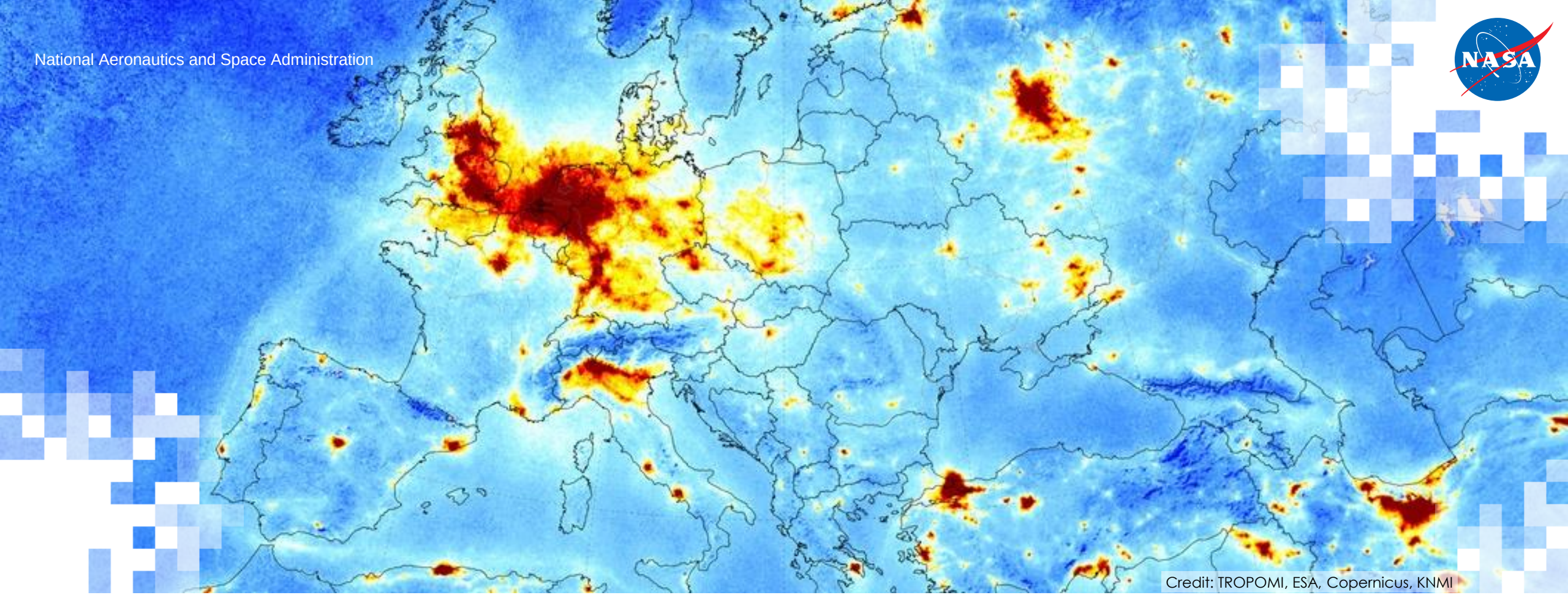
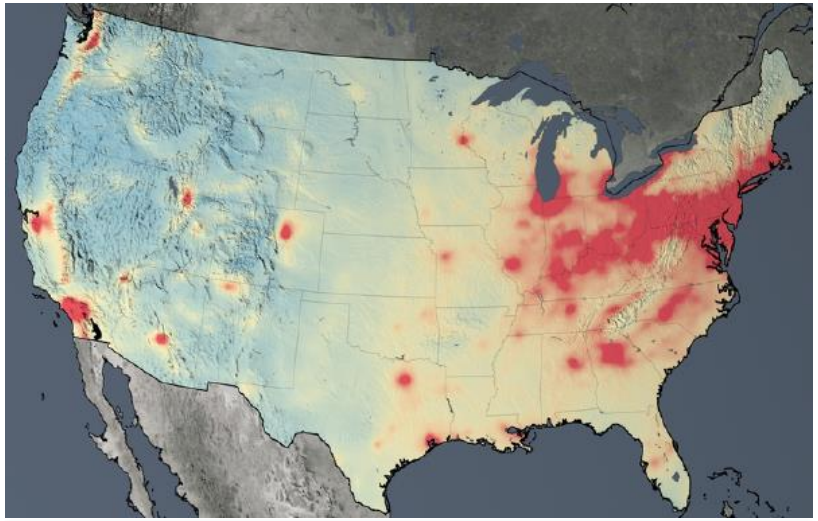


Teledetección de NO_2, Productos y Herramientas de OMI

Melanie Follette-Cook, Pawan Gupta

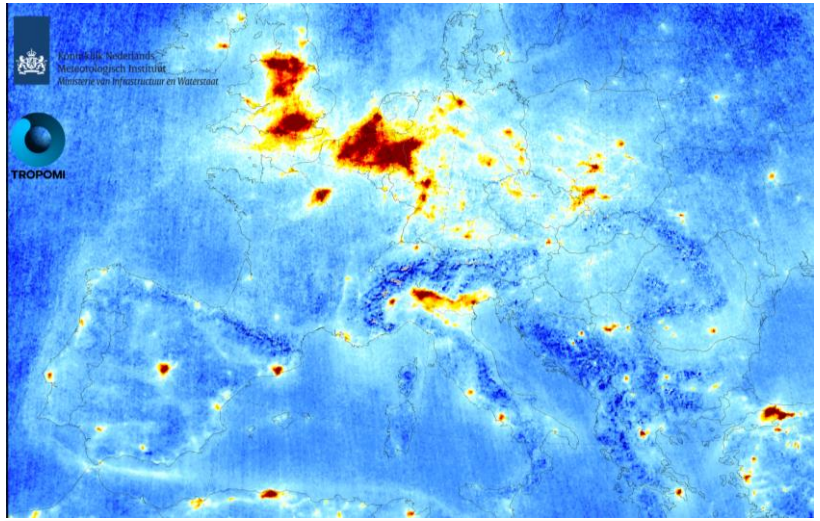
Agenda del Webinar

Sesión 1



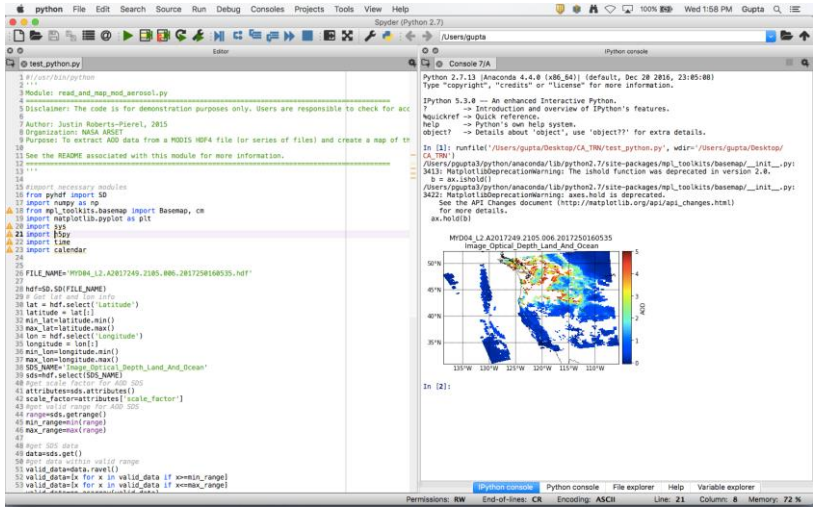
Teledetección del NO_2, Productos de Datos y Herramientas de OMI

Sesión 2



Introducción a TROPOMI – Observaciones de NO_2 de Alta Resolución desde el Espacio

Sesión 3



Herramientas para Python-TROPOMI

Fuente de la imagen para la Sesión 2: TROPOMI

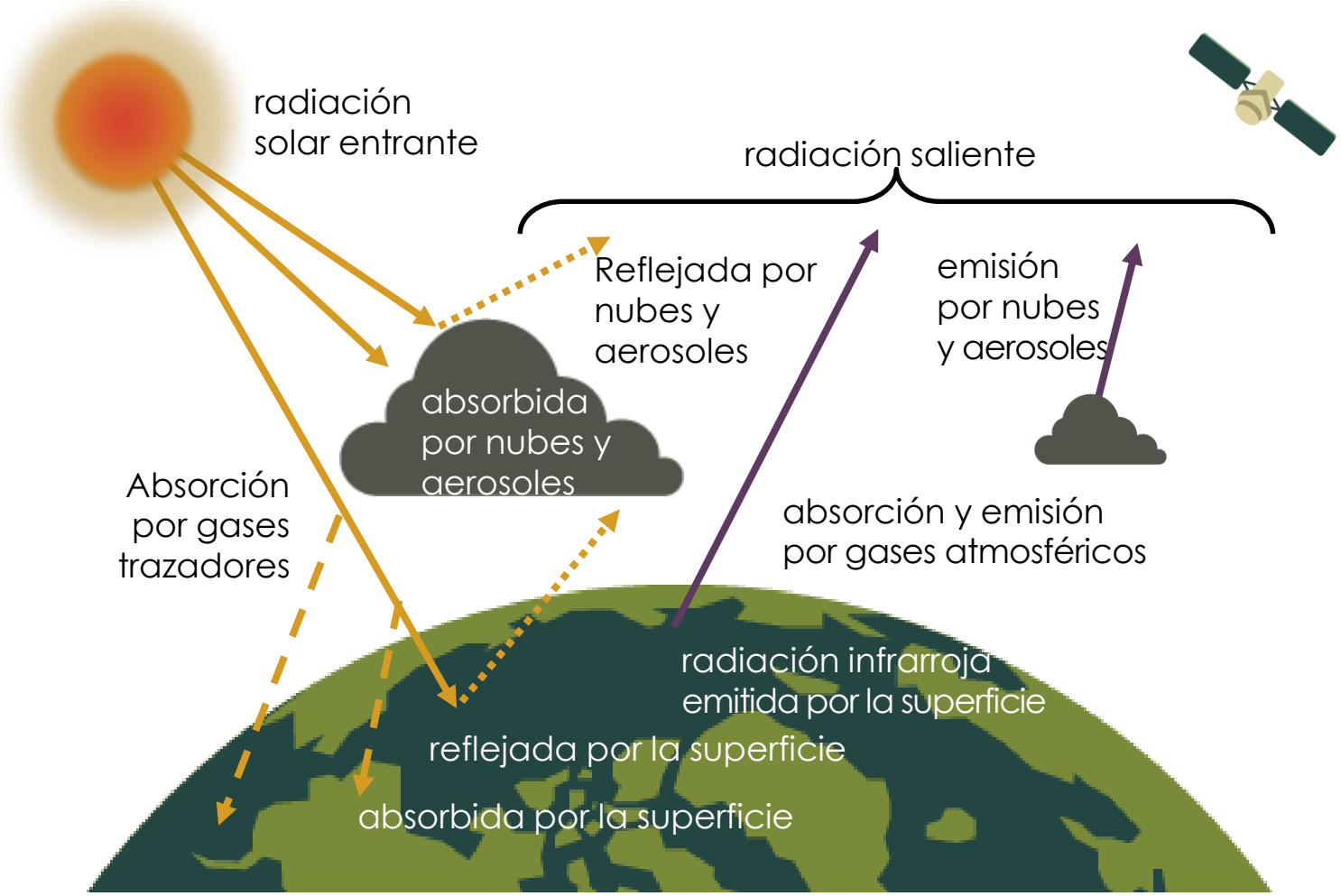
Objetivos de Aprendizaje

Para el final de esta presentación, usted podrá:

- Describir las capacidades satelitales existentes para la observación del NO_2 a nivel mundial
- Describir los productos de datos para el NO_2 actualmente disponibles del Ozone Monitoring Instrument (OMI)
- Identificar varias aplicaciones para el monitoreo de la calidad del aire utilizando y observaciones del NO_2 según OMI
- Realizar una descarga de datos de OMI y/o TROPOMI

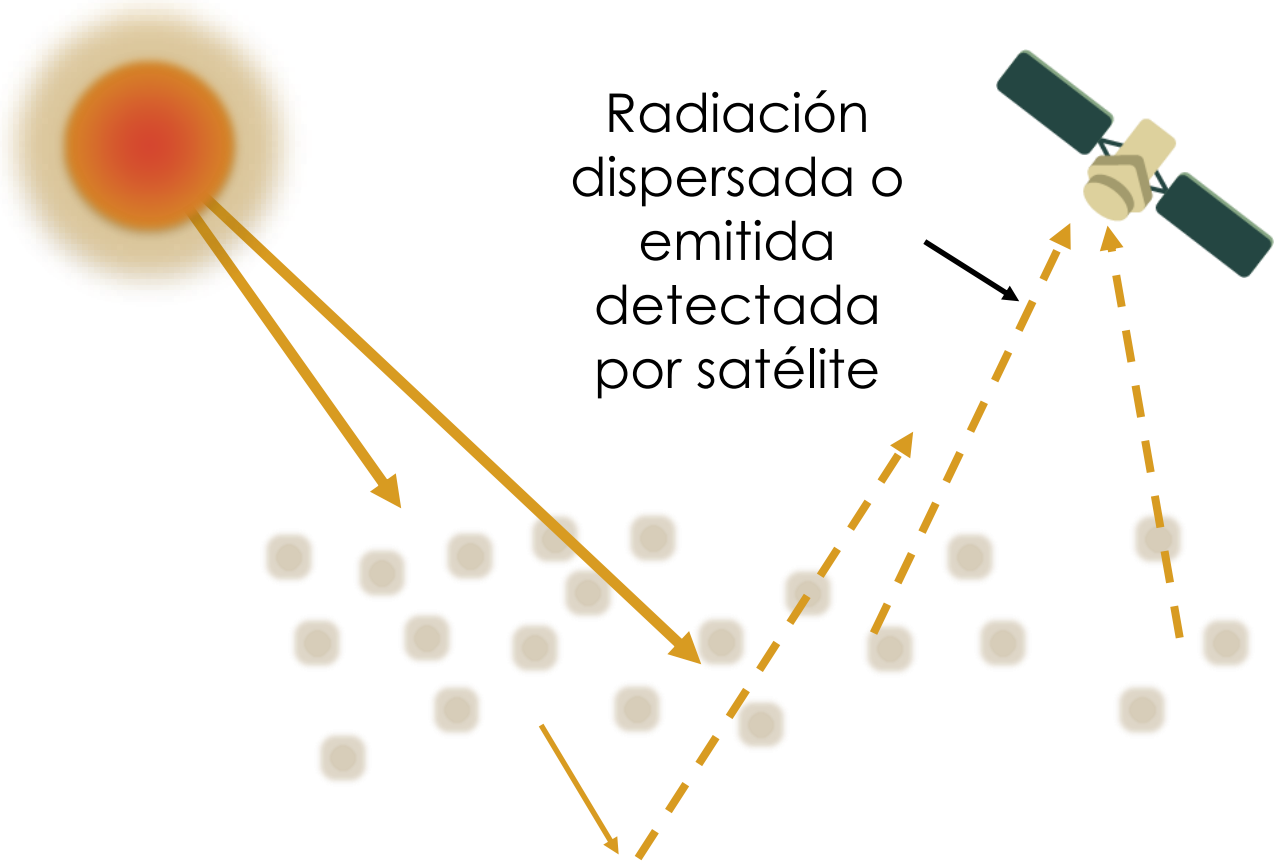
¿Qué Miden los Satélites?

- Teledetección: recolectar información acerca de un objeto sin estar en contacto físico directo con él
- La intensidad de la radiación reflejada y emitida al espacio es influida por las condiciones en la superficie y atmosféricas
- Las mediciones satelitales contienen información sobre las condiciones superficiales y atmosféricas



La Medición de Gases Trazadores desde el Espacio

- Los satélites detectan radiación UV, visible retrodispersada y/o térmica emitida
- Conocemos los espectros de absorción distintos de cada gas trazador
- Podemos identificar una "huella espectral" para cada componente atmosférico
- Los algoritmos de recuperación (un modelo) infieren cantidades físicas como densidad numérica, presión parcial y cantidad en columna



La Firma Espectral de un Gas Trazador es Única como una Huella Digital

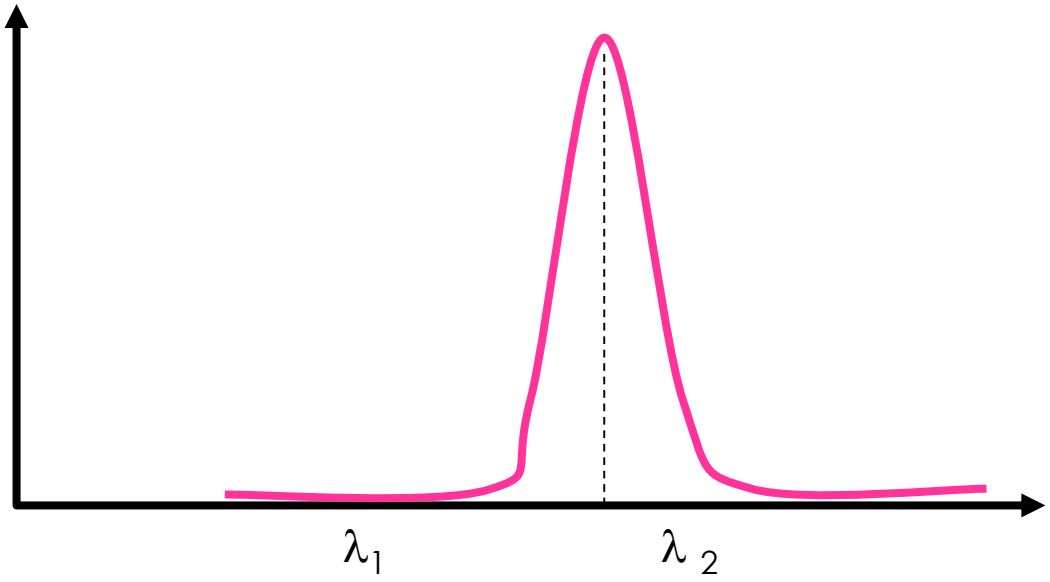
VS

- Una huella digital en una lata de bebida permite identificar al dueño
- Si varias personas tocan la lata, podría resultar bastante difícil identificar a cualquiera de ellas en particular. Este es el caso para los gases trazadores porque sus firmas espectrales a menudo solapan.

