

Medición del Dióxido de Carbono Atmosférico Desde el Espacio en Apoyo a los Estudios Climáticos: Estudios de Ciclos del Carbono Regionales y Globales

Abhishek Chatterjee, Científico de Proyecto de OCO-3, Científico de Proyecto Adjunto de OCO-2, Laboratorio de Propulsión a Chorro/ Instituto Técnico de California

31 de mayo de 2022



Agenda del Webinar

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

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

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

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

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

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

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

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



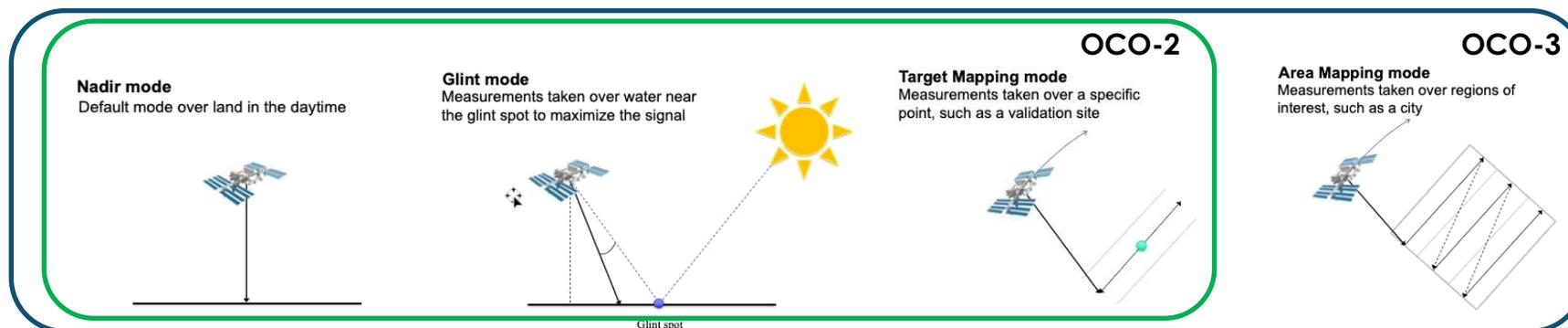
Esquema

- Repaso de las mediciones del XCO₂ de OCO-2 y OCO-3
- Introducción al ciclo del carbono
- Productos de nivel superior (XCO₂ Nivel 3 y Flujos de CO₂ Nivel 4)
- Estudios del ciclo del carbono a nivel global y regional
 - El intercambio de flujos de CO₂ entre la tierra y la superficie del océano y la atmósfera
 - Como se ve afectado el ciclo del carbono por patrones y variabilidad climática
 - Como se ve afectado el ciclo del carbono por los disturbios antropogénicos
- Resumen

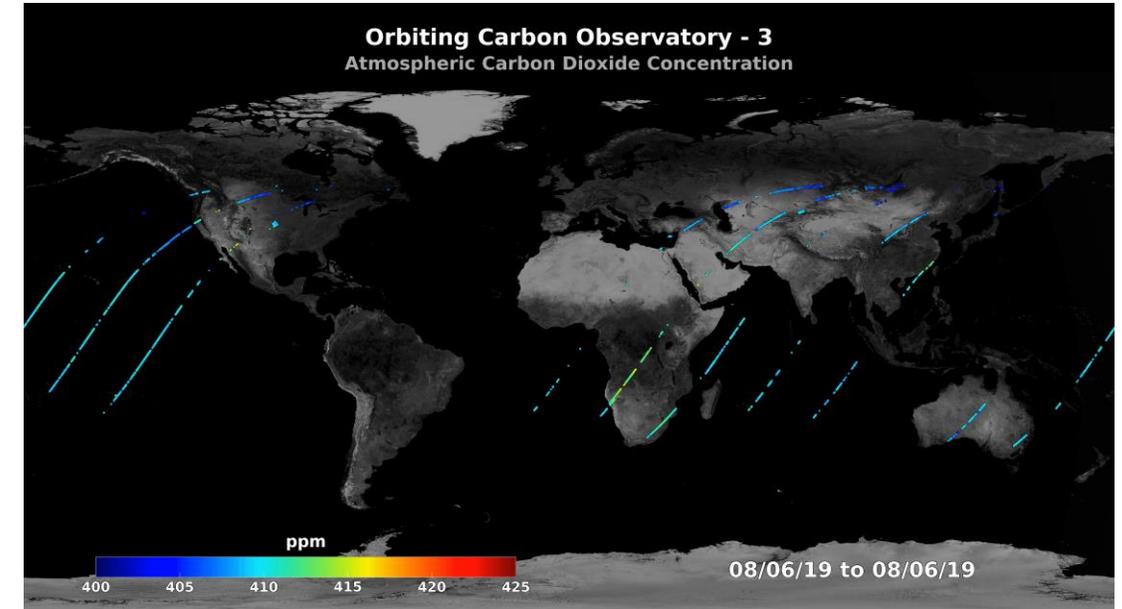
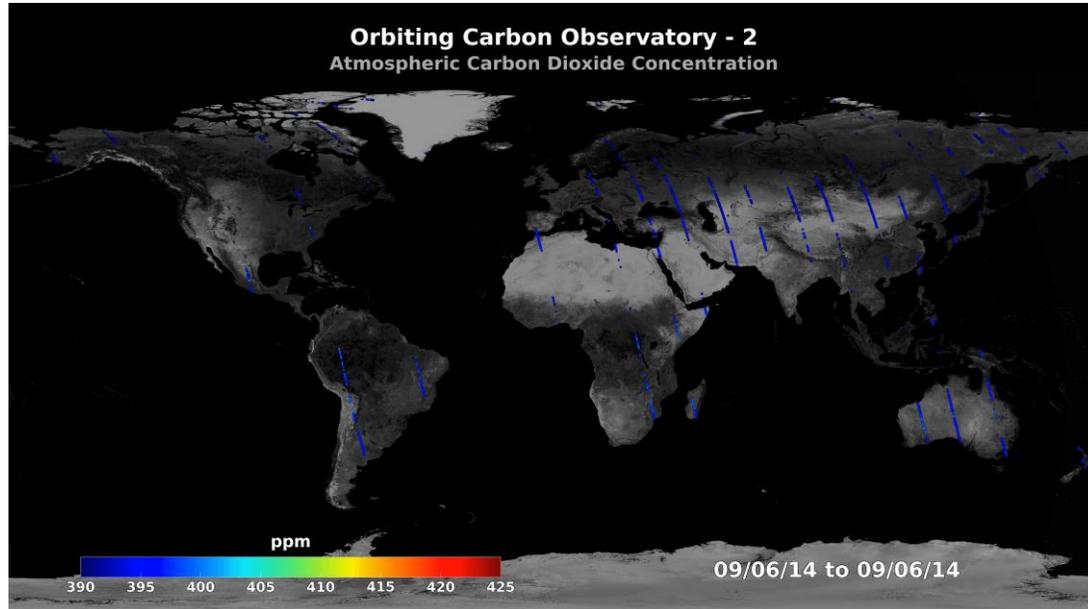


Repaso de las Mediciones del XCO₂ de OCO-2 y OCO-3

- OCO-2 fue lanzado en julio de 2014 (el registro de datos abarca 7 años y medio) y OCO-3 fue lanzado en mayo de 2019 (el registro de datos abarca 2 años y medio)
- Objetivos de la misión:
 - Recuperar estimaciones de la fracción molar de dióxido de carbono de aire seco promediada por columna (XCO₂) a nivel regional (>1.000 km) y con una precisión mejor que el 0.25% (1 parte por millón)
- Recopilación de datos:
 - Tanto OCO-2 como OCO-3 recolectan datos en modos conocidos como Nadir, Glint y Target (ubicaciones específicas en el suelo)
 - OCO-3 tiene un 4^{to} modo: Snapshot Area Mapping (SAM)
 - Lo posibilita la utilización del Pointing Mirror Assembly (PMA)
 - Se dirige a una ubicación específica y después gira para hacer un barrido de una región de ~100 km x ~100 km

