

Aplicaciones de Mediciones de Dióxido de Carbono para Estudios Relacionados con el Clima

3^{ra} Sesión: Mediciones del CO₂ Sobre un Área Urbana Extensa

Abhishek Chatterjee, OCO-3 Científico de Proyecto (NASA JPL), **David Moroni**, OCO-2/3 Desarrollador de Equipo (NASA JPL), & **Karen Yuen**, OCO-2/3 Directora de Aplicaciones (NASA JPL)

Julio 16, 2024

Agenda

Sesión 1: XCO2 de OCO-2 y OCO-3: Repaso de las Misiones y las Características y Limitaciones de los Datos

- 3:00 pm -5:00 pm horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Martes 9 de julio de 2024
- Instructora Invitada: Vivienne Payne (JPL)

Sesión 2: El Impacto de las Sequías en el CO2

- 3:00 pm -5:00 pm horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Miércoles 10 de julio de 2024
- Instructores Invitados: Junjie Liu (JPL), Karen Yuen (JPL), David Moroni (JPL)

Sesión 3: Mediciones de CO2 sobre un Área Urbana Extensa

- 3:00 pm -5:00 pm horario Este de EE.UU. (UTC-4:00)
- Martes 16 de julio de 2024
- Instructores Invitados: Abhishek Chatterjee (JPL), Karen Yuen (JPL), David Moroni (JPL)

Fecha de entrega de la tarea: 14 de agosto de 2024

Certificado de finalización: será otorgado a aquellos que asistan en vivo a todas las sesiones y completen la tarea



3^{ra} Sesión – Instructores Invitados



Abhishek Chatterjee

OCO-3: Científico de Proyecto, OCO-2:
Científico Suplente de Proyecto
JPL/NASA



David Moroni

OCO-2/3 Desarrollador de Equipo - ARSET
JPL/NASA



Karen Yuen

OCO-2/3 Directora de Aplicaciones
JPL/NASA



3ª Sesión - Objetivos

Al final de la 3ª sesión, los participantes podrán:

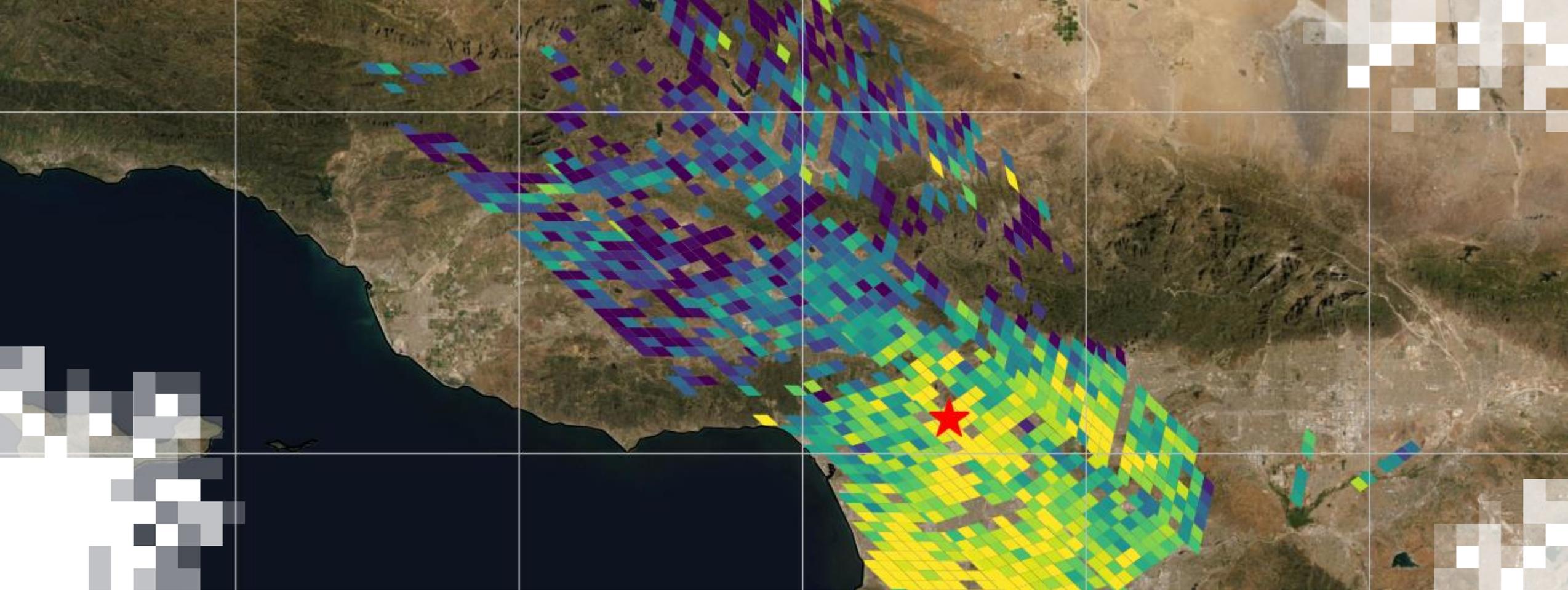
- Reconocer la importancia y los desafíos en las mediciones de CO₂ sobre áreas metropolitanas.
- Identificar aspectos importantes de las mediciones de CO₂ desde el espacio sobre áreas urbanas.
- Acceder, crear subconjuntos y descargar datos multianuales de OCO-3 SAM usando un cuaderno de Jupyter que se les proporcionará.
- Visualizar datos de CO₂ de OCO-3 SAM sobre zonas urbanas y realizar un análisis interpretativo y comparativo.



Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” y las responderemos al final de esta sesión.
- Puede escribir sus preguntas durante la sesión. Intentaremos responder todas las preguntas al final - durante el periodo de preguntas y respuestas.
- Las preguntas también las responderemos en el documento de preguntas y respuestas, el cual será publicado en la página de esta capacitación en aproximadamente una semana.

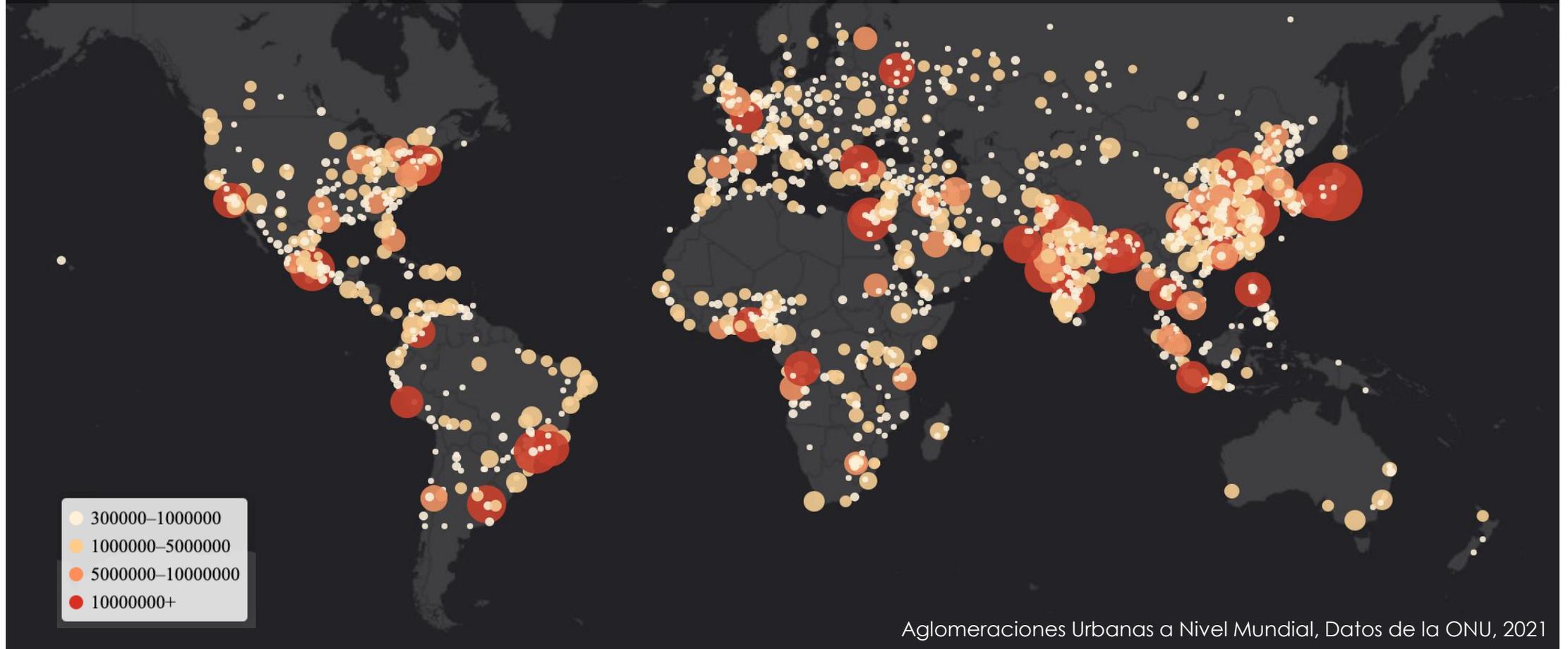




3^{ra} Sesión:
Sección 1: Áreas Urbanas y Emisiones de CO₂

Áreas Urbanas

Las Áreas URBANAS → Donde vive más del 50% de la población mundial, cubren solo el 2% de la superficie del mundo, consumen el 78% de la energía a nivel mundial y son responsables de **más del 60% de las emisiones de CO₂ de combustibles fósiles.**



Aglomeraciones Urbanas a Nivel Mundial, Datos de la ONU, 2021

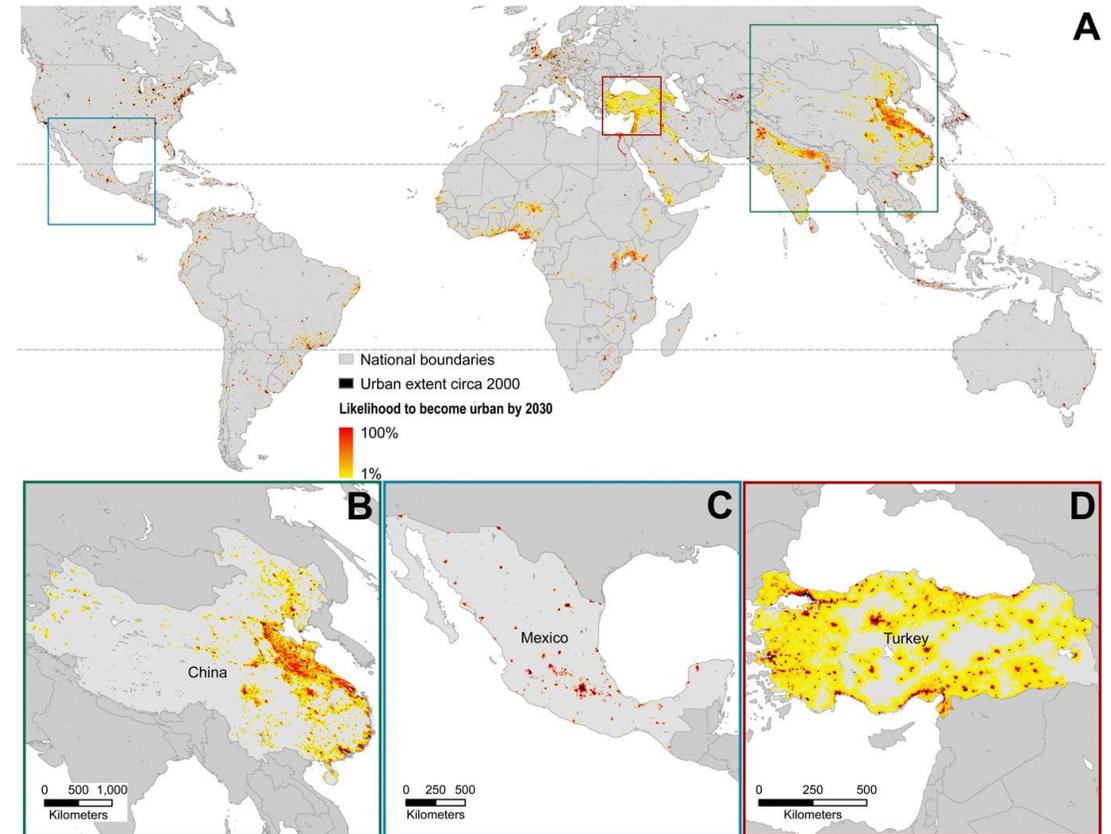


Crecimiento Anticipado de Áreas Urbanas

Proyecciones globales de probabilidades de expansión urbana, 2030:

- A. Variación significativa en la cantidad y probabilidad de expansión urbana.
- B. Es probable que gran parte de la expansión prevista se produzca en el este de China.
- C. Algunas regiones tienen una alta probabilidad de expansión urbana en lugares específicos.
- D. Otras tienen grandes áreas de baja probabilidad de crecimiento urbano.

Las líneas discontinuas denotan los límites norte y sur del trópico. De [Seto et al. 2012](#) (PNAS)



A

B

C

D

Dado que se prevé que el 68% de la población mundial viva en zonas urbanas en 2050, no es de extrañar que varias entidades se interesen por la acción climática, el monitoreo y la medición de las emisiones de GEI de las ciudades.

