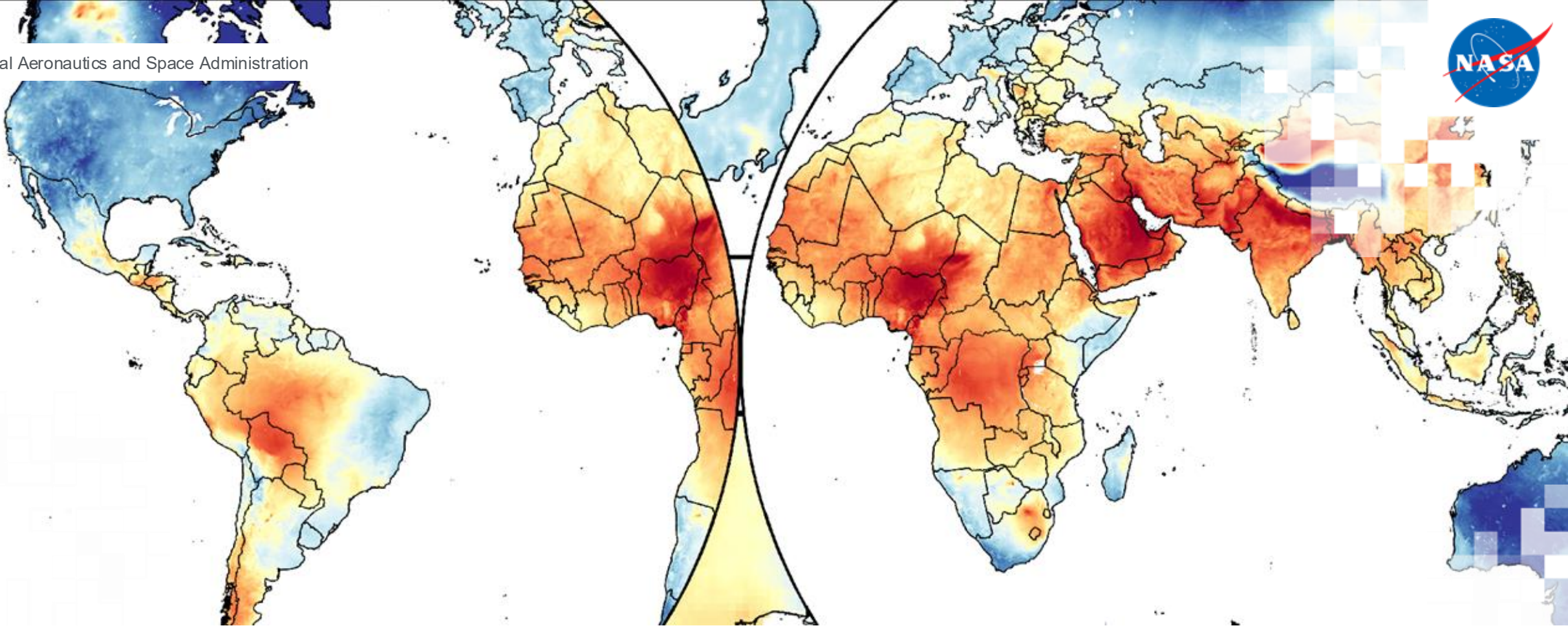




Estimación de $PM_{2.5}$ en la Superficie Usando Datos de Satélites y Otras Fuentes de Información

Estudio de Caso – Comparación de Productos de $PM_{2.5}$ Derivados de Satélites Disponibles con Mediciones In Situ

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)

22 de julio de 2026



Parte 3 – Formadores

Carl Malings

Científico de Investigación
Auxiliar
Morgan State University



Sebastián Diez

Research Scientist
Centro de Investigación en
Tecnologías para la Sociedad
Universidad del Desarrollo, Chile



Parte 1- Objetivos

Al final de la Parte 3, los participantes podrán :

Utilizar NASA Earthdata, las páginas web SatPM, OpenAQ y código Python para acceder a productos de datos de $PM_{2.5}$ en la superficie para la ubicación y el periodo de tiempo de este estudio de caso.

Comparar estas estimaciones de $PM_{2.5}$ derivadas de satélites con mediciones in situ utilizando estrategias y métricas de evaluación adecuadas de colocación.

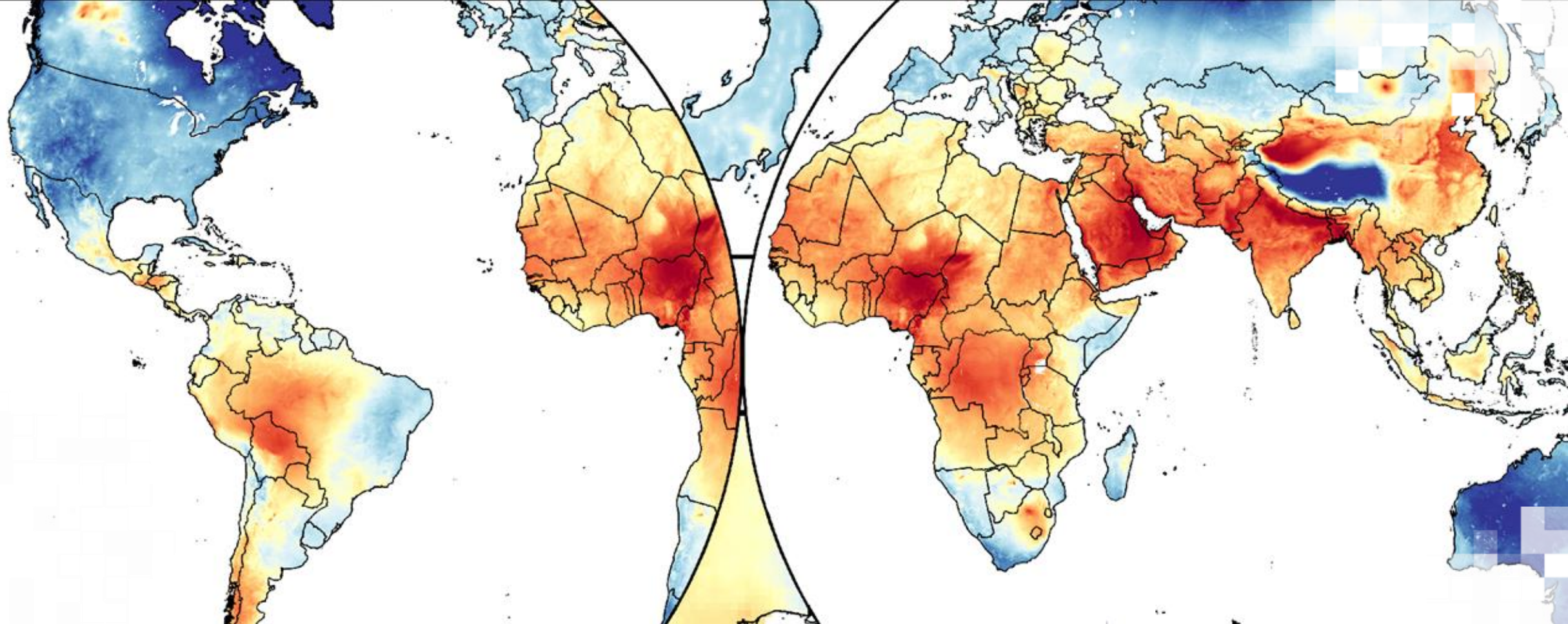
Repaso de Conocimiento Adquirido Previamente

- El SatPM2.5 de la Universidad de Washington en St. Louis utiliza un método geofísico híbrido para combinar información de AOD satelital y CTM global para estimar el $PM_{2.5}$ medio mensual a ~ 1 km de resolución espacial.
- El $PM_{2.5}$ de MERRA-2 corregido por sesgo de la NASA utiliza aprendizaje automático para corregir sesgos en el reanálisis de MERRA-2, produciendo estimaciones de $PM_{2.5}$ con la misma resolución espacial (~ 50 km) y temporal (cada hora).
- Los monitores terrestres proporcionan los mejores datos sobre las concentraciones de $PM_{2.5}$; la evaluación de la calidad del $PM_{2.5}$ derivado de AOD debe realizarse mediante comparaciones con datos de monitores terrestres.