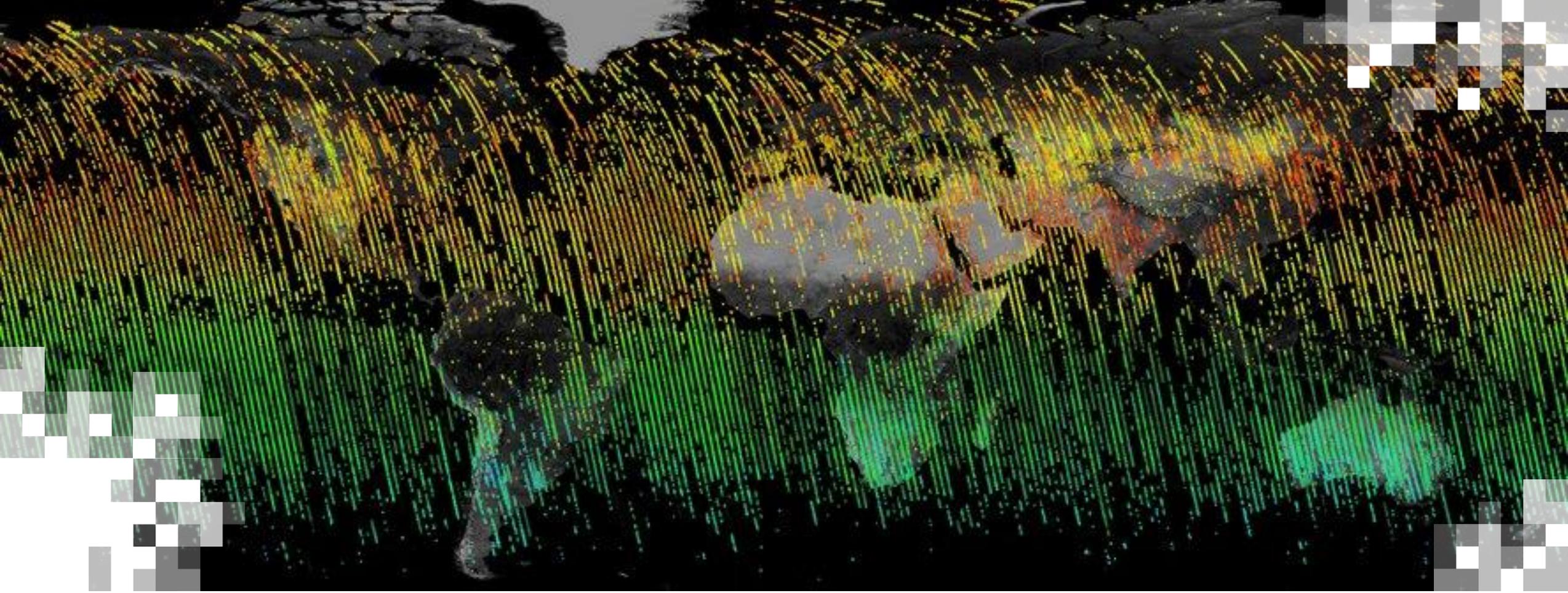


Repaso de las Mediciones del XCO₂ de OCO-2 y OCO-3



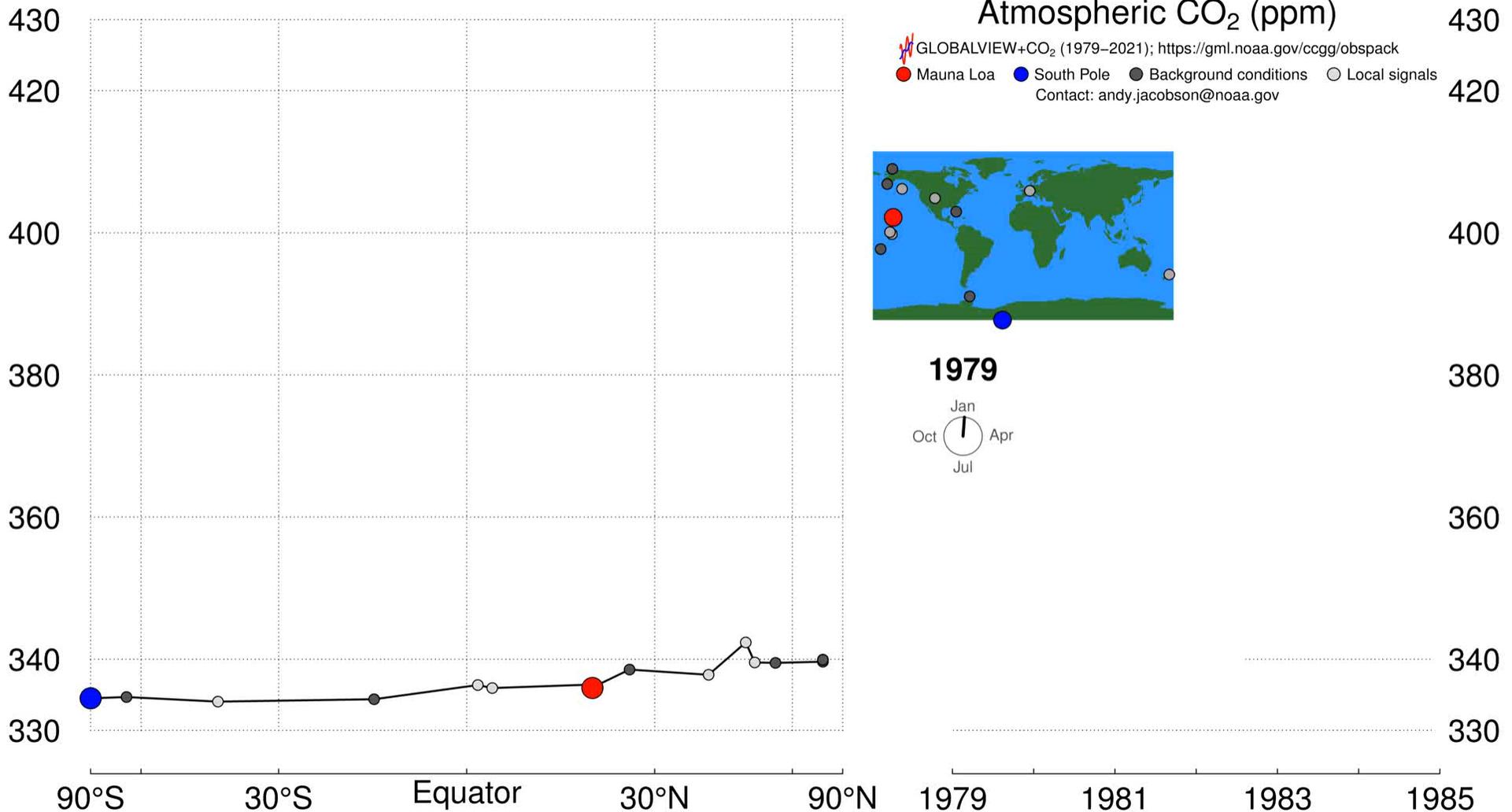
- Los datos están siendo utilizados en los estudios (+ de 400 publicaciones desde 2014) -
 - Interacciones del ciclo del carbono global y regional, respuesta del ciclo del carbono a los patrones climáticos y eventos regionales extremos, incluyendo sequías, inundaciones e incendios forestales.
 - Cuantificación de las emisiones de CO₂ de las actividades humanas, incluso las grandes centrales eléctricas y los centros urbanos.



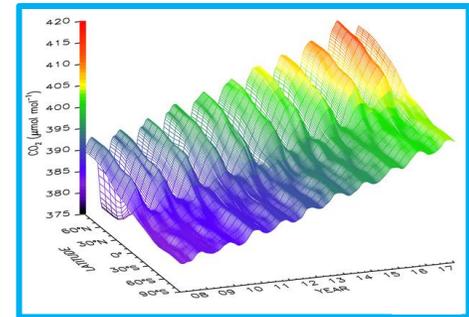
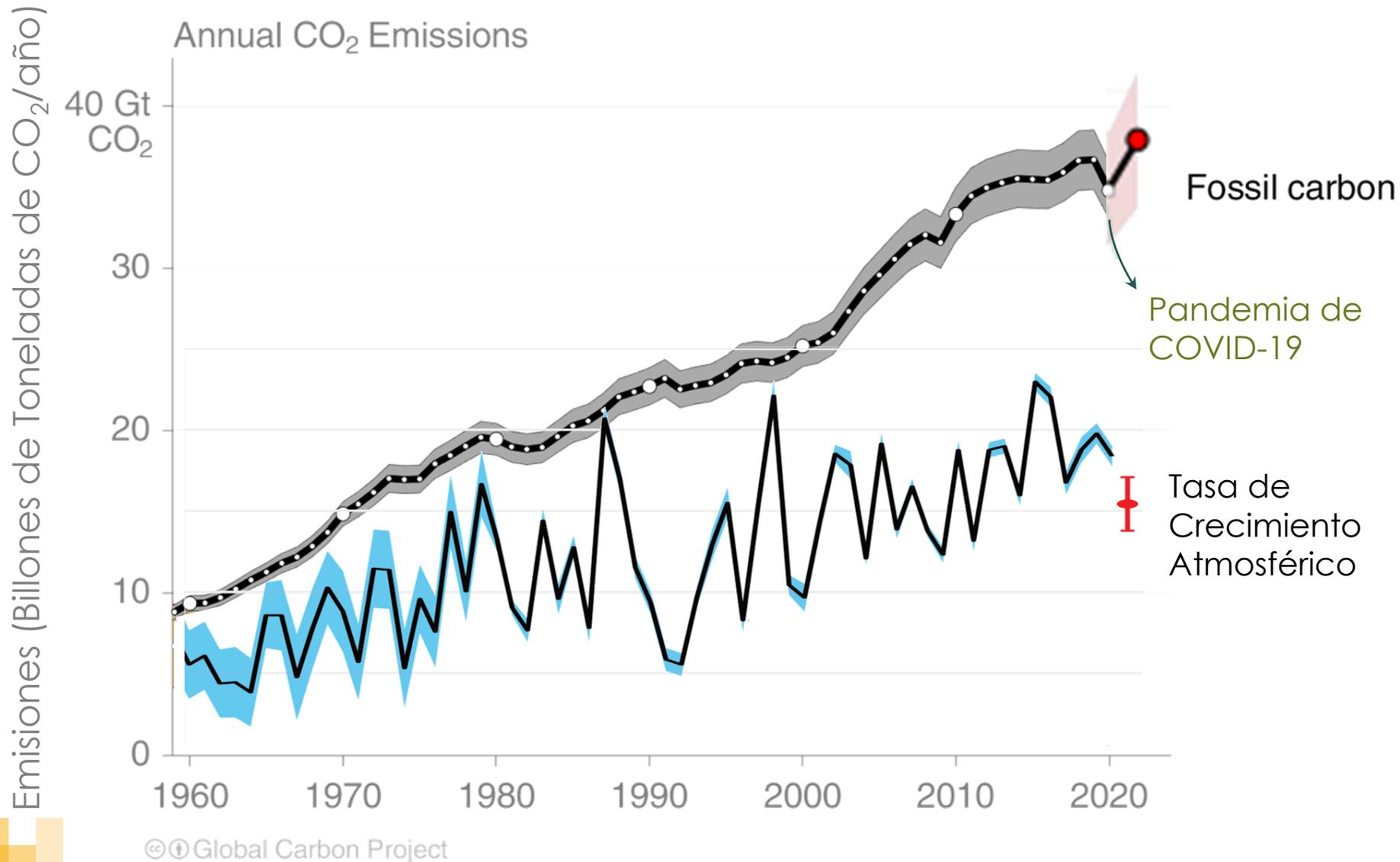


