

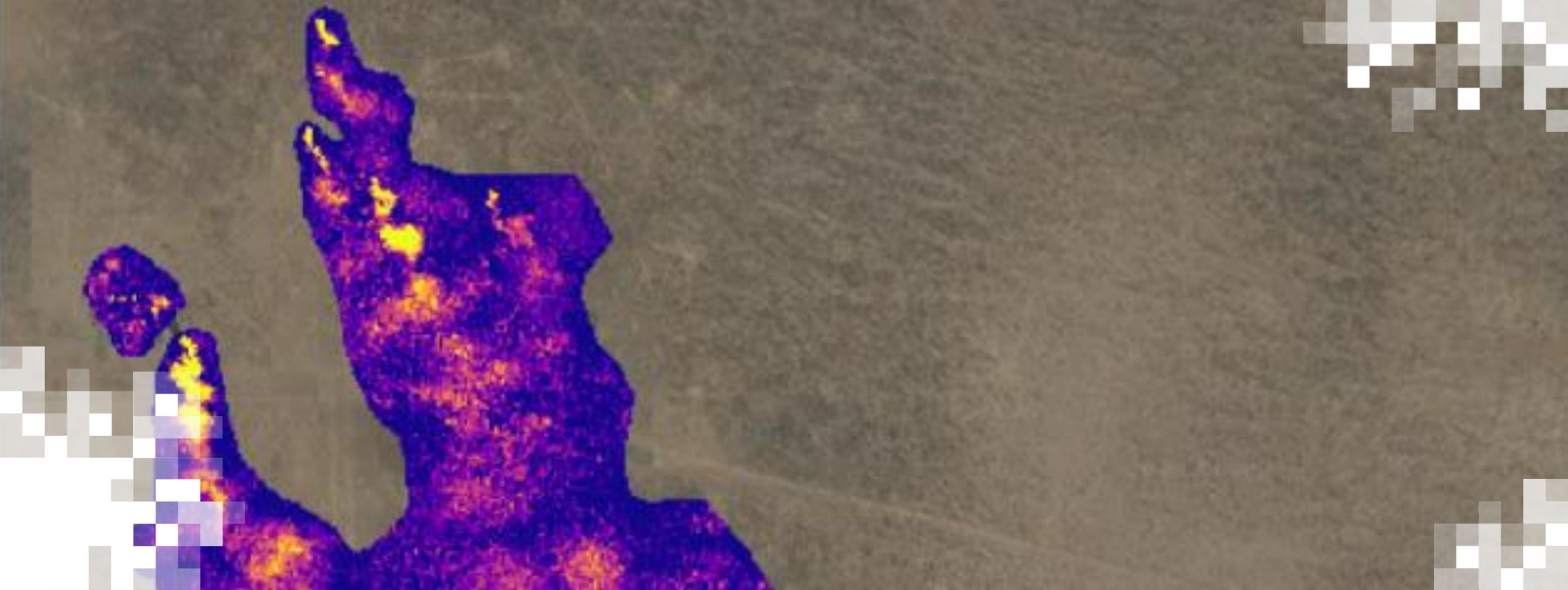
## Datos de Metano para la Detección y Monitoreo de Grandes Emisiones

1<sup>ra</sup> Sesión 1: El United States Greenhouse Gas Center (US GHG) y la Teledetección de Grandes Emisiones de Metano

Lesley Ott (NASA Goddard), Andrew Thorpe (JPL - NASA), Dana Chadwick (JPL - NASA), Melanie Follette-Cook (NASA Goddard)

7 de enero de 2025





Acerca de ARSET

# Acerca de ARSET\*

- **ARSET ofrece capacitaciones sin costo sobre satélites, sensores, métodos y herramientas de teledetección.**
- Las capacitaciones incluyen una variedad de aplicaciones de datos de satélite y se personalizan para participantes con diferentes niveles de experiencia.



AGRICULTURA



CLIMA Y RESILIENCIA



DESASTRES



CONSERVACIÓN ECOLÓGICA

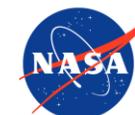


SALUD Y CALIDAD DEL AIRE



RECURSOS HÍDRICOS

\*Siglas de **A**ppled **R**emote **S**ensing **T**raining Program  
(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada  
en inglés)



EARTH SCIENCE  
APPLIED SCIENCES



CAPACITY BUILDING



# Acerca de las Capacitaciones de ARSET

- En línea o presenciales
- En vivo, dirigidas por instructores o autodirigidas por cada participante
- Sin costo
- Opciones bilingües y multilingües
- Solo usan software y datos de fuente abierta
- Desarrolladas para diferentes niveles de experiencia
- Visite la [página de ARSET](#) para aprender más.

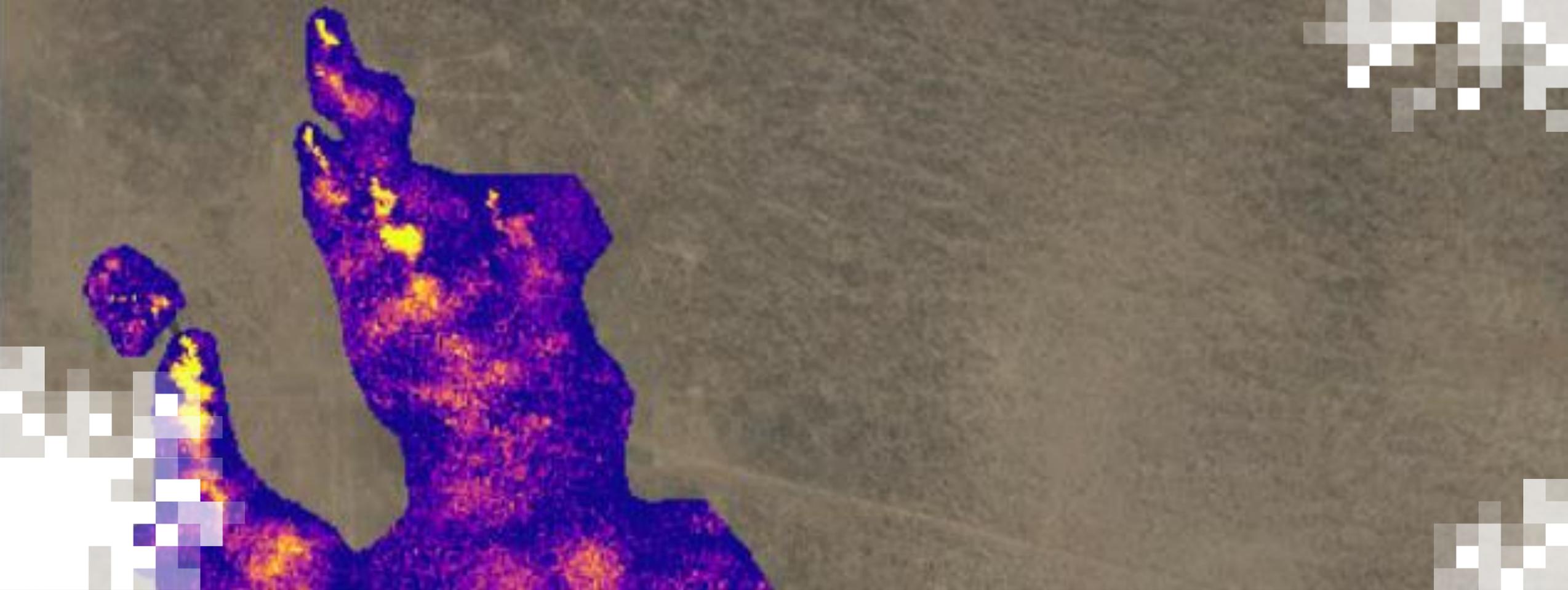


EARTH SCIENCE  
APPLIED SCIENCES



CAPACITY BUILDING





Observaciones de Metano para la Detección y  
Monitoreo de Grandes Emisiones  
**Resumen General**

# Antecedentes

- Se estima que el metano ( $\text{CH}_4$ ) es aproximadamente 80 veces más efectivo atrapando calor en la atmósfera que el  $\text{CO}_2$ .
- El metano es importante considerar en las actividades de mitigación de emisiones
  - Tiene una vida relativamente breve en la atmósfera (~1 década)
  - Se puede utilizar como fuente de energía o combustionar
  - Presenta problemas de seguridad asociados con las altas concentraciones de este gas inflamable..
- Las actividades industriales o las emisiones accidentales pueden causar la liberación de grandes concentraciones de metano, que a menudo se denominan eventos superemisores, los que se pueden identificar utilizando satélites.

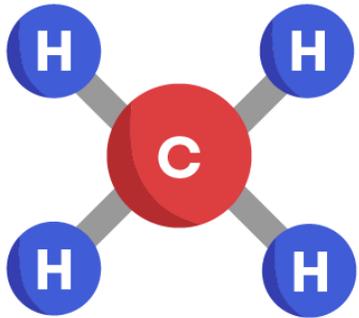
El sensor **E**arth Surface **M**ineral Dust Source **I**nves**T**igation (EMIT) ha identificado >1.400 columnas.



# Objetivos de Aprendizaje de Esta Capacitación

Al final de esta capacitación, los participantes podrán:

1. Identificar las metas y objetivos del U.S. Greenhouse Gas Center\*
2. Definir el rol del metano y de las grandes emisiones en el cambio climático
3. Identificar los sensores que se utilizan para medir el metano
4. Reconocer las ventajas y limitaciones de las observaciones satelitales utilizadas para medir el metano para el monitoreo de grandes emisiones
5. Navegar dentro de los portales del Greenhouse Gas Center y EMIT Open Data para acceder y visualizar datos para el monitoreo de grandes emisiones



carbon



hydrogen



Fuente de la Imagen: pngegg.com

\*Centro de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los Estados Unidos

NASA ARSET – Methane Observations for Large Emission Event Detection and Monitoring



# Prerrequisitos

- [Fundamentos de la Percepción Remota \(Teledetección\)](#)



# Esquema de la Capacitación

## Sesión 1

El United States  
Greenhouse Gas  
Center (US GHG) y la  
Teledetección de  
Grandes Emisiones de  
Metano

7 de enero de 2025

14:00-15:30 EST

## Sesión 2

Acceso y  
Visualización de Datos  
de EMIT

9 de enero de 2025

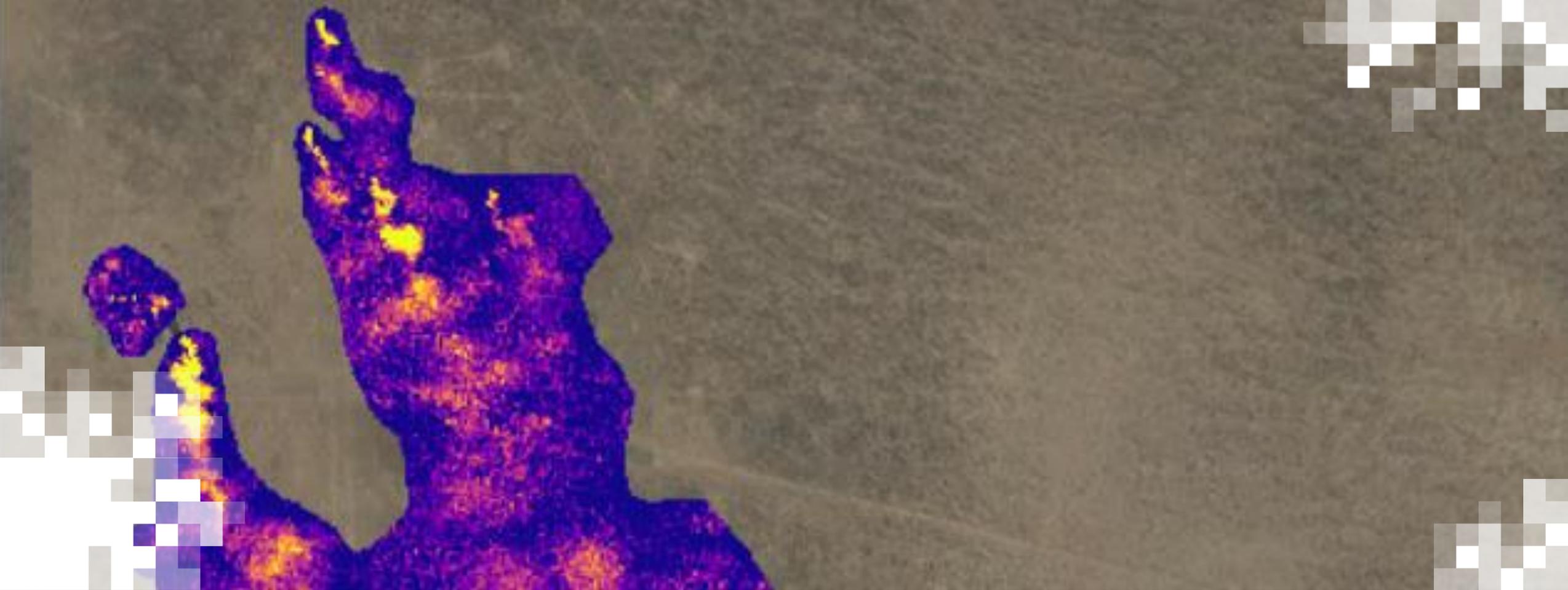
14:00-15:30 EST

### Tarea

Abre el 9 de enero – Fecha de entrega: 23 de enero – Se publicará en la pagina web de la capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan ambas sesiones en vivo y completen la tarea a la fecha de entrega.





Datos de Metano para la Detección y Monitoreo de Grandes Emisiones

**Sesión 1: El United States Greenhouse Gas Center (US GHG) y la Teledetección de Grandes Emisiones de Metano**

# Sesión 1 – Instructores

## Lesley Ott

Científica de Proyecto, US  
Greenhouse Gas Center  
NASA Goddard



## Andrew Thorpe

Tecnólogo de Investigación  
JPL - NASA



## Melanie Follette-Cook

Científica de Proyecto, ARSET  
NASA Goddard



# Objetivos de la 1<sup>era</sup> Sesión

Al final de la 1<sup>ra</sup> Sesión, los participantes podrán:

- Identificar las metas y objetivos del U.S. Greenhouse Gas Center
- Definir el rol del metano y de las grandes emisiones en el cambio climático
- Identificar los tipos de sensores que se pueden utilizar para medir el metano



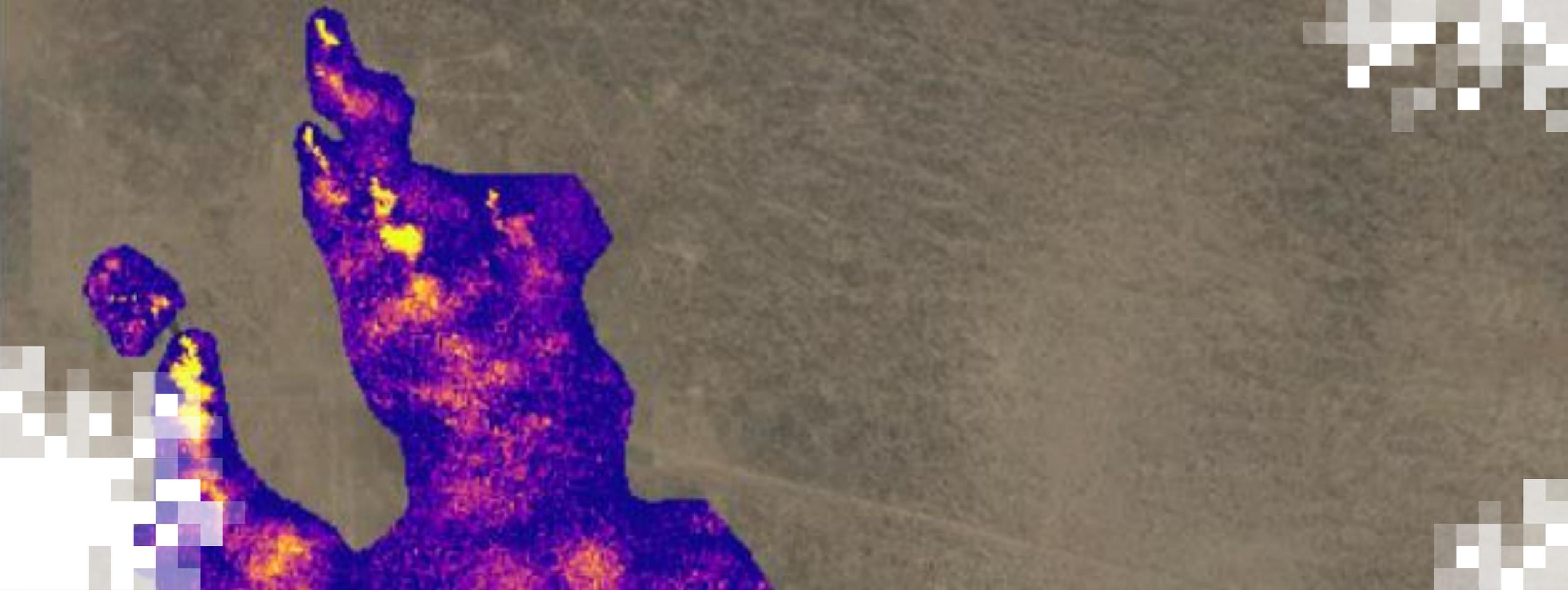
Fuente de la Imagen: Alan Levine



# Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” bajo los tres puntos en la parte inferior izquierda. Responderemos las preguntas al final de esta sesión.
- Puede escribir sus preguntas durante la sesión. Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión de preguntas y respuestas.
- Las preguntas que no podamos responder las responderemos en el documento de preguntas y respuestas, el cual se publicará en la página de esta capacitación próximamente.



