

Medición del Dióxido de Carbono Atmosférico desde el Espacio en Apoyo a los Estudios Relacionados con el Clima: La Medición del XCO₂ desde OCO-2 y OCO-3

Vivienne Payne, Científica del Proyecto OCO-2

24 de mayo de 2022



Agenda del Webinar

Parte 1: Introducción al XCO₂ con OCO-2 y OCO-3

- Horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Martes 24 de mayo de 2022
- Instructora: Vivienne Payne (JPL)
- Antecedentes de la medición del XCO₂ y cómo se mide
- Descripción de los sensores OCO-2/OCO-3
- Características, limitaciones y validación de la medición
- Preguntas y respuestas

Parte 2: Demostración de Cómo Acceder y Visualizar Datos de OCO-2/OCO-3

- Horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Jueves 26 de mayo de 2022
- Instructora: Karen Yuen (JPL)
- El uso de Jupyter Notebook para acceder, filtrar y visualizar datos de XCO₂
- Preguntas y respuestas

Parte 3: El Uso de XCO₂ en Estudios Climáticos Globales y Regionales

- Horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Martes, 31 de mayo de 2022
- Instructor: Abhishek Chatterjee (JPL)
- Estimación de flujos de carbono a nivel mundial y regional y la influencia de la variabilidad climática y cambios en las emisiones antropogénicas en el ciclo del carbono
- Preguntas y respuestas

Parte 4: El Uso de XCO₂ Estudios Climáticos Locales y Regionales

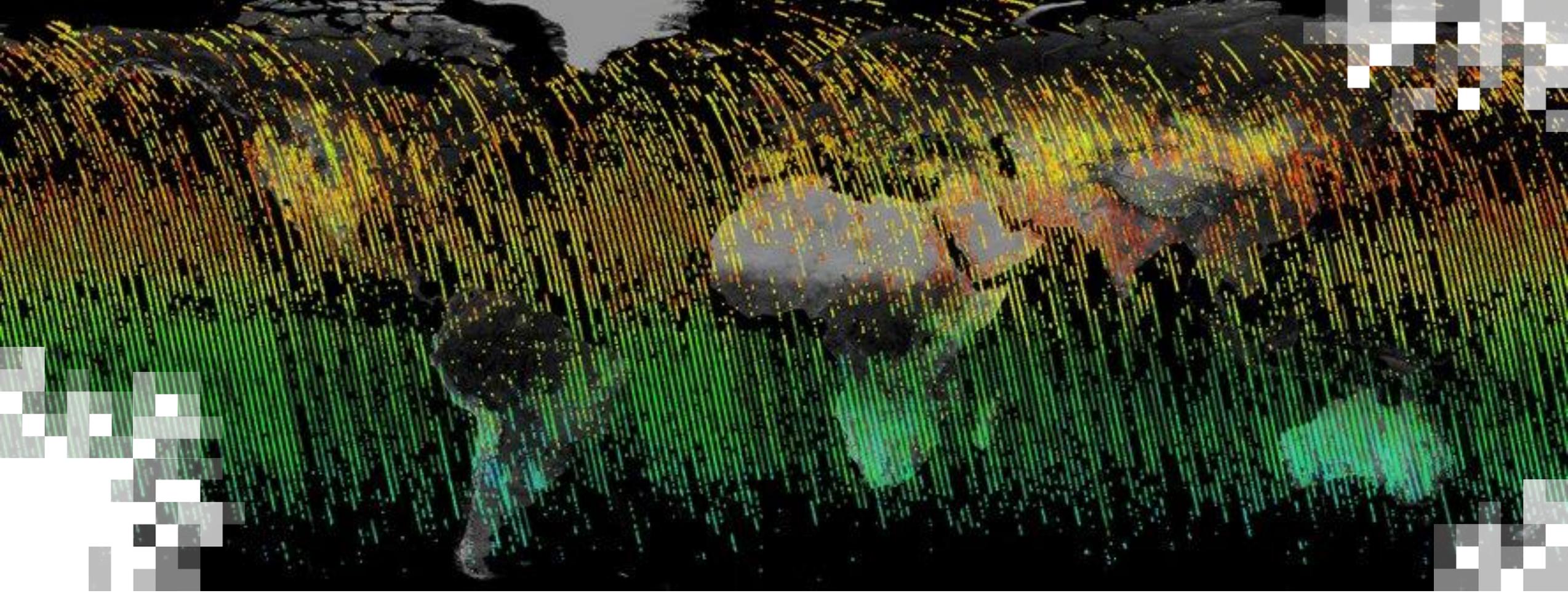
- Horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Jueves 2 de junio de 2022
- Instructor: John Lin (Universidad de Utah)
- Impacto de las emisiones, la calidad del aire y la densidad urbana sobre el clima
- Preguntas y respuestas



Esquema

- Resumen General de OCO-2 y OCO-3
- ¿Qué es la medición del XCO₂ y cómo se mide?
- ¿Cuáles son las características de la medición?
- ¿Cuáles son las limitaciones de la medición?
- ¿Cómo se interpreta la medición?
- ¿Cómo han sido validados los datos?





OCO-2 y OCO-3



Orbiting Carbon Observatory - 2 (OCO-2)

(Observatorio de Carbono en Orbita-2)

La primera misión de la NASA dedicada al estudio del dióxido de carbono desde el espacio.

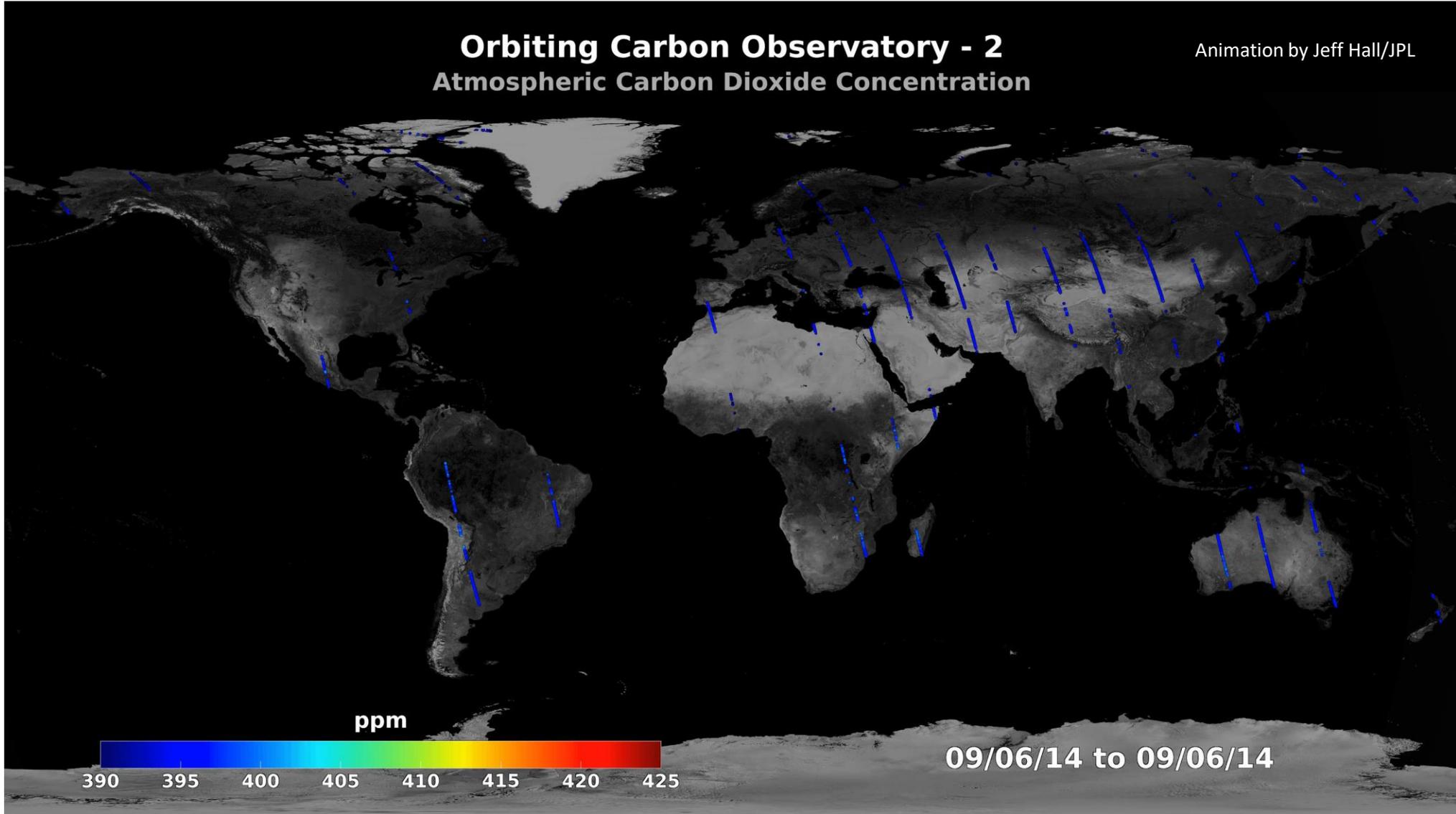


Watching the Earth breathe from space... Mapping Carbon Dioxide from space





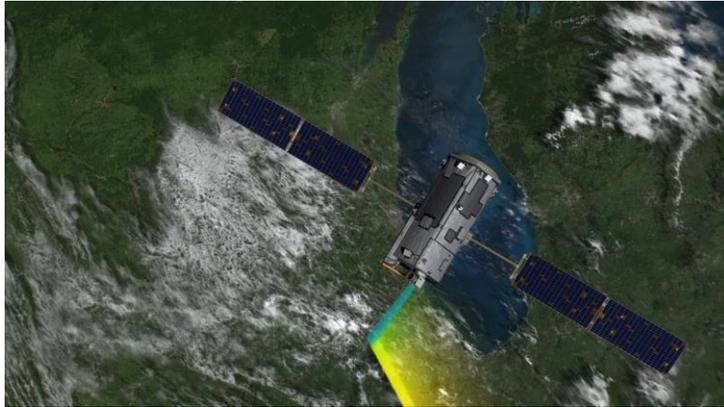
OCO-2: Mediciones Desde Septiembre de 2014



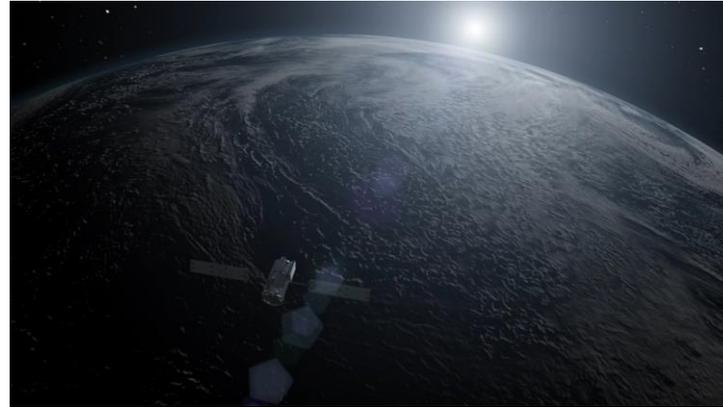


¿Cuáles son los diferentes modos de observación de OCO-2?

OCO-2 recolecta observaciones científicas en 3 diferentes modos: Nadir, Glint, y Target



El Modo Nadir, o mirando directamente hacia abajo, proporciona la resolución espacial más alta en la superficie y se espera que proporcione mediciones más utilizables en regiones que están parcialmente nubladas o tienen una topografía significativa. Es posible que las observaciones del nadir no proporcionen una relación señal-ruido adecuada sobre superficies oceánicas oscuras.

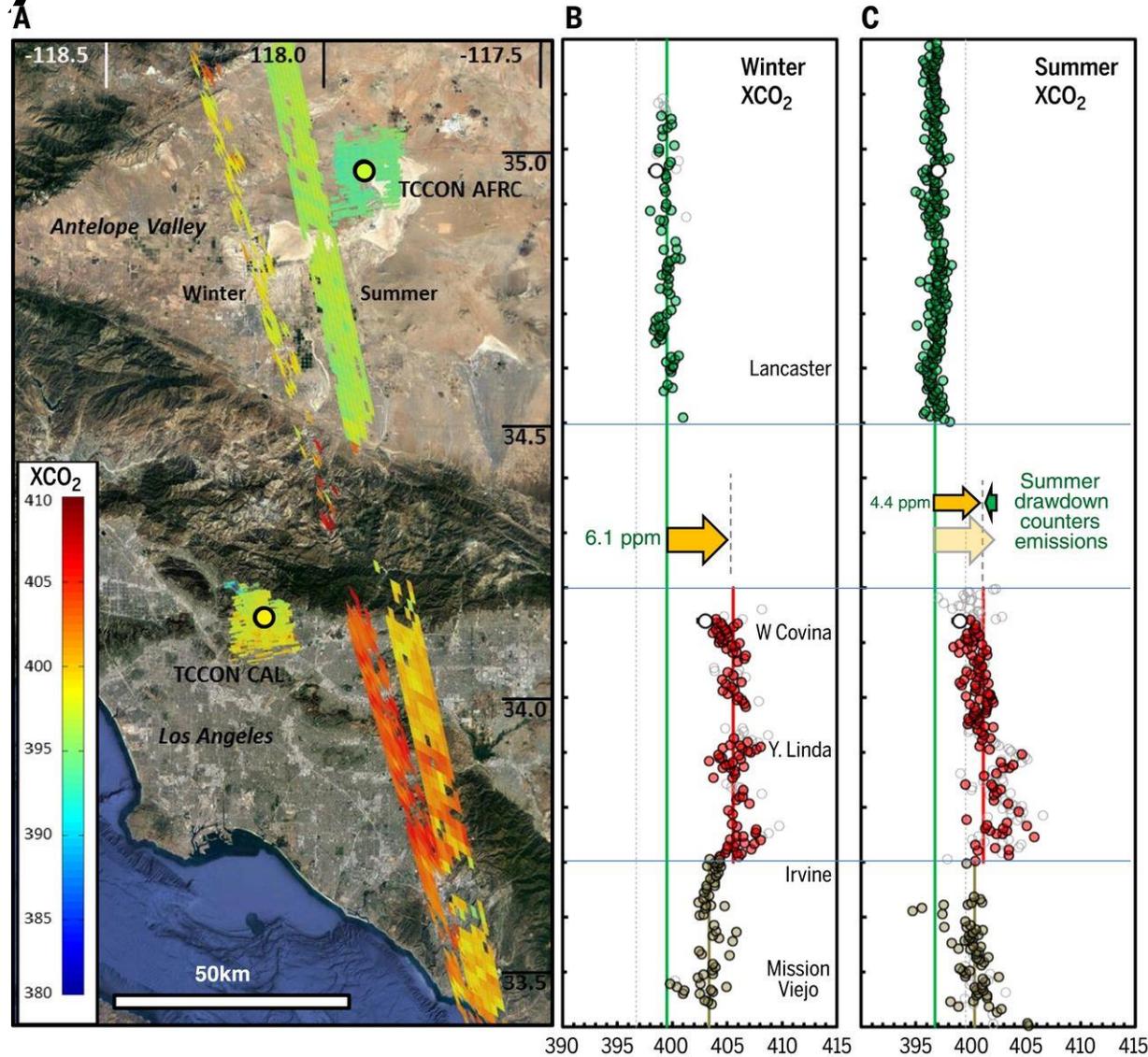


En el Modo Glint (destello), la nave espacial apunta el instrumento hacia el punto brillante del "destello", donde la radiación solar se refleja desde la superficie. En latitudes altas sobre el océano, las observaciones del punto de destello brillante proporcionan hasta 100 veces más señal que las mediciones recopiladas mirando directamente hacia la superficie del océano. Por lo tanto, el uso de mediciones de destellos mejora significativamente la relación señal-ruido sobre el océano oscuro.