Introducción al Ciclo del Carbono

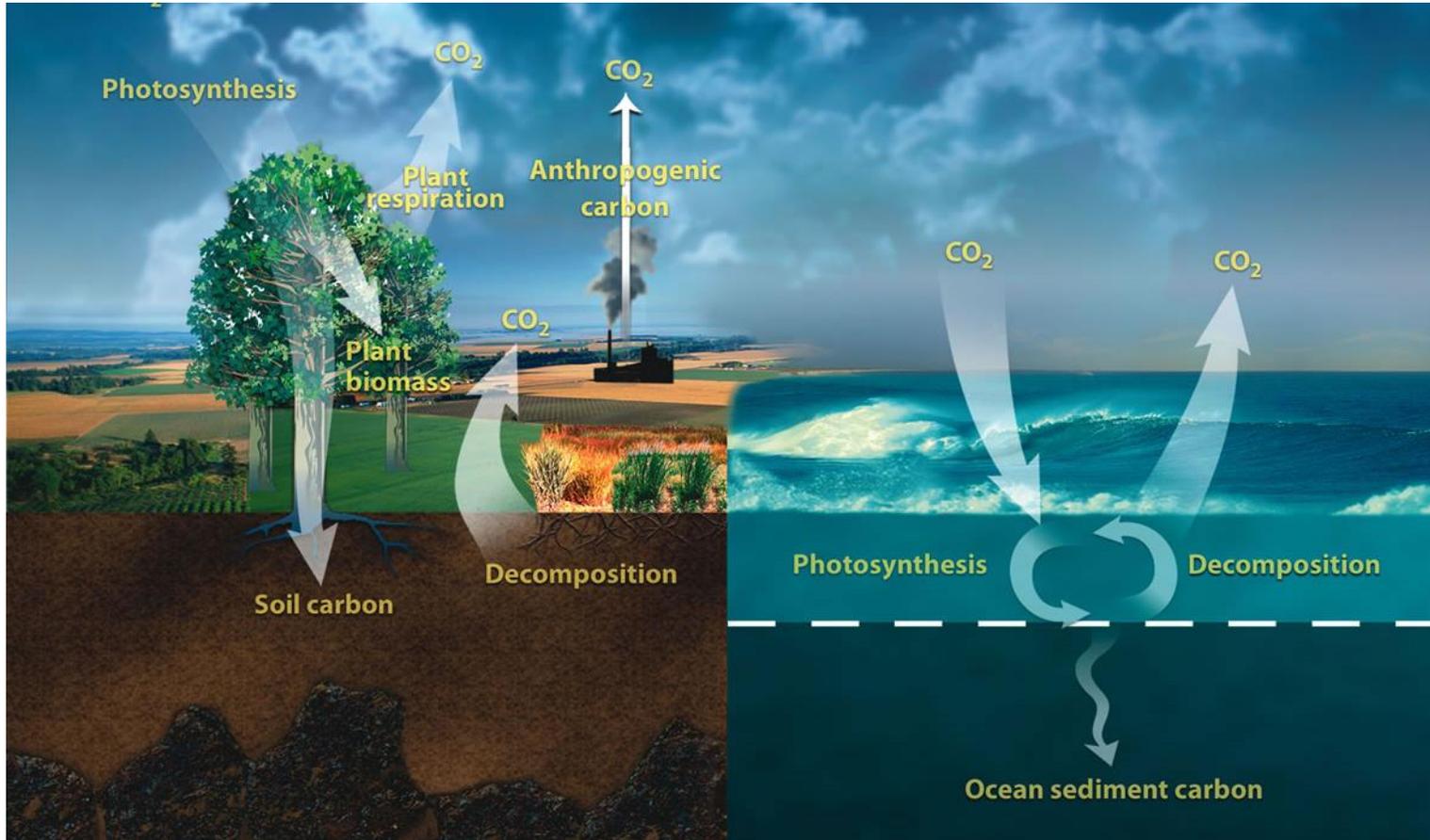
Concentraciones de CO₂ Atmosférico



Las Actividades Humanas Impactan las Concentraciones de CO₂



El Ciclo del Carbono



https://public.ornl.gov/site/gallery/originals/CCycle_cover_image.jpg

Flujos de CO₂ Bruto:

Biosfera Terrestre

- Emisiones ~550 Pg CO₂ año⁻¹
- Remociones ~560 Pg CO₂ año⁻¹

Océano

- Emisiones ~330 Pg CO₂ año⁻¹
- Remociones ~340 Pg CO₂ año⁻¹

Actividades Humanas

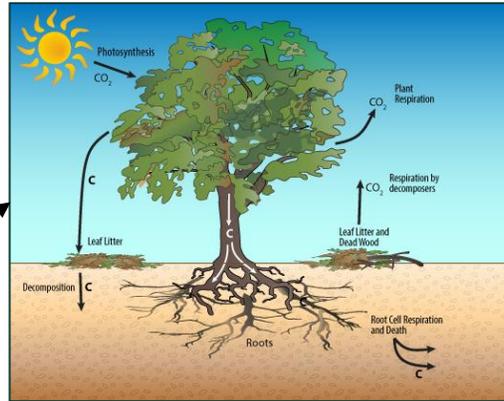
- Emisiones ~39 Pg CO₂ año⁻¹
- Remociones ~0 Pg CO₂ año⁻¹

(1 Pg = 1 petagramo = 1 billón de toneladas métricas = 10¹⁵ gramos)



El Ciclo del Carbono Opera a Varias Escalas Espaciales y Temporales

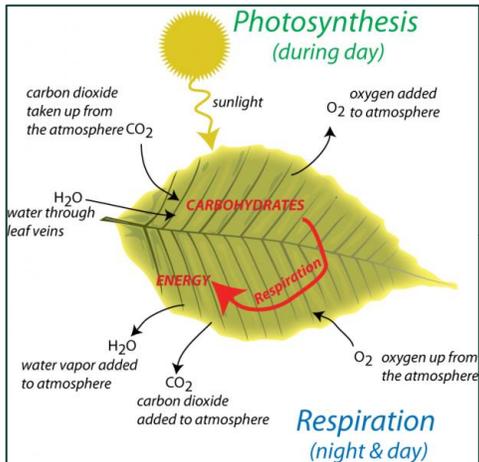
Escala de un árbol



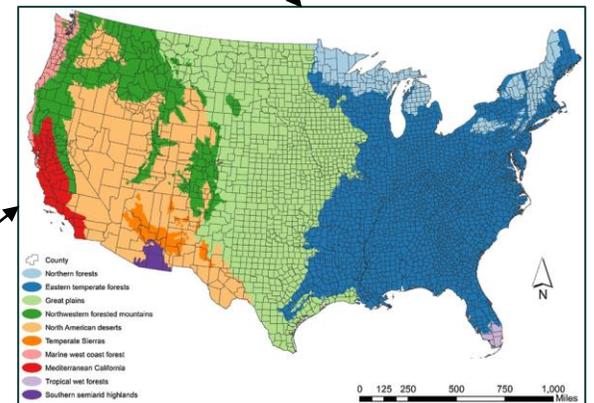
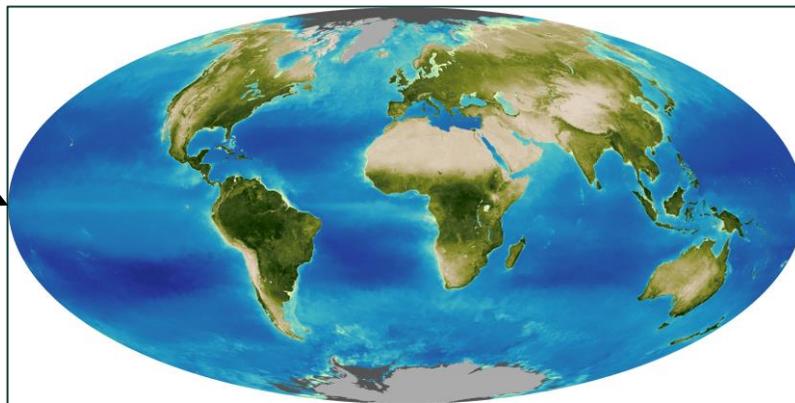
Escala regional