Fuentes de las imágenes (izquierda a derecha): Walmart Canadá; Wikimedia Commons, The Photographer

La Firma Espectral de un Gas Trazador es Única como Una Huella Digital

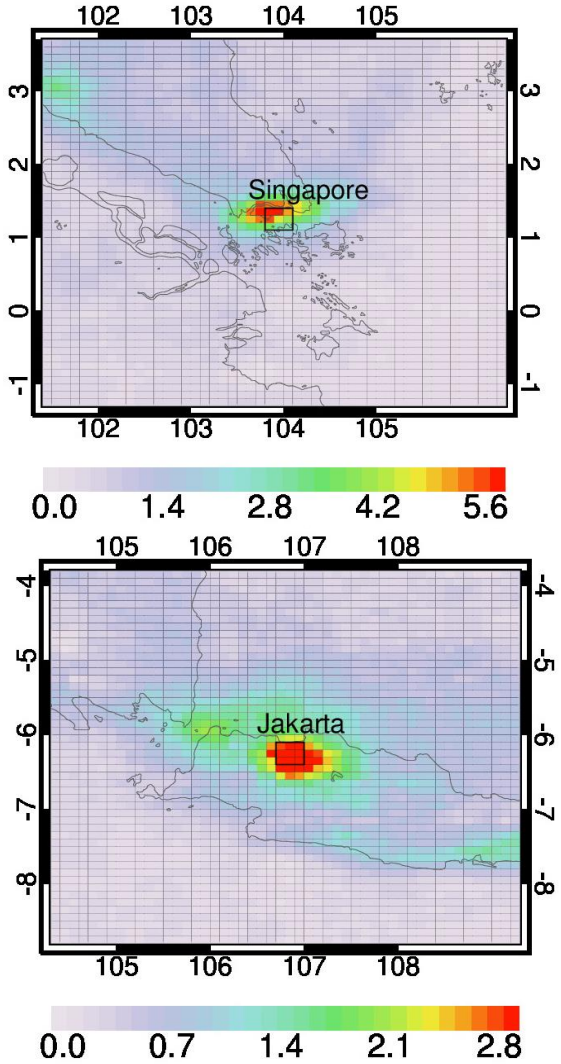
- Se utilizan dos longitudes de onda (λ) en las recuperaciones
  - λ_1 NO es absorbida por el gas trazador
  - λ_2 es absorbida por el gas trazador



Distribución Vertical

- Se puede obtener muy poca información sobre la distribución vertical de gases trazadores en la troposfera si se mira desde el nadir
- Se puede inferir algo de información sobre la distribución vertical tomando en cuenta la altitud de la fuente del gas trazador y su vida en la atmósfera:
  - El NO_2 tiene una vida corta y es emitido principalmente por la combustión de combustibles fósiles (ej., vehículos, plantas de energía), así que la mayoría del NO_2 se encuentra cerca de la superficie

OMI NO_2 ($x10^{15}$ moléc./cm^2)



Formatos de Datos y Resoluciones

Nivel de Datos	Descripción
Nivel 0	Datos brutos en la resolución completa del instrumento
Nivel 1A	Datos brutos que han sido referenciados en el tiempo y suplementados con información como coeficientes de calibración radiométrica y geométrica y parámetros georreferenciados. Estos son calculados y adjuntados pero no aplicados a datos Nivel 0.
Nivel 1B	Datos Nivel 1A que han sido procesados para estar en las unidades que utilizan los sensores (no todos los instrumentos tienen datos de fuente Nivel 1B)
Nivel 2	Variables geofísicas derivadas en la misma resolución y ubicación que los datos de fuente Nivel 1
Nivel 2G & 3	Variables mapeadas en escalas espacio-temporales en cuadrículas uniformes, normalmente con cierto grado de compleción y consistencia
Nivel 4	Salidas de modelos o resultados de análisis de datos de niveles inferiores (ej. variables derivadas de múltiples mediciones)

Gases Trazadores: Utilizando Datos Nivel 3 vs. Datos Nivel 2

- Ventajas
  - Cuadrícula uniforme
  - Un archivo por día
  - Archivos más pequeños
  - Se han aplicado etiquetas de calidad y criterios de filtración
- Limitaciones
  - Pueden ser de resolución más bruta que datos N2
  - Observaciones N2 típicamente en la misma ubicación que los datos N1 de fuente

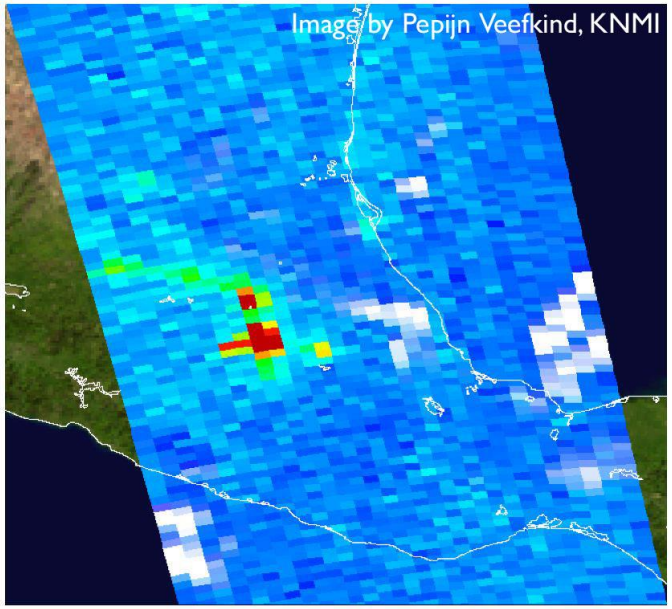
Resolución Espacial: Gases Trazadores

- Resolución espacial de instrumentos satelitales actuales (10s a <10 km de diámetro)
  - suficiente para mapear áreas de concentración troposférica en escala local a regional
  - lo suficientemente fino para resolver plantas de energía individuales y grandes ciudades
- Para especies de corta vida atmosférica (ej. NO_2), el promediar sobre pixeles satelitales más grandes puede causar una dilución significante de señales oriundos de fuentes puntuales, complicando el análisis cuantitativo y la separación de fuentes de emisiones
- Para un análisis cuantitativo: Son óptimos los datos Nivel 2 y los Nivel 3 en cuadrícula

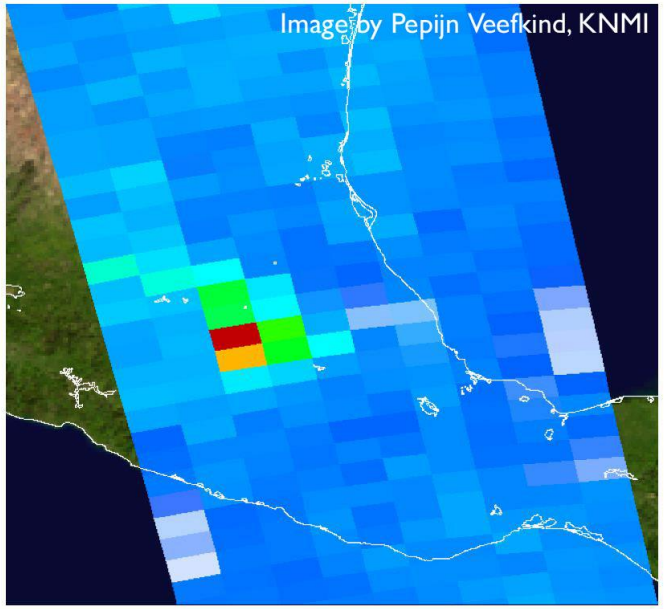
Source: Richter, 2010

Perspectiva…

Resolución Espacial



OMI 24x13 km^2



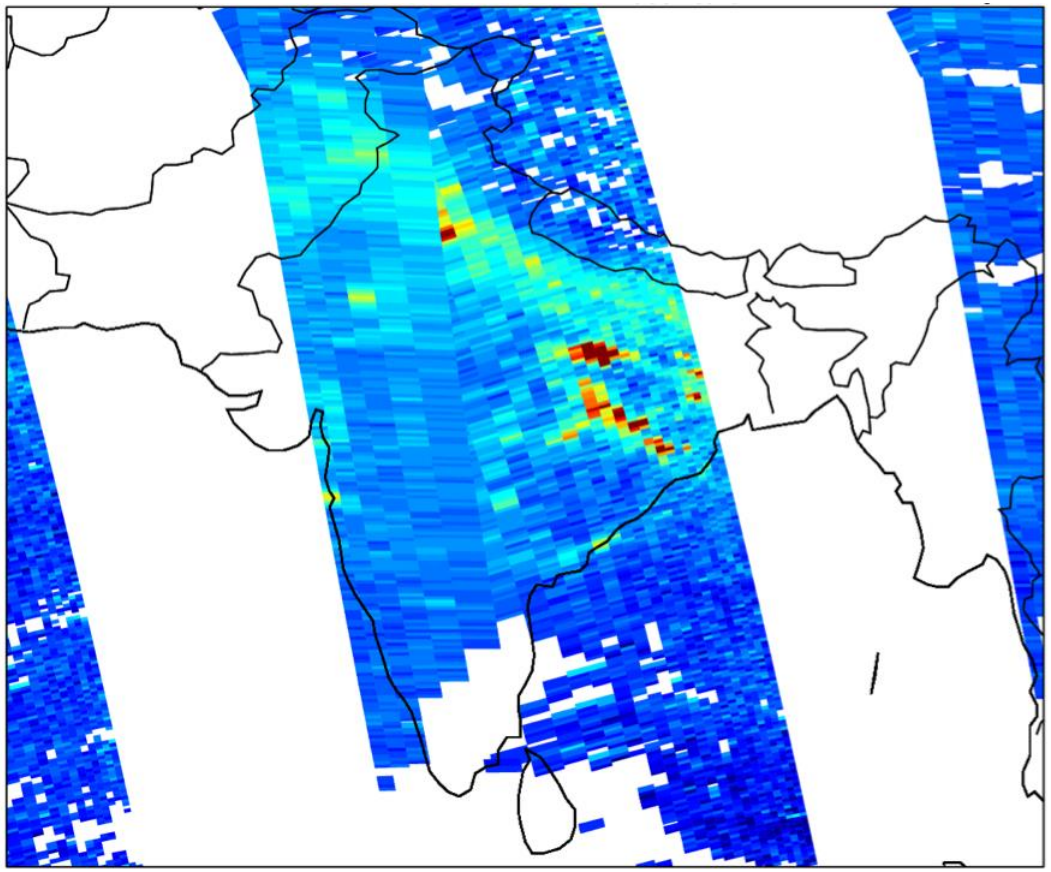
Approx. GOME-2 72x39 km^2

Ciudad de México, 20 de enero de 2005

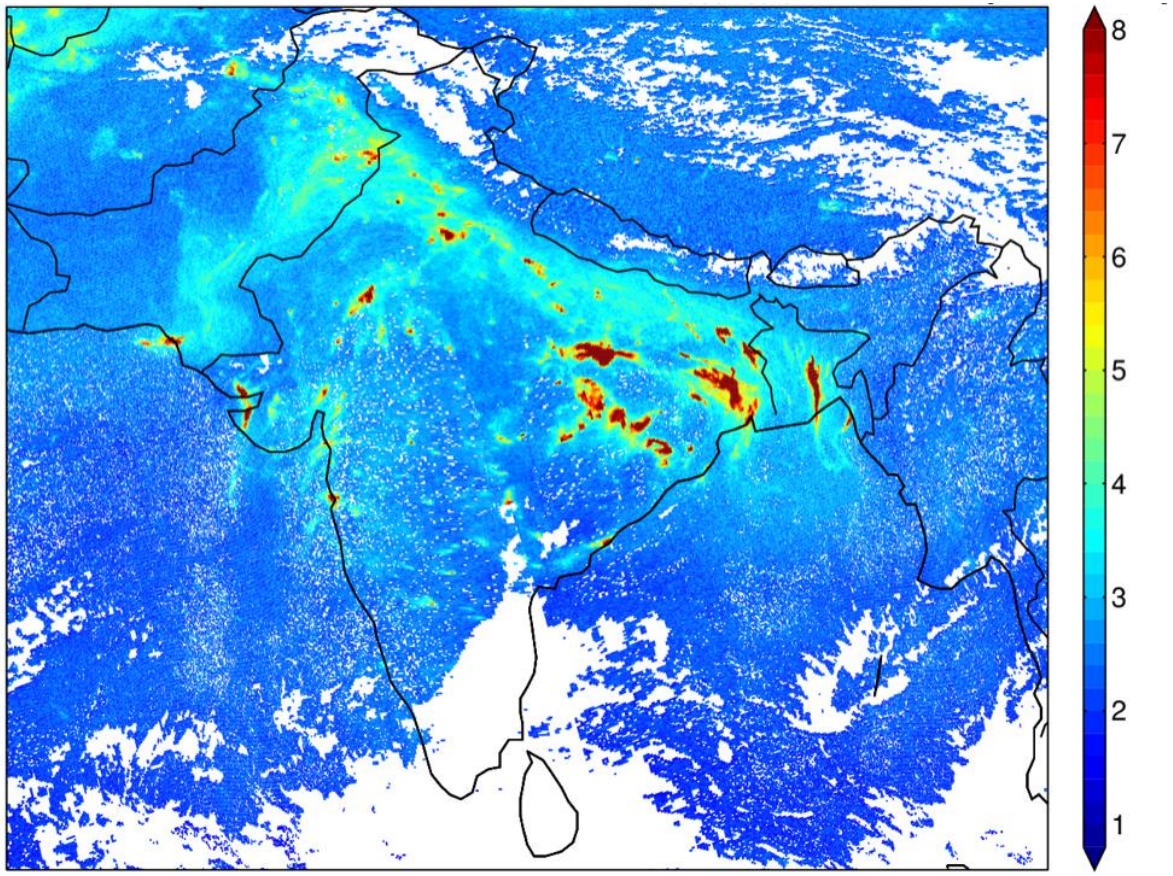
TROPOMI: Impacto de la Resolución

28 de noviembre de 2017

OMI NO_2



TROPOMI NO_2



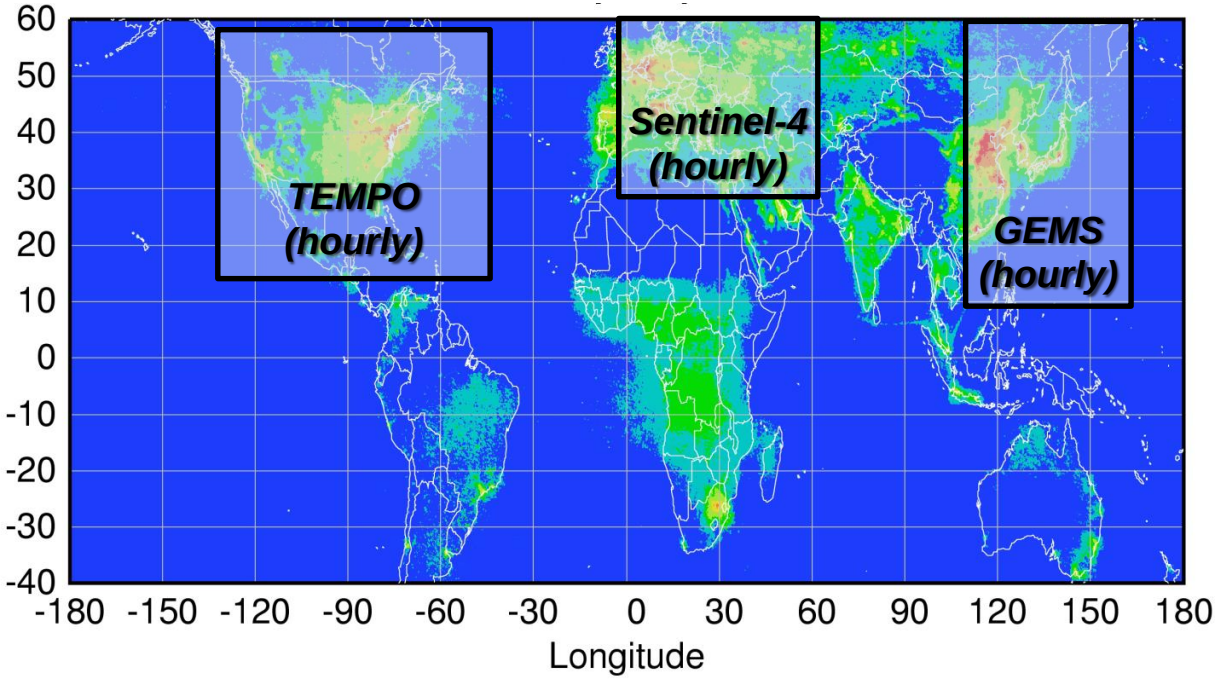
Datos TROPOMI cortesía de la ESA

Resolución Espacial = 3,5 x 7,0 km^2

Global Pollution Monitoring Constellation* (2020-2022)

Ciencia relevante para políticas y servicios ambientales facilitados por observaciones en común

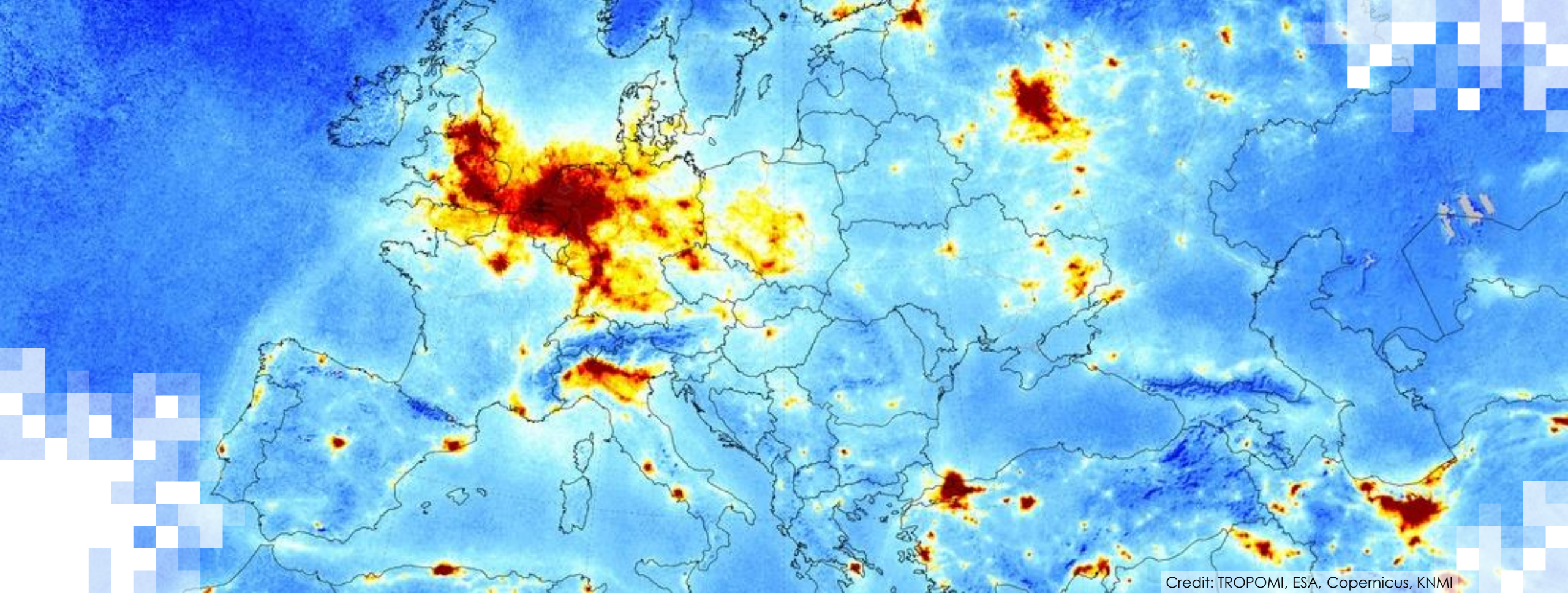
- Mejor detección de emisiones sobre el hemisferio norte industrializado
- Mejores pronósticos de la calidad del aire y sistemas de asimilación
- Mejor evaluación, por ejemplo, observaciones para apoyar el Convenio de las Naciones Unidas Sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia



(Hourly = cada hora)

*Constelación para el Monitoreo de la Contaminación Mundial en inglés

Fuente de la Imagen: Cortesía de Jhoon Kim, Andreas Richter



OMI

Ozone Monitoring Instrument* (OMI)

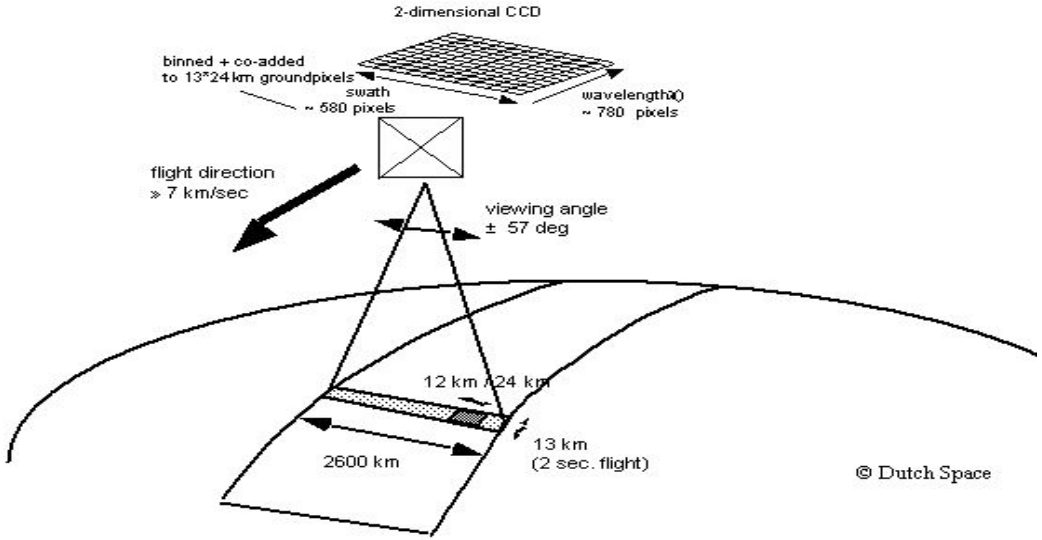
- Lanzado el 15 de julio de 2004
- A bordo del satélite NASA EOS Aura
- Observa el nadir- UV/Visible
  - 264 – 311 nm a 0,63 nm
  - 307 – 383 nm a 0,42 nm
  - 349 – 504 nm a 0,63 nm
- 13h45- hora de cruce ecuatorial
- 13x24 km^2 en el nadir
- Cobertura mundial diaria