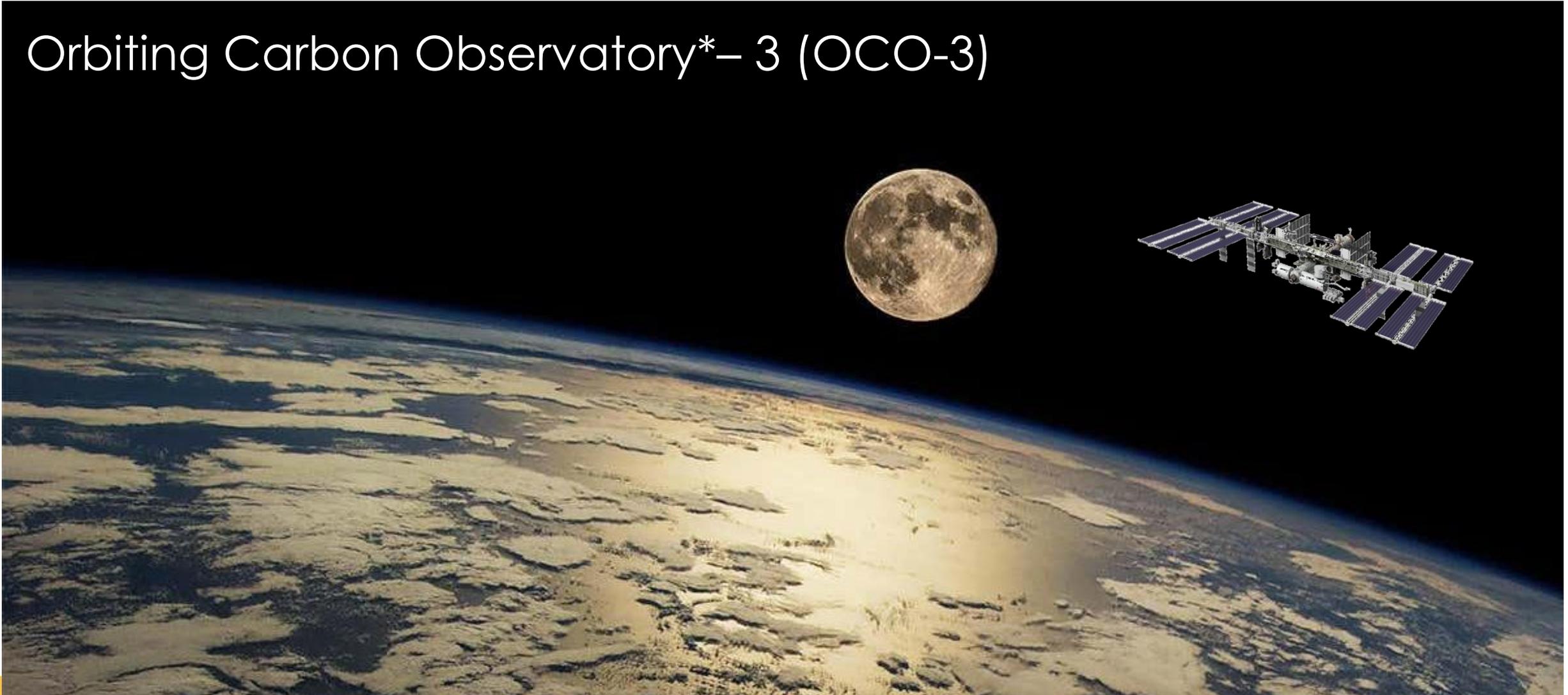
Modo Target (objetivo o blanco) - el Observatorio fija sus observaciones en una ubicación específica en la superficie y retiene esa vista mientras vuela por encima. La comparación de mediciones desde el espacio y aquellas en el suelo proporciona un medio para identificar y corregir errores sistemáticos y aleatorios en los datos XCO₂ de OCO-2.

Ejemplo: Trayectorias de OCO-2 en el Nadir y Observaciones del Objetivo (Target)



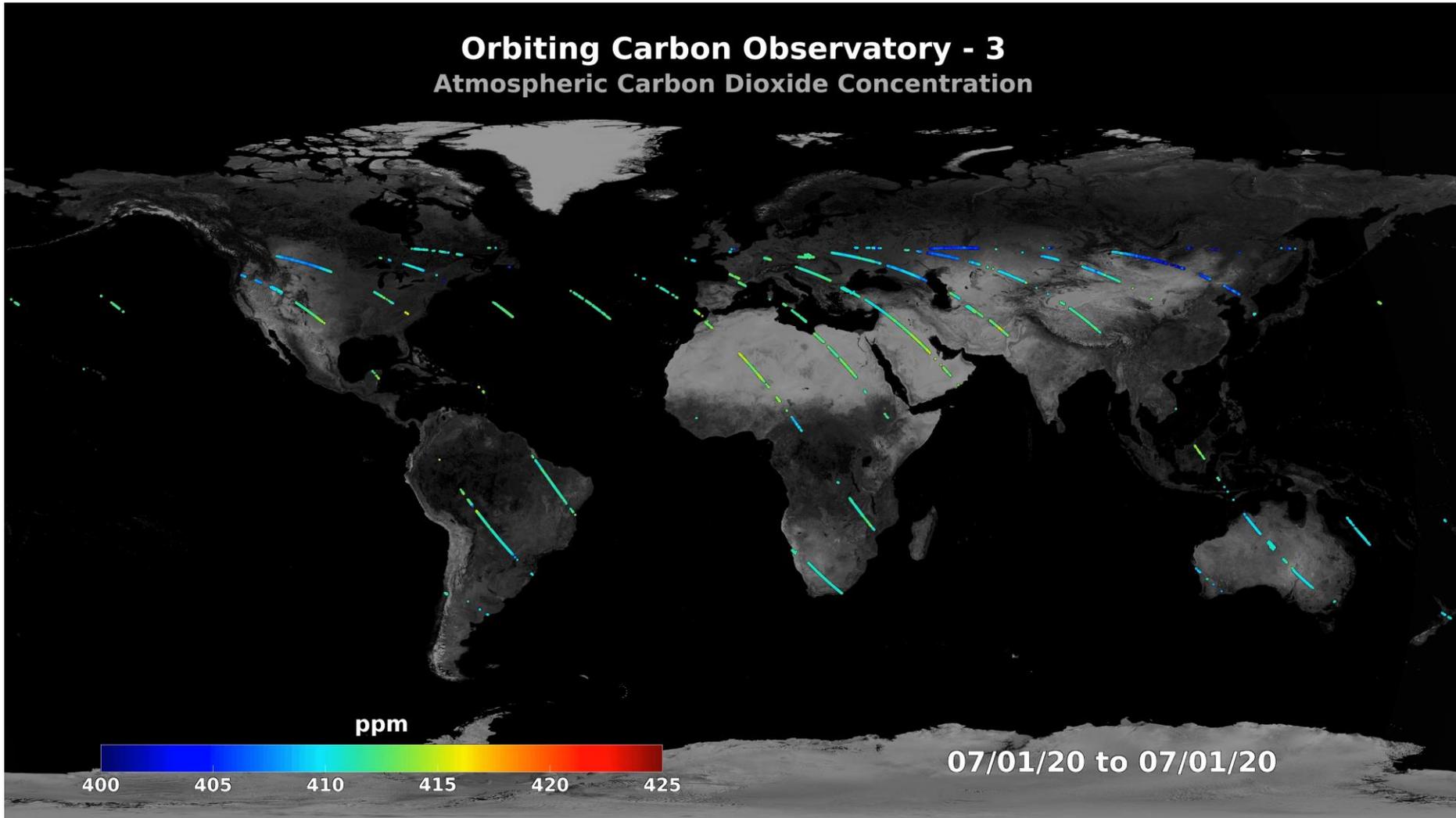


Orbiting Carbon Observatory*– 3 (OCO-3)





OCO-3: Mediciones Desde Agosto de 2019



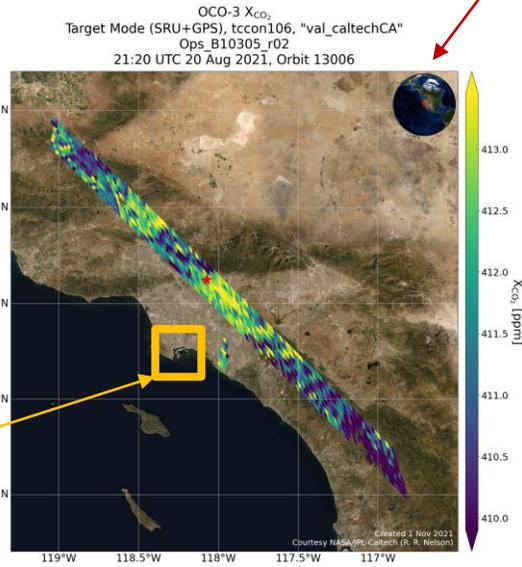
La cobertura de OCO-3 es más densa que la de OCO-2 pero más limitada geográficamente. En las regiones donde ambos datos solapan, hay ciencia y aplicaciones que se pueden explorar.



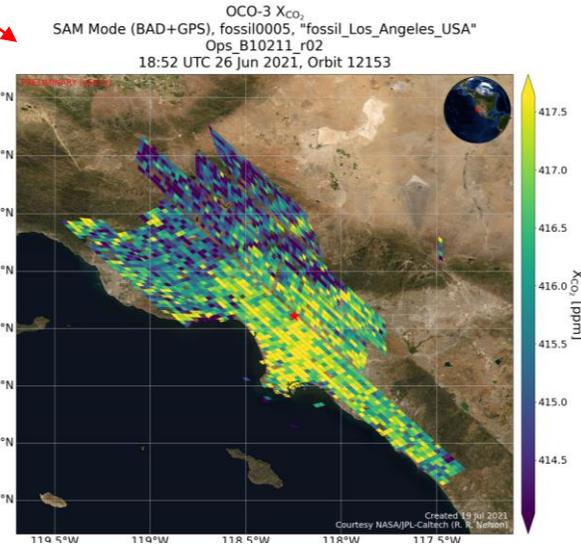


¿Cuáles son los diferentes modos de observación de OCO-3?

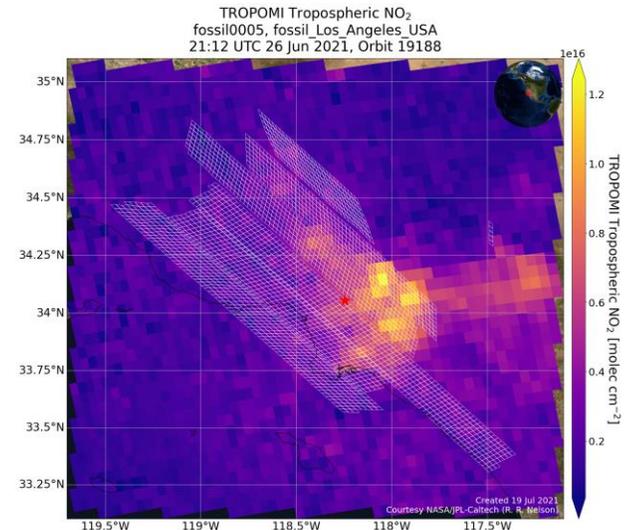
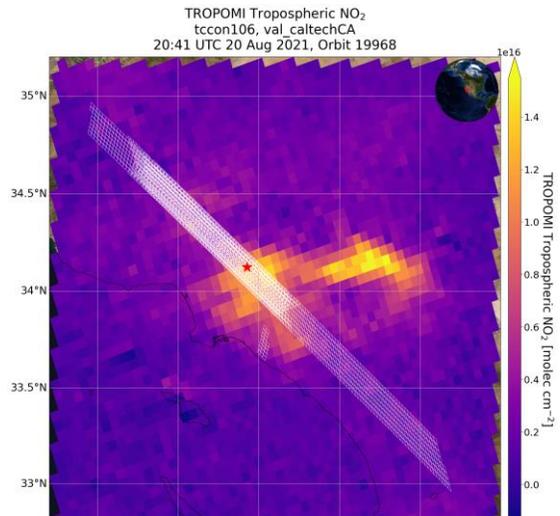
OCO-3 recolecta observaciones científicas en los modos Nadir, Glint, **Target**, y **Snapshot Area Map (SAM)**



Tamaño aproximado del área de observación del target de OCO-2 sobre Los Ángeles



OCO-3 XCO₂

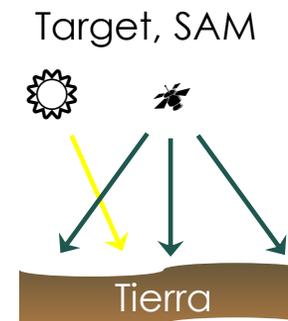
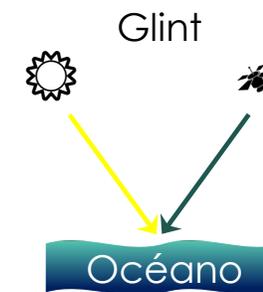
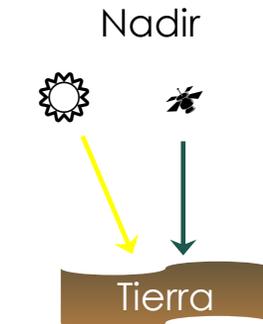


TROPOMI NO₂



Instrumentos de OCO-2 vs. OCO-3

	OCO-2	OCO-3
lanzamiento	2 de julio de 2014	04 May 2019
órbita	heliosincrónica, A-train	precesión, ISS, 51.6° inclinación
cobertura	polo a polo, 1330h ect	52°S – 52°N, variable
tamaño de huella en el nadir	3 km ²	3.5 km ²
espectrómetro	3 bandas: 0.765 μm, 1.61 μm, 2.09 μm, 20,000 (OCO-3 fue fabricado como repuesto para OCO-2)	
observaciones realizadas	CO ₂ de la columna seca de aire (XCO ₂) fluorescencia inducida por el sol (SIF)	
modos de observación	nadir, glint, target	nadir, glint, target, SAM
observación fuera del nadir	mover la nave espacial	apuntar el ensamble de espejos dos espejos: azimut y elevación que se mueven independientemente
repetibilidad de las observaciones	la misma hora local cada órbita; repetición espacial después de 233 órbitas (16 días)	¡no hay! la hora local se adelanta un poco cada día; cambia la cobertura latitudinal cada día