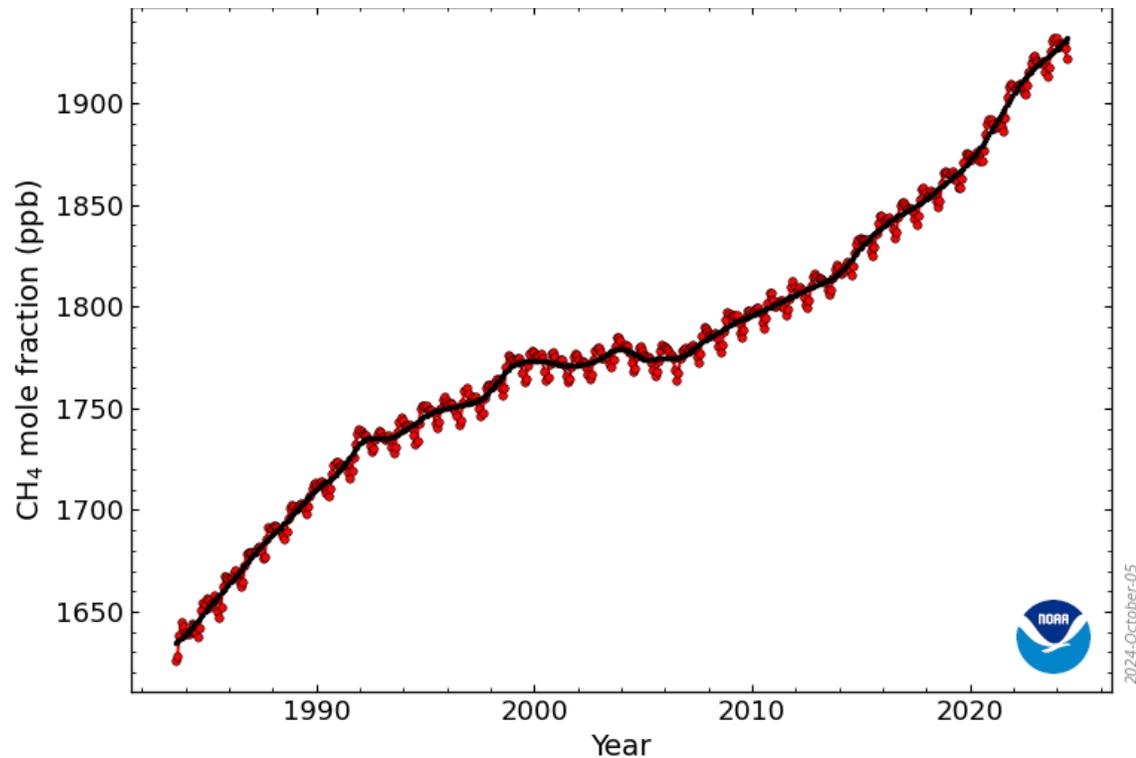


## **El Rol del Metano en el Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero**

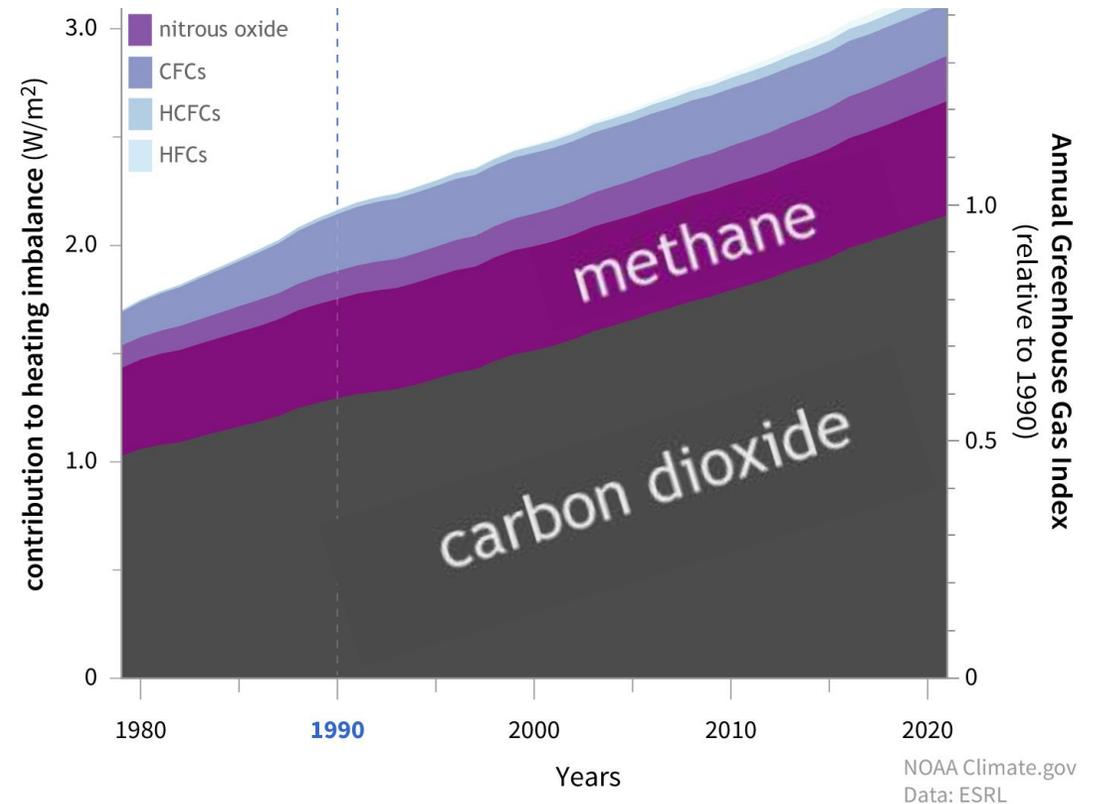
# ¿Por qué es importante el metano?

El metano es un gas de efecto invernadero potente y las concentraciones atmosféricas siguen aumentando

Concentración media mundial de metano- datos in situ

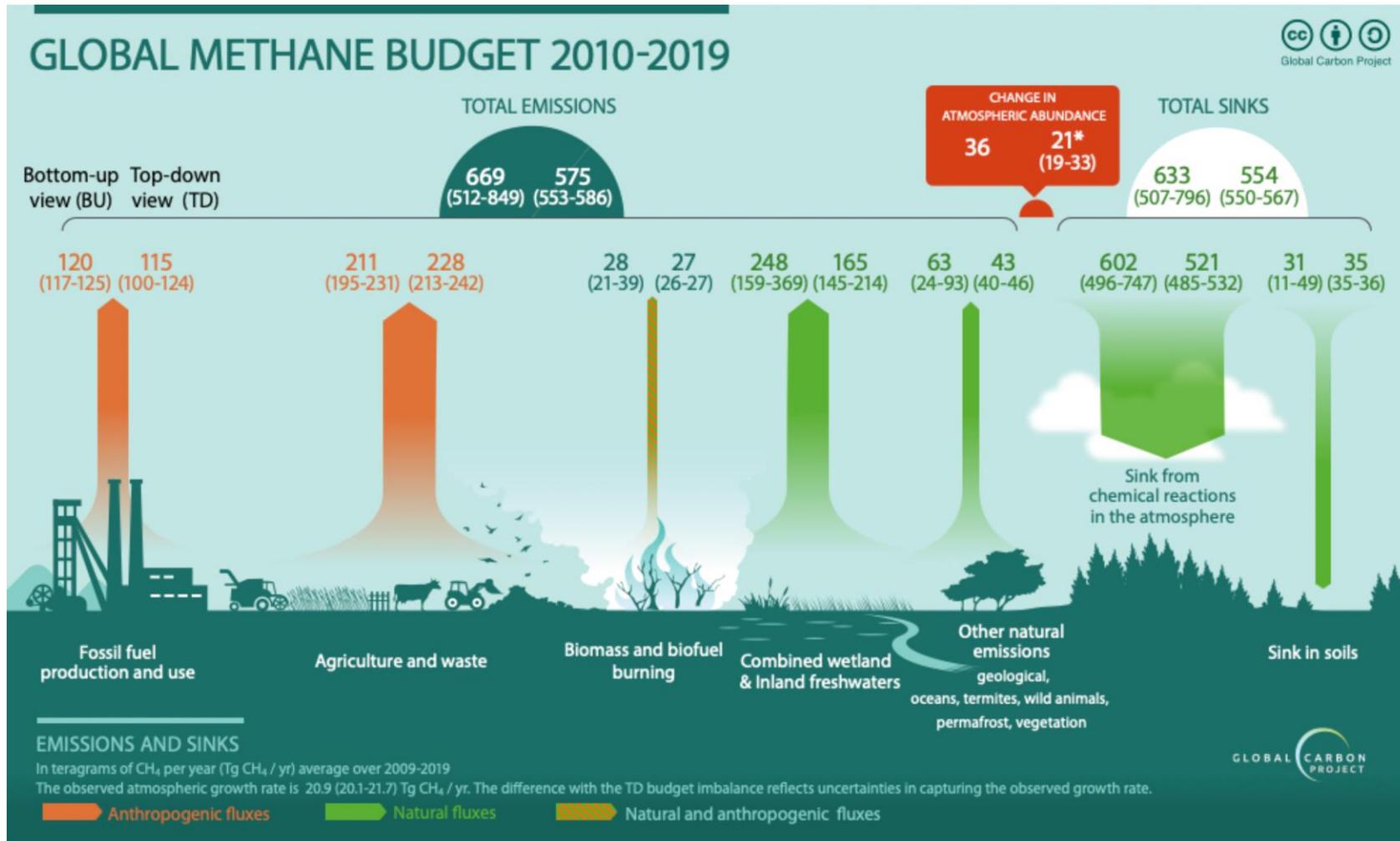


Contribución combinada de los gases de efecto invernadero al calentamiento



# ¿Por qué es importante el metano?

El balance global de metano contiene incertidumbres significativas y se requieren más mediciones

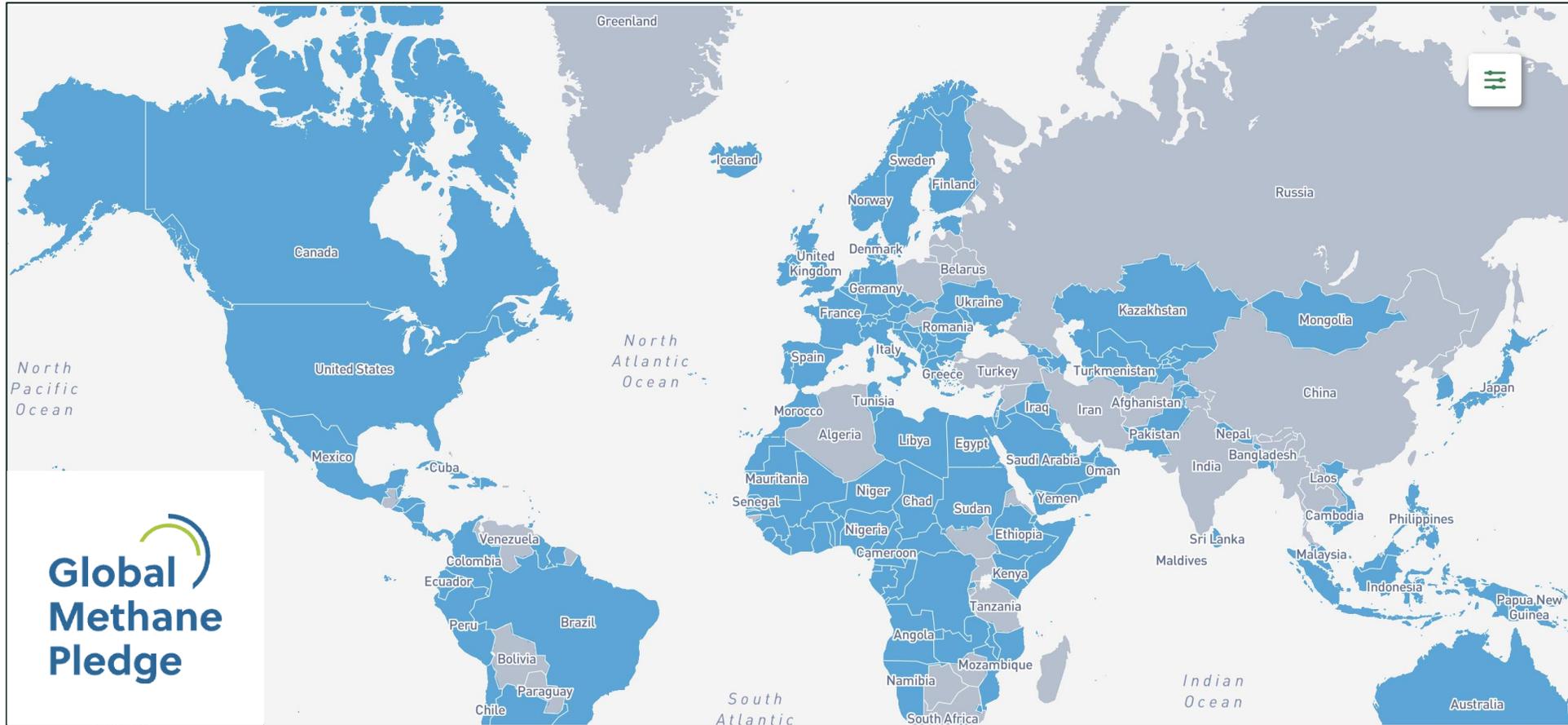


Fuente de la Imagen: Global Carbon Project



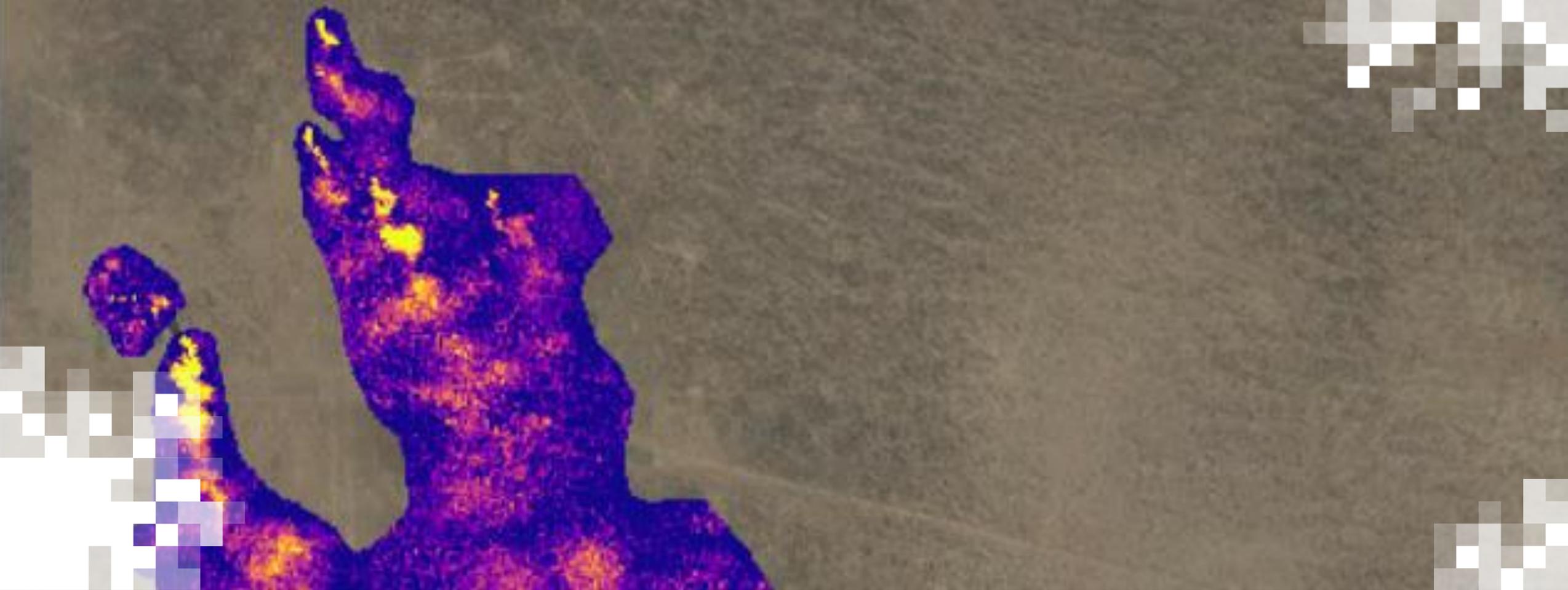
# ¿Por qué es importante el metano?

Países en todo el mundo están trabajando para reducir las emisiones de metano y así limitar el calentamiento.



