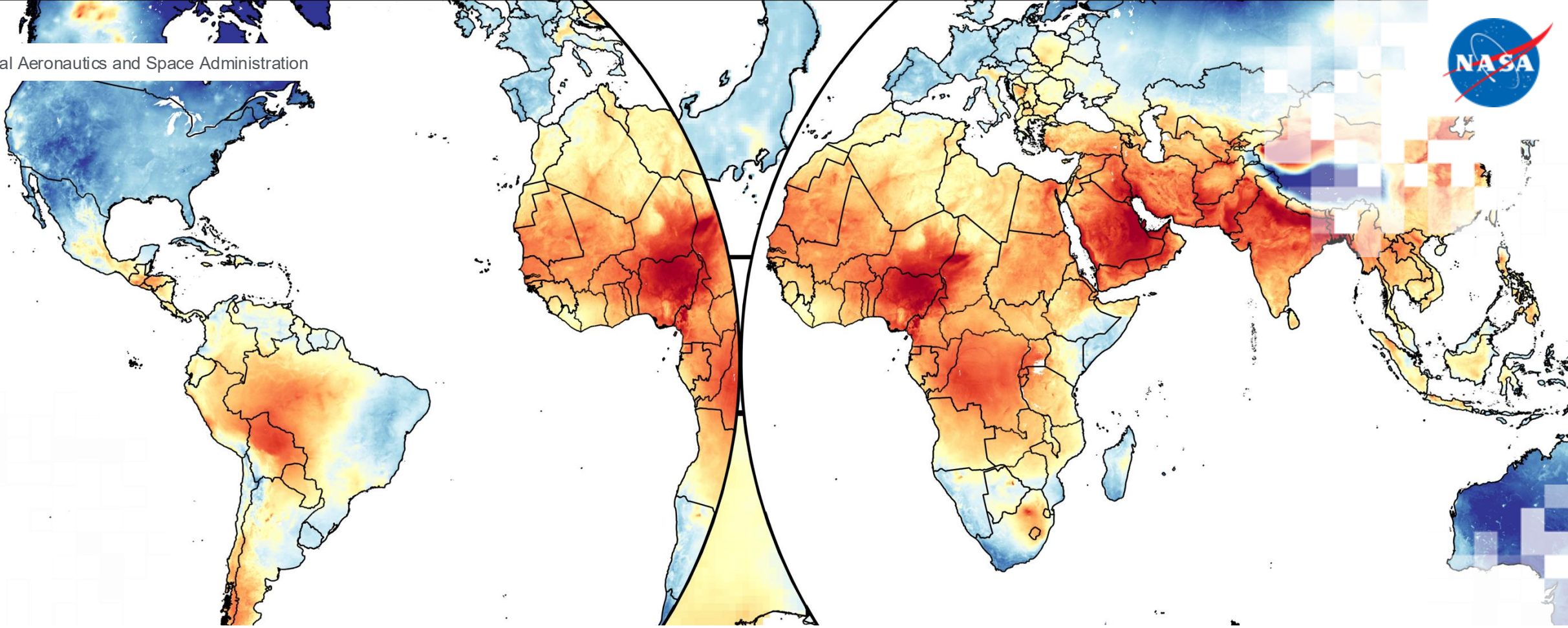


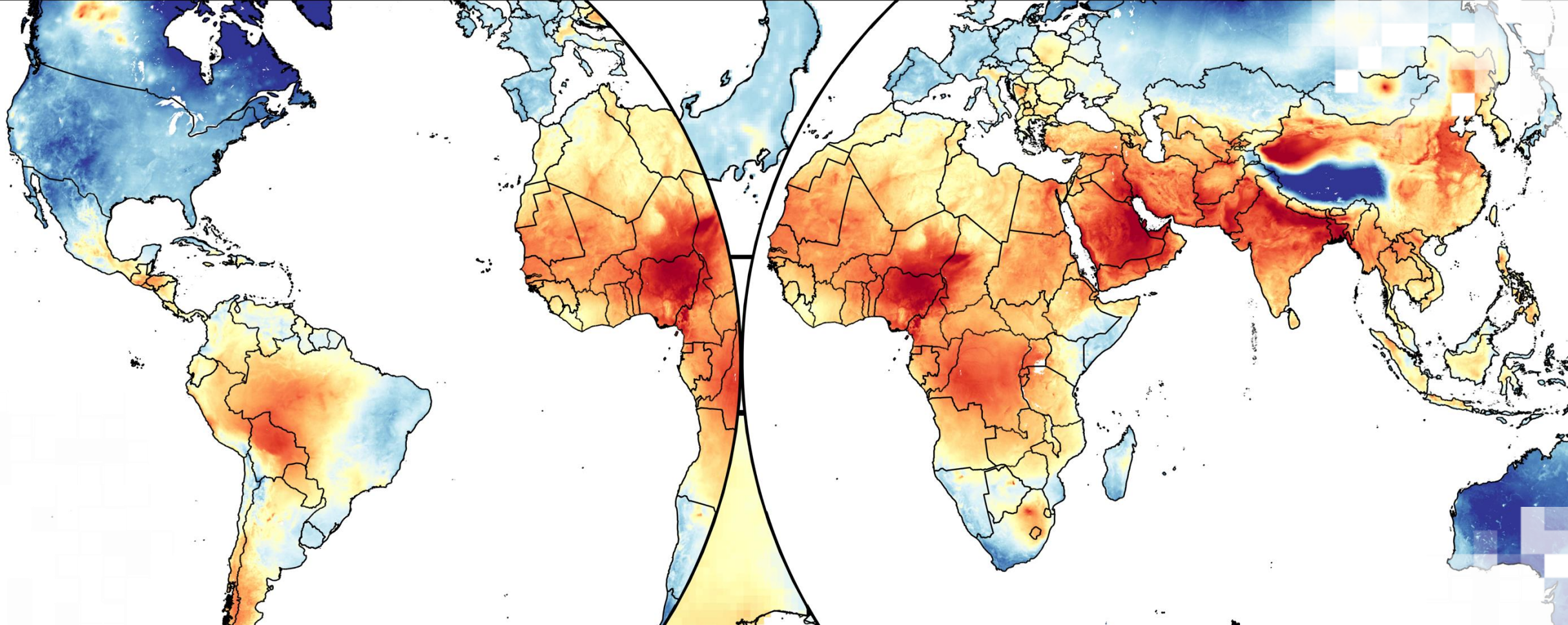


Estimación de $PM_{2.5}$ en la Superficie Usando Datos de Satélites y Otras Fuentes de Información

Parte 1: AOD Versus $PM_{2.5}$ - Cuándo Están Relacionados y Cuándo No
Carl Malings (Morgan State University, MSU), Pawan Gupta (NASA GSFC), Aaron van Donkelaar (Washington University in St. Louis), Junhyeon Seo (MSU), Sebastián Diez (Universidad del Desarrollo), y Ana Prados (University of Maryland Baltimore County)

8 de julio de 2026





Acerca de ARSET

Acerca de ARSET*

- **ARSET ofrece capacitación accesible, relevante, 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 audiencias con diferentes niveles de experiencia.



AGRICULTURA



DESASTRES



CONSERVACIÓN ECOLÓGICA



SALUD Y CALIDAD DEL AIRE



RECURSOS HÍDRICOS



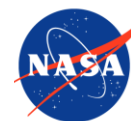
INCENDIOS FORESTALES

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



Acerca de las Capacitaciones de ARSET

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

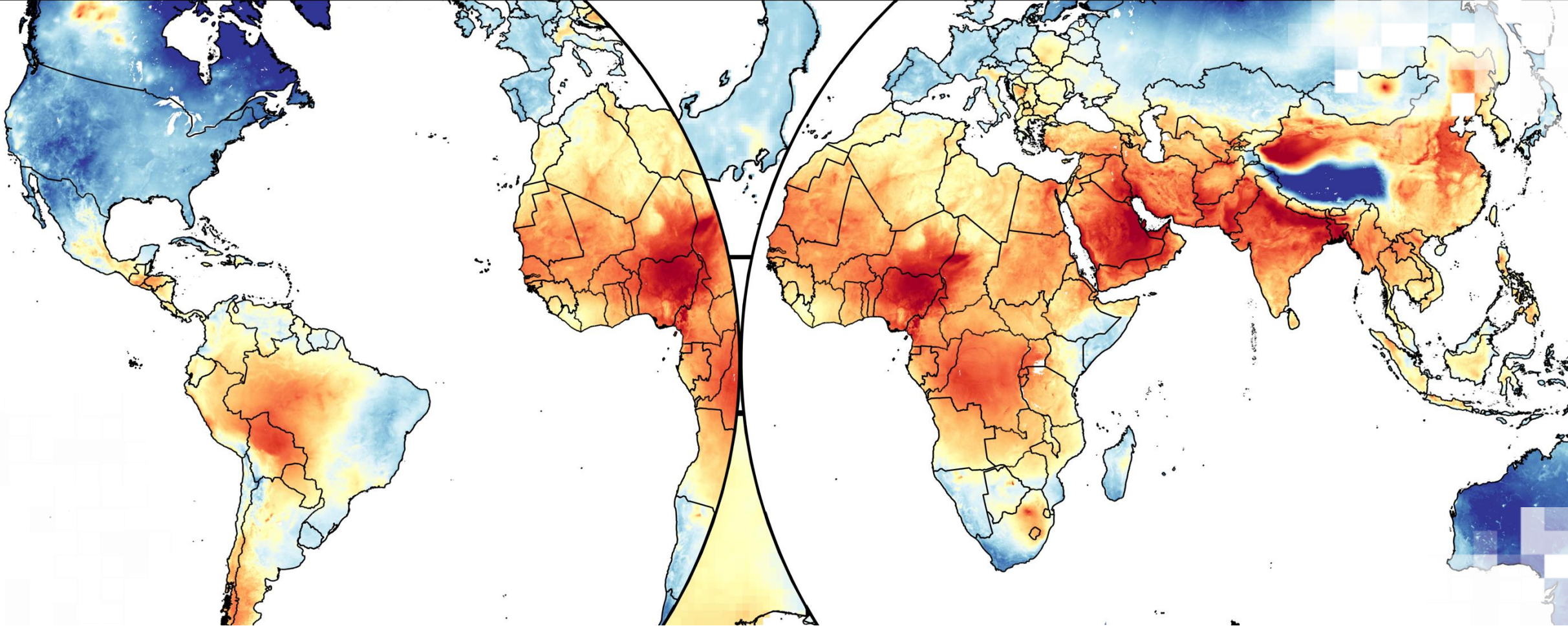


EARTH SCIENCE
APPLIED SCIENCES



CAPACITY BUILDING



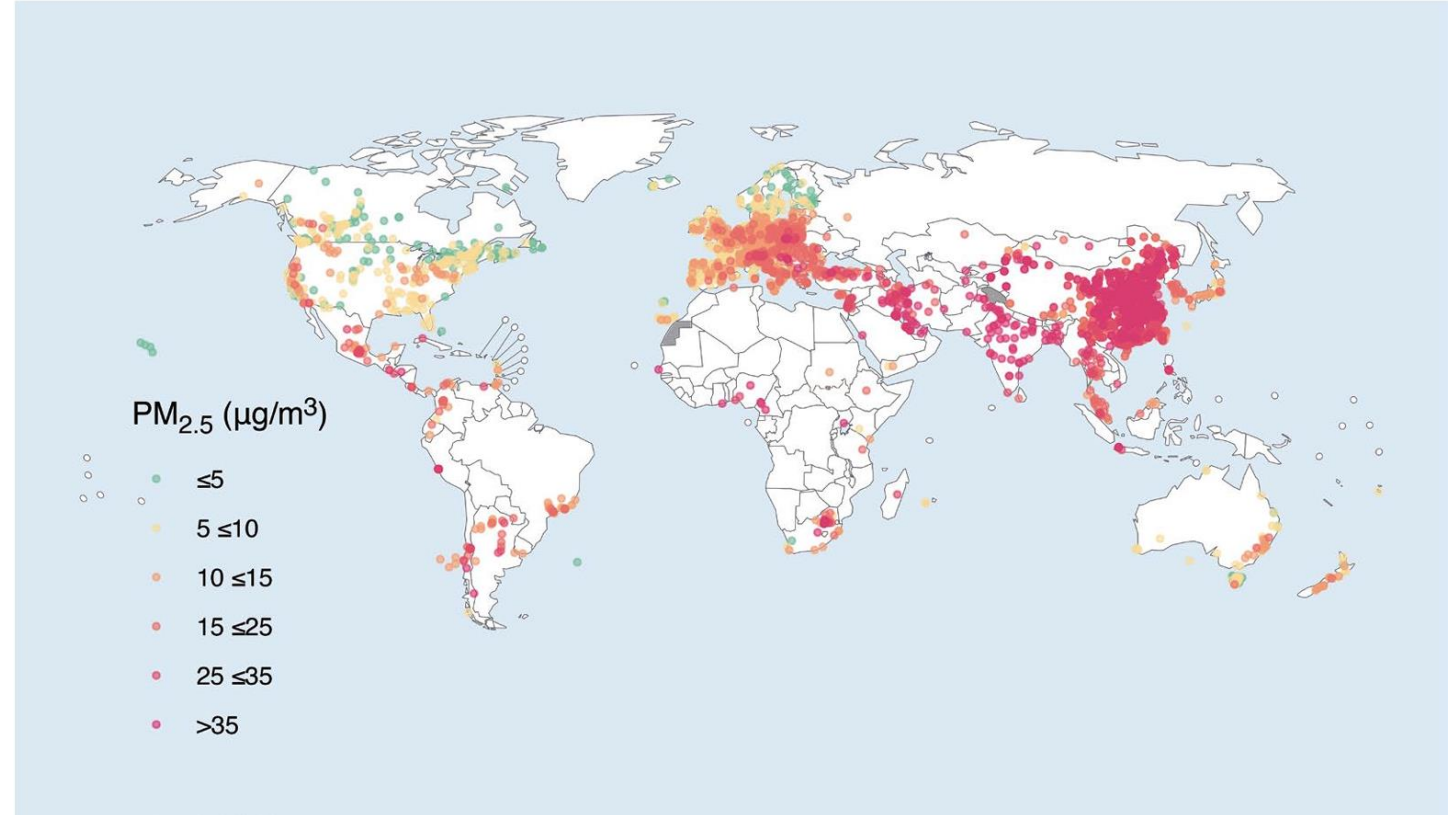


Estimación de PM_{2.5} en la Superficie Usando Datos de Satélites y
Otras Fuentes de Información
Visión General

El Material Particulado Fino (PM_{2.5}) es un contaminante atmosférico clave, pero poco monitoreado

- El Estudio sobre la carga global de enfermedades de 2023 informó que el “**PM_{2.5} sigue siendo el principal factor de riesgo ambiental**” para la mortalidad prematura.
- El PM es el indicador más ampliamente utilizado para evaluar los efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la salud.
- Solo 117 de 194 países (un 60%) y solo 6,743 de más de 12,000 asentamientos urbanos a nivel mundial (<56%) informaron datos de PM_{2.5} a la OMS para el 2022.

Global PM_{2.5} from WHO Ambient Air Quality Database
2010-2019



Fuentes: [Hay S, Ong K, Santomauro D et al. \(2025\)](#), [Organización Mundial de la Salud \(2023\)](#)



Objetivos de Aprendizaje para Esta Capacitación

Al final de esta capacitación, los participantes podrán:

- Explicar los métodos básicos para inferir $PM_{2.5}$ en la superficie a partir del AOD del satélite, sus insumos requeridos y sus complejidades.
- Diferenciar entre productos disponibles para $PM_{2.5}$ en la superficie de la NASA y la Universidad de Washington en St. Louis basado en sus metodologías, fortalezas y limitaciones.
- Usar las páginas web Earthdata de la NASA y SatPM para acceder a estos productos de datos de $PM_{2.5}$ en la superficie para una ubicación y un lapso de tiempo de interés.
- Comparar estas estimaciones de $PM_{2.5}$ de satélite con mediciones in situ usando estrategias de colocación adecuadas y métricas de evaluación.

Prerrequisitos

- [Fundamentos de la Teledetección](#)
- [Un Vistazo a Cómo la NASA Mide la Contaminación del Aire](#)

Esquema de la Capacitación

Parte 1

**AOD Versus PM_{2.5} –
Su Relación y Sus
Límites**

8 de julio de 2026

10:00–12:00

Parte 2

Estimación de PM_{2.5}
a partir de AOD –
Metodologías y
Conjuntos de Datos
Disponibles

15 de julio de 2026

10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Parte 3

Estudio de Caso –
Comparación de
Productos de PM_{2.5}
Derivados de
Satélites Disponibles
con Mediciones a
Nivel del Suelo

22 de julio de Hora
Este de EE.UU.

Tarea

Abre el 22 de julio 22 – Fecha Límite: 5 de agosto – Publicado en la Página web de la Capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a todas las sesiones en vivo y completen la tarea antes de la fecha límite.



Esquema de la Capacitación

Parte 1

AOD Versus PM_{2.5} –
Su Relación y Sus
Límites

8 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Parte 2

Estimación de PM_{2.5}
a partir del AOD –
Metodologías y
Conjuntos de Datos
Disponibles

15 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Parte 3

Estudio de Caso –
Comparación de
Productos de PM_{2.5}
Derivados de
Satélites Disponibles
con Mediciones a
Nivel del Suelo

22 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Tarea

Abre el 22 de julio 22 – Fecha Límite: 5 de agosto – Publicado en la Página web de la Capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a todas las sesiones en vivo y completen la tarea antes de la fecha límite.