4 de mayo de 2019: Lanzamiento de OCO-3 SpaceX 17 Falcon 9/Dragon Capsule

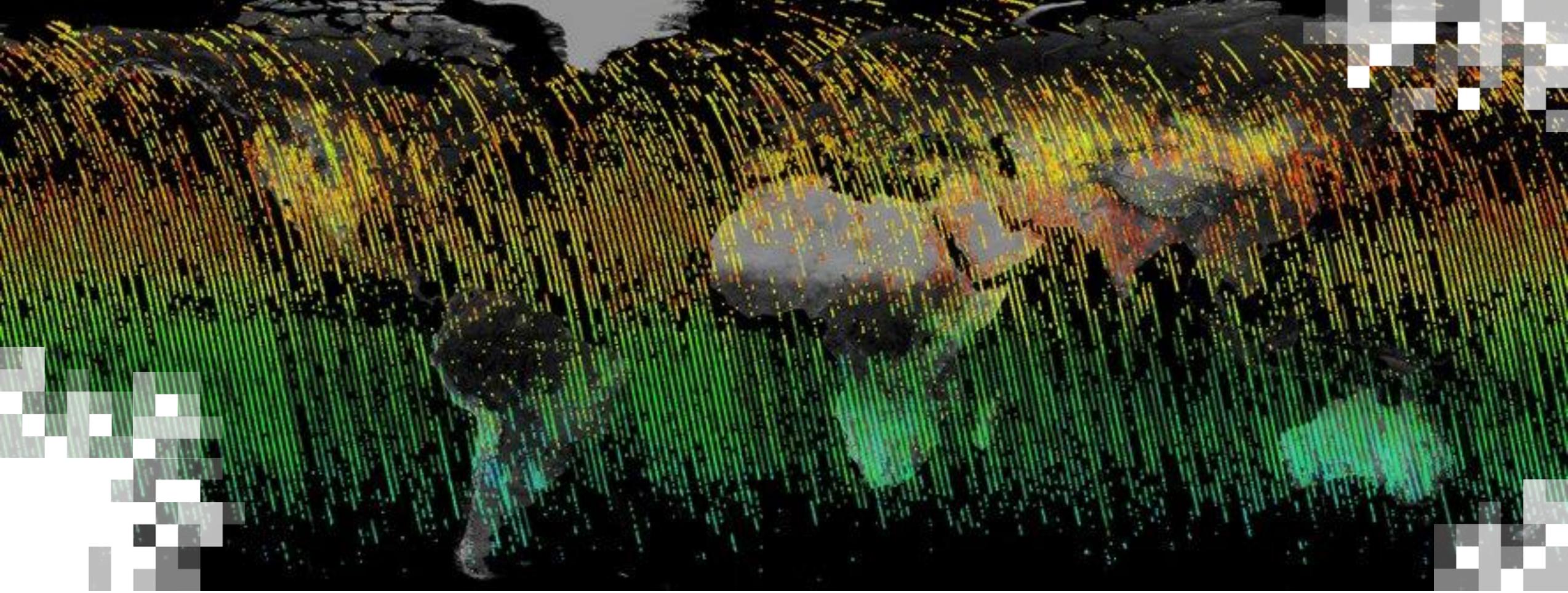


👁️ Dragon Capsule desde el Falcon 9 Etapa 2 Después del a Separación



OCO-3 en el Módulo Externo Japonés





¿Qué es la medición del XCO_2 y cómo se mide?

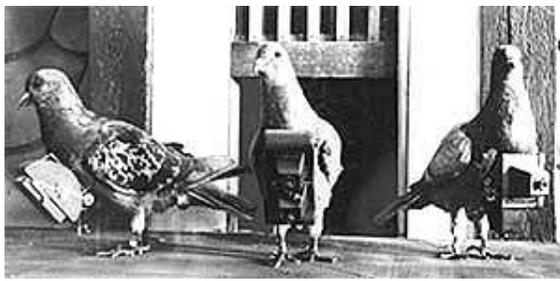
Teledetección: “La adquisición de información sobre un objeto o fenómeno sin hacer contacto físico con él.” (Wikipedia)

En 1903, se enviaron palomas con cámaras para tomar fotografías aéreas sobre Europa.



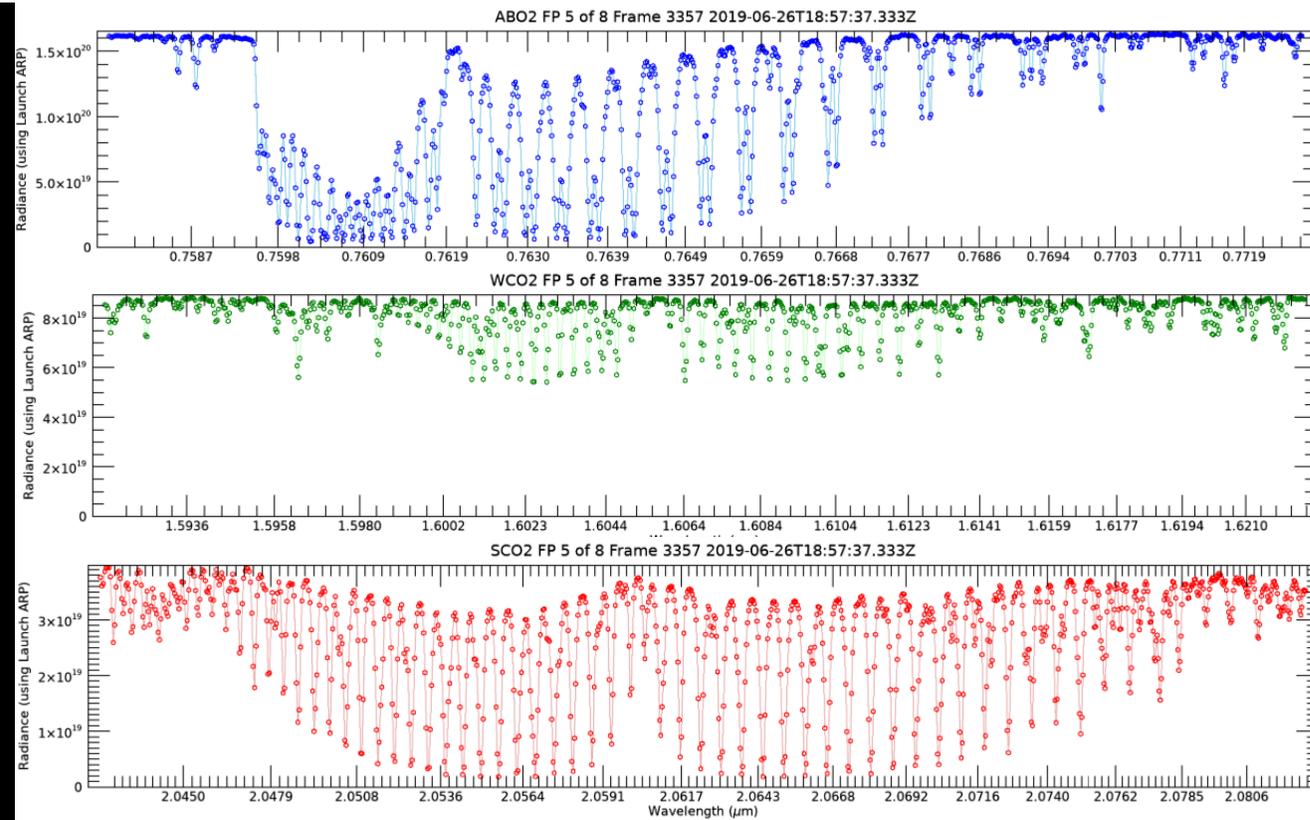
Fuente de la Imagen: NASA





Espectros de Radiancia de los Espectrómetros de OCO-2

Espectros de "primera luz" de (a) la band- A de O₂ (ABO2), (b) la banda débil de CO₂ de 1.61 μm (WCO2) y (c) la banda fuerte de CO₂ de 2.06 μm (SCO2). Cada espectro de 1016 elementos tiene un poder de resolución, $\lambda/\Delta\lambda \cong 19,000$, para resolver las líneas individuales de absorción de O₂ y CO₂ del continuo adyacente.



O₂ Banda-A,
0.765 μm

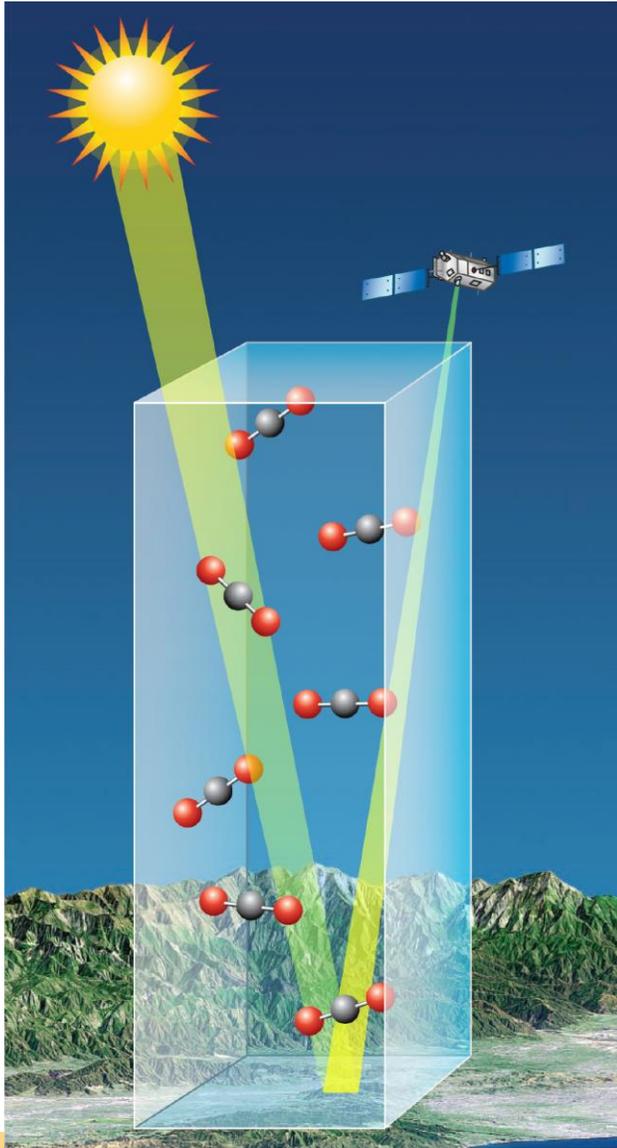
Banda de CO₂
débil, 1.61 μm

Banda de CO₂
fuerte, 2.06 μm

Las moléculas de gas en la atmósfera terrestre absorben la luz solar en longitudes de onda específicas. Cuando la luz atraviesa la atmósfera terrestre, los gases presentes dejan una "huella digital" distintiva que puede ser identificada.



¿Qué es la medición del XCO₂ y cómo se mide?



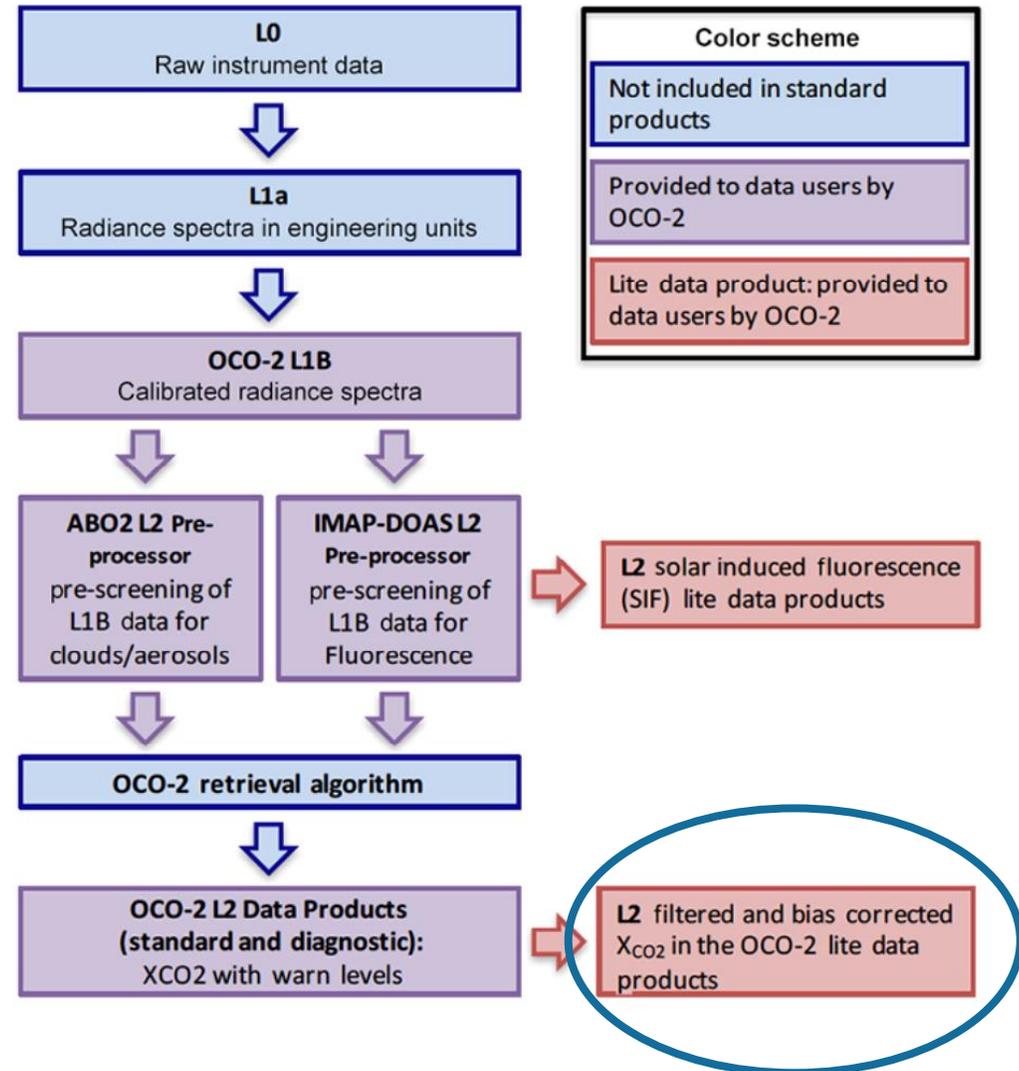
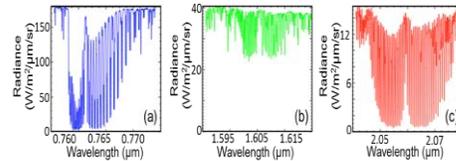
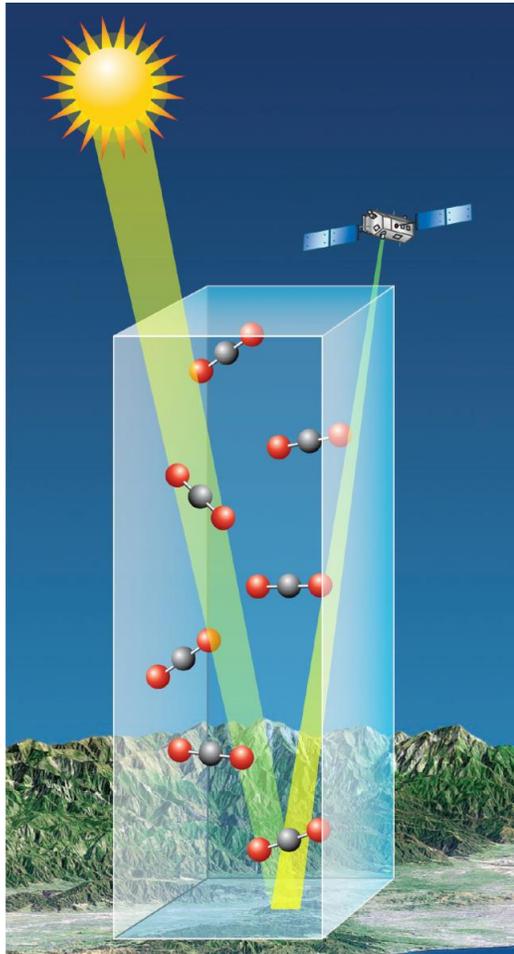
XCO₂ es la relación promedio de mezcla del volumen de la columna. Esta es una medida de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