Fuente de la Imagen: Global Methane Pledge

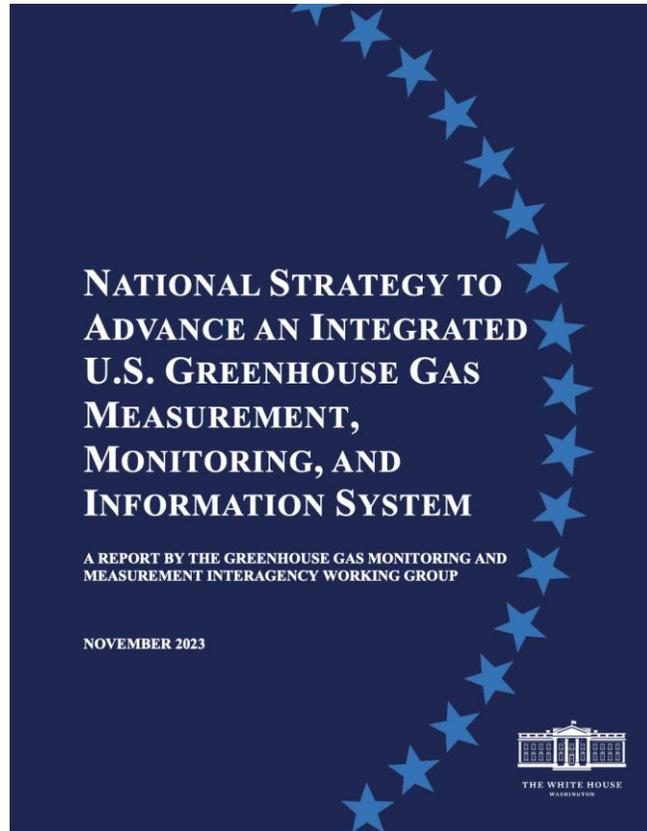




## Introducción al US Greenhouse Gas Center

# ¿Qué es el U.S. Greenhouse Gas Center\*?

De la Estrategia Nacional para Promover un Sistema Integrado de Medición, Monitoreo e Información de Gases de Efecto Invernadero de los Estados Unidos:



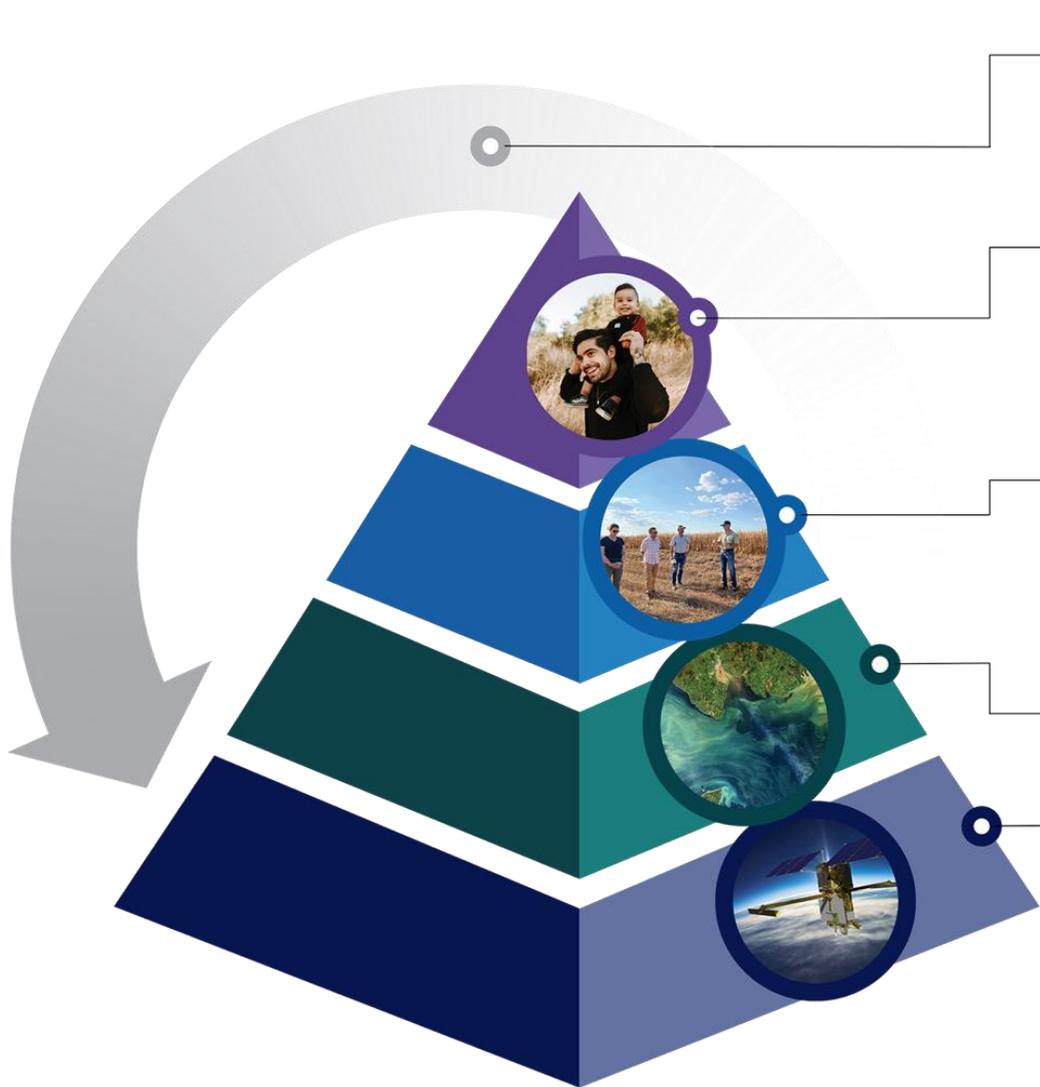
El Centro de GEI de EE. UU., dirigido inicialmente por la NASA, la EPA, el NIST y la NOAA, **facilitará la coordinación** entre entidades federales y no federales, nacionales e internacionales para **integrar y mejorar los datos y las capacidades de modelación de GEI** de fuentes del Gobierno de los Estados Unidos y de otras fuentes para lograr un **impacto escalable**.

\*Centro de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los Estados Unidos

NASA ARSET – Methane Observations for Large Emission Event Detection and Monitoring



# ¿Qué es el U.S. Greenhouse Gas Center?



## **Círculo informativo**

- Las necesidades del usuario informan el refinamiento de herramientas y productos

## **Entendimiento e Intercambio con el Público**

- Comunicaciones coordinadas, divulgación
- Fuerza laboral, iniciativas educativas
- Earth Information Center – eventos interactivos

## **Soluciones y valor social**

- Participación de las partes interesadas
- Desarrollo de herramientas/portal de datos de GEI impulsados por el usuario
- Confianza a través de los principios de la ciencia abierta

## **Ciencia del Sistema Terrestre e Investigación**

### **Aplicada**

- Modelación casi operativa de GEI
- Evaluación de modelos estandarizados, métodos para proporcionar estimaciones consensuadas
- Estrategia y coordinación de modelación interinstitucional

## **Conocimiento, tecnología, misiones y datos fundamentales**

- Coordinación y evaluación de datos satelitales
- Coordinación y normas de la red terrestre
- Ampliación de las mediciones por plataformas aéreas

**Transversal: Alineamiento con las necesidades de las partes interesadas, coordinación interinstitucional, ciencia abierta e inclusividad**

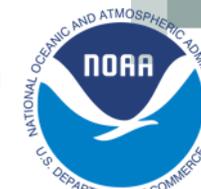
NASA ARSET – Methane Observations for Large Emission Event Detection and Monitoring



# ¿Qué es el U.S. Greenhouse Gas Center?



**NIST**



Objetivo final: proporcionar información de GEI consensuada e impulsada por las partes interesadas para permitir la mitigación del cambio climático

Difusión	Difusión	Difusión	Difusión
<b>Herramientas</b> Portal OCO Portal EMIT Sitio GMAO ...	<b>Herramientas</b> GHGRP (escala centro) Datos e ...	<b>Herramientas</b> Sitio GHG Sitio de pruebas	<b>Herramientas</b> Sitio OCOMIP CarbonTracker GGGRN
<b>Modelos</b> GMAO CMS-Flux GISS Model-E Tierra oceano	<b>Modelos</b> CMAQ Modelos de actividad y de exposición	<b>Modelos</b> WRF-STILT inversions VPRM Hestia* (NAU)	<b>Modelos</b> CarbonTracker CT-Lagrange HYSPLIT Land ocean
<b>Observaciones</b> OCO-2, 3 EMIT ... Teledetección en el suelo	<b>Observaciones</b> Monitoreo de chimeneas Estaciones terrestres (CA) Mediciones	<b>Observaciones</b> Pruebas urbanas Sensores de bajo costo Aéreas	<b>Observaciones</b> GGGRN Monitoreo aéreo (investigación), CrIS



# Centro de GEI de EE. UU.: Información Sobre el Metano a Diferentes Escalas



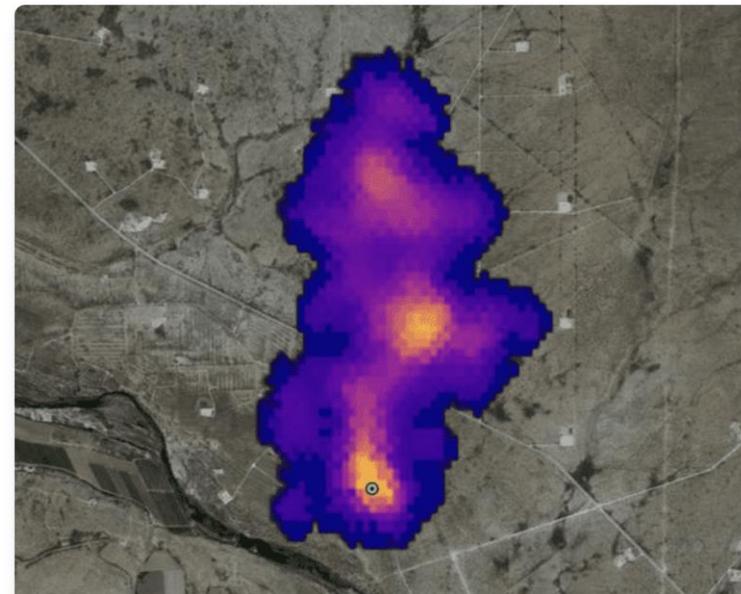
## Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero cuadriculadas

Estimaciones de las emisiones de las actividades humanas, incluyendo el sector energético, la agricultura, los residuos y la industria.



## Fuentes y sumideros naturales de gases de efecto invernadero

Flujos naturales de gases de efecto invernadero desde la tierra, el océano y la atmósfera.

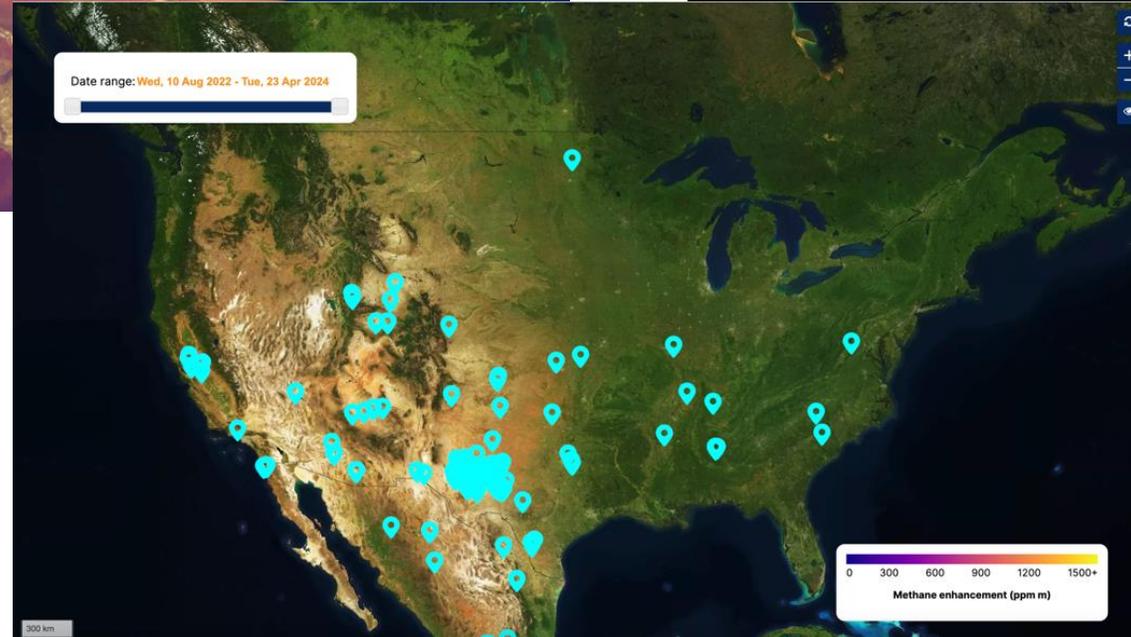
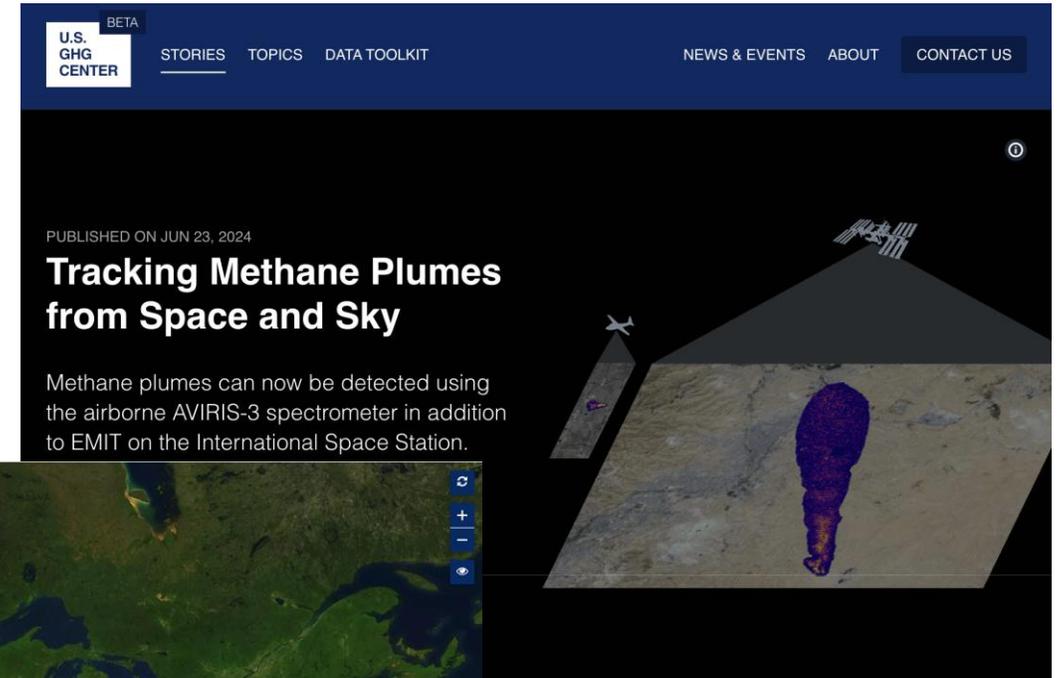


## Nuevas observaciones para el monitoreo de grandes emisiones

Identifican y cuantifican los grandes eventos de fugas de metano aprovechando los datos de plataformas aéreas y espaciales.

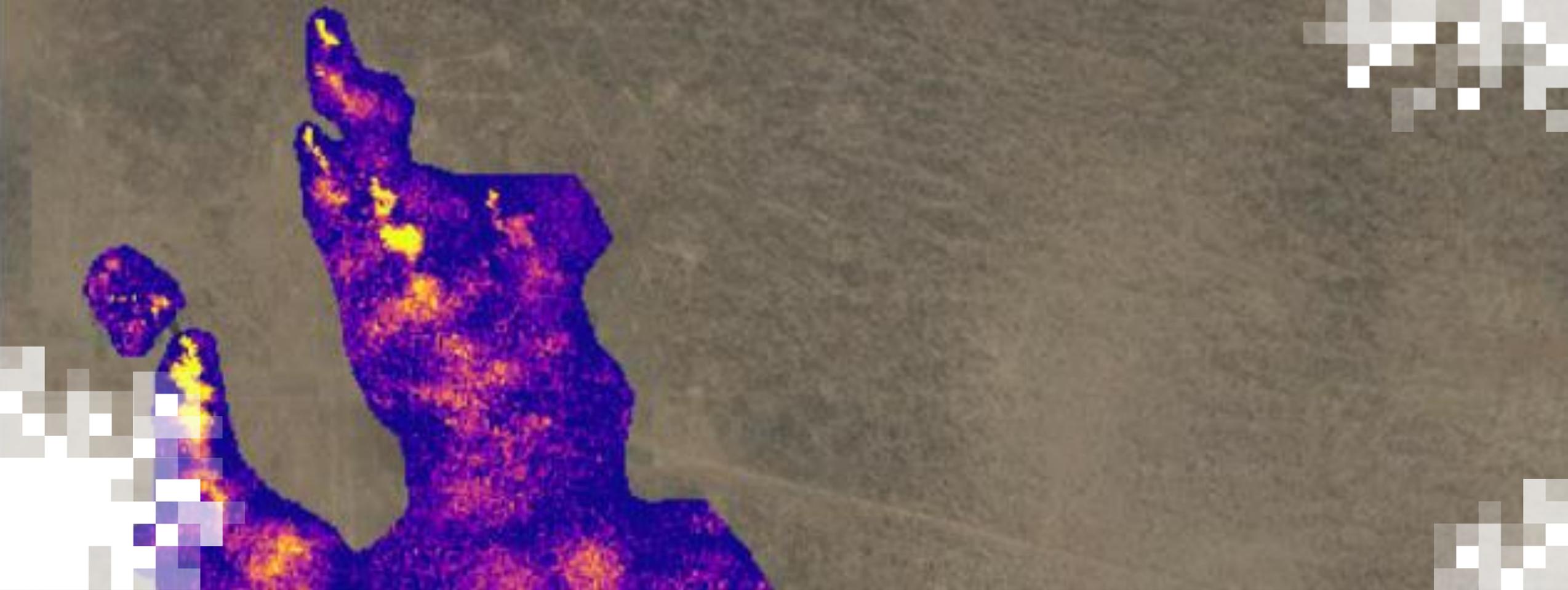


# Monitoreo de Grandes Emisiones



Actualmente visualizando las columnas de metano de EMIT, pronto albergará datos aéreos y otros espaciales.