Esquema de la Capacitación

Parte 1

AOD Versus PM_{2.5} –
Su Relación y Sus
Límites

8 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Parte 2

Estimación de PM_{2.5}
a partir del AOD –
Metodologías y
Conjuntos de Datos
Disponibles

8 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Parte 3

Estudio de Caso –
Comparación de
Productos de PM_{2.5}
Derivados de
Satélites Disponibles
con Mediciones a
Nivel del Suelo

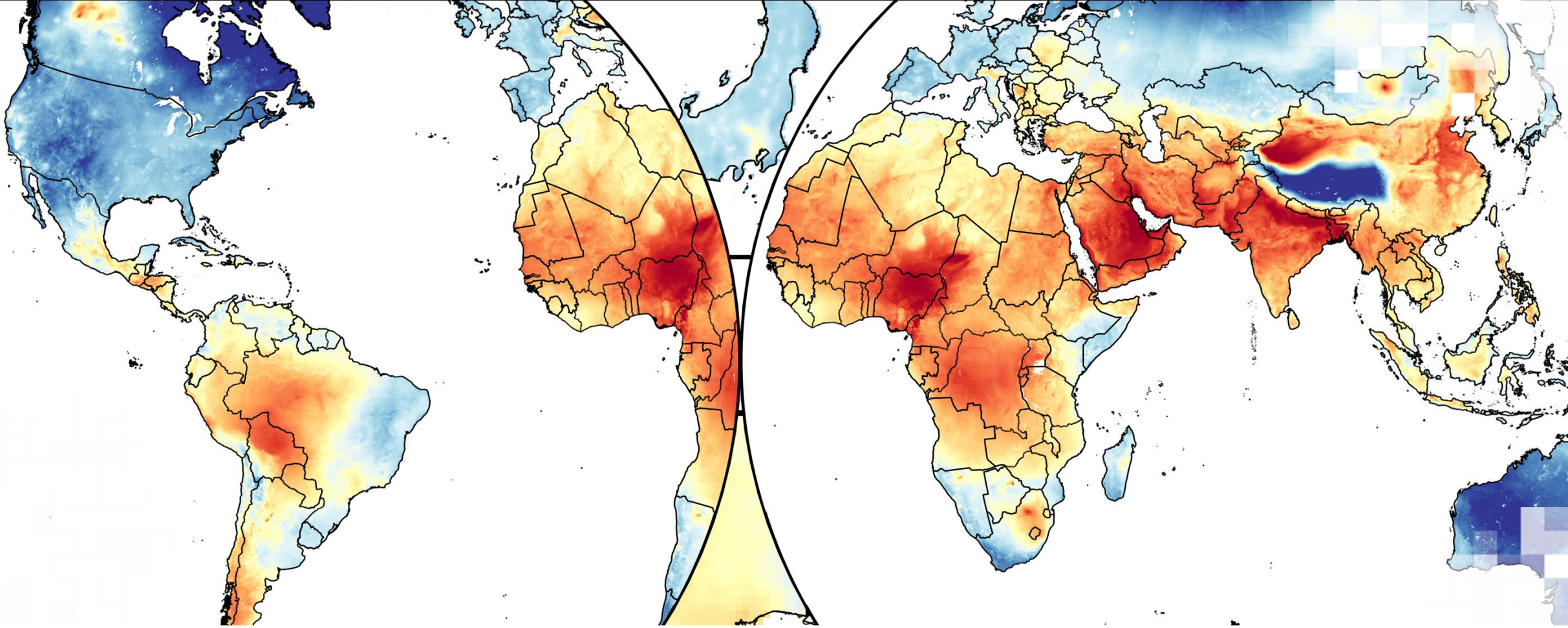
22 de julio de 2026
10:00–12:00 Hora
Este de EE.UU.

Tarea

Abre el 22 de julio 22 – Fecha Límite: 5 de agosto – Publicado en la Página web de la Capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a todas las sesiones en vivo y completen la tarea antes de la fecha límite.





Estimación de PM_{2.5} en la Superficie Usando Datos de Satélites y Otras Fuentes de Información

Parte 1: AOD Versus PM_{2.5} – Cuándo Están Relacionados y Cuándo No

Parte 1 – Formadores

Carl Malings

Científico Investigador Auxiliar
Morgan State University



Parte 1- Objetivos

Al final de la Parte 1, los participantes podrán:

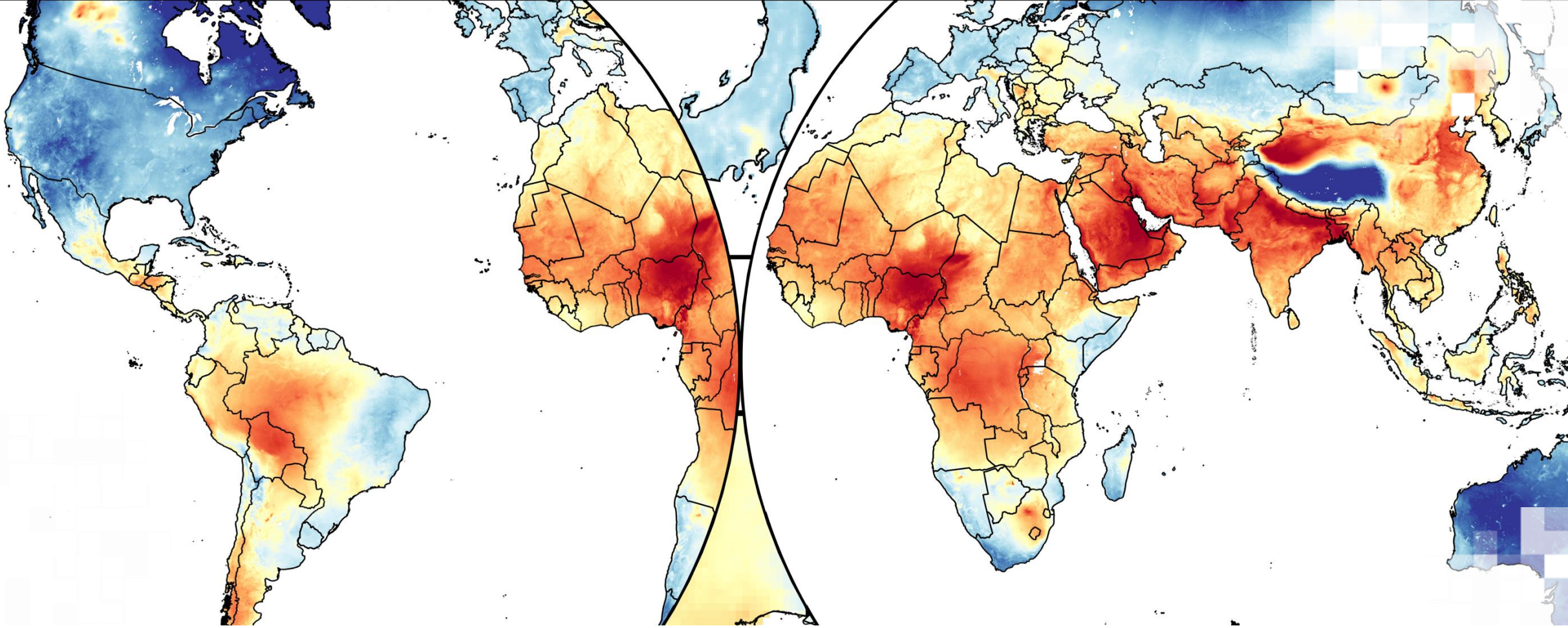
- Identificar los insumos empleados por diferentes métodos de inferencia de $PM_{2.5}$ superficial a partir de la AOD de satélite.
- Explicar métodos de regresión sencilla para inferir $PM_{2.5}$ a partir de la AOD de satélite.



Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” y las responderemos al final de este webinar.
- No dude en escribir sus preguntas mientras vayamos avanzando. Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión para preguntas y respuestas después del webinar.
- Las demás preguntas las responderemos en el documento de preguntas y respuestas, el cual será publicado en la página web de la capacitación aproximadamente una semana después de esta.

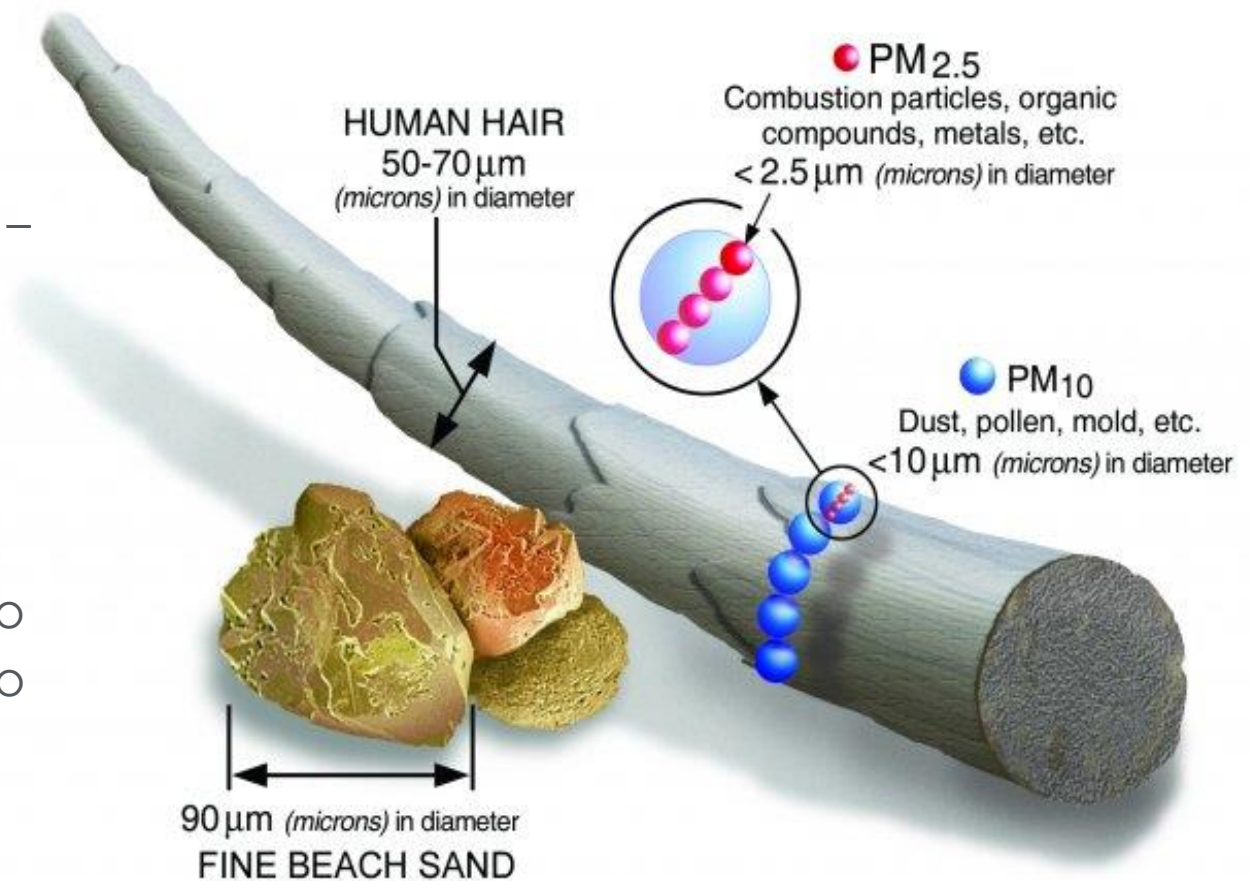




Parte 1:
Las Piezas – Mediciones a Nivel del Suelo, AOD, y CTM

El Material Particulado y sus Fracciones por Tamaño

- El Material Particulado (PM, por sus siglas en inglés) o aerosol se refiere a partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire.
- Se categorizan comúnmente según el tamaño – **las partículas más pequeñas causan impactos más severos para la salud:**
 - **PM₁₀** (PM grueso, ≤ 10 micrones de diámetro)
 - Irritan la nariz, garganta y los pulmones
 - **PM_{2.5}** (PM Fino, ≤ 2.5 micrones de diámetro)
 - Pasan de los pulmones al torrente sanguíneo
 - Impactan el corazón, las arterias y el cerebro
 - **PM₁** (PM Ultrafino, ≤ 1 micrón de diámetro)
 - Alcanzan las partes más profundas de los pulmones y órganos internos
- También se puede categorizar según su composición, forma, fuente etc.



Fuente: US Environmental Protection Agency, "[Particulate Matter Basics](#)"



El PM_{2.5} se mide directamente con instrumentos en el suelo

- **Monitores de Referencia:**

- Por ejemplo, el Método de Referencia Federal de EE.UU.
- Muestreo de Filtros, por ejemplo, promedios de 24 horas

- **Monitores Continuos:**

- Ej., Métodos Equivalentes Federales de EE.UU.
 - Monitores de Atenuación Beta
 - Microbalanzas oscilantes de elementos cónicos
 - Técnicas ópticas (Etalómetro, Nefelómetro)
- Normalmente proporcionan más información en tiempo real (por ejemplo, cada hora)
- Típicamente $\pm 10\%$ de referencia

- **Los monitores de referencia proporcionan mediciones de masa de PM "estándar de oro"**



Fuente: US Environmental Protection Agency, "[Ambient Monitoring Technology Information Center](#)"



Los sensores de aire pueden complementar el monitoreo de $PM_{2.5}$ a un costo reducido por unidad.

- Los monitores de referencia y equivalentes son costosos de emplear y operar.
 - Son caros para comprar
 - Conllevan costos operativos continuos (por ejemplo, calibración)
- **Sensores de aire de bajo costo:**
 - Emplean técnicas de menor costo (normalmente métodos ópticos)
 - Normalmente carecen de insumos especiales y de control de humedad
 - La calidad de los datos varía según el modelo y las condiciones del sensor; $\pm 30\%$ suele ser debido al objetivo
- **Las diferentes tecnologías de medición tienen una precisión variable en comparación con el método de referencia, pero pueden brindar otros beneficios (por ejemplo, mayor resolución temporal, menor costo).**



Fuente: US Environmental Protection Agency, "[Air Sensor Toolbox](#)"



La localización y el control de calidad impactan la representatividad de los datos de $PM_{2.5}$.

- La localización afecta a la representación de los datos de las condiciones regionales típicas.
 - Los monitores de trasfondo capturan las condiciones regionales.
 - Los monitores de fuente cercana capturan condiciones locales.
 - Muchos sensores de bajo costo no cumplen los criterios de localización.
- **Requisitos de control de calidad:**
 - Calibración y mantenimiento regulares
 - Auditorías de rendimiento
 - Eliminación de datos inexactos de los resúmenes



Monitor en un techo para representar condiciones urbanas regionales

Fuente: Fotografías proporcionadas por Carl Malings



Monitor en la calle para representar condiciones urbanas locales



Datos de la “National Ambient Air Quality Monitoring Network” (Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire Ambiental)

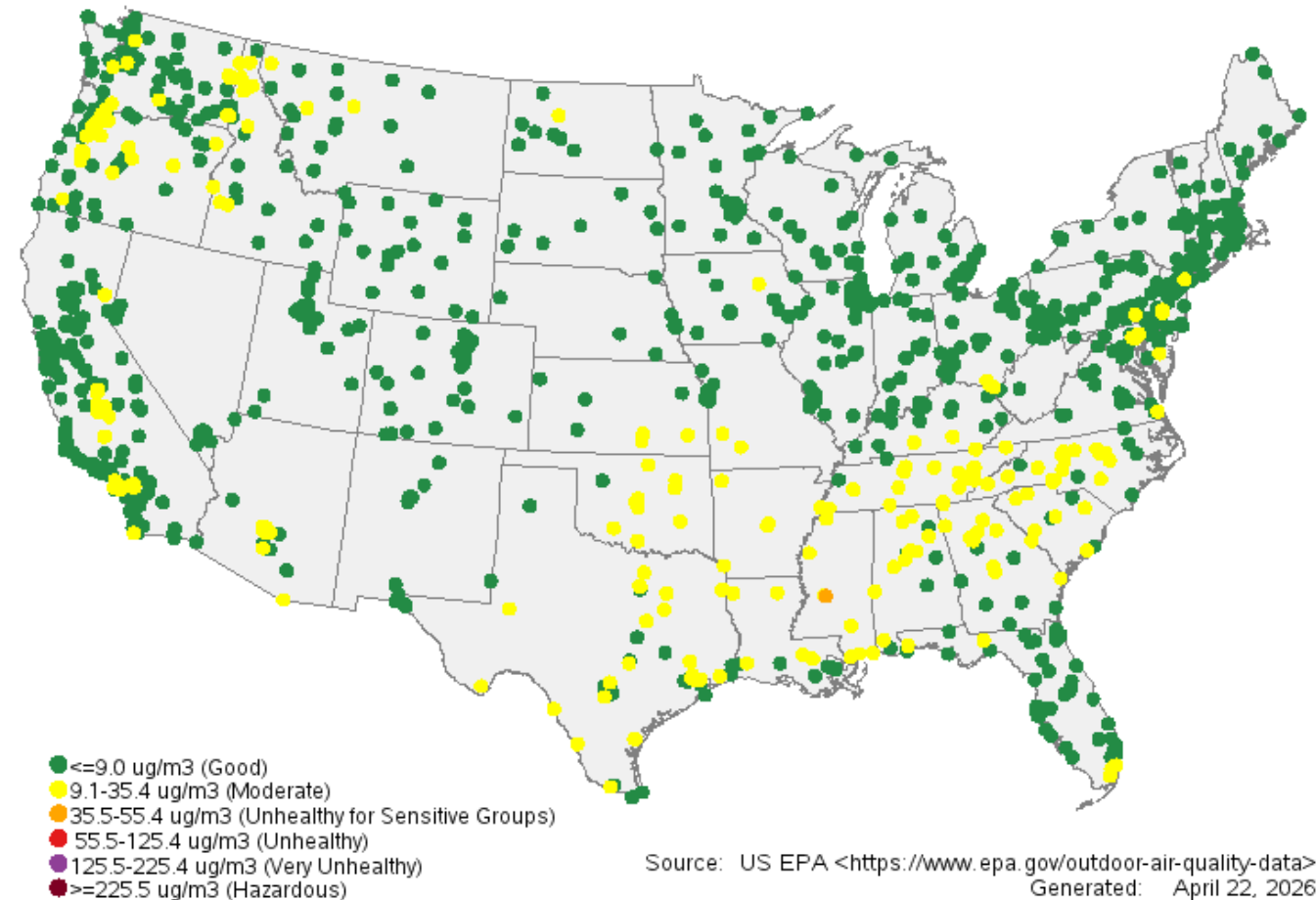
Las agencias ambientales nacionales suelen ser la mejor fuente de datos de PM_{2.5} de calidad de referencia.