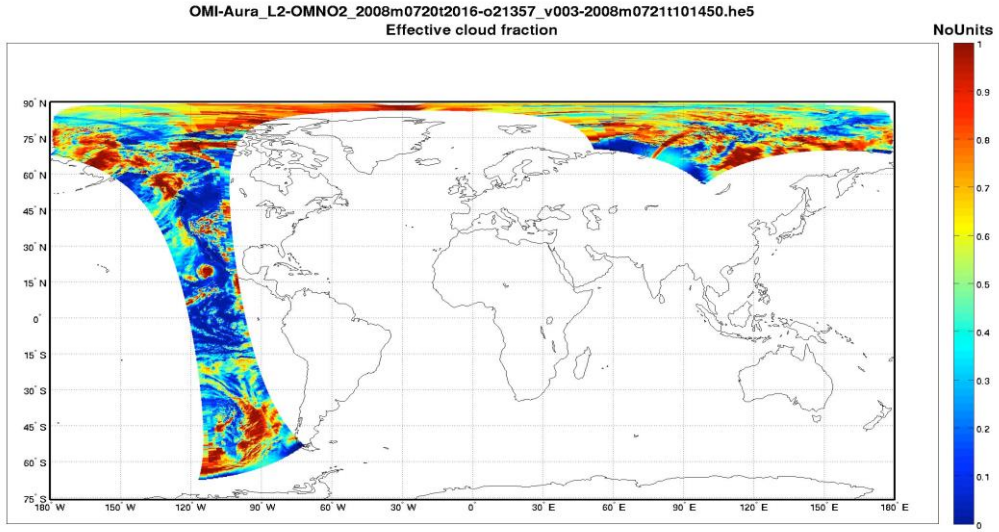
- Productos
  - O_3 en Columna Total
  - O_3 en Columna Troposférico
  - Espesor óptico de aerosoles (en UV)
  - Formaldehído en Columna
  - NO_2 en Columna
  - NO_2 en Columna Troposférico
  - SO_2 en Columna

*Instrumento para el Monitoreo del Ozono

Gránulos de Datos

- El Archivo Producido
  - cubre la parte de la órbita iluminada por el sol con una franja aproximadamente 2.600 km de ancha
  - contiene 60 pixeles agrupados o escenas por cada línea visualizada
- Se producen14 o 15 gránulos a diario, brindando una cobertura completamente contigua del mundo

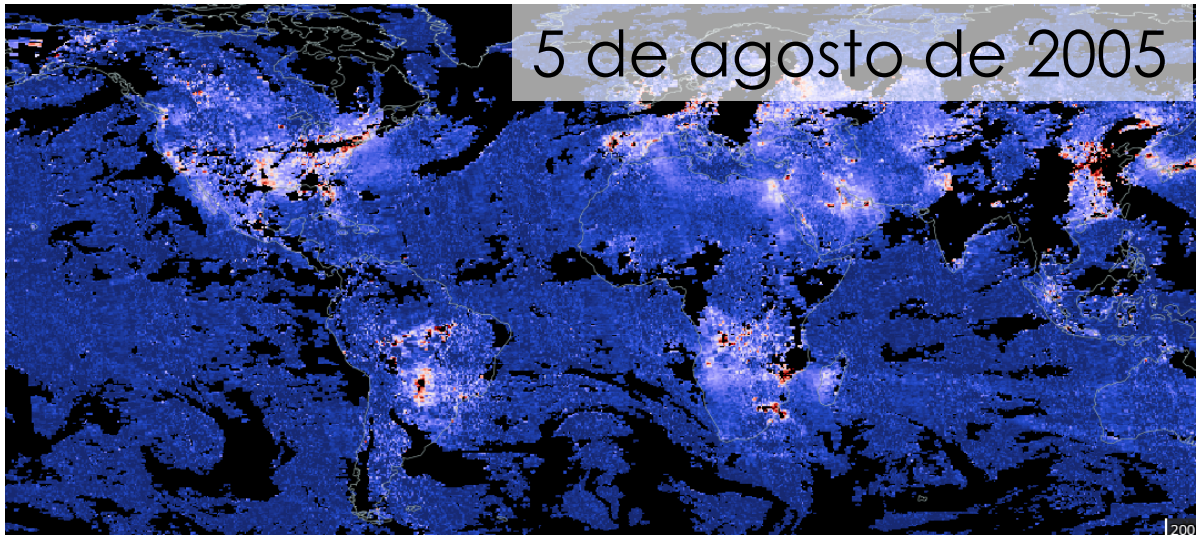


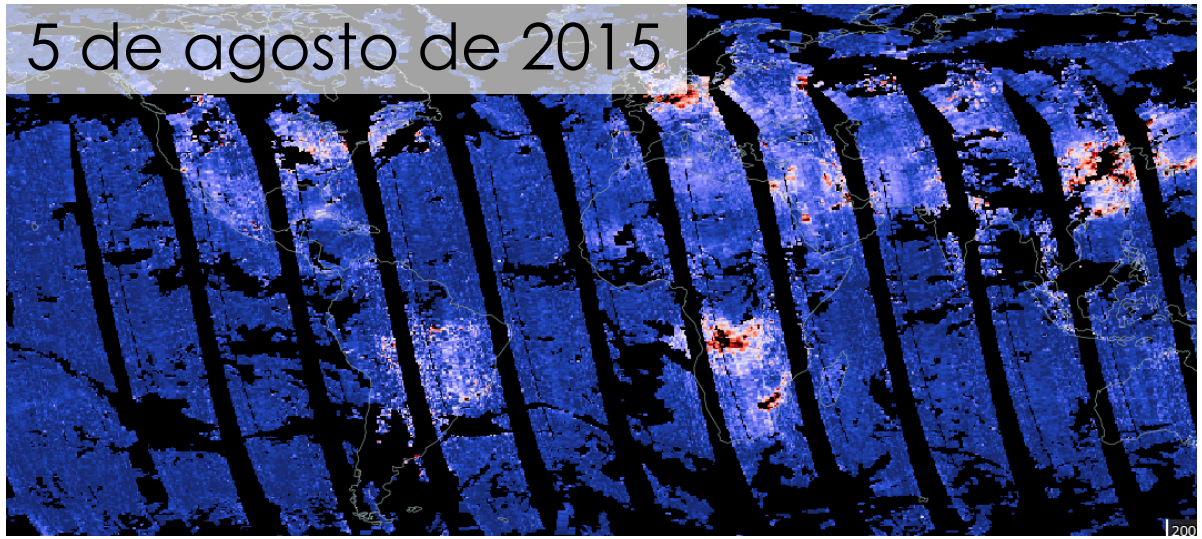


El Efecto de la Anomalía de las Filas de OMI

- Comenzó en 2007 con solo dos filas
- Fue creciendo hasta 2012 cuando afectó casi el 50% de los datos
- Afecta todos los productos de OMI

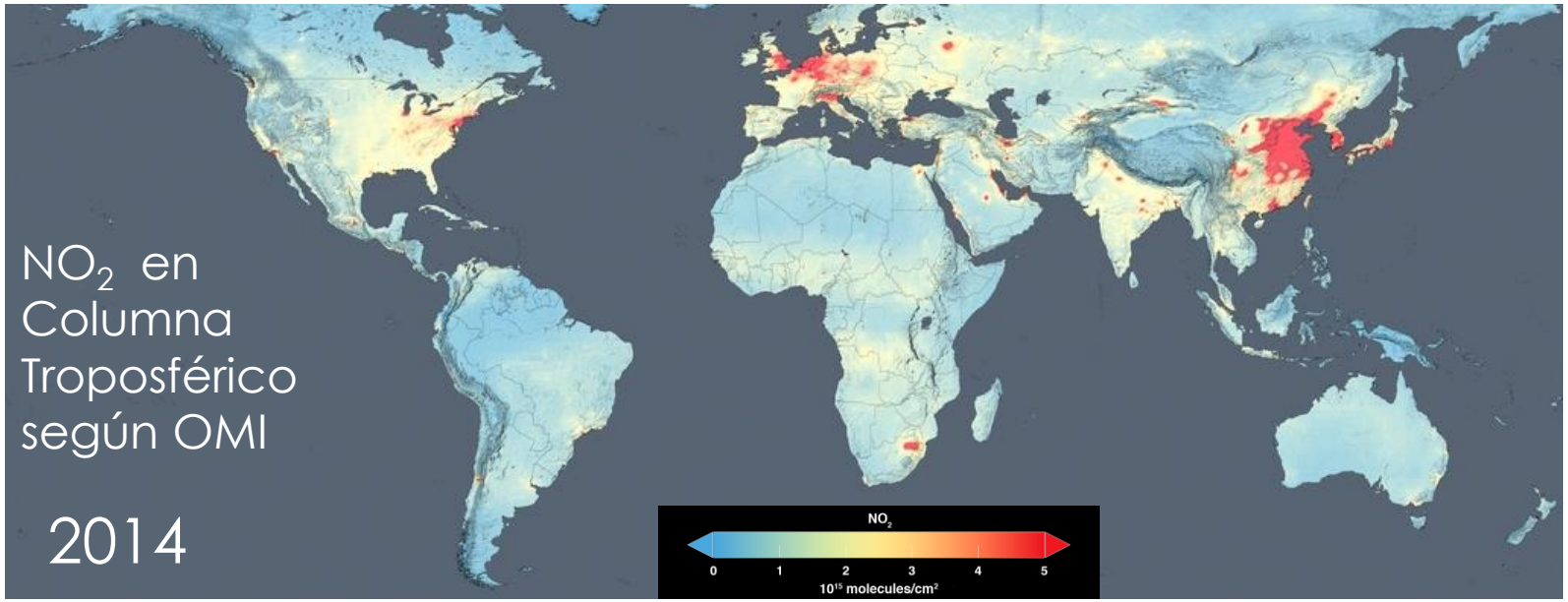
NO_2 en Columna Troposférico según OMI





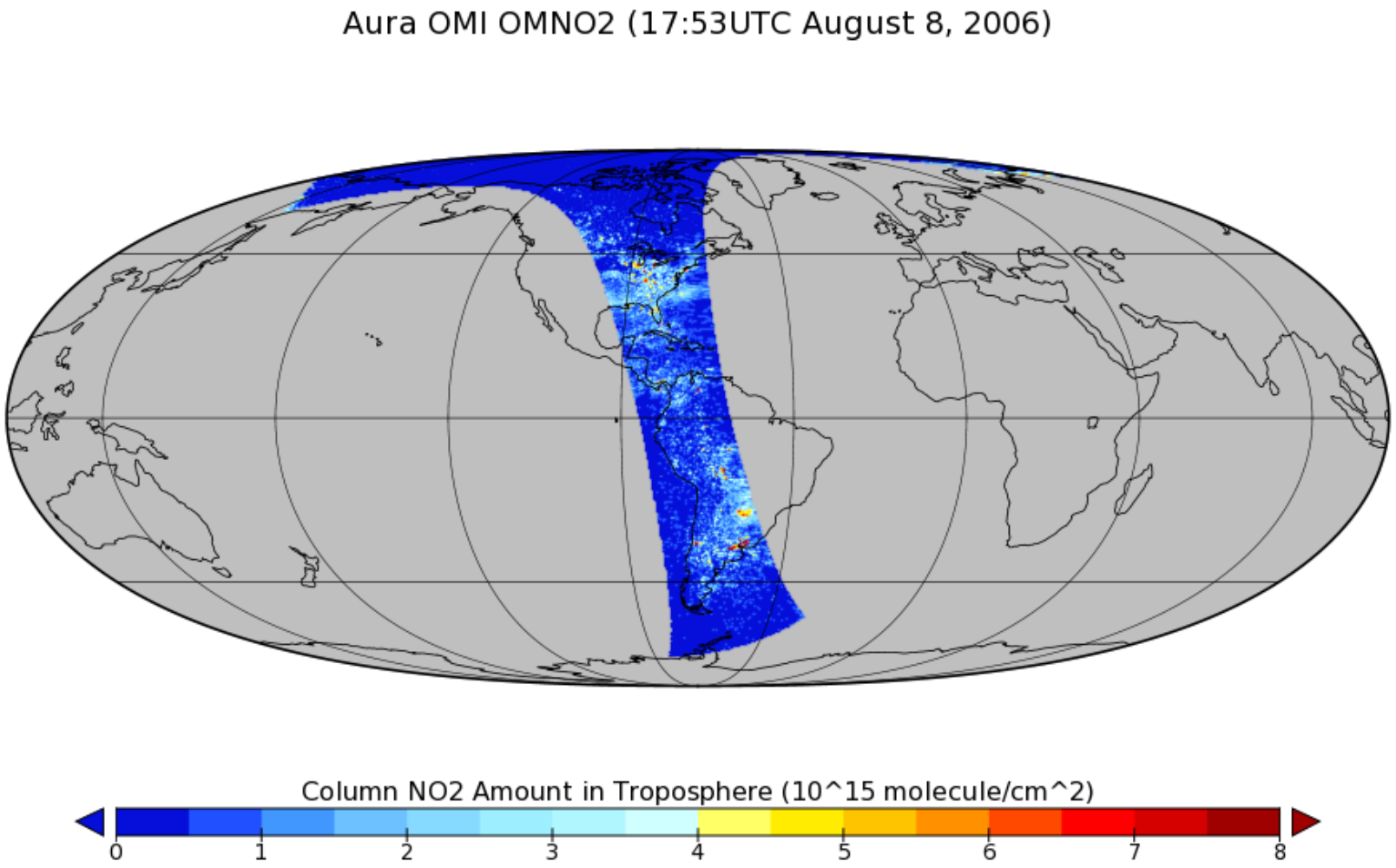
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

- ¿Para qué medir el NO_2?
  - NO_2 es un precursor del ozono y un irritante para la salud
  - Fuentes: Incendios, fuentes industriales y medios de transporte, fuentes estacionarias (ej. plantas de energía eléctrica), pero las emisiones son variables según el tipo de combustible y las condiciones de este
  - Altas concentraciones en la capa límite planetaria (PBL por sus siglas en inglés)

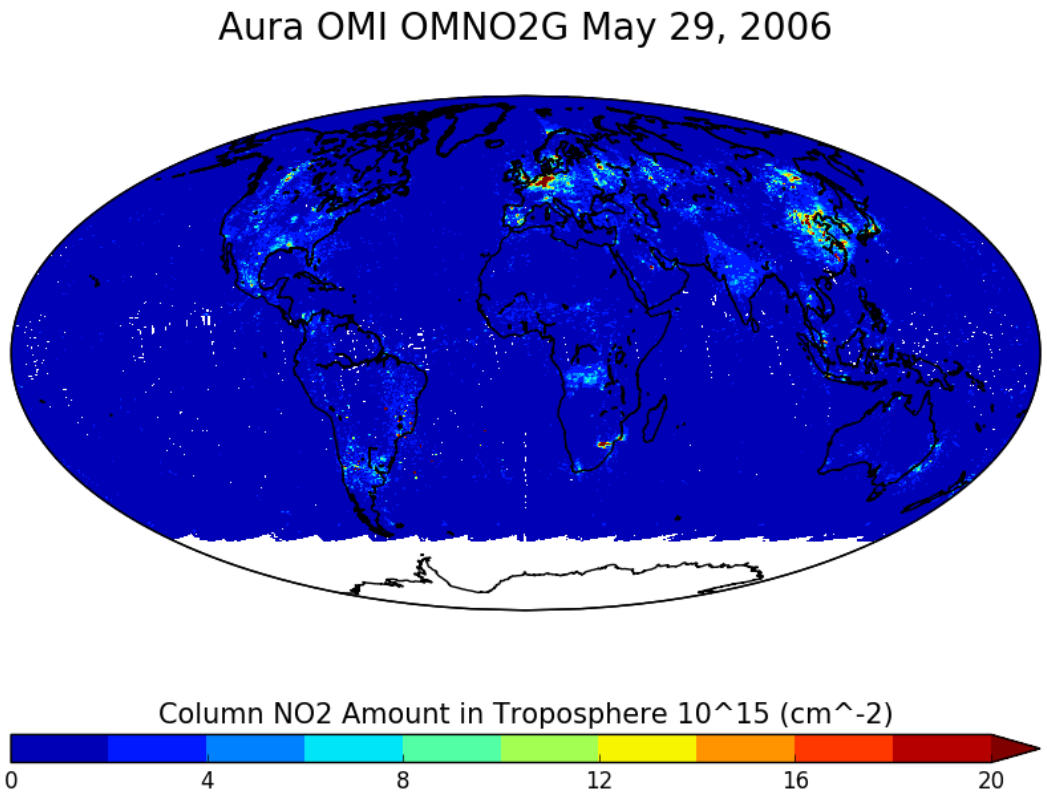


Fuente de la Imagen: NASA SVS

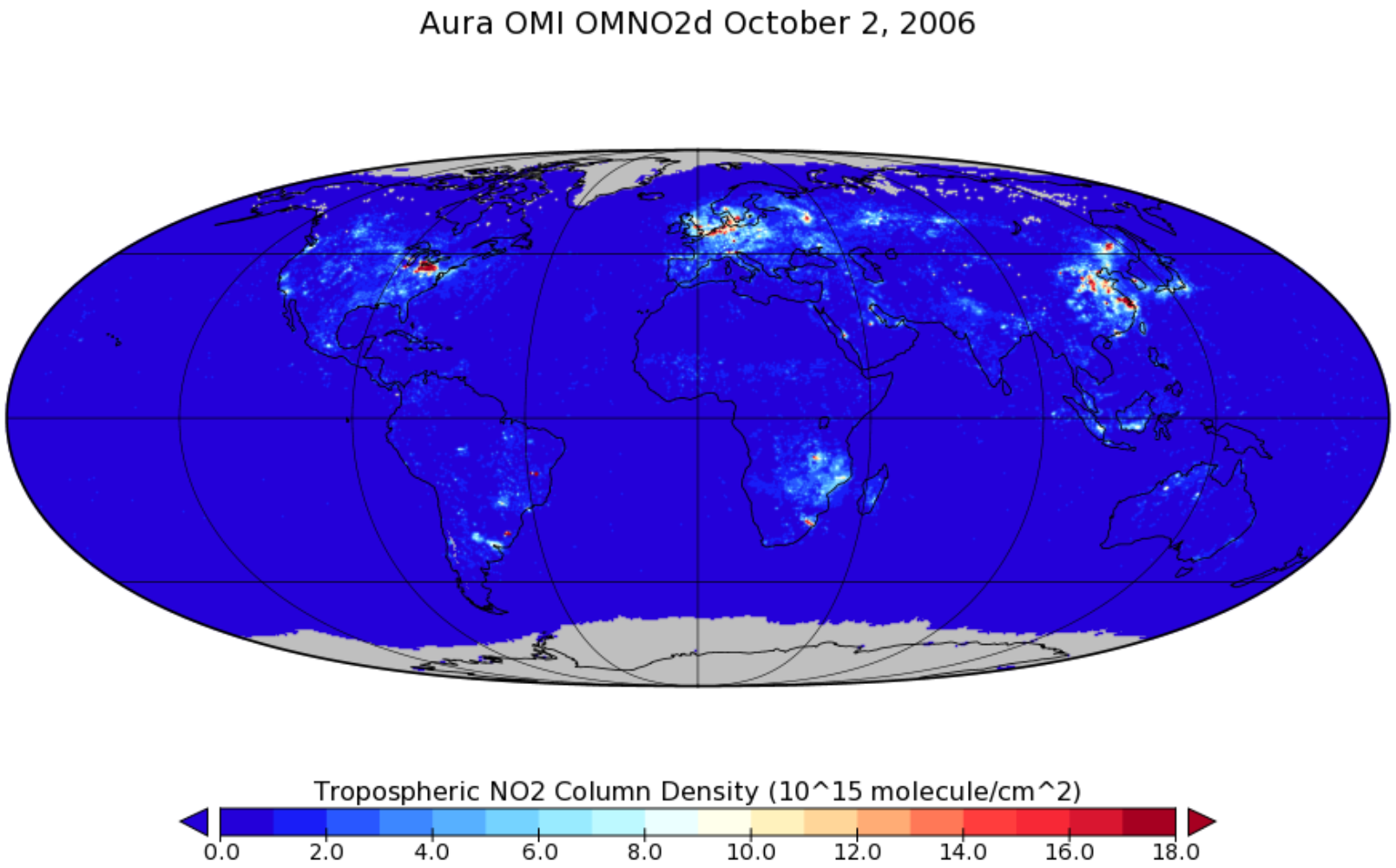
$OMNO_2$ – Producto Nivel 2 – Resolución Nativa



OMNO2G- Producto N2 en Cuadrícula (0,25° x 0,25°) – *Sin Promediado de Pixeles*



OMNO2d- Producto N3 en Cuadrícula L3 (0,25° x 0,25°) – *Con Promediado de Pixeles*