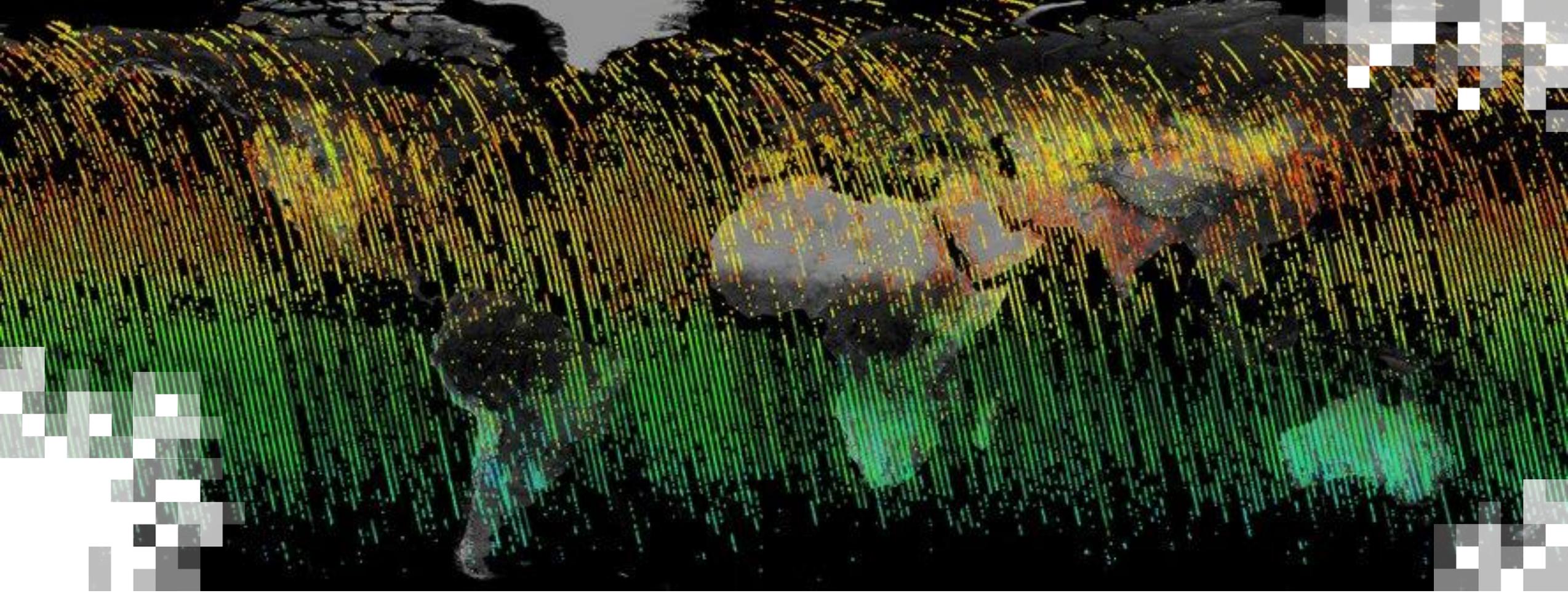
Las moléculas de gas en la atmósfera terrestre absorben la luz solar en longitudes de onda específicas. Cuando la luz atraviesa la atmósfera terrestre, los gases que están presentes dejan una "huella digital" distintiva que puede ser identificada.

Los espectrómetros de OCO-2 y OCO-3 funcionan como cámaras y detectan estas "huellas dactilares" moleculares. Después, los niveles de absorción que se muestran en estos espectros nos indican cuántas moléculas habían en la región donde midió el instrumento.



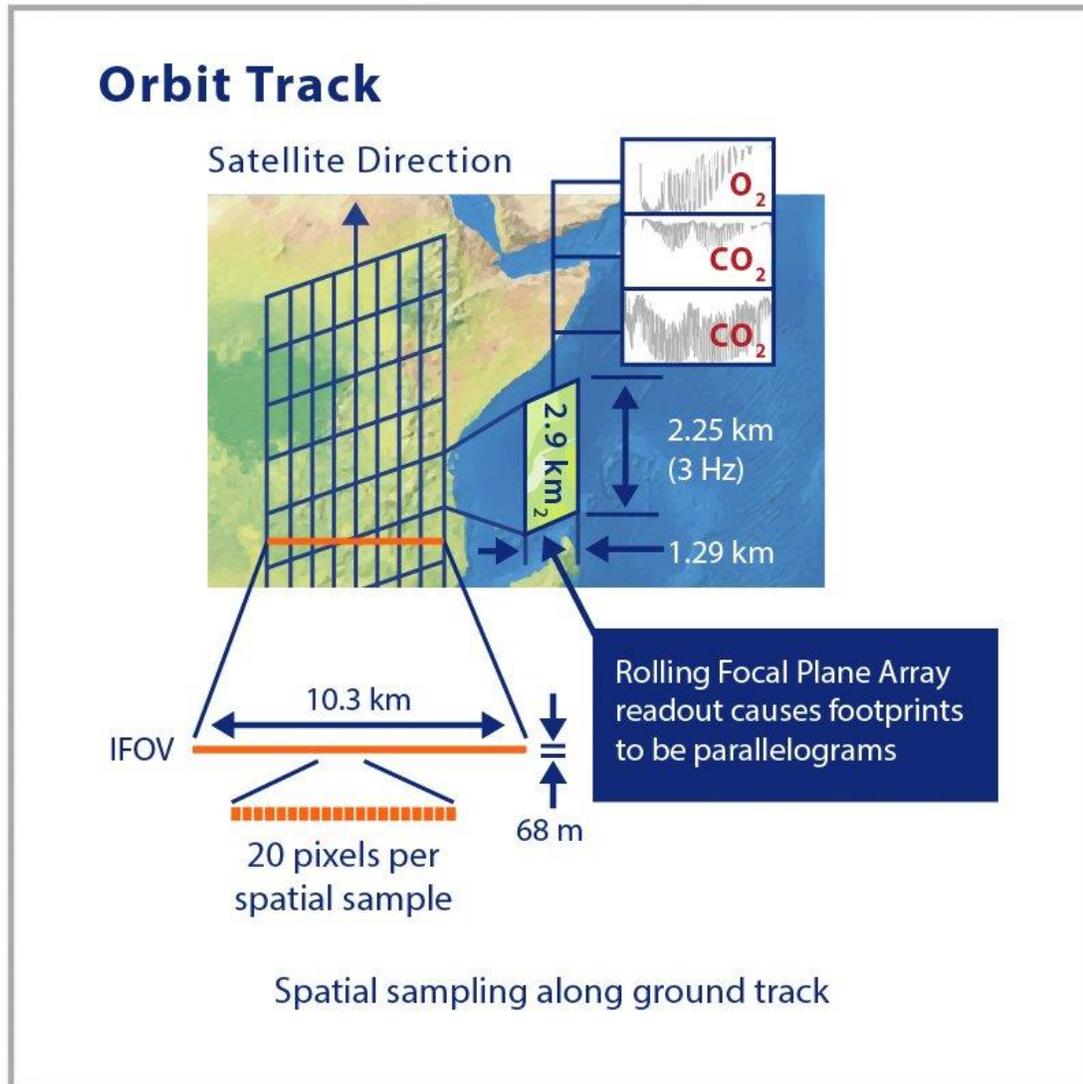
¿Qué es la medición del XCO₂ y cómo se mide?





¿Cuáles son las características de la medición?

¿Cuáles son las características de la medición?



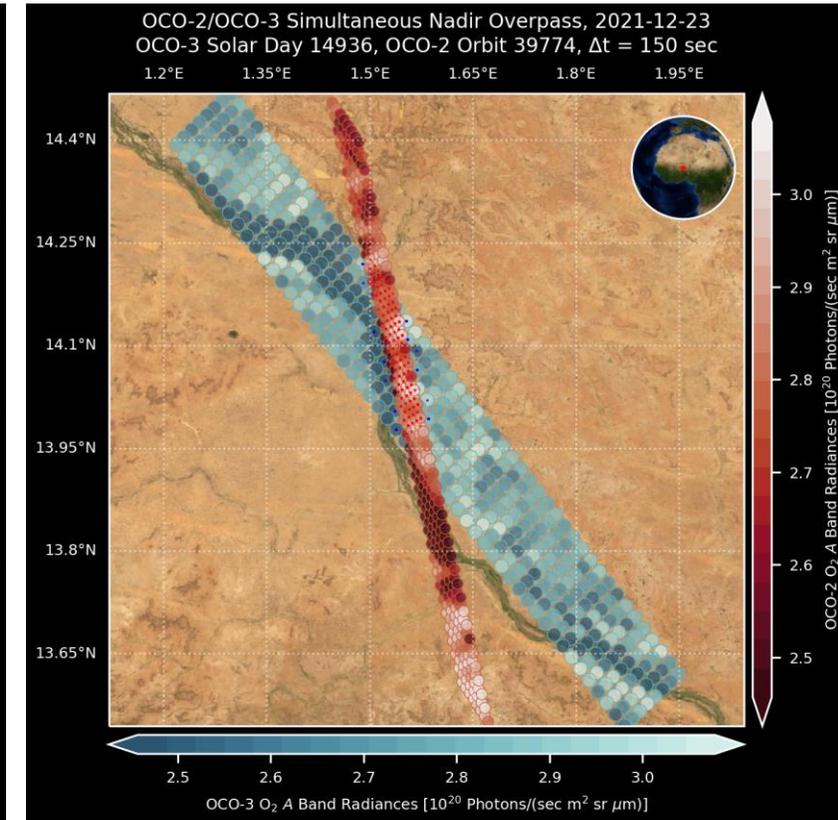
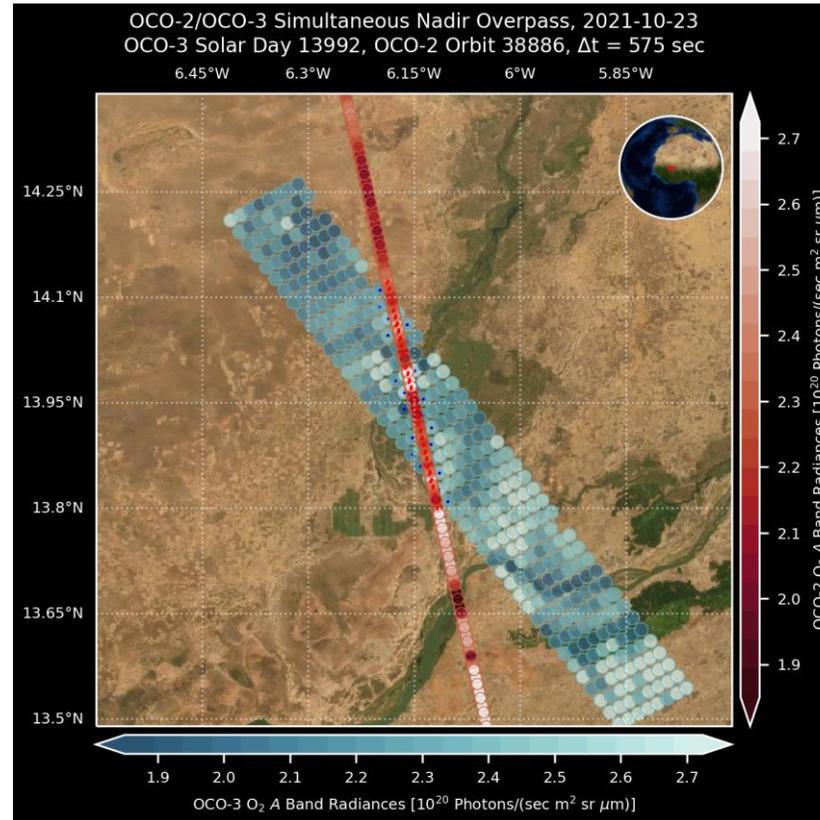
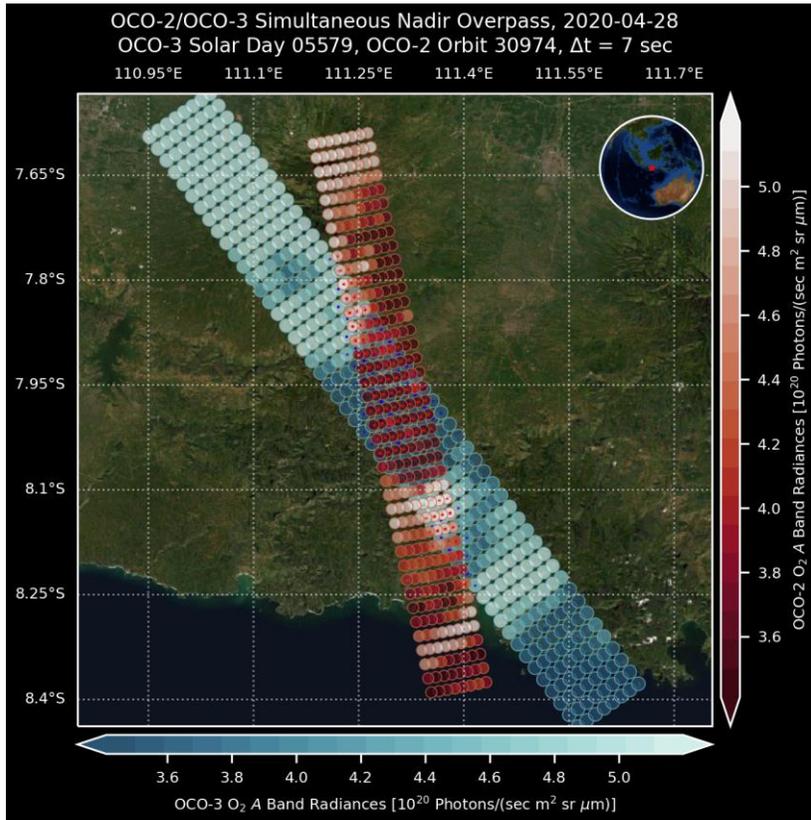
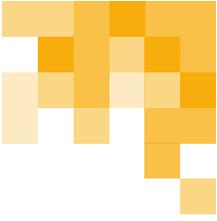
El instrumento OCO-2 adquiere una gran cantidad de muestras o "huellas" densamente espaciadas.