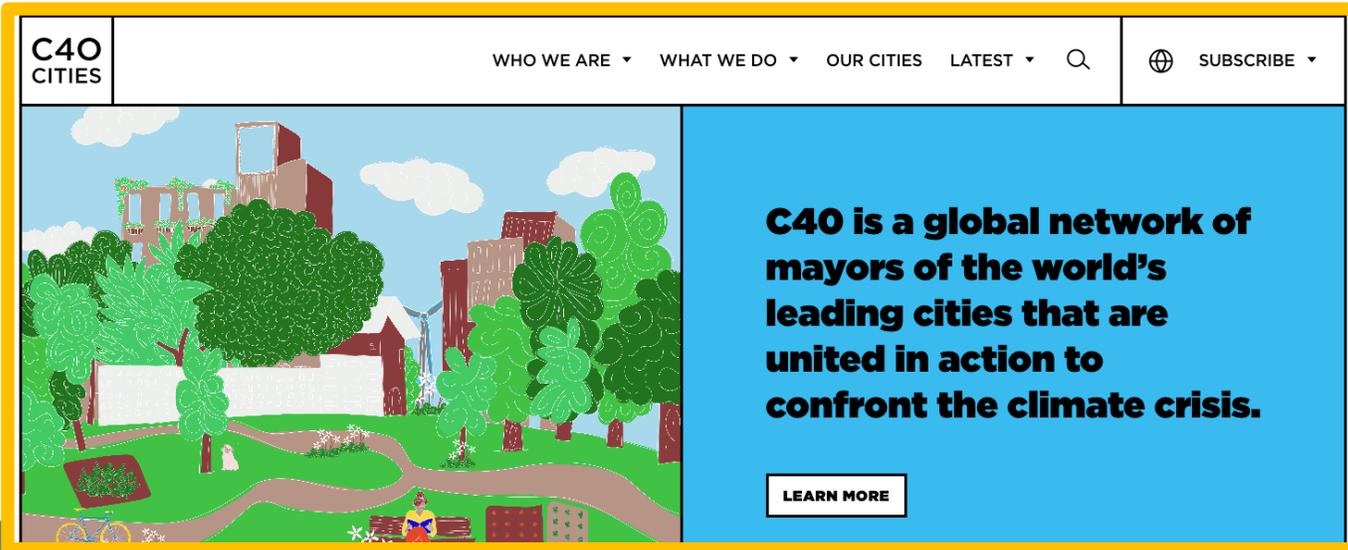
Vea más recursos sobre la [Urbanización](#) y los [Impactos Medioambientales del Crecimiento Urbano](#)



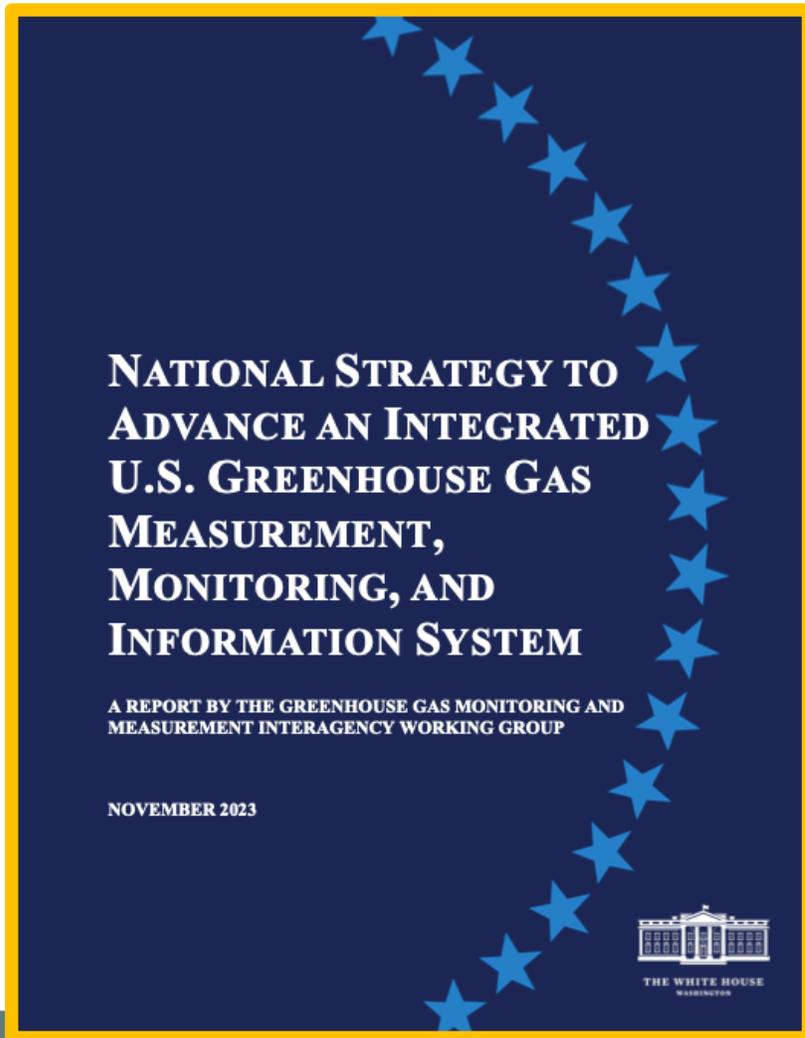
Significado del Monitoreo de Emisiones Urbanas de GEI



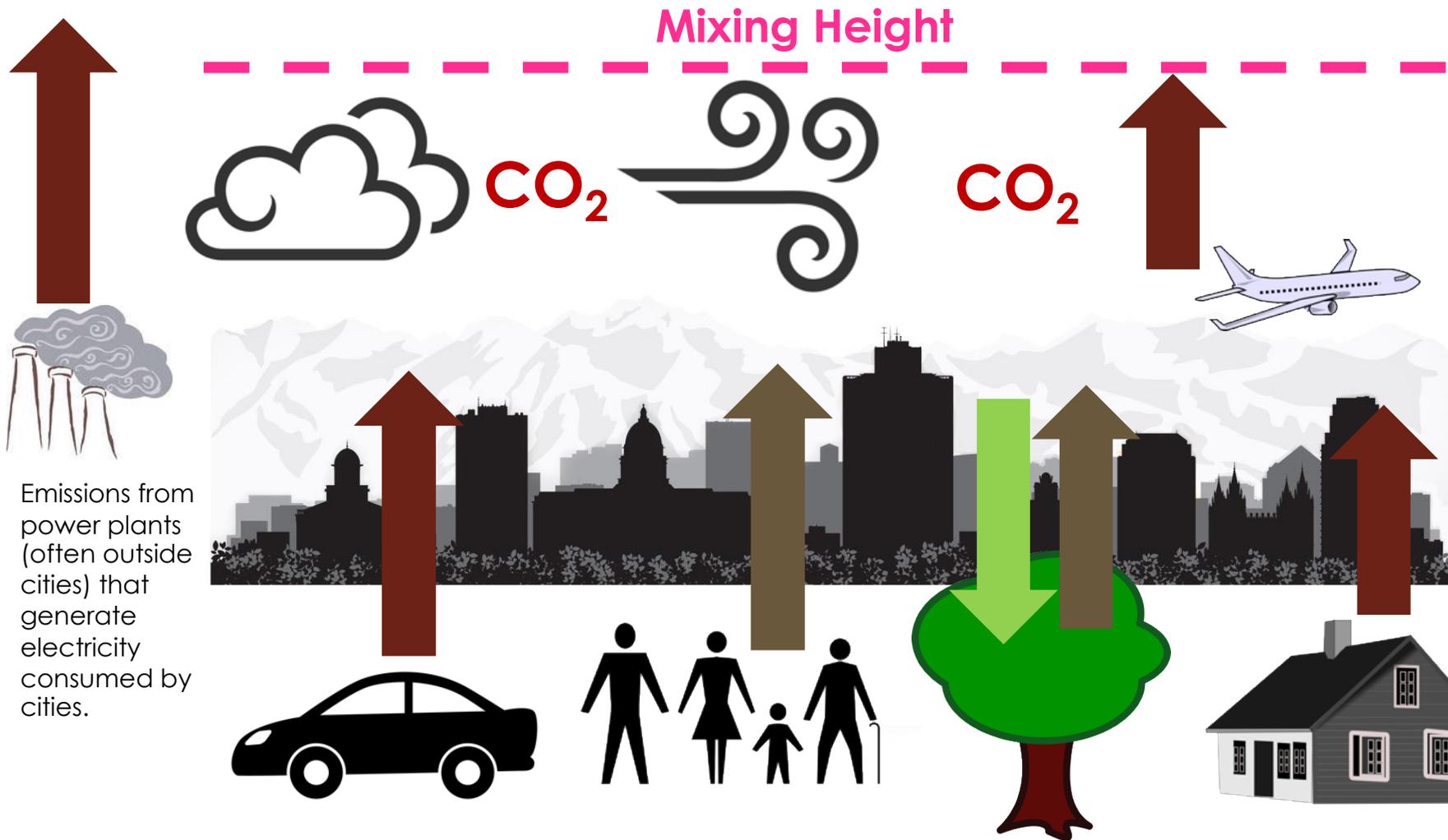
WORLD BANK GROUP



Prototipo a Escala Urbana para el Marco U.S. GHGMMIS



Fuentes de Emisiones de Carbono en las Ciudades



CO₂ AND CARBON EMISSIONS FROM CITIES

Linkages to Air Quality, Socioeconomic Activity, and Stakeholders in the Salt Lake City Urban Area

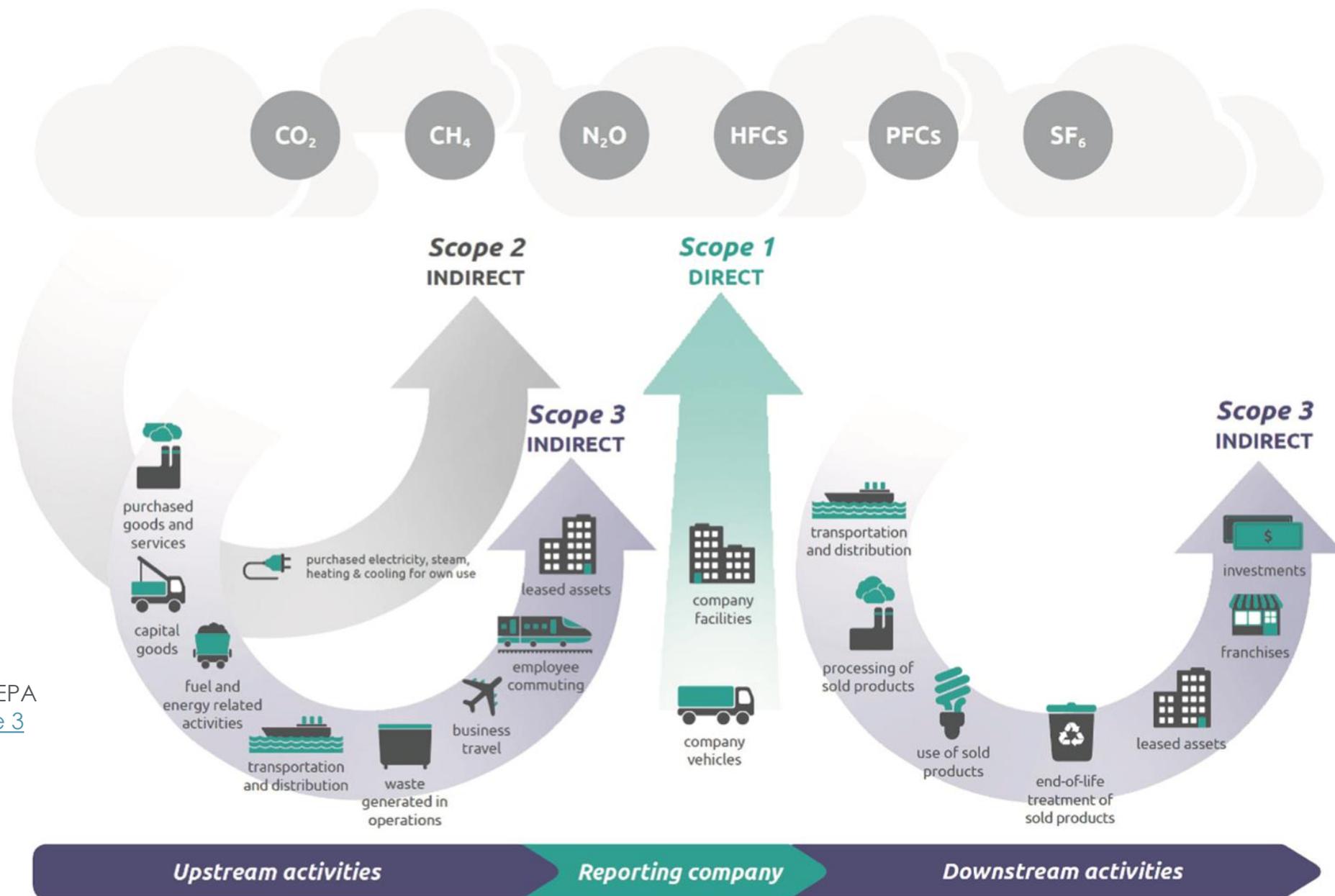
JOHN C. LIN, LOGAN MITCHELL, ERIK CROSMAN, DANIEL L. MENDOZA, MARTIN BUCHERT, RYAN BARES, BEN FASOLI, DAVID R. BOWLING, DIANE PATAKI, DOUGLAS CATHARINE, COURTENAY STRONG, KEVIN R. GURNEY, RISA PATARASUK, MUNKHBAYAR BAASANDORJ, ALEXANDER JACQUES, SEBASTIAN HOCH, JOHN HOREL, AND JIM EHLINGER

Observations and modeling of atmospheric CO₂ in the Salt Lake City, Utah, area help to quantify and understand urban carbon emissions and their linkage to air quality.