Escala de una hoja



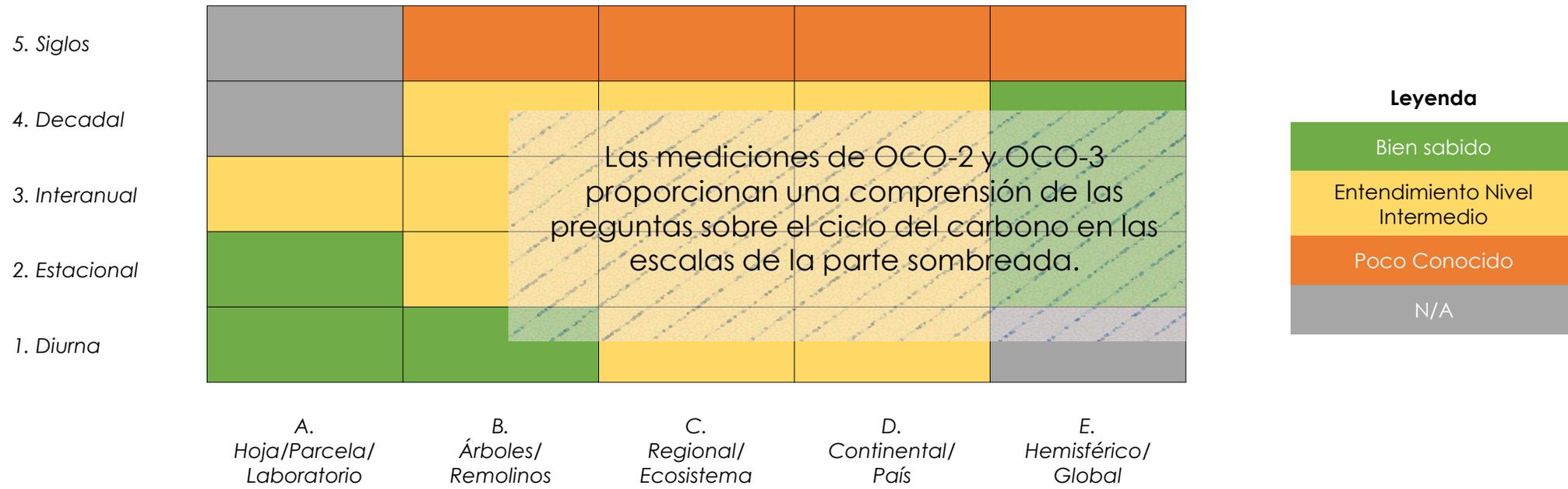
Escala global



Escala nacional/ continental

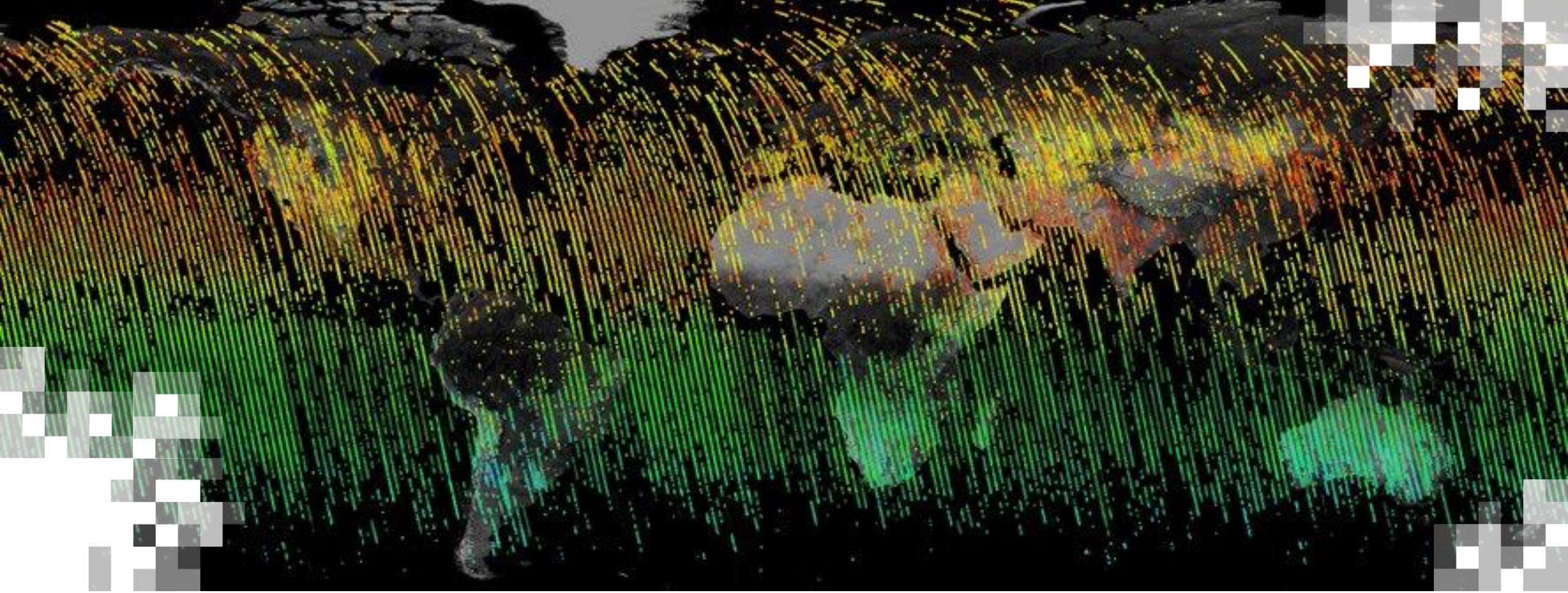


Las Preguntas Más Apremiantes en la Ciencia del Ciclo del Carbono



Preguntas sobre la Ciencia del Ciclo del Carbono	Cuadrículas	Preguntas sobre la Ciencia del Ciclo del Carbono	Cuadrículas
Acoplamiento marino físico – biogeoquímico	A1, B1	Disturbio y recuperación	B3, B4, C3, C4, D3, D4
Procesos costeros y continentales	B2, C2	Sumidero neto de carbono contemporáneo	D2, D3, D4, E2, E3, E4
Fenología	A1, A2, A3	Balances de carbono terrestres y oceánicos	D3, D4, E3, E4
Interacciones fisiología de ecosistemas – meteorología	B1, B2	CO ₂ : fertilización-N, tendencias de acidificación del océano	A4, B4, C4
Respuesta del ciclo del C a eventos de estrés hidrológico	C1, C2, C3	Pérdida y emisiones de carbono del permafrost	C5, D5
Respuesta del ciclo del C a la variabilidad climática	B2, B3, C2, C3, D2, D3	Uso del suelo, tendencias de gestión del suelo	B4, B5, C4, C5
Cuantificación de flujos ecosistema ↔ atmósfera	B2, B3, C2, C3	Migración de biomas	C5, D5





Productos de Nivel Superior
(Mediciones de XCO₂ de Nivel 3 y Flujos de
Carbóno de Nivel 4)

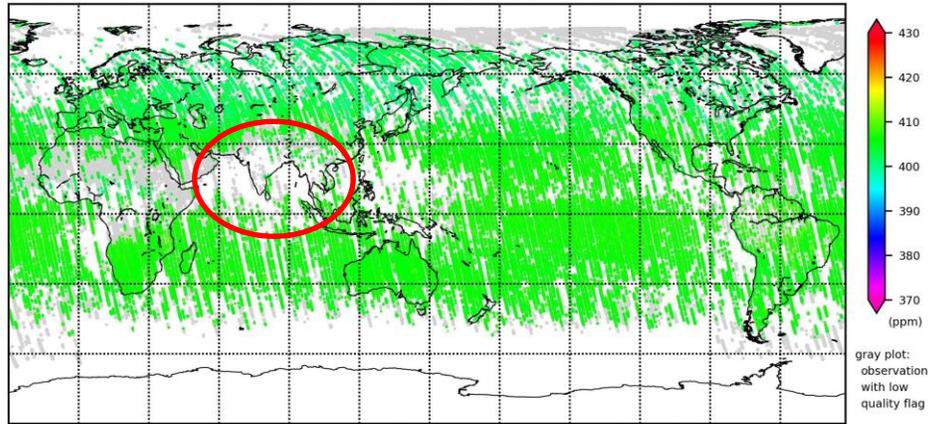
Productos de Nivel Superior a Partir de Datos del XCO₂ de Nivel 2

- **Nivel 2:** los productos tienen “vacíos o lagunas”: faltan sondeos debido a la nubosidad, la capa densa de aerosoles, etc. Estos datos son reportados en unidades de concentración (ppm).
- **Nivel 3:** el producto mapea el XCO₂ con una precisión de una parte por millón (ppm) sobre la superficie de la Tierra, normalmente en cuadrículas que tienen entre 50 y 100 km de latitud y entre 50 y 100 km de longitud. Estos son mapas con los vacíos rellenos.
- **Nivel 4:** el producto mapea la distribución de fuentes y sumideros de CO₂ (flujos en gC m⁻² año⁻¹) sobre la superficie de la Tierra, normalmente en cuadrículas de ~ 100 a 500 km de latitud y ~ 100 a 500 km de longitud. Se puede generar a partir de datos de Nivel 2 o Nivel 3 a través de un marco matemático conocido como "modelación inversa".



Productos de Nivel Superior a Partir de Datos del XCO₂ de Nivel 2

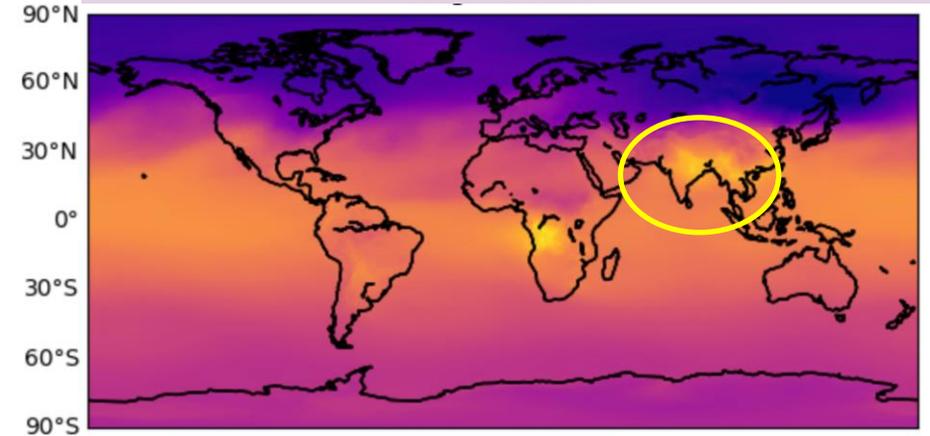
Producto de Nivel 2 (agosto de 2018)



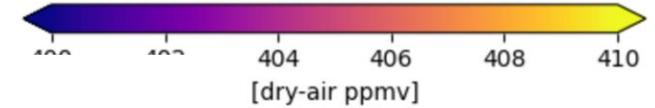
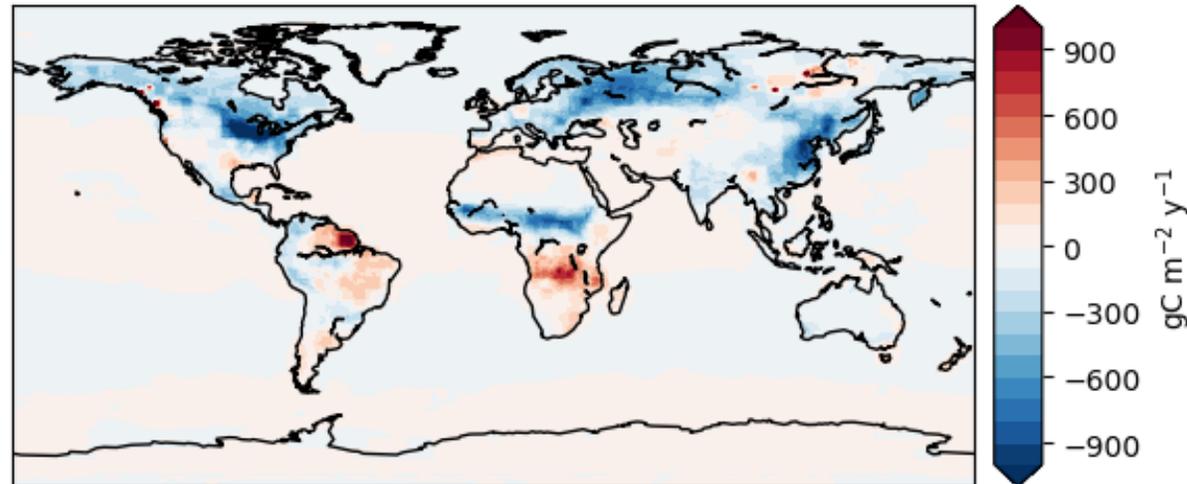
(c) WMO WDCGG Original data provided by the OCO-2 project at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