Hay 8 huellas a lo largo de la franja.

Cada huella cubre un área de aproximadamente 3 km² cuando el instrumento está mirando directamente hacia abajo (al nadir) a lo largo de la trayectoria terrestre de la nave espacial.



¿Cuáles son las características de la medición?



La franja de OCO-2 cambia de anchura a lo largo de la órbita a medida que la nave espacial gira a lo largo de la trayectoria de la órbita. La anchura de la franja de OCO-3 es más uniforme. Estos ejemplos muestran radiancias de banda-A para adquisiciones simultaneas en el modo nadir de OCO-2 y OCO-3 (en un periodo de 7 segundos). El ancho de franja de OCO-2 cambia a lo largo de la órbita a medida que la nave espacial gira para mitigar los efectos de la polarización. El instrumento de OCO-3, con su capacidad de apuntar, mantiene una anchura de franja uniforme. Figuras: Thomas Kurosu



¿Cuáles son las características de la medición?

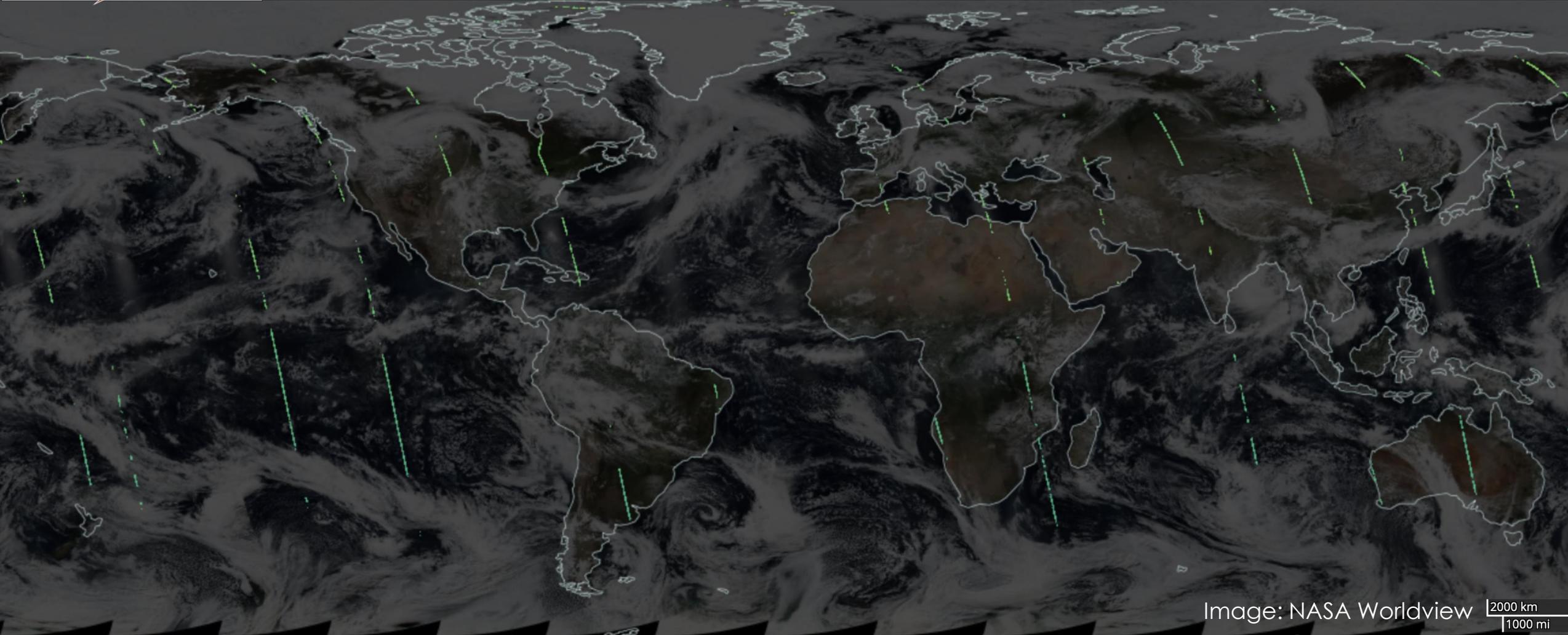


Image: NASA Worldview 2000 km
1000 mi

OCO-2 orbita la Tierra 14,5 veces al día, recopilando datos sobre regiones iluminadas por el sol y sin nubes. Esta imagen muestra las ubicaciones de las mediciones útiles del XCO₂ para un solo día (24 de mayo 2021).





¿Cuáles son las características de la medición?

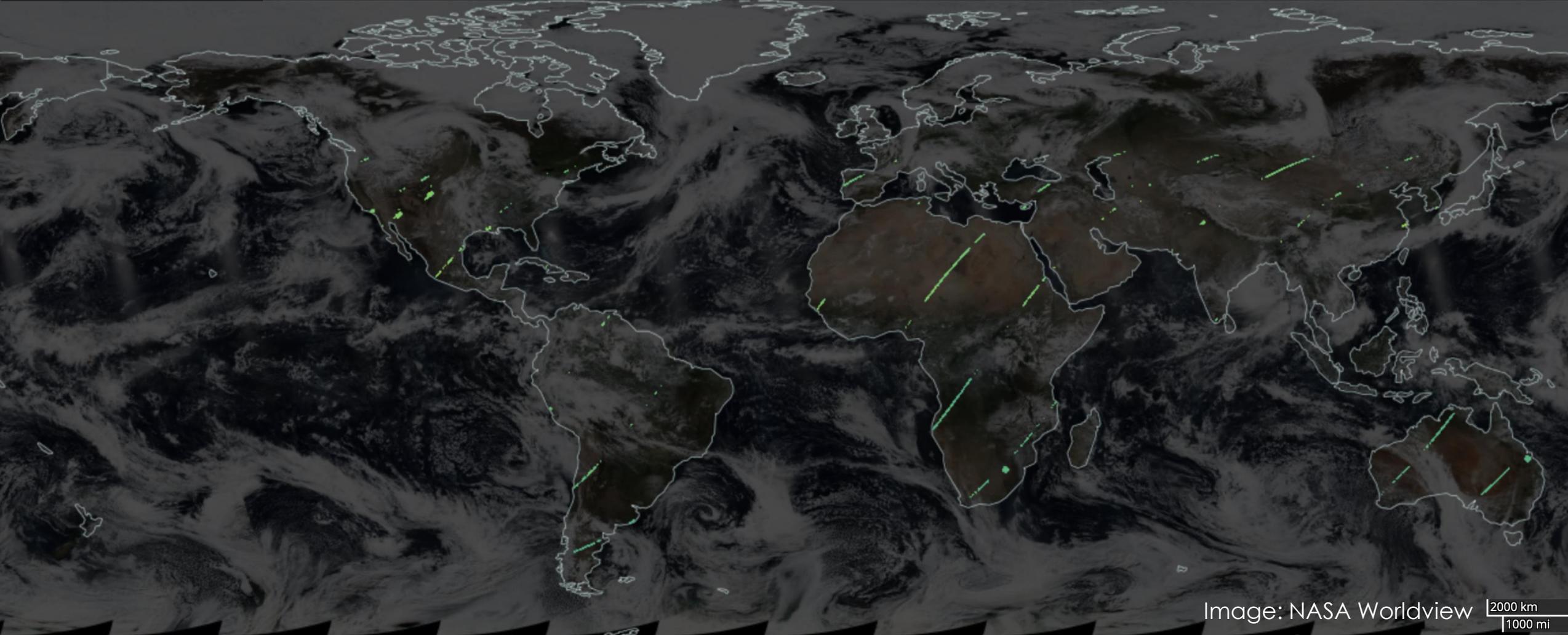
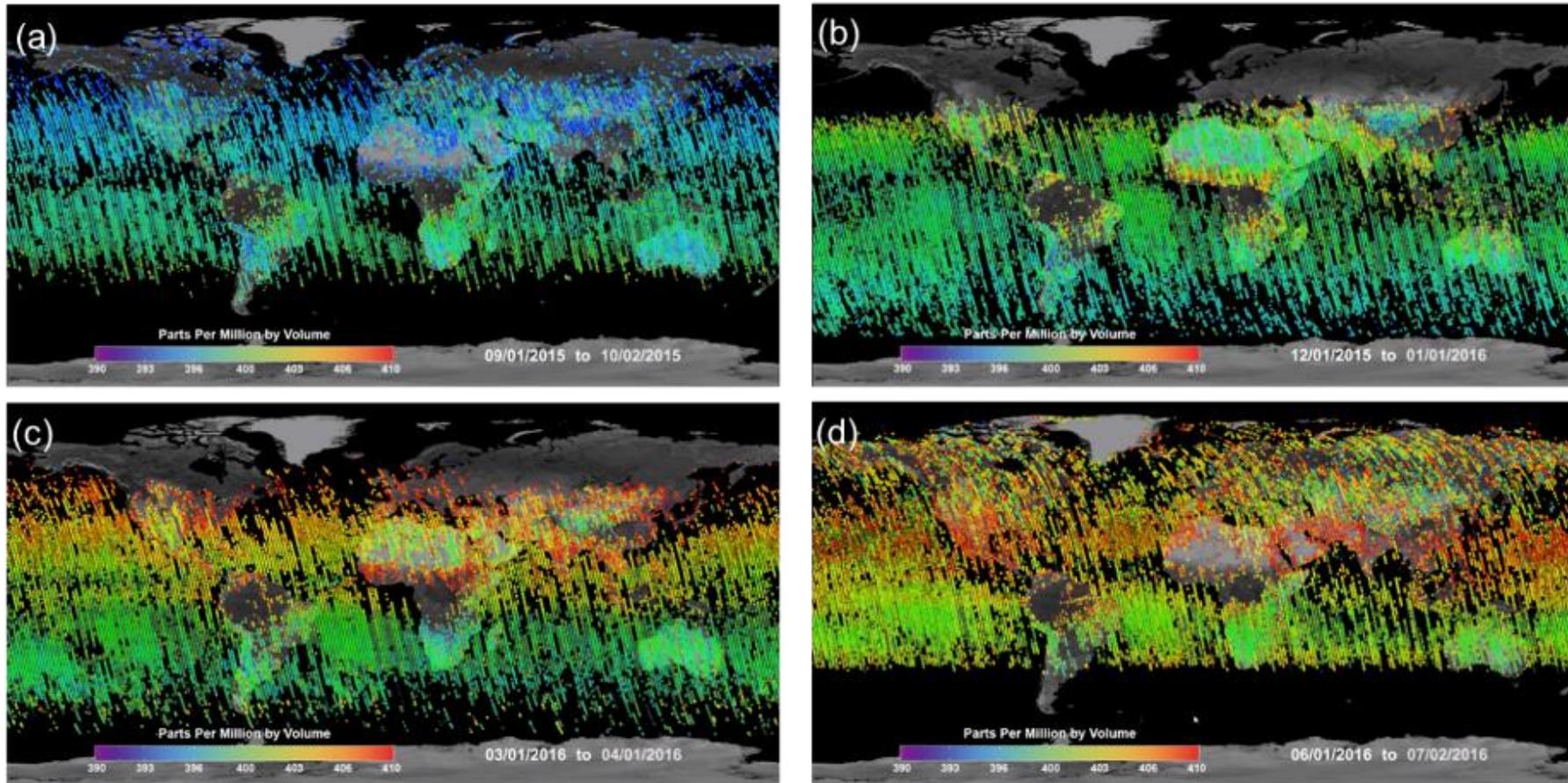


Image: NASA Worldview 2000 km
1000 mi

OCO-3 también hace mediciones en regiones sin nubes e iluminadas por el sol, con un muestreo orbital que sigue la trayectoria de la ISS. Esta imagen muestra las ubicaciones de las mediciones útiles del XCO₂ para un solo día (24 de mayo de 2021).



¿Cuáles son las limitaciones de la medición?



Mapas de XCO₂ a lo largo de las trayectorias de la órbita de OCO-2 para (a) septiembre de 2015, (b) diciembre de 2015, (c) marzo de 2016 y (d) junio de 2016, que ilustran las variaciones del XCO₂ y la cobertura latitudinal en función de la temporada. El tamaño de la huella está exagerado para poder obtener una mejor visualización. Todas las barras cromáticas se extienden de 390 a 410 ppm. Las nubes persistentes y la disponibilidad de luz solar limitan la cobertura latitudinal en el hemisferio invernal.

La presencia de nubes y aerosoles ópticamente densos puede presentar desafíos en la medición del XCO₂ en la columna de la atmósfera completa.

Los terrenos irregulares, como las montañas, también pueden afectar la calidad de la estimación del XCO₂, debido a las dificultades en la caracterización de la presión en la superficie dentro de la huella del satélite, la cual es necesaria para la medición del XCO₂.

Los altos ángulos cenitales solares también dificultan la obtención de una medición del XCO₂ de buena calidad.



¿Cómo se interpreta la medición?