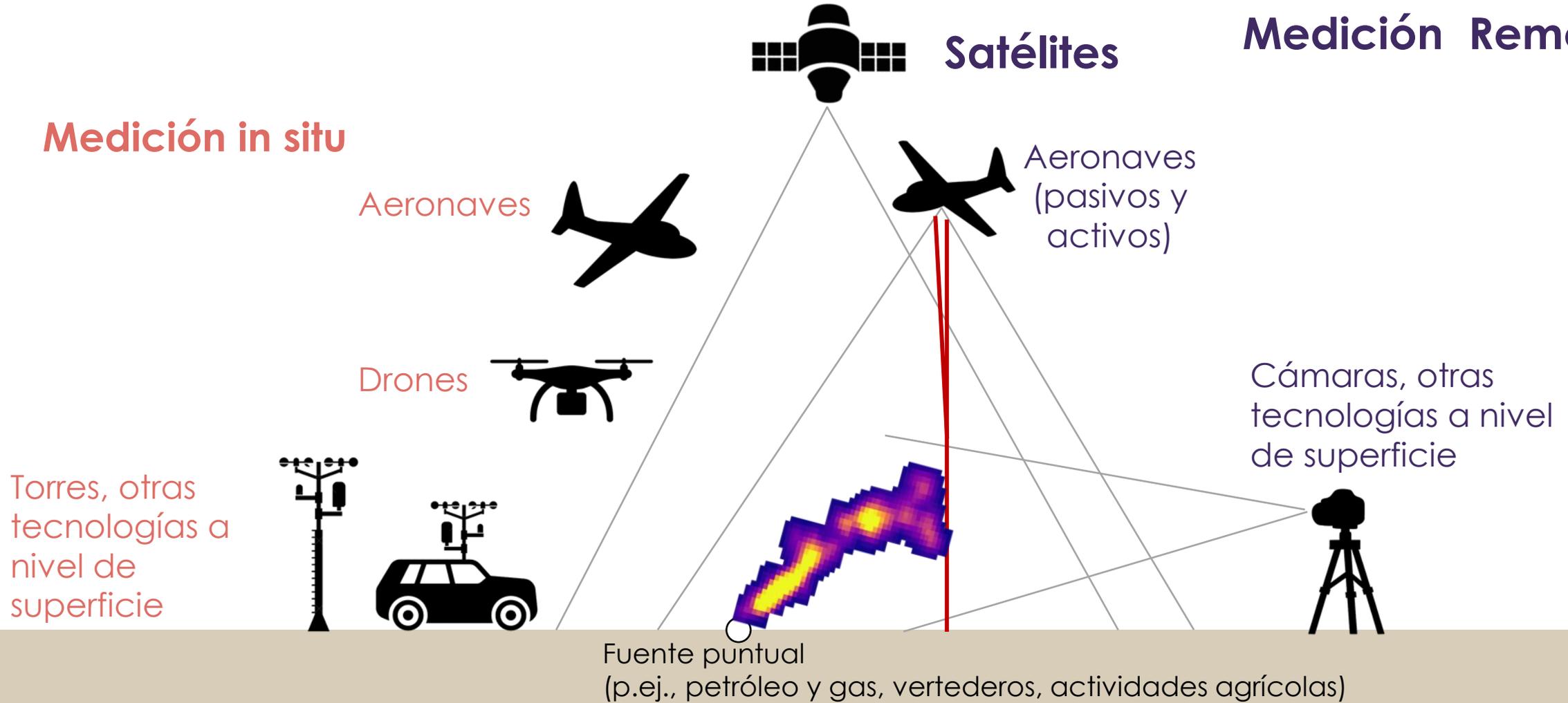


## **Mediciones de Metano por Satelites**

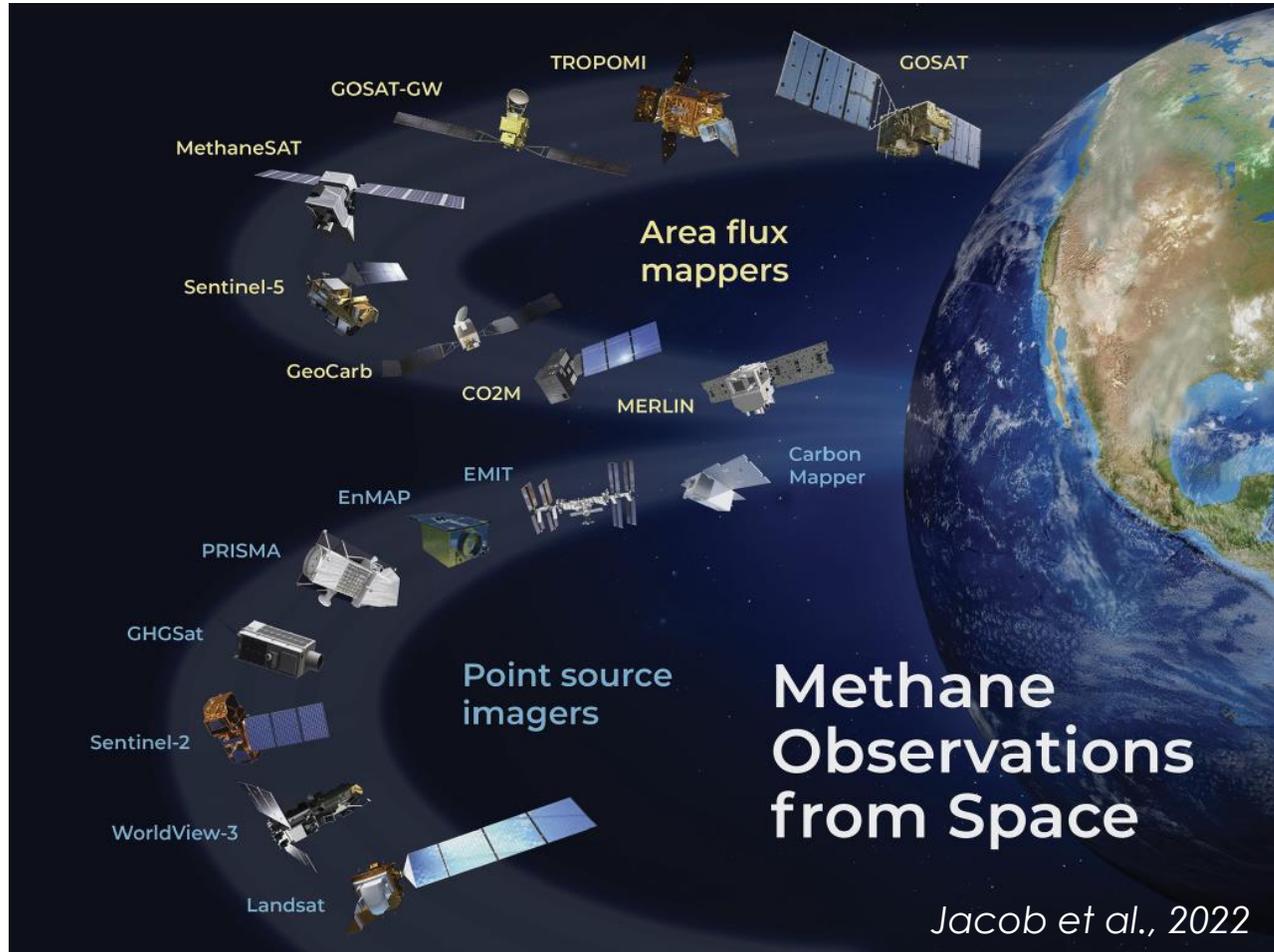
# Tecnologías para Detectar Fuentes Puntuales

## Medición Remota

### Medición in situ



# Mediciones de Metano por Satelites

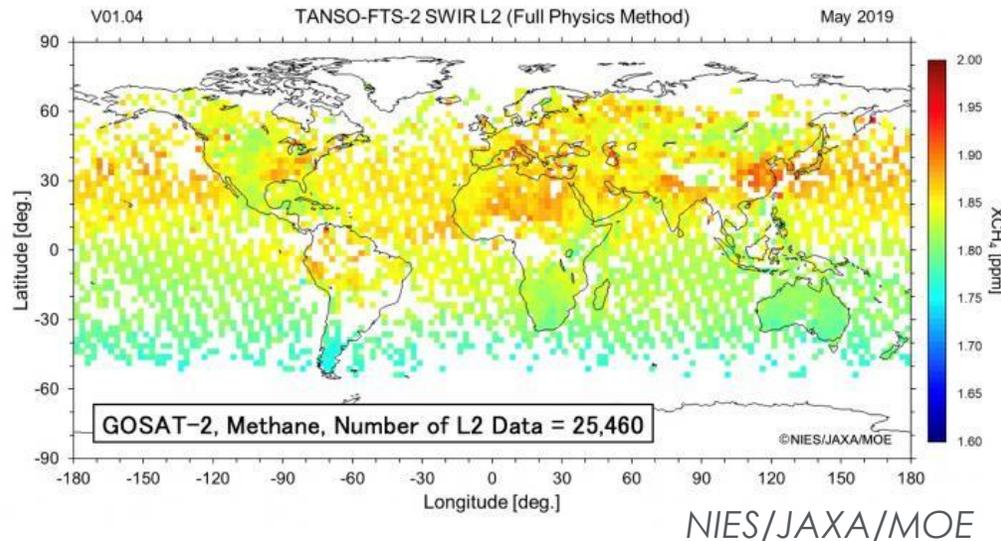


# Mapeadores del Flujo Dentro de un Área

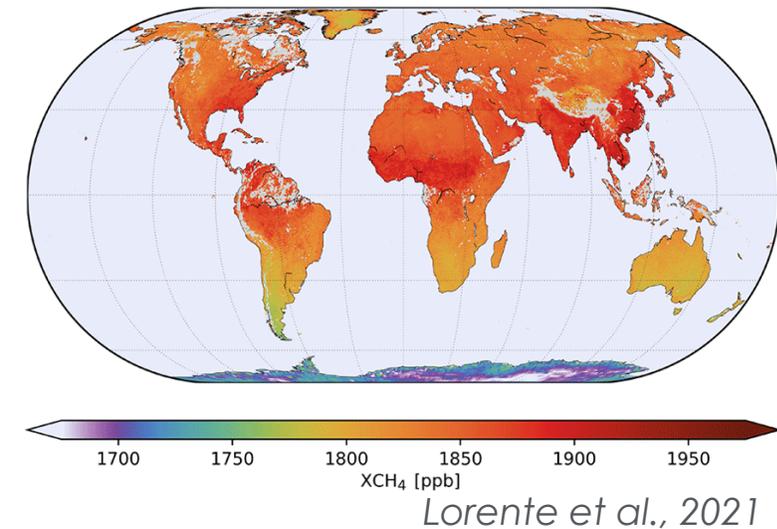
- Resolución espacial aproximada (píxeles a escala de kilómetros)
- Son los más adecuados para mapear los gradientes globales de metano



GOSAT-2 (medición de 10.5 km de diámetro)

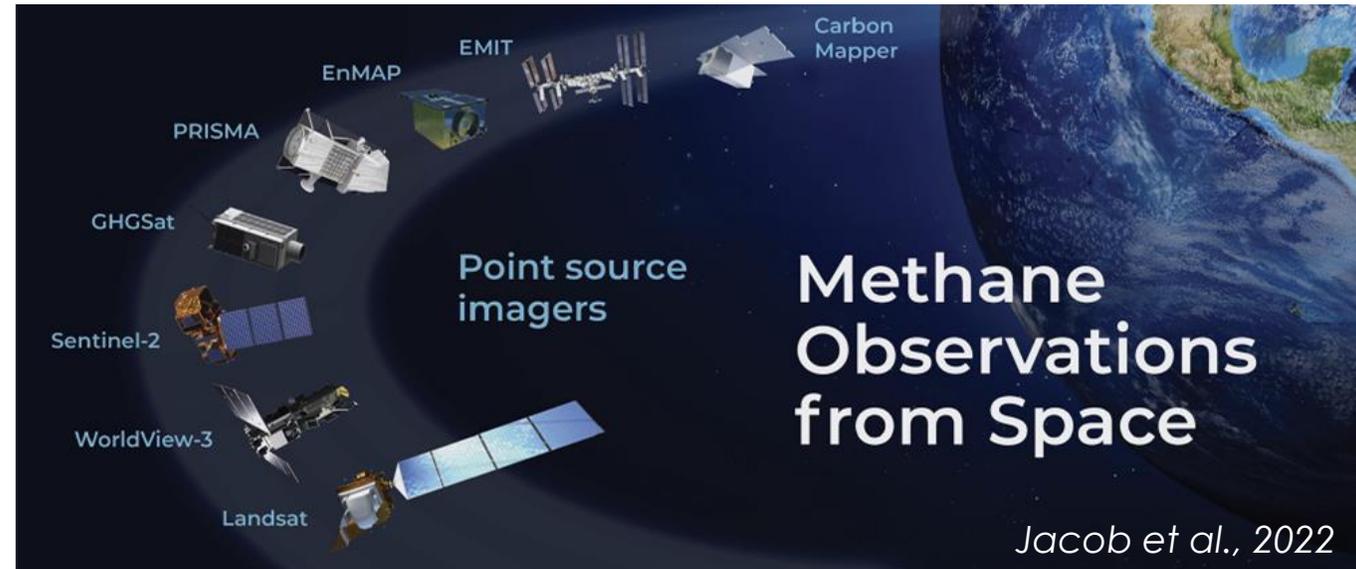


TROPOMI (Píxeles de 5.5 km × 3.5 km con mapeo global cada día)

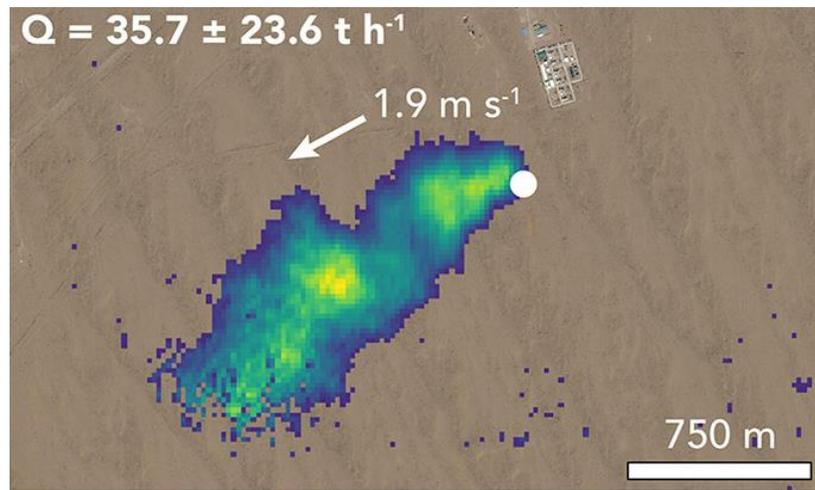


# Generadores de Imágenes de Fuentes Puntuales

- Resolución espacial fina (píxeles a escala de metros)
- Ideal para identificar distintas fuentes puntuales de metano

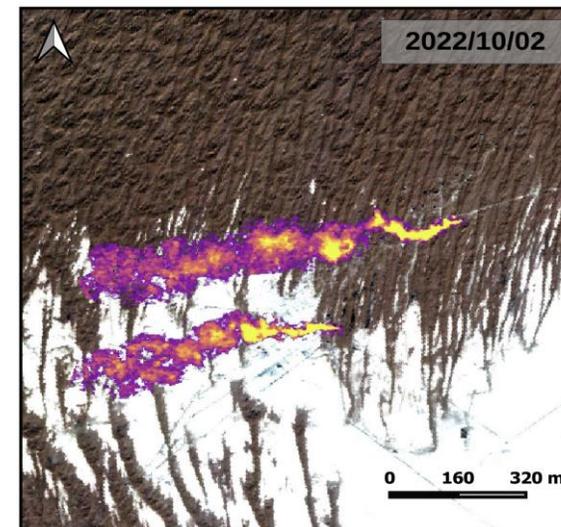


GHGSat (Píxeles de 30 m × 30 m, escenas de 12 km x 12 km)