Cómo Entender el Nombre de un Archivo OMI

OMNO2, OMSO2

Instrumento

Tipo de Datos

Órbita #

No de Colección #

OMI-Aura_L2-OMNO2_2008m0720t2016-o21357_v003-2016m0820t102252.he5

Fecha y Hora de Observación

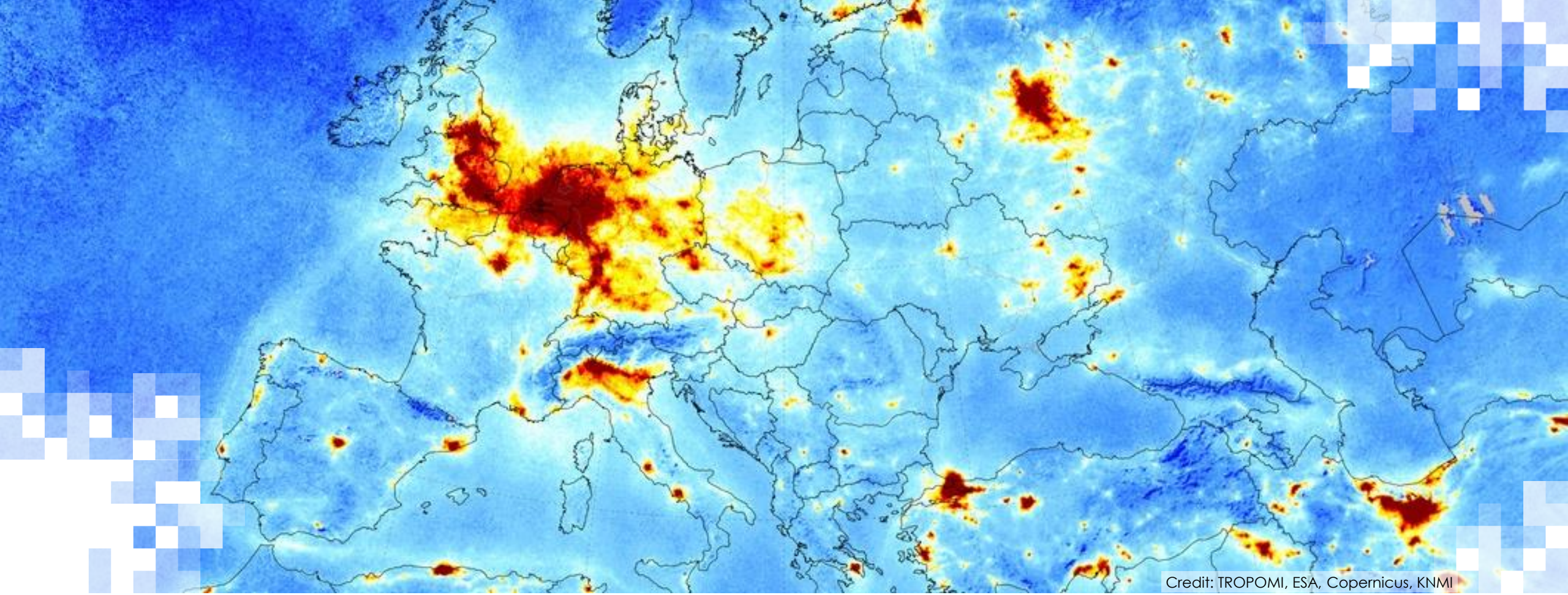
Fecha y Hora de Producción

Se puede utilizar HDFLook, Panoply, IDL, Python, Fortran, MatLab y otros para leer los datos

OMI NO_2 – Información de Parámetros (OMNO$_2$)

Nombre	Descripción	Unidad	Notas
ColumnAmountNO2Trop	NO_2 en Columna Troposférico	Moléc./ cm^2	• Solo utilizar escenas con fracción radiativa de nubes < 0,5 ángulo solar en el cenit < 85° reflectividad del terreno < 0,3
TerrainReflectivity		Sin unidad	Factor de escala: 0,001
CloudRadianceFraction		Sin unidad	Factor de escala: 0,001
SolarZenithAngle		Grado	En campos de geolocalización

- Todos los valores de relleno son números negativos grandes: ($-2,^{100} \approx -1,26765\times10^{30}$)



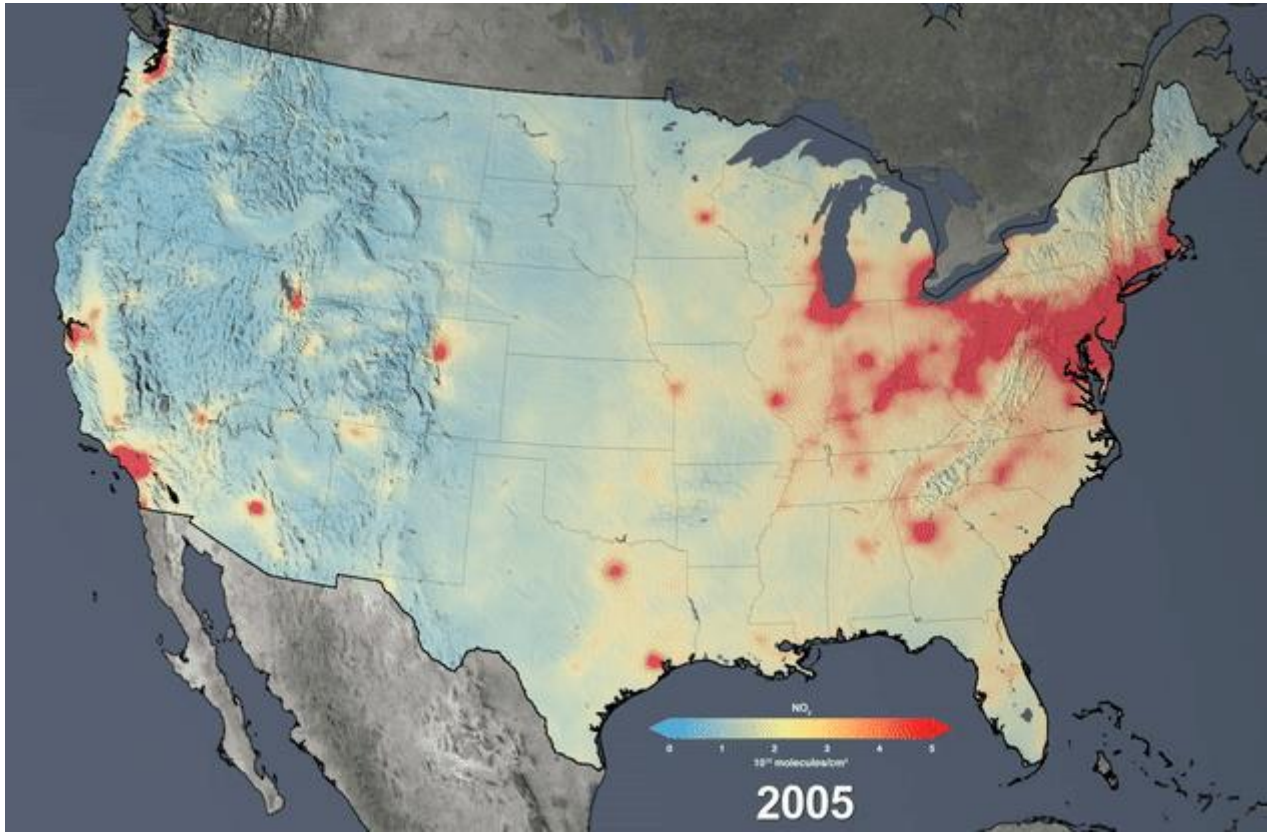
Aplicaciones e Investigación Utilizando Datos OMI

OMNO2_HR: NO_2 de OMI de Alta Resolución en Cuadrícula (0,1° x 0,1°)

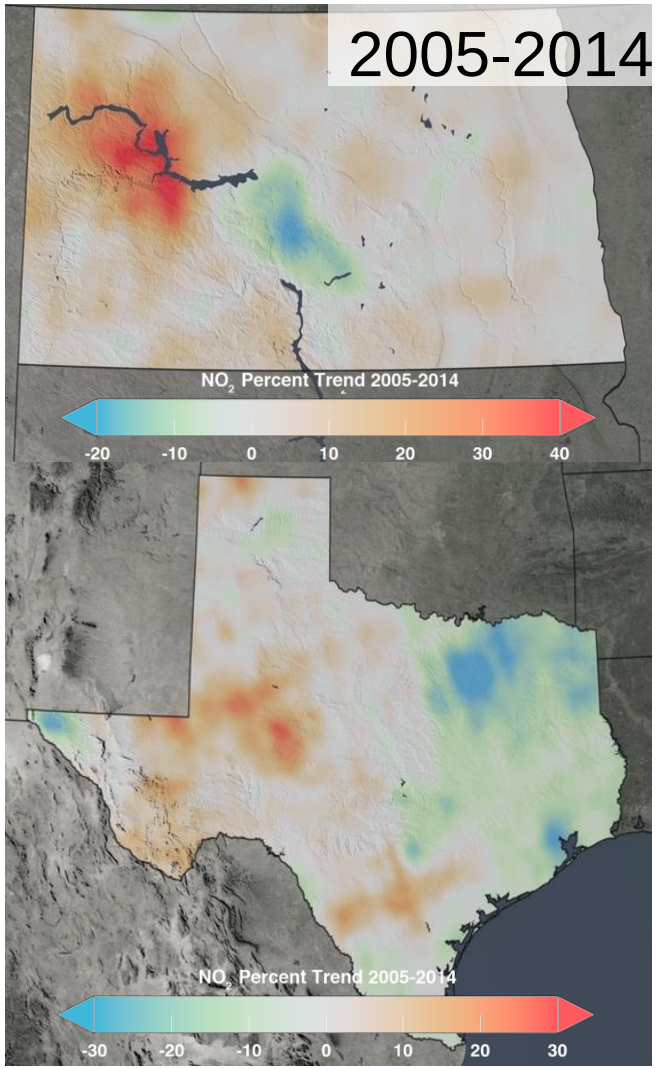
- Basado en un producto estándar de la NASA
- Diario:
  - https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L3/OMNO2D_HR/OMNO2D_HRD/
  - Disponible en formato hdf5
- Mensual:
  - https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L3/OMNO2D_HR/OMNO2D_HRM/
  - Disponible en formatos ASCII (texto) y NetCDF

OMI Detecta Cambios en el NO_2 en la Contaminación a través del Tiempo

2005 – 2016



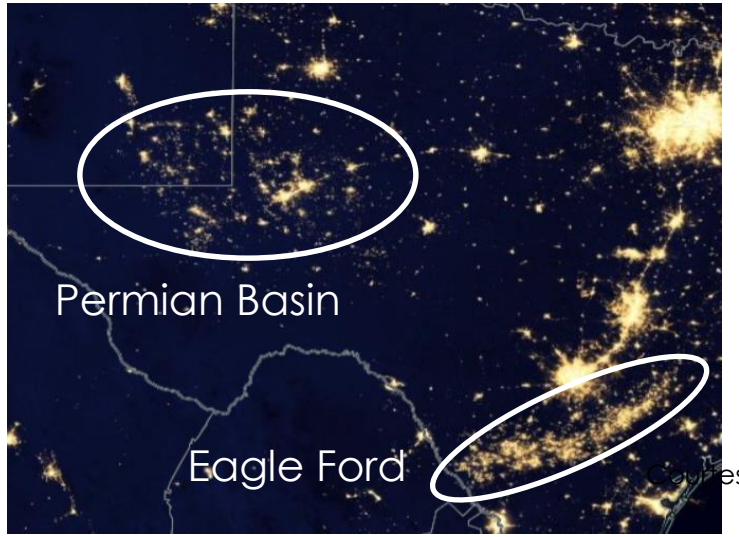
OMI Detecta Incrementos de NO_2 Debido a Actividades Relacionadas con el Petróleo y Gas Natural



North Dakota

Luces Nocturnas de Suomi NPP VIIRS

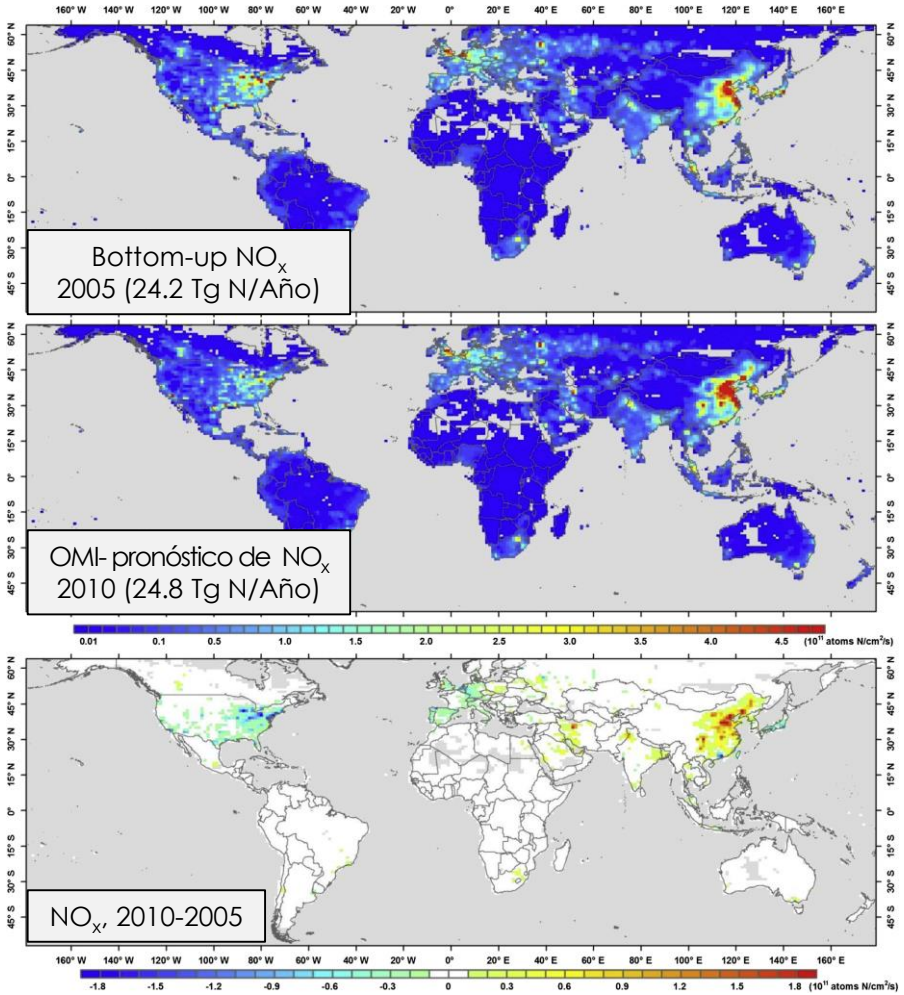
Texas



Courtesy of: Bryan Duncan

OMI NO_2 Sirve para Actualizar Tendencias de Inventarios

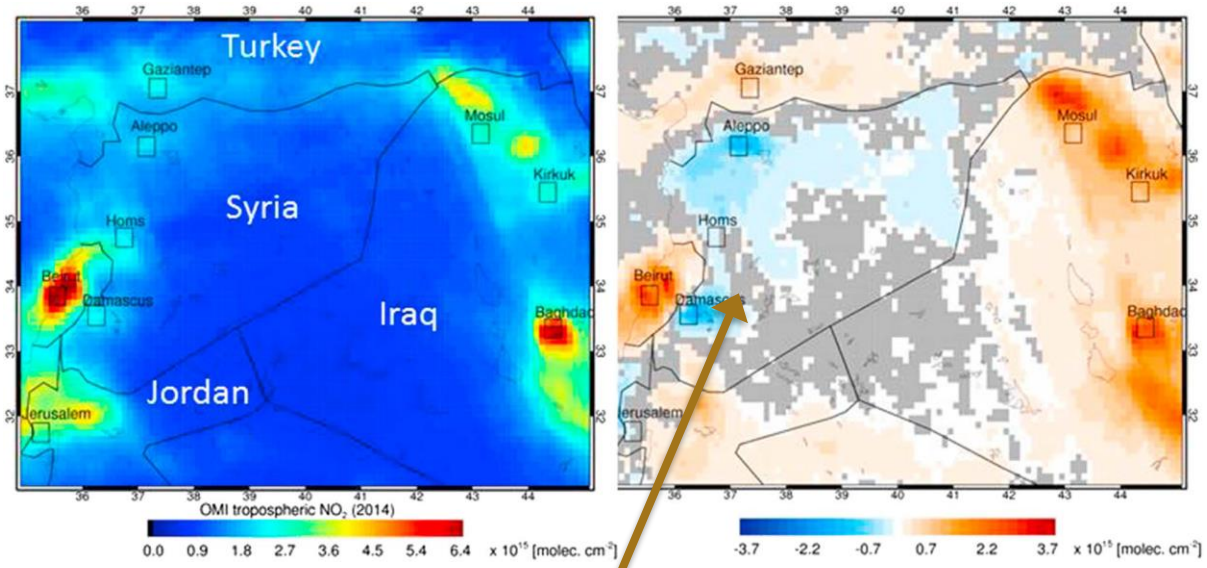
- Crear un inventario de emisiones de abajo para arriba (bottom-up) requiere mucho tiempo y trabajo
  - ej., Actualmente, el inventario de emisiones para EE.UU. más actualizado es el NEI 2017
- Se puede utilizar observaciones satelitales y tendencias para actualizar inventarios de emisiones ascendentes hasta que se complete un nuevo inventario
- Ejemplo: Lamsal et al. 2011 utilizó un modelo de transporte químico para estimar la relación entre cambios en emisiones y cambios en la columna atmosférica
- Después aplicaron esta relación utilizando observaciones satelitales posteriores al inventario



Fuente de la imagen: Figura 5 de Streets et al. 2013

Variaciones Temporales

- También se puede utilizar observaciones para detectar posibles cambios a corto plazo e inesperados en las tendencias, como ser reducciones de actividad debido a:
  - recesión económica
  - desastres naturales (ej., el Huracán Katrina)
  - intervenciones políticas (ej. Los Juegos Olímpicos de Pekín)
  - disturbios civiles

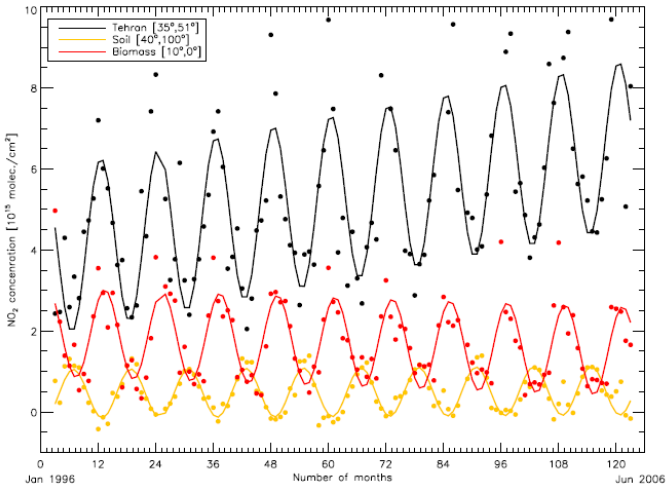


Tendencias del NO_2 según OMI
Damasco: -37,1 ± 10,9%
Alepo: -40,2 ± 13,6%

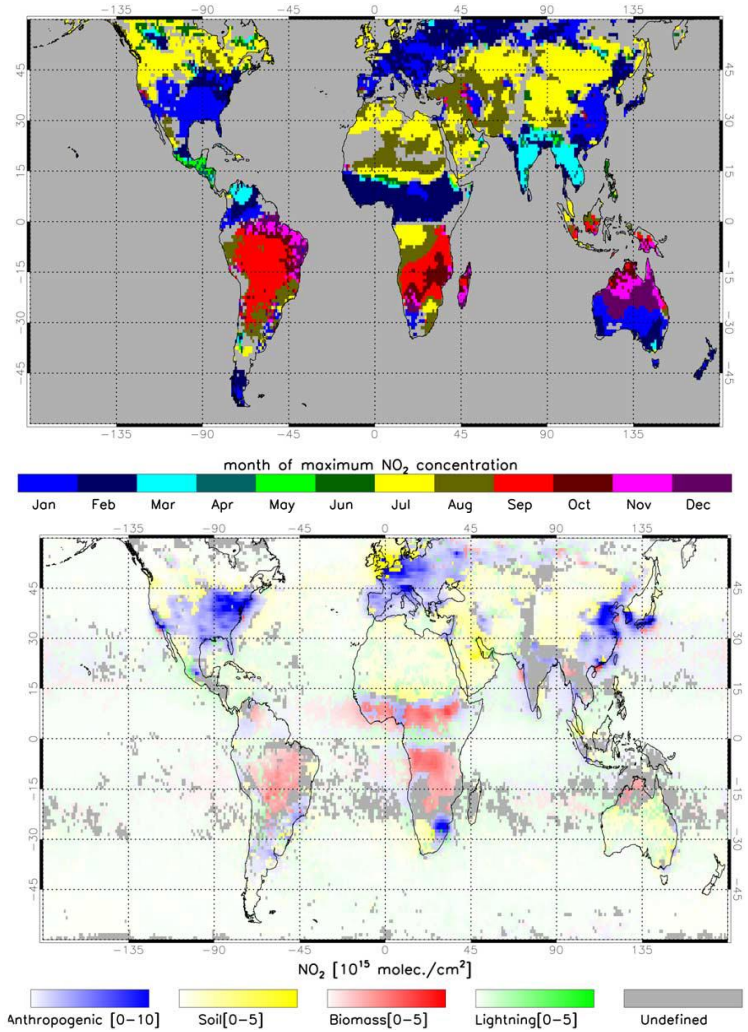
Fuente de la imagen: Figura 11 de Duncan et al. 2016