Cómo Hacer Preguntas

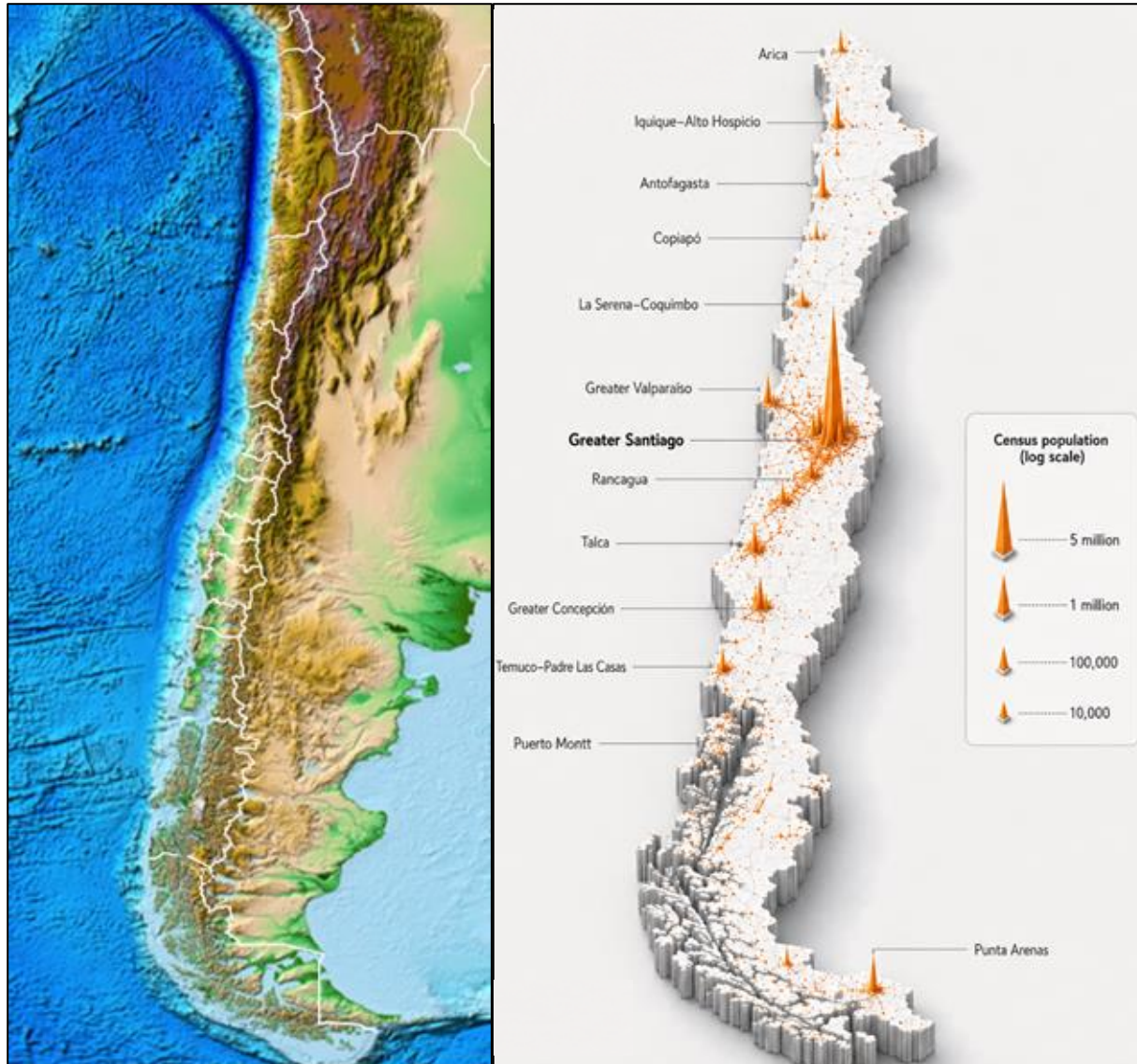
- Para asegurarse de que veamos su pregunta, por favor localice los tres puntos ... en la parte inferior derecha de la ventana de la capacitación.
- Verá una opción de Slido/Q&A. También puede que vea una pestaña o aplicación independiente de Slido.
- Por favor, escriba todas sus preguntas allí y las responderemos durante la sesión de preguntas y respuestas.
- Intentaremos responder a todas las preguntas durante la sesión de preguntas y respuestas después del webinar. Las demás preguntas se responderán en el documento de preguntas y respuestas, que se publicará en la página web de la capacitación aproximadamente una semana después de esta.





Parte 3:
Introducción al Caso de Estudio:
Efecto de los Incendios de 2023 en la Calidad del Aire en
Chile

Chile es un Laboratorio Natural para el PM_{2.5}.



Gradientes Extremos

- Una franja de 4.300 km entre los Andes y el Pacífico: desierto en el norte, clima mediterráneo en el centro y lluvioso al sur.

Cuencas confinadas

- El valle central de Chile está rodeado de cadenas montañosas que concentran tanto población como contaminación.

Alta variabilidad espacial

- El PM_{2.5} varía drásticamente con la latitud y el terreno, lo que hace que la información satelital sea muy útil y al mismo tiempo difícil de validar.

Fuente: [Wikipedia \(Relief Map of Chile\)](#), [INE Chile, Censo 2024](#).

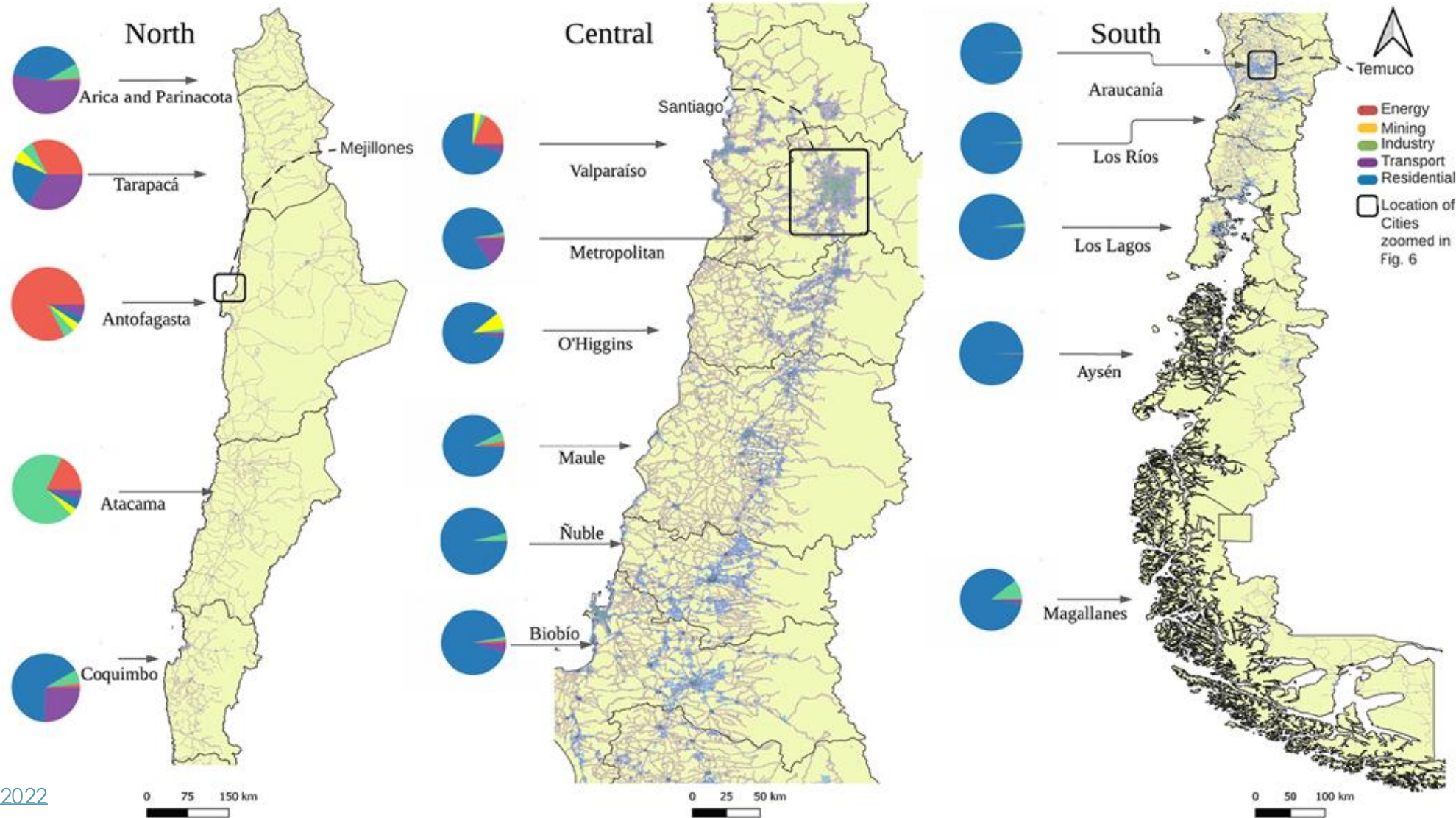


La Quema de Leña Domina las Emisiones de Material Particulado en Chile.

- En las ciudades del sur, las emisiones **residenciales** (quema de leña) >80% del PM fino
- Sobre todo en invierno

Fuentes:

Energía
Minería
Industria
Transporte
Residencial

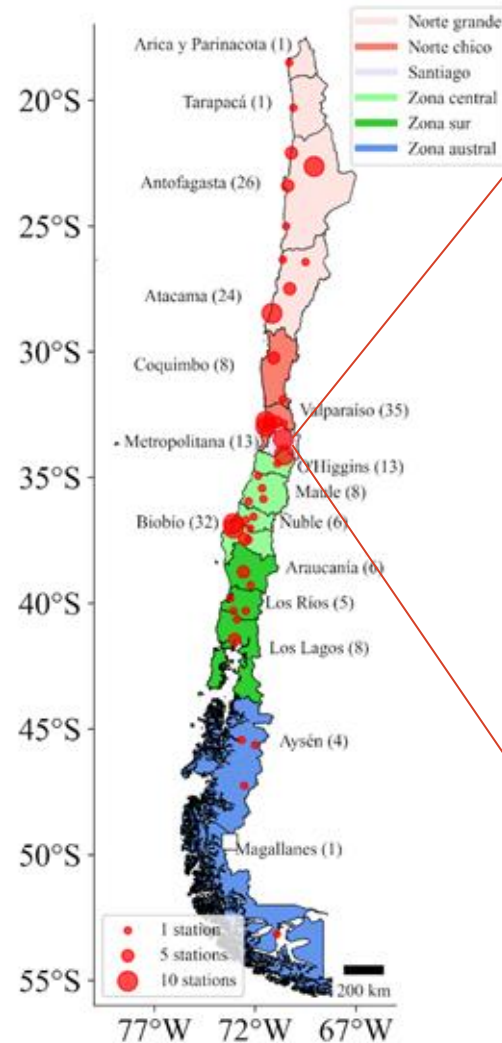


Fuente: [Álamos et al., 2022](#)