Varon et al., 2019

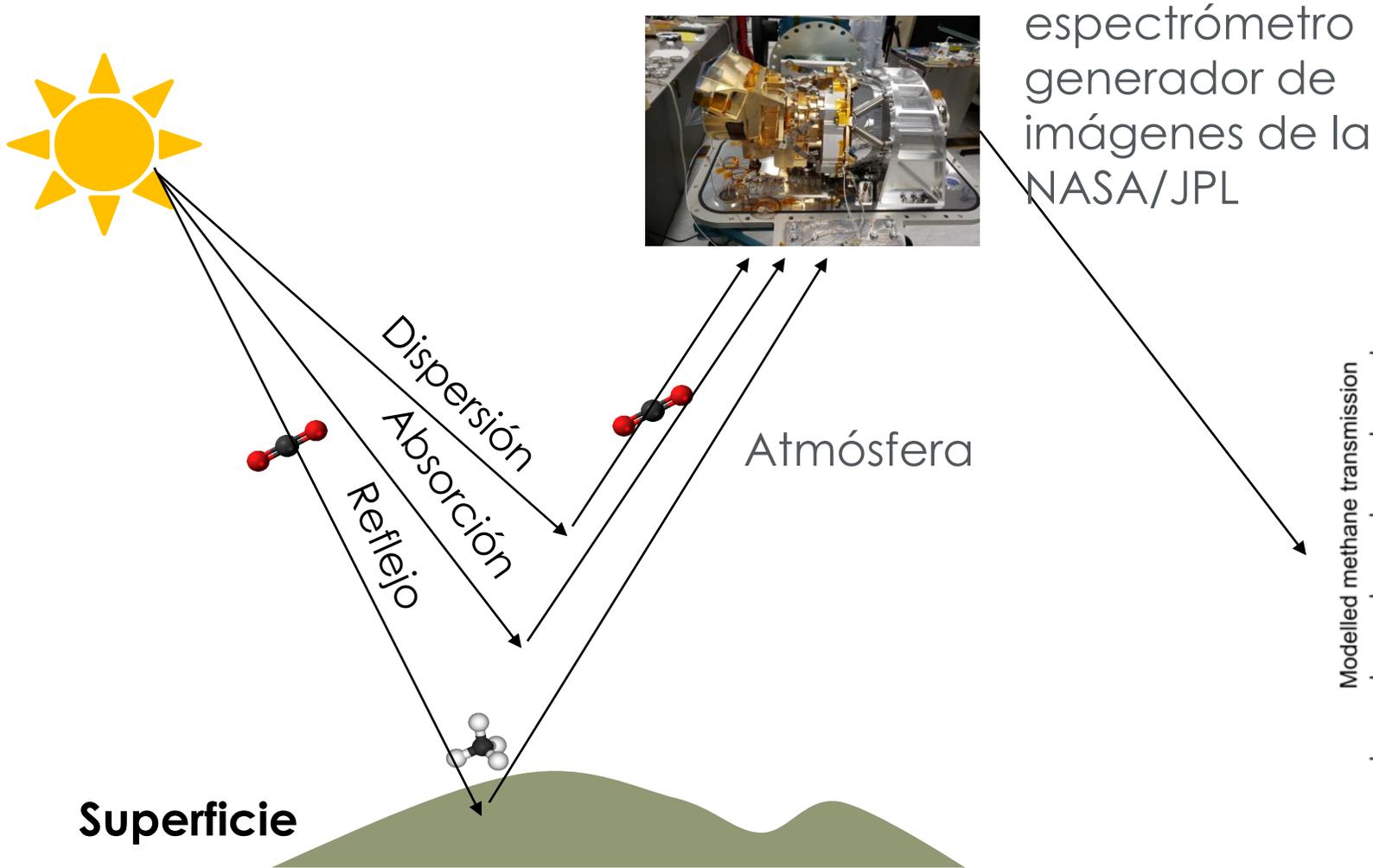
EnMAP (Píxeles de 30 m × 30 m, franja de 30 km)



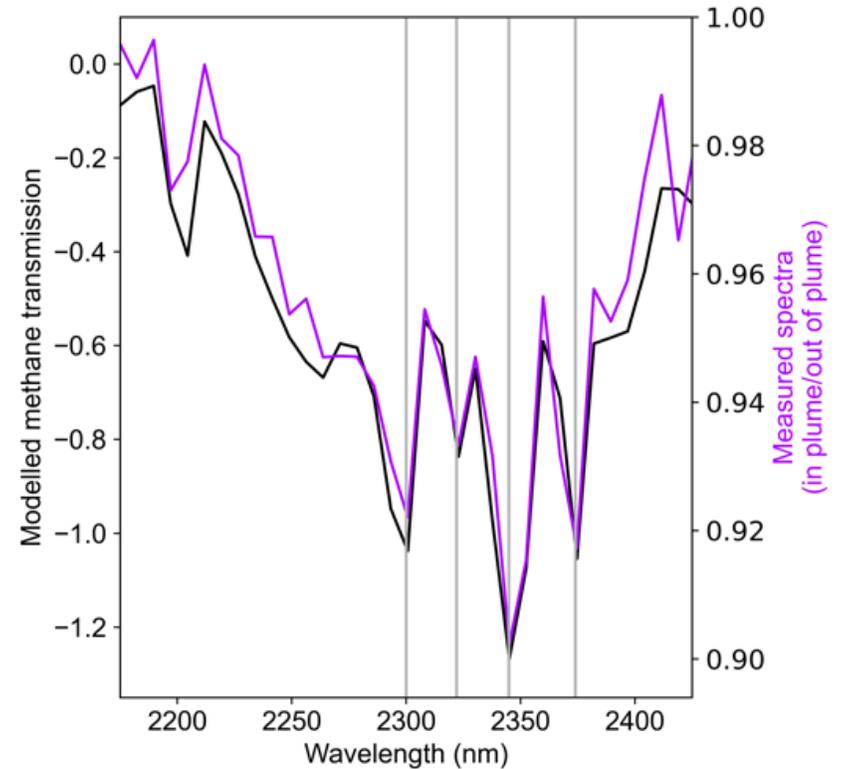
Roger et al., 2024



# Mapeo de Emisiones de Metano de Fuentes Puntuales



## Huella espectral de metano



# Los Espectrómetros de Imágenes en Plataformas Aéreas Posibilitaron Futuras Observaciones Desde el Espacio

AVIRIS-3 2023

AVIRIS-NG 2013

GAO 2006

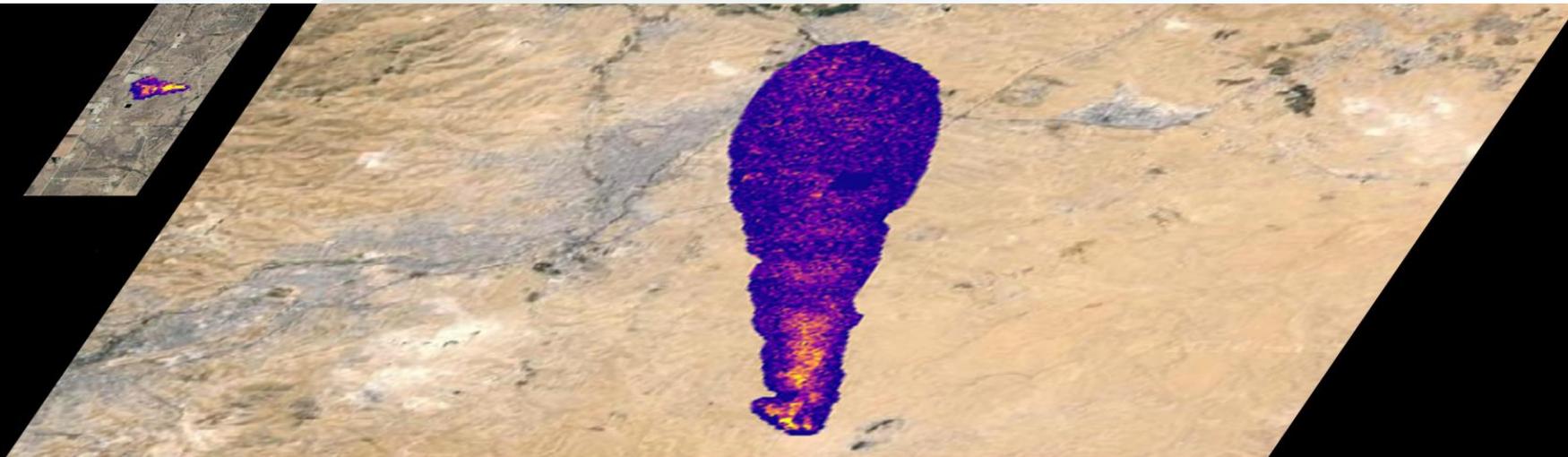
AVIRIS 2008

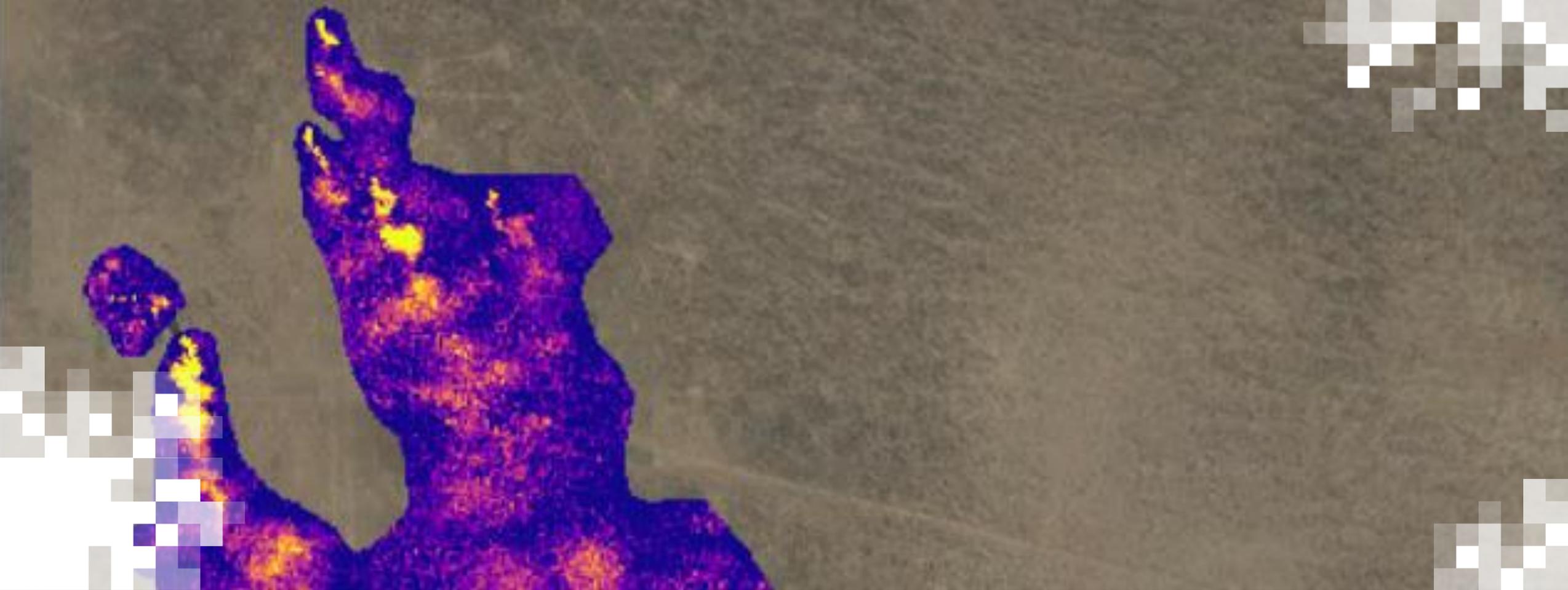
- Imágenes de fuentes puntuales de  $\text{CH}_4$  (emisiones de los sectores de energía, residuos y agricultura)
- Sensibilidad mejorada con respecto a EMIT (10s de  $\text{kg CH}_4 \text{ hr}^{-1}$ )



EMIT on ISS 2022

- Imágenes de fuentes puntuales de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  (emisiones de los sectores de energía, residuos y agricultura)
- Menos sensible que los aerotransportados (100s de  $\text{kg CH}_4 \text{ hr}^{-1}$ )
- Mayor cobertura

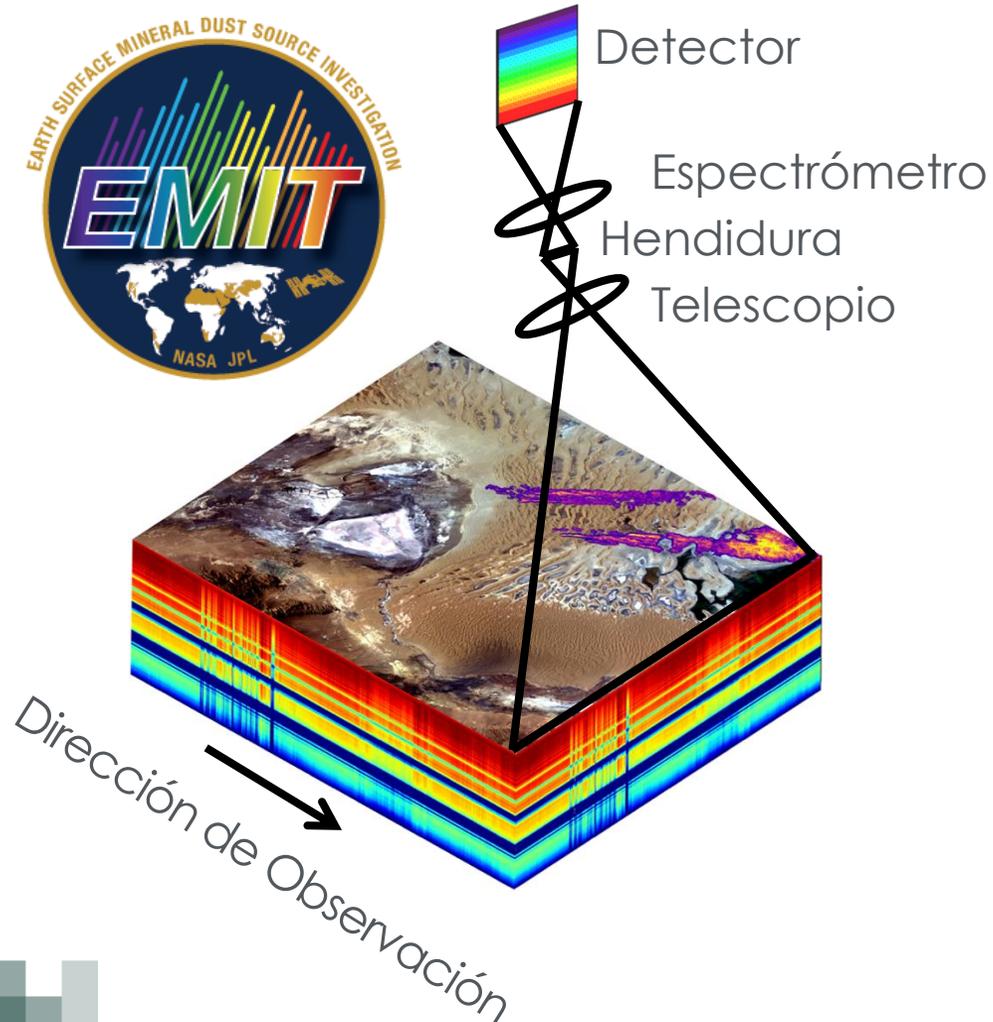




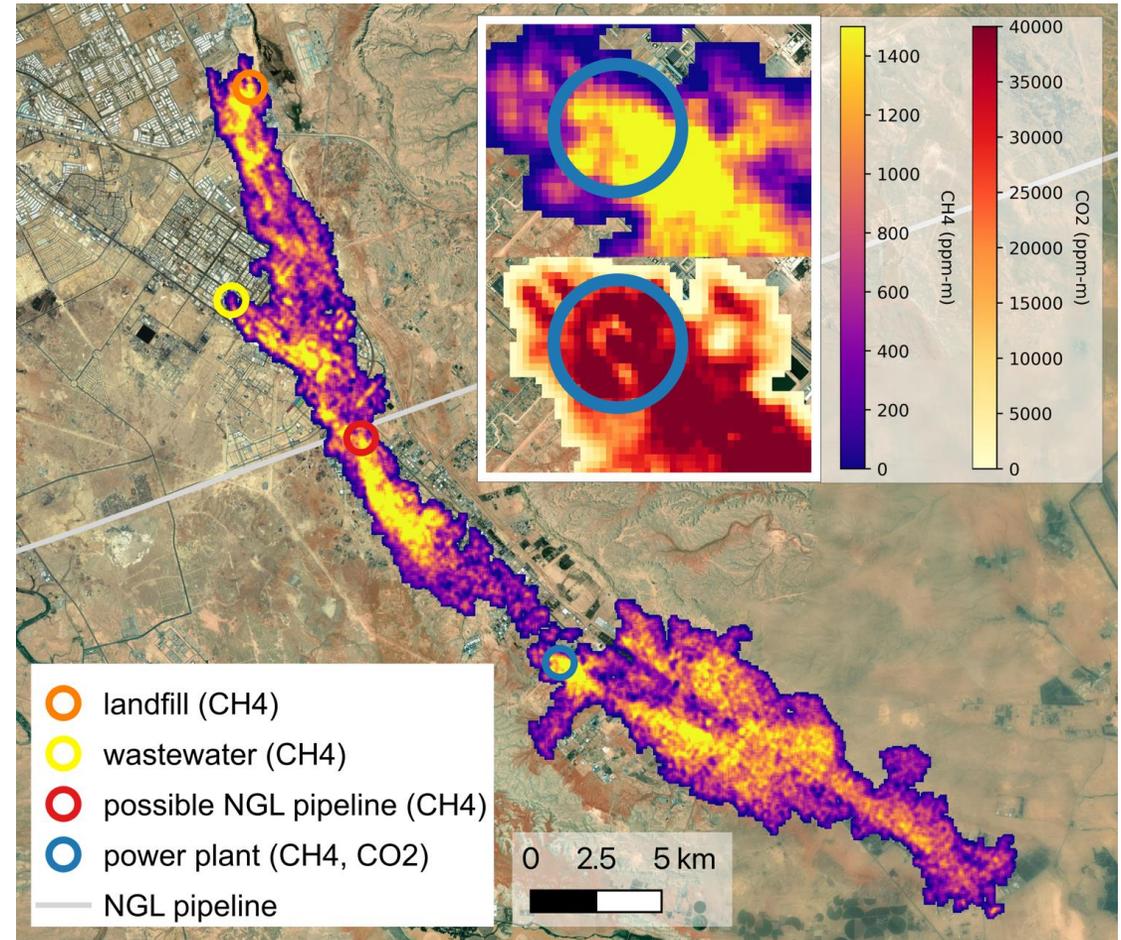
## Observaciones de EMIT para la Detección de Fuentes Puntuales de Metano