Ejemplo:

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, por sus siglas en inglés)

- Establece directrices de medición, localización y control de calidad
- Recopila datos de agencias estatales, territoriales y locales de EE. UU.
- Archiva los datos y proporciona acceso gratuito al público
- Utiliza datos para evaluar el cumplimiento de las normativas de calidad del aire y desarrollar políticas para mejorar la misma

PM2.5 AQI Values by site on 03/01/2026



Fuente: US Environmental Protection Agency, “[AirData: Air Quality Data Collected at Outdoor Monitors Across the US](#)”



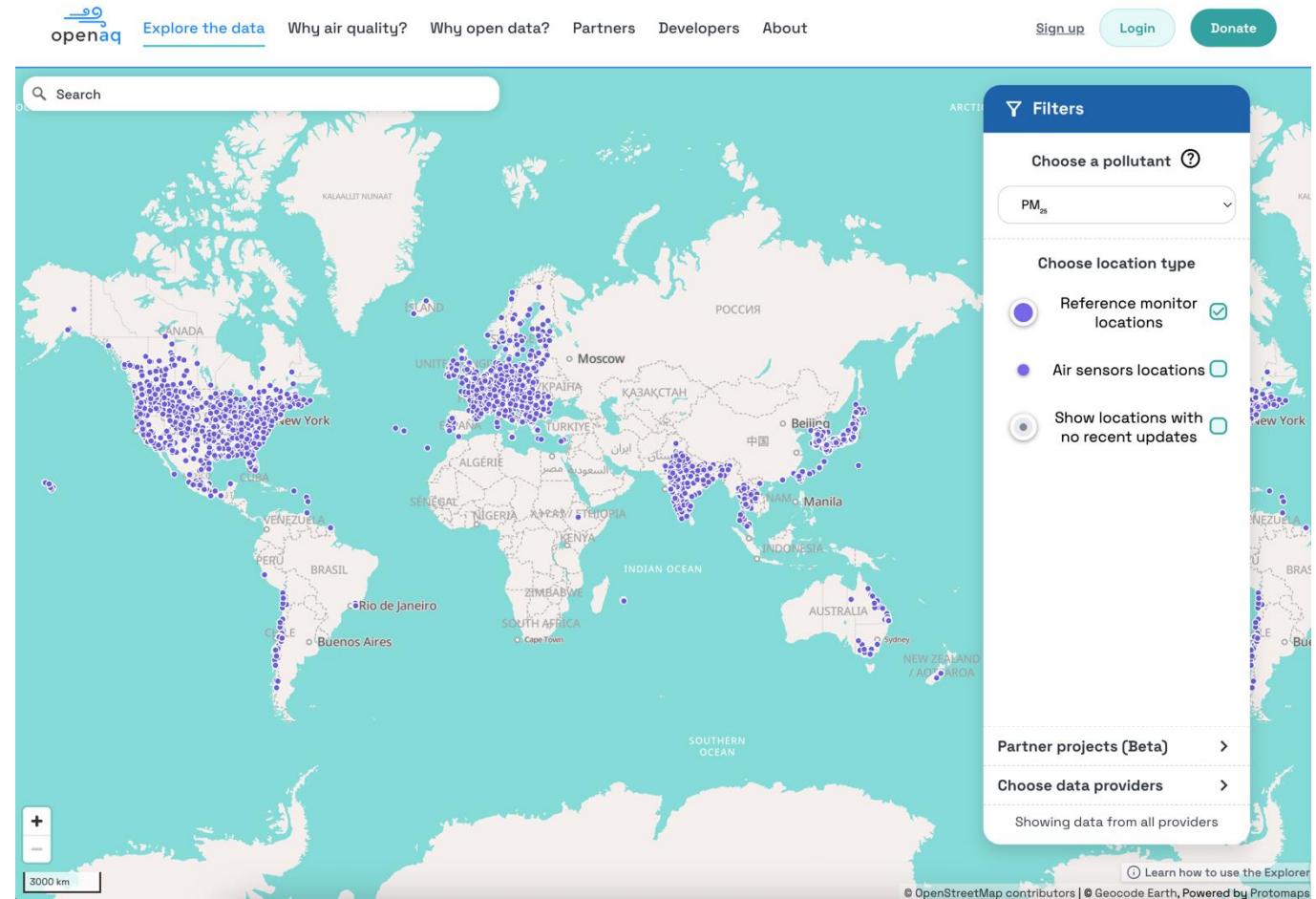
Los agregadores globales de datos de calidad del aire ayudan a integrar diversos conjuntos de datos.

Los agregadores de datos (empresas privadas, organizaciones sin ánimo de lucro, organizaciones internacionales) recogen mediciones de PM_{2.5} de otras fuentes.

Ejemplo:

OpenAQ

- Armoniza los estándares de datos entre diferentes proveedores de datos
- Recopila metadatos sobre los métodos de localización y medición
- Facilita la localizabilidad y accesibilidad de datos (por ejemplo, sitio web, interfaz de programación de aplicaciones)
- **No realiza control de calidad, calibración ni verificación de ubicación**
- Solo ofrece acceso a datos públicos



Fuente: OpenAQ, "[Explore the Data](#)"



Fortalezas y Limitaciones del Monitoreo a Nivel del Suelo

Fortalezas:

- **Los monitores a nivel del suelo proporcionan los datos más directos y precisos sobre la concentración de $PM_{2.5}$ donde las personas viven y respiran.**
- Los monitores de referencia proporcionan información básica para la investigación y la formulación de políticas.
- En muchos países se requieren monitores de referencia para la aplicación de las normativas de calidad del aire.
 - Otras fuentes de datos no son legalmente aceptables.

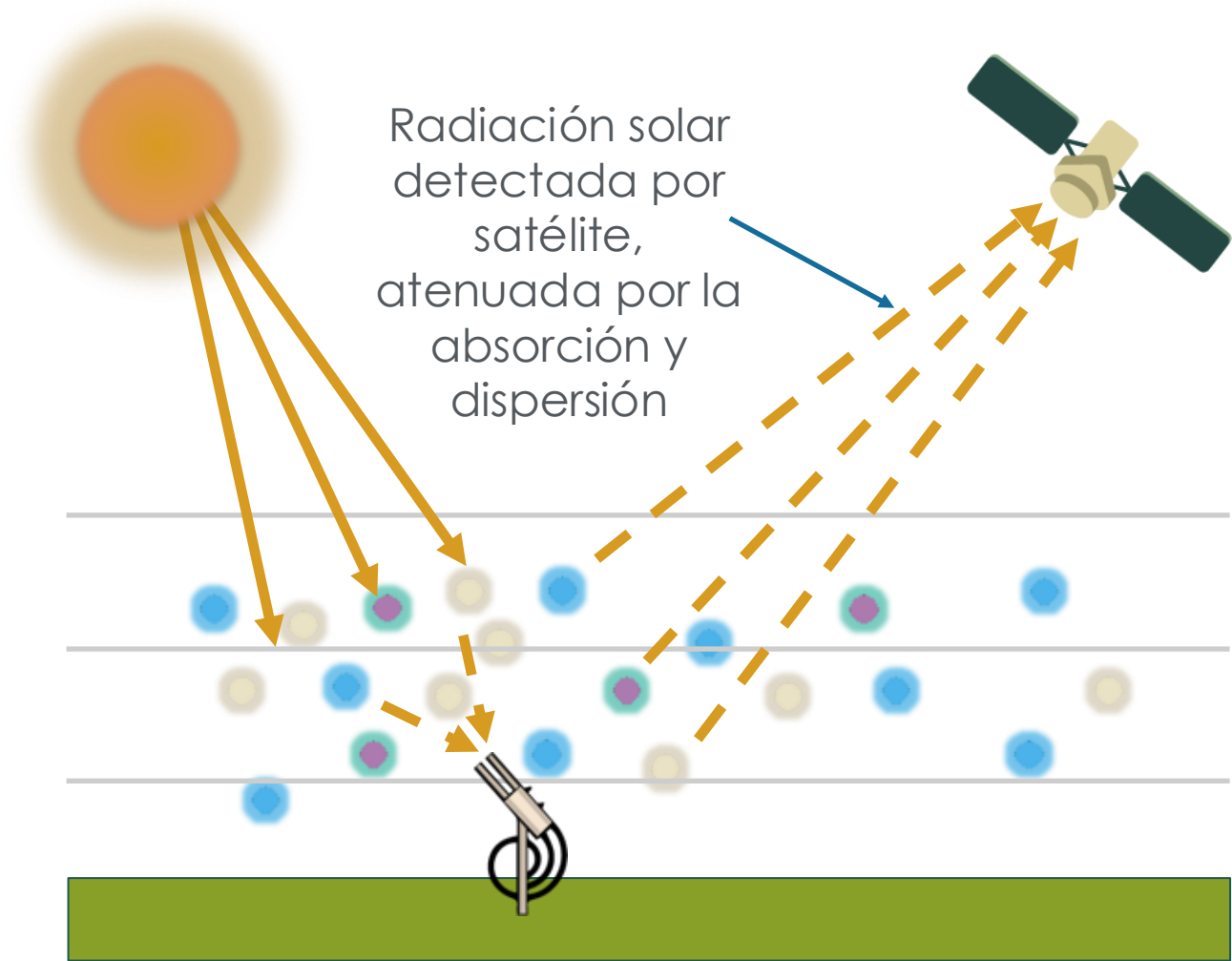
Limitaciones:

- Los monitores de referencia son caros de adquirir y operar.
 - Los sensores de bajo costo sacrifican una mejor asequibilidad y más instrumentos por menor precisión.
- Disponibilidad limitada a nivel mundial
 - Algunos países carecen de monitores de referencia
- Las mediciones en un mismo lugar pueden no capturar completamente el nivel de exposición.
 - La localización no siempre sigue las mejores prácticas, especialmente para sensores de bajo costo.
- Los estándares y requisitos de control de calidad para la presentación de informes abiertos varían según el país.



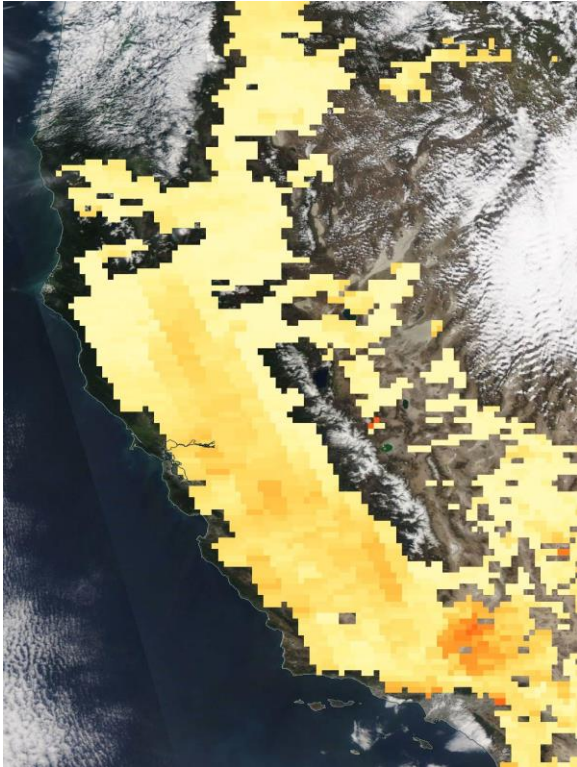
Profundidad Óptica de Aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés)

- También llamada espesor óptico de aerosoles (AOT, por sus siglas en inglés)
- Indica la cantidad de luz **dispersada** y/o **absorbida** por los aerosoles a medida que la luz viaja por la atmósfera
- Indicativa de toda la columna de la atmósfera observada (no solo en la superficie o cerca del instrumento)
- Se mide en ciertas longitudes de onda, incluyendo normalmente 550 nm (verde)
- Puede medirse desde el suelo, por aviones o por satélites
- Los algoritmos de extracción de satélites calculan la AOD utilizando la intensidad luminosa medida combinada con información sobre la atmósfera, el ángulo de visión del sensor y la reflectividad de la Tierra.



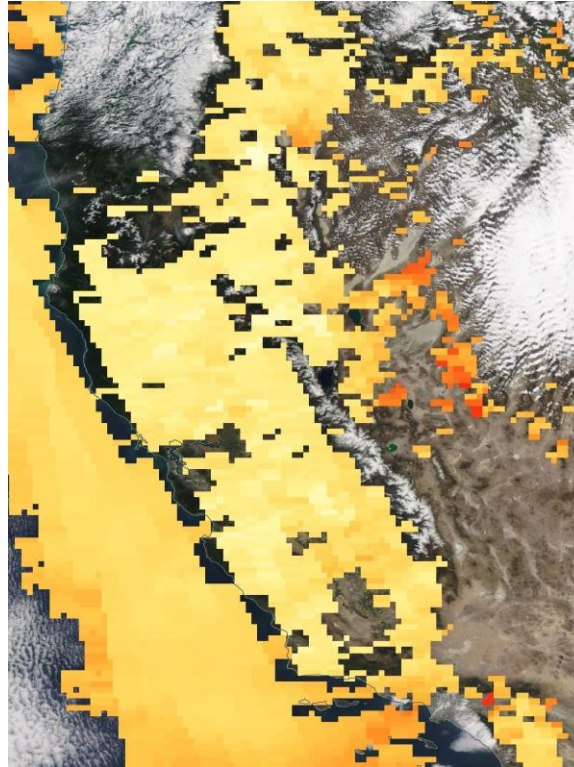
Existen diferentes métodos para extraer la AOD desde el mismo instrumento.

Deep Blue (10km)



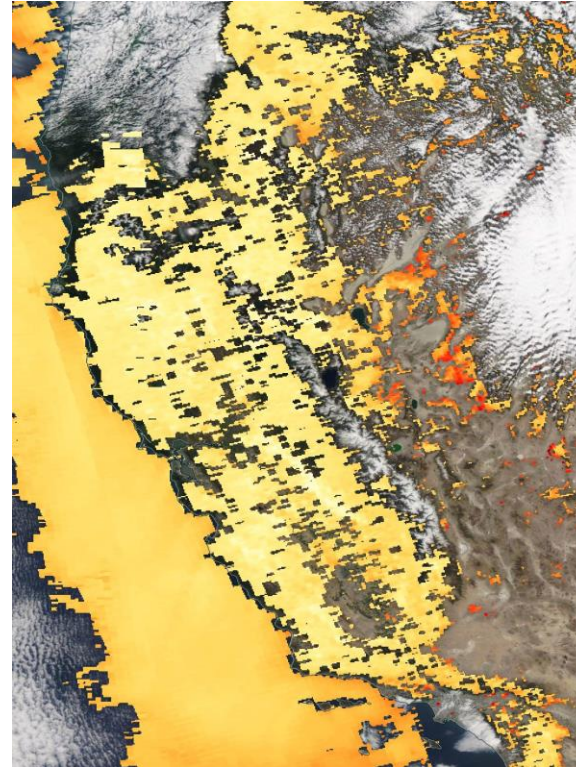
Solo tierra,
Mejor para superficies
brillantes

Dark Target (10km)



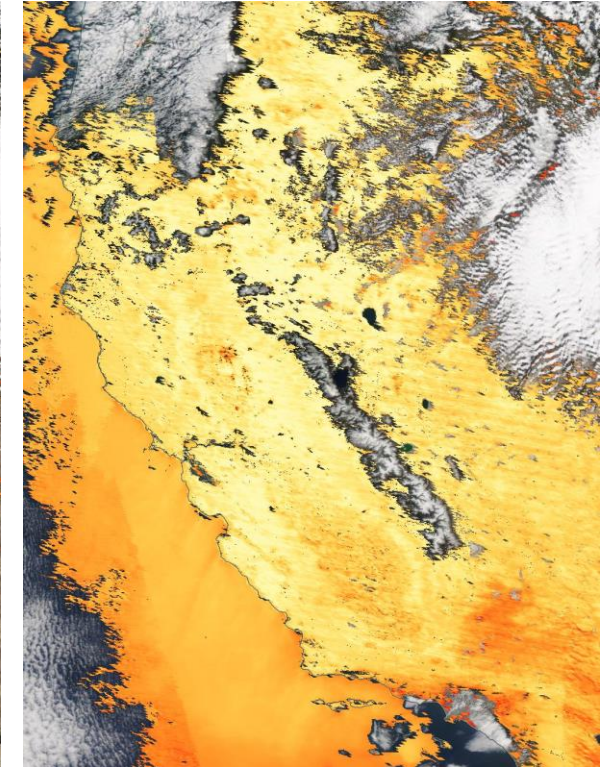
Tierra y agua,
Mejor para superficies
oscuras

Dark Target (3km)



Mayor resolución,
Dificultades en las
zonas urbanas

MAIAC (1km)



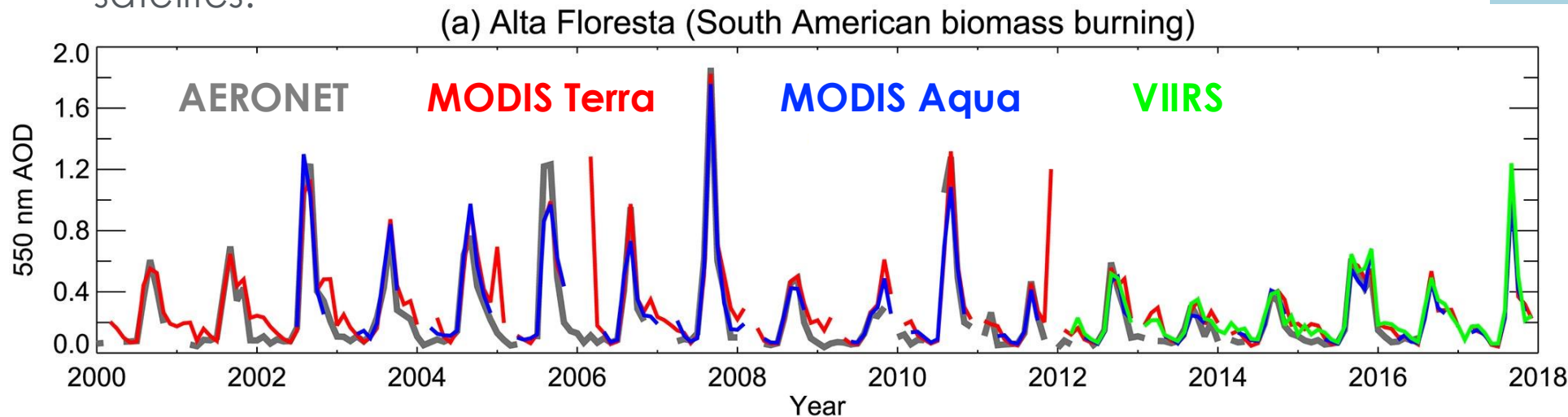
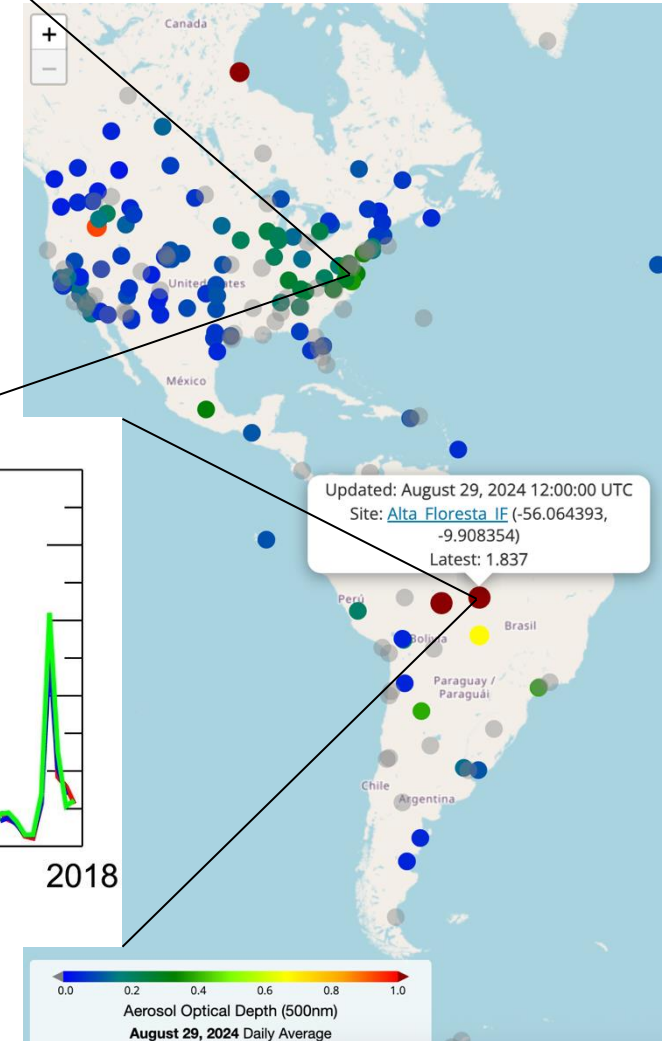
Máxima resolución,
Mejor para zonas
urbanas

Fuente: [NASA Worldview](https://worldview.nasa.gov/)



Validación de la AOD con redes terrestres como AERONET

- Aerosol Robotic Network (AERONET) Los fotómetros solares a nivel del suelo proporcionan mediciones de la AOD desde abajo hacia arriba.
- Los datos se utilizan para la validación y continuidad de los productos de datos de AOD de satélites.