Marco de Modelación Inversa

Producto de Nivel 3 (ago. 2018) -XCO₂ con vacíos llenados



Producto de Nivel 4 (ago. 2018) - Flujo de CO₂



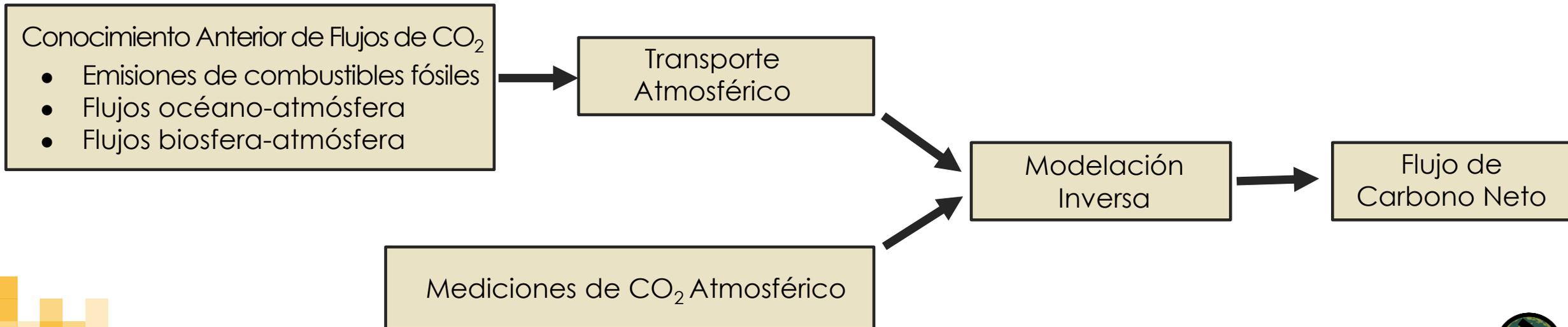
Modelación Inversa

Modelación Inversa:

- La modelación inversa nos permite estimar el flujo de CO₂ que concuerda con las concentraciones de CO₂ atmosférico observadas.

Marco:

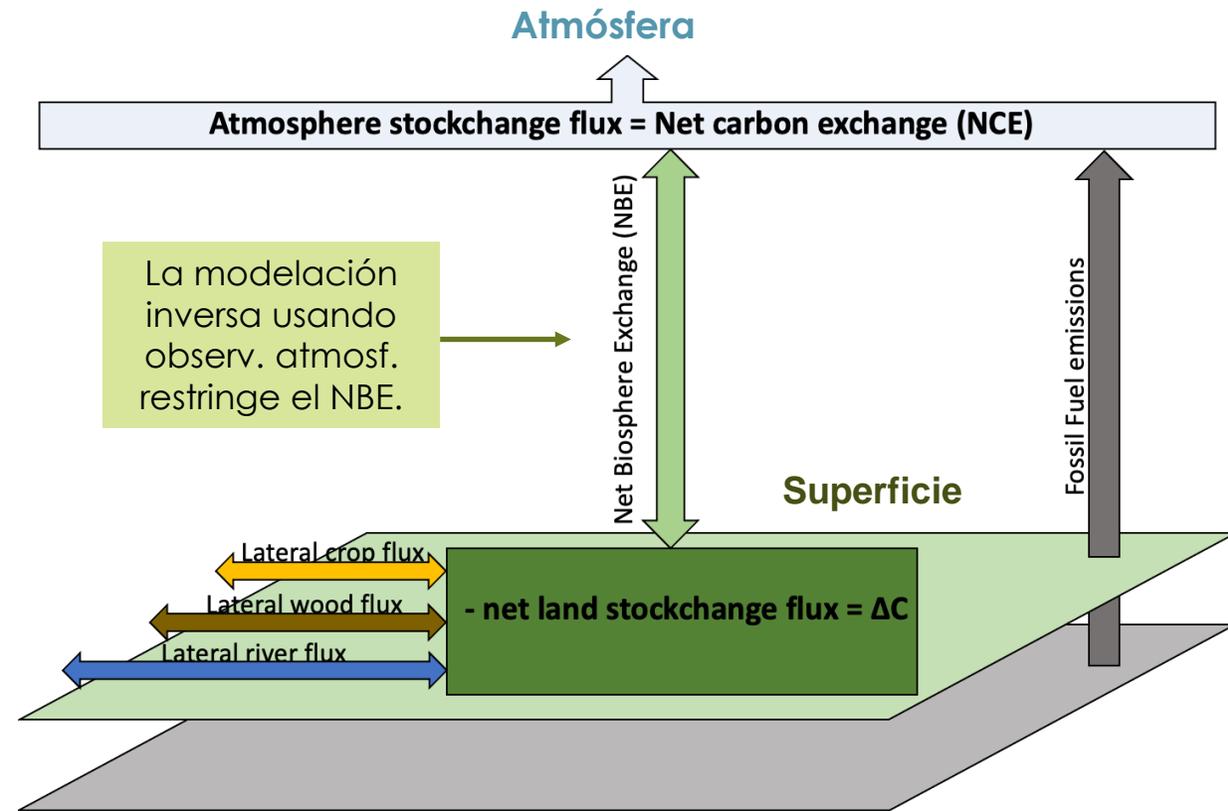
- Simular CO₂ atmosférico usando estimaciones anteriores del flujo superficie-atmósfera y vientos.
- Comparar la “medición” de la atmósfera del modelo con mediciones reales.
- Corregir estimaciones de flujos para hacer que el modelo de la atmósfera concuerde con mediciones reales, con incertidumbres.



Terminología

- **Net Biosphere Exchange (NBE):** Flujo neto de carbono entre la biosfera terrestre y la atmósfera, incluyendo la quema de biomasa. Incluye tanto procesos antropogénicos (p. ej., deforestación, reforestación, agricultura) como procesos naturales (p. ej., flujos de carbono inducidos por la variabilidad climática, disturbios, recuperación después de disturbios).
- **Fossil Fuel and Cement Emissions (FF):** La quema de combustibles fósiles y la liberación de carbono debido a la producción de cemento, que representa un flujo de carbono desde el depósito geológico a la atmósfera.
- **Terrestrial Net Carbon Exchange (NCE):** Flujo neto de carbono entre la superficie y la atmósfera. Por ejemplo, el NCE terrestre se puede definir como: $NCE = NBE + FF$

Diagrama del NCE, NBE y Otros Flujos de Carbono



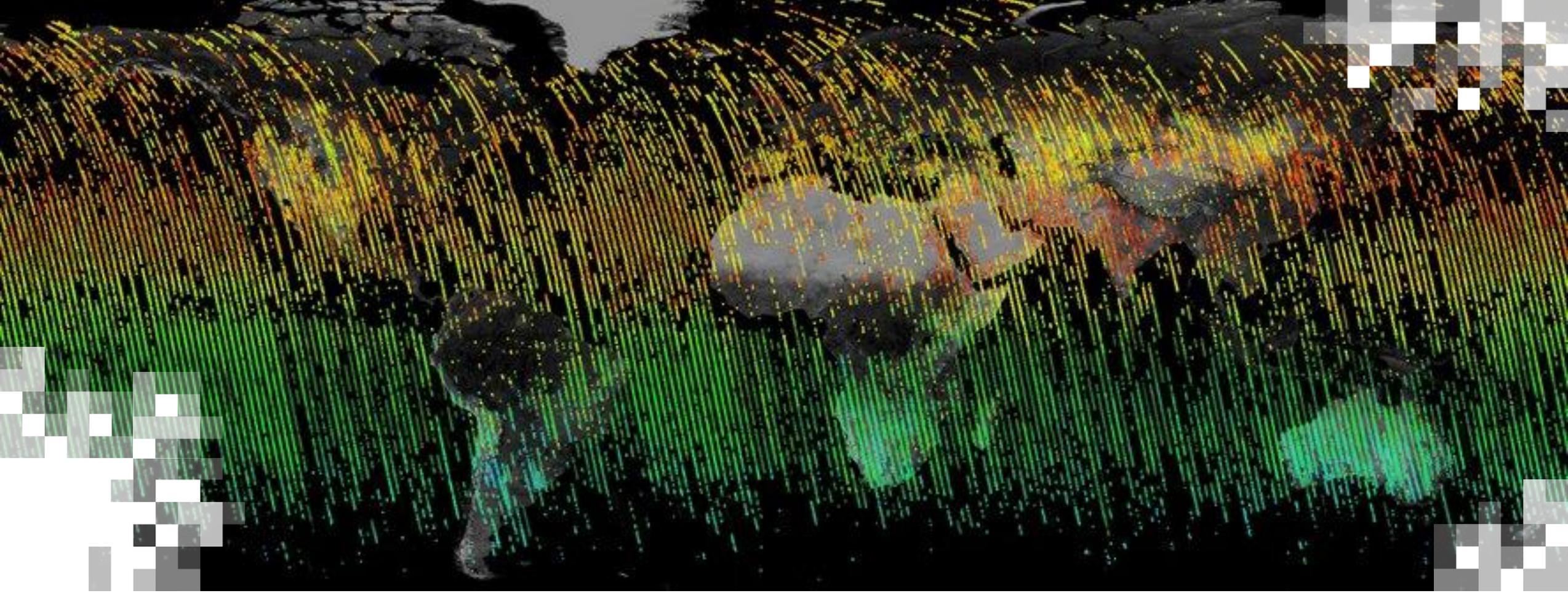
Adaptado de la Capacitación de [NASA ARSET sobre el Inventario Global de Carbono \(Stocktake\)](#)



Estudios Realizados con Datos de Nivel 2, Nivel 3, o Nivel 4

- ¿Cuál es el intercambio neto de flujos de CO₂ entre la tierra y la atmósfera, o el océano y la atmósfera?
 - A escala global a continental
 - A escala regional, por ejemplo, el sur de Asia
 - A escala de país, por ejemplo, EE. UU., Brasil, India etc.
- ¿Cómo respondió el ciclo del carbono a...
 - El Niño 2015 -2016
 - Los incendios forestales de 2019-2020 en el sureste de Australia
- ¿Cuál fue el impacto sobre las concentraciones atmosféricas de CO₂ debido a la pandemia de COVID-19?