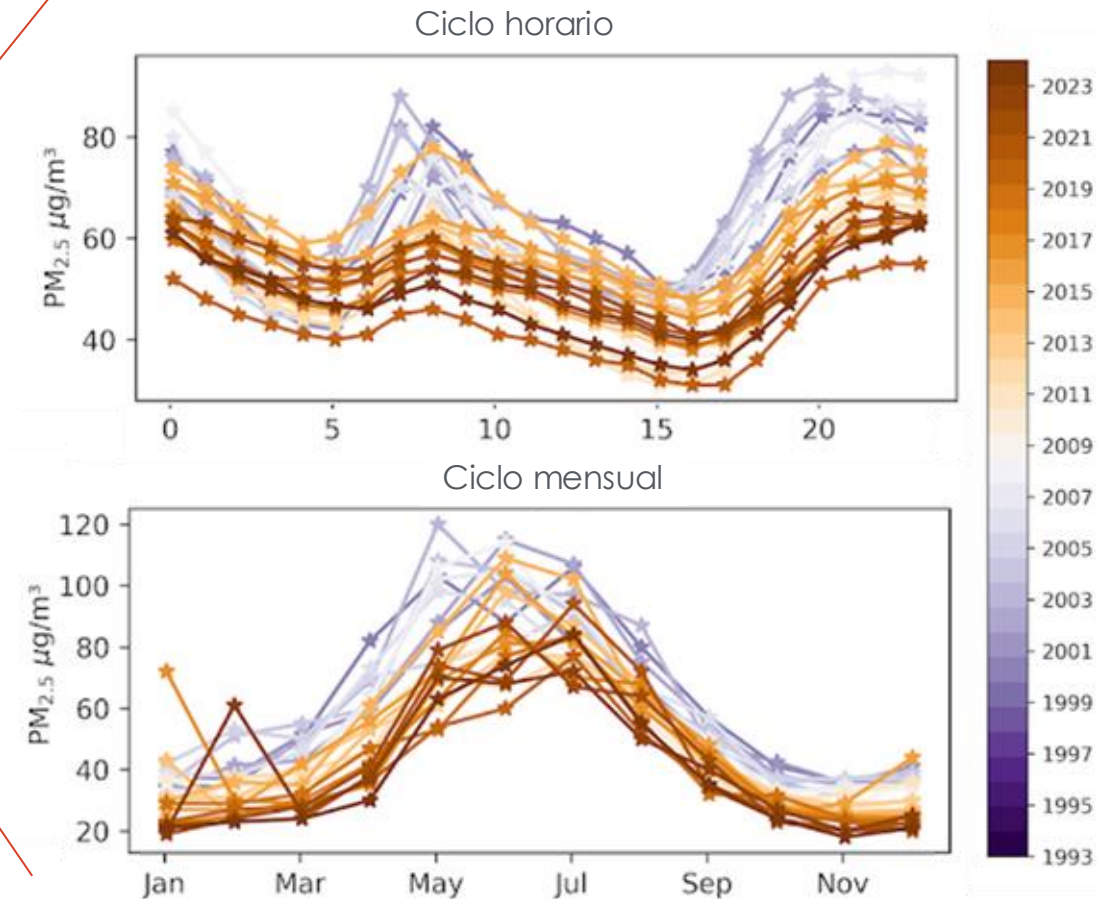
SINCA es la Red Oficial de Monitoreo de la Calidad del Aire en Chile.

- SINCA = Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire
- ~200 estaciones de monitoreo
- <20% de los municipios son monitoreados
- ~11M de personas viven en áreas sin estaciones

Estaciones de Monitoreo de SINCA



PM_{2.5} en Santiago: ciclo horario y mensual (SINCA)



Fuente: [SINCA](#), [UDD](#), [Basoa et al., 2025](#)



Caso de Estudio: Incendios en Feb 2023

- Una de las peores temporadas de incendios registradas: ~428.000 ha quemadas, un 244 % más que la temporada anterior.
- Alto costo humano: 26 personas fallecidas y ~2.450 viviendas destruidas.
- Contexto de megasequía: más de una década de sequía y veranos más calurosos y secos dejaron el paisaje propicio para los incendios.
- Concentrados en una semana: principios de febrero de 2023, en las regiones del Maule, Ñuble, Biobío y La Araucanía.

Fuente: [Zoom Earth](#), [NOAA/NESDIS/STAR/GOES-East](#), [NASA FIRMS](#)

NASA ARSET – Estimating Surface PM_{2.5} using Satellite Data and Other Information S

428,000

Hectáreas Quemadas
en la Temporada
2022–23



Factores que Favorecieron los Incendios de Febrero de 2023.

Ola de calor

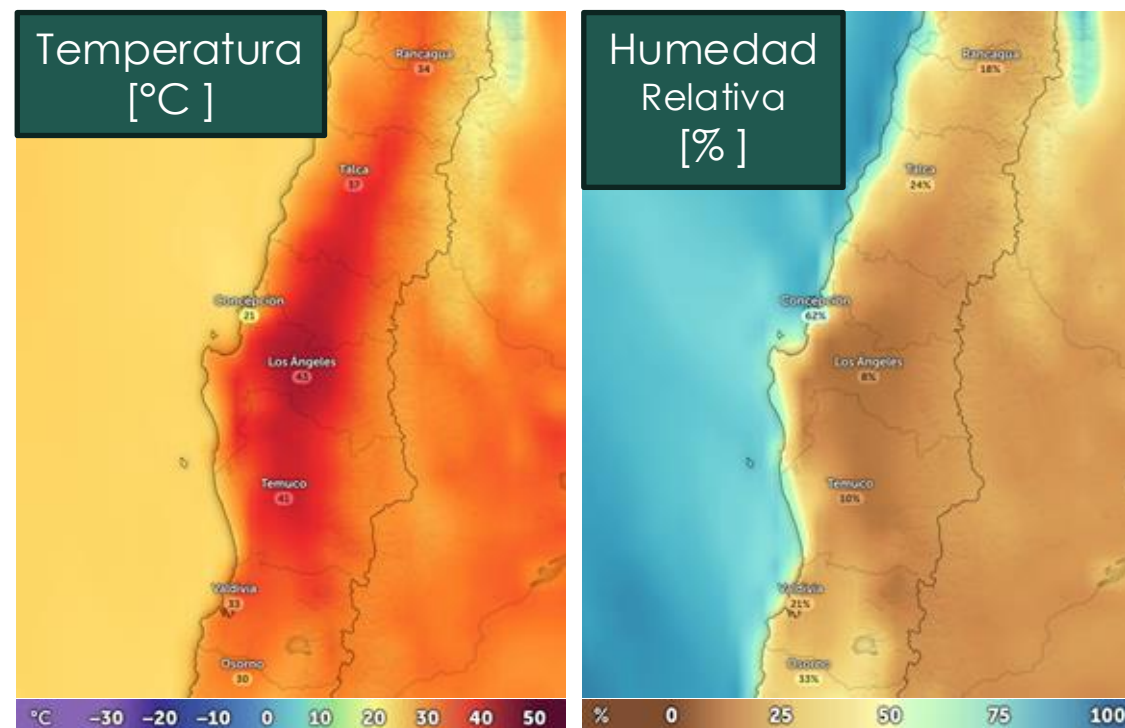
- El 3 de febrero de 2023, Chillán alcanzó un récord de 41,6 °C y la HR cayó por debajo del 10 %.

Vientos

- El viento “Puelche”, cálido y seco, avivó las llamas y arrastró el humo a cientos de kilómetros de distancia.

Combustible

- Las densas plantaciones de pino y eucalipto favorecieron la propagación descontrolada del fuego.

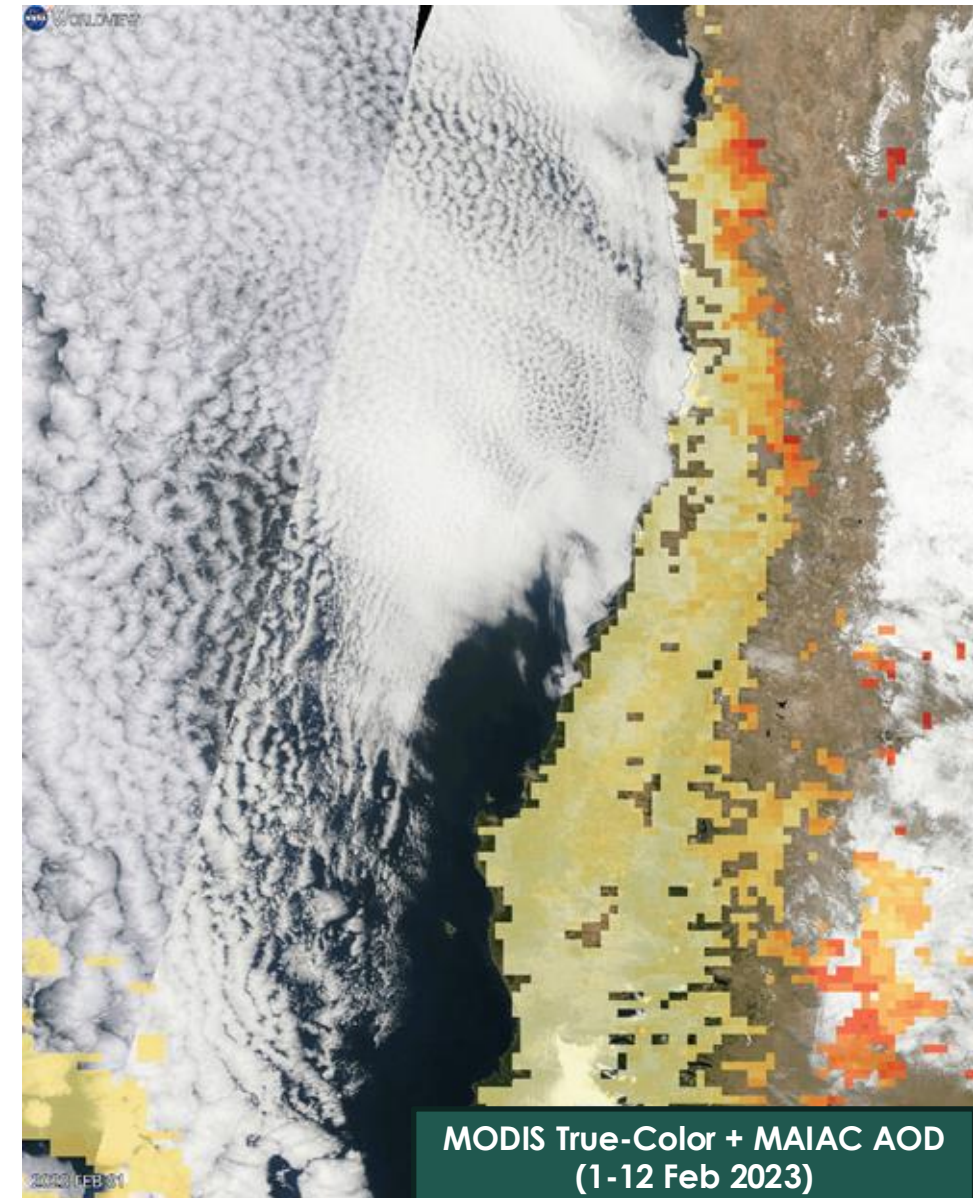


Fuentes: [Zoom Earth](#), [CR2](#)