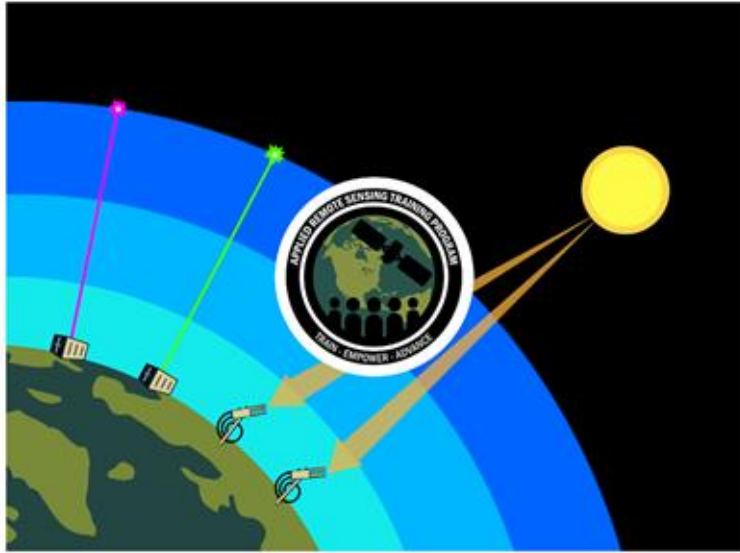


Fuente: [NASA GSFC AERONET Website](https://aeronet.gsfc.nasa.gov/)
[Hsu et al. \(2019\)](#)



NASA Atmospheric Composition Ground Networks

Supporting Air Quality and Climate Applications



Esta capacitación en cinco partes informó a los participantes sobre cuatro redes terrestres de la NASA: la red Aerosol Robotic Network (AERONET), Pandora y la red Pandonia Global Network (PGN), la red Tropospheric Ozone Lidar Network (TOLNet), y la red Micro-Pulse Lidar Network (MPLNET). Estas redes proporcionan datos relevantes para las concentraciones de aerosoles y columnas de gases trazadores y la estructura vertical, apoyando aplicaciones en la calidad del aire y el clima. Se puede encontrar más información en [la página web de la capacitación](#).

Instructors



Carl Malings
NASA GSFC/MSU
Anfitrión de ARSET



Apoorva Pandey
NASA GSFC/PGN
Instructora Invitada



Melanie Follette-Cook
NASA GSFC
Anfitriona de ARSET



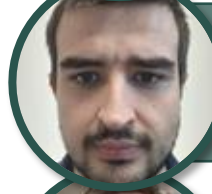
Bryan Place
SciGlob/PGN
Instructor Invitado



Pawan Gupta
NASA GSFC/AERONET
Instructor de ARSET



John Sullivan
NASA GSFC/TOLNet
Instructor Invitado



Petar Grigorov
SSAI/AERONET
Instructor Invitado



Judd Welton
NASA GSFC/MPLNET
Instructor Invitado



Tom Hanisco
NASA
GSFC/PGNGuest
Instructor Invitado



Productos comunes de datos de la AOD de satélite que proporcionan cobertura global

Instrumento	MODIS	VIIRS
Resolución	1, 3, 10 km	6, 0.75 km
Disponibilidad	Desde el año 2000	Desde el año 2012
Tiempo de Revisita	1 a 2 Días	Diario
Satélites	Terra (Lanzado en 1999) Aqua (Lanzado en 2002)	SNPP (Lanzado en 2011) NOAA-20 (Lanzado en 2017) NOAA-21 (Lanzado en 2022)
Sobrevuelo [Hora local]	Aqua ~1:30 PM Terra ~10:30 AM	~1:30 PM
Algoritmos y productos	Deep Blue y Dark Target (10 km): MOD04_L2/MYD04_L2 Dark Target (3 km): MOD04_3K/MYD04_3K MAIAC (1 km): MCD19A2	Deep Blue (6 km): AERDB_L2_VIIRS_SNPP/NOAA20 Dark Target (6 km): AERDT_L2_VIIRS_SNPP/NOAA20/NOAA21 MAIAC (0.75 km): VNP19A2/VJ119A2



MODIS to VIIRS Transition for Air Quality Applications

Instructors



Melanie Follette-Cook
NASA GSFC
Instructora de ARSET



Pawan Gupta
NASA GSFC/AERONET
Instructor de ARSET

Con lo que se acerca del fin del historial del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), es importante que los usuarios de MODIS actuales cambien a datos y herramientas de visualización de VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Esta capacitación enseña cómo acceder a productos de datos de VIIRS, las diferencias que significa usar VIIRS en vez de MODIS y cómo aplicar observaciones de VIIRS de la profundidad óptica de aerosols para aplicaciones relacionadas con la Calidad del aire. **Puede encontrar más información en la [página web de la capacitación](#).**



Productos adicionales de datos AOD por satélite que proporcionan cobertura global

Instrumento	SeaWiFS	MISR
Resolución	13.5 km	17.6, 4.4 km
Disponibilidad	1997 a 2010	Desde el año 2000
Tiempo de Revisita	Diario	2 a 9 Días
Satélites	OrbView-2 (Lanzado en 1997)	Terra (Lanzado en 1999)
Sobrevuelo [Hora Local]	~12:00 PM	~10:30 AM
Algoritmos y productos	Deep Blue (13.5 km): SWDB_L2	MISRv22 (17.6 km): MIL3MAEN_004 MISRv23 (4.4 km): MIL2ASAE_003



Fortalezas y Limitaciones del AOD de Satélites

Fortalezas:

- **Cobertura global con satélites en órbita polar**
- Registros de datos largos, consistentes entre instrumentos y satélites

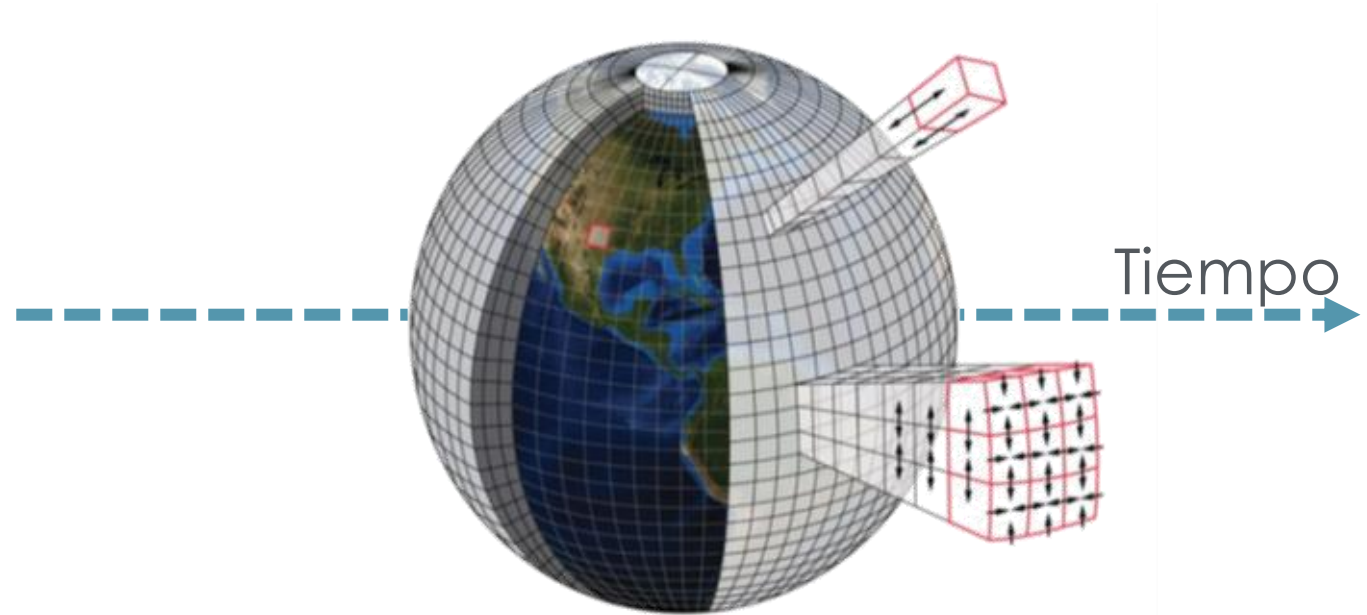
Limitaciones:

- Medidas únicamente diurnas
- Falta de datos debido a nubes, humo denso y superficies reflectantes
 - Factores como la cobertura nubosa pueden depender de la temporada, lo que conduce a sesgos sistemáticos en conjuntos de datos a largo plazo.
- Integrado en columnas, no a nivel superficial
- No es específico en cuanto al tamaño para $PM_{2.5}$
- Múltiples algoritmos adecuados para condiciones diversas



Chemical Transport Model* (CTM)

- Modelo matemático de la atmósfera y sus componentes
- Representa procesos físicos y químicos que afectan la calidad del aire
 - Emisión
 - Producción y transformación
 - Transporte
 - Deposición y remoción
- Opera sobre una cuadrícula 4D
 - Resolución horizontal
 - Resolución vertical
 - Resolución temporal
- Diferentes modos de funcionamiento
 - Simulación histórica
 - Previsión
 - Contrafactual

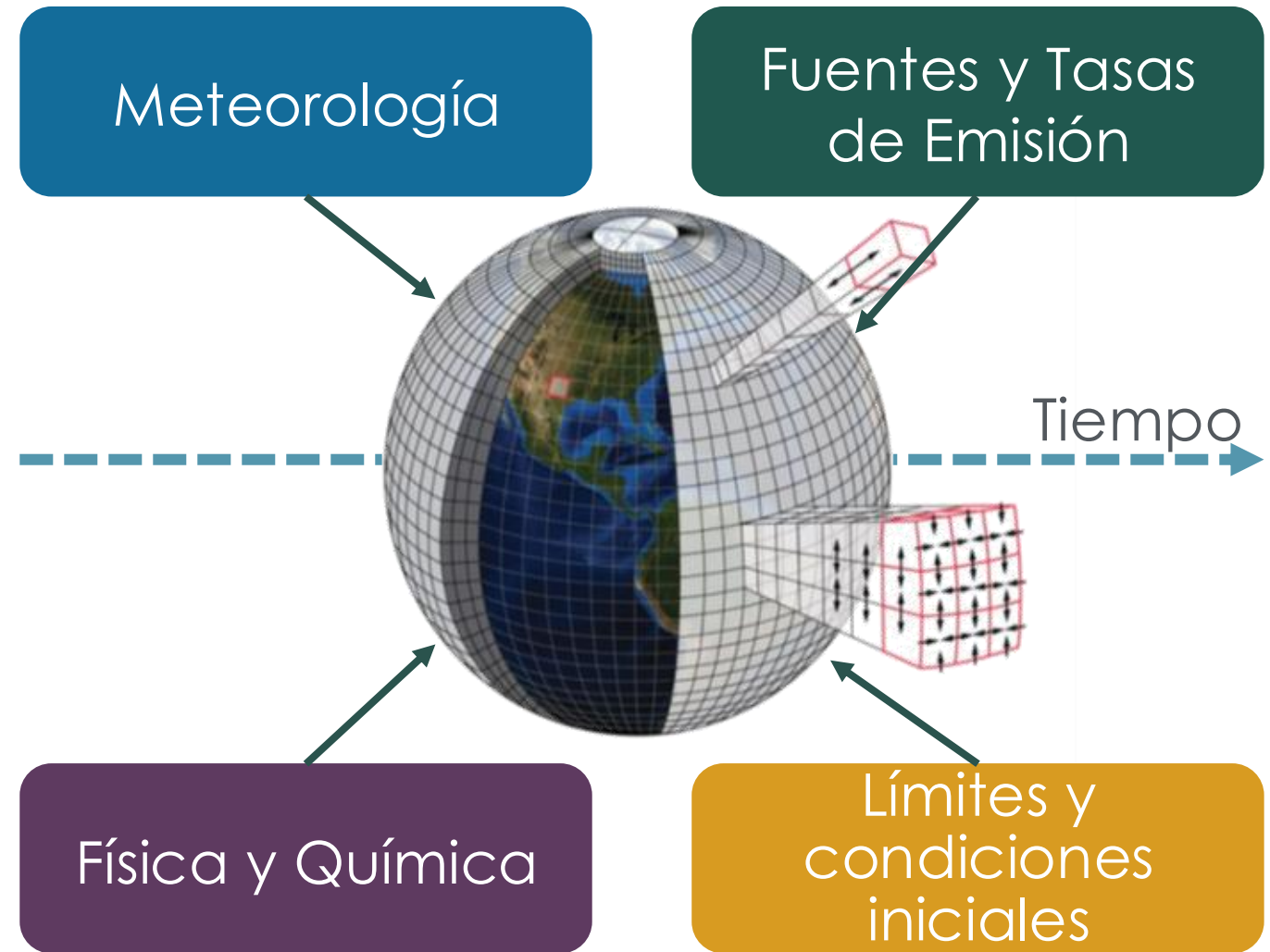


* Modelo de transporte químico, en inglés



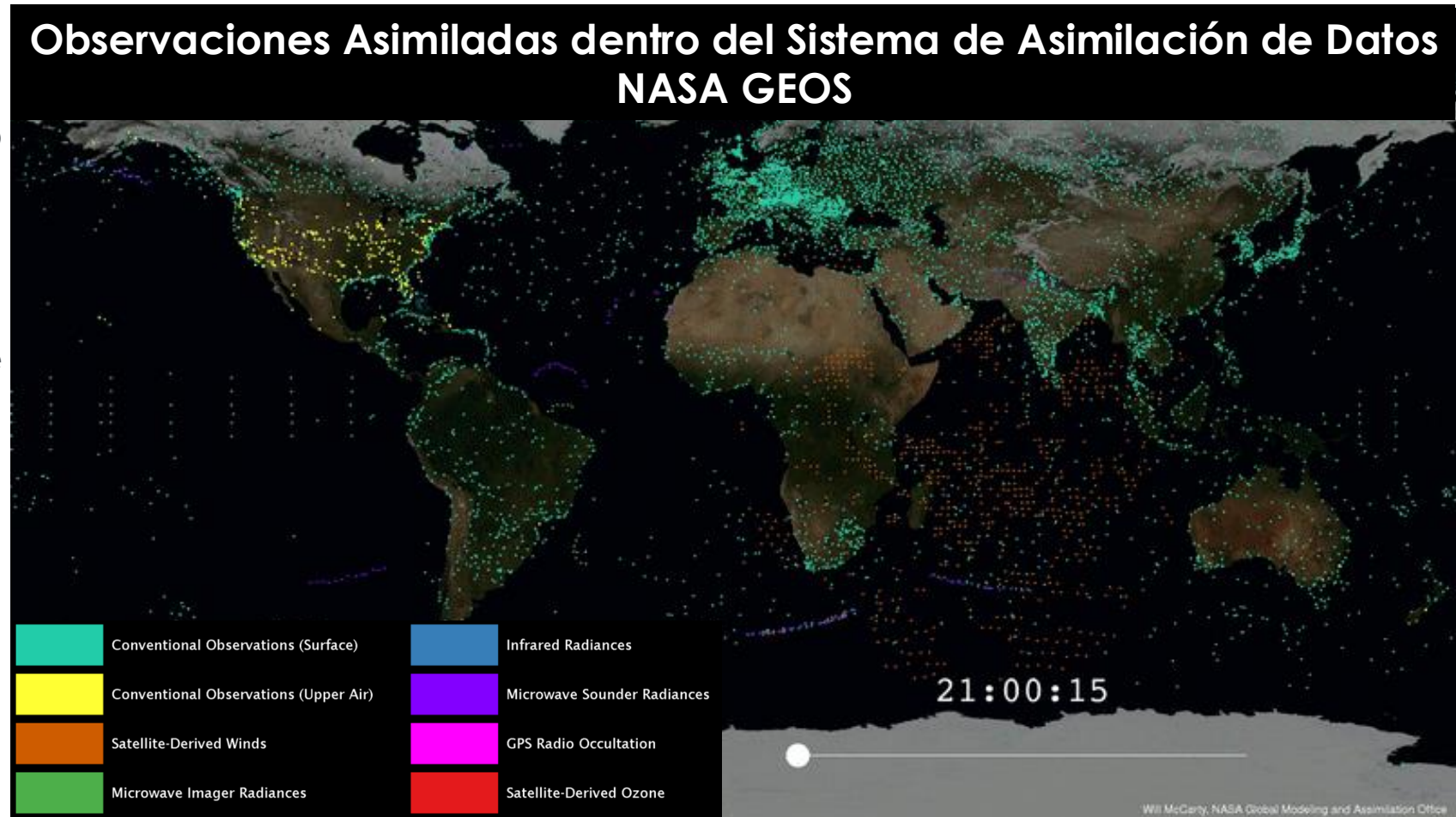
Ingredientes de un CTM

- Datos de insumo requeridos
 - Meteorología (si no es simulada)
 - Inventarios y proyecciones de emisiones
 - Condiciones iniciales y/o delimitantes
- Infraestructura Digital – Software/Código
 - Modelo general de circulación atmosférica (para simular la meteorología)
 - Mecanismos físicos y químicos (por ejemplo, módulo de aerosoles)
 - Acople de la meteorología con la química
- Infraestructura física – Hardware
 - Clústeres de computación de alto rendimiento
 - Entrada/salida/almacenamiento de datos de alta capacidad



Asimilación y Reanálisis de Datos

- **Asimilación de datos** describe el proceso de asimilar, o incorporar, observaciones en un estado modelo para producir la mejor estimación de las condiciones atmosféricas, terrestres y oceánicas.
- Un **trasfondo** es el estado de "primera suposición" del modelo.
- Un **análisis** es el estado actualizado del modelo, que empareja mejor las observaciones.
- Un **reanálisis** combina observaciones con simulaciones de modelos del pasado usando una versión consistente del modelo.