Intercambio de Flujos de CO₂ Mundial y Regional Entre la Tierra/Océano y la Atmósfera

Intercambio Neto de Flujos de CO₂ Entre la Tierra-/Océano-Atmósfera

2015 NBE

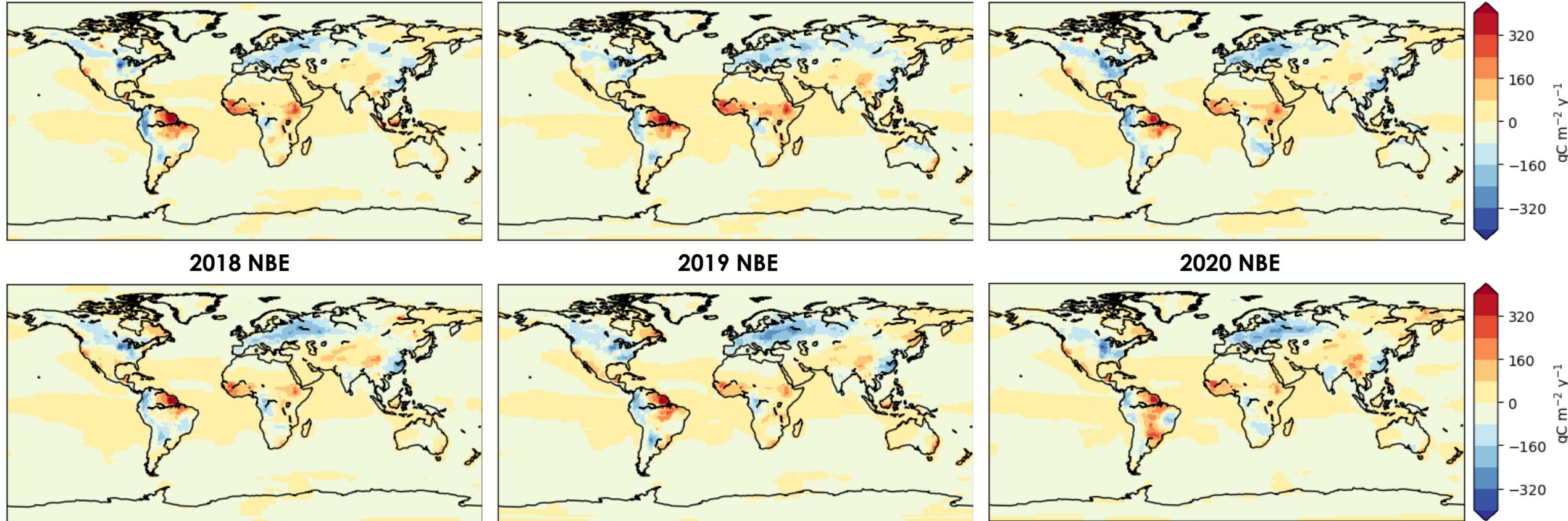
2016 NBE

2017 NBE

2018 NBE

2019 NBE

2020 NBE

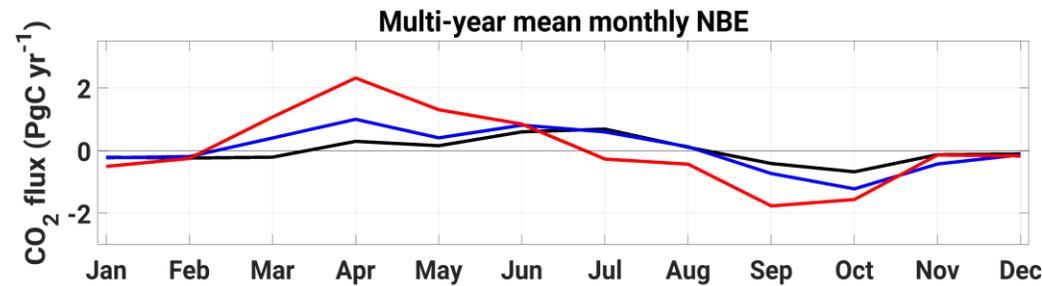
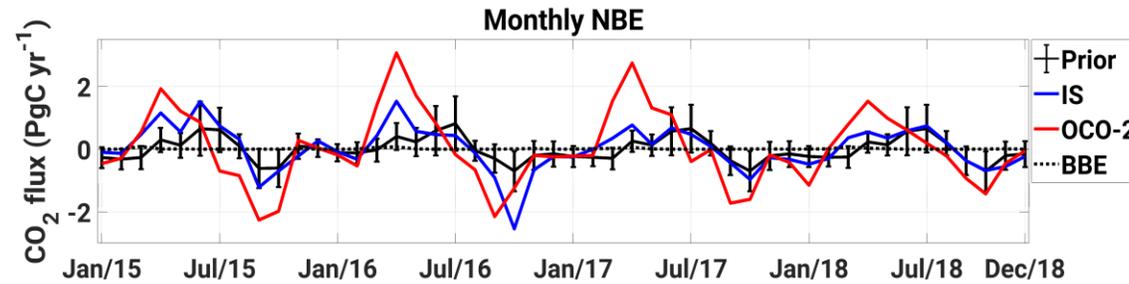
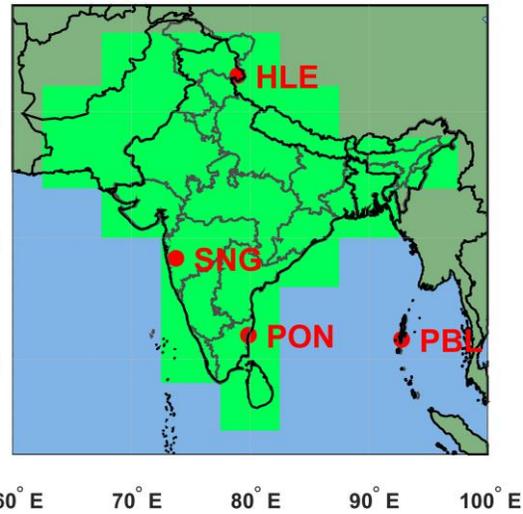


- **Azul** = absorción de carbono por la tierra y el océano, **Rojo** = Liberación de carbono por la tierra y el océano
- Note la interacción interesante sucediendo sobre la superficie terrestre del tropico– ¡volveremos a este tema pronto!
- El OCO Science Team genera estas estimaciones de manera rutinaria– ver Crowell et al. (2019), Peiro et al. (2022)

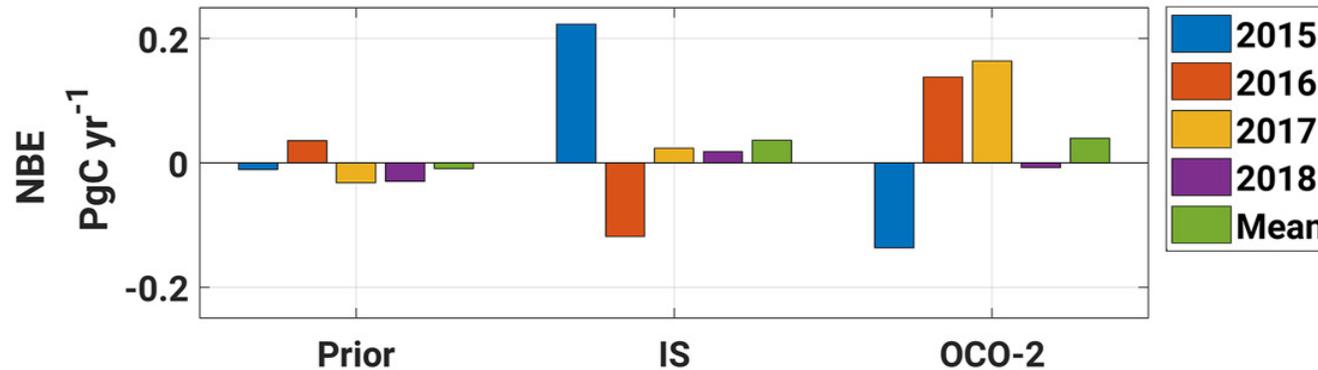


¿Cómo son los Intercambios de Flujos de CO₂ a Nivel Regional?