(Lin et al., BAMS, 2018)



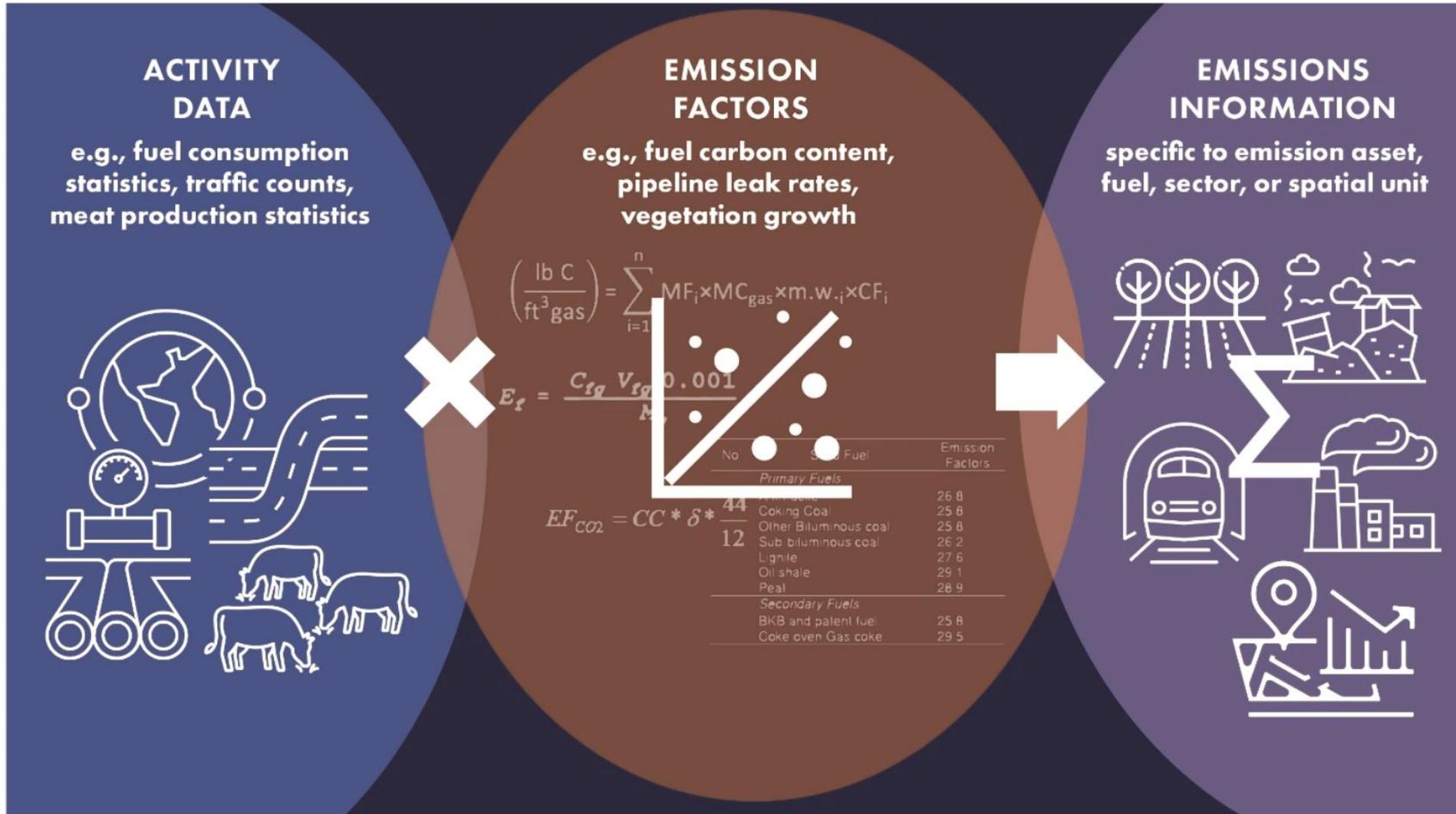
Clasificación de Emisiones de GEI Urbanas



Orientación de la EPA
[Scope 1, 2](#) y [Scope 3](#)



Estimación Ascendente de las Emisiones Urbanas



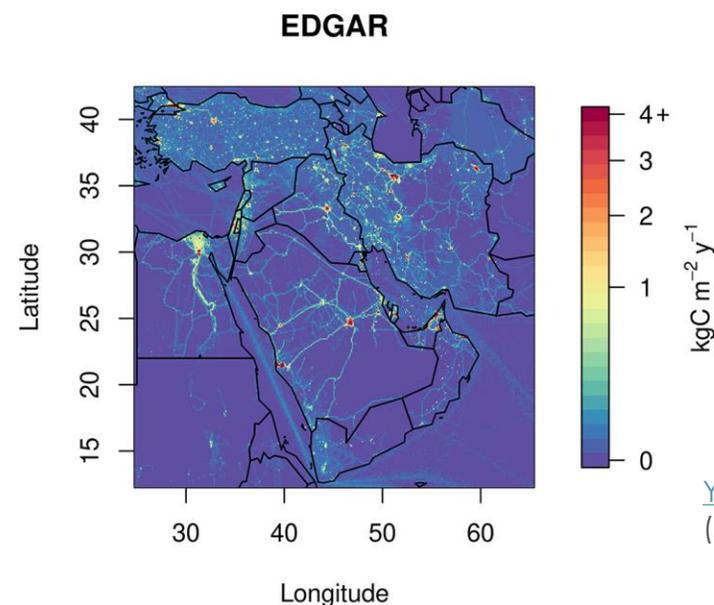
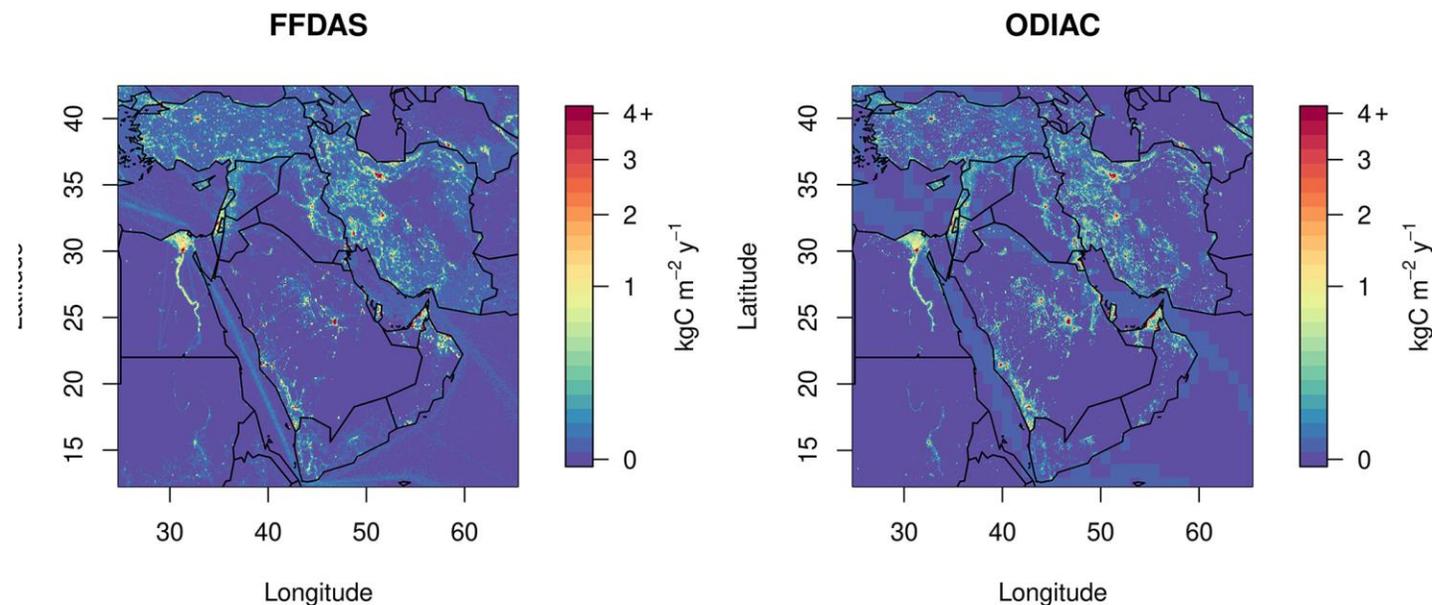
Las metodologías basadas en las actividades multiplican los datos de actividades (indicadores representativos o impulsores de las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI], como las estadísticas de consumo de combustible, la población, el conteo de equipos, los conteos de tráfico) por un factor de emisión (un coeficiente que representa la emisión o eliminación de un GEI por unidad de actividad) para producir totales de emisiones de GEI o emisiones por sector.

[Greenhouse Gas Emissions Information for Decision Making, NAS 2022](#)



Ejemplo de Estimación Ascendente de las Emisiones Urbanas

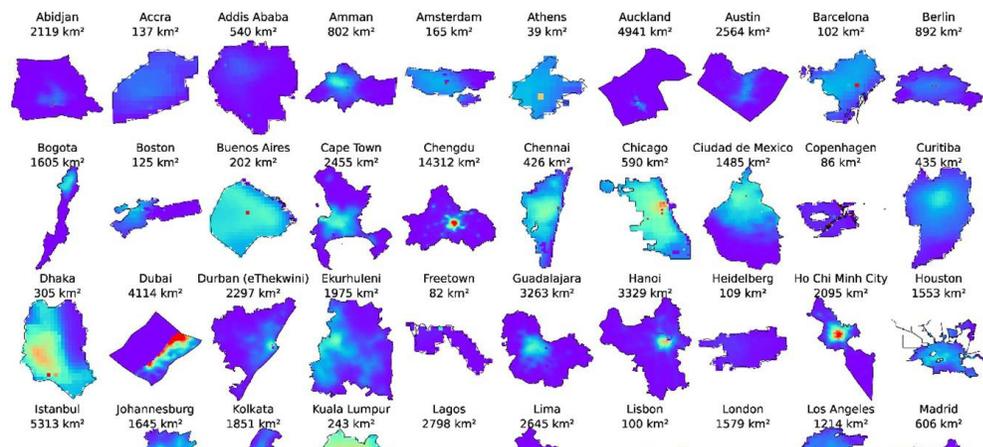
- Comparación de las representaciones del inventario global de emisiones de CO₂ de combustibles fósiles de Oriente Medio, mostradas con escala de raíz cuadrada: FFDAS, ODIAC y EDGAR.
- Las tres representaciones difieren tanto en la distribución espacial como en la magnitud de las emisiones.
- Tenga en cuenta que todos los inventarios se muestran en sus resoluciones nativas.



[Yang et al. 2020,](#)
(JGR-Atmospheres)



Los Inventarios de Emisiones Ascendentes Están Mejorando, pero Aún Existen Diferencias



Las diferencias son *altamente regionales* → ciudades en países del Anexo I versus países no de Anexo I.

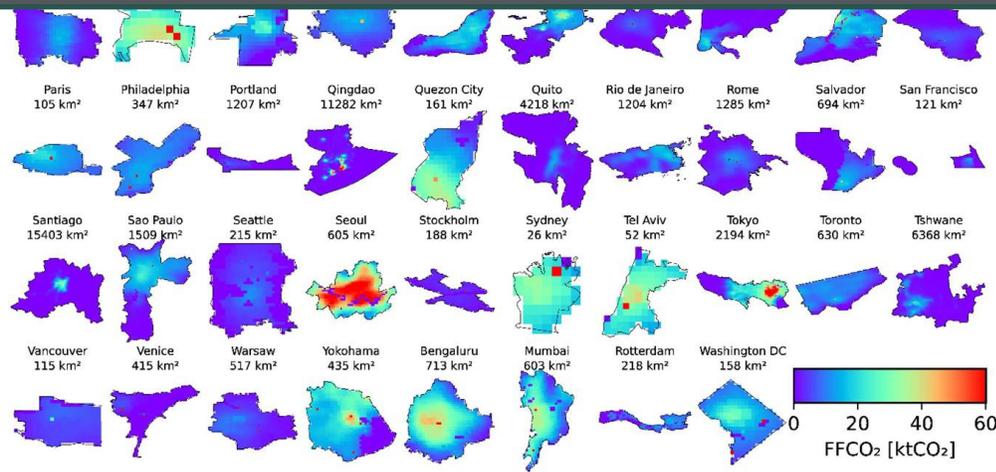
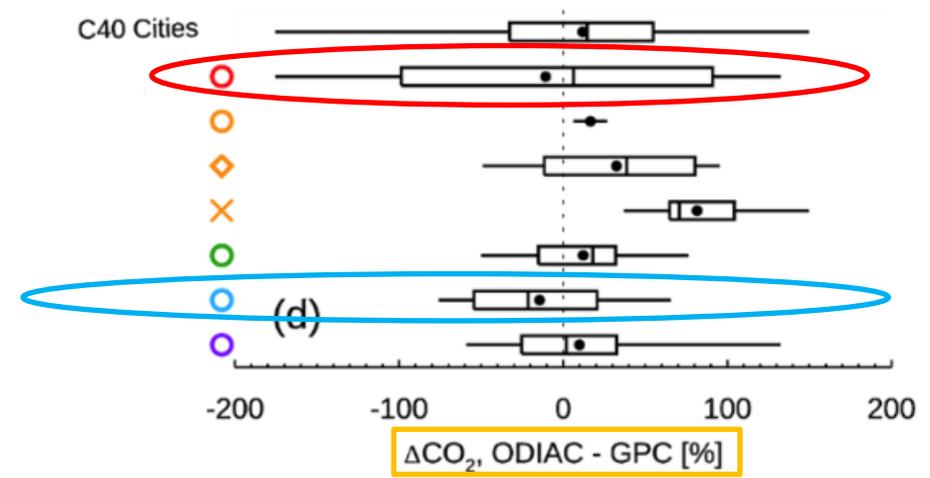
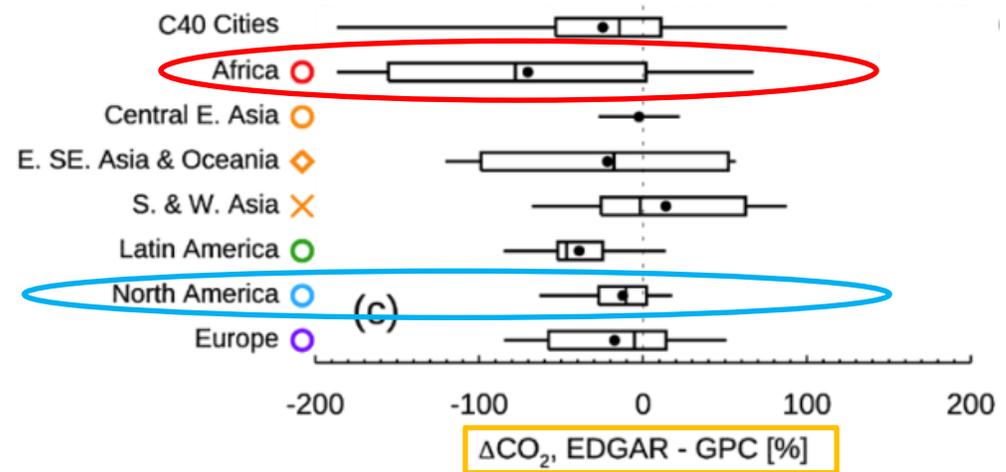