Variaciones Temporales

- Se puede analizar ciclos temporales de emisiones más finos
  - Ciclos semanales
  - Ciclos estacionales de diferentes fuentes
    - Antrópicas – Invierno
    - Suelo – Verano
    - Quema de Biomasa – Época Seca



Antrópicas
Suelo
Quema de Biomasa

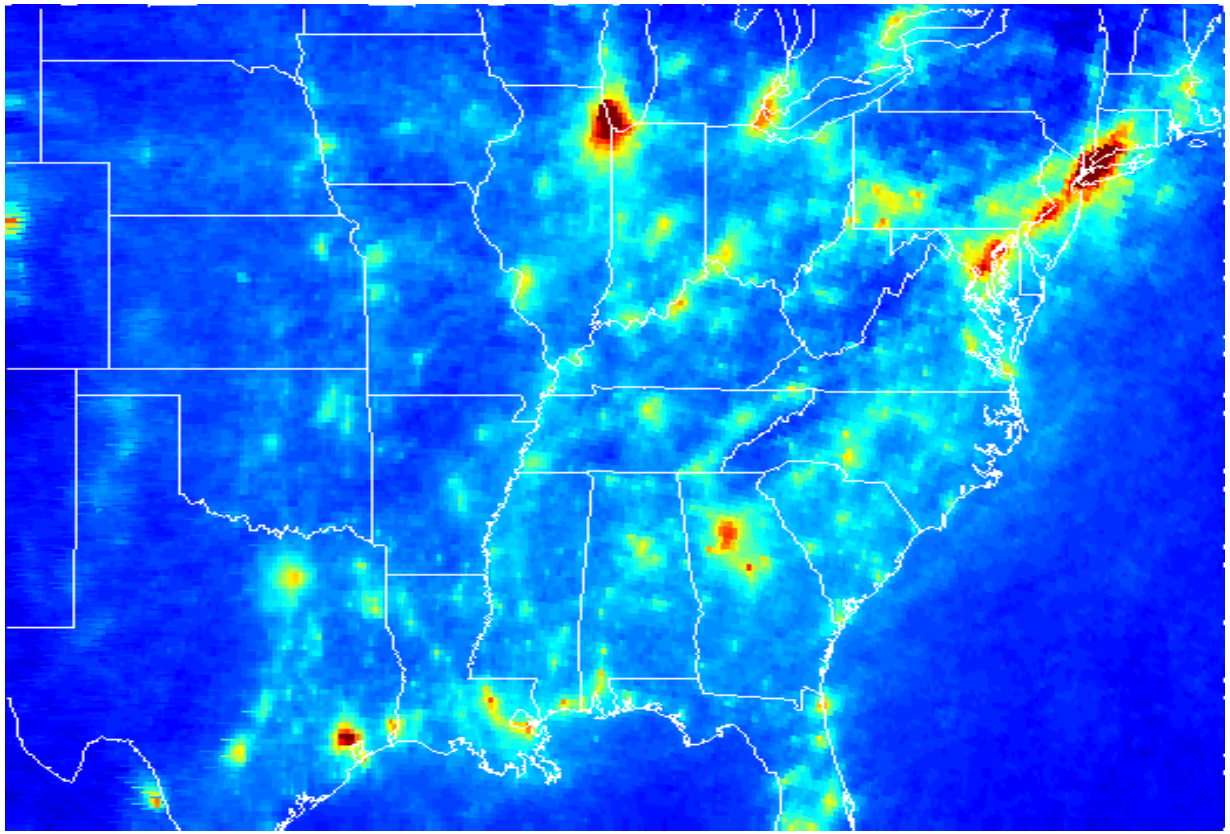


Fuente de las imágenes: Figurea 3, 5 y 7 de van der A. et al. 2008

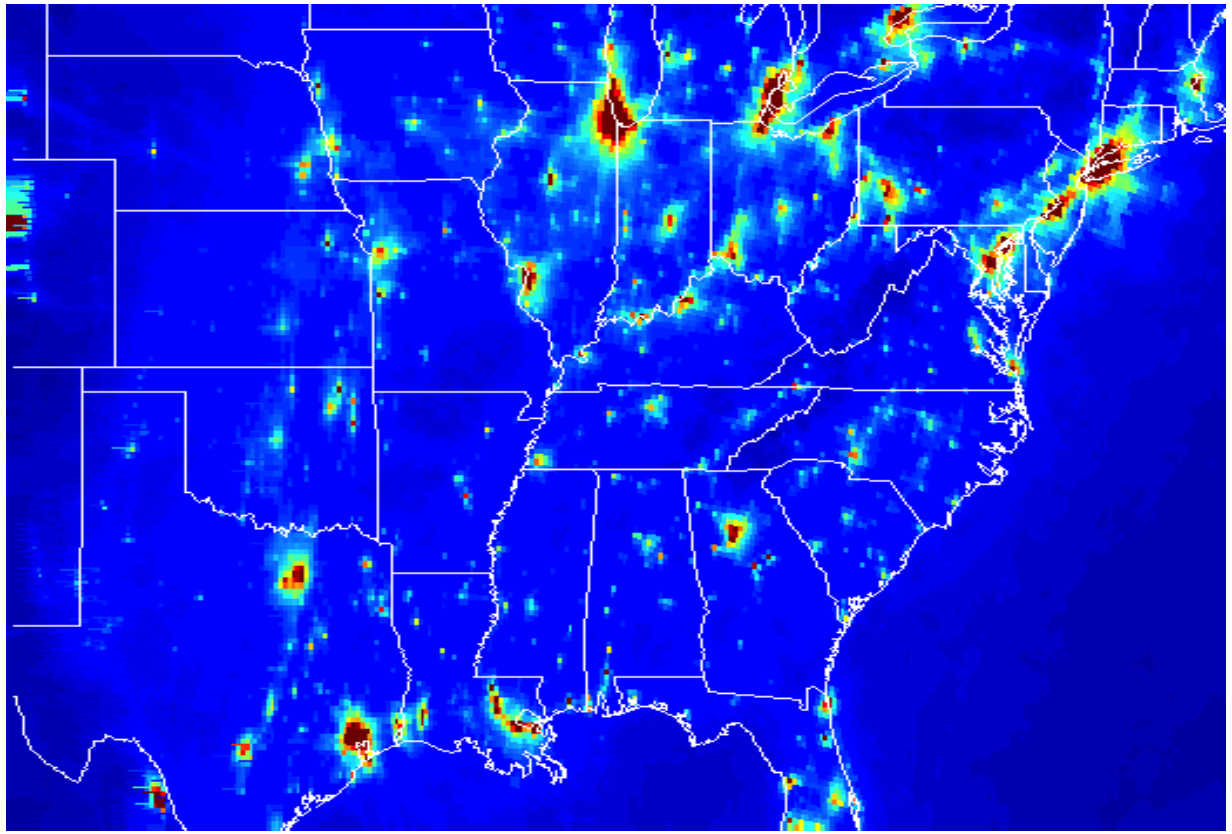
NASA's Applied Remote Sensing Training Program

Inter Comparación de Modelos y Satélites

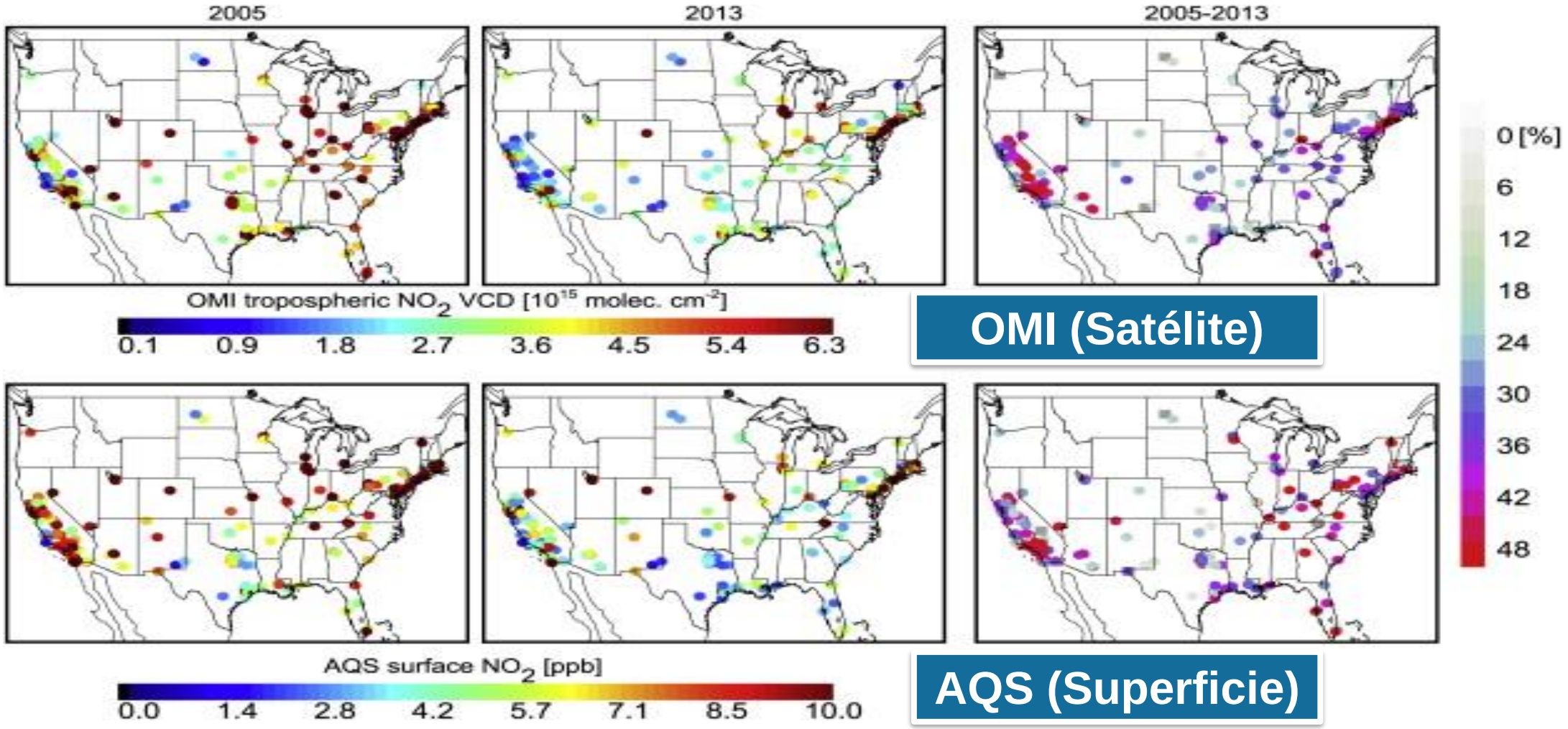
OMI NO_2



CMAQ Model NO_2

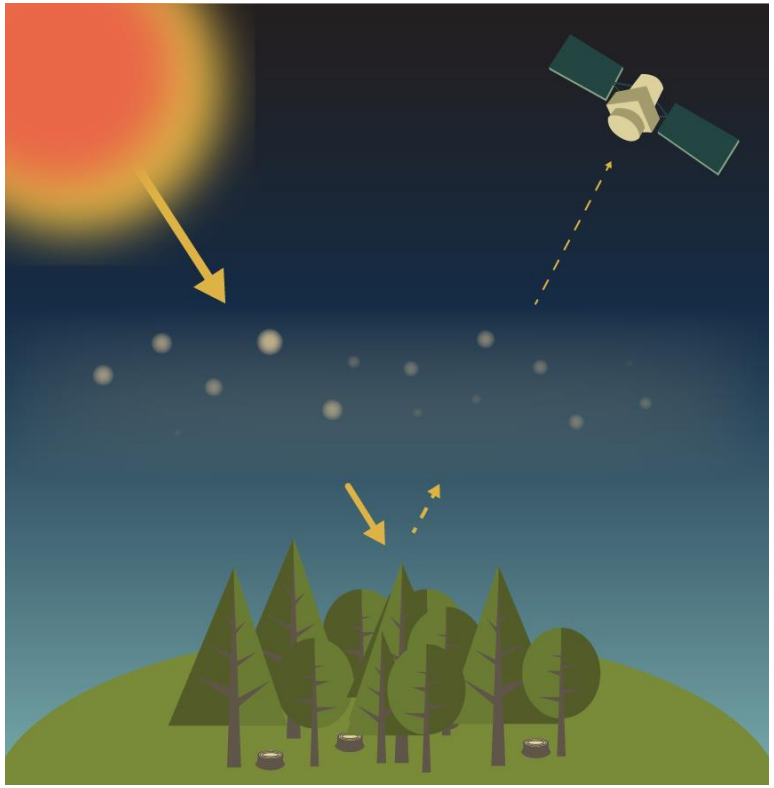


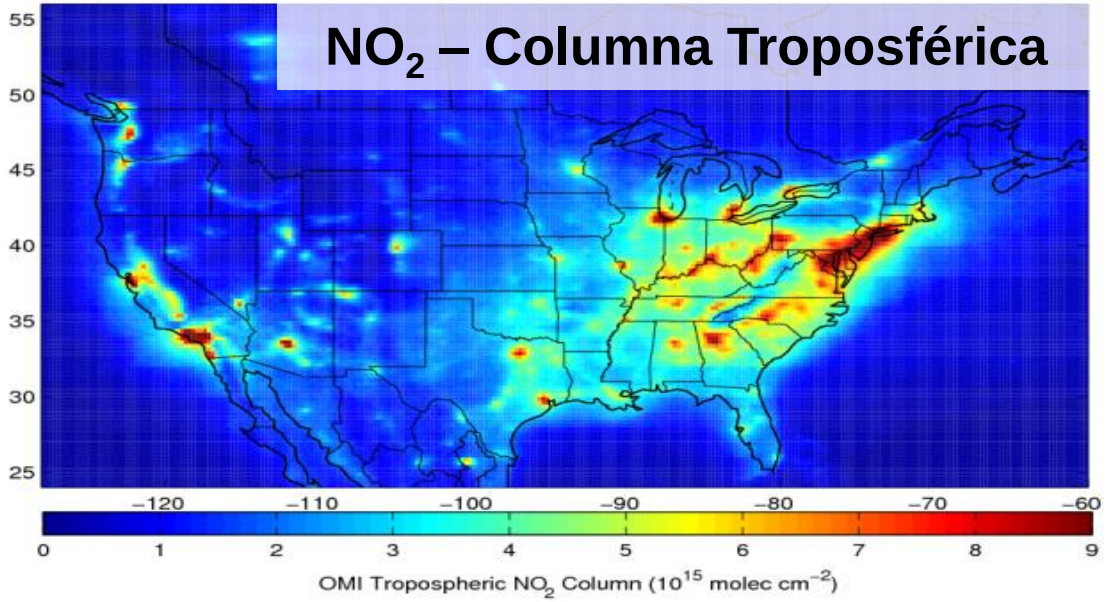
Las Tendencias del NO_2 según OMI se Correlacionan Bien con las Tendencias en la Superficie



Fuente de la imagen: Lamsal et al. (2015)

Estimando NO_2 Superficial desde la Columna Troposférica

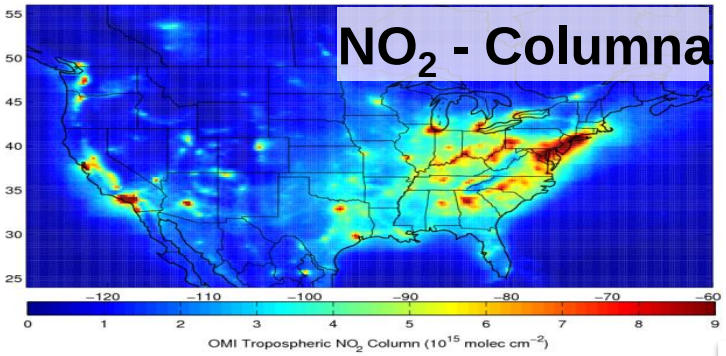




Los satélites miden radiación retrodispersada, a partir de la cual se puede calcular la densidad de la columna vertical

Cortesía de Randall Martin

Estimando NO_2 Superficial desde la Columna Troposférica



$$v = \frac{\Omega_{Satélite}}{\Omega_{Modelo}}$$

$$S = \Omega_{Sat}\ x \left[\frac{vS_{Modelo}}{v\Omega_{Modelo} - (v-1)\Omega_{FT\ (Modelo)}}\right]$$

Lamsal et al. (2008)

Se utiliza la información vertical de un modelo químico atmosférico para estimar la relación entre la columna y la superficie