# Identificación, Cuantificación y Atribución de Fuentes Puntuales de Metano

## Espectrómetro de imágenes



## Atribución de emisiones por sector

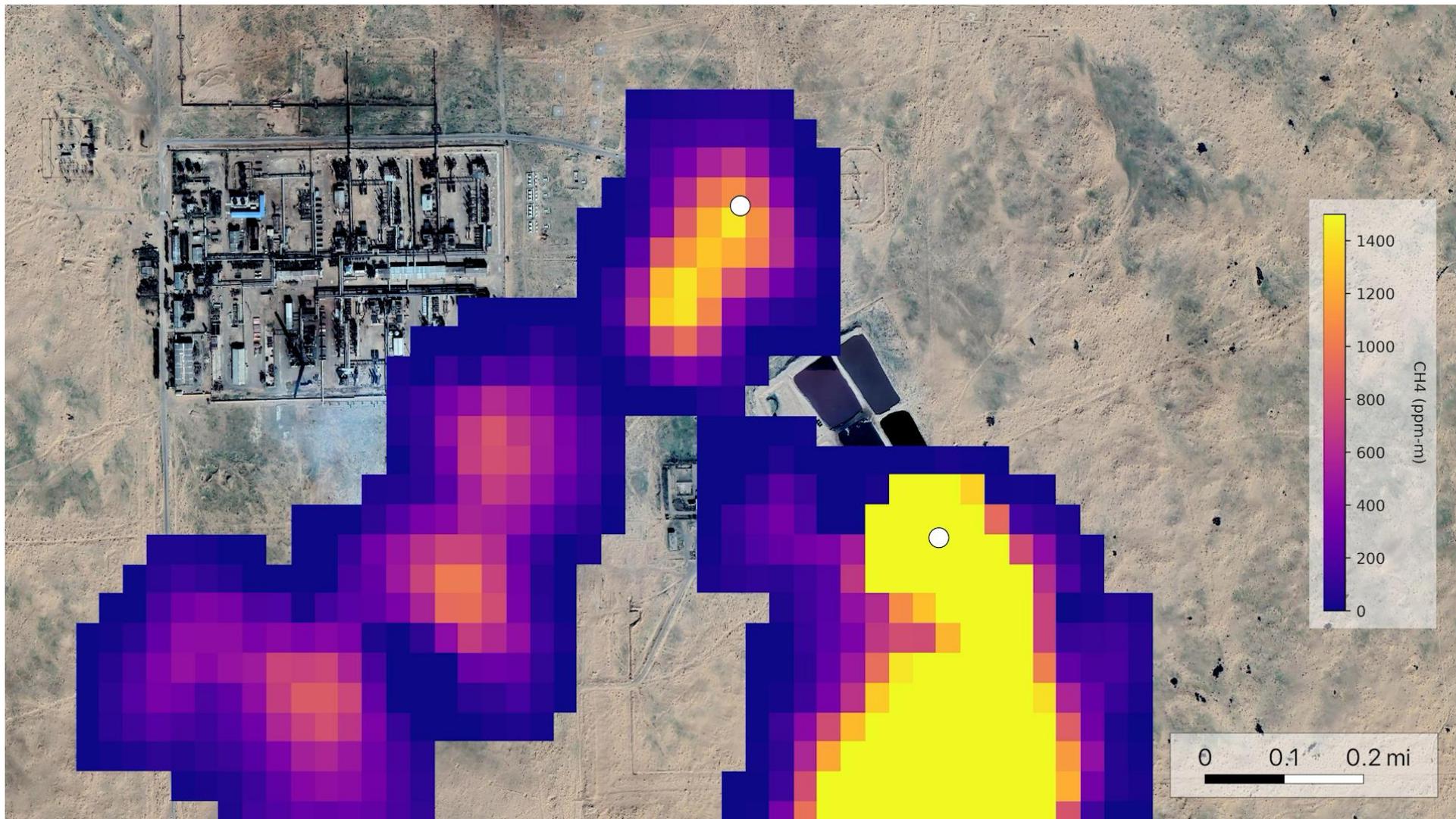


Thorpe et al., 2023



# Las Observaciones de Metano de EMIT Proporcionan Información Clave

Localización de fuentes de metano



Compartir resultados puede conducir a la mitigación de emisiones



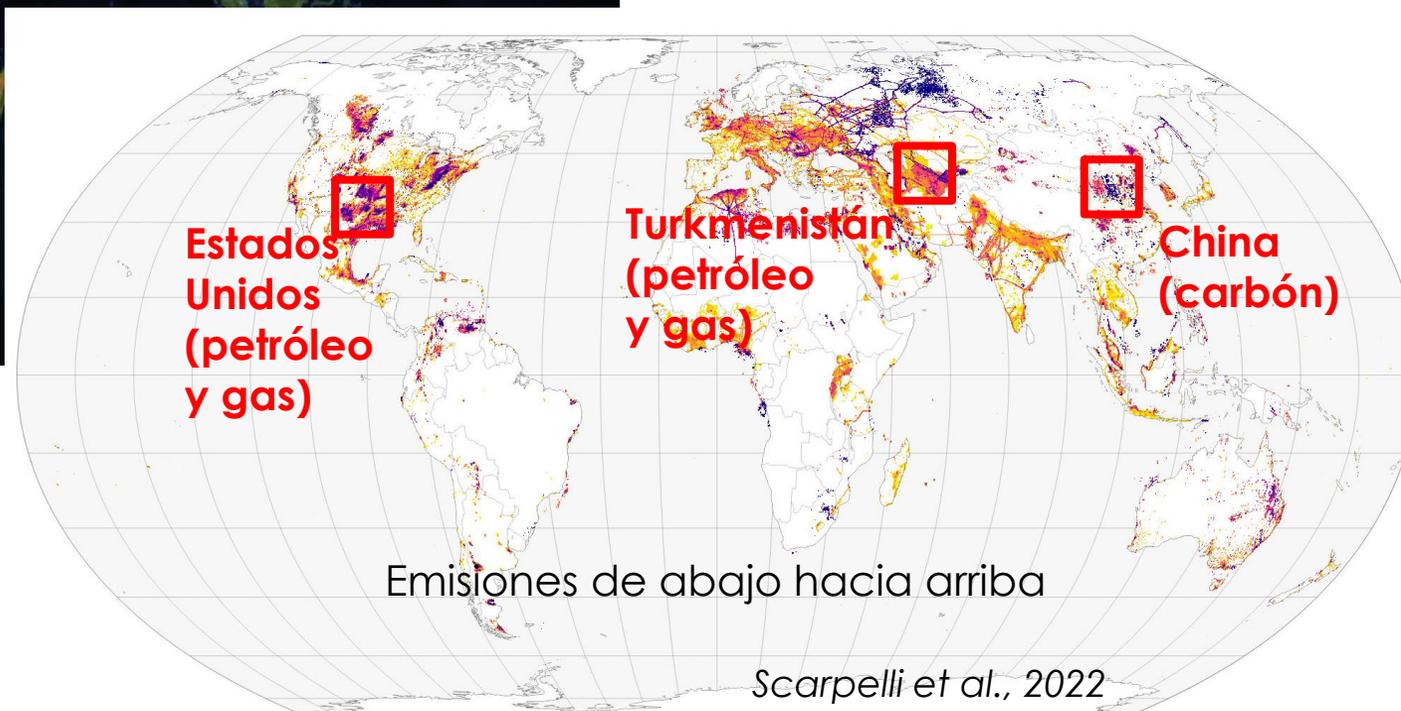
# Columnas de Metano Observadas por EMIT



# Distribución de Columnas de Metano Observadas por EMIT (descendente)

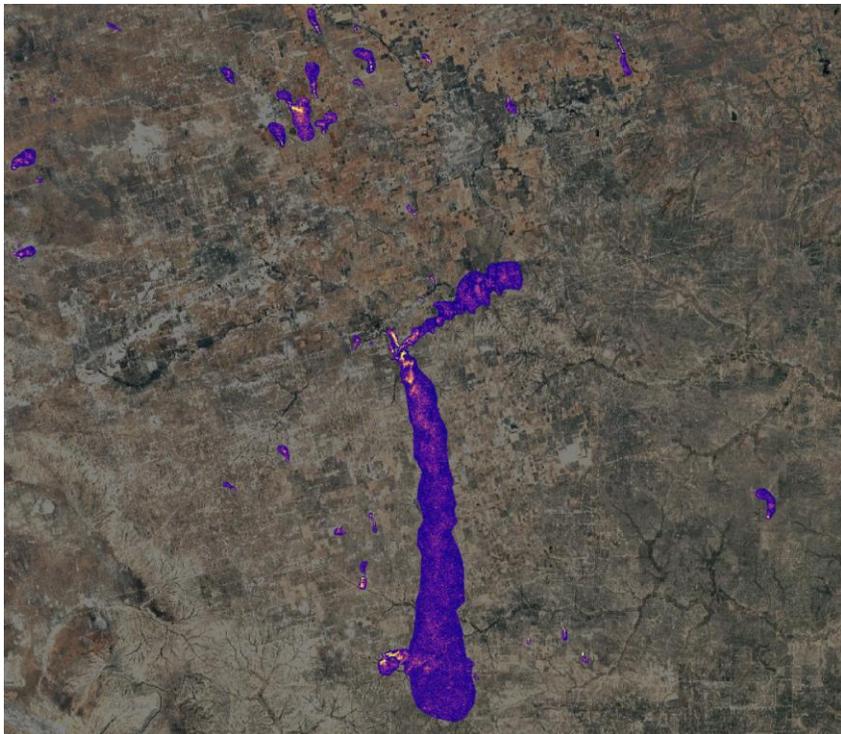


Correlacionada con emisiones de metano de la explotación de combustibles fósiles estimadas (ascendente)



# Emisiones de Metano Provenientes de Combustibles Fósiles Detectadas por EMIT

Estados Unidos (petróleo y gas)



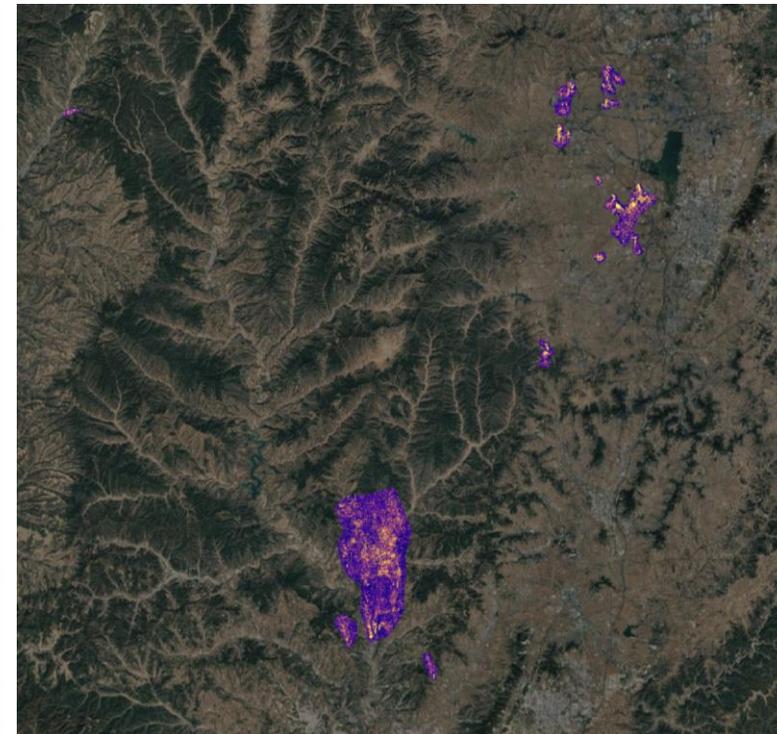
~100 km x ~100 km

Turkmenistán (petróleo y gas)



~200 km x ~200 km

China (carbón)