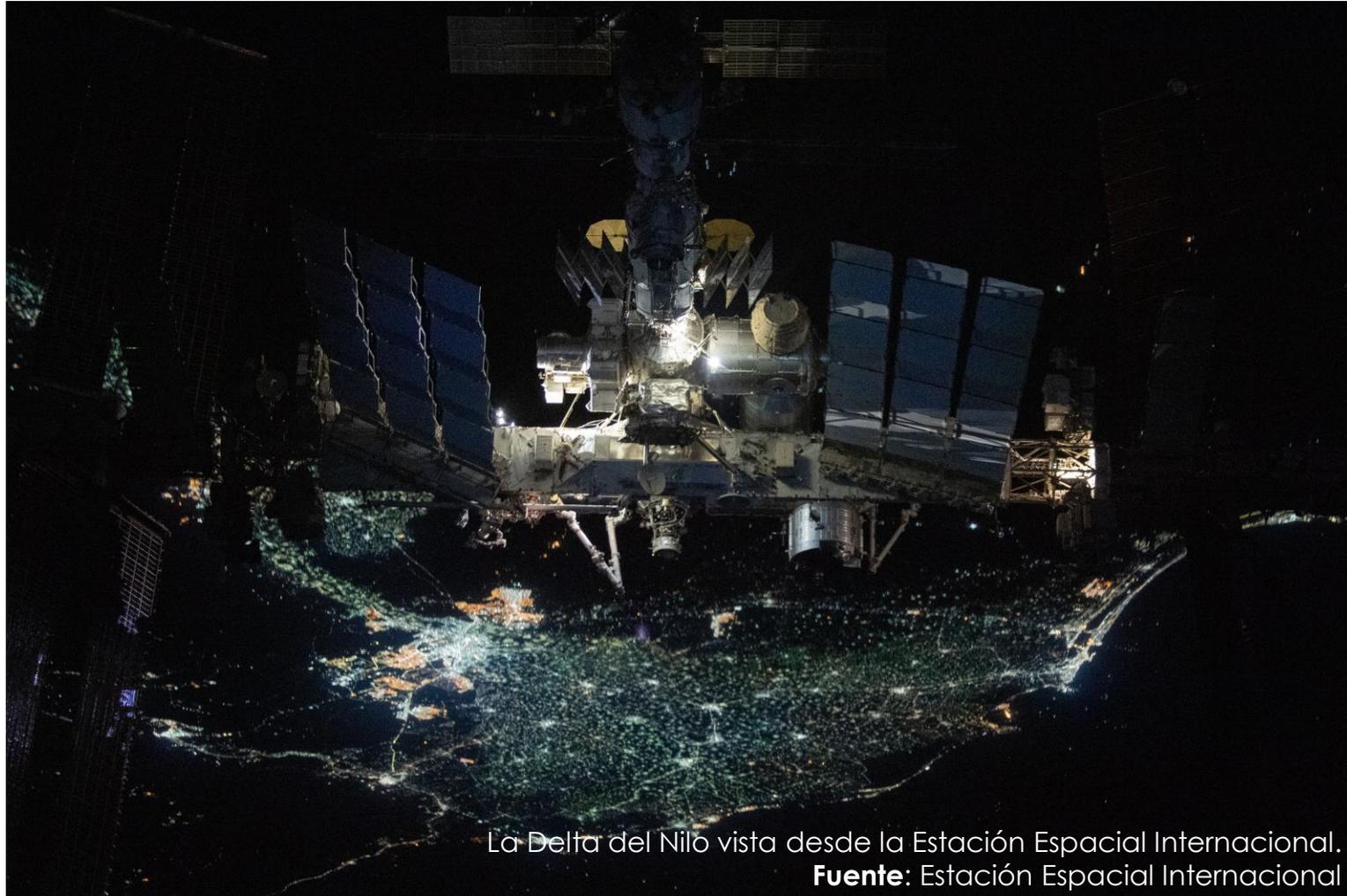
Figure 1. Overview of the 78 C40 cities analyzed in this study. The area size for each city is shown. Color scales show ODIAC's fossil fuel CO₂ emissions (unit: ktCO₂ km⁻² yr⁻¹, year 2015).



Ahn et al., 2023, Environ. Res. Lett.

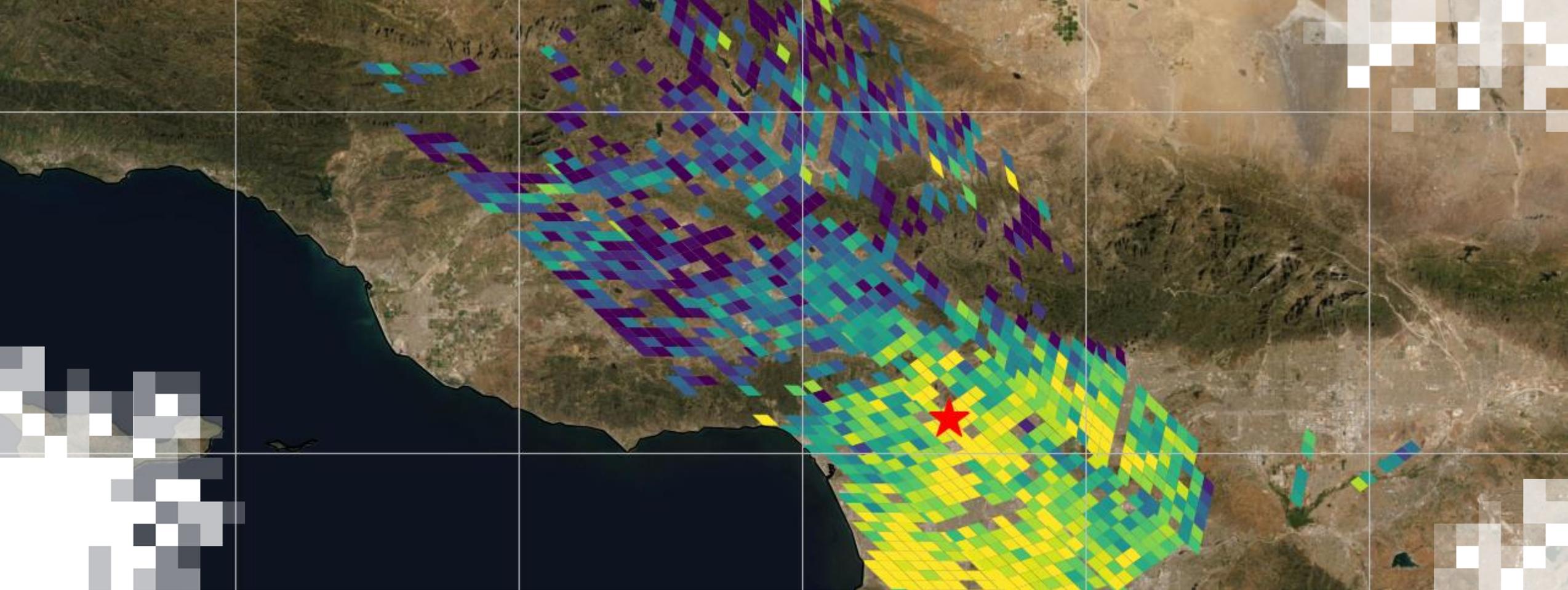


¿Pueden los Datos Espaciales Proporcionar un Control de las Estimaciones Derivadas de los Inventarios Ascendentes, la Contabilidad y los Estudios de Modelación?



La Delta del Nilo vista desde la Estación Espacial Internacional.
Fuente: Estación Espacial Internacional

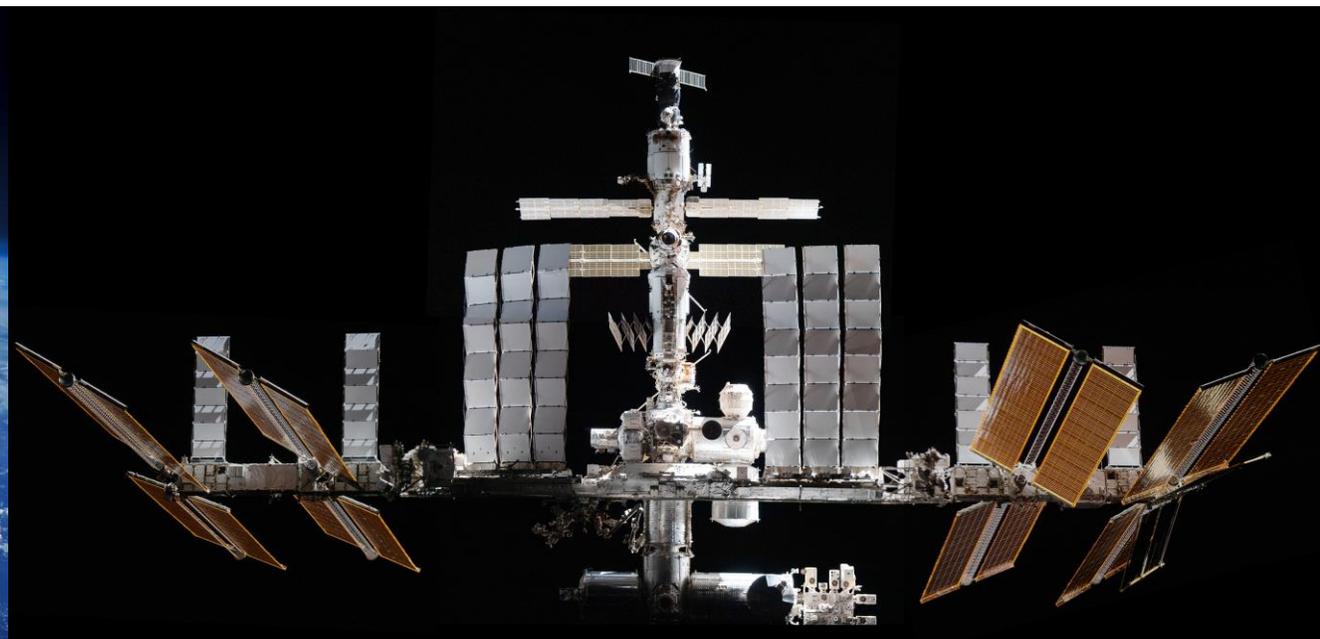
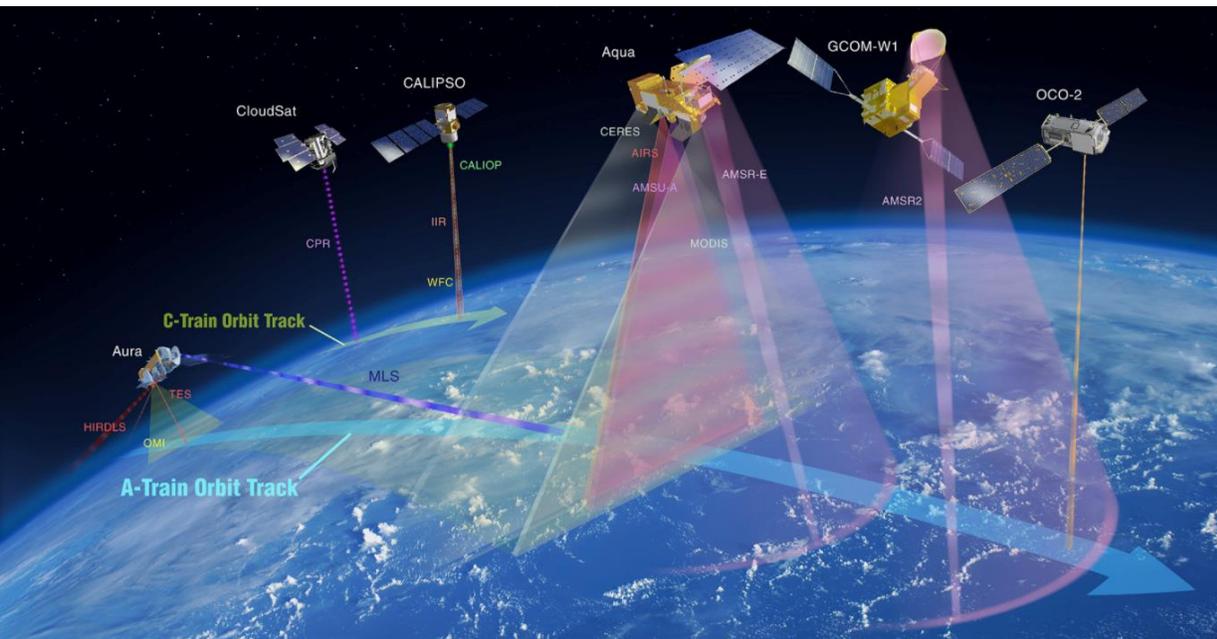




3^{ra} Sesión:
Sección 2: Observaciones de OCO-3 Modo “Snapshot Area Mapping” (SAM)

Repaso de la 1ª Parte – OCO-2 y OCO-3

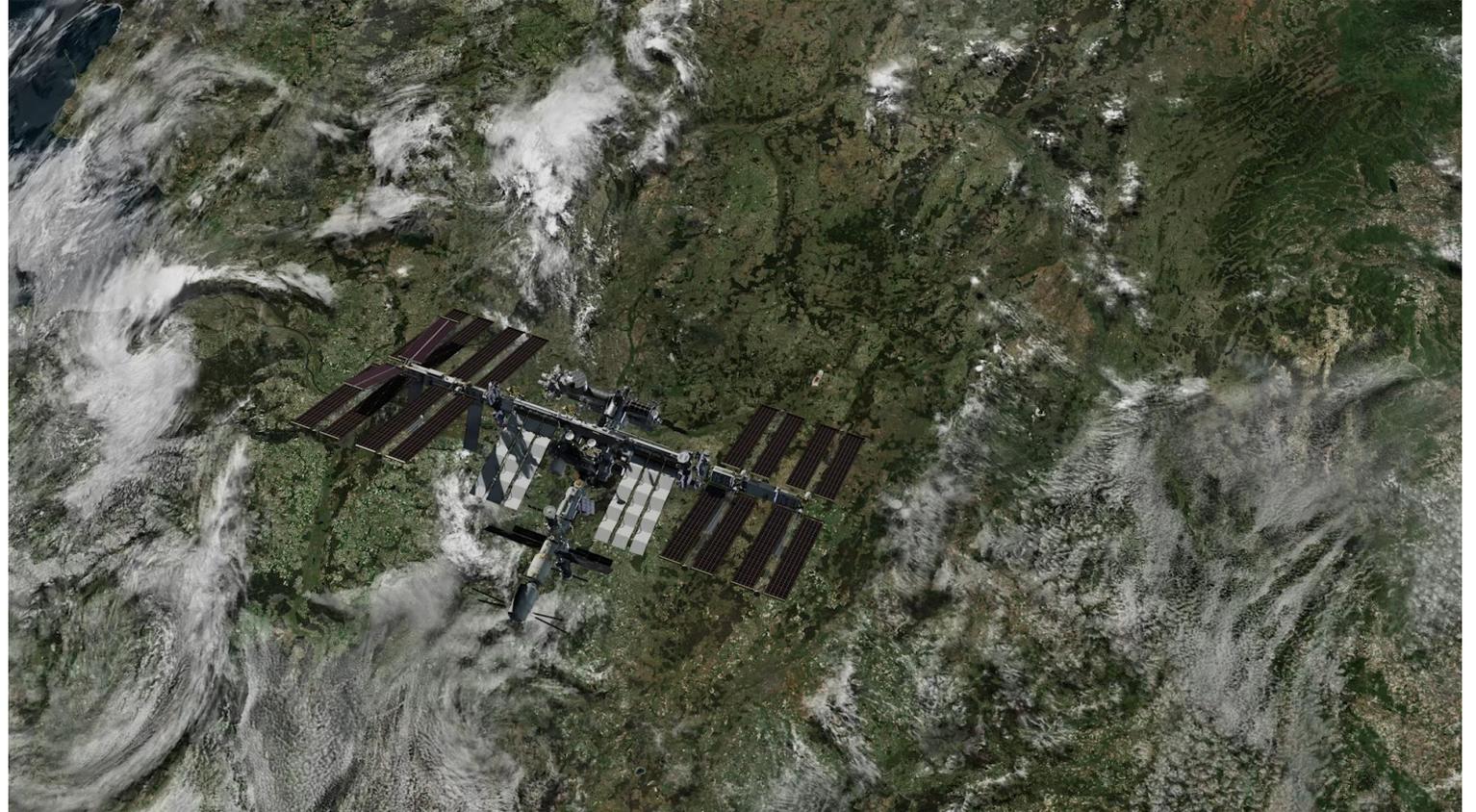
- Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2)
 - Lanzado el 2 de julio de 2014
 - Órbita polar heliosincrónica (A-Train)
 - Mide tanto el promedio de CO₂ de la columna atmosférica (XCO₂) como la fluorescencia de la clorofila inducida por el sol (SIF, por sus siglas en inglés)
- Orbiting Carbon Observatory-3 (OCO-3)
 - Lanzado el 4 de mayo de 2019
 - ISS (JEM-EF Port 3), órbita inclinada de $\pm 52^\circ$
 - Mide tanto el promedio de CO₂ de la columna atmosférica (XCO₂) como la fluorescencia de la clorofila inducida por el sol (SIF, por sus siglas en inglés)