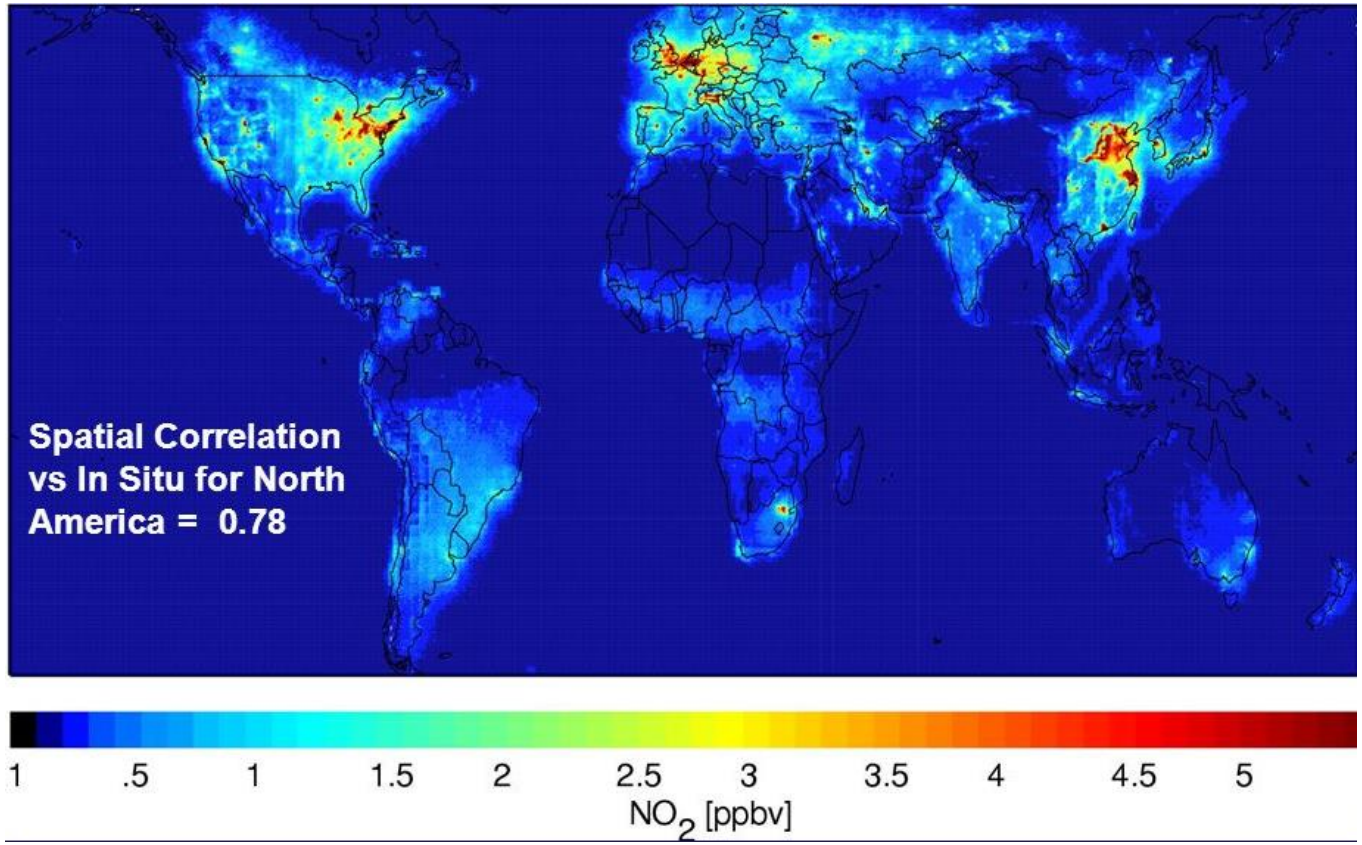
S = Concentración en la Superficie

Ω = Columna Troposférica

FT = Troposfera Libre

Cortesía de Randall Martin

NO_2 a Nivel del Suelo Vespertino Inferido a partir de OMI para 2005



- Note: este es un producto de investigación y no un producto oficial de la NASA

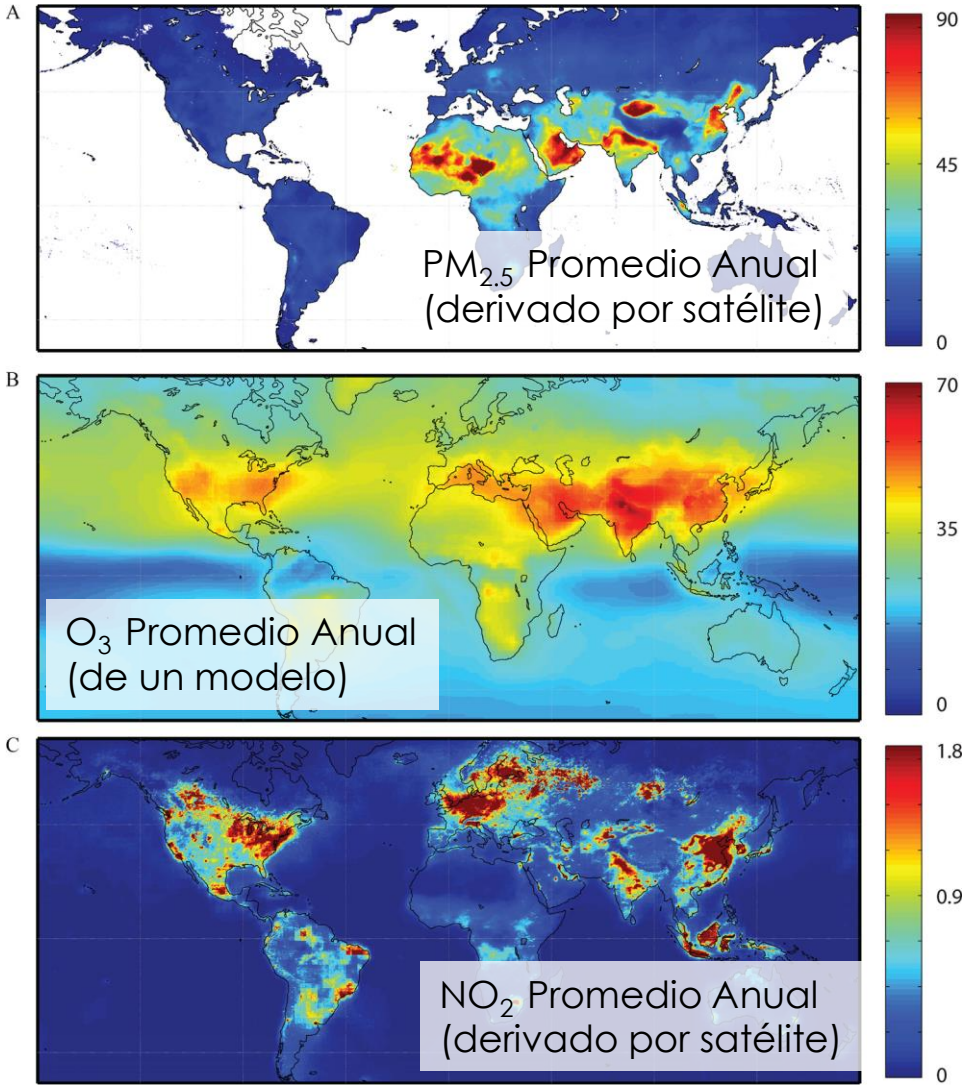
Fuente: Lok Lamsal

Conjuntos de Datos del NO_2 Superficial en base a Satélites

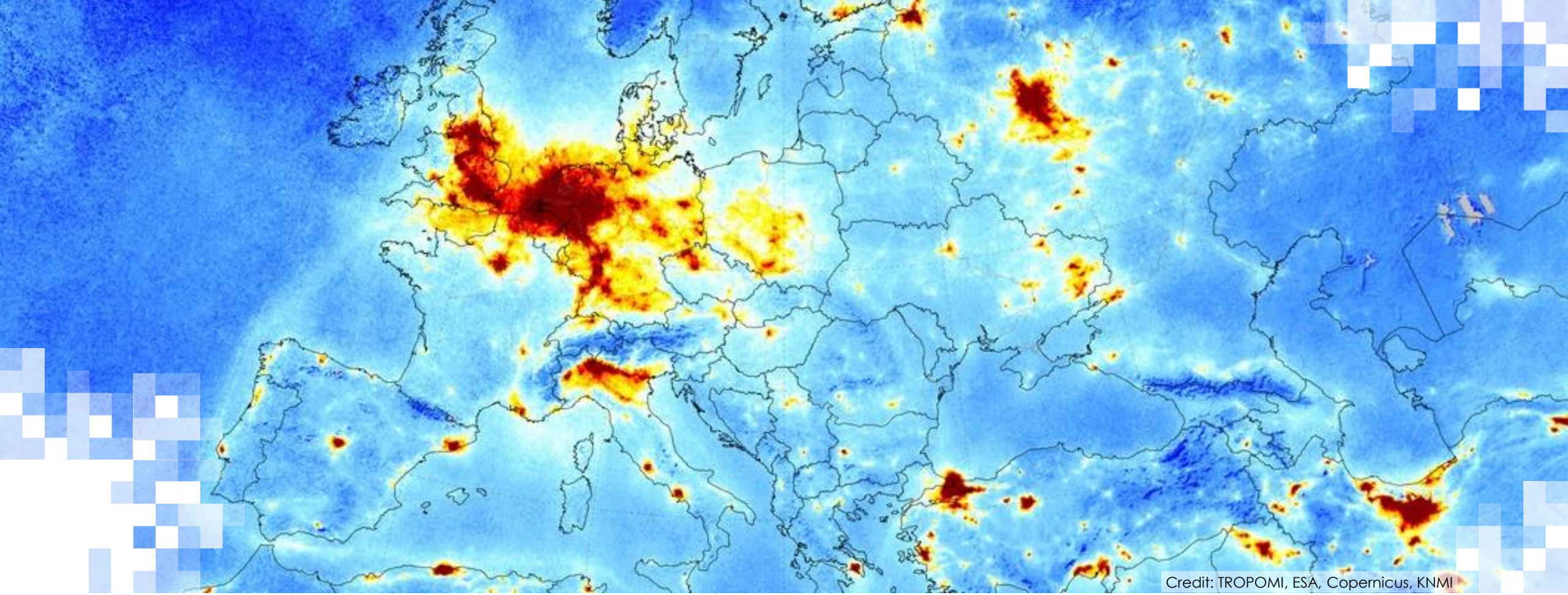
Intervalo	1996-2012	2005-2007	2005-2016
Producto Disponible	Media Anual, Trienal, Media Autoactualizada	Media Anual (Norteamérica y mundial)	Media Mensual
Instrumentos	GOME, SCIAMACHY, GOME-2	OMI	OMI
Hora de Paso Superior	~9:30-10:30	~13:30	~13:30
Resolución del Producto	0,1° x 0,1°	0,1° x 0,1°	0,1° x 0,1°
Referencia	Geddes et al. (2015)	Lamsal et al. (2008, 2010)	
Página Web	https://sedac.ciesin.columbia.edu/		https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L4/OMI_Surface_NO2/Monthly/
	http://fizz.phys.dal.ca/~atmos/martin/?page_id=232		

Utilizando NO_2 en la Superficie Derivado por Satélites en Aplicaciones para la Salud

- Anenberg et al. (2018) utilizó la media anual de NO_2 en la superficie junto con el promedio anual de $PM_{2.5}$ y el de ozono de un modelo
- La utilizaron para estimar el número de visitas a la sala de urgencias relacionadas con asma por causa de estar expuesto a $PM_{2.5}$, O_3 y NO_2 a nivel mundial
- Notaron que los impactos del NO_2 probablemente han sido subestimados debido a la resolución relativamente bruta que tiene OMI



Fuente de la Imagen: Anenberg et al. 2018



Acceso a Datos

Paso 1: Visitar https://urs.earthdata.nasa.gov/users/new

EARTHDATA LOGIN

Register for an Earthdata Login Profile

Profile Information

Username: •

Password: •

Password Confirmation: •

• Required field

Username must:

- Be a Minimum of 4 characters
- Be a Maximum of 30 characters
- Use letters, numbers, periods and underscores
- Not contain any blank spaces
- Not begin, end or contain two consecutive special characters(. _)

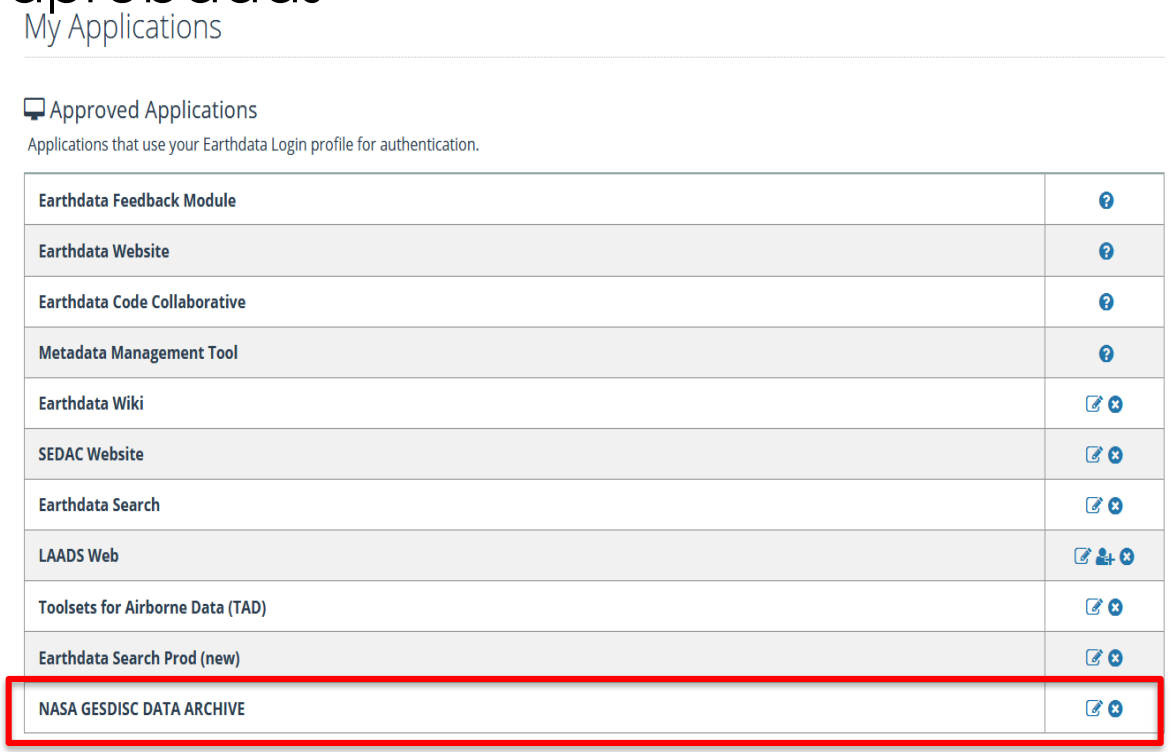
Password must contain:

- Minimum of 8 characters
- One Uppercase letter
- One Lowercase letter
- One Number

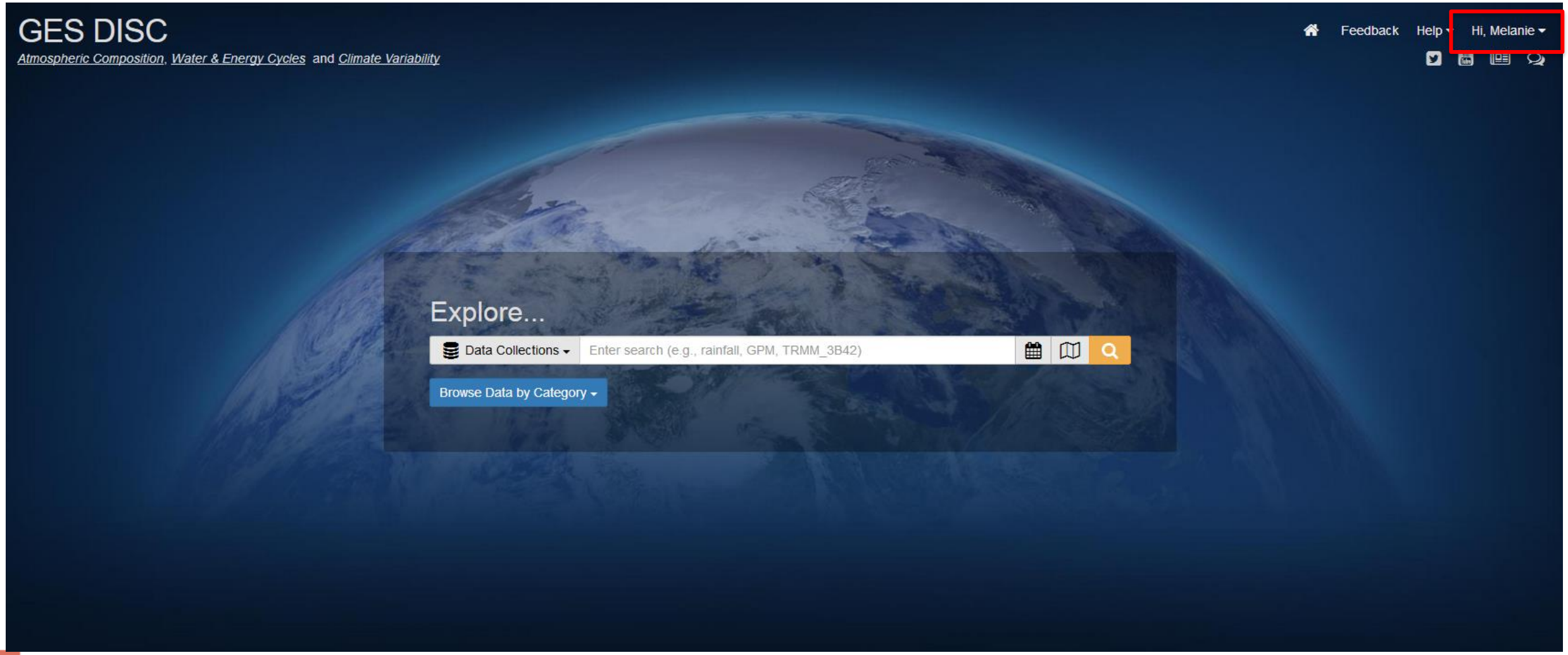
Paso 2: Agregar NASA GESDISC a Sus Aplicaciones

- Ingrese a Earthdata
- Haga clic en **My Applications**
- Haga clic en **Approve More Applications**
- Busque NASA GESDISC DATA ARCHIVE en la lista o realice una búsqueda
- Agregue NASA GESDISC DATA ARCHIVE a sus aplicaciones

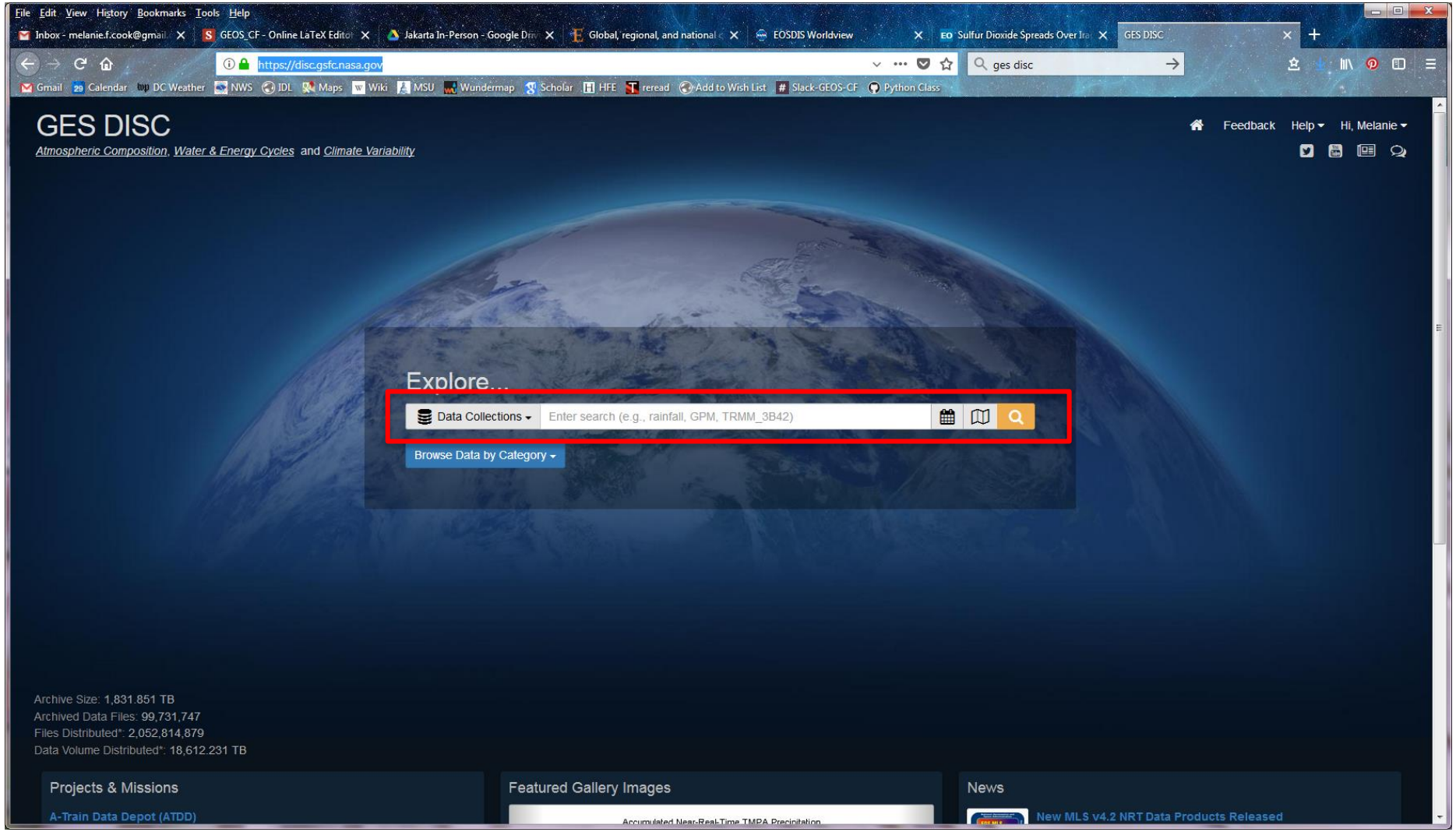
Debería ver NASA GESDISC DATA ARCHIVE en la lista de aplicaciones aprobadas