South Asia



South Asia



- OCO-2 proporciona información vital sobre regiones carentes de datos, como el sur de Asia, donde no tenemos muchas mediciones del CO₂ atmosférico desde estaciones terrestres.
- Los flujos de CO₂ estimados a partir de OCO-2 muestran un sumidero anual más bajo pero una mayor amplitud estacional y un cambio de fase en la estacionalidad en comparación con las estimaciones de la red in situ.
- Ver Felipe et al. (2022)



Intercambios de Flujos de CO₂ a Nivel de País

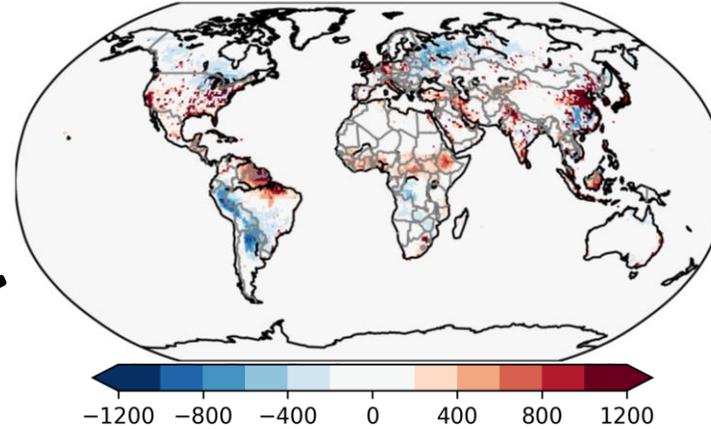
- Uno puede estimar que **Net Carbon Exchange (NCE) = Fossil Fuel + Net Biosphere Exchange**
- Estimaciones presentadas en una cuadrícula de 1° x 1°
- Se agregan a los totales de cada país
- Vea la capacitación de ARSET sobre el inventario [Global Stocktake](#) para el significado de estas estimaciones y mapas

**Flujos de NCE
Agregados a los
Totales de los
Países**

Intercambio de Carbono Neto (NCE) para 2015–2020

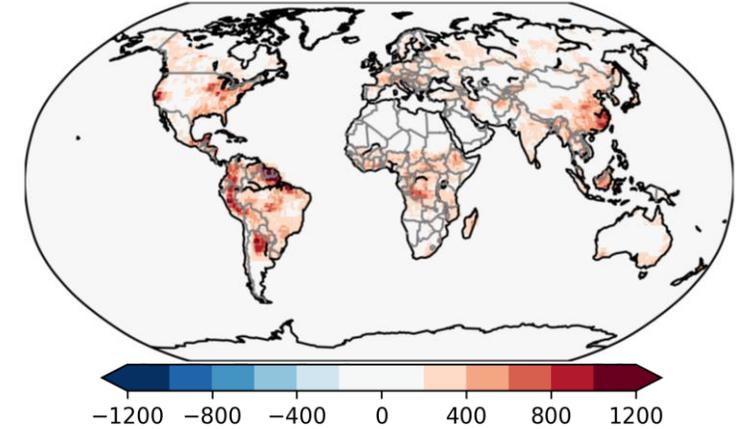
Media

LNLGIS NCE (gCO₂ m⁻² year⁻¹)

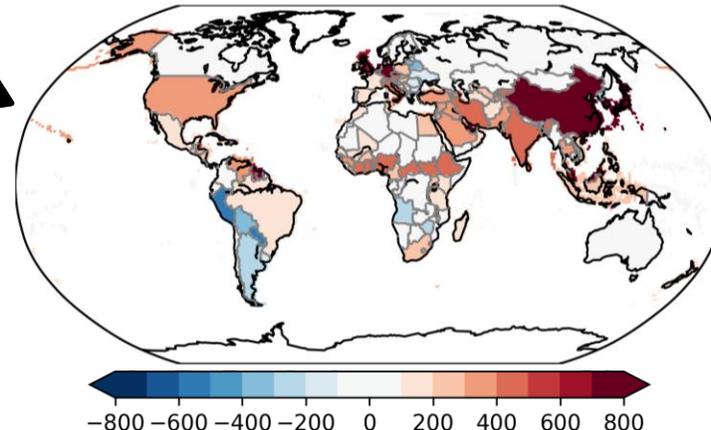


Incertidumbre

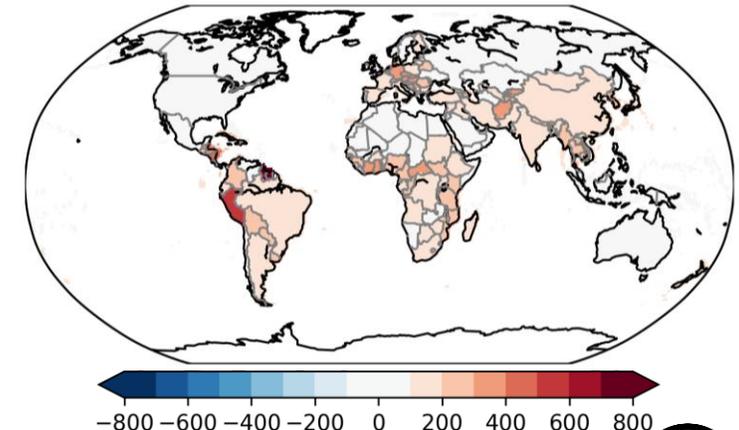
LNLGIS NCE unc (gCO₂ m⁻² year⁻¹)



LNLGIS NCE (gCO₂ m⁻² year⁻¹)



LNLGIS NCE unc (gCO₂ m⁻² year⁻¹)



Contribución al UNFCCC Global Stocktake (inventario)

Balances Mundiales de CO₂ de Arriba hacia Abajo (Top-Down)

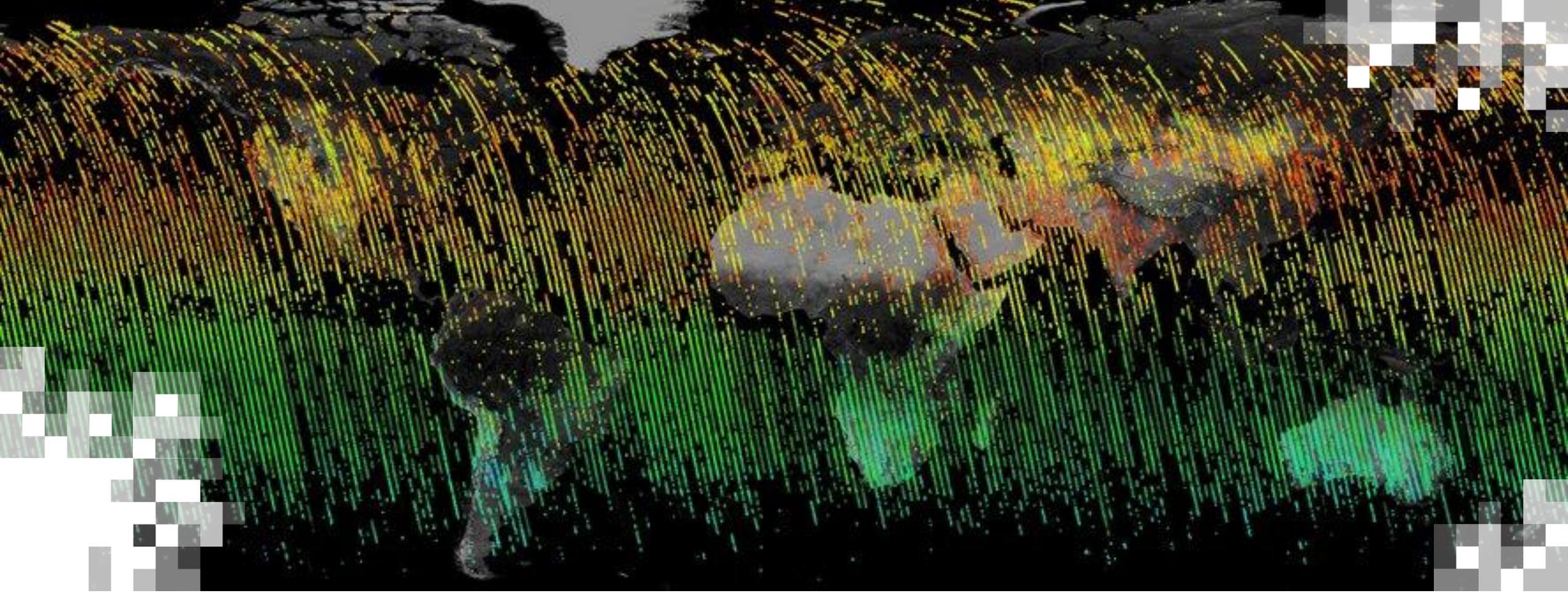
- Piloto de balances mundiales de CO₂ derivados de productos de flujos desarrollados por el proyecto **OCO-2 Model Intercomparison Project** (OCO-2 MIP)
 - Combinan mediciones in situ de CO₂ y estimaciones de fracción molar de CO₂ promediada en la columna (XCO₂) utilizando datos de OCO-2 para pronosticar flujos y cambios en los inventarios

Estos balances de arriba hacia abajo (top-down) de CO₂ atmosférico complementan los inventarios de abajo hacia arriba (bottom-up) para apoyar un inventario mundial (conocido como "global stocktake" en inglés o GST por sus siglas) más completo, exacto y transparente como lo define el:

- [Artículo 14 del Acuerdo de París](#)

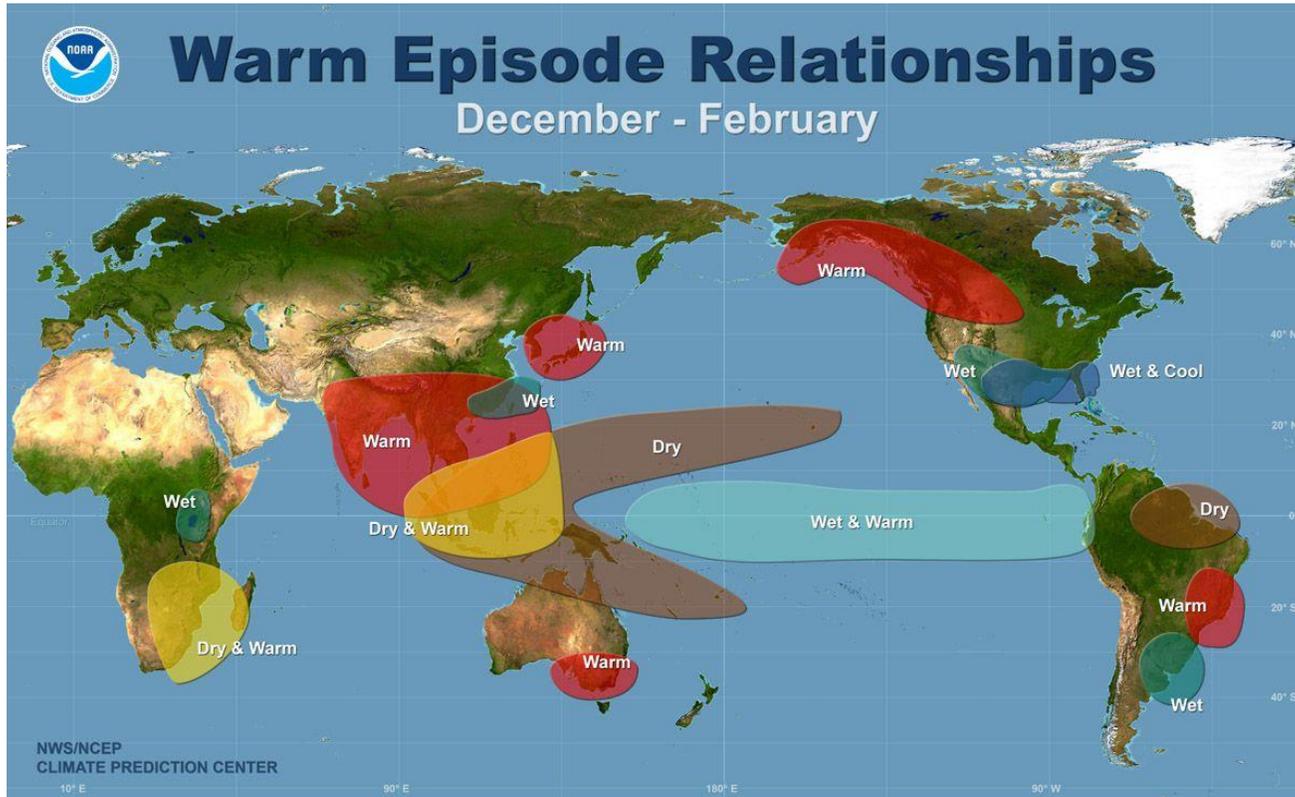
Vea la capacitación de ARSET [Atmospheric CO₂ and CH₄ Budgets to Support the Global Stocktake](#) (en inglés)