El Cuarto Modo de Observación Único de OCO-3 – Modo SAM

Modo de observación “Snapshot Area Mapping” (SAM)

- Se enfoca en las emisiones localizadas de actividades humanas (megaciudades, centrales eléctricas, vertederos) adquiriendo mediciones similares a las de un "mapa"
- Recopila datos en un área de ~80 km × 80 km en 2 minutos
- Complementa las mediciones de nadir y destello casi globales de las operaciones rutinarias

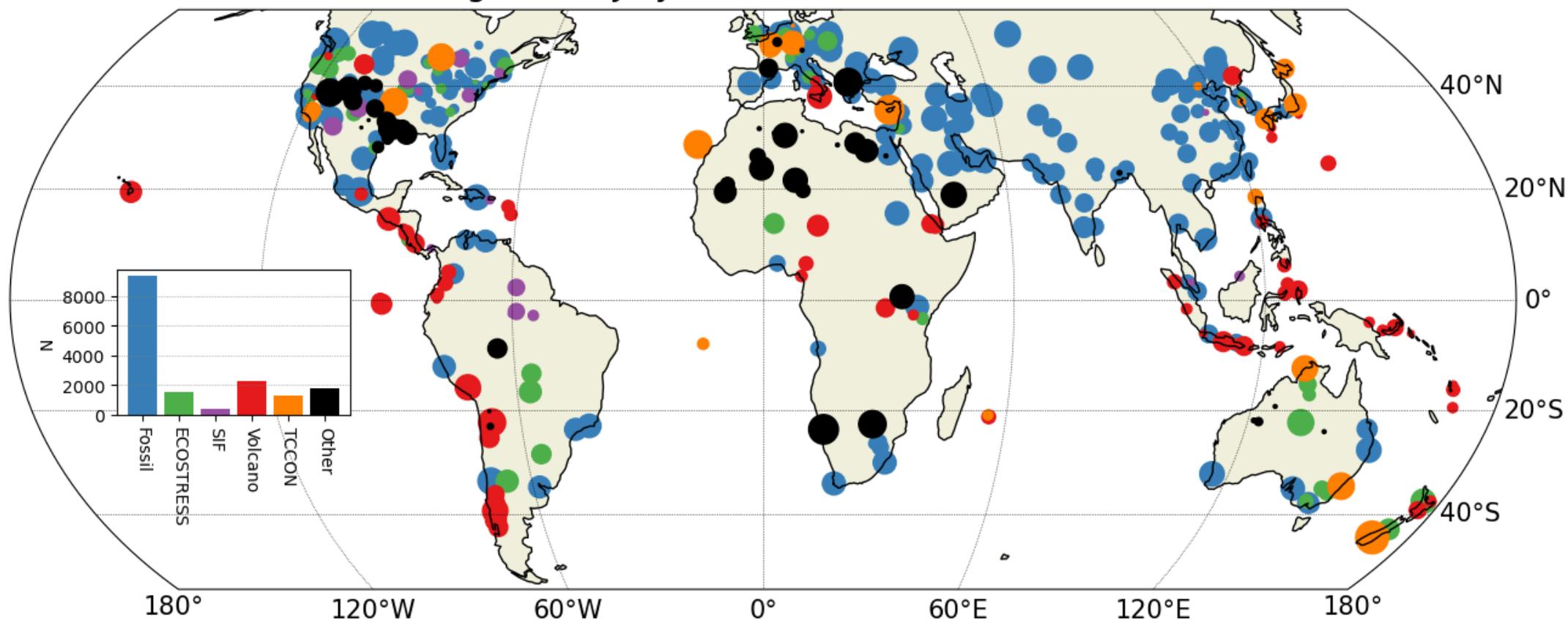


Video: Animación que muestra el modo de operación SAM sobre una fuente puntual; en este ejemplo, vemos mediciones de XCO₂ sobre la central eléctrica de Bełchatów (Polonia) desde tres pasos de la ISS por encima.



Ubicación de Observaciones con el Modo SAM de OCO-3

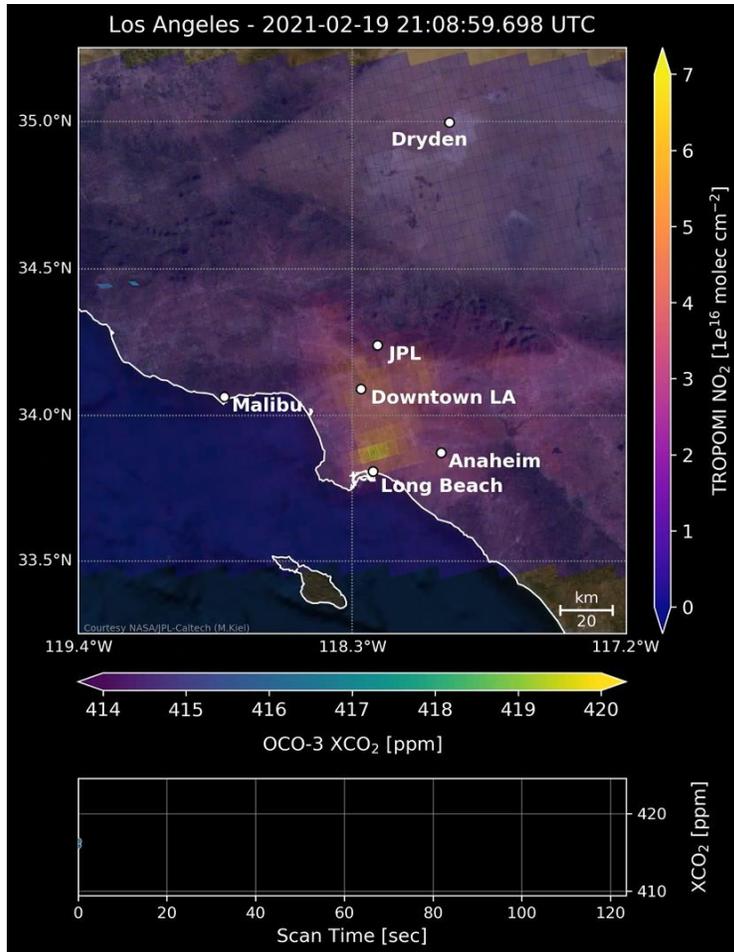
OCO-3 SAMs/Targets, 26 July 2019 - 12 November 2023, N = 16530



Todos los puntos azules en el mapa son puntos críticos de emisión – o áreas urbanas/megaciudades o centrales eléctricas u otros superemisores. Ver Página [OCO-3 SAM webpage](#).

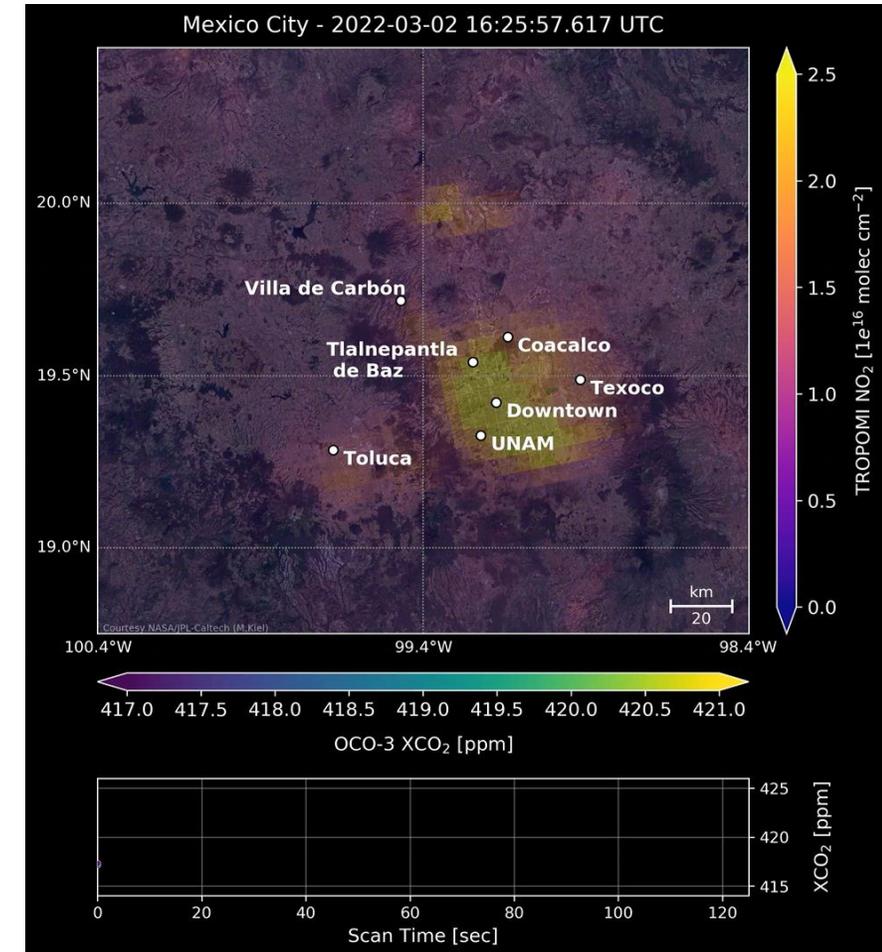


Observaciones OCO-3 SAM sobre Áreas Urbanas– 2 Ejemplos



← Los Ángeles
Ciudad de México →

- Se han utilizado observaciones similares de OCO-3 SAM realizadas en otras áreas urbanas para estimar las emisiones urbanas de CO₂.
- En la lista a continuación puede encontrar publicaciones claves. 

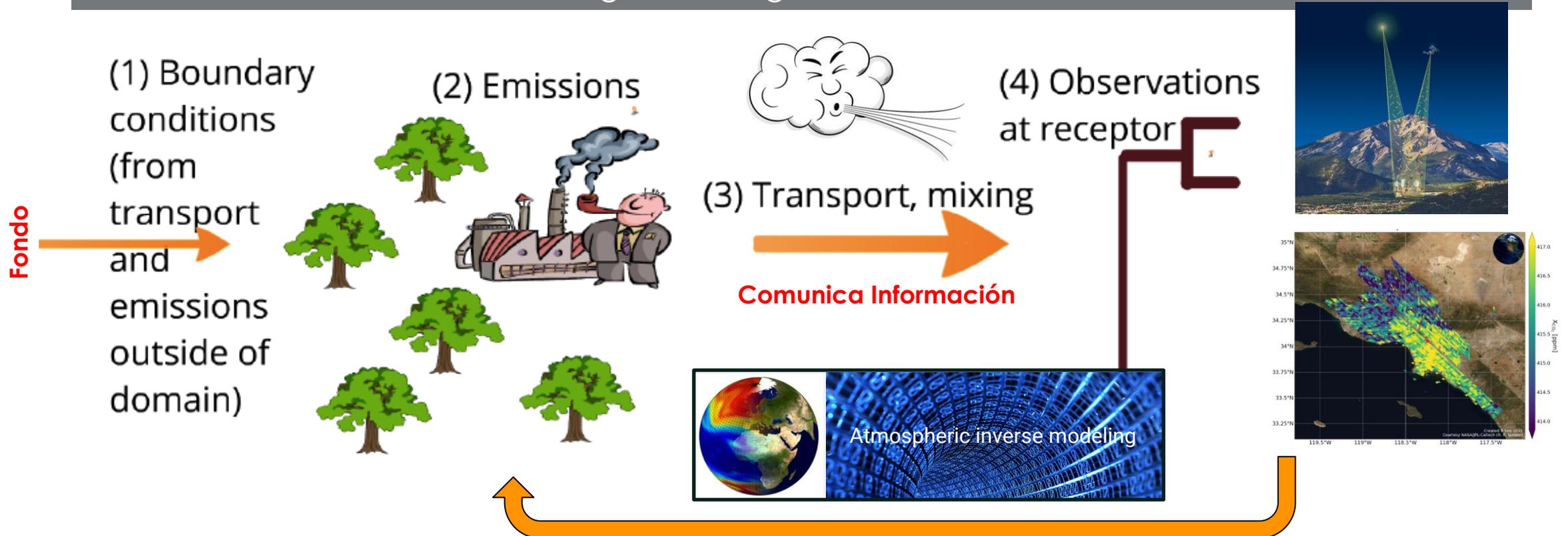


Key References: [Kiel et al. 2021](#) (RSE); [Wu et al. 2022](#) (ACP); [Lei et al. 2022](#) (RSE); [MacDonald et al. 2022](#) (ACP); [Yang et al. 2023](#) (JGR-Atmospheres); [Roten et al. 2023](#) (GRL); [Fonseca and Francis 2024](#) (Front. Environ. Sci.); [Che et al. 2024](#) (JGR-Atmospheres)



Metodología Descendente para Estimar Emisiones Urbanas

Las observaciones de OCO-3 llevan INFORMACIÓN sobre las emisiones y los procesos en la región de origen a barlovento



PERO: La atmósfera es un canal de comunicación IMPERFECTO (pérdida de información por mezcla); Y nuestra capacidad para decodificar la información a través de modelos atmosféricos inversos está sujeta a incertidumbres, siendo un aspecto clave el "fondo"



Determinando las Concentraciones de CO₂ de Fondo

- Fondo = XCO₂ atmosférico que no ha sido “contaminado” de emisiones de o dentro del área urbana de interés
- Las definiciones de “fondo” varían entre estudios con diferentes aplicaciones. Por ejemplo, algunos estudios han utilizado –
 - **Definiciones geográficas** ([Kort et al., 2012](#); [Schneising et al., 2013](#)) o **estimaciones estadísticas** ([Hakkarainen et al., 2016](#); [Silva y Arellano, 2017](#)) para seleccionar las mediciones a barlovento para derivar los valores de fondo,
 - **Mediciones** totales de la columna **realizadas a barlovento** ([Kiel et al., 2021](#)),
 - **Método trayectoria-punto final** ([Lin et al., 2017](#)) que establece el fondo basado en el CO₂ extraído en puntos finales de trayectorias invertidas de campos de concentración regionales/mundiales modelados
 - **Método específico de sobrevuelos** ([Wu et al., 2018](#)) que requieren una columna urbana definida por un modelo y mediciones fuera de la columna que se examina
- Nota: Para el ejercicio posterior, vamos a utilizar la metodología más simple y elegir un valor de fondo constante y aleatorio de 410 ppm solo con fines de visualización e ilustración. Para la investigación científica, se deben utilizar las técnicas mencionadas anteriormente.