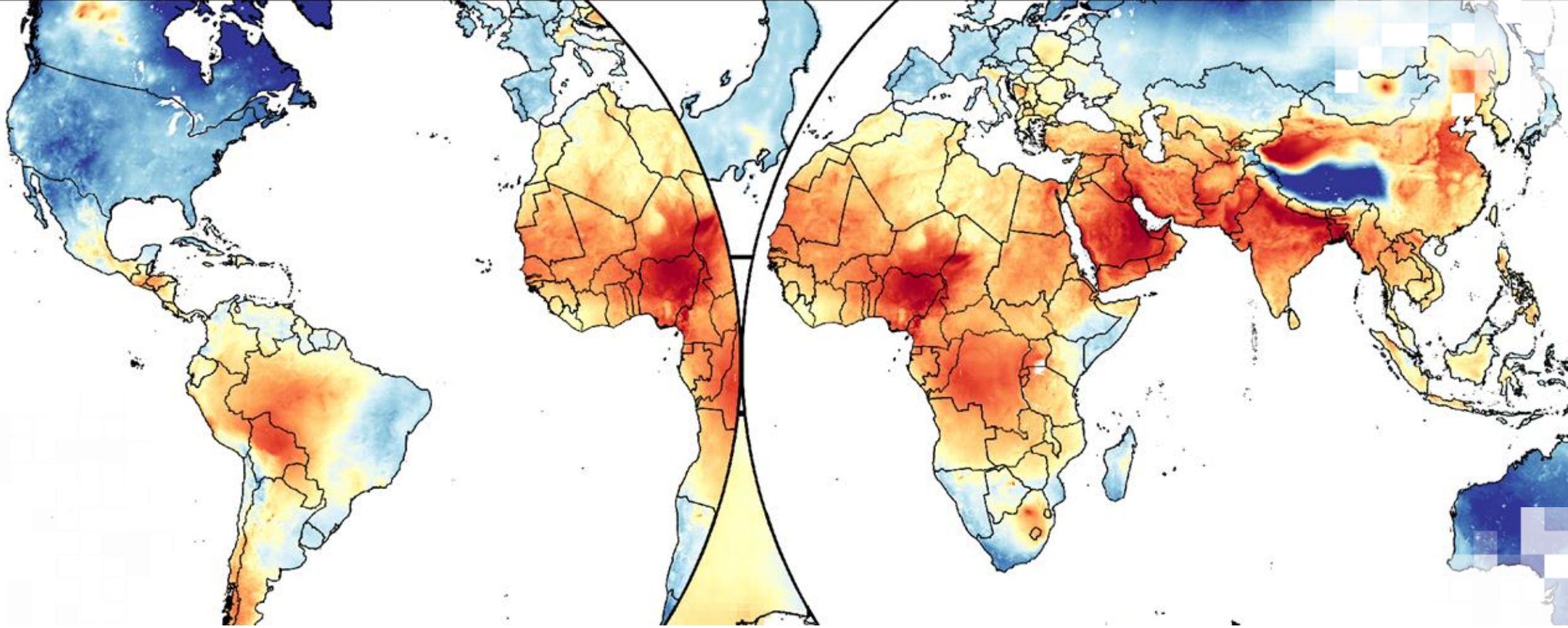
Humo de los Incendios de Feb 2023 Visto Desde el Espacio (AOD satelital).

- Los **satélites capturan la pluma completa**: su alcance regional sobre el Pacífico, justo donde no hay estaciones de monitoreo en superficie.
- El AOD muestra la presencia de humo, pero no cuánto $PM_{2.5}$ respira la población a nivel de superficie.
- Los productos satelitales de $PM_{2.5}$ solo son útiles si confiamos en ellos.
- **Para verificarlos, debemos compararlos con datos terrestres de referencia.**



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





Parte 3:

Estudio de Caso: Comparación de Datos de SatPM, MERRA-2 CNN y SINCA

Esquema del Estudio de Caso

- Configuración
 - Acceder a Python Notebook desde [ARSET Github](#)
 - Descargar una copia a su Google Drive
 - Configurar carpetas para los datos descargados en su Google Drive
 - Orientación hacia los controles de Google Colab
 - Importar paquetes requeridos
 - Habilitar el acceso a Google Drive
 - Proporcionar credenciales para [NASA Earthdata](#) y [OpenAQ](#)
 - Definir funciones útiles



Esquema del Estudio de Caso (Continuación)

- Descarga de datos
 - Descargar datos de SatPM, crear un subconjunto para la región de interés, aplicar un control básico de calidad y trazar el gráfico
 - Descargue los datos de CNN de MERRA-2, crear un subconjunto para la región de interés, aplicar un control básico de calidad y trazar el gráfico
 - Descargar datos de monitores terrestres de OpenAQ y la red SINCA, aplicar un control básico de calidad, trazar y comparar
- Analizar datos
 - Comparar los datos de SatPM, MERRA-2 CNN y monitores terrestres
 - Evaluar usando métricas comunes: sesgo, precisión, correlación
 - Evaluar usando diferentes bases cronológicas: mensual, diaria y por hora



Métricas Comunes

- **Sesgo:** Mide la diferencia media entre las estimaciones y los valores reales
 - Gama: $-\infty$ a $+\infty$
 - Mejor Valor: 0
 - Las mismas unidades que las cantidades medidas
- **Sesgo Normalizado Medio (Mean Normalized Bias o MNB):** Sesgo dividido por el promedio de los valores reales
 - Gama: $-\infty$ to $+\infty$
 - Mejor Valor: 0
 - Sin unidades
- **Error de Media Cuadrática (Root Mean Square Error o RMSE):** Mide la precisión de la estimación en comparación con el valor real, como la raíz cuadrada de la media de los errores cuadráticos entre las estimaciones y los valores reales
 - Gama: 0 a $+\infty$
 - Mejor Valor: 0
 - Las mismas unidades que las cantidades medidas
- **RMSE Medio Normalizado (Mean Normalized RMSE o NRMSE):** RMSE dividido por el promedio de los valores reales
 - Gama: 0 a $+\infty$
 - Mejor Valor: 0
 - Sin unidades

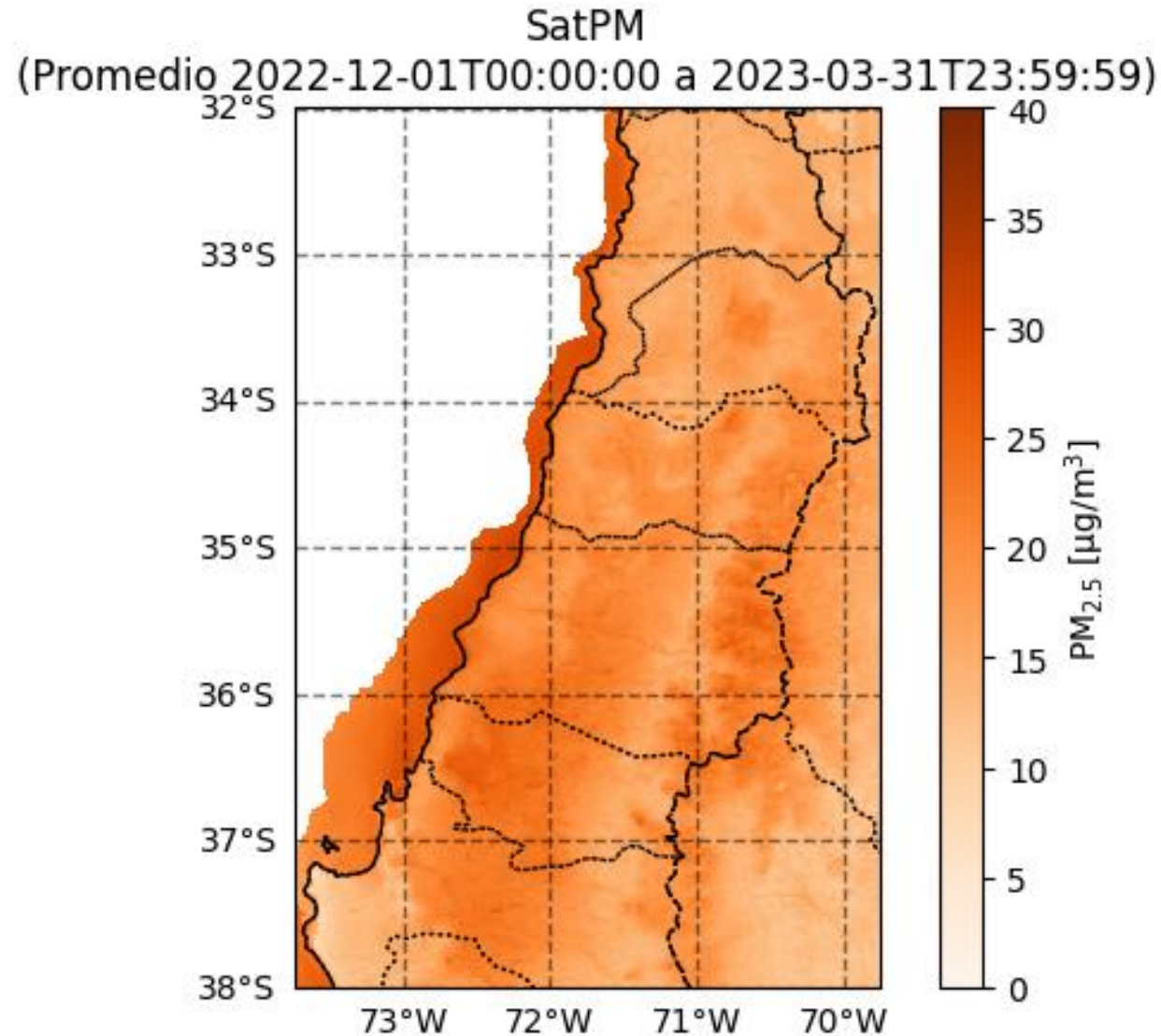


Métricas Comunes (Continuación)