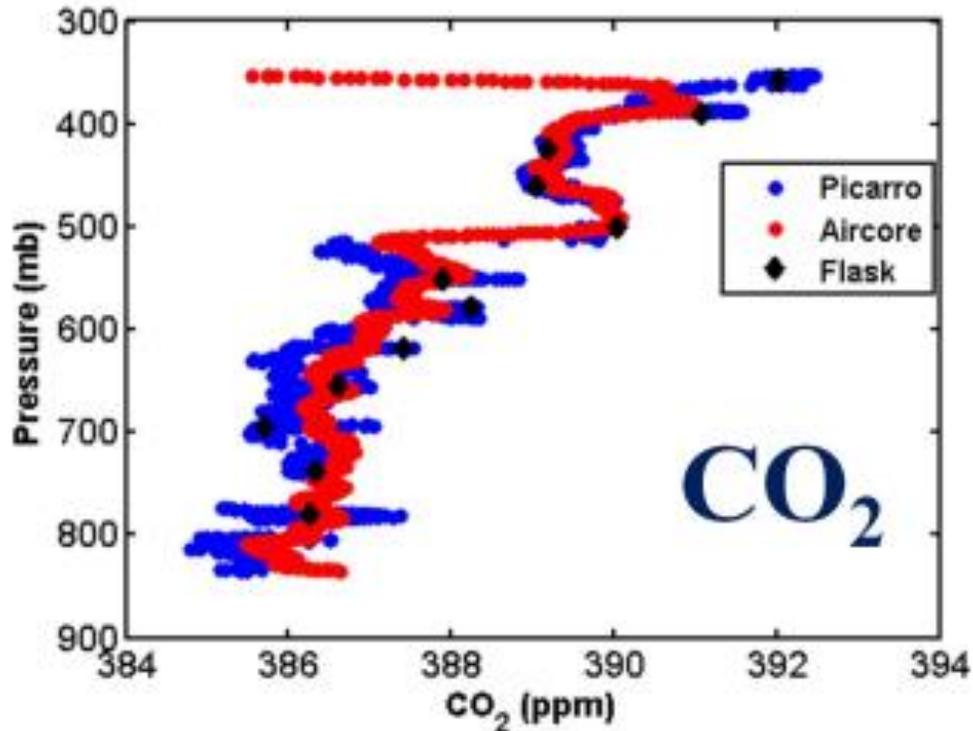


Imagen: <https://gml.noaa.gov/ccgg/aircore/>

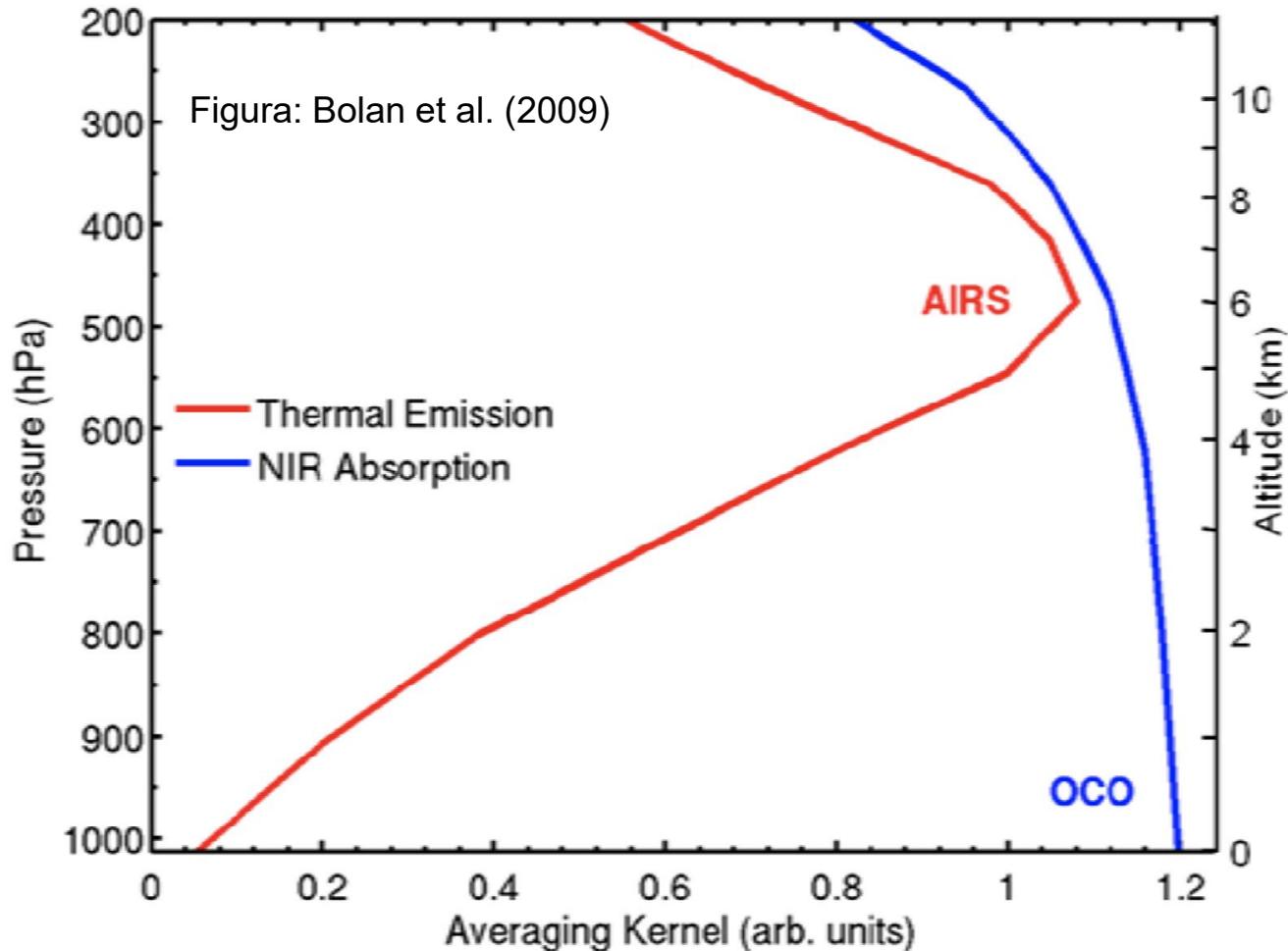
El X_{CO_2} de OCO-2/ OCO-3 es la relación promedio de mezcla del volumen de la columna. Esta es una medida de la cantidad de dióxido de carbono en la columna de la atmósfera en su totalidad.

Esto **no es directamente comparable** con una medición en un solo punto, como una medición in situ en la superficie o en un solo punto en la atmósfera.

Esta figura muestra un ejemplo de un perfil de CO₂ medido mediante tres técnicas de medición in situ diferentes desde plataformas aéreas/globos. Los datos satelitales de OCO-2 y OCO-3 proporcionan una estimación del promedio total de la columna.



¿Cómo se interpreta la medición?



Las radiancias resueltas espectralmente en las bandas de CO₂ del **infrarrojo cercano (NIR)**, como las de las misiones OCO, son sensibles al CO₂ en toda la **columna** de la atmósfera y se pueden usar en la estimación de fuentes y sumideros en la superficie.

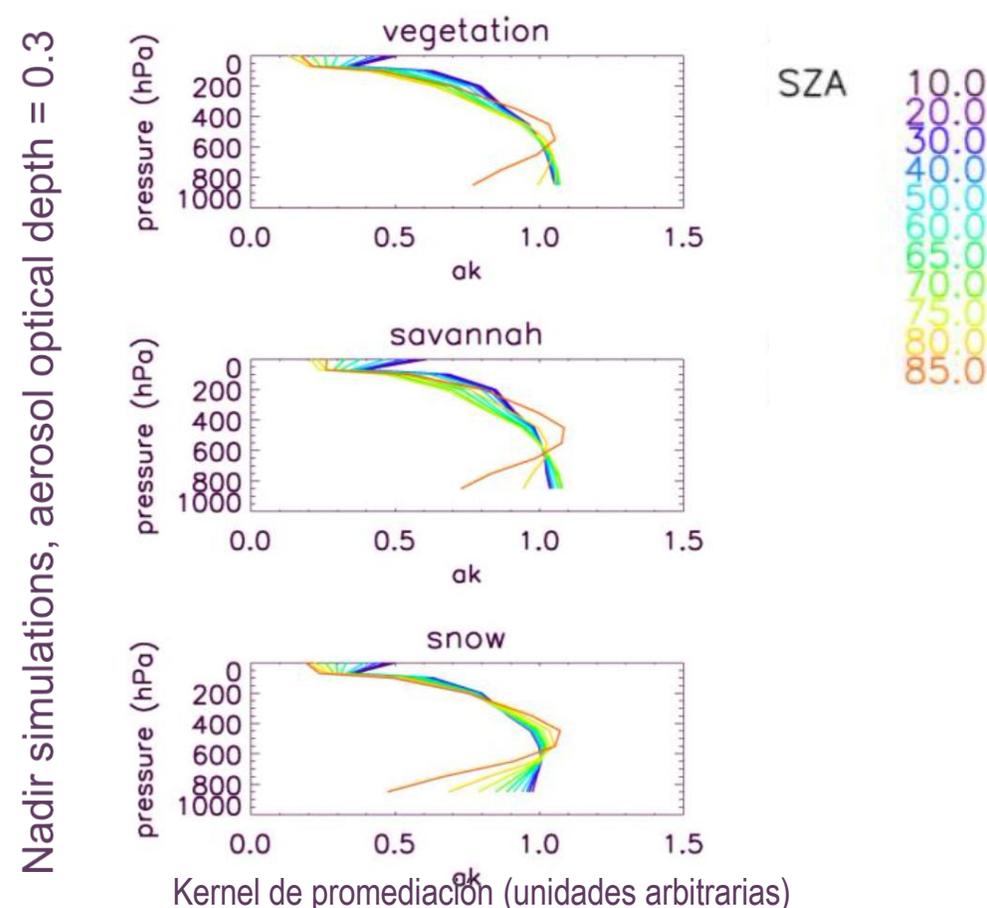
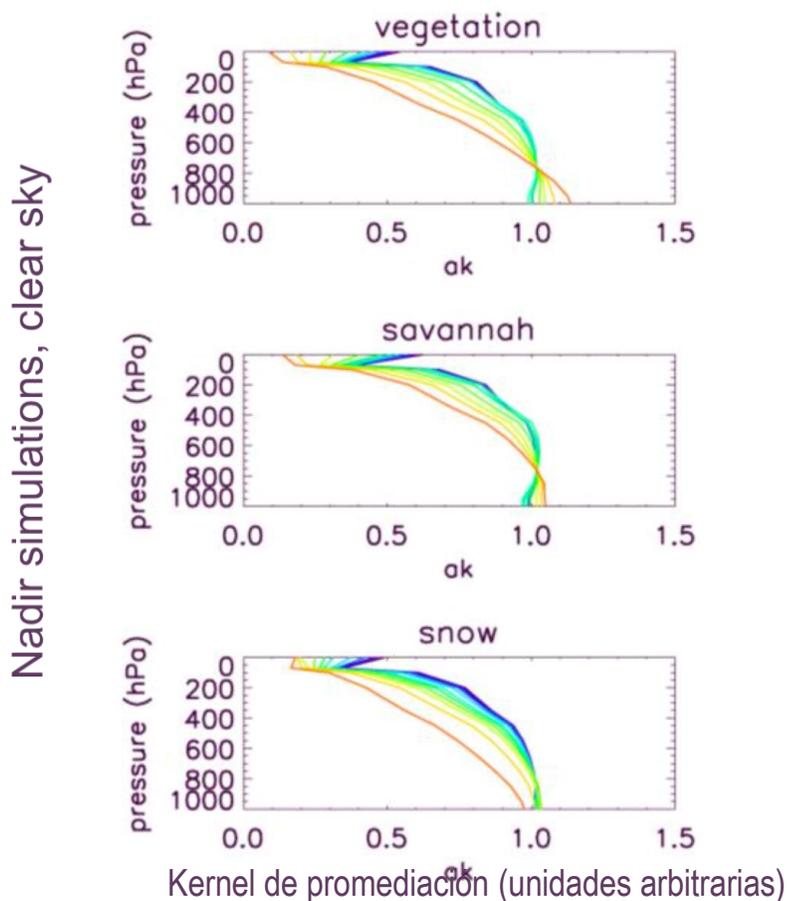
Las mediciones de satélites en las bandas de CO₂ del **infrarrojo térmico** son sensibles principalmente al CO₂ en la **troposfera media y alta**.

El "**kernel de promediación**" proporciona una medida de cómo y dónde la medición por teledetección es sensible al estado atmosférico real. La figura muestra funciones o núcleos (**kernels**) de **promediación** de la columna del ejemplo para AIRS y OCO-2, que proporcionan una estimación de la sensibilidad de la medición por teledetección al perfil atmosférico real. Los kernels de promediación de la columna se proporcionan como parte de los datos de OCO.



¿Cómo se interpreta la medición?

La sensibilidad vertical de la medición del XCO₂ por teledetección depende de la superficie. Los ejemplos a continuación muestran funciones (kernels) de promediación para simulaciones sobre diferentes superficies, ángulos cenitales solares y condiciones de aerosoles.



¿Cómo han sido validados los datos?



Fuente de la Imagen: TCCON



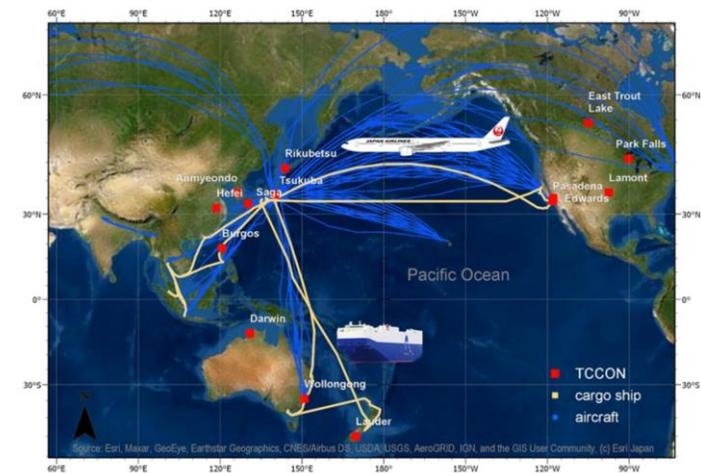
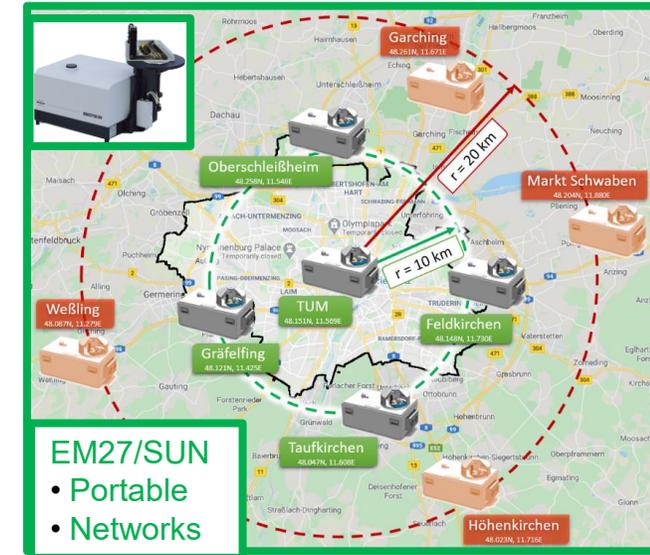
<https://gml.noaa.gov/ccgg/aircore/>