Incertidumbres en las Estimaciones de Emisiones Urbanas

METODOLOGÍA DESCENDENTE

- Resolución de la cuadrícula utilizada para estimar las emisiones: definición espacial y temporal limitada
- Solo puede proporcionar estimaciones de emisiones de Scope 1 (primer alcance)
- Errores debidos al viento, al clima y a la determinación de las condiciones de fondo
- Influencia de la biosfera urbana que puede confundir la señal observada en las observaciones

PERO ...

- Considera las observaciones atmosféricas **de la vida real**
- Proporciona un importante control de validez en las estimaciones de emisiones ascendentes

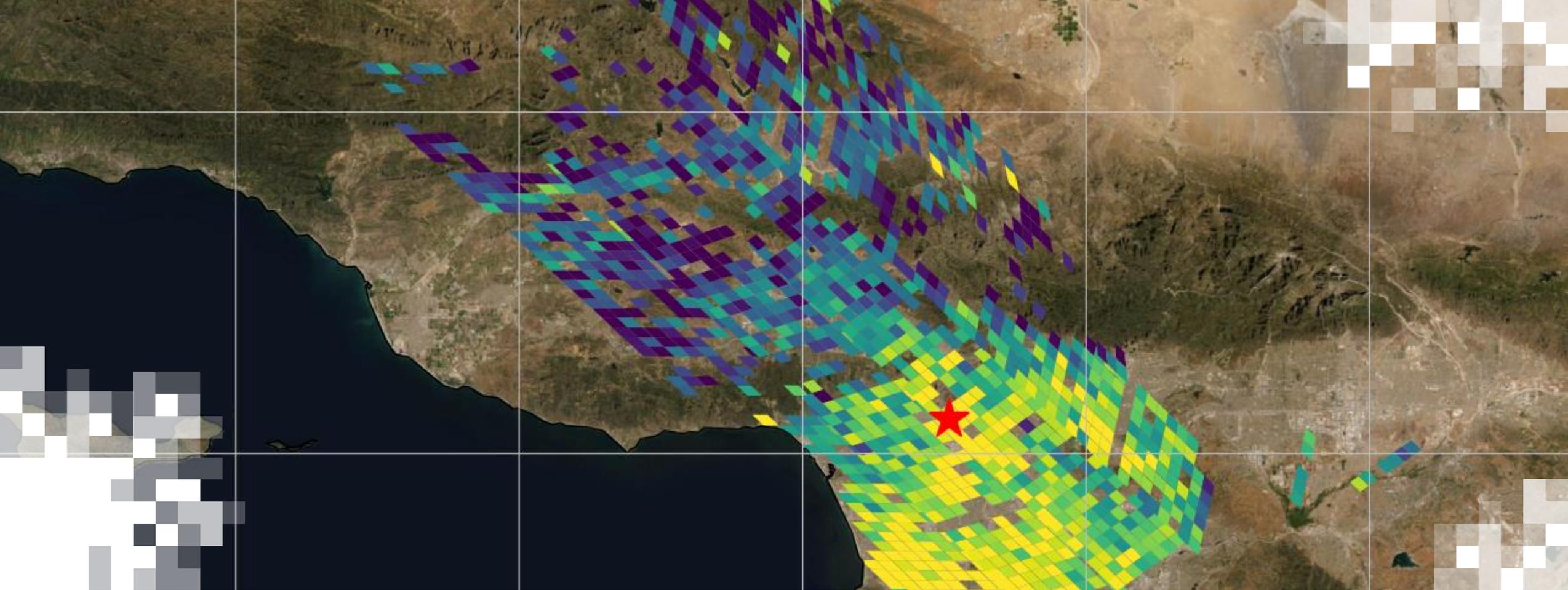
METODOLOGÍA ASCENDENTE

- Se basa en datos de actividad económica/energética auto reportados en todos los sectores socioeconómicos
- Es posible que se pasen por alto sectores específicos y que las estimaciones de emisiones se reporten por debajo de la realidad
- Puede producirse un desfase temporal de varios años debido a la gran cantidad de datos necesarios
- Sensible a la metodología constructiva utilizada

PERO ...

- Se puede generar con alta resolución espacial y temporal
- Proporciona estimaciones de **Scope 1+2+3**

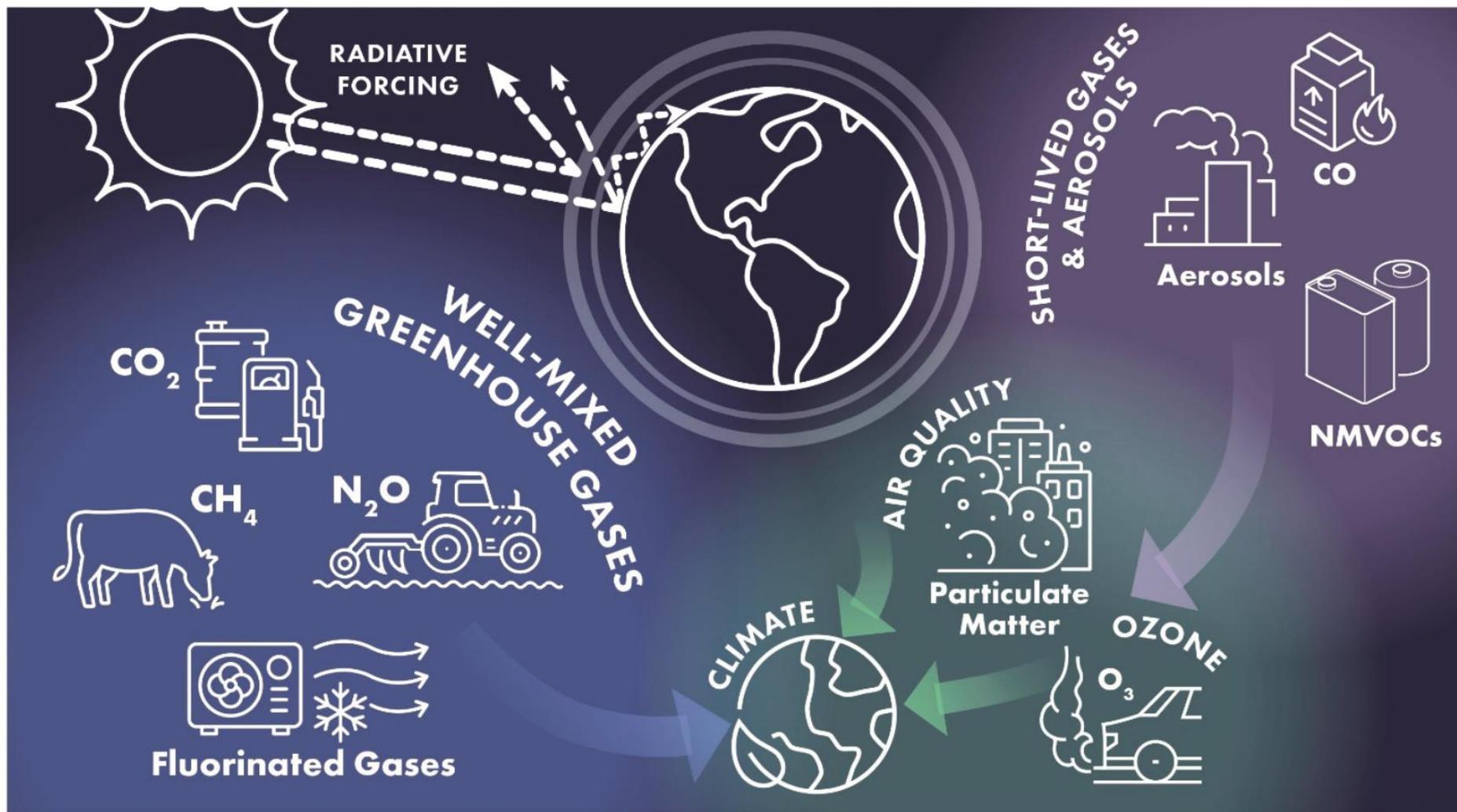




3^{ra} Sesión:

**Sección 3: Emparejamiento de Observaciones de CO₂ de
OCO-3 con Mediciones de Especies Coemitidas**

Gases de Efecto Invernadero Coemitidos y Otras Especies de Áreas Urbanas



Los gases de efecto invernadero bien mezclados (izquierda) y los gases y aerosoles de vida más corta (arriba a la derecha) influyen en el clima, el ozono y la calidad del aire. Los gases de efecto invernadero y los aerosoles influyen en el forzamiento radiativo y en los cambios de la temperatura global.

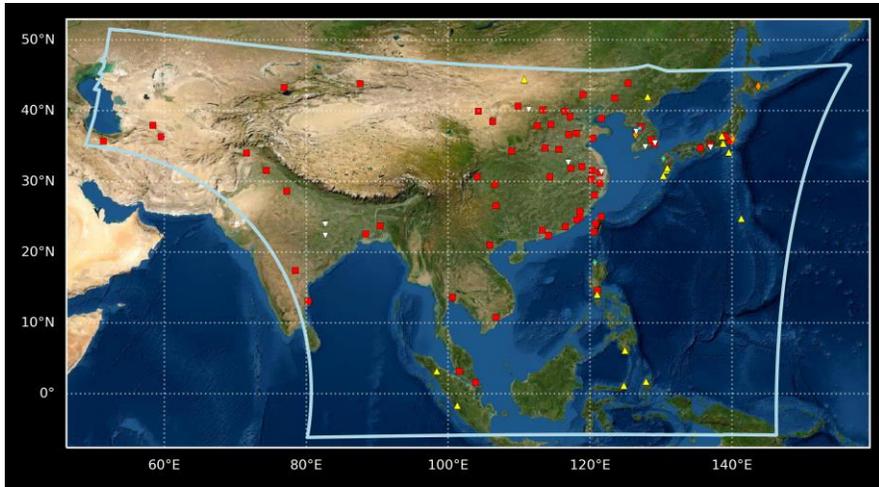


¿Para Qué Utilizar Especies Coemitidas Junto con el CO₂?

- El CO₂ por sí solo es un importante trazador de las emisiones netas (para toda una ciudad, área total), pero no necesariamente para sectores individuales.
- Además, dado que el CO₂ atmosférico neto tiene una larga vida, que va de años a milenios, y grandes flujos de origen natural, los aumentos de CO₂ debidos a las emisiones urbanas pueden ser mucho menores que los valores de fondo de CO₂ y la variabilidad natural.
- Las especies coemitidas (por ejemplo, NO₂, CH₄, CO) pueden ayudar tanto con la atribución sectorial como con estimaciones mas robustas de emisiones totales.
- Por ejemplo,
 - El óxido nítrico (NO) se coemite con el CO₂ durante la combustión de combustibles fósiles. Reacciona rápidamente con el ozono (O₃) para formar dióxido de nitrógeno (NO₂). Las densidades de las columnas verticales de NO₂ en las columnas liberadas por la combustión de combustibles fósiles superan los valores de fondo y el ruido del sensor, normalmente en órdenes de magnitud. Esto hace que el NO₂ sea un trazador adecuado para el CO₂ emitido recientemente. Referencia: ver [Yang et al. 2023](#), (JGR-Atmospheres)
 - El monóxido de carbono (CO) es un trazador valioso para la combustión, tiene una vida más larga que el NO/NO₂ y puede ayudar a identificar puntos críticos con poca eficiencia de combustión, lo que puede informar los esfuerzos de control de emisiones y contaminación a nivel sub-ciudad. Referencia: ver [Wu et al. 2022](#) (Atmos. Chem. Phys.)