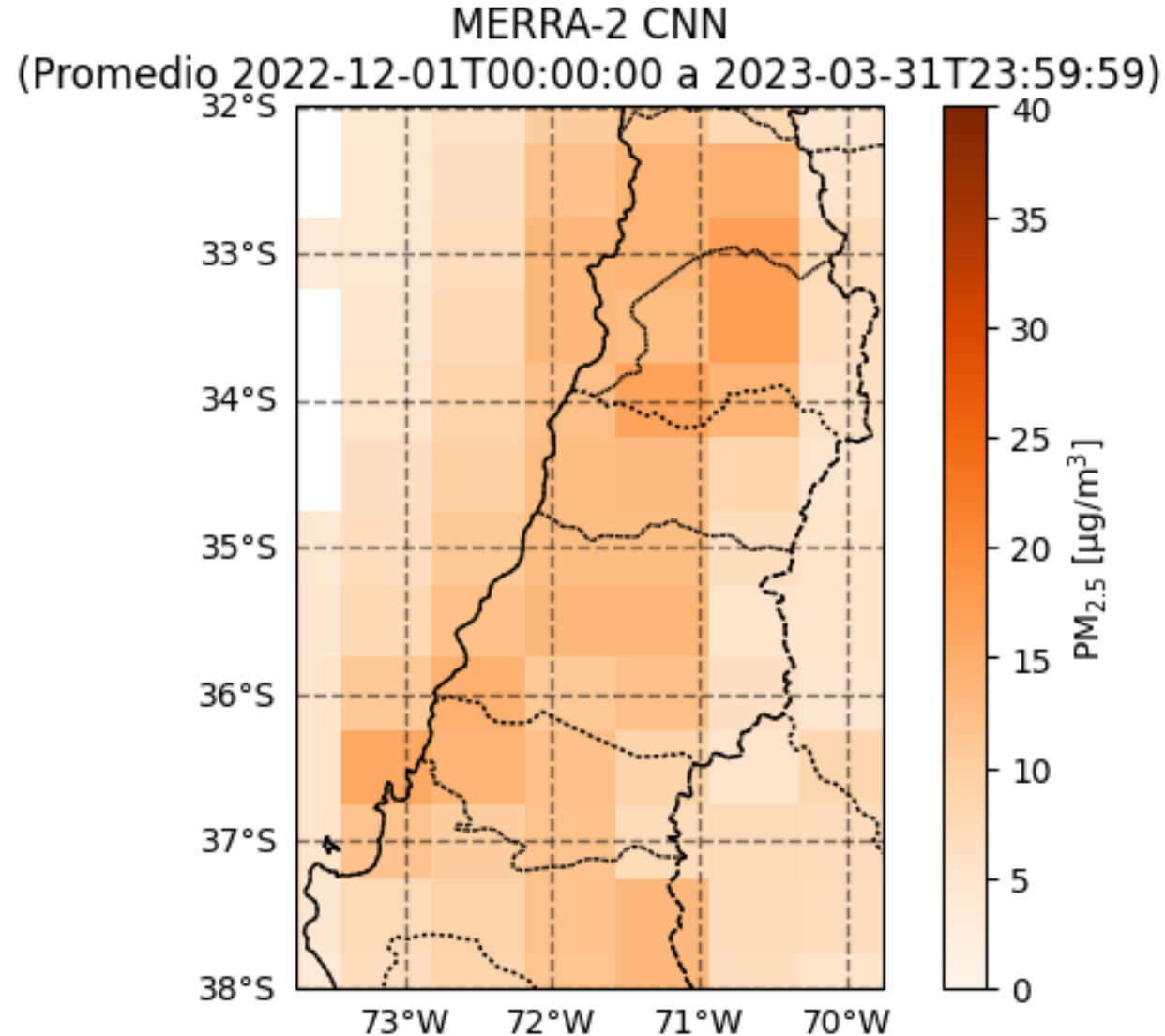
- **Coeficiente de determinación (R^2):** Mide la fracción de varianza en los valores reales explicados por la varianza en las estimaciones
 - Gama: $-\infty$ to 1
 - Mejor Valor: 1
 - Sin unidades
- **Correlación Espacial (r_{space}):** Mide la linealidad en la relación entre el patrón espacial de las estimaciones y el patrón espacial de los valores reales
 - Gama: -1 to 1
 - Mejor Valor: 1
 - Sin unidades
- **Correlación Temporal (r_{time}):** Mide la linealidad en la relación entre el patrón temporal de las estimaciones y el patrón temporal de los valores reales
 - Gama: -1 to 1
 - Mejor Valor: 1
 - Sin unidades