Fuente: [NASA Scientific Visualization Studio \(SVS\)](#)



La Familia de Modelos del NASA Goddard Earth Observing System Model

- El sistema **Goddard Earth Observing System (GEOS)** es un Modelo del Sistema Terrestre, que representa:
 - Terreno
 - Océano
 - Atmósfera
- GEOS utiliza un sistema de asimilación de datos “Hybrid 4D-Ensemble Variational” (Hyb-4DEnVar).
 - Los análisis se crean cada 6 horas usando más de 5 millones de observaciones.
 - GEOS asimila la AOD desde MODIS.
- El modelo se ejecuta en múltiples modos, incluyendo:
 - GEOS FP: Forward Processing (Pronóstico meteorológico y de aerosoles)
 - GEOS-CF: Composition Forecast (Pronóstico de composición)
 - MERRA-2: Modern Era Reanalysis for Research and Applications Version 2



Fuente: [NASA Global Modeling & Assimilation Office \(GMAO\)](#)



Productos de NASA GEOS Relevantes Para PM_{2.5}

	GEOS FP	GEOS-CF	MERRA-2
Modo	Análisis + Pronóstico	Análisis + Pronóstico	Reanálisis
Resolución Espacial	Simulación: ~12 km Producto: ~25 km (0.25°x0.312°)	~25 km (0.25°x0.312°)	~50km (0.5°x0.625°)
Resolución Temporal	Datos 2-D: Cada Hora Datos 3-D: Cada 3 h	15 min, Cada Hora	Cada Hora, Diaria, Mensual
Niveles Verticales	72 (cerca de la superficie-0.1 hPa)	72 (cerca de la superficie-0.1 hPa)	72 (cerca de la superficie-0.1 hPa)
Productos Disponibles	Últimos ~20 días	Últimos ~14 días	1980-Actualidad
Inicialización	Pronóstico de 10 días Diario a 00Z Pronóstico de 5 días Diario a 12Z	Pronóstico de 5 días Diario a 12Z	~3 semanas después de tiempo real
Asimilación de AOD	MODIS, VIIRS*	N/A	MODIS* En fase de prueba



Mecanismo de Aerosoles en NASA GEOS (FP, MERRA-2)

El Modelo “Goddard Chemistry, Aerosol, Radiation and Transport” (GOCART)



GOCART simula aerosoles en las categorías discretas que se muestran aquí.

El AOD de MODIS se asimila en MERRA-2, actualizando la carga total de aerosoles (pero sin cambiar la distribución entre categorías).

Cuando no hay observaciones, MERRA-2 se dirige hacia la simulación GOCART.

Fuentes: [Chin et al. 2002](#), [Colarco et al. 2010](#), [Randles et al. 2017](#)



Tools for Analyzing NASA Air Quality Model Output



Esta formación desarrolla la capacidad de aplicar códigos Python y otras herramientas en línea para leer, mapear y analizar conjuntos de datos de los pronósticos de la calidad del aire del Sistema Goddard de Observación de la Tierra (Goddard Earth Observing System o GEOS) de la NASA así como productos del reanálisis del Segundo Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para la Investigación y Aplicación (second Modern-Era Retrospective analysis for Research and Application o MERRA-2). Las sesiones de esta capacitación incluyen conferencias y actividades prácticas, como ejercicios, interacción con herramientas de Python basadas en la web y offline, y tiempo para realizar análisis. **Se puede encontrar más información en la [página web de la capacitación](#).**

Instructores



Melanie Follette-Cook
NASA GSFC
Anfitriona de ARSET



Pawan Gupta
NASA GSFC/AERONET
Anfitrión de ARSET



Sarah Strobe
NASA GSFC/MSU
Instructora de ARSET



Xiaohua Pan
NASA GSFC/GES DISC
Instructora Invitada



Fortalezas y Limitaciones de los CTM y el Reanálisis

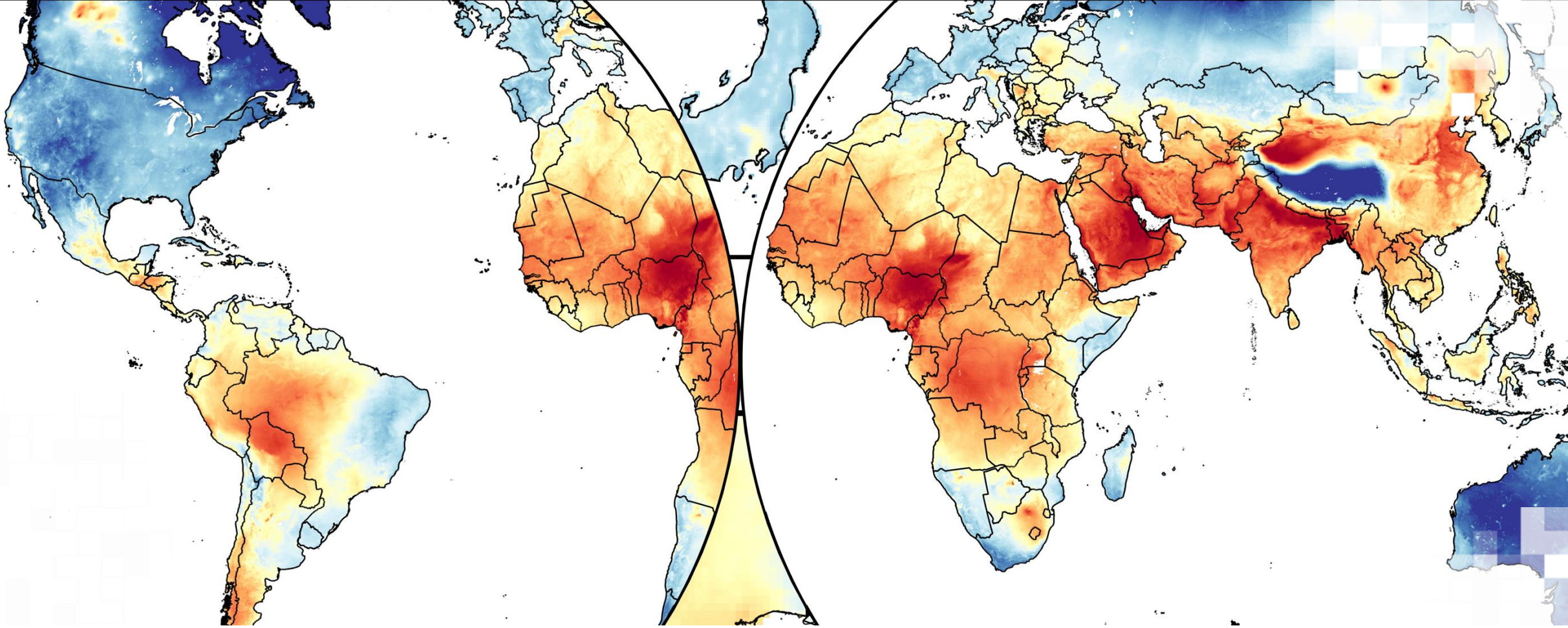
Fortalezas:

- **Proporcionan información sobre regiones y contaminantes con observaciones limitadas en tierra y/o satélite.**
- Proporcionan conjuntos de datos cuadriculados, espacial y temporalmente consistentes, simplificando el análisis.
- Proporcionan detalles que pueden no estar disponibles en las observaciones (por ejemplo, fuente de aerosoles, composición, distribución de tamaños).

Limitaciones:

- **Los productos de un modelo solo serán tan buenos como sus algoritmos e insumos, y...**
 - Emisiones
 - Meteorología
 - Mecanismos químicos y físicos
 - Observaciones y asimilación de datos
- La resolución del modelo puede ser relativamente gruesa en comparación con los rápidos cambios espaciales y temporales en la concentración de PM_{2.5}.
- Los modelos son técnicamente y computacionalmente intensivos de ejecutar.
 - Las salidas disponibles públicamente de modelos globales pueden ser adecuadas para algunas aplicaciones.





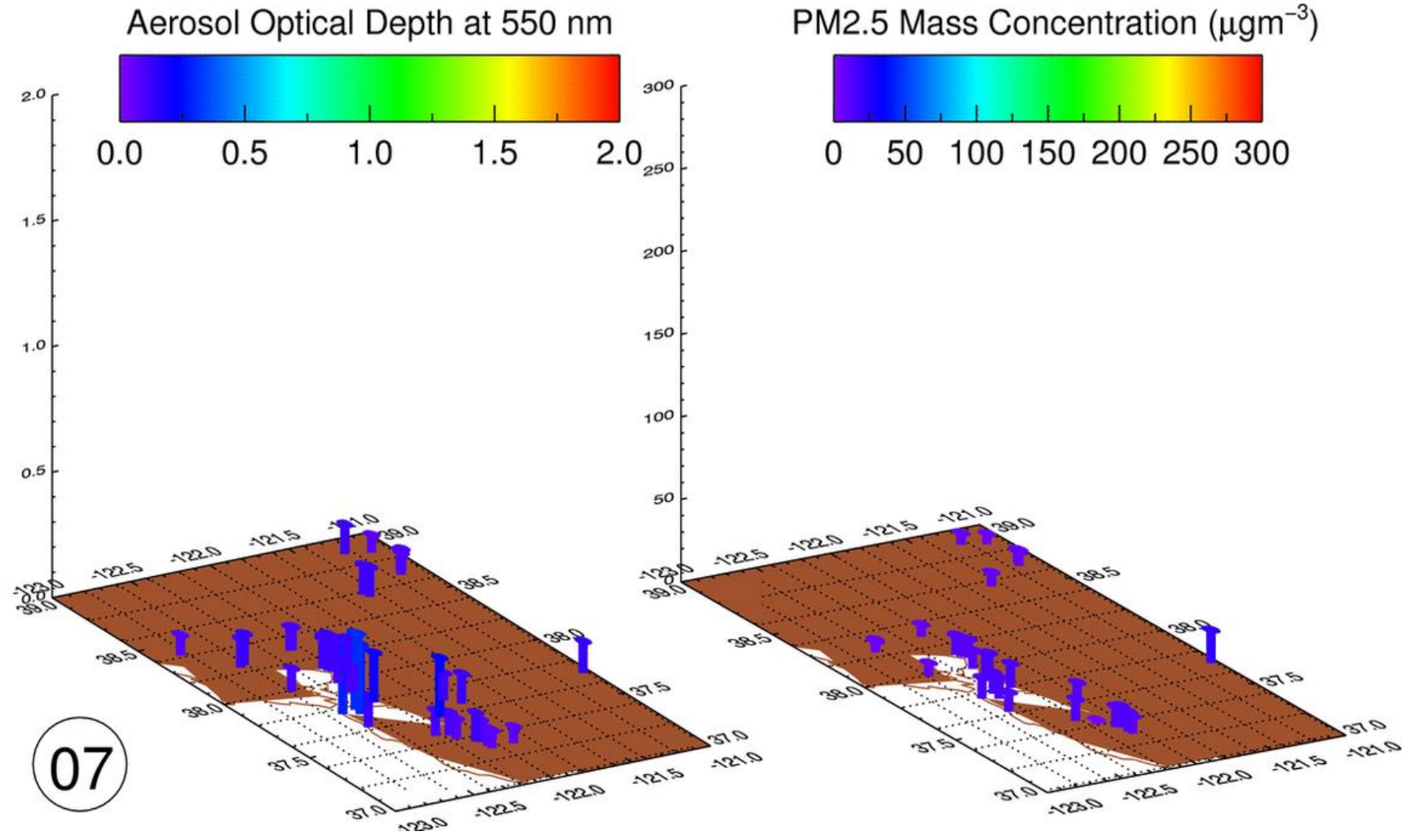
Parte 1:
¿Por qué (o cuándo) están relacionados AOD y PM_{2.5}?

PM_{2.5} and AOD no son cantidades directamente comparables.



Sin embargo, AOD y PM_{2.5} pueden estar correlacionados.

- Incendios en el Área de la Bahía de San Francisco, California, EE. UU., octubre de 2017
- Las barras verticales muestran la ubicación de los sensores terrestres, codificados por colores con valores de AOD y PM_{2.5} de MODIS.
- La animación muestra el impacto del humo de los incendios en la calidad del aire local y en la AOD.
- Tanto los valores de columna (es decir, AOD) como los valores superficiales (es decir, PM_{2.5}) muestran patrones de respuesta similares a los incendios.



Fuente: [Gupta et al. \(2018\)](#)



La Relación Idealizada entre AOD y PM_{2.5}

Suponiendo cielos sin nubes, una capa límite bien mezclada sin aerosoles superiores y aerosoles con propiedades ópticas similares, AOD y PM_{2.5} pueden relacionarse mediante esta ecuación:

$$\text{AOD}_{550 \text{ nm}} = \text{PM}_{2.5} H f(RH) \frac{3 Q_{\text{ext,seco}}}{4 \rho r_{\text{ef}}} \longrightarrow \text{PM}_{2.5} = \eta \times \text{AOD}_{550 \text{ nm}}$$

- H: Altura de mezcla (capa límite)
- f(RH): Cómo cambia la dispersión de aerosoles con el cambio de humedad relativa
- $Q_{\text{ext,seco}}$: Coeficiente de extinción para aerosoles secos
- ρ : Densidad de masa seca de los aerosoles
- r_{ef} : Radio efectivo de partículas

Fuente: [Hoff y Christopher, 2009](#)



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5} : Perfil vertical de aerosoles

AOD y PM_{2.5} están bien correlacionados si es que:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

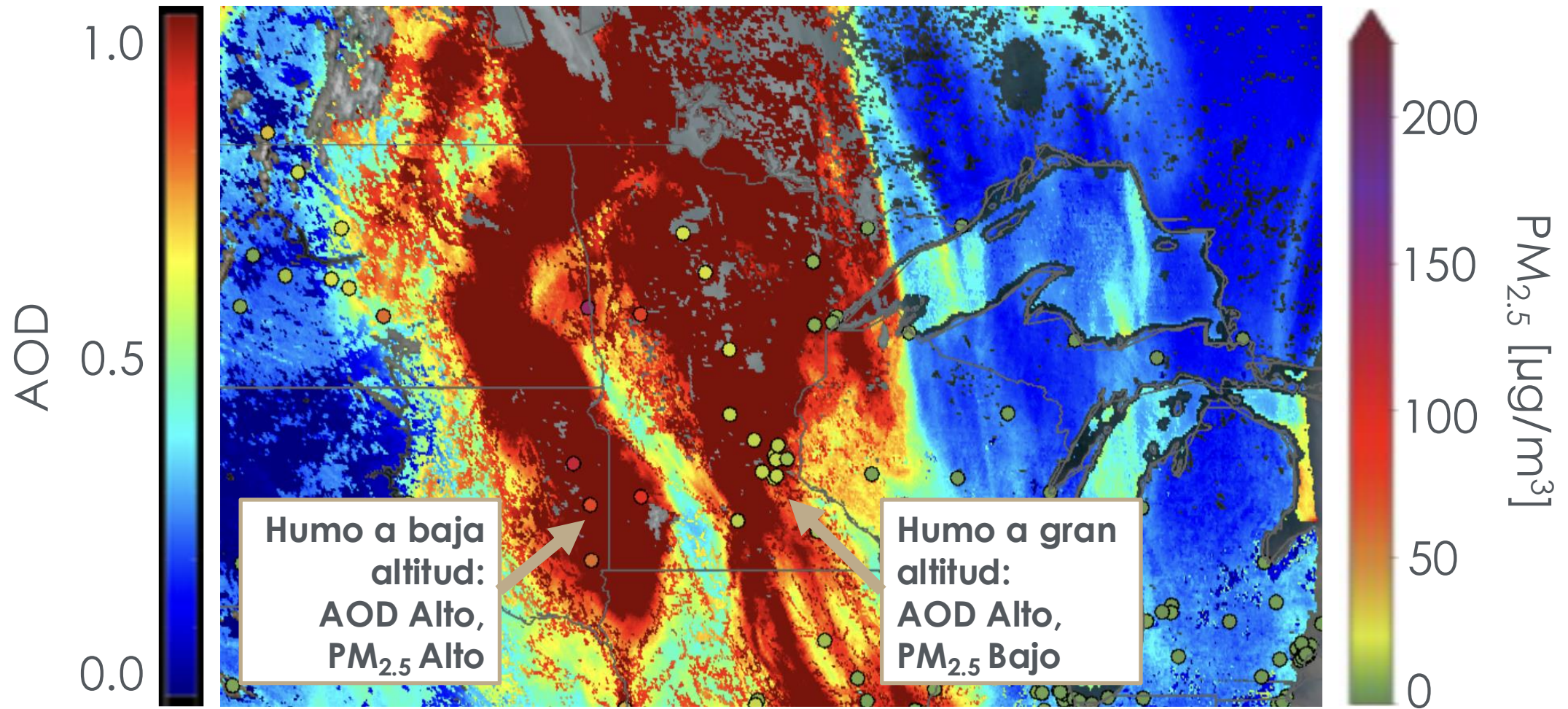
← Distribución vertical de aerosoles →

AOD y PM_{2.5} están poco correlacionados si es que:

Aerosoles elevados sobre la superficie



Ejemplos del perfil vertical de aerosoles que afecta la relación entre AOD y $PM_{2.5}$



Fuente: [NOAA AerosolWatch](https://aerosolwatch.noaa.gov/), June 1, 2025



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5}: Distribución de tamaños de los aerosoles

AOD y PM_{2.5} están **bien correlacionados** en caso de:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