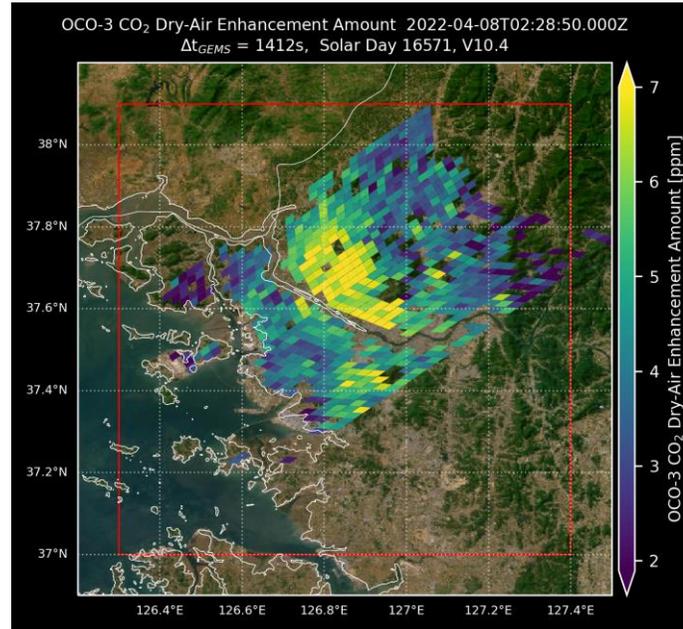


Ejemplos Coincidentes de CO₂ y NO₂ de OCO-3 y GEMS

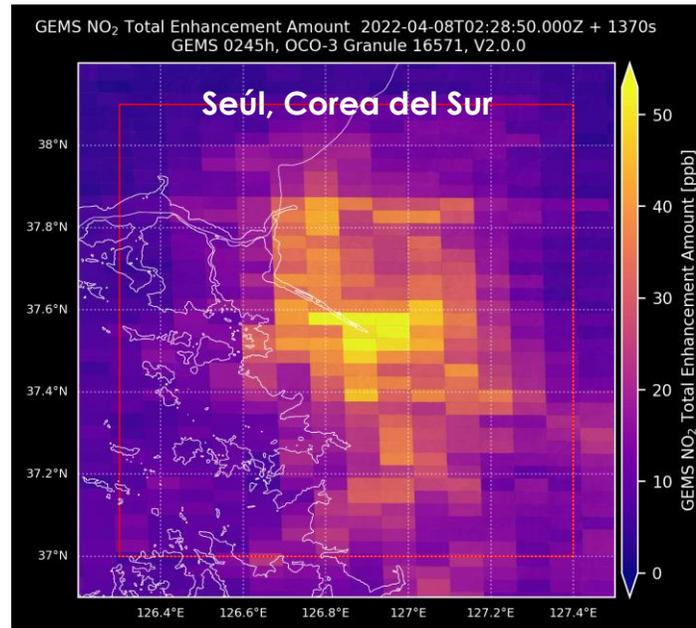


GEMS – Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (Calidad del Aire)

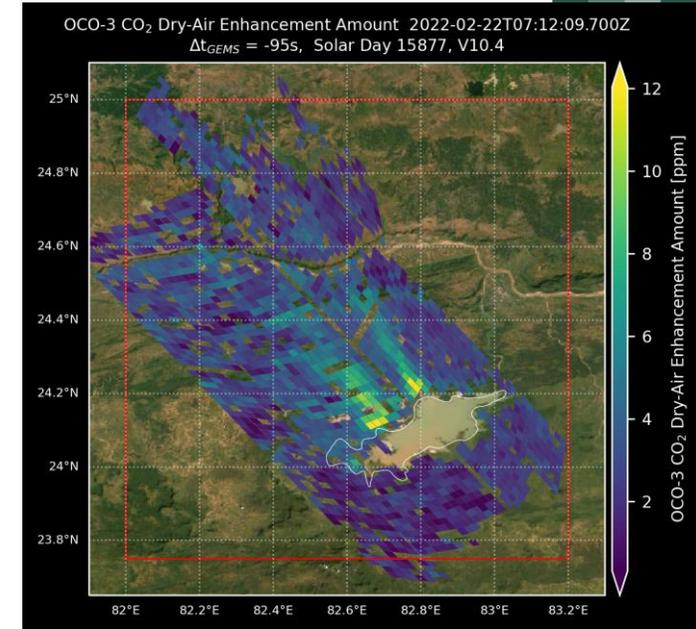
2022-04-08 02:29 UTC



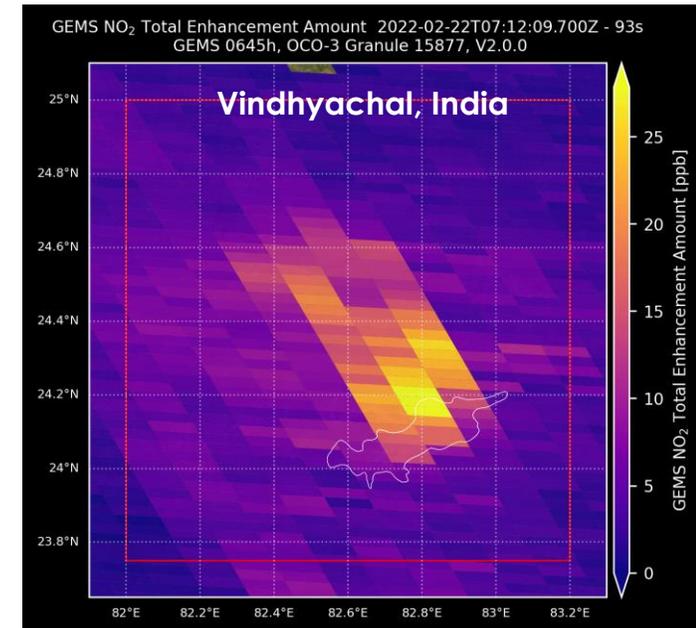
2022-04-08 02:29 UTC + 1370 s



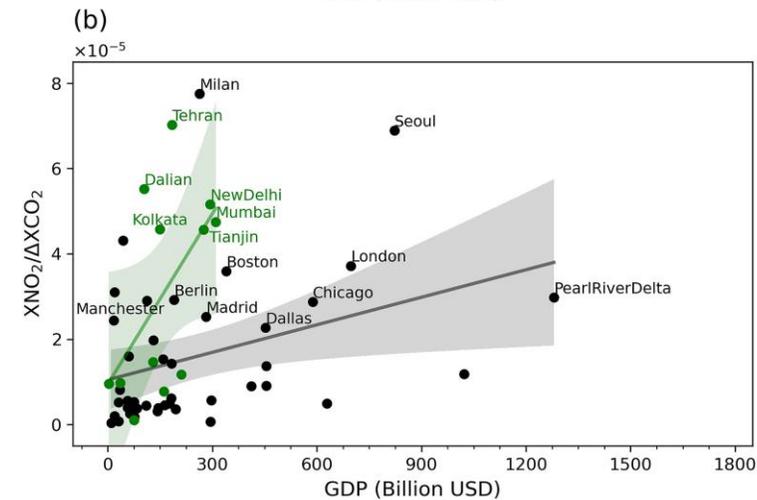
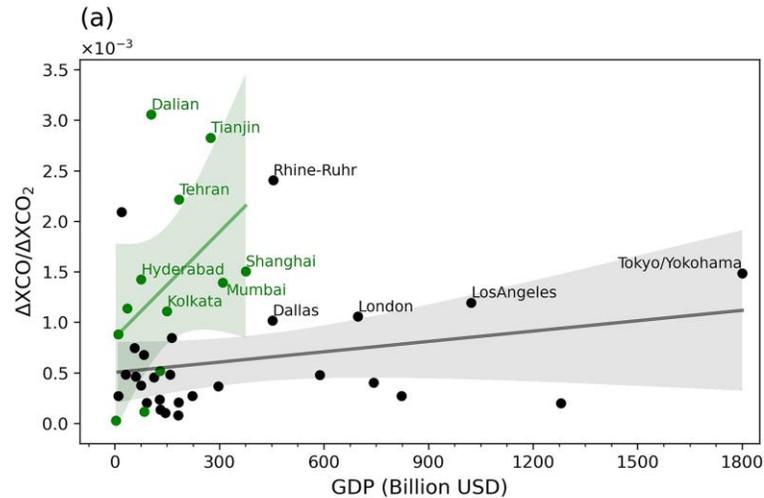
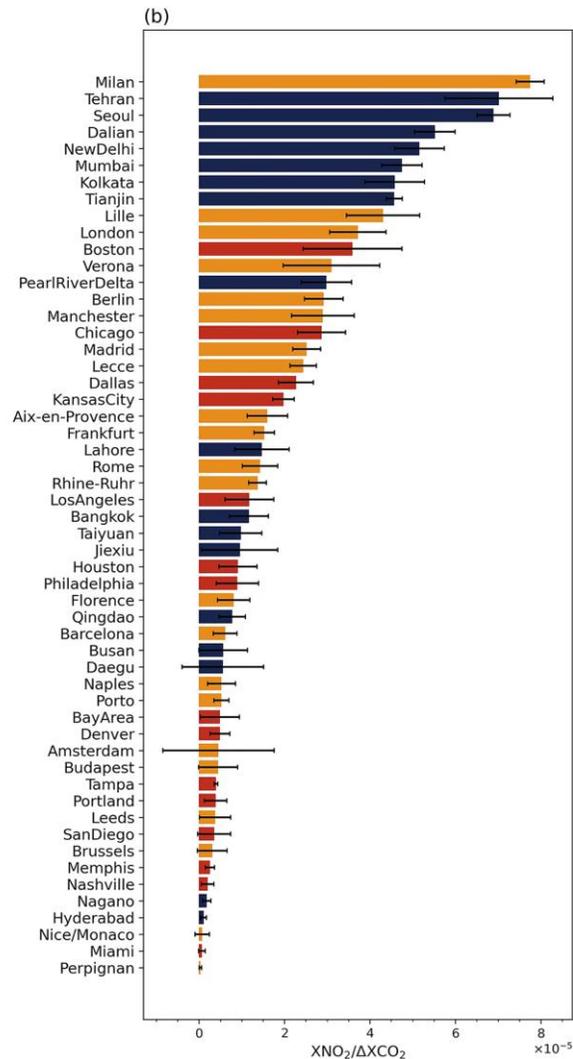
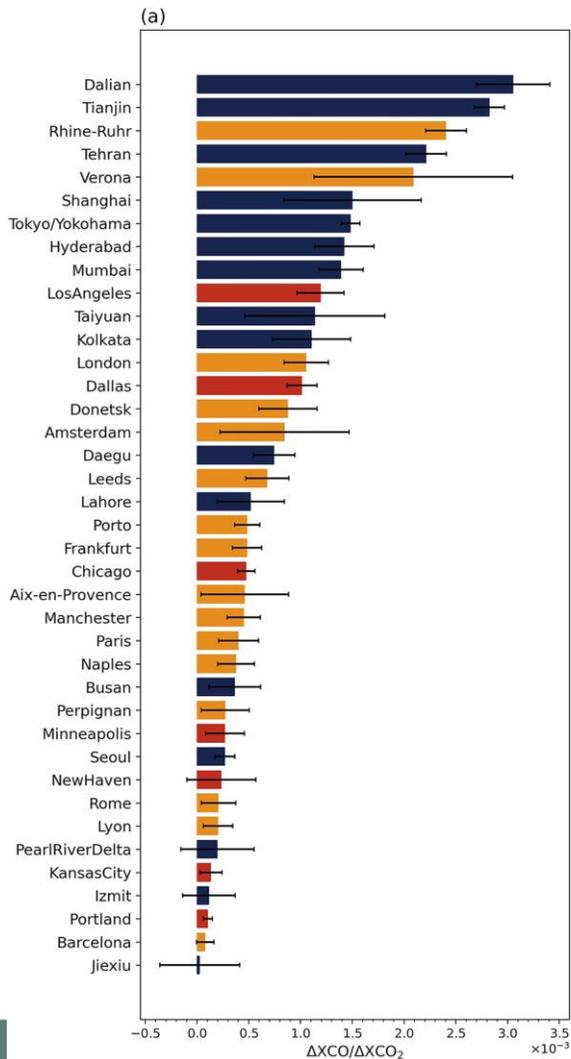
2022-02-22 07:12 UTC



2022-02-22 07:12 UTC - 93s



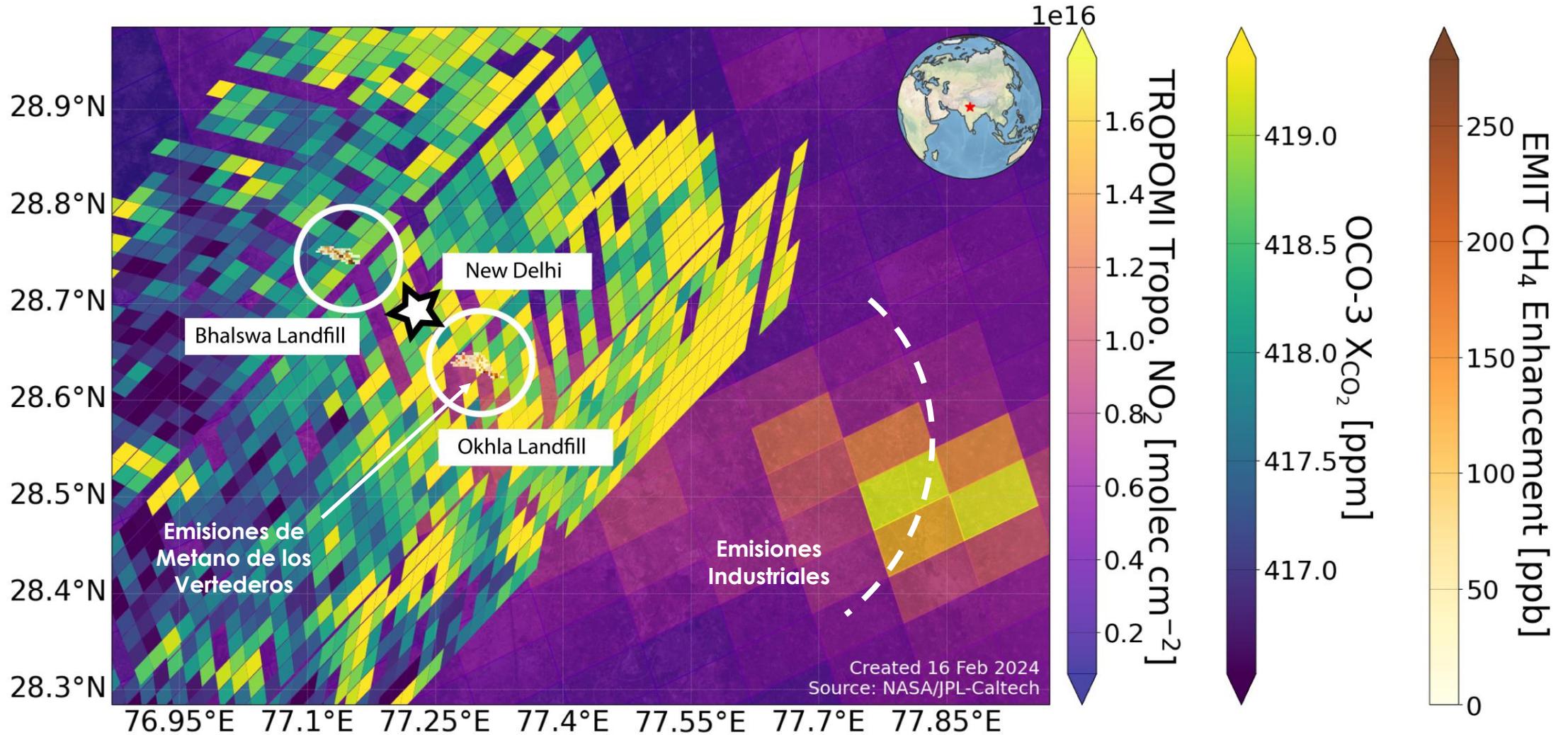
CO₂, NO₂ y CO Utilizados a Partir de Mediciones Espaciales