~80 km x ~80 km

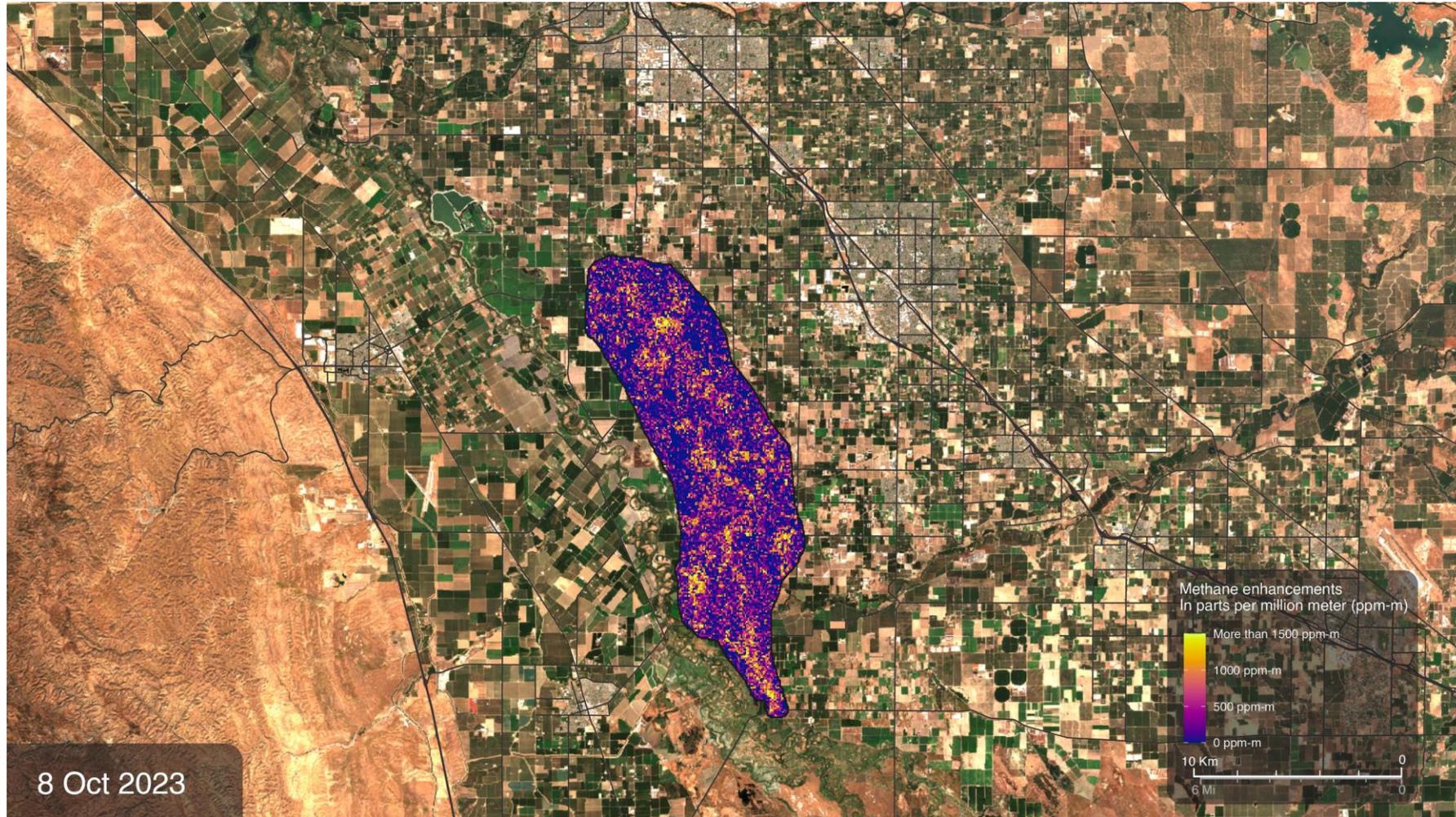


# Emisiones de Metano Provenientes de Vertederos Detectadas por EMIT

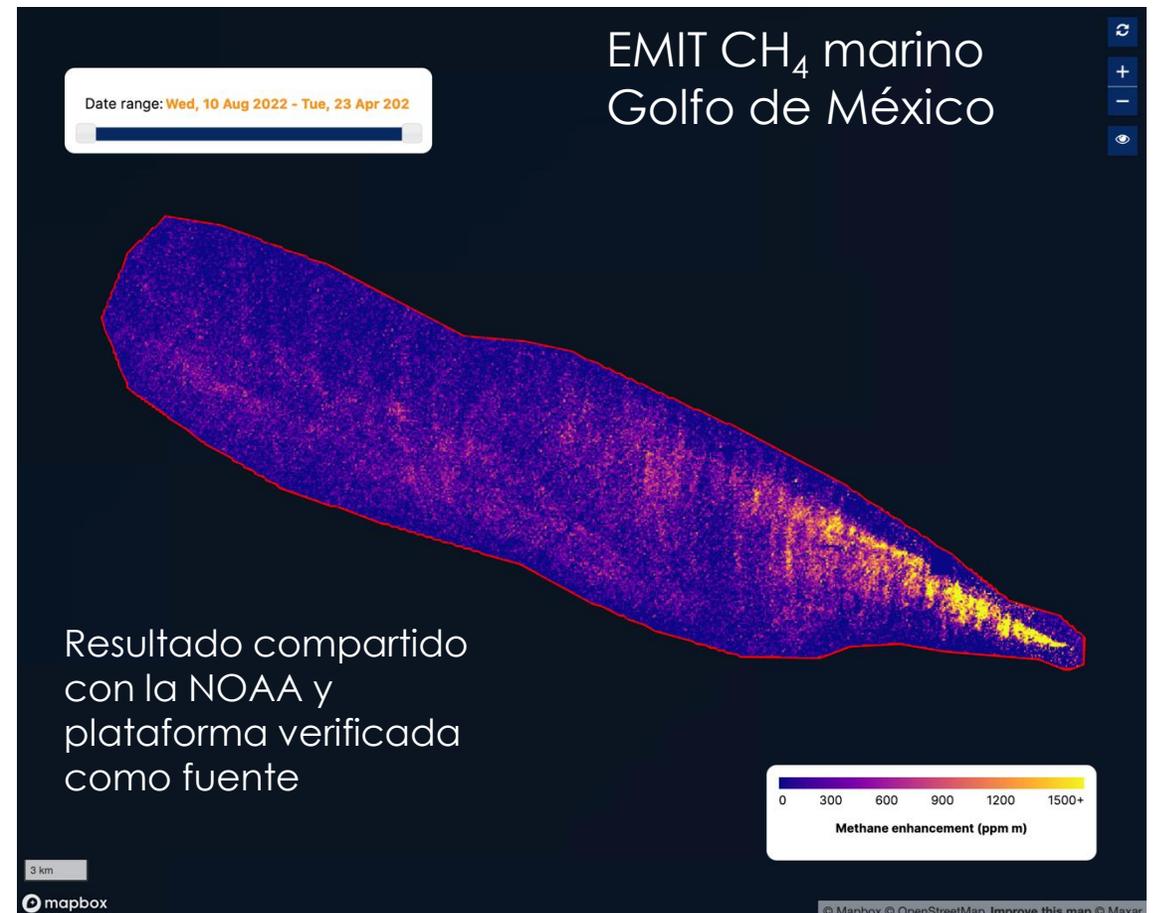
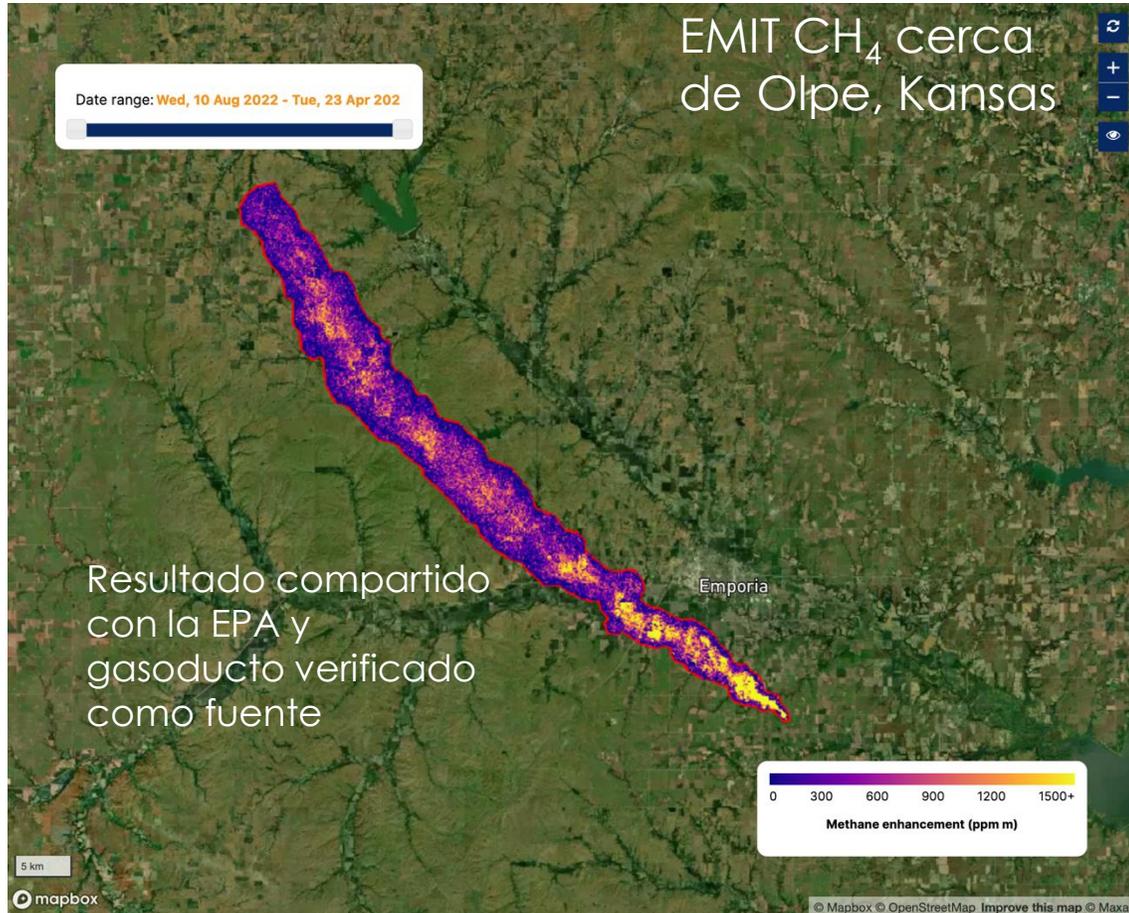


# Emisiones de Metano Provenientes del Sector Agrícola Detectadas por EMIT

Valle de San Joaquín, California



# EMIT Puede Descubrir Emisiones Inesperadas y Proporcionar Información Aplicable



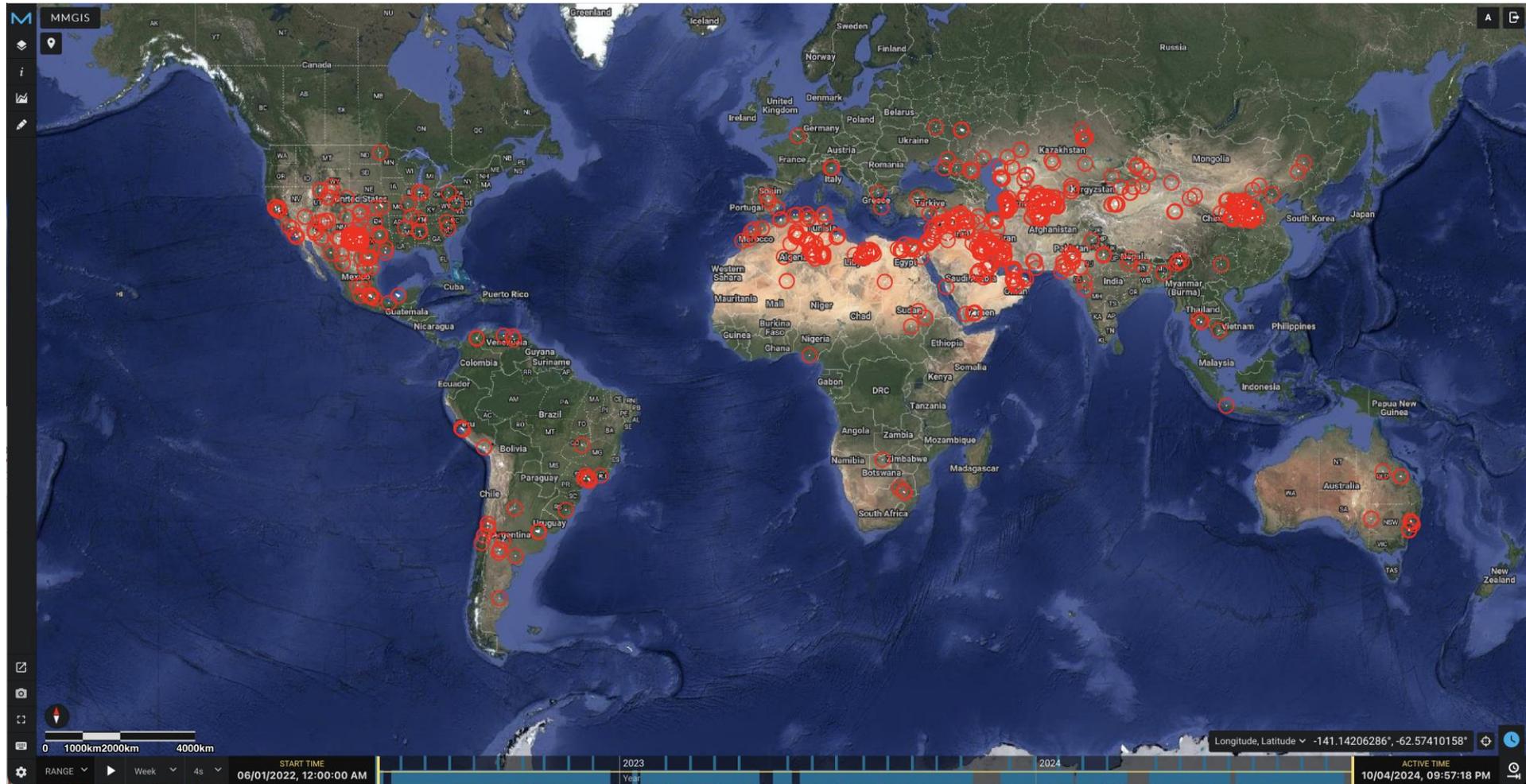
Sources verified by:



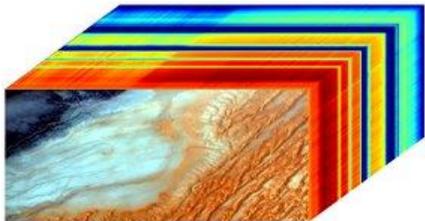
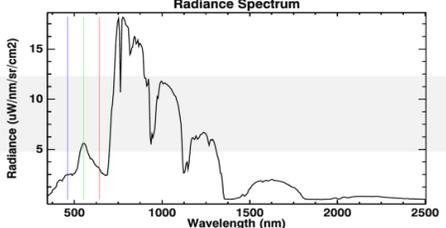
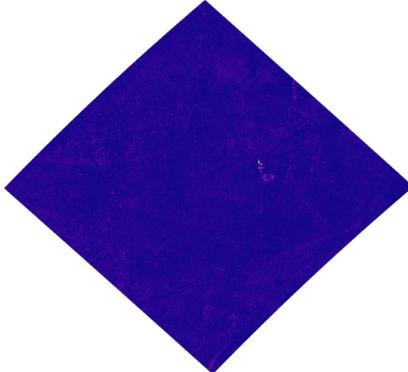
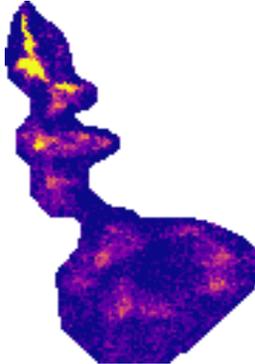
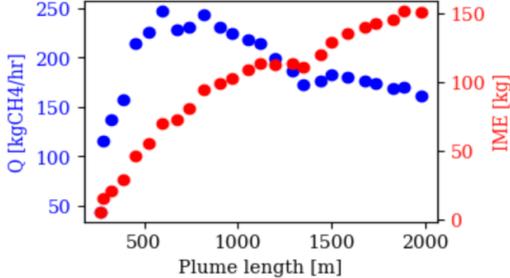
# Comprender la Cobertura Satelital es Fundamental

Azul:  
Cobertura  
de EMIT

Rojo:  
Columnas  
de metano  
de EMIT



# Datos Actuales y Futuros

<p>EMIT Nivel 1B: Radiancia y geocalización calibradas</p> <p>LP DAAC</p>  	<p>Nivel 2B: Mapas de aumentos de metano</p> 	<p>Nivel 2B: Columnas de metano</p> 	<p><b>Nivel 3: Tasas de emisión de metano con incertidumbres (planificadas)</b></p> 
	<p>Nivel 2B: Mapas de aumentos de CO<sub>2</sub></p>	<p>Nivel 2B: Columnas de CO<sub>2</sub></p>	<p><b>Nivel 3: Tasas de emisión de CO<sub>2</sub> con incertidumbres (planificadas)</b></p>

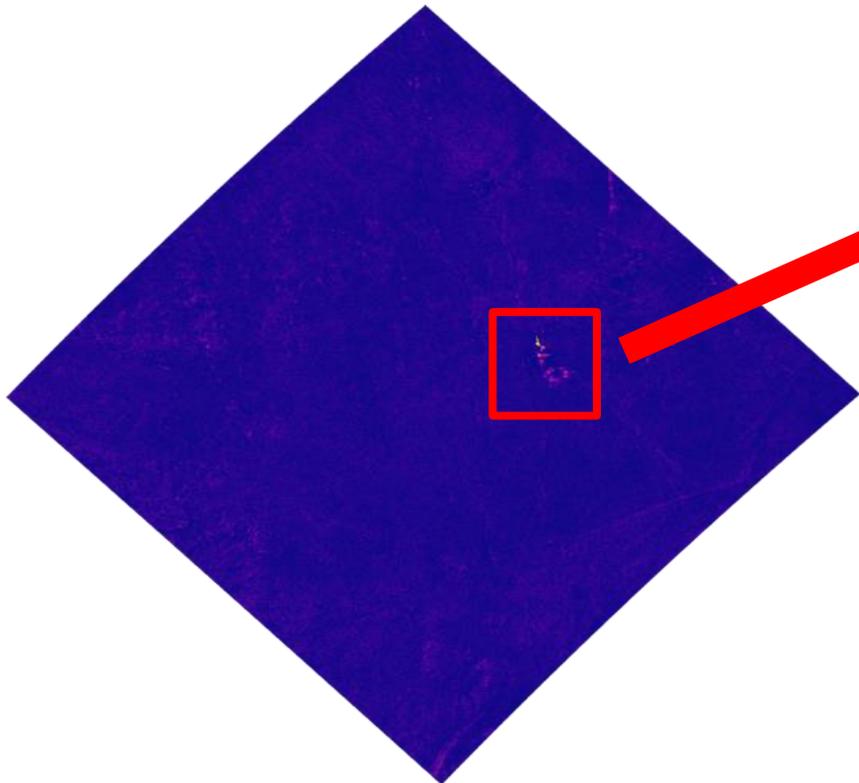
Los datos de AVIRIS se pueden encontrar en el [Oak Ridge National Laboratory \(ORNL\) Distributed Active Archive Center \(DAAC\)](https://daac.ornl.gov/)

Repositorios de ciencia abierta: <https://github.com/emit-sds>  
<https://github.com/emit-sds/emit-ghg>



# Emisiones Estimadas

Nivel 2B: Mapas de aumentos de metano



Nivel 2B: Columnas de metano



Nivel 2B: Tasas de emisión de metano con incertidumbres (previstas)

$$Q = \frac{IME * U}{L}$$

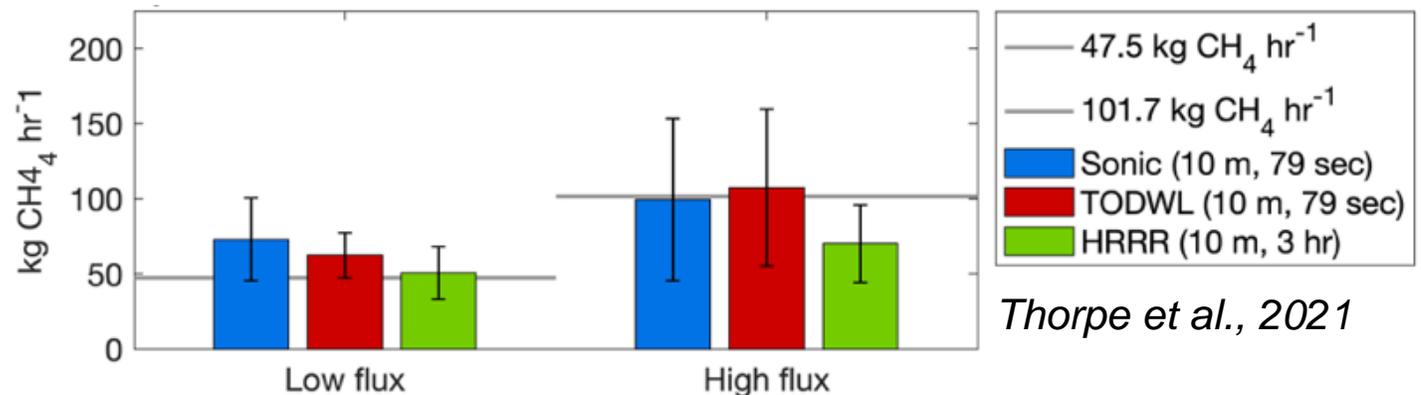
Tasa de emisión: Q (kg/hr)