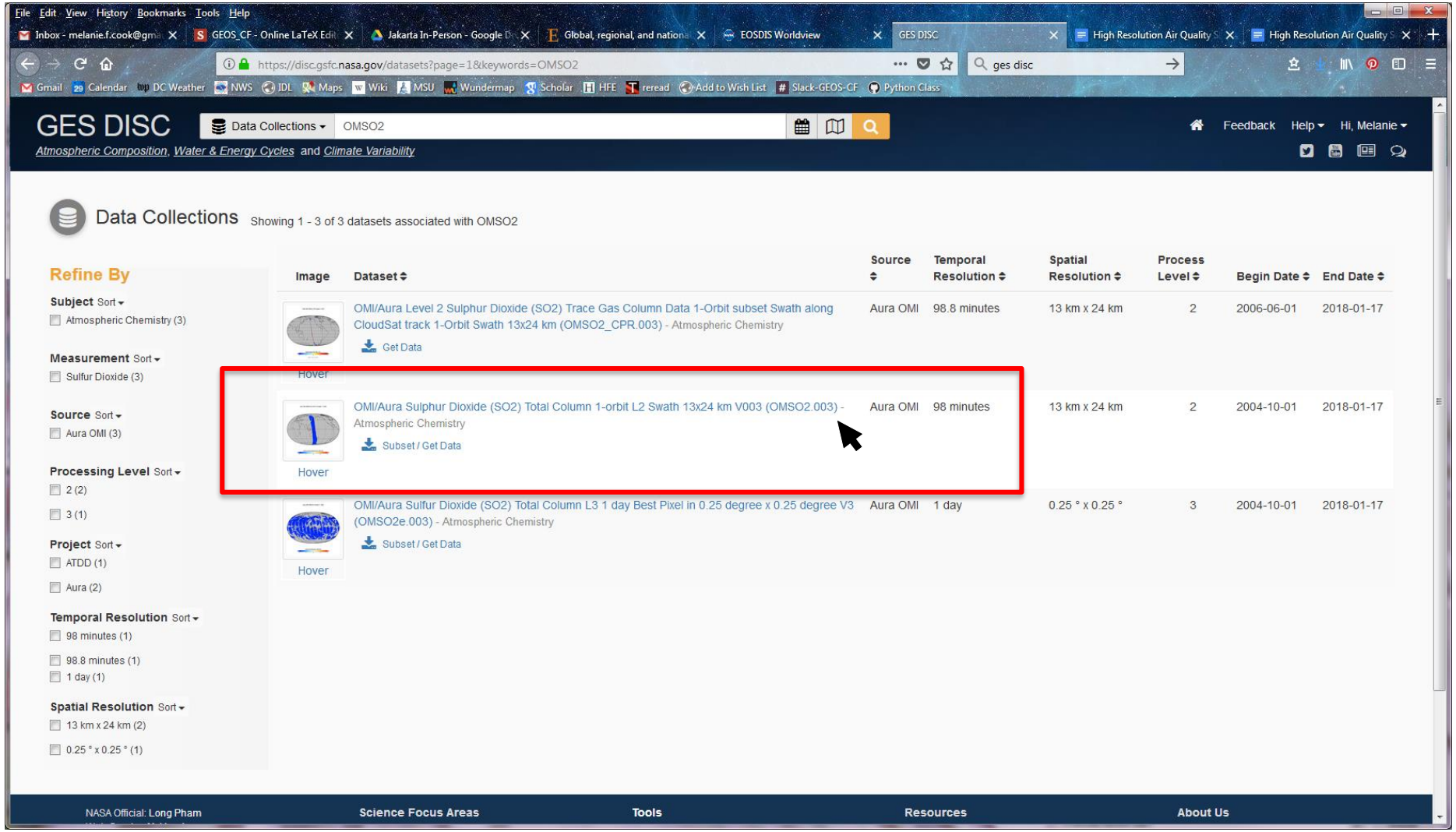
Paso 3: Ingresar al https://disc.gsfc.nasa.gov/



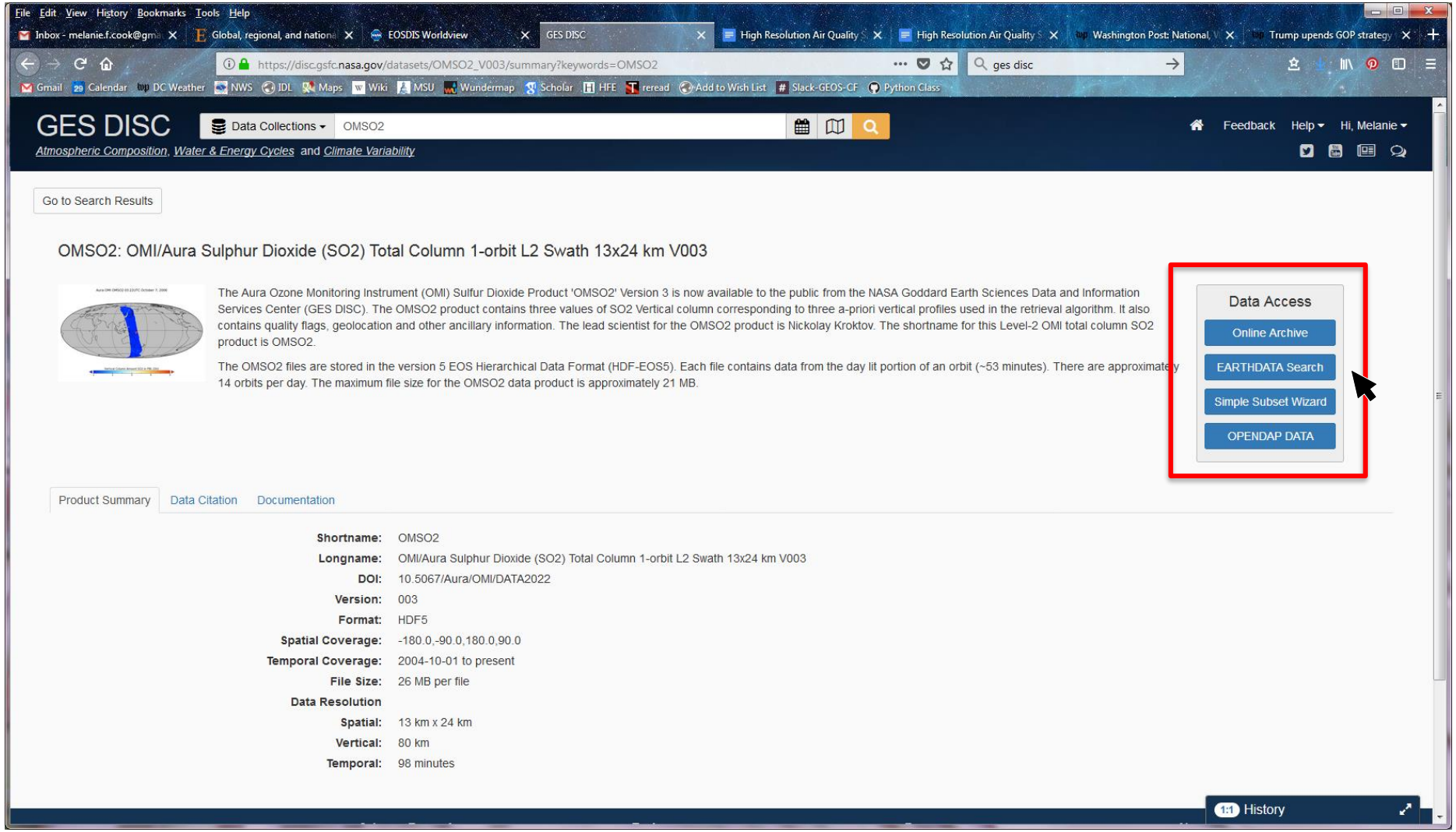
Paso 4: Ingresar Palabras Claves para la Búsqueda (ej. $OMNO_2$ o $OMSO_2$)



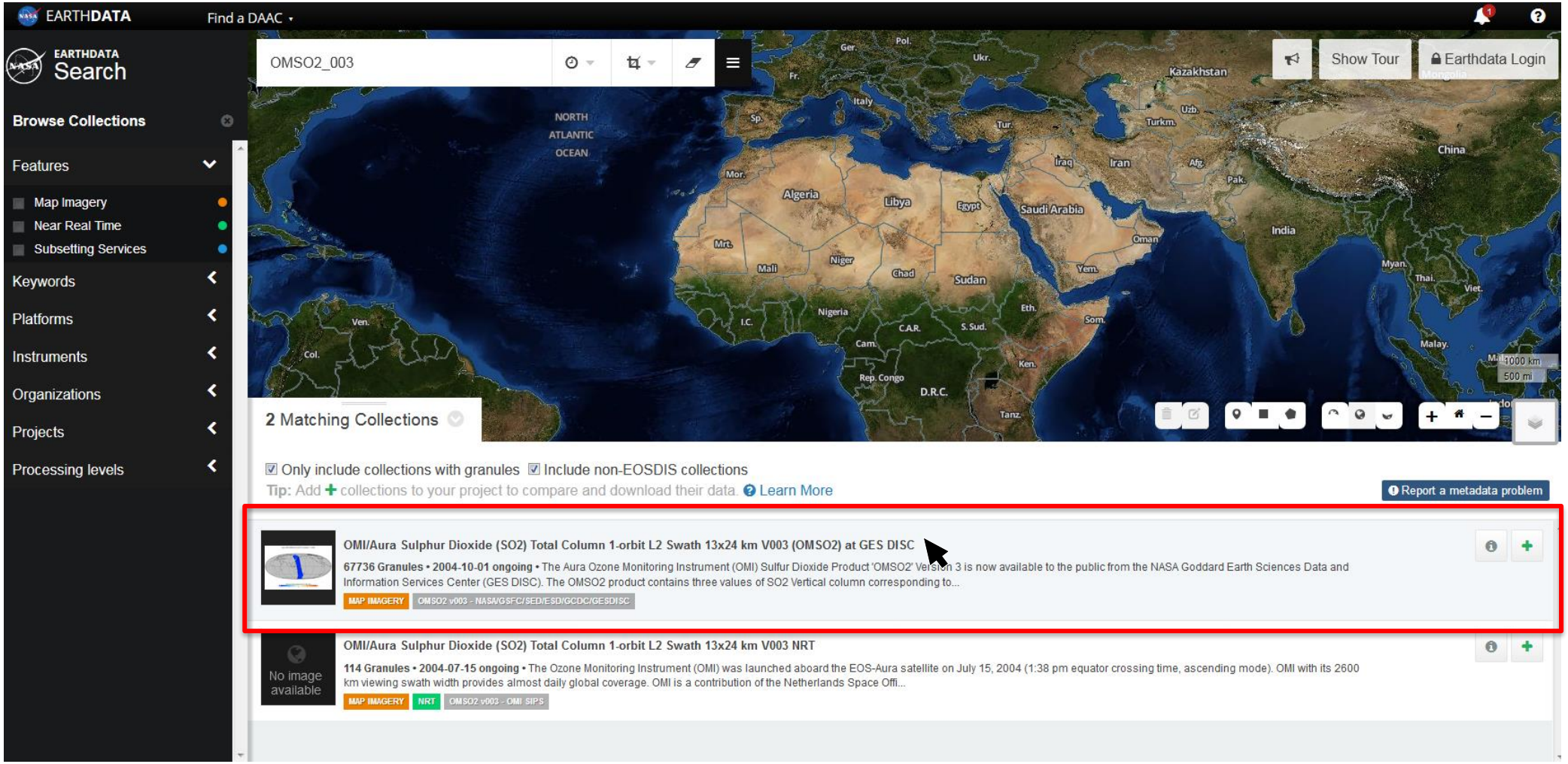
Paso 5: Seleccionar Producto



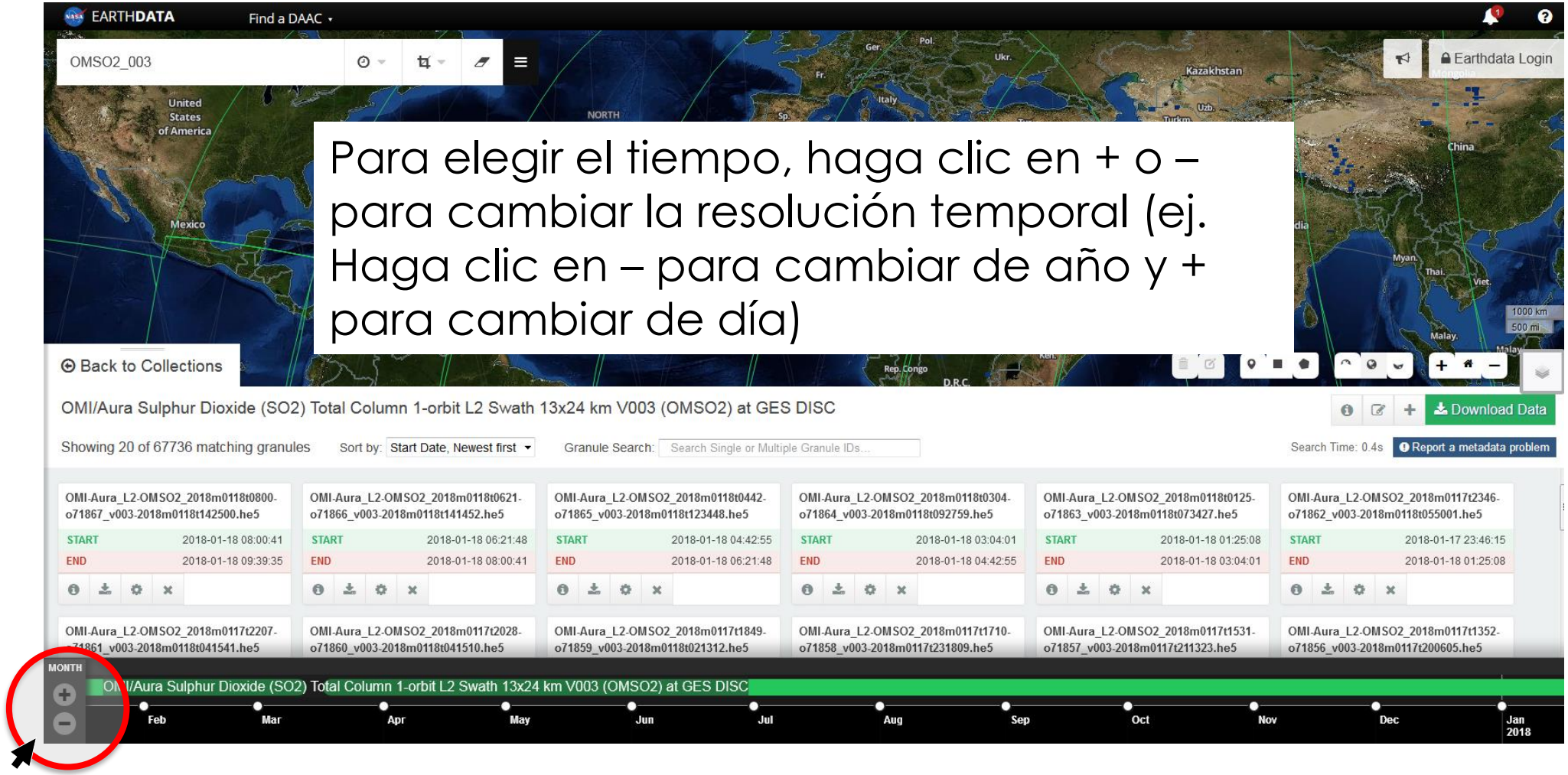
Paso 6: Elegir Datos para Acceder (Vamos a Usar EARTHDATA)



Paso 7: Seleccionar Producto



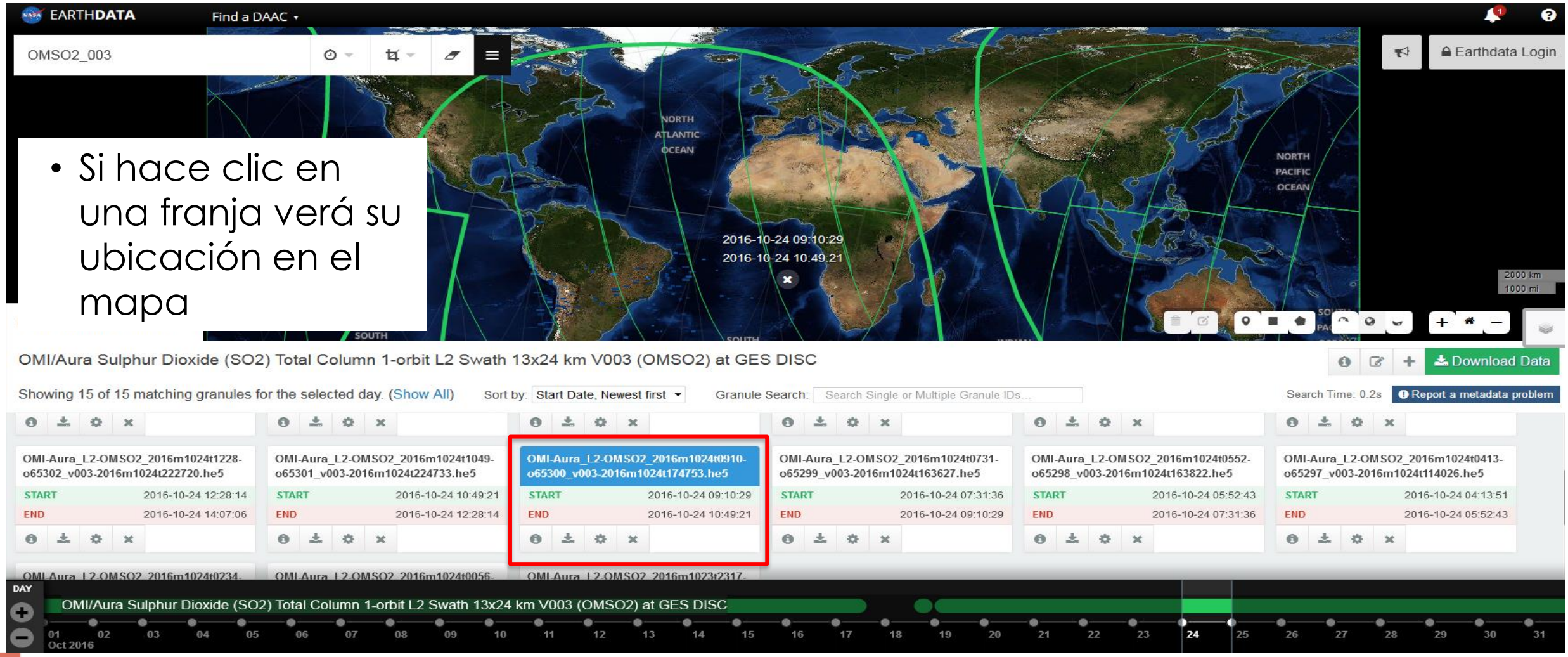
Paso 8: Seleccionar Tiempo



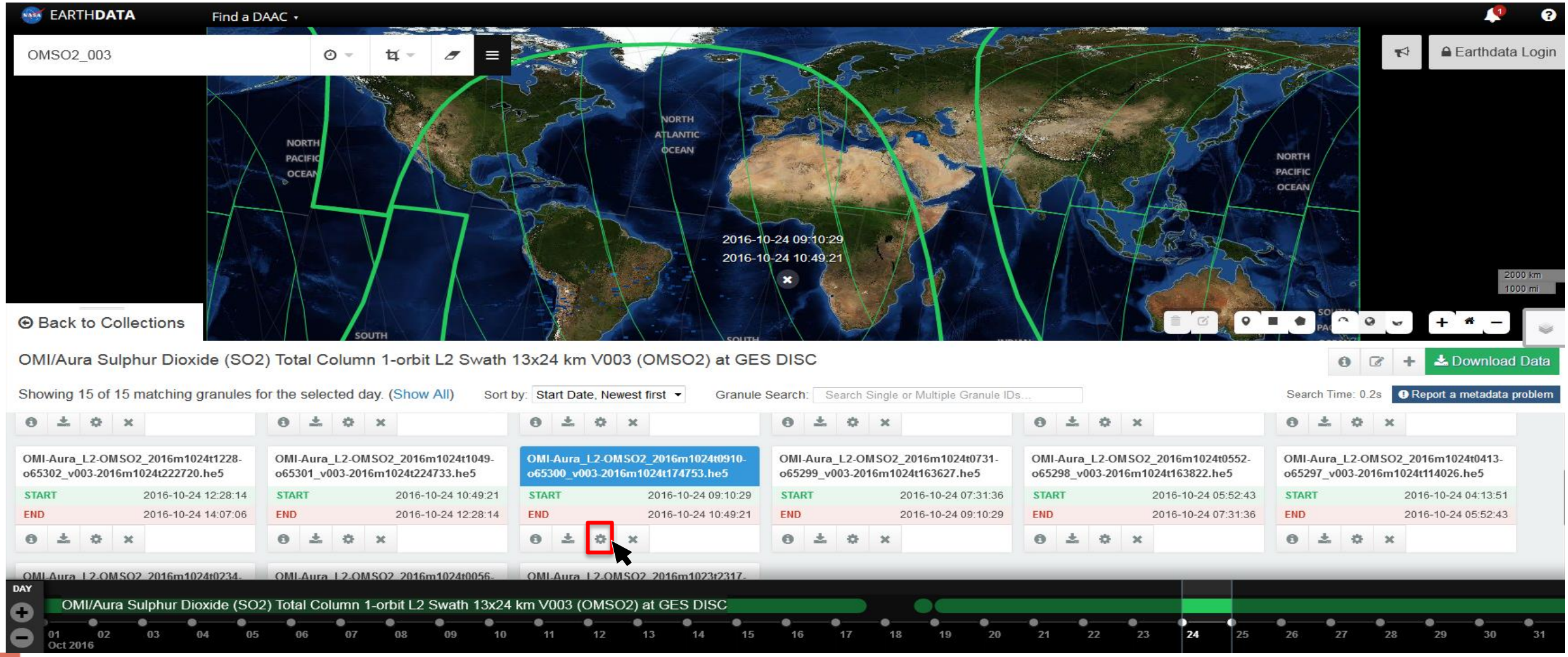
Para elegir el tiempo, haga clic en + o – para cambiar la resolución temporal (ej. Haga clic en – para cambiar de año y + para cambiar de día)