Descargar y Diagramar Datos de SatPM_{2.5} para la Región de Interés

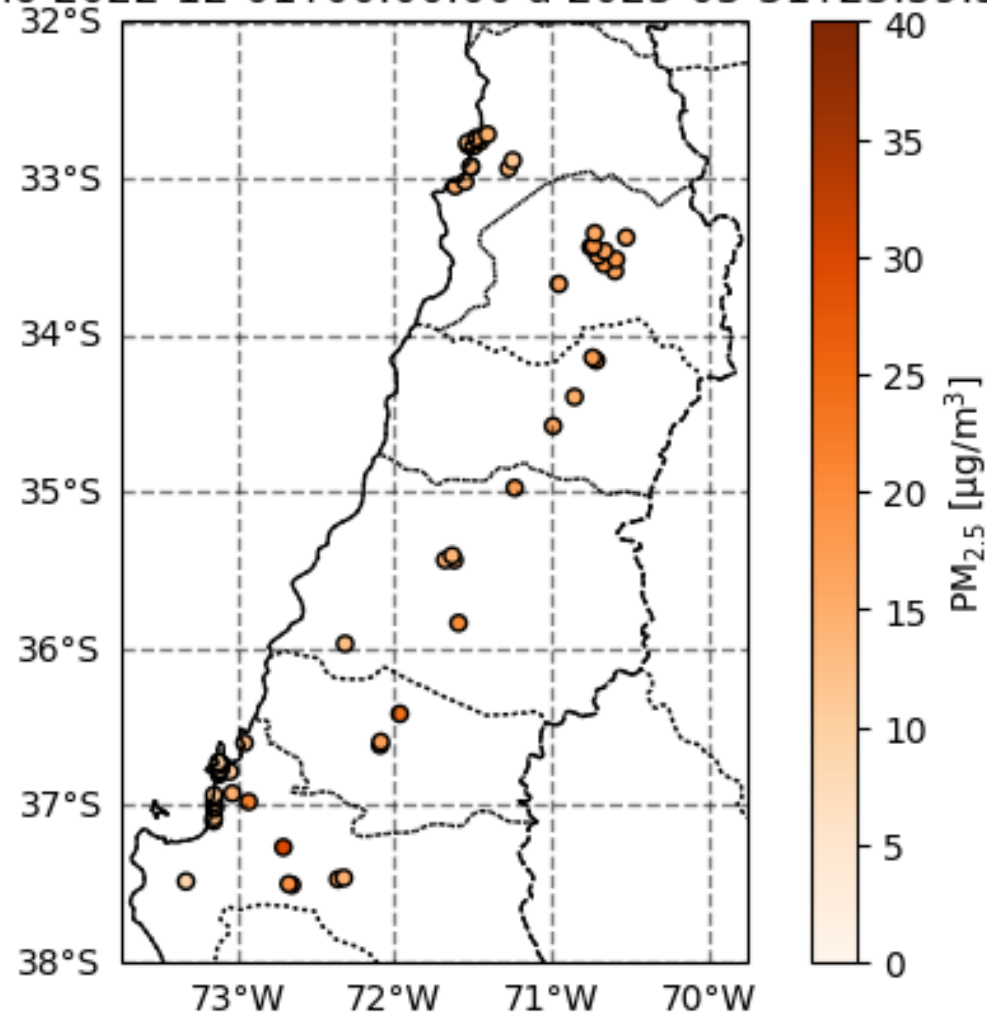


Descargar y Diagramar Datos de MERRA-2 CNN Data para la Región de Interés



Descargar y Diagramar Datos de Monitores de SINCA para la Región de Interés

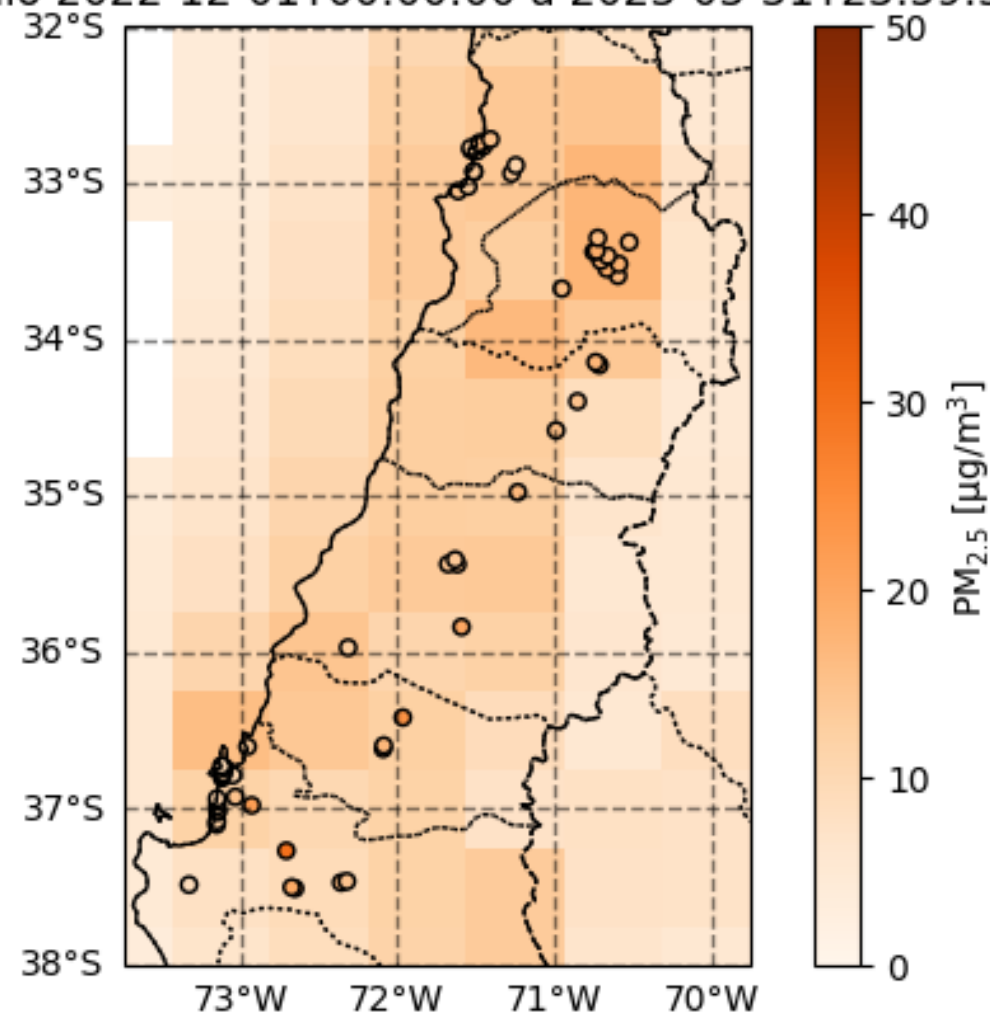
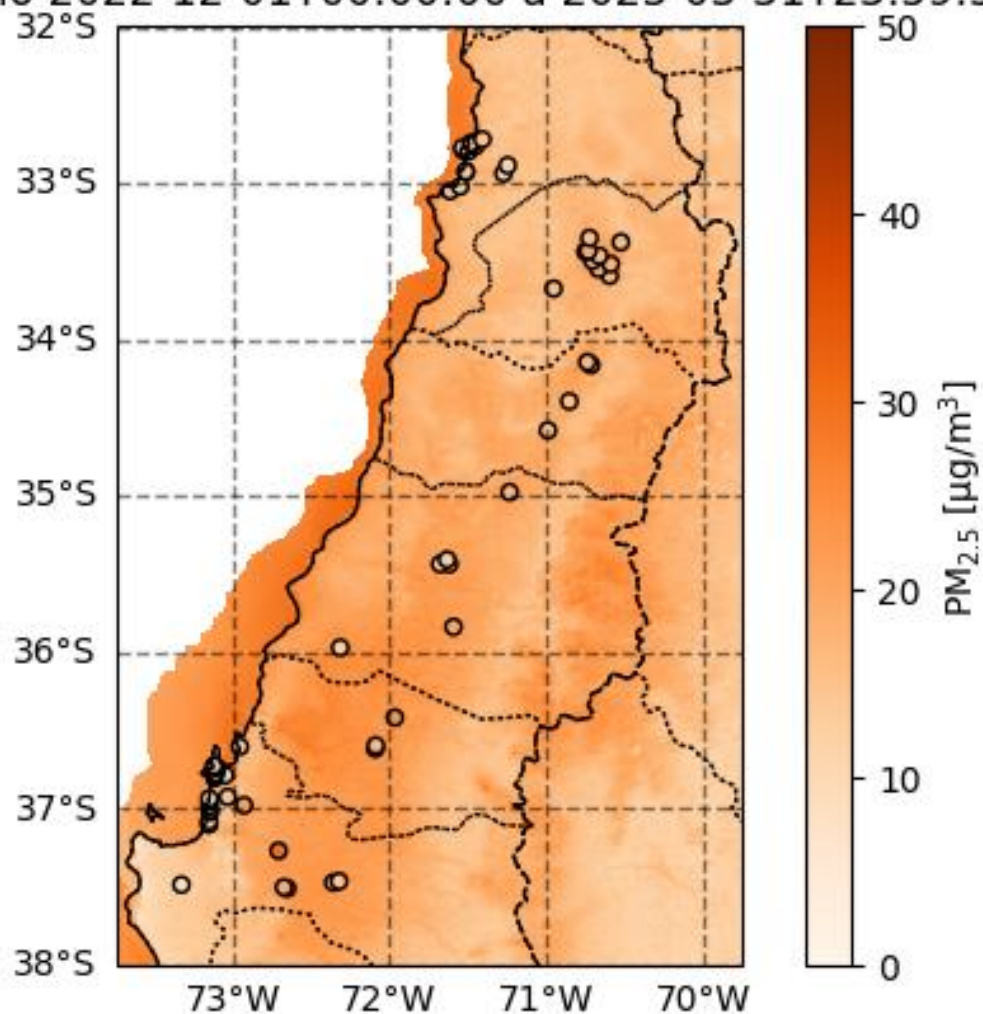
Datos de monitores
(Promedio 2022-12-01T00:00:00 a 2023-03-31T23:59:59)



Comparar Conjuntos de Datos – Mapas de Plot

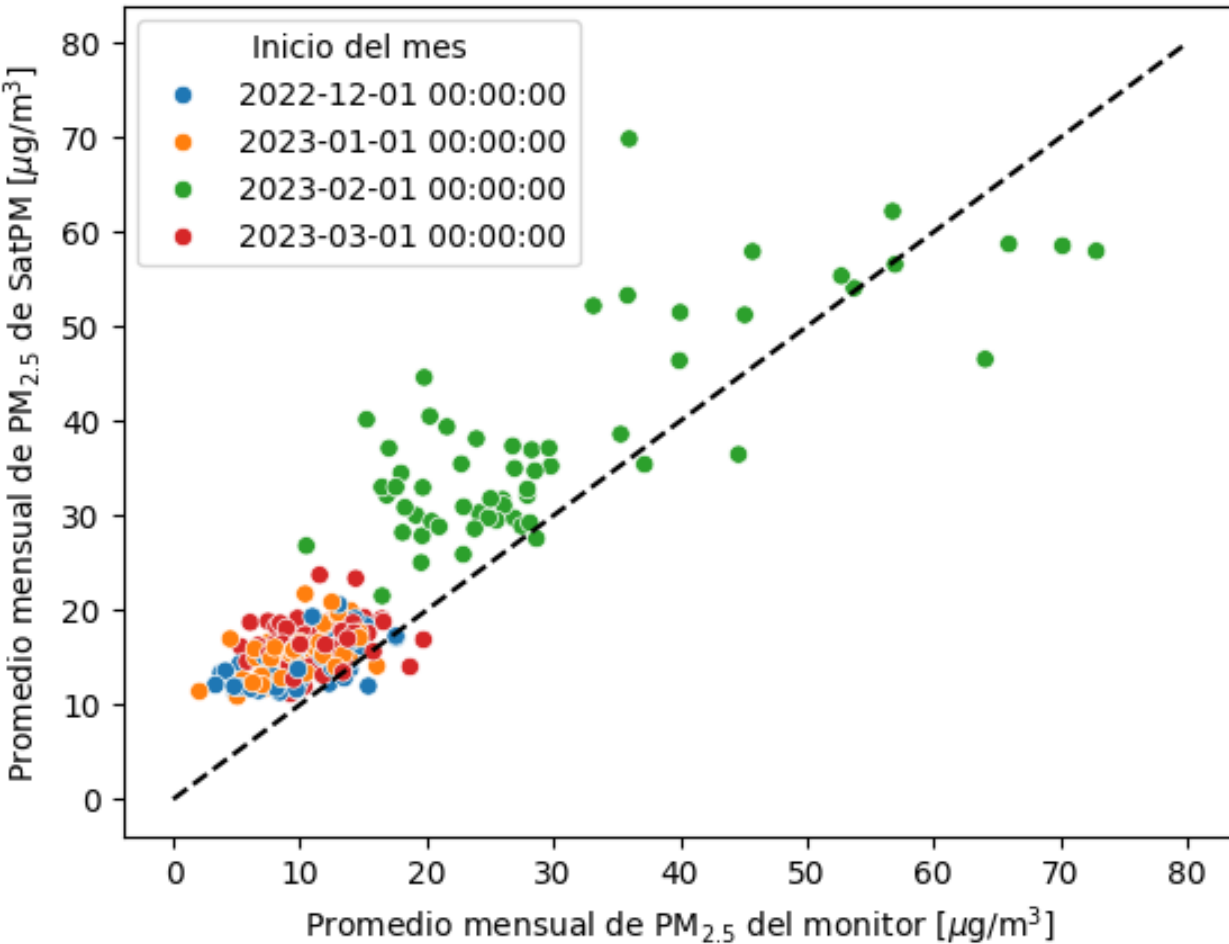
Comparación de SatPM con monitores (Promedio 2022-12-01T00:00:00 a 2023-03-31T23:59:59)