Los aerosoles finos son dominantes

← Distribución Vertical de Aerosoles →

← **Distribución de Tamaños de Aerosoles** →

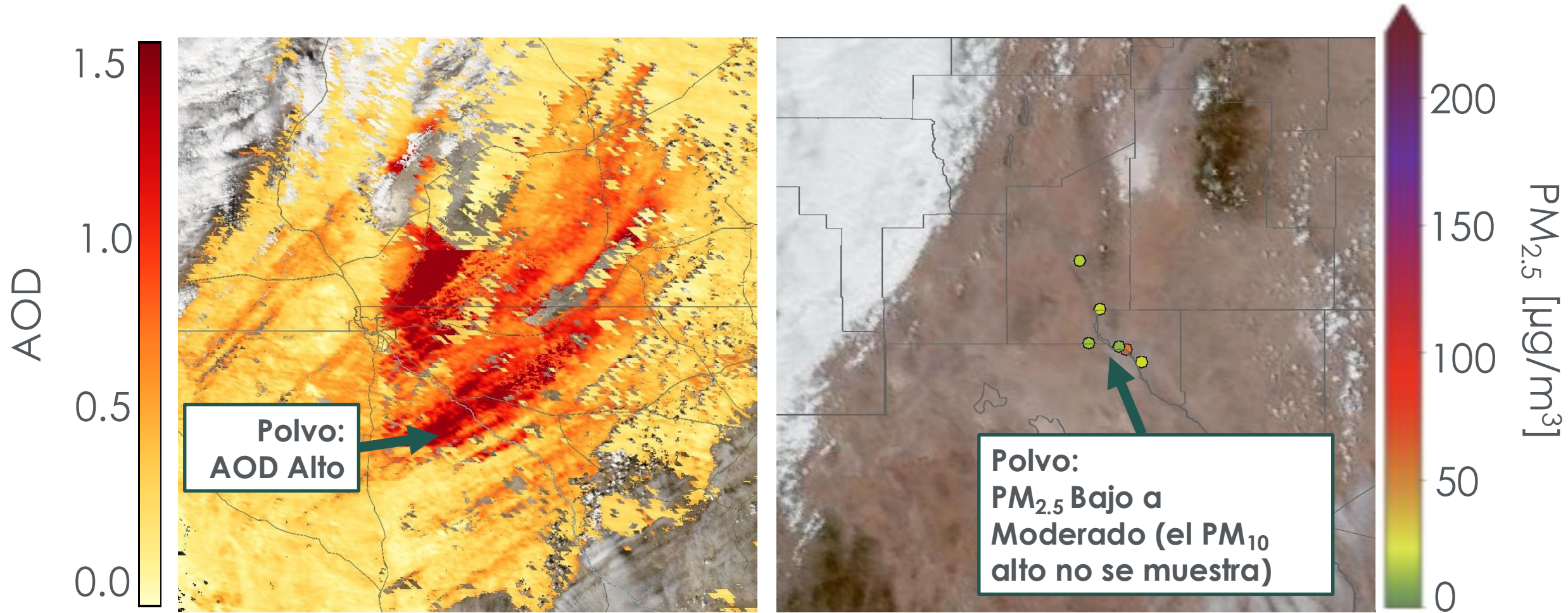
AOD y PM_{2.5} están **poco correlacionados** en caso de:

Aerosoles elevados sobre la superficie

Los aerosoles gruesos son dominantes



Ejemplo de la distribución de tamaños de aerosoles que afecta las relaciones entre AOD y PM_{2.5}



Fuentes: [NOAA AerosolWatch](#), February 26, 2023; [NASA Worldview](#), MAIAC AOD



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5}: Propiedades higroscópicas de aerosoles

AOD y PM_{2.5} están **bien correlacionados** en caso de:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

Los aerosoles finos son dominantes

← Distribución Vertical de Aerosoles →

← Distribución de Tamaños de Aerosoles →

AOD y PM_{2.5} están **poco correlacionados** en caso de:

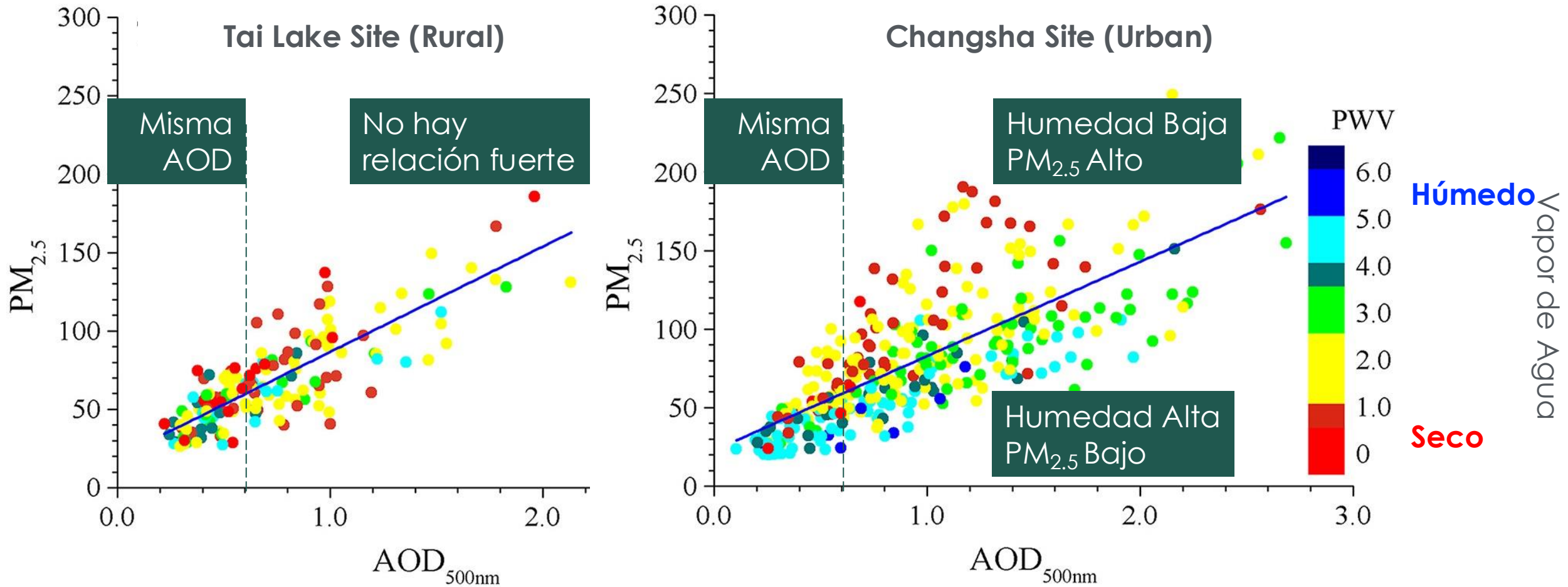
Aerosoles elevados sobre la superficie

Los aerosoles gruesos son dominantes

Hidrofóbicos, humedad constante ← **Higroscopicidad de Aerosoles** → **Hidrofílicos, humedad variable**



Ejemplo de la higroscopicidad de aerosoles que afecta la relación entre AOD y $PM_{2.5}$



Fuente: [Xin et al. 2016](#)



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5}: Razones sistemáticas para la ausencia de AOD

AOD y PM_{2.5} están **bien correlacionados** if:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

Los aerosoles finos son dominantes

Hidrofóbico, humedad constante

Cielo Despejado

AOD y PM_{2.5} están **poco correlacionados** en caso de:

Aerosoles elevados sobre la superficie

Los aerosoles gruesos son dominantes

Hidrofílico, humedad variable

Cobertura nubosa, humo denso, superficies reflectantes

← Distribución Vertical de Aerosoles →

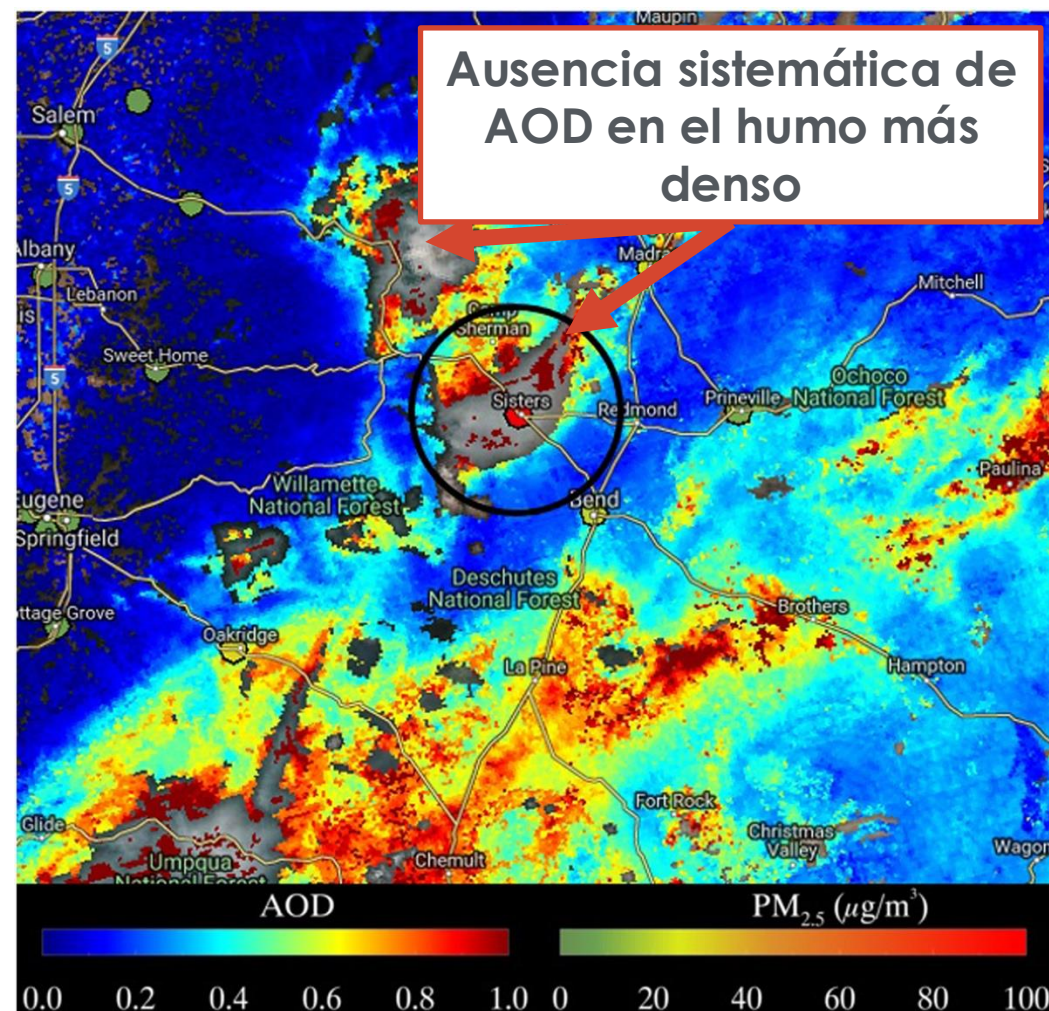
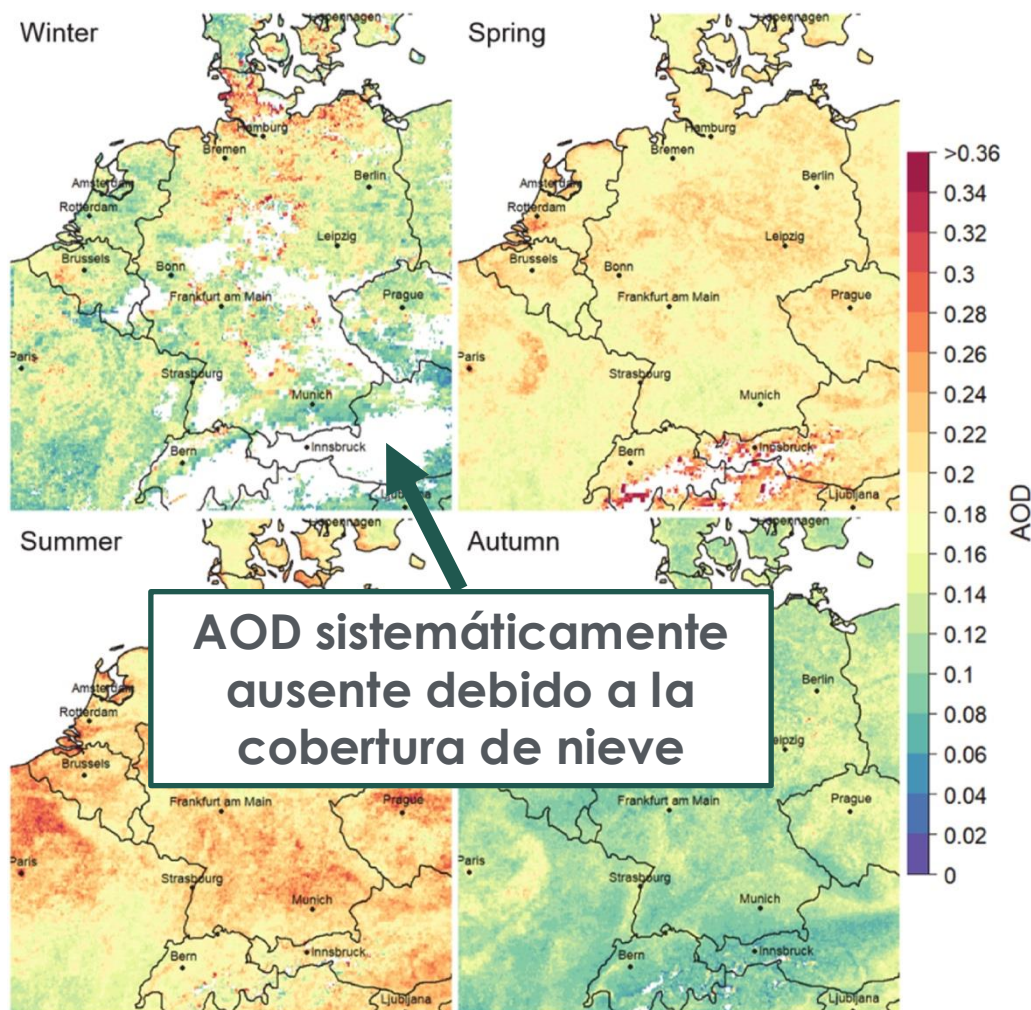
← Distribución de Tamaños de Aerosoles →

← Higroscopicidad de Aerosoles →

← **Cobertura AOD**



Ejemplos de la cobertura AOD que afecta la relación entre AOD y $PM_{2.5}$



Fuentes: [Bi et al. 2019](#), [Zhang & Kondragunta 2021](#), [Handschuh et al. 2022](#)



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5}: Variabilidad espacial de PM_{2.5} frente a AOD

AOD y PM_{2.5} están **bien correlacionados** en caso de:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

Los aerosoles finos son dominantes

Hidrofóbicos, humedad constante

Cielo Despejado

Baja visibilidad espacial
(concentraciones similares 1-10 km)

← Distribución Vertical de Aerosoles →

← Distribución de Tamaños de Aerosoles →

← Higroscopicidad de Aerosoles →

← Cobertura AOD →

← Resolución Espacial y Variabilidad →

AOD y PM_{2.5} están **poco correlacionados** en caso de:

Aerosoles elevados sobre la superficie

Los aerosoles gruesos son dominantes

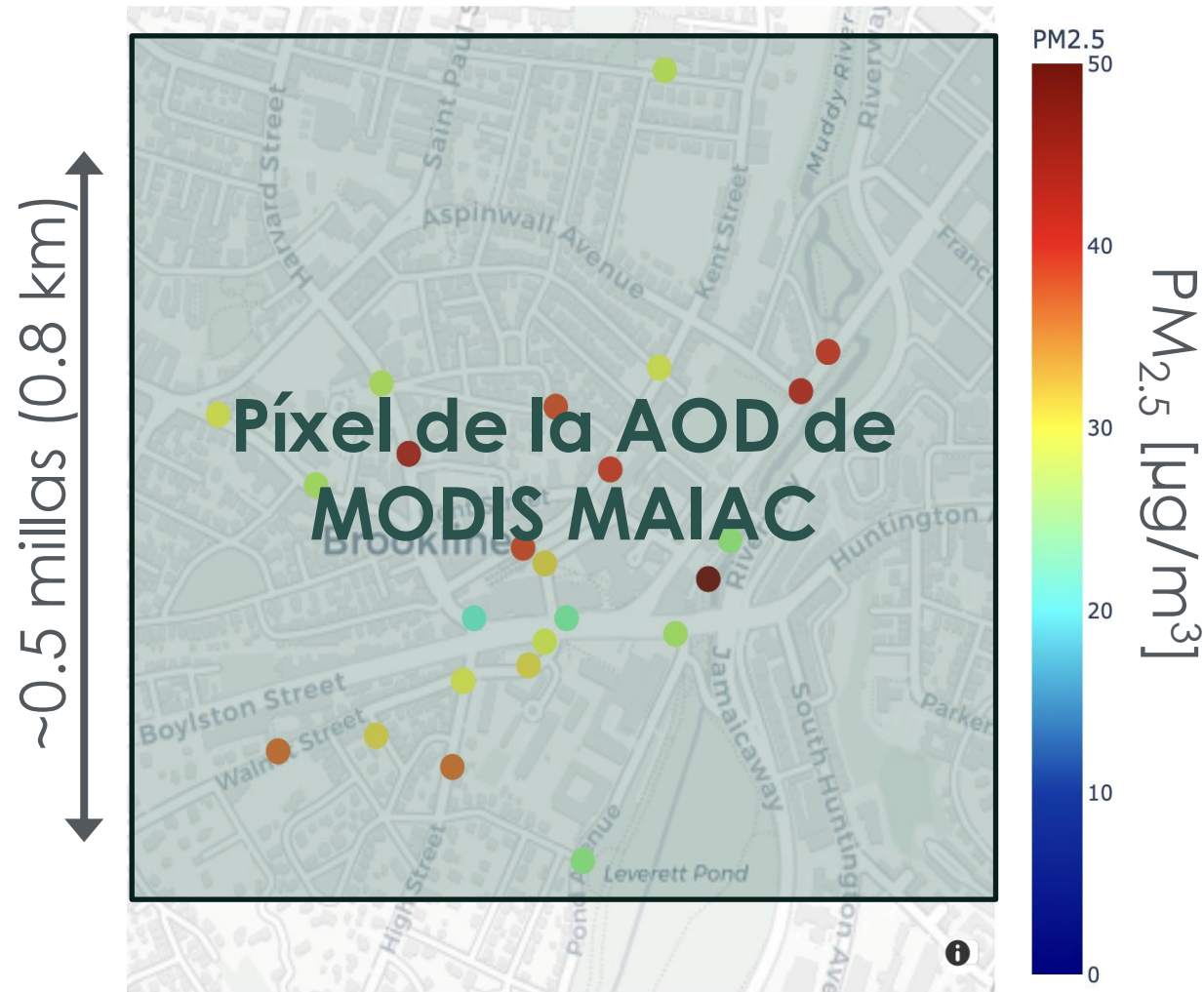
Hidrofílicos, humedad variable

Cobertura nubosa, humo denso, superficies reflectantes

Alta visibilidad espacial
(concentraciones diferentes <1km)



Ejemplo de la resolución espacial de la AOD comparada con la variabilidad espacial de $PM_{2.5}$



Aporte de Matthew Elia y Amy Mueller, Northeastern University iSUPER Impact Engine, <https://isuper.sites.northeastern.edu/> (Sin publicar hasta mayo de 2026).