Paso 9: Seleccionar Franja

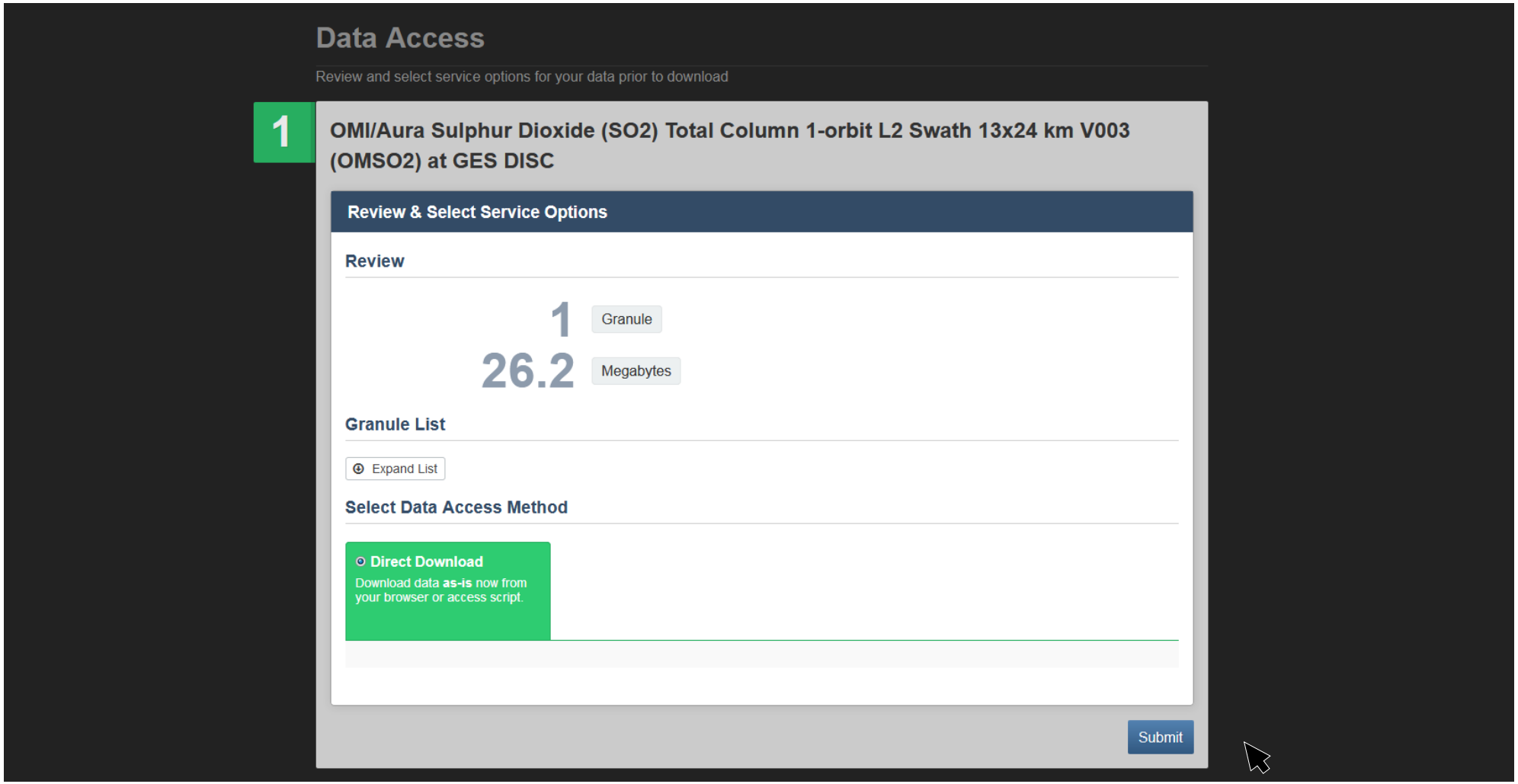
- Si hace clic en una franja verá su ubicación en el mapa



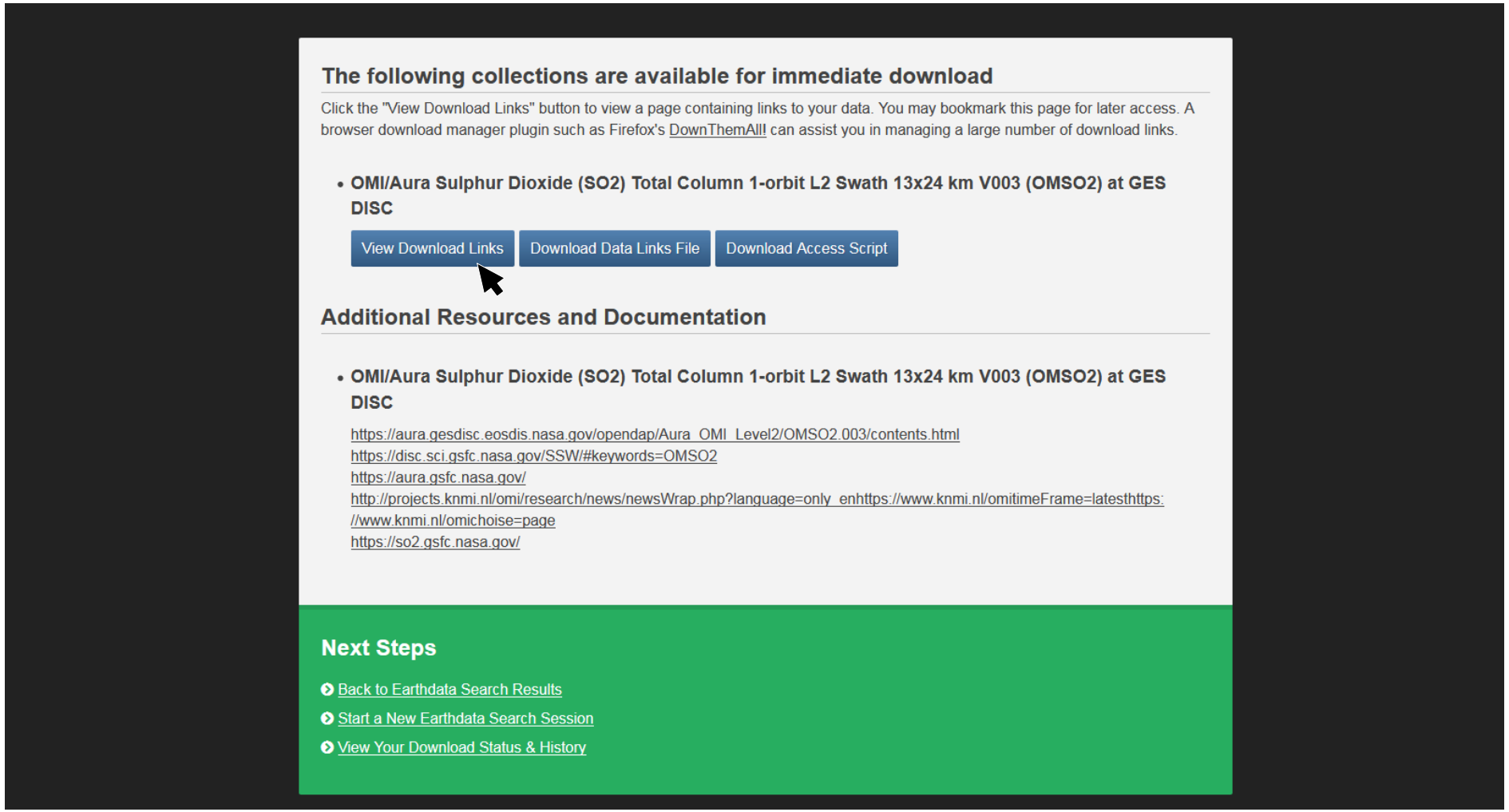
Pasto 10: Descargar un Gránulo Singular Haciendo Clic en el Icono del Engranaje



Paso 11: Seleccionar “Direct Download” y Hacer Clic en “Submit”



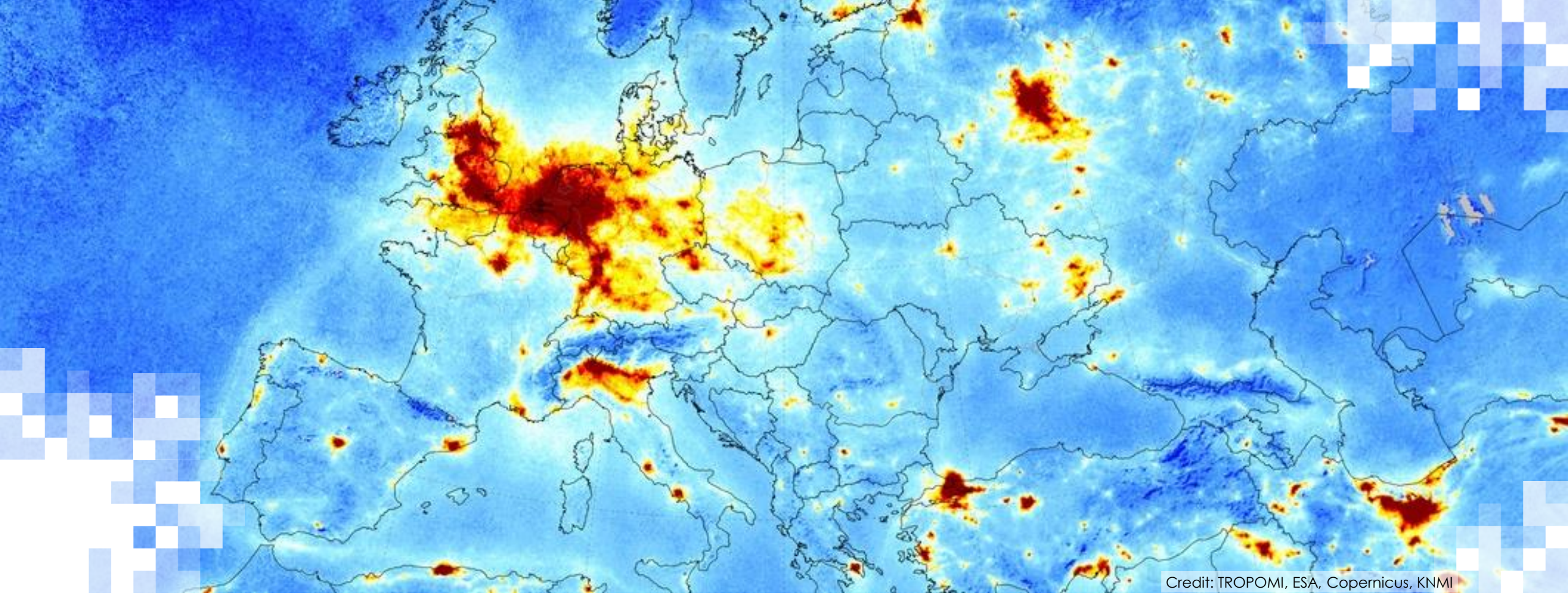
Paso 12: Hacer Clic en “View Download Link” para Descargar



Paso 13: Descargar Datos

- http://aura.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data//Aura_OMI_Level2/OMSO2.003/2016/298/OMI-Aura_L2-OMSO2_2016m1024t0910-o65300_v003-2016m1024t174753.he5

Haga clic en el enlace y guarde sus datos en el directorio donde ejecutará los scripts de Python

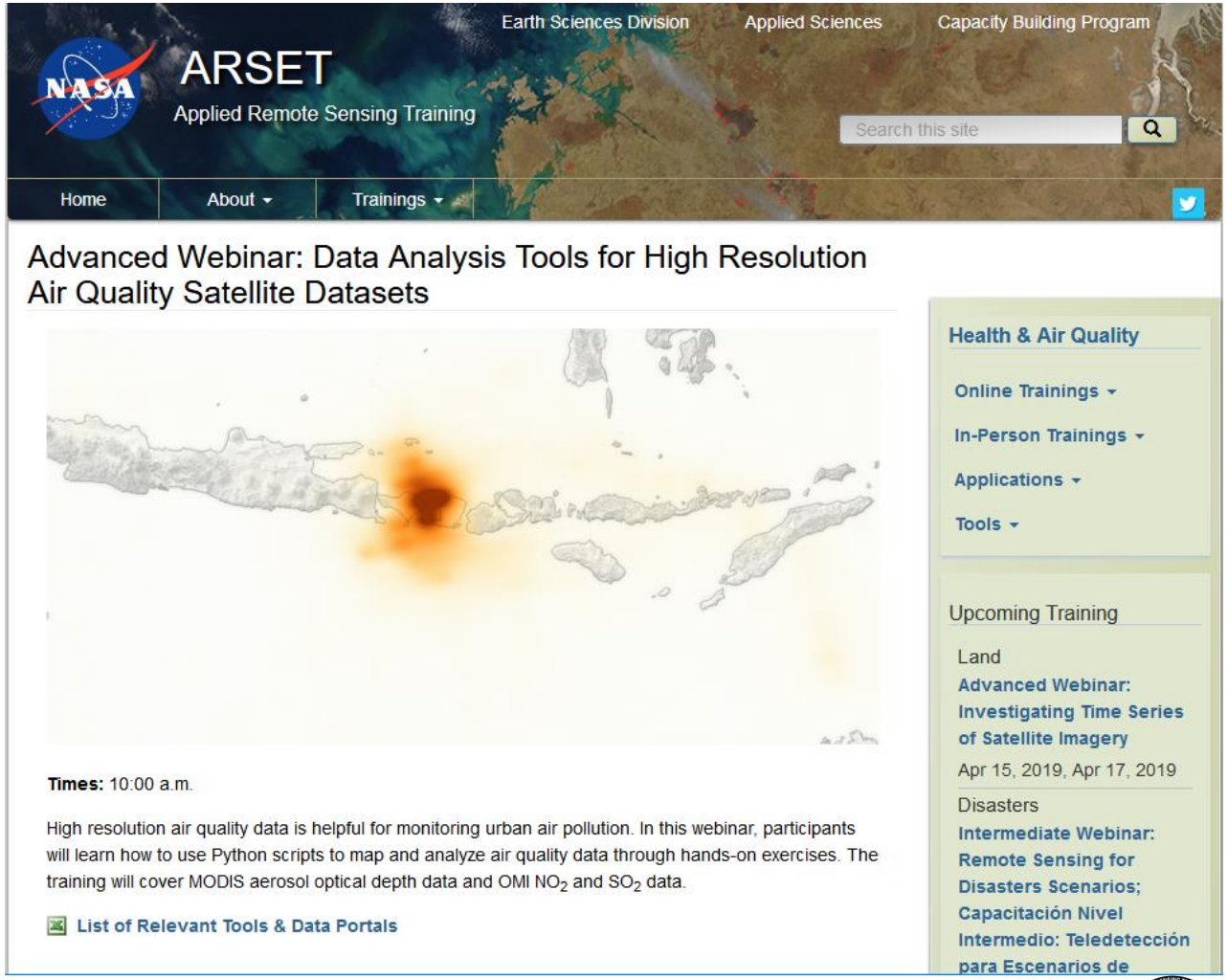


Herramientas de Python

Capacitación Avanzada ARSET

https://arset.gsfc.nasa.gov/airquality/webinars/2018-hiresdatasets

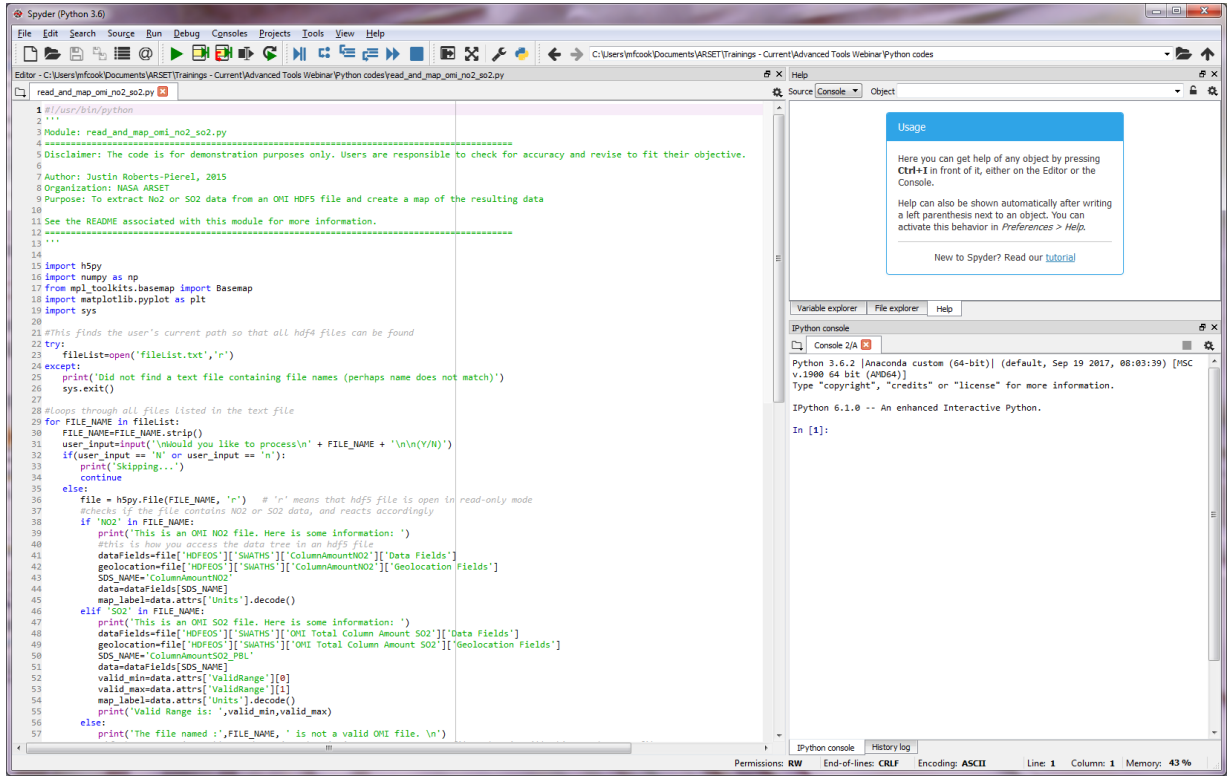
- Esta capacitación en línea anterior orientó a los usuarios sobre cómo
  - Usar scripts de Python disponibles para leer, mapear y analizar datos Nivel-2 (OMI NO_2 y SO_2 y MODIS)
  - Modificar scripts disponibles para uso en el futuro
- Todas las grabaciones, presentaciones y transcripciones de sesiones de preguntas y respuestas para capacitaciones anteriores están disponibles para descargar



Capacitación Avanzada ARSET

https://arset.gsfc.nasa.gov/airquality/webinars/2018-hiresdatasets

- Ejemplos de scripts:
  - Imprimir el contenido de archivos HDF
  - Diagramar y guardar un mapa
  - Extraer datos en un punto singular (ej. la ubicación de una estación en el suelo)
  - Extraer variables a un archivo de texto (.csv)



Referencias

Anenberg, S., et al. (2018), Estimates oftheGlobalBurdenofAmbientPM2:5, Ozone, and NO2 on Asthma Incidence and Emergency Room Visits, Environ. Health Perspec., doi: https://doi.org/10.1289/EHP3766.

Duncan, B., et al., (2016), A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NOx pollution around the world (2005–2014), J. Geophys. Res., doi:10.1002/2015JD024121.

Geddes, J. A., et al. (2015), Long-term trends worldwide in ambient NO2 concentrations inferred from satellite observations for exposure assessment, Environ. Health Perspec., doi:10.1289/ehp.1409567.

Lamsal, L.N., et al. (2008), Ground-Nivel nitrogen dioxide concentrations inferred from the satellite-borne Ozone Monitoring Instrument (OMI), J. Geophys. Res., doi:10.1029/2007JD009235.

Lamsal, L.N., et al. (2010), Indirect validation of tropospheric nitrogen dioxide retrieved from the OMI satellite instrument: Insight into the seasonal variation of nitrogen oxides at northern midlatitudes, J. Geophys. Res.,doi:10.1029/2009JD013351.

Referencias

Lamsal, L., et al. (2015), U.S. NO2 trends (2005–2013): EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI), Atmos. Environ., https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.055.

Streets et al., (2013), Emissions estimation from satellite retrievals: A review of current capability, Atmos. Environ., doi: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.051.

Van der A. et al., (2008), Trends, seasonal variability and dominant NOx source derived from a ten year record of NO2 measured from space, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2007JD009021.

Monografía OMI NO_2 V3:

Krotkov, N. A., et al. (2017), The version 3 OMI NO_2 standard product, Atmos. Meas. Tech., 10, 3133-3149, https://doi.org/10.5194/amt-10-3133-2017.