Comparación de MERRA-2 CNN con monitores (Promedio 2022-12-01T00:00:00 a 2023-03-31T23:59:59)

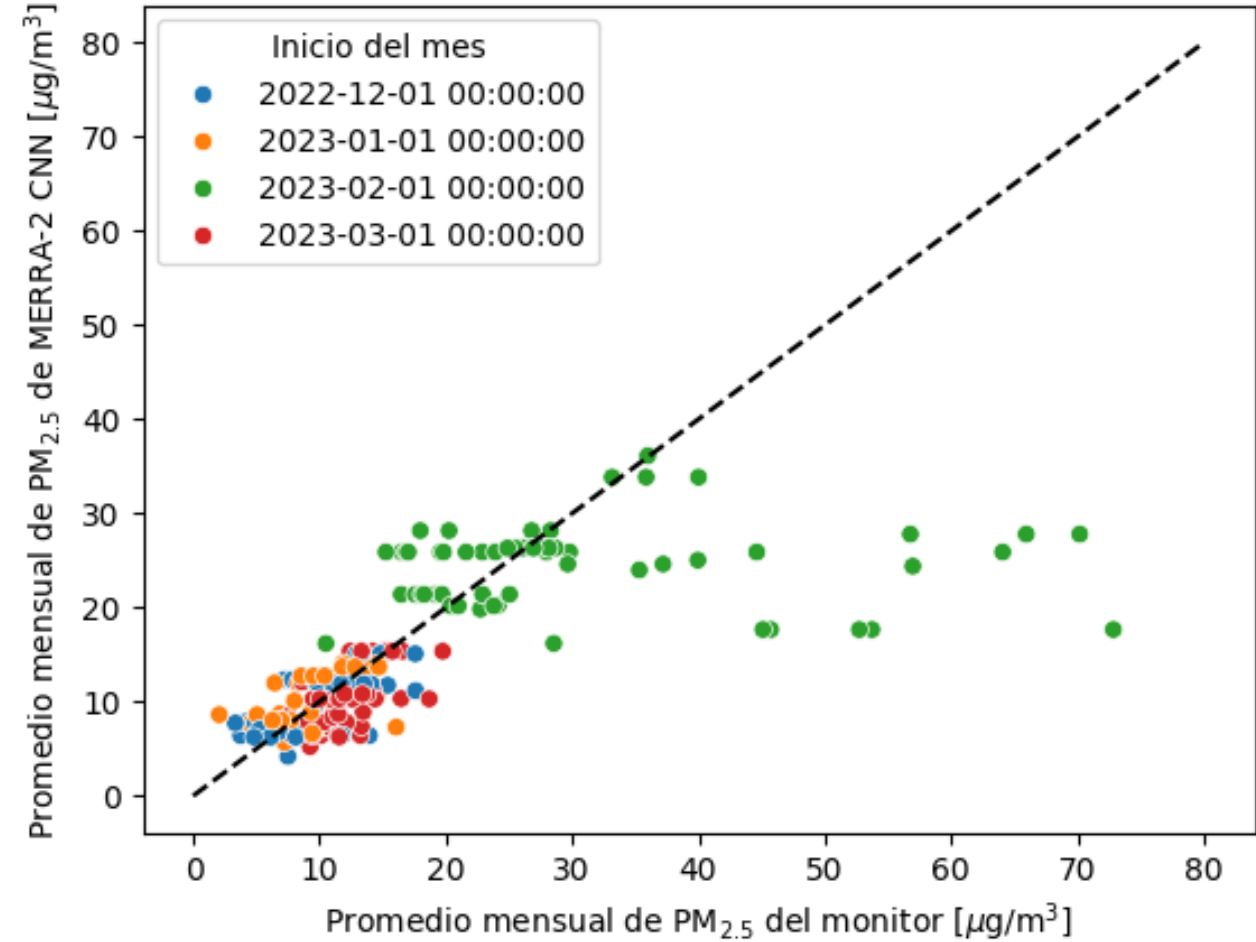


Comparar Conjuntos de Datos – Plots Mensuales

Comparación mensual: SatPM vs. monitores en superficie

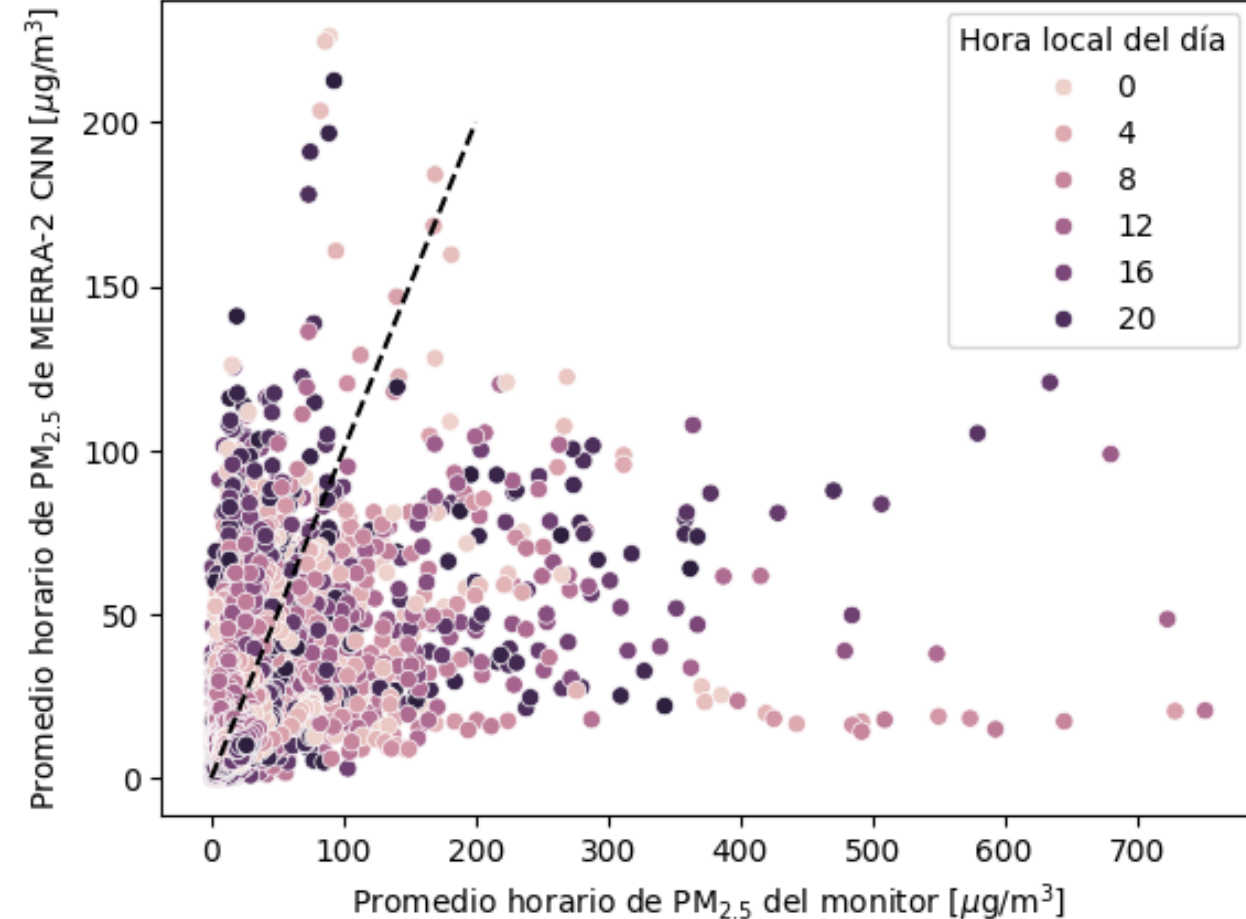


Comparación mensual: MERRA-2 CNN vs. monitores en superficie

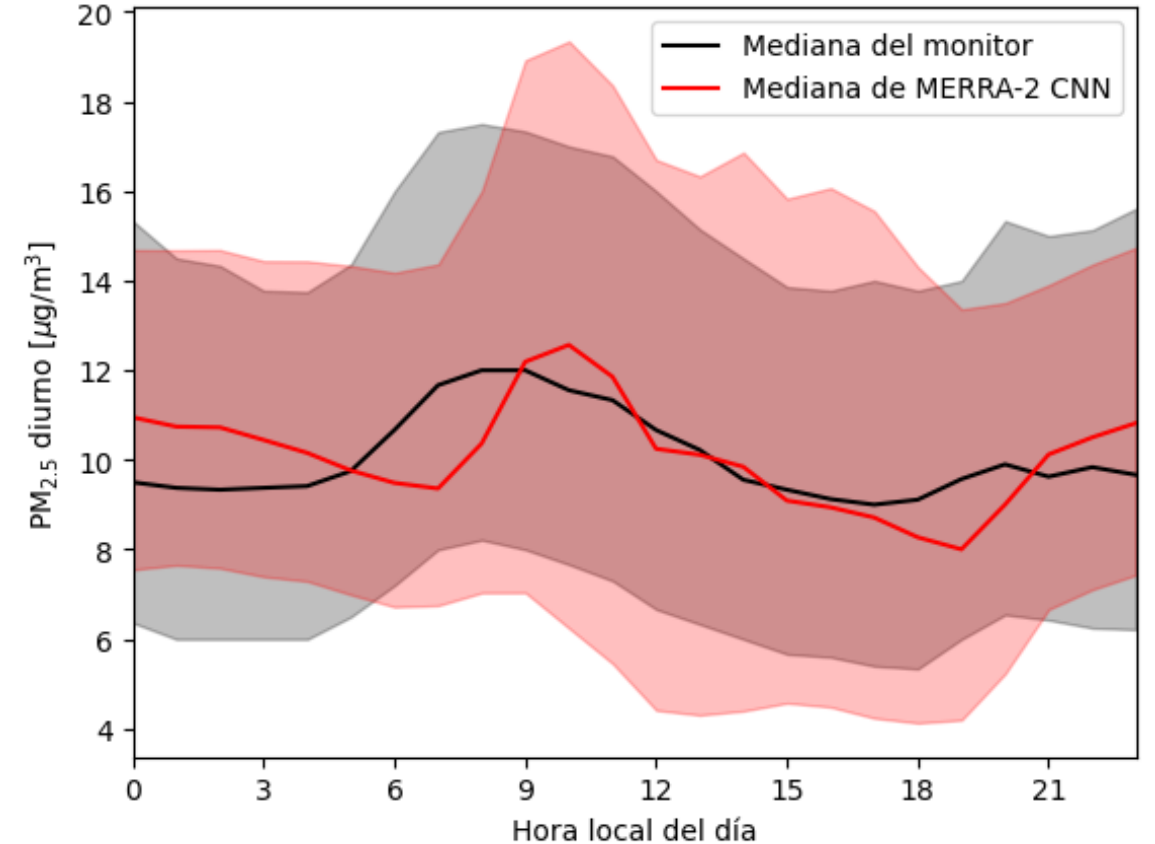


MERRA-2 CNN – Comparaciones por Hora y por Hora del Día

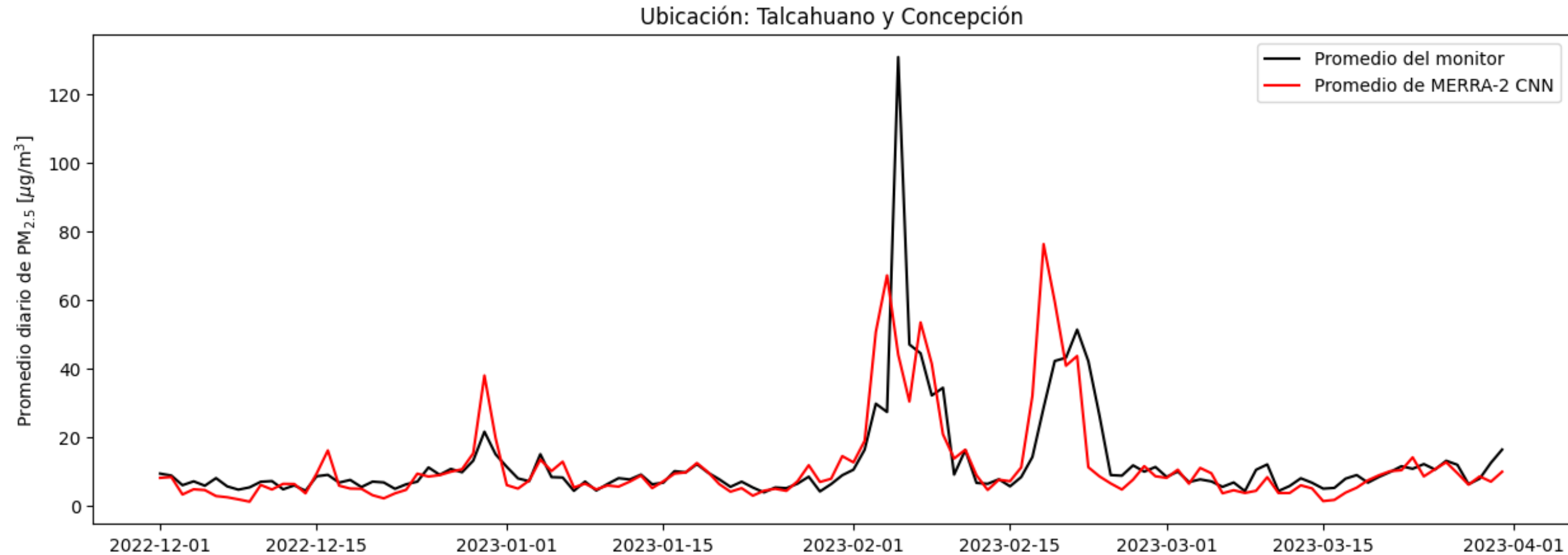
Comparación horaria: MERRA-2 CNN vs. monitores en superficie

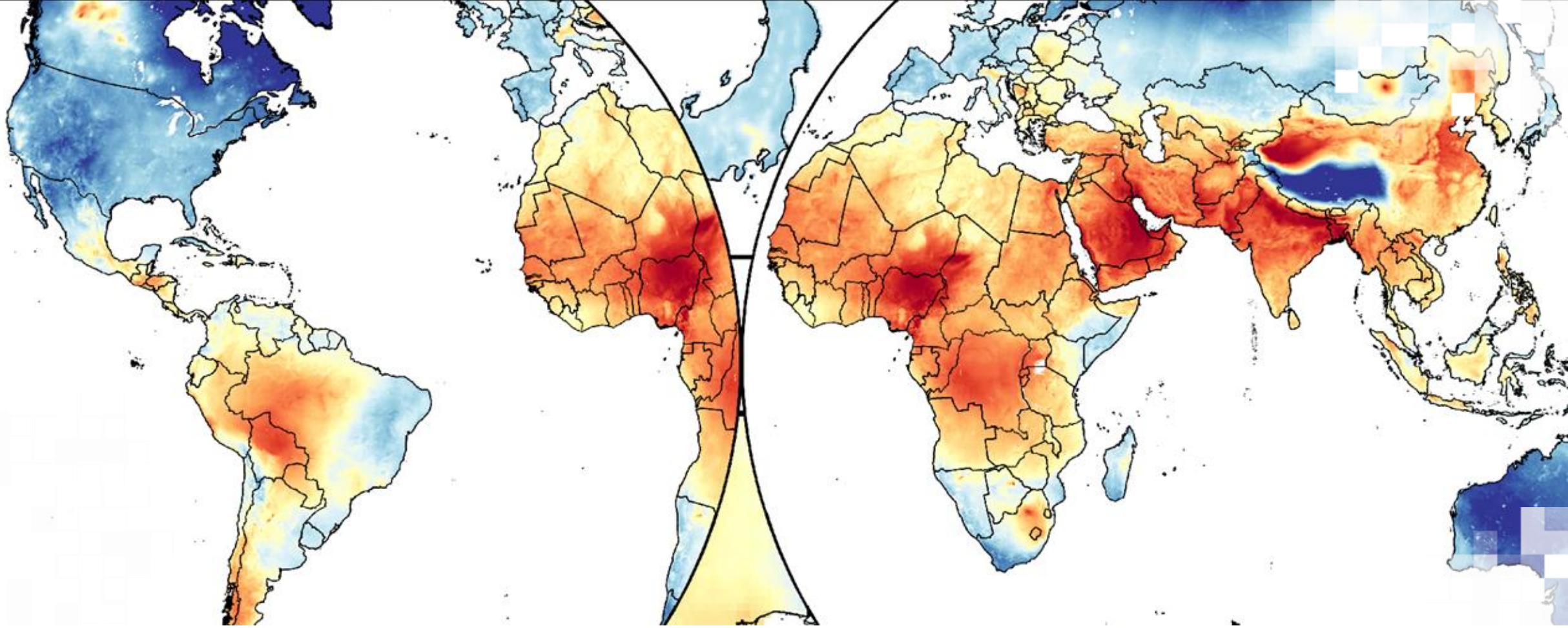


Comparación del ciclo diario: MERRA-2 CNN vs. monitores en superficie



MERRA-2 CNN – Plot de Series Temporales Diarias





Estimación de PM2.5 en la Superficie Usando Datos de Satélites
y Otras Fuentes de Información

Resumen

Resumen de la Capacitación

- Los datos de AOD satelitales pueden combinarse con mediciones de $PM_{2.5}$ en superficie y salidas CTM para estimar $PM_{2.5}$ en superficie en ubicaciones sin monitores terrestres.
- Se pueden aplicar diversos enfoques (regresión lineal, regresión geográficamente ponderada, técnicas de aprendizaje automático y métodos híbridos) para estimar $PM_{2.5}$ a partir de estas entradas.
- El conjunto de datos Sat $PM_{2.5}$ y el conjunto de datos MERRA-2 $PM_{2.5}$ corregido por sesgo son dos conjuntos de datos $PM_{2.5}$ disponibles públicamente con cobertura global.