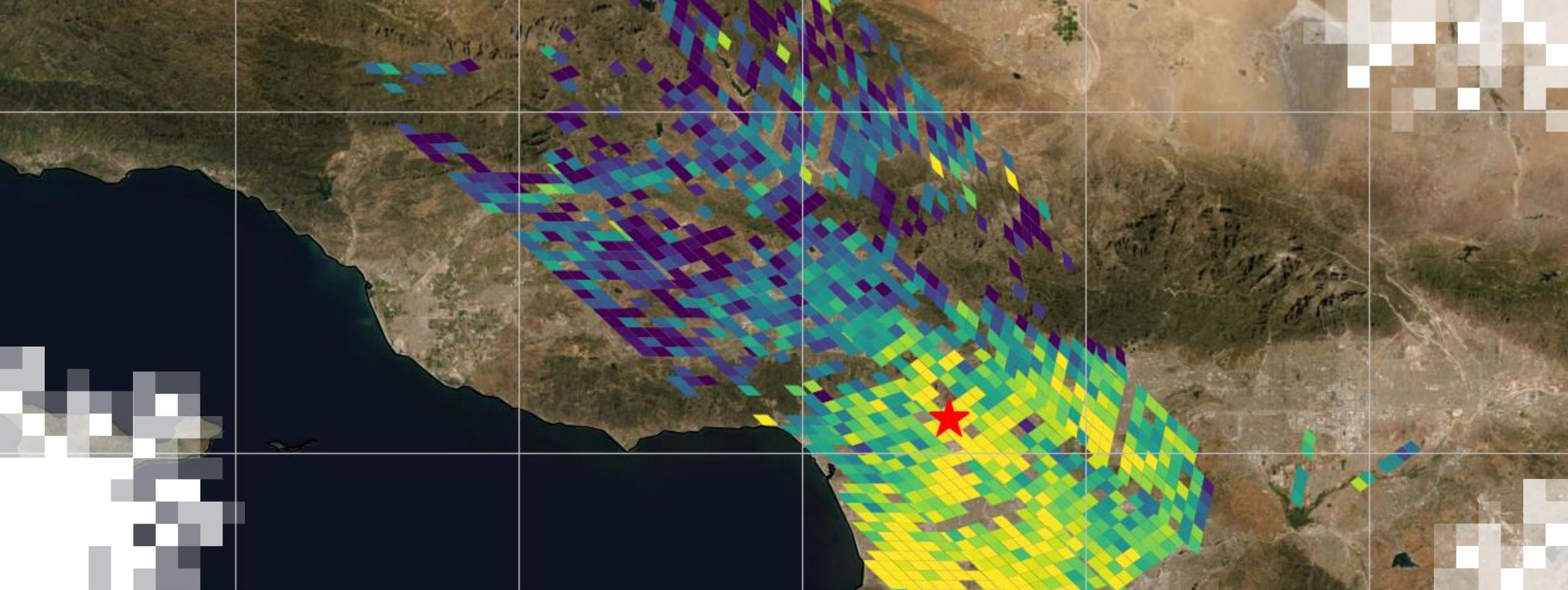


- La sinergia entre OCO-2 y TROPOMI permite evaluar las emisiones urbanas desde el espacio.
- Las proporciones de CO/CO₂ y NO₂/CO₂ pueden caracterizar los patrones de emisión de las ciudades.
- Se identificó una relación positiva de las relaciones de emisión con la población de la ciudad y el PIB.
- Las ciudades en desarrollo tienen una mayor proporción de emisiones por PIB que las ciudades desarrolladas.



CO₂, NO₂ y CH₄ de OCO-3 y EMIT de la NASA y S5P de TROPOMI de la ESA, ¡Un Trío de Sensores!



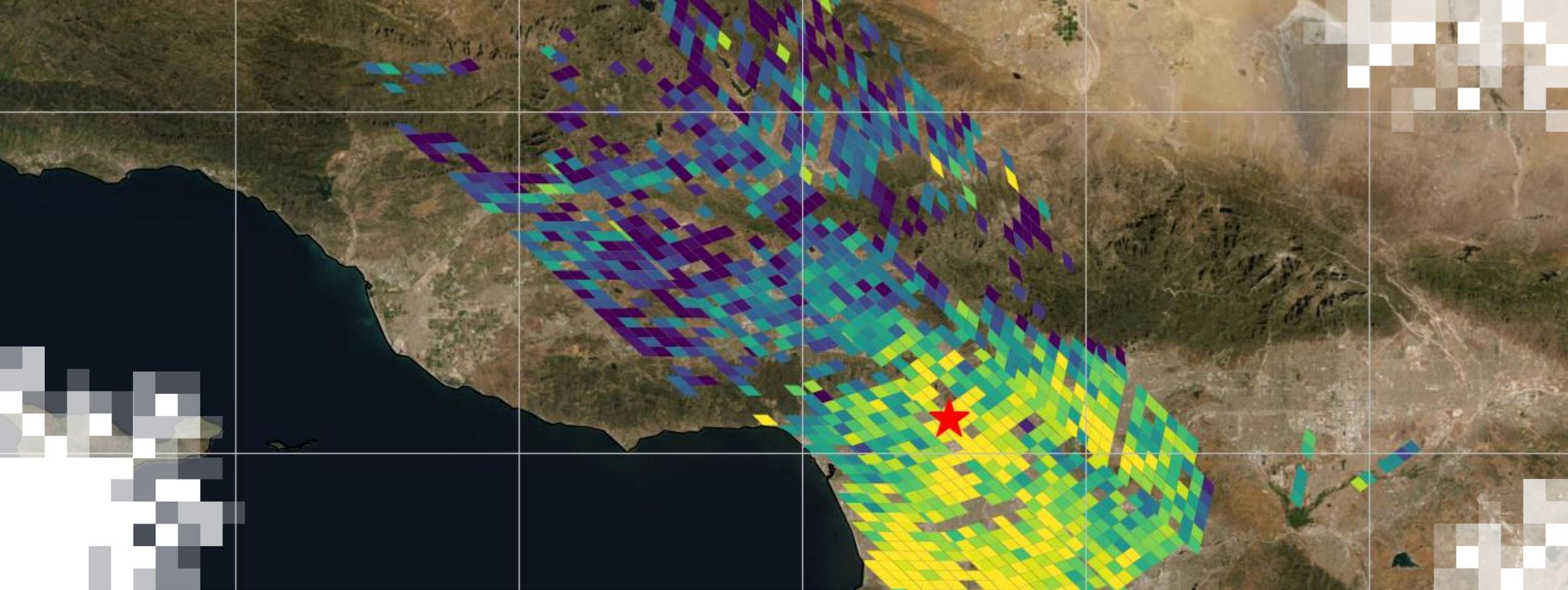


3^{ra} Sesión:
Sección 4: Resumen

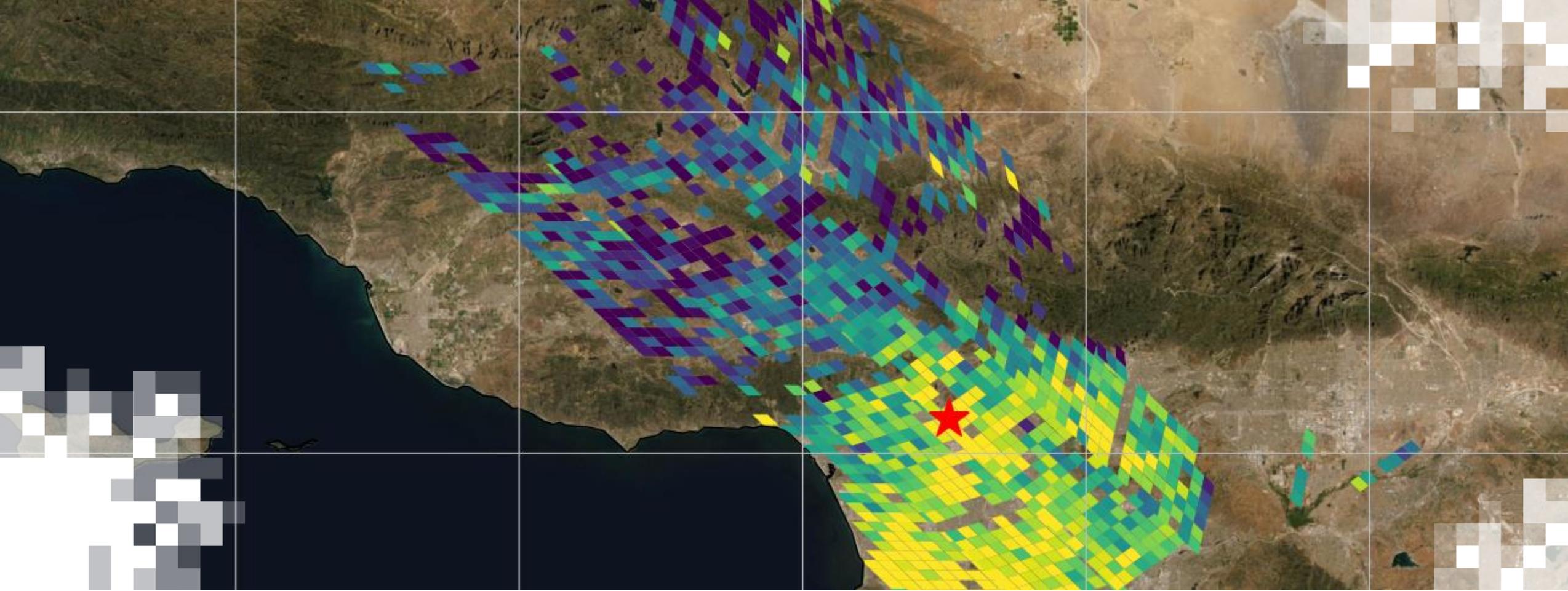
Resumen

- En la actualidad, existe una demanda en crecimiento constante de una amplia gama de usuarios (entidades públicas, privadas y académicas) de información fiable sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en múltiples sectores y escalas geográficas, incluyendo las áreas urbanas y las megaciudades.
- Las observaciones de SAM de OCO-3 han avanzado **nuestra comprensión científica de las emisiones urbanas de CO₂, han ayudado a desarrollar nuevas metodologías descendentes para hacer frente a la creciente demanda y han demostrado que las mediciones de CO₂ desde el espacio –**
 - Tienen el contenido informativo y la capacidad para cuantificar los cambios en las emisiones que se producen en las áreas urbanas,
 - Junto con especies coemitidas, como el NO₂, el CO, pueden ayudar a la atribución sectorial,
 - Tienen el potencial de monitorear las características socioeconómicas/regionales de las emisiones de las ciudades globales,
 - Y, por último, al proporcionar un control de las estimaciones de emisiones ascendentes, ayudan a aumentar la transparencia en la contabilidad del carbono y ayudan en el proceso de toma de decisiones.





3^{ra} Sesión:
Demostración



Aplicaciones de Mediciones de Dióxido de Carbono para
Estudios Relacionados con el Clima
Resumen

Resumen de la Capacitación

- OCO-2 tiene un registro de adquisiciones de 10 años con una resolución temporal de 16 días. Sobrevuela la línea ecuatorial a la 1:30pm hora local.
- OCO-3 tiene un registro de adquisiciones de 5 años. El sensor esta en la Estación Espacial Internacional cuya cobertura esta limitada a $\pm 52^\circ$ de latitud. Sus observaciones abarcan todas las horas del día.
- Ambas hacen adquisiciones en los modos de observación Nadir, Destello (Glint) y Target. OCO-3 también hace adquisiciones en el modo SAM.
- Los datos de XCO₂ de estas misiones representan el promedio de CO₂ por volumen en la columna vertical atmosférica.
- Los datos entre OCO-2 y OCO-3 son consistentes a lo largo del tiempo y complementarios.
- Se recomienda que utilicen los datos de 2^{do} Nivel Lite de XCO₂ – los cuales han sido filtrados y corregidos de sesgos. Están disponibles abiertamente por medio de GES DISC.
- Los flujos de carbón en la superficie están relacionados a la biosfera y los océanos.
- El promedio global de la concentración atmosférica de CO₂ es la integración de todos los flujos de carbono en la superficie.



Resumen de la Capacitación

- El cambio temporal de las concentraciones locales y regionales de CO₂ está relacionado con los flujos de carbono en la superficie y con el transporte lateral o valores de fondo.
- Los flujos de carbono en la superficie son vinculados con la concentración atmosférica por medio de modelos de transporte atmosférico.
- El proceso para calcular los flujos de carbono a partir de la concentración atmosférica de CO₂ se denomina inversión del flujo de CO₂ atmosférico.
- Las adquisiciones SAM:
 - Son útiles para cuantificar los cambios en las emisiones que se producen en las áreas urbanas.
 - Junto con especies coemitidas, como el NO₂ o el CO, pueden ayudar a la atribución sectorial,
 - Tienen el potencial de monitorear las características socioeconómicas/regionales de las emisiones de las ciudades globales,
 - ayudan a aumentar la transparencia en la contabilidad del carbono y ayudan en el proceso de toma de decisiones.



Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Una tarea
- Disponible a partir del 16 de julio de 2024
- La pueden acceder desde [la pagina de esta capacitación](#)
- Las respuestas deben de ser enviadas por medio de Google Forms
- **Fecha de entrega: Agosto 14, 2024**

- **Certificado de Finalización se les otorgará a los participantes que:**

- Hayan asistido a las tres sesiones en vivo (su participación es automáticamente registrada)
- Entreguen la tarea en la fecha asignada

Recibirá el certificado por email aproximadamente dos meses después del cierre de esta capacitación.



Contactos:

Instructores Invitados:

- Abhishek Chatterjee
 - abhishek.chatterjee@jpl.nasa.gov
- David Moroni
 - david.f.moroni@jpl.nasa.gov
- Karen Yuen
 - karen.yuen@jpl.nasa.gov
- Junjie Liu
 - junjie.liu@jpl.nasa.gov
- Vivienne Payne
 - vivienne.h.payne@jpl.nasa.gov

Instructora de ARSET:

- Erika Podest
 - erika.podest@jpl.nasa.gov

- [Pagina de ARSET](#)
- X (Twitter)!
 - [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)
- [ARSET YouTube](#)

Visiten Nuestros Programas Hermanos:

-  [DEVELOP](#)
-  [SERVIR](#)





¡Gracias!

