: Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record, *J. Geophys. Research*, vol. 100, 11593-11610.

Palancar, G. G., B. L. Lefer, S. R. Hall, W. J. Shaw, C. A. Corr, S. C. Herndon, J. R. Slusser y S. Madronich, 2013: Effect of aerosols and NO₂ concentration on ultraviolet actinic flux near Mexico City during MILAGRO: measurements and model calculations, *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 1011–1022, <https://doi.org/10.5194/acp-13-1011-2013>.

Susskind, J., C. Barnett y J. Blaisdell, 2003: Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB under cloudy conditions. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. **41**. 390-409. 10.1109/TGRS.2002.808236.

Tabla de acrónimos

AIRS	<i>Atmospheric Infrared Sounder</i>
AMSU	<i>Advanced Microwave Sounding Unit</i>
ATMS	<i>Advanced Technology Microwave Sounder</i>
AVMP	<i>Atmospheric Vertical Moisture Profile</i>
AVTP	<i>Atmospheric Vertical Temperature Profile</i>
CAMS	<i>Copernicus Atmosphere Monitoring Service</i>
CCR	<i>Cloud-Cleared Radiance</i>
CLASS	<i>Comprehensive Large Array-data Stewardship System</i>
CrIS	<i>Cross-track Infrared Sounder</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EDR	<i>Environmental Data Record</i>
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EUMETSAT	<i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i>
FOV	<i>Field of View</i>
GDAS	<i>Global Data Assimilation System</i>
GES DISC	<i>Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center</i>
GIBS	<i>Global Imagery Browse Services</i>
GODFIT	<i>GOME Direct Fitting</i>
GOME	<i>Global Ozone Monitoring Experiment</i>
GOSAT	<i>Greenhouse Gases Observing Satellite</i>
IASI	<i>Infrared Atmospheric Sounding Interferometer</i>
ISS	<i>International Space Station</i>
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
JPSS	<i>Joint Polar Satellite System</i>

MHS	<i>Microwave Humidity Sounder</i>
MLS	<i>Microwave Limb Sounder</i>
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MOPITT	<i>Measurement of Pollution in the Troposphere</i>
MOST	<i>Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIES	<i>Institute for Environmental Studies</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NUCAPS	<i>NOAA Unique Combined Atmospheric Processing System</i>
OCO	<i>Orbiting Carbon Observatory</i>
OCO-2	<i>Orbiting Carbon Observatory-2</i>
OCO-3	<i>Orbiting Carbon Observatory-3</i>
OMI	<i>Ozone Monitoring Instrument</i>
OMPS	<i>Ozone Mapping and Profiler Suite</i>
POES	<i>Polar Operational Environmental Satellite</i>
S-NPP	<i>Suomi National Polar-orbiting Partnership</i>
SCIAMACHY	<i>SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY</i>
TANSO	<i>Thermal And Near-infrared Sensor for carbon Observation</i>
TANSO-FTS	<i>Fourier Transform Spectrometer</i>
TANSO-CAI	<i>Cloud and aerosol Imager</i>
TES	<i>Tropospheric Emission Spectrometer</i>
TROPOMI	<i>Tropospheric Monitoring Instrument</i>
VIIRS	<i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i>

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).