 - **Sat $PM_{2.5}$** proporciona mayor resolución espacial (**~1 km**) pero una resolución temporal inferior (**mensual**)
 - **MERRA-2 CNN** proporciona una resolución espacial inferior (**~50 km**) pero una resolución temporal superior (por hora) .
- Los conjuntos de datos deben compararse con datos de $PM_{2.5}$ terrestres cuando sea posible para evaluar su idoneidad para aplicaciones regionales.
 - Sesgo
 - Precisión (error de media cuadrática)
 - Correlación (global, espacial, temporal)



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.



Datos de Contacto

Formadores:

- Carl Malings
 - carl.a.malings@nasa.gov
- Sebastián Diez
 - sebastian.diez@udd.cl

- [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

- [Página de Github](#) para el ejercicio de estudio de caso presentado en esta parte de la capacitación.



Referencias

- Álamos et al., 2022, “High-resolution inventory of atmospheric emissions from transport, industrial, energy, mining and residential activities in Chile”, *Earth System Science Data*. [doi: 10.5194/essd-14-361-2022](https://doi.org/10.5194/essd-14-361-2022)
- Basoa et al., 2025, “Current Status, Trends, and Future Directions in Chilean Air Quality: A Data-Driven Perspective”, *Atmosphere*. [doi: 10.3390/atmos16060733](https://doi.org/10.3390/atmos16060733)





¡Gracias!