Factores de la relación entre AOD y PM_{2.5}: Alineación temporal de las pasadas de los satélites

AOD y PM_{2.5} están **bien correlacionados** en caso de:

Aerosoles concentrados cerca de la superficie

Los aerosoles finos son dominantes

Hidrofóbicos, humedad constante

Cielo Despejado

Baja visibilidad espacial (concentraciones similares 1-10 km)

Mediciones a la hora de sobrevuelo

← Distribución Vertical de Aerosoles →

← Distribución de Tamaños de Aerosoles →

← Higroscopicidad de Aerosoles →

← Cobertura AOD →

← Resolución Espacial y Variabilidad →

← **Alineación Temporal** →

AOD y PM_{2.5} están **poco correlacionados** en caso de:

Aerosoles elevados sobre la superficie

Los aerosoles gruesos son dominantes

Hidrofílicos, humedad variable

Cobertura nubosa, humo denso, superficies reflectantes

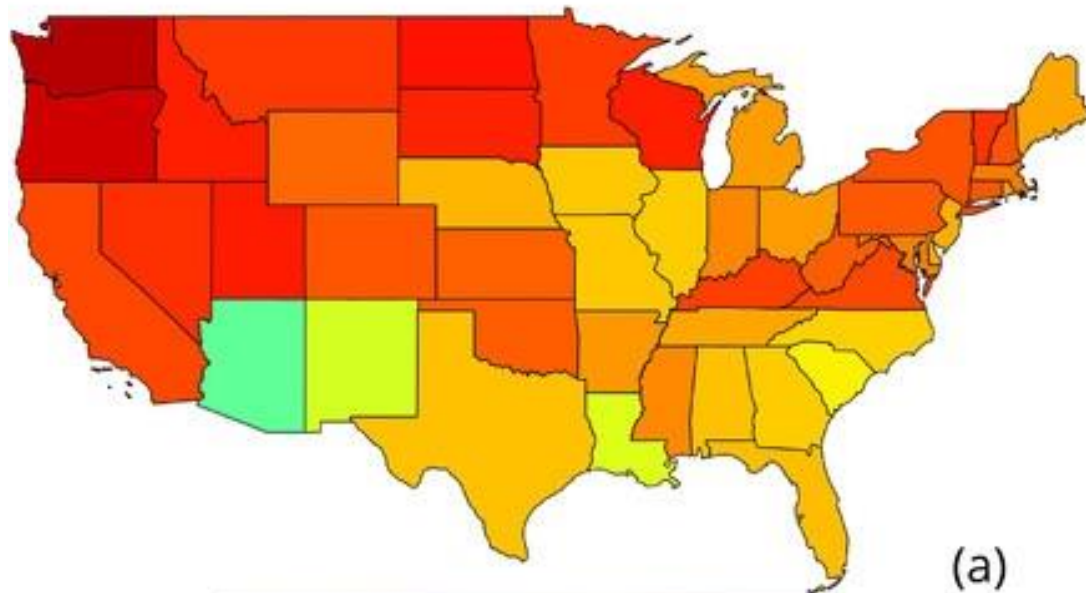
Alta visibilidad espacial (concentraciones diferentes <1 km)

Mediciones a otras horas



Ejemplo de alineación temporal que afecta la relación entre AOD y PM_{2.5}

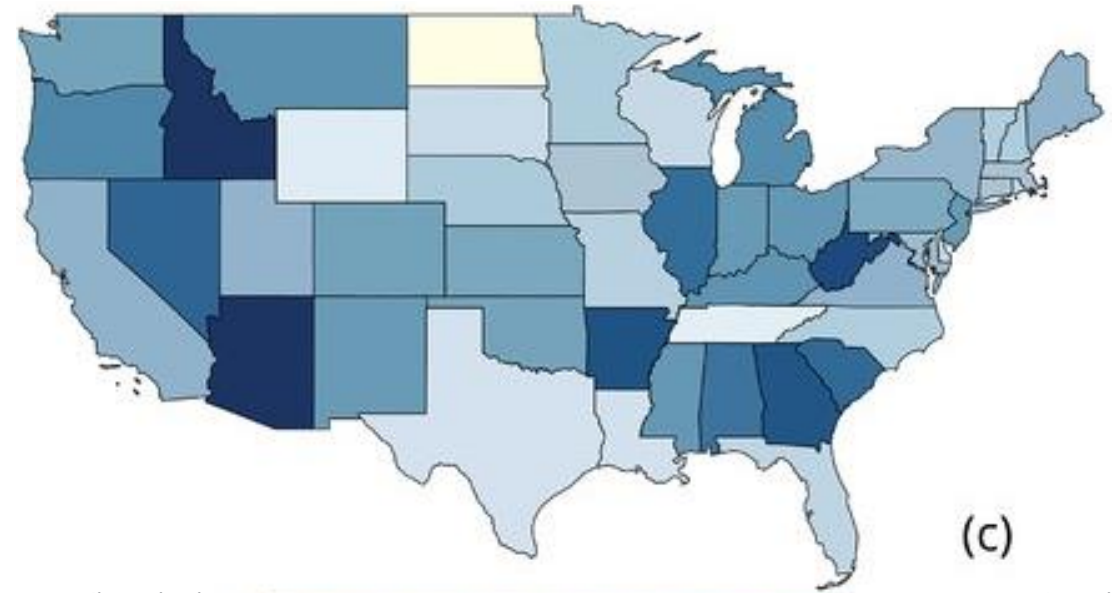
PM_{2.5} a las 13:30 Hora Local (Sobrevuelo de VIIRS) Comparado con la Media Diaria



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

Coeficiente de Correlación

(a)



La Media Diaria
es Más Alta

-2 -1 0 1 2

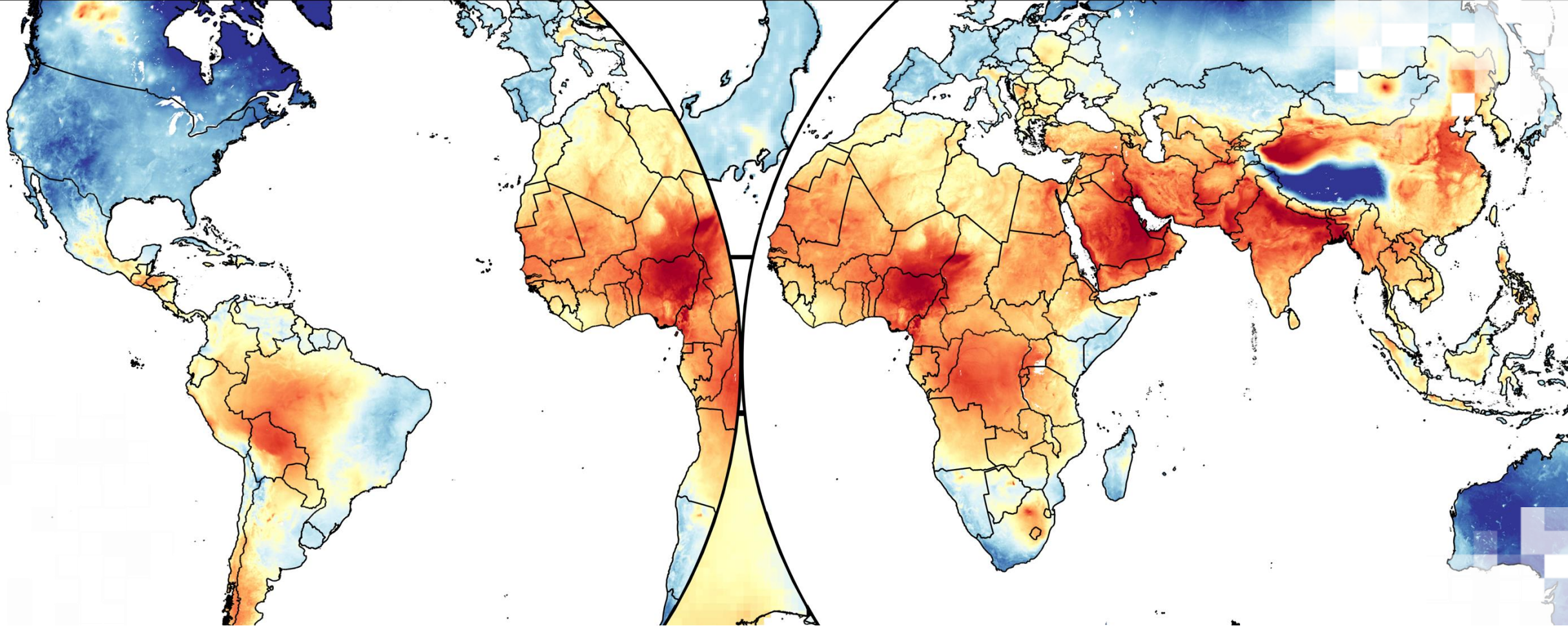
Diferencia de PM_{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

La Concentración a
las 13:00 es Más Alta

(c)

Fuente: [Zhang et al. 2022](#)

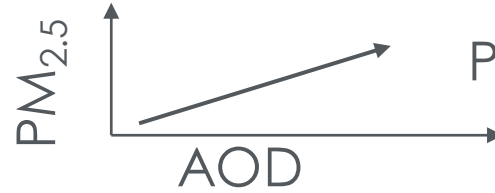




Parte 1:
Relaciones Simples entre AOD y PM_{2.5}

Cuando AOD y $PM_{2.5}$ están bien correlacionados, la regresión lineal puede ser suficiente.

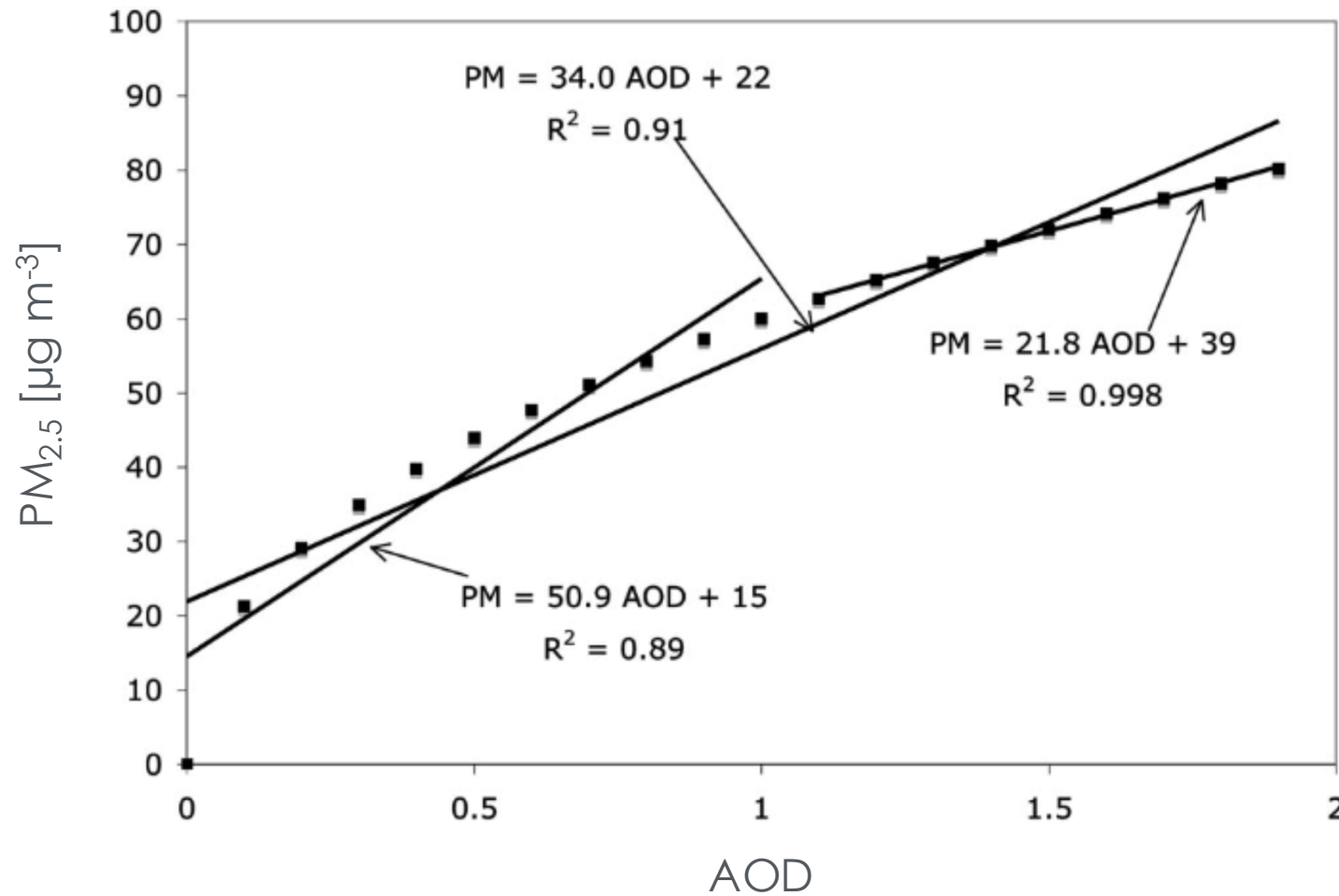
Regresión Lineal
de Dos Variables



$$PM_{2.5} = \beta_0 + a \times AOD$$



Ejemplo de una relación lineal idealizada



Fuente: [Hoff & Christopher, 2009](#)



AOD y PM_{2.5} rara vez están bien correlacionados

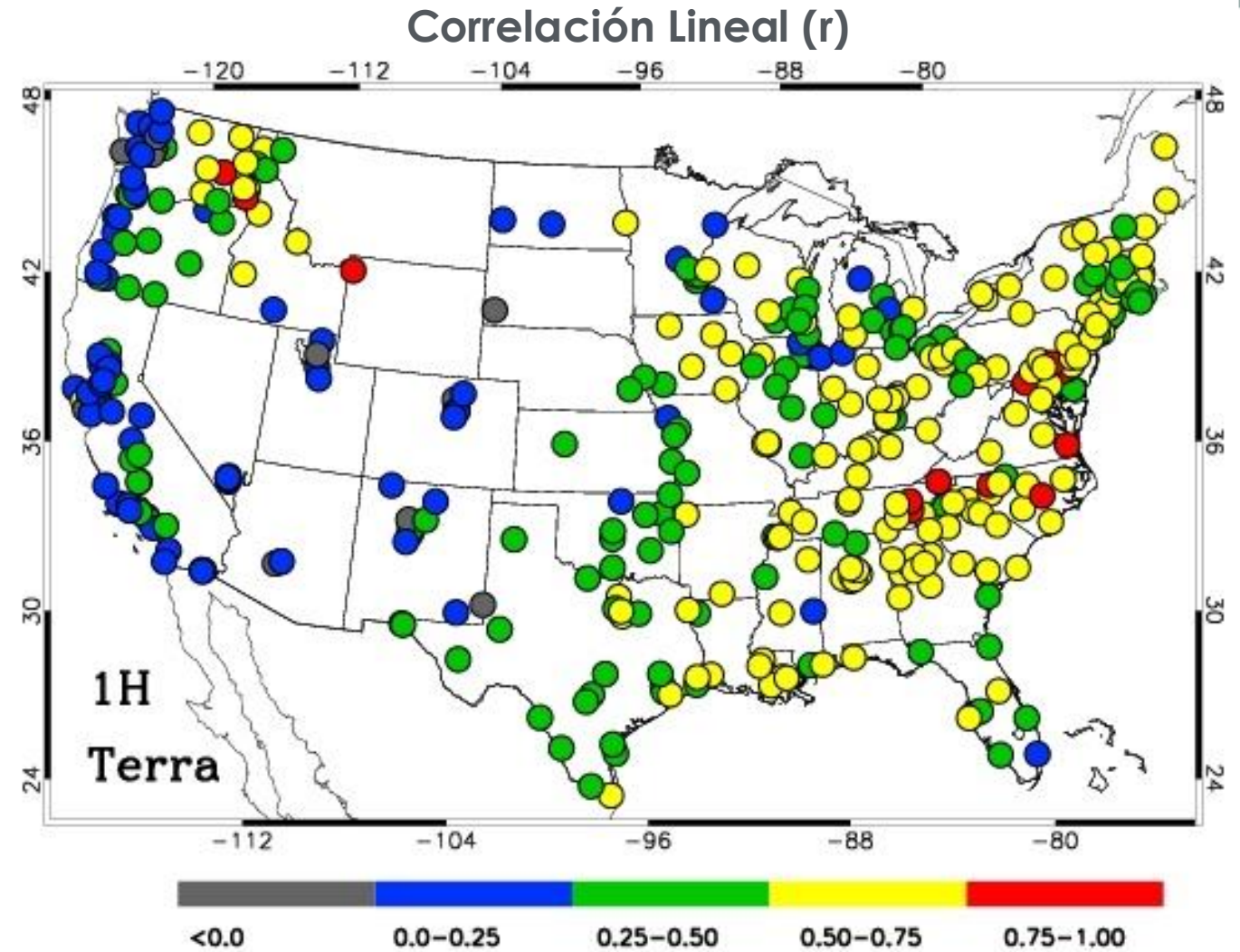
La regresión lineal varió por:

- Ubicación
- Temporada

Se podrían esperar resultados similares para:

- Una extensión espacial reducida (por ejemplo, una ciudad)
- Una temporada con meteorología similar

Sin embargo, aun así, **habrá mucha variabilidad**, especialmente si hay episodios graves de contaminación del aire (por ejemplo, incendios).

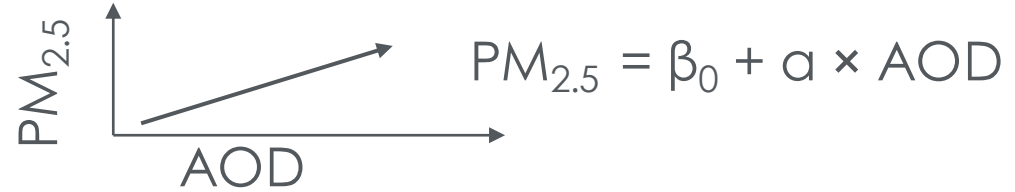


Fuente: Gupta, 2008



La regresión lineal multivariable puede explicar factores de confusión.