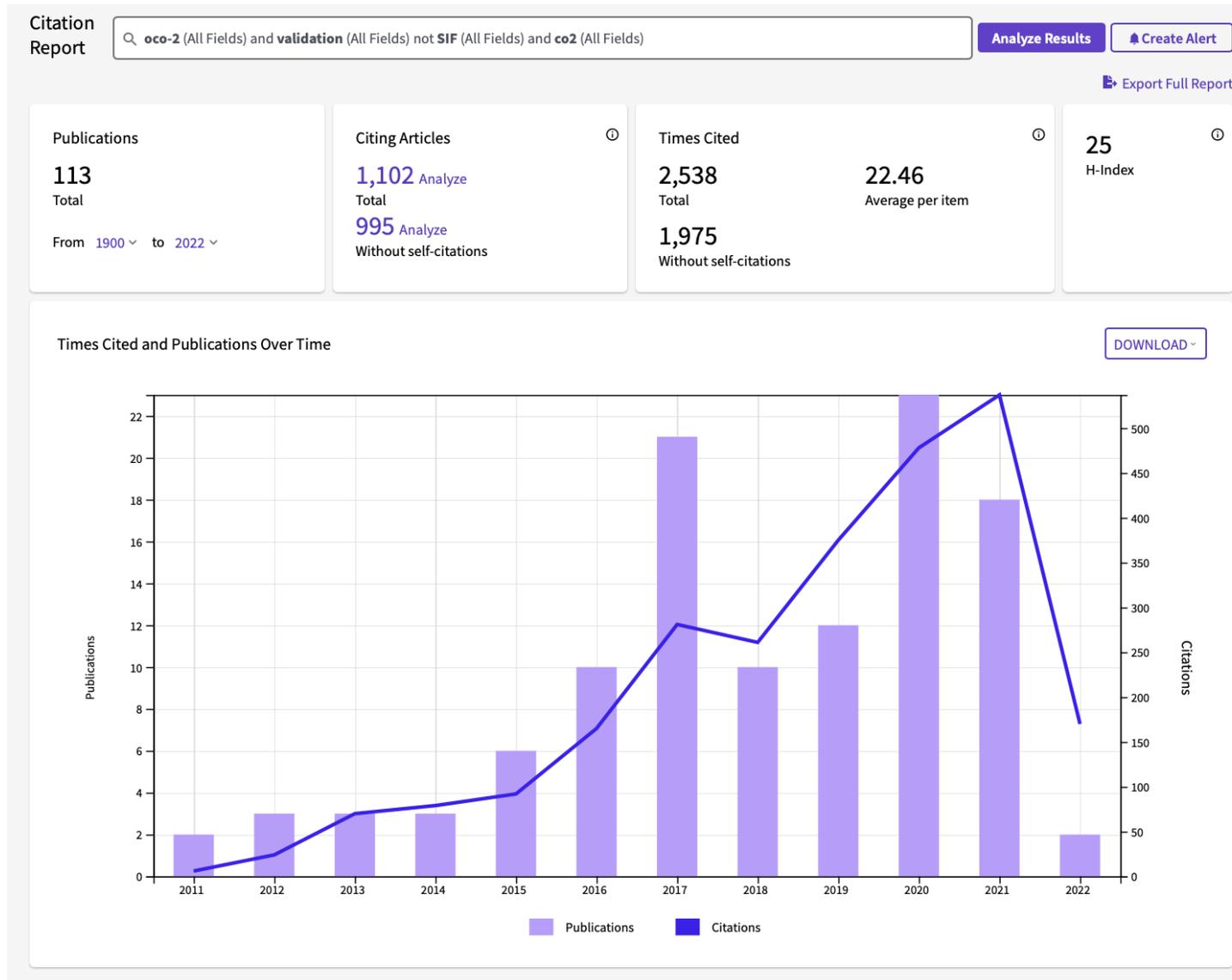
Fuente de la Imagen: TCCON



<https://gml.noaa.gov/ccgg/aircraft/>



¿Cómo han sido validados los datos?



De Web of Science,
20220502



¿Cómo han sido validados los datos?



El Total Carbon Column Observing Network (**TCCON**) es una red de espectrómetros de transformación de Fourier a nivel del suelo que registran espectros solares directos en la región espectral del infrarrojo cercano. A partir de estos espectros, se obtiene la abundancia exacta y precisa de **CO₂** promediada por columnas (así como una gama de otros gases). TCCON es un recurso de validación esencial para OCO-2, OCO-3, los satélites de observación de gases de efecto invernadero GOSAT y GOSAT-2, el instrumento Sentinel 5P TROPOMI, TanSat y otras misiones. Para obtener la información más reciente de TCCON, visite el [TCCON Wiki](https://tccon-wiki.caltech.edu) en la página <https://tccon-wiki.caltech.edu>.



¿Hay indicadores de calidad?

¡Sí!

“Cuando se utilizan los datos en los archivos Lite, el filtrado se puede realizar con `xco2_quality_flag` (“0” es bueno). Este filtro se obtuvo comparando el XCO_2 de un subconjunto de datos con diversos proxies de la verdad e identificando umbrales para diferentes variables que se correlacionan con los datos de baja calidad. Se aplica filtros de calidad basados en una serie de variables auxiliares o extraídas que se correlacionan con altos valores de dispersión o sesgo del XCO_2 .”

- *Guía del Usuario de Datos de OCO-2 de Nivel 2*



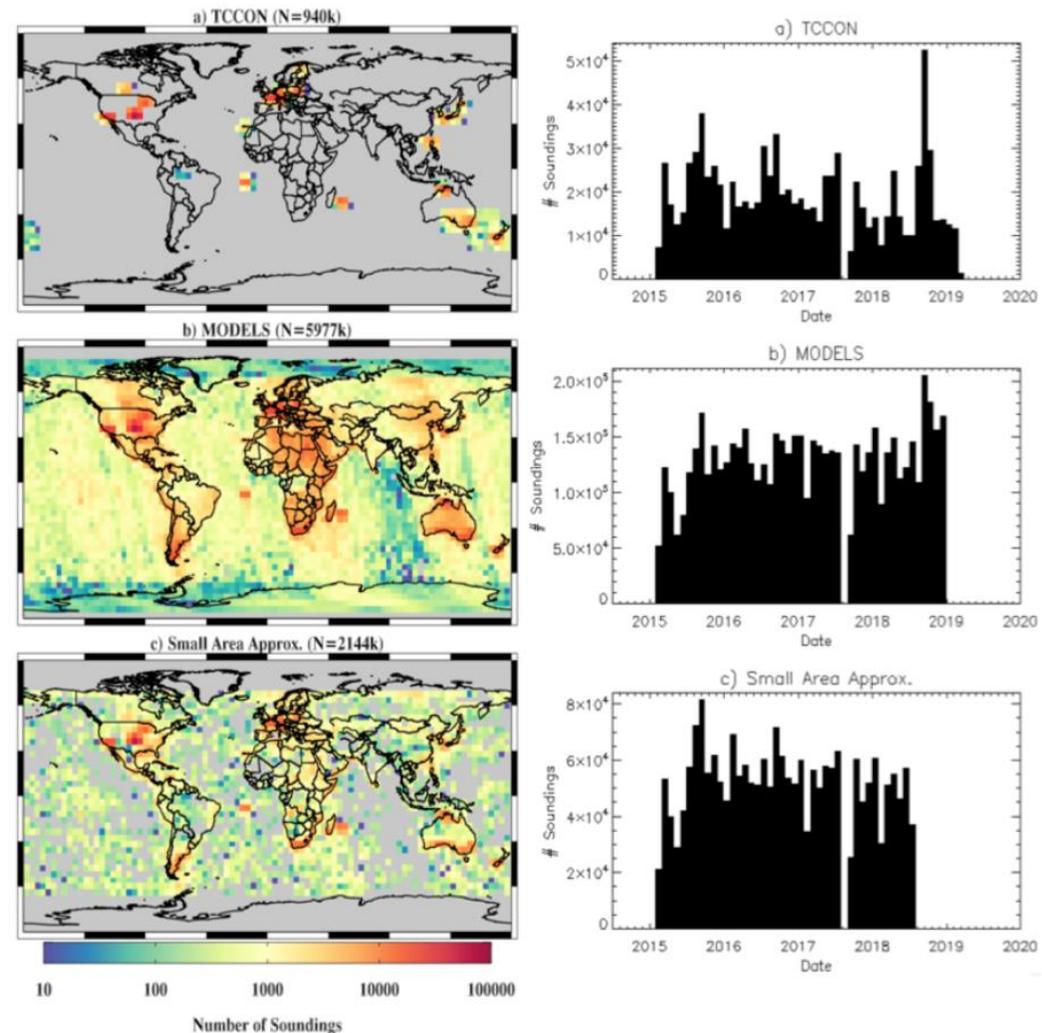
Filtrado y Corrección de Sesgos de las Mediciones Satelitales de XCO₂

Para desarrollar tanto los criterios de selección como los parámetros de corrección de sesgos para OCO-2 y OCO-3, se define un conjunto de "proxies de la verdad":

1. **TCCON XCO₂**
2. El "Small Area Analysis", en el que se supone que el XCO₂ es constante para las observaciones de OCO-2 realizadas a distancias $< \sim 100$ km dentro de la misma órbita.
3. Un **multi-model mean** (medio multimodelo) de modelos que tienen todos los datos in situ asimilados, y solo utilizando sondeos para los cuales todos los valores de los modelos concuerdan entre sí dentro de una tolerancia especificada.

El proceso para usar los proxies de la verdad para desarrollar criterios de detección y corrección de sesgos y el proceso completo de detección/corrección de sesgos está disponible en O'Dell et al., (2018) con especificaciones para la última versión proporcionada en la Guía del Usuario de Datos de Nivel 2.

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Mapas de densidad de sondeos y series temporales de sondeos de datos utilizados para guiar el filtrado y la corrección de sesgos de OCO-2 v10 (del Data User Guide)



¿Existe algún sesgo con los datos?

La Buena Noticia:

Los datos de OCO-2 y OCO-3 Lite que están disponibles en el GES DISC ya han sido filtrados y los sesgos corregidos.

El proceso para filtrar y corregir los sesgos está descrito en el Guía del Usuario de Datos de Nivel 2 de OCO-2/OCO-3.

1^{er} Paso: Corregir la dependencia de las huellas

2^{do} Paso: Utilizar un análisis regional para identificar términos dentro de las mediciones de OCO-2 que predicen sesgos o varianza inexplicada en el XCO₂

3^{er} Paso: Corrección de sesgos global utilizando TCCON como referencia

Orbiting Carbon Observatory-2 & 3
(OCO-2 & OCO-3)



Data Product User's Guide,

Advertencia:

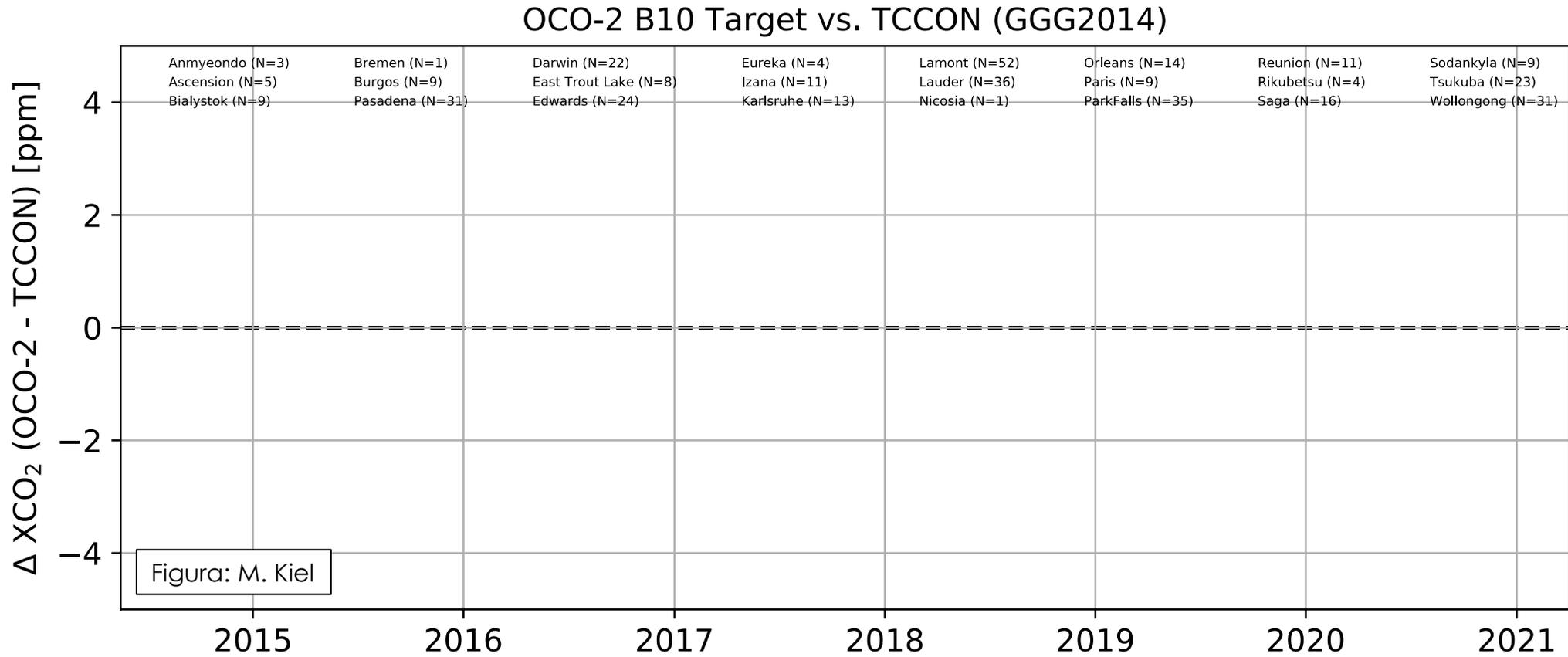
Hay muy pocas mediciones in situ o de teledetección que se pueden utilizar para validar en las regiones donde las mediciones satelitales del XCO₂ muestran las divergencias más grandes de los modelos globales .



¿Existe algún sesgo con los datos?

Para OCO-2: No hay evidencia de ninguna dependencia temporal significativa en el XCO_2 de OCO-2 v10 respecto a TCCON.

Para OCO-3: La última versión de los datos (v10.4) incluye una corrección para tener en cuenta los problemas de calibración de Nivel 1B temporalmente dependientes.



¿Se pueden combinar los datos de OCO-2 y OCO-3?