Aumento de masa integrada: IME (kg)

Velocidad del viento: U (m/sec)

Longitud de columna: L (m)

Liberación de metano controlada

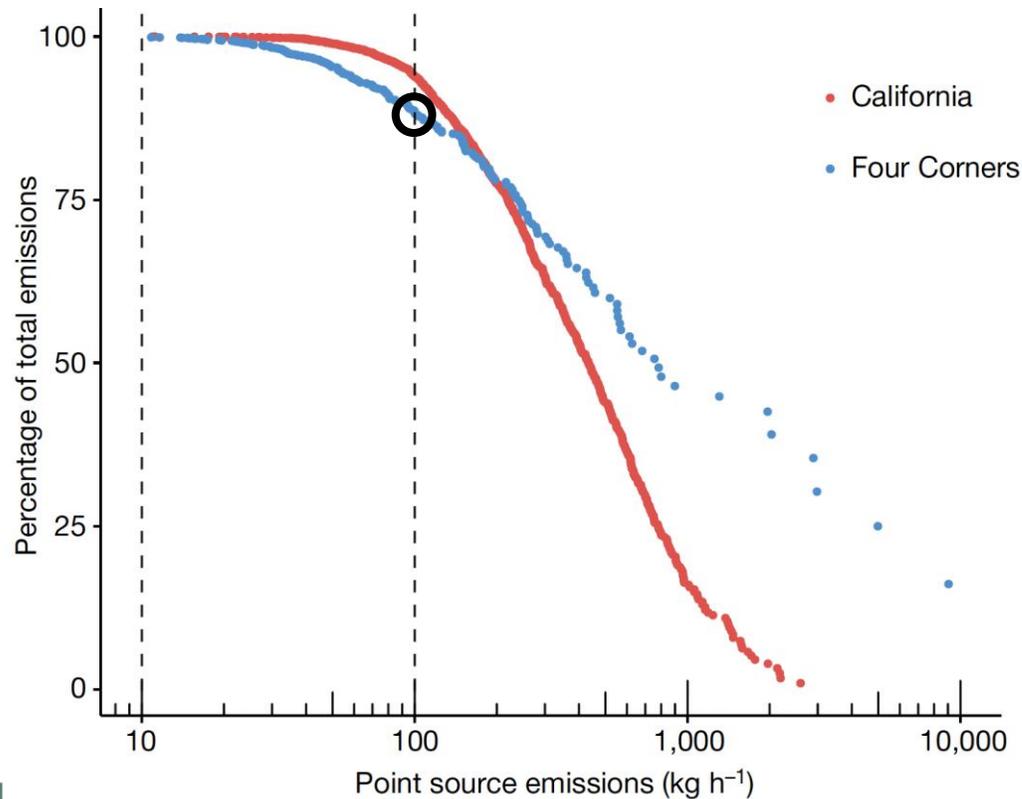


Thorpe et al., 2021



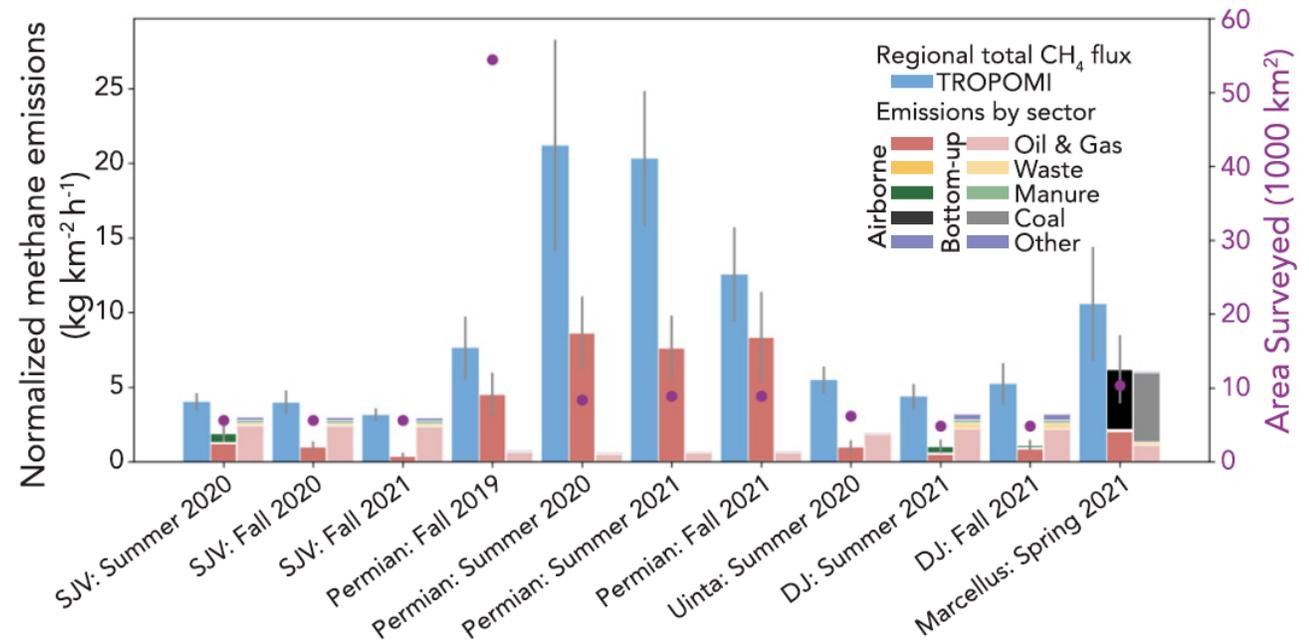
# Importancia de Las Grandes Emisiones de Metano

Fuentes puntuales grandes son responsables de la mayoría de las emisiones aéreas observadas (AVIRIS-NG)



Duren et al., 2019

Mediciones de AVIRIS-NG y GAO indican que las emisiones de fuentes puntuales representan una contribución significativa del flujo regional total (en promedio un 40%)



Cusworth et al., 2022



# La Iniciativa Científica de Código Abierto de la NASA Amplía el Uso de los Datos de EMIT

Organizaciones interesadas, han indicado su intención de, o están explorando, incorporar observaciones de radiancia o metano de EMIT en sus plataformas u operaciones:



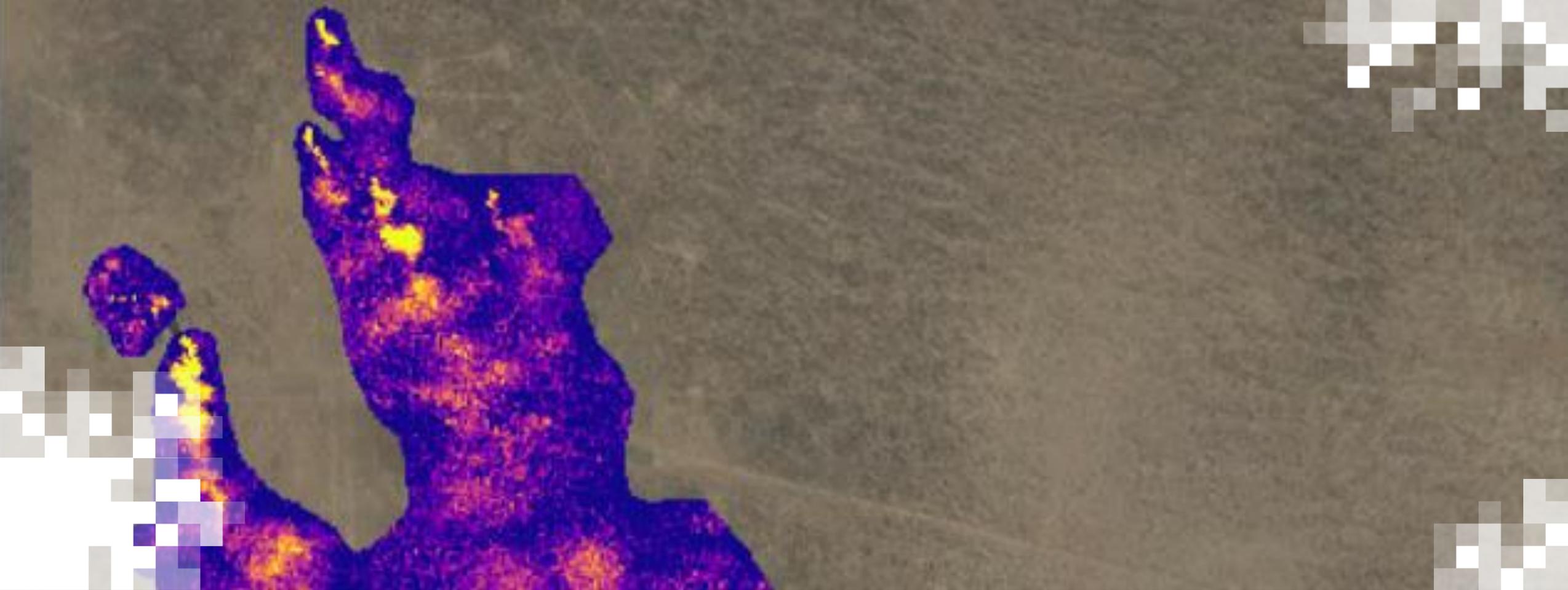
Methane Alert and Response System (MARS)



# Las Observaciones Satelitales de Eventos de Grandes Emisiones Tienen Pros y Contras

- Fuertes:
  - Las emisiones observadas de fuentes puntuales se pueden localizar, cuantificar y atribuir al sector responsable de las emisiones.
  - La capacidad de mapeo conduce a una mejor comprensión de las emisiones antrópicas.
  - Poner estos resultados a disposición del público puede servir de base para las estrategias de mitigación.
- Limitaciones:
  - La tecnología actual se limita solo a grandes fuentes puntuales de metano.
  - Los instrumentos individuales tienen una cobertura espacial y resolución temporal limitadas.
  - Una observación refleja sólo un instante en el tiempo y se requieren observaciones repetidas para evaluar si las emisiones son intermitentes o persistentes.





## Sesión 1: **Resumen**

# Resumen

- El metano es un gas de efecto invernadero potente y los científicos han observado su crecimiento en la atmósfera en las últimas décadas
- El metano contribuye aproximadamente el 16% del calentamiento en relación con la era preindustrial
- A pesar de que podemos ver aumentos en el metano, se necesitan más mediciones para comprender las fuentes y los sumideros de metano y comprender qué tan efectivas son las estrategias de mitigación
- Las observaciones satelitales son importantes para mostrar la efectividad de los cambios en las políticas
- El US Greenhouse Gas Center (Centro de GEI de EE. UU.) está dirigido por la NASA, la EPA, el NIST y la NOAA y es parte de una estrategia nacional para avanzar el sistema integrado de medición, monitoreo e información del US Greenhouse Gas Center
- Los objetivos del US Greenhouse Gas Center incluyen la creación de datos que respalden la toma de decisiones, mejoran la calidad y confiabilidad de la información y, en última instancia, proporcionan a los usuarios información consensuada para ayudar en la mitigación del cambio climático.
- El portal de datos del US Greenhouse Gas Center contiene historias de datos, explicaciones de los datos disponibles, junto con herramientas de visualización



# Resumen

- Varias misiones satelitales miden el metano y hay dos tipos principales:
  - Los **Mapeadores de flujo de área** tienen una baja resolución espacial (~3.5 – 10.5 km) y son los más adecuados para mapear los gradientes globales de metano
  - Los **Generadores de imágenes de fuentes puntuales** tienen una alta resolución espacial (~30 m) y son los más adecuados para identificar distintas fuentes puntuales de metano
- Las fuentes puntuales son emisiones de metano desde una ubicación específica en la superficie y pueden provenir de diferentes sectores, como el de petróleo y gas, vertederos y actividades agrícolas
- El sensor EMIT a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés) es un generador de imágenes de fuentes puntuales con una resolución espacial de 60 m. EMIT no puede observar la columna de metano en latitudes altas debido a la órbita de la ISS.
- Las observaciones de metano de EMIT se pueden utilizar para:
  - Localizar las fuentes de metano asociadas con infraestructuras conocidas, que pueden resultar en la atribución de emisiones de un sector específico, e informar sobre las actividades de mitigación;
  - Descubrir emisiones inesperadas que no estén en inventarios, como fugas de gasoductos o nuevas fuentes.
  - Monitorear las emisiones de fuentes puntuales de metano a lo largo del tiempo
- Los datos de EMIT incluyen mapas de aumento de metano y columnas de metano
  - Los aumentos de metano son incrementos de metano por encima de la cantidad histórica del área
  - Los productos futuros incluirán tasas de emisión de metano



# La 2<sup>nda</sup> Sesión

- Demostraciones de varias plataformas que se pueden utilizar para acceder o visualizar las observaciones de EMIT
  - El portal del US GHG Center
  - El Portal EMIT VISIONS
  - Earthdata Search



# Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Se asignará una tarea
- Abre el 9 de enero de 2025
- Acceder desde la [página web de la capacitación](#)
- Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google
- **Fecha de entrega: 23 de enero de 2025**

- **Certificado de Finalización de Curso:**

- Asista a ambas sesiones en vivo (la asistencia se registra automáticamente)
- Complete la tarea antes de la fecha límite

Recibirá un certificado por correo electrónico aproximadamente dos meses después de completar el curso.



# Datos de Contacto

## Instructores:

- Andrew Thorpe
  - [Andrew.K.Thorpe@jpl.nasa.gov](mailto:Andrew.K.Thorpe@jpl.nasa.gov)
- Lesley Ott
  - [lesley.e.ott@nasa.gov](mailto:lesley.e.ott@nasa.gov)
- Dana Chadwick
  - [katherine.d.chadwick@jpl.nasa.gov](mailto:katherine.d.chadwick@jpl.nasa.gov)
- Melanie Follette-Cook
  - [melanie.cook@nasa.gov](mailto:melanie.cook@nasa.gov)

- [Página web de ARSET](#)
- ¡Síguenos en X (antiguamente Twitter)!
  - [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)
- [ARSET YouTube](#)

## Visite nuestros Programas Hermanos:



[DEVELOP](#)



[SERVIR](#)



# Recursos

- U.S. GHG Center, <https://earth.gov/ghgcenter/>
- U.S. GHG Center, Grandes Emisiones de Metano, <https://earth.gov/ghgcenter/stories/discovering-large-methane-emissions>
- Portal de Datos Abiertos de EMIT, <https://earth.jpl.nasa.gov/emit/data/data-portal/Greenhouse-Gases/>
- Portal de Misiones Satelitales de Gases de Efecto Invernadero CEOS, <https://database.eohandbook.com/ghg/>
- Repositorios de Ciencia Abierta de EMIT, <https://github.co/emit-sds>, <https://github.com/emit-sds/emit-ghg>
- Datos de EMIT en el Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/emit-overview/#nav-heading>
- Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC), Datos AVIRIS-3, [https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset\\_lister.pl?p=47](https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset_lister.pl?p=47)



# Publicaciones

- Lorente, A., Borsdorff, T., Butz, A., Hasekamp, O., Aan De Brugh, J., Schneider, A., Wu, L., Hase, F., Kivi, R., Wunch, D. y Pollard, D.F., 2021. Methane retrieved from TROPOMI: Improvement of the data product and validation of the first 2 years of measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(1), pp.665-684.
- Varon, D.J., McKeever, J., Jervis, D., Maasackers, J.D., Pandey, S., Houweling, S., Aben, I., Scarpelli, T. y Jacob, D.J., 2019. Satellite discovery of anomalously large methane point sources from oil/gas production. *Geophysical Research Letters*, 46(22), pp.13507-13516.
- Roger, J., Irakulis-Loitxate, I., Valverde, A., Gorroño, J., Chabrilat, S., Brell, M. y Guanter, L., 2024. High-resolution methane mapping with the EnMAP satellite imaging spectroscopy mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Thorpe, A.K., Green, R.O., Thompson, D.R., Brodrick, P.G., Chapman, J.W., Elder, C.D., Irakulis-Loitxate, I., Cusworth, D.H., Ayasse, A.K., Duren, R.M. y Frankenberg, C., 2023. Attribution of individual methane and carbon dioxide emission sources using EMIT observations from space. *Science advances*, 9(46), p.eadh2391.
- Scarpelli, T.R., Jacob, D.J., Grossman, S., Lu, X., Qu, Z., Sulprizio, M.P., Zhang, Y., Reuland, F., Gordon, D. y Worden, J.R., 2022. Updated Global Fuel Exploitation Inventory (GFEI) for methane emissions from the oil, gas, and coal sectors: evaluation with inversions of atmospheric methane observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(5), pp.3235-3249.
- Duren, R.M., Thorpe, A.K., Foster, K.T., Rafiq, T., Hopkins, F.M., Yadav, V., Bue, B.D., Thompson, D.R., Conley, S., Colombi, N.K. y Frankenberg, C., 2019. California's methane super-emitters. *Nature*, 575(7781), pp.180-184.
- Cusworth, D.H., Thorpe, A.K., Ayasse, A.K., Stepp, D., Heckler, J., Asner, G.P., Miller, C.E., Yadav, V., Chapman, J.W., Eastwood, M.L. y Green, R.O., 2022. Strong methane point sources contribute a disproportionate fraction of total emissions across multiple basins in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(38), p.e2202338119.





¡Gracias!