Regresión Lineal
de Dos Variables



Regresión Lineal
Multivariable

$$PM_{2.5} = \beta_0 + \alpha \times AOD + \sum_{n=1}^m (\beta_n \times M_n)$$

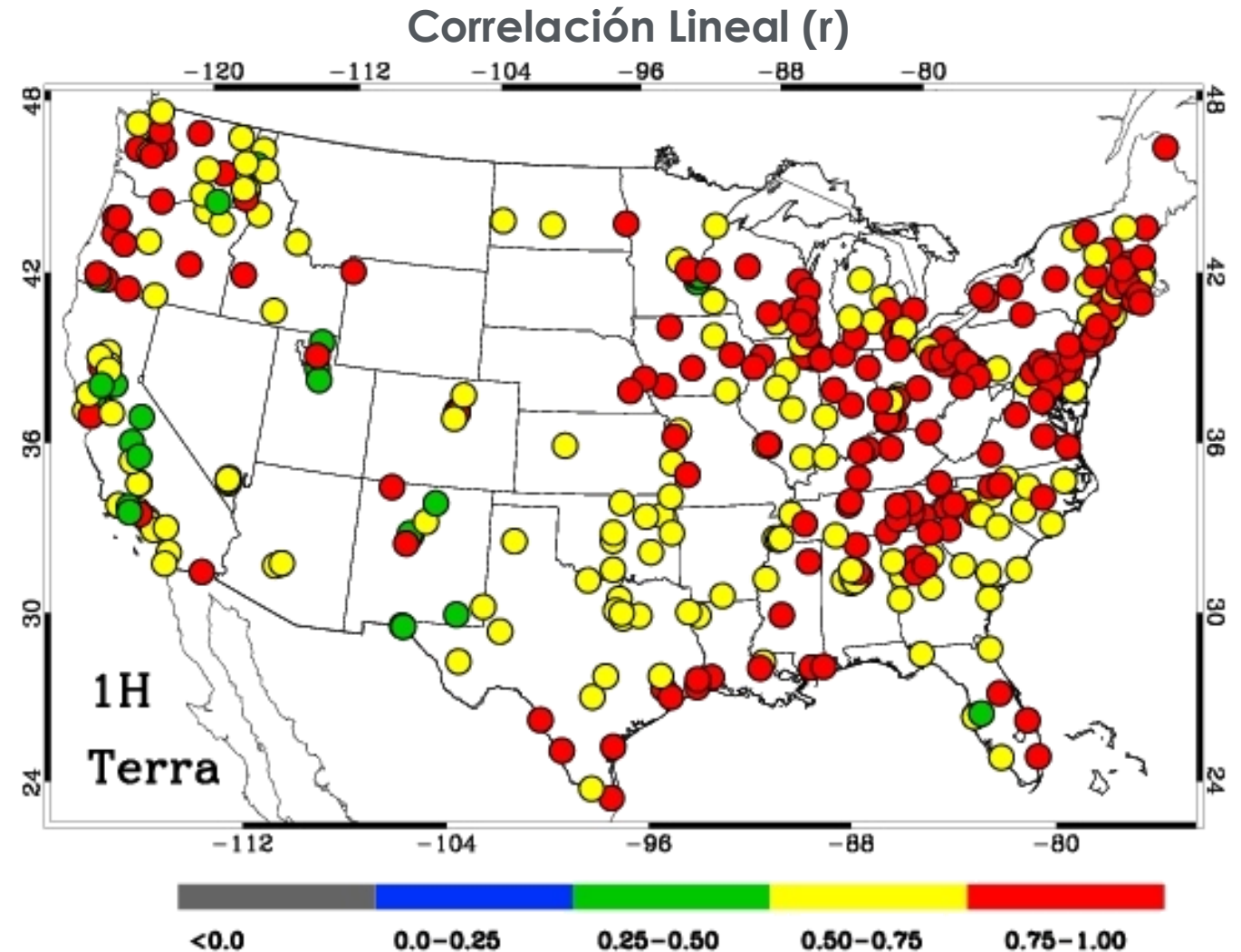


Tener en cuenta los factores de confusión conocidos puede mejorar las regresiones.

Variables explicativas adicionales incluidas para la regresión multivariable:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Altura de la capa límite planetaria
- Velocidad del viento
- Fracción de Nubes

La correlación y precisión general mejoran, pero sigue existiendo una **considerable variabilidad entre regiones y estaciones.**



Fuente: Gupta, 2008



Puede que se necesiten enfoques más sofisticados (próximamente en la Parte 2)

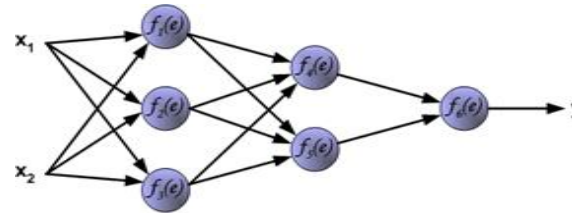
Regresión Lineal de Dos Variables


$$PM_{2.5} = \beta_0 + \alpha \times AOD$$

Regresión Lineal Multivariable

$$PM_{2.5} = \beta_0 + \alpha \times AOD + \sum_{n=1}^m (\beta_n \times M_n)$$

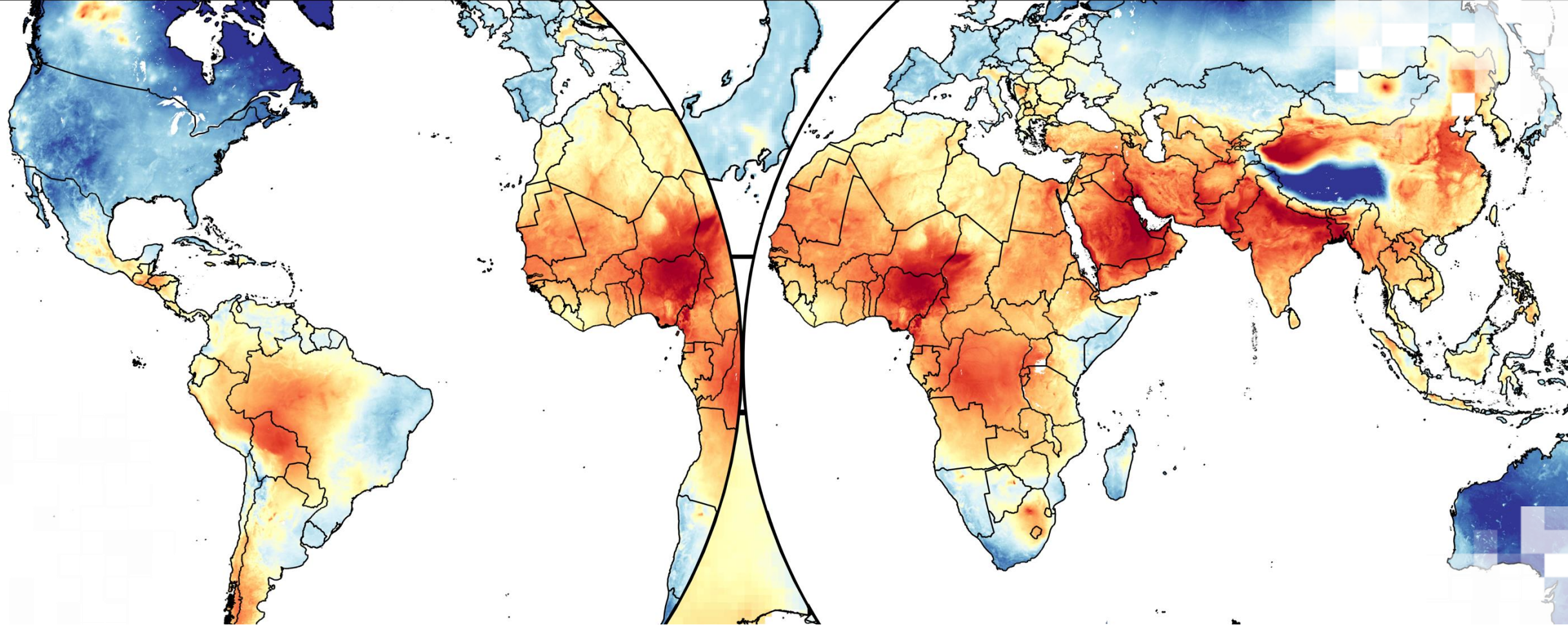
Aprendizaje Automático



Métodos Geofísicos

$$PM_{2.5} \text{ Estimado} = \frac{\text{Concentración en la Superficie de Modelo}}{\text{AOD de Modelo}} \times \text{AOD de Satélite}$$





Parte 1:
Resumen

Resumen

En la Parte 1, aprendimos sobre las "piezas" utilizadas para estimar $PM_{2.5}$ a partir de AOD de satélites:

- Las mediciones oficiales de $PM_{2.5}$ (por ejemplo, para la aplicación regulatoria) provienen de monitores in situ, que miden la concentración de masa de partículas cerca del nivel del suelo bajo condiciones controladas.
- Ciertos instrumentos de teledetección satelital pueden medir AOD, que representa la cantidad de luz eliminada por aerosoles durante su trayectoria a través de la atmósfera.
- Los CTM pueden simular tanto $PM_{2.5}$ como AOD, pero tienen una resolución limitada y requieren insumos sobre emisiones y condiciones meteorológicas.

También aprendimos por qué una relación lineal simple entre AOD y $PM_{2.5}$ puede no aplicarse:

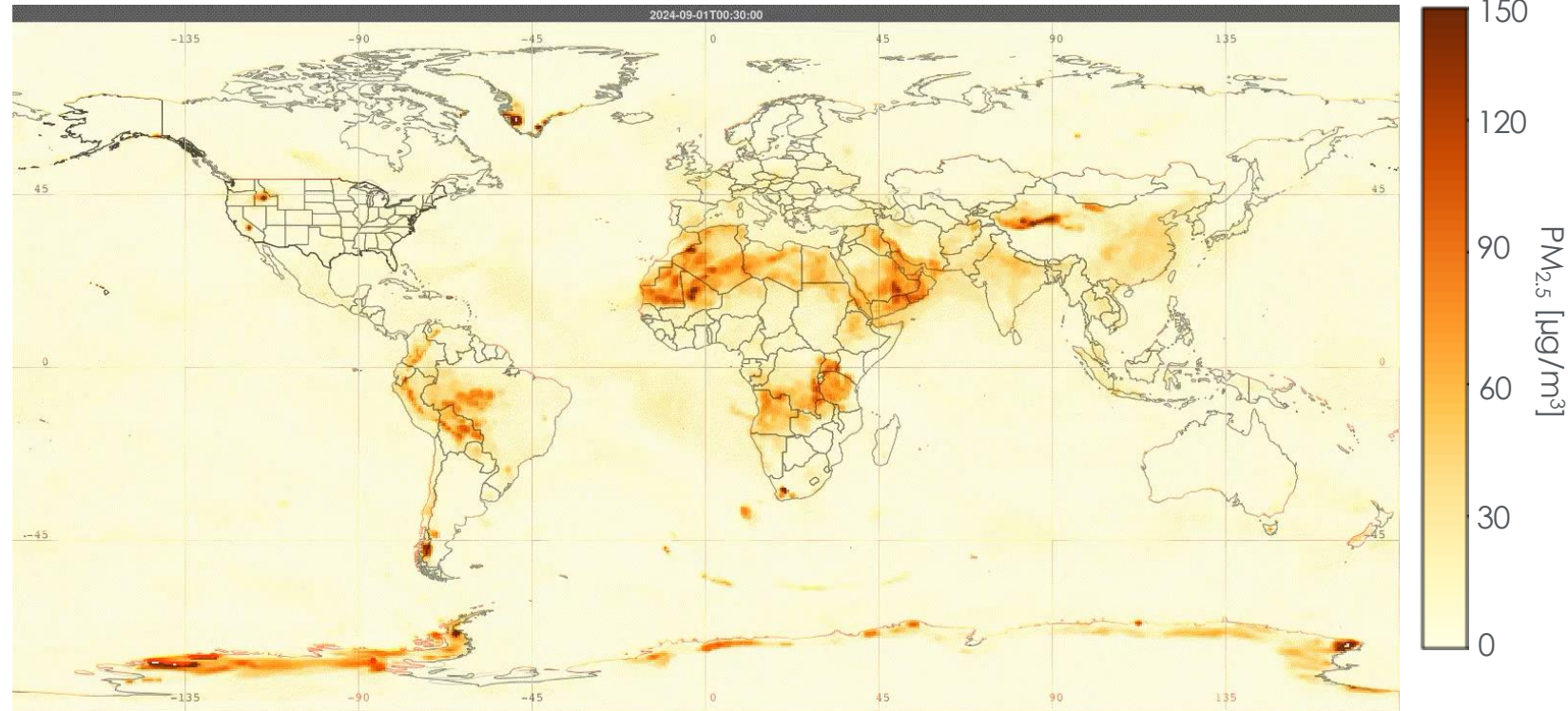
- Los aerosoles pueden estar suspendidos aproximadamente a nivel del suelo.
- Los aerosoles pueden estar dominados por partículas más gruesas.
- Los aerosoles pueden crecer y bloquear más luz en condiciones de humedad.
- Las lagunas sistemáticas en la cobertura de datos de AOD de los satélites pueden sesgar nuestras comparaciones.
- La resolución espacial de los datos de AOD puede no representar variaciones locales en $PM_{2.5}$.



Mirando hacia la Parte 2

- En la Parte 2, aprenderemos cómo las "piezas" que discutimos en la Parte 1 pueden combinarse para estimar el $PM_{2.5}$ superficial en lugares sin monitores terrestres.
- También conoceremos dos conjuntos de datos comunes para la estimación global de superficies $PM_{2.5}$:
 - Conjunto de Datos: Washington University St. in Louis SatPM
 - Conjunto de Datos: NASA MERRA-2 CNN HAQAST $PM_{2.5}$

$PM_{2.5}$ Mundial de MERRA2_CNN_HAQAST_PM25 del 1 al 15 de septiembre de 2024



Fuente: [NASA Giovanni](#)



Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Se asignará una tarea
- Abre el 22 de julio de 2026
- Acceder desde la [página web de la capacitación](#)
- Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google
- **Fecha límite: 5 de agosto de 2026**

- **Certificado de Finalización de Curso:**

- Asista a los tres webinars 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.

Agradecimientos

Kristina Pistone

Formadora de ARSET
Bay Area Environmental
Research Institute



Kevin Fuell

Diseñador Instruccional de
ARSET
University of Alabama Huntsville



Caterina Mogno

Formadora de ARSET
University of Maryland
Baltimore County



Datos de contacto

Formadores:

- Carl Malings
 - carl.a.malings@nasa.gov

- [Página Web de ARSET](#)
- [ARSET en YouTube](#)

Para hacer preguntas, comentarios, o compartir cómo ha aplicado nuestras capacitaciones a su trabajo o estudios, envíe un correo a nasa.arset@gmail.com.

Inscríbase para recibir nuestro boletín trimestral para estar al tanto de nuestras nuevas capacitaciones:

1. Envíe un correo sin asunto a arset-join@lists.nasa.gov.
2. Siga las instrucciones que se le enviarán en la respuesta.



Recursos

- US Environmental Protection Agency, “[Particulate Matter Basics](#)”
- US Environmental Protection Agency, “[AirData: Air Quality Data Collected at Outdoor Monitors Across the US](#)”
- OpenAQ, “[Explore the Data](#)”
- Capacitaciones de NASA ARSET
 - [Atmospheric Composition Ground Networks Supporting Air Quality and Climate Applications](#)
 - [Transición de MODIS a VIIRS para Aplicaciones de la Calidad del Aire](#)
 - [Tools for Analyzing NASA Air Quality Model Output](#)



Referencias

- Hay S, Ong K, Santomauro D et al. (2025). "[Burden of 375 diseases and injuries, risk-attributable burden of 88 risk factors, and healthy life expectancy in 204 countries and territories, including 660 subnational locations, 1990–2023: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023.](#)" *The Lancet*; 406, 1873-1922.
- Organización Mundial de la Salud (2023). "[WHO ambient air quality database, 2022 update: status report](#)". ISBN: 978-92-4-004769-3.
- Hsu et al. (2019). "[VIIRS Deep Blue Aerosol Products Over Land: Extending the EOS Long-Term Aerosol Data Records.](#)" *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 124 (7), 4026-4053.
- Chin et al. (2002). "[Tropospheric Aerosol Optical Thickness from the GOCART Model and Comparisons with Satellite and Sun Photometer Measurements.](#)" *Journal of the Atmospheric Sciences*; 59 (3), 461-483.
- Colarco et al. (2010). "[Online simulations of global aerosol distributions in the NASA GEOS-4 model and comparisons to satellite and ground-based aerosol optical depth.](#)" *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 115 (D14).
- Randles et al. (2017). "[The MERRA-2 Aerosol Reanalysis, 1980 Onward. Part I: System Description and Data Assimilation Evaluation.](#)" *Journal of Climate*; 30 (17), 6823-6850.



Referencias

- Gupta et al. (2018). "[Impact of California Fires on Local and Regional Air Quality: The Role of a Low-Cost Sensor Network and Satellite Observations.](#)" *GeoHealth*; 2 (6), 172-181.
- Hoff y Christopher (2009). "[Remote Sensing of Particulate Pollution from Space: Have we reached the promised land?](#)" *Journal of the Air & Waste Management Association*; 59, 642-675.
- Xin et al. (2016). "[The observation-based relationships between PM_{2.5} and AOD over China.](#)" *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 121 (18), 10701-10716.
- Bi et al. (2019). "[Impacts of snow and cloud covers on satellite-derived PM_{2.5} levels.](#)" *Remote Sensing of Environment*; 221: 665-674.
- Zhang y Kondragunta (2021). "[Daily and Hourly Surface PM_{2.5} Estimation From Satellite AOD.](#)" *Earth & Space Science*; 8 (3): e2020EA001599.
- Handschuh et al. (2022). "[Estimating PM_{2.5} surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS.](#)" *Remote Sensing Applications: Society and Environment*; 26: 100716.
- Zhang et al. (2022). "[Nowcasting Applications of Geostationary Satellite Cada Hora Surface PM_{2.5} Data.](#)" *Weather & Forecasting*; 37 (12): 2313–2329.





¡Gracias!