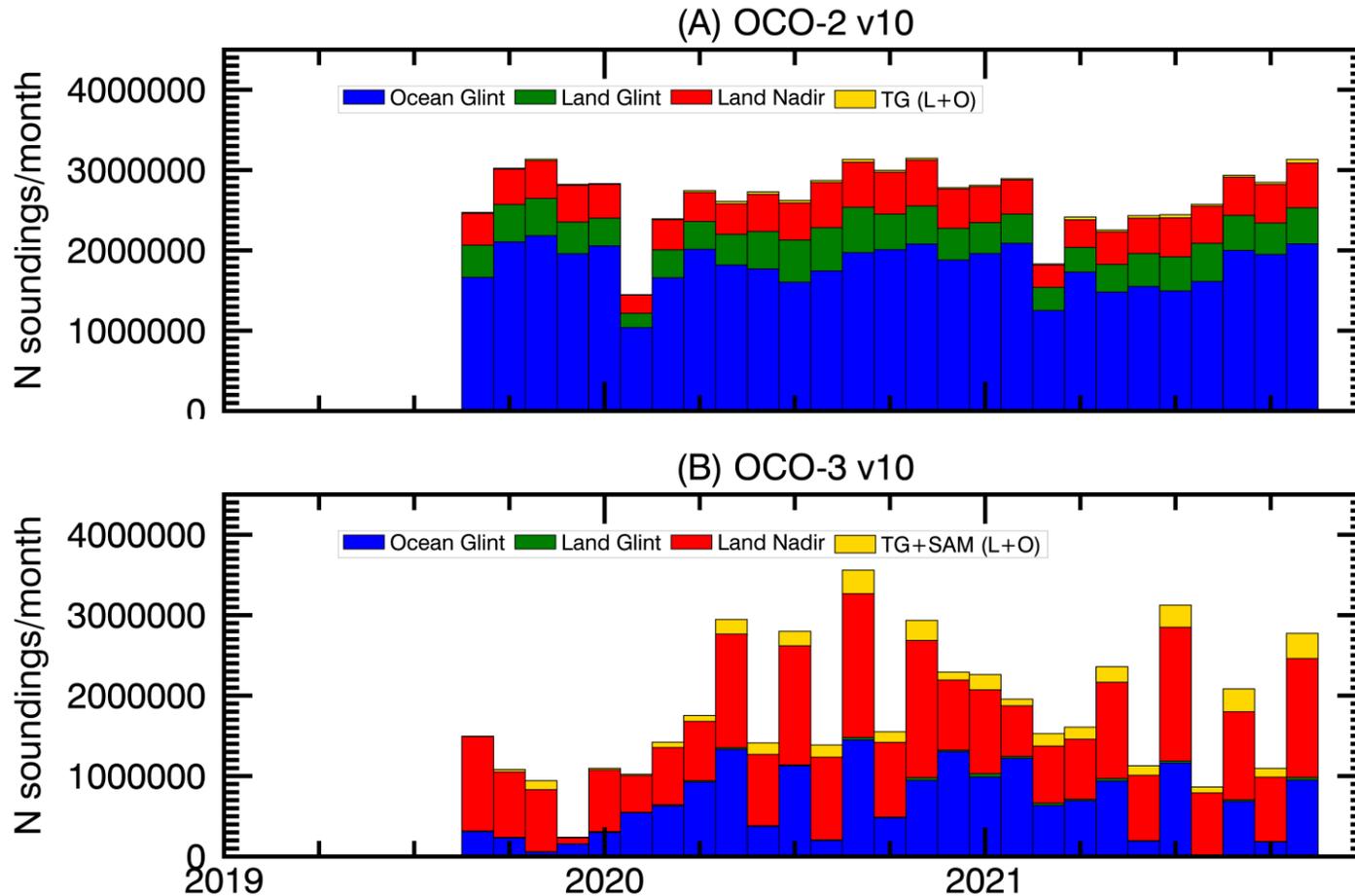


Figura: Tommy Taylor, CSU

¡Sí, se puede! Las dos mediciones tienen una cobertura diferente, pero complementaria. Las cifras anteriores muestran el número de sondeos durante la duración de la misión OCO-3 hasta el momento. OCO-2, lanzado en 2014, proporciona un registro temporal más extenso que OCO-3, lanzado en 2019. OCO-2 también brinda una cobertura latitudinal más amplia. Las observaciones de OCO-2 son más numerosas sobre los océanos, mientras que OCO-3 proporciona una cobertura más densa sobre tierra. En las regiones donde ambas mediciones se superponen, hay ciencia y aplicaciones que se pueden explorar.



¿Se pueden combinar los datos de OCO-2 y OCO-3?

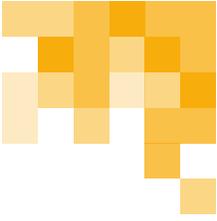
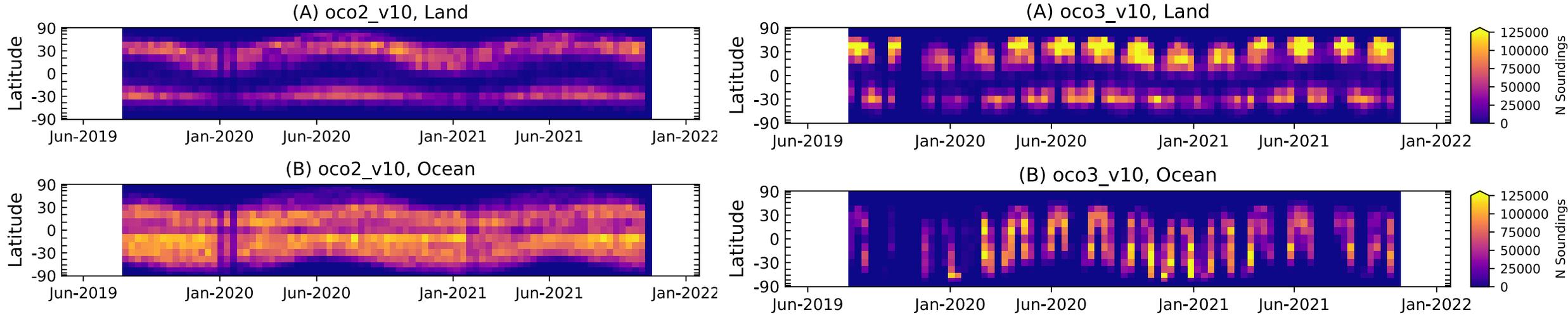
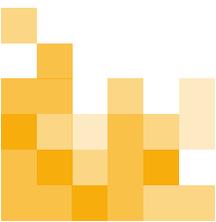


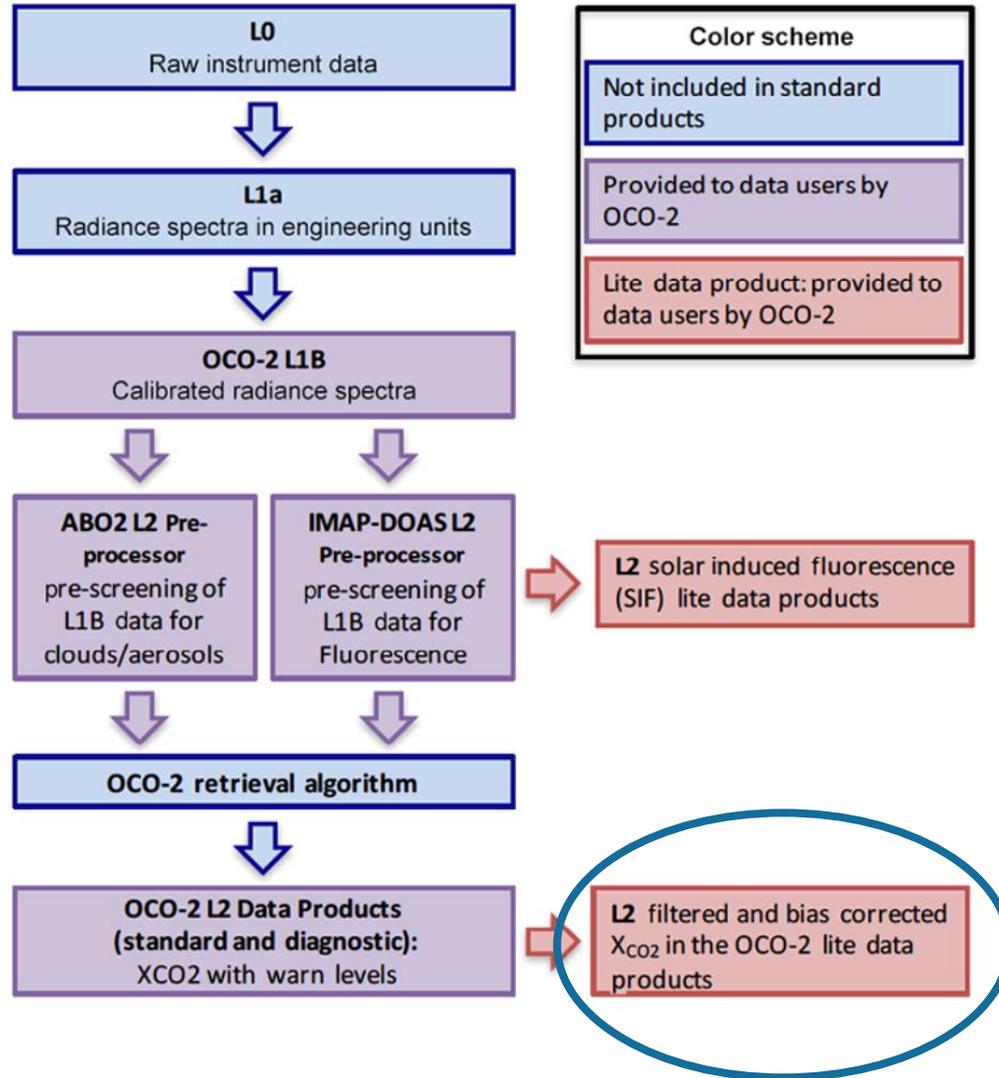
Figura:
Tommy Taylor, CSU



¡Sí, se pueden! Las dos mediciones tienen una cobertura diferente pero complementaria. Las figuras anteriores muestran otra forma de ver la densidad de la cobertura OCO-2 y OCO-3 una al lado de la otra.



Productos de Datos



Esta presentación se ha centrado en los productos de Nivel 2 (muestreo nativo del instrumento).

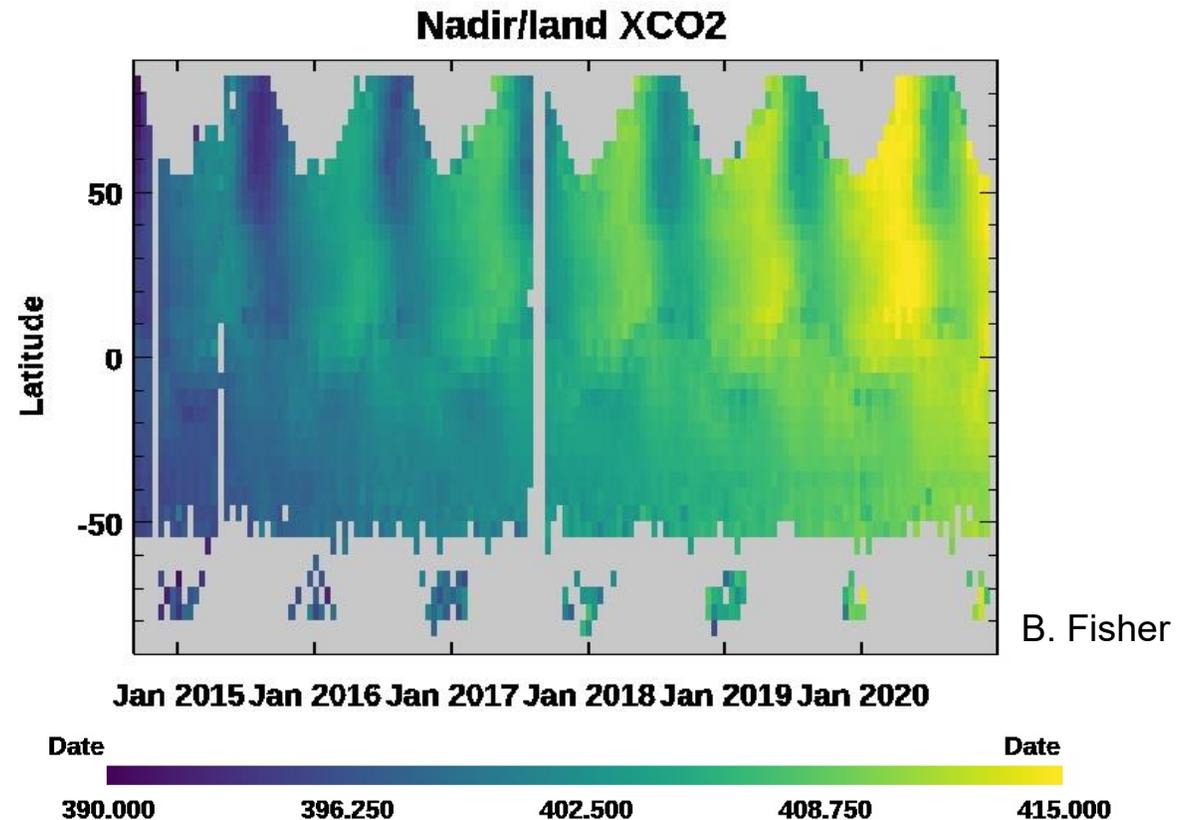
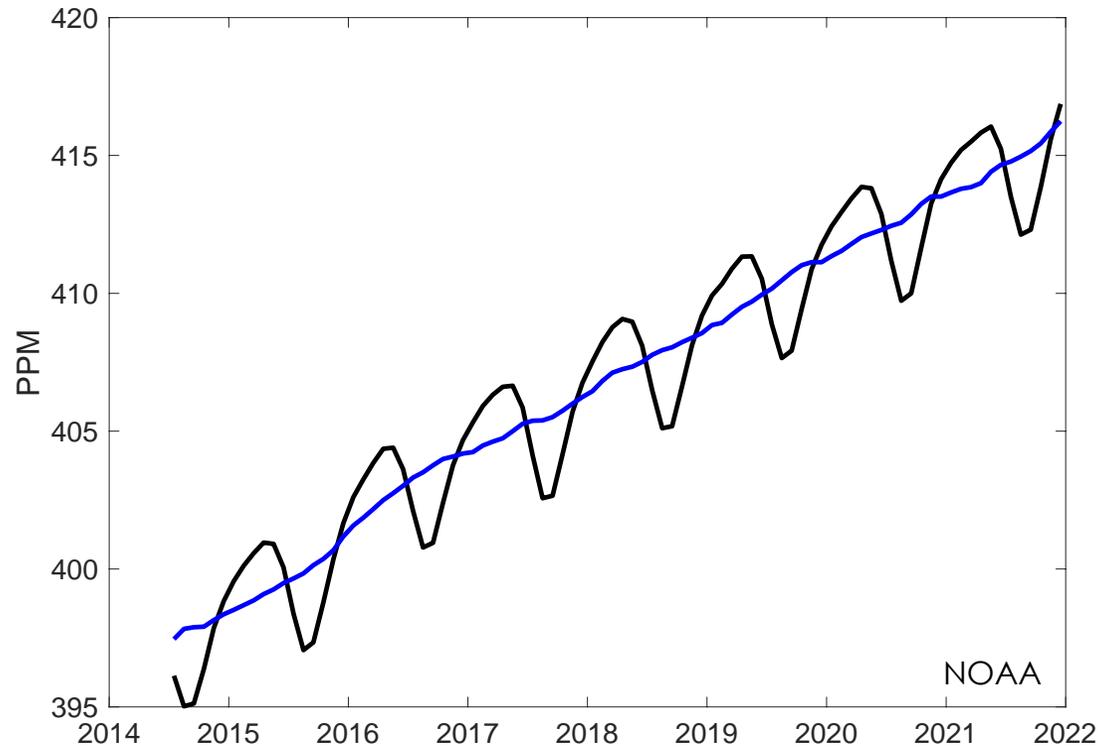
Productos de niveles superiores no cubiertos aquí:

- Nivel 3: Cuadrículados en latitud, longitud, tiempo
- Nivel 4: Flujos de CO₂

Habrà más información en la 3^{ra} parte el 31 de mayo



Las mediciones continúan...



- Desde el lanzamiento de OCO-2, el CO₂ global aumentó de 397.5 ppm a 418.7 ppm a partir del 13 de marzo de 2022; aumentando ~20ppm, o aproximadamente un 5% en relación con el nivel de CO₂ de julio de 2014.
- Las mediciones de OCO-2 y OCO-3 continúan brindando nuevos conocimientos sobre las fuentes y los sumideros de CO₂.



Contactos

- Presentadora:
 - Vivienne Payne: vivienne.h.payne@jpl.nasa.gov
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-measuring-atmospheric-carbon-dioxide-space-support-climate>
- Página Web de ARSET:
<https://appliedsciences.nasa.gov/arset>
- Twitter: [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)





¡Gracias!