Respuesta del Ciclo del Carbono a los
Patrones y la Variabilidad del Clima

¿Qué es un El Niño ?



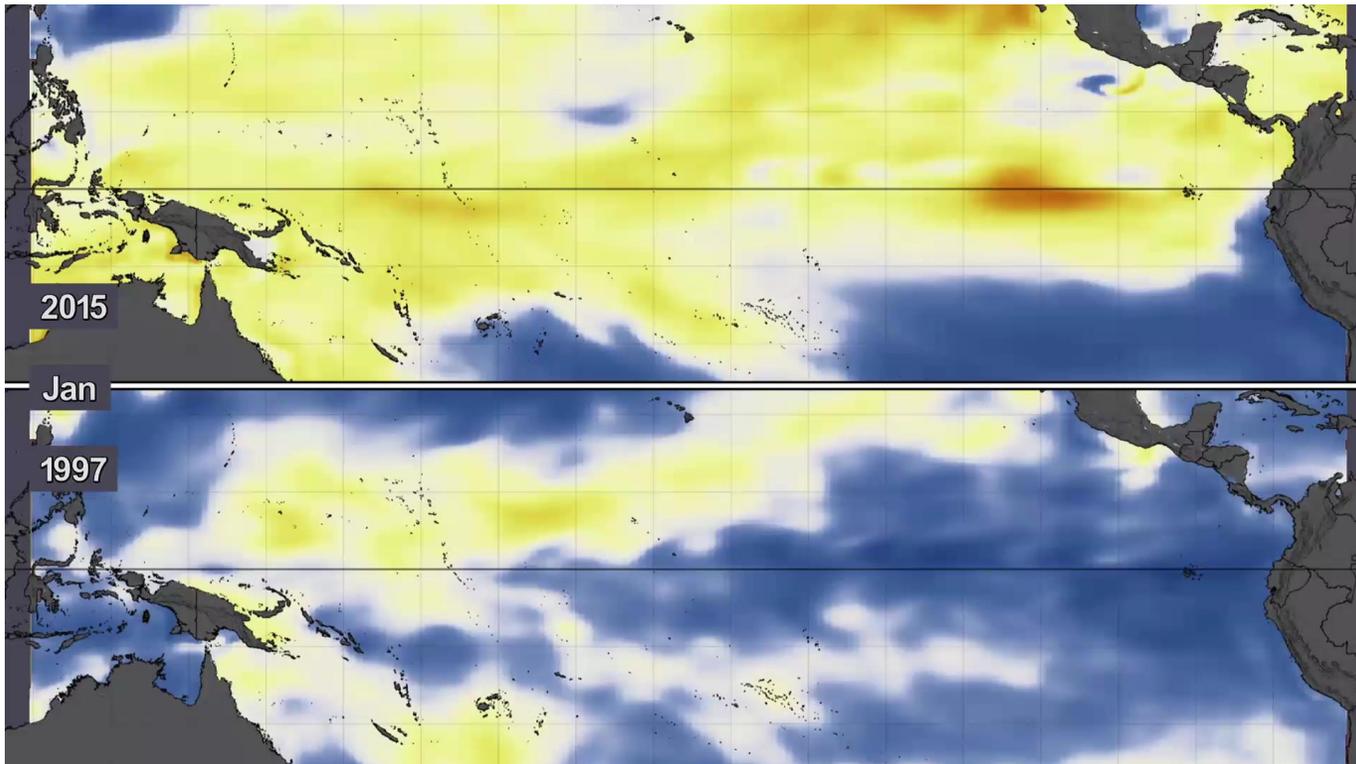
- un patrón climático que describe el calentamiento inusual de las aguas superficiales en el Océano Pacífico tropical oriental
- la "fase cálida" de un fenómeno más grande llamado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)
- ocurre irregularmente a intervalos de 2 a 7 años
- afecta las temperaturas oceánicas, la velocidad y la fuerza de las corrientes oceánicas, la salud de las pesquerías costeras y el clima desde los trópicos hasta los extratropicos

Para los *participantes*: hay muy buenos recursos en internet, p.ej., climate.gov/enso, <https://www.pmel.noaa.gov/elnino/what-is-el-nino>



Respuesta del Ciclo del Carbono al Fenómeno de El Niño 2015-2016

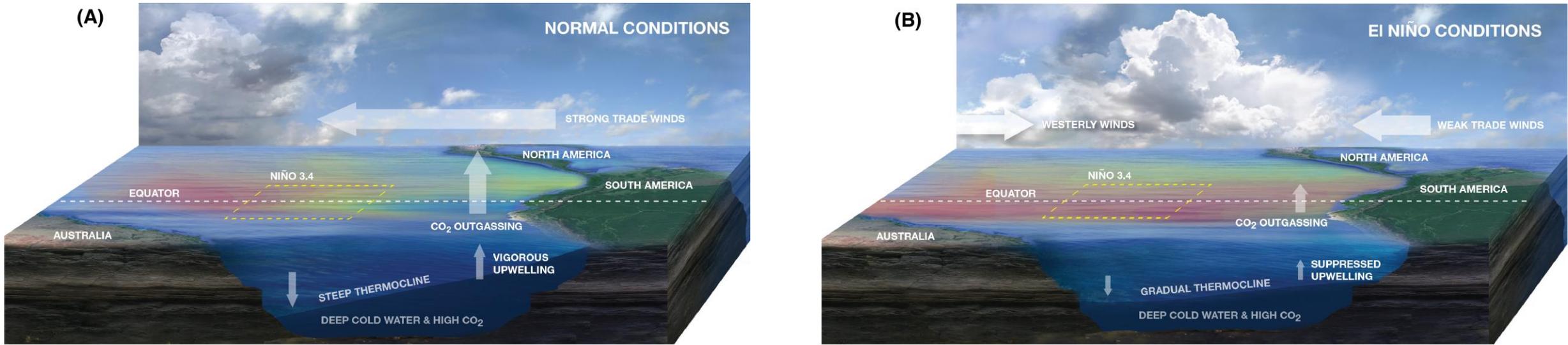
Anomalías de la Temperatura de la Superficie del Mar



- El Niño es un patrón climático que describe el calentamiento inusual de las aguas superficiales en el Océano Pacífico tropical oriental. El Niño es la "fase cálida" de un fenómeno mayor llamado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).
- Las correlaciones entre la tasa de crecimiento del CO₂ atmosférico y la actividad de El Niño y La Niña han sido estudiadas desde la década de los 70 – vea [Chatterjee et al. \(2017\)](#).
- El ENOS es un gran impulsor de la variabilidad interanual en el ciclo del carbono. Se estudia la respuesta del CO₂ al ENOS → cómo operan las retroalimentaciones entre el sistema climático físico y el ciclo global del carbono.
- Comprender los mecanismos causales, especialmente separar la influencia de los componentes marinos y terrestres, ha sido un desafío debido a las limitadas observaciones sobre el Pacífico tropical y las regiones circundantes.



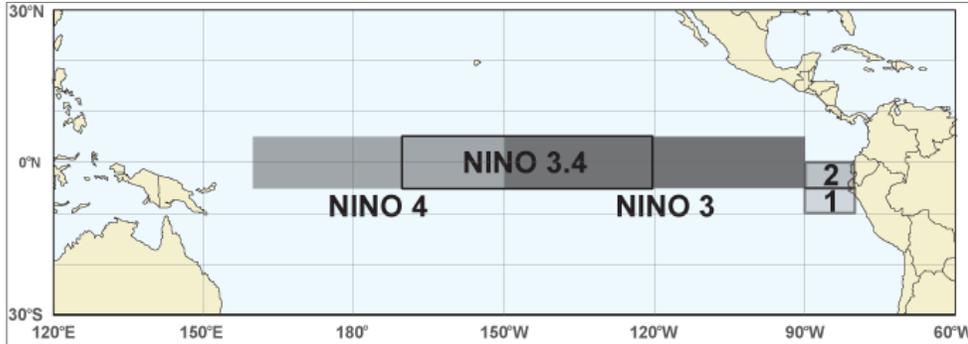
Sistema del Carbono en el Pacífico Tropical



- **Condiciones Normales:** Afloramiento de aguas frías, subsuperficiales que tienen un alto $p\text{CO}_2$ potencial + bombeo biológico ineficiente → grandes liberaciones de CO_2 .
- **Condiciones con El Niño:** Profundización de la termoclina, reducción del afloramiento, debilitamiento de los vientos alisios + bombeo biológico más eficiente → reduce la liberación de CO_2 en un 40 al 60%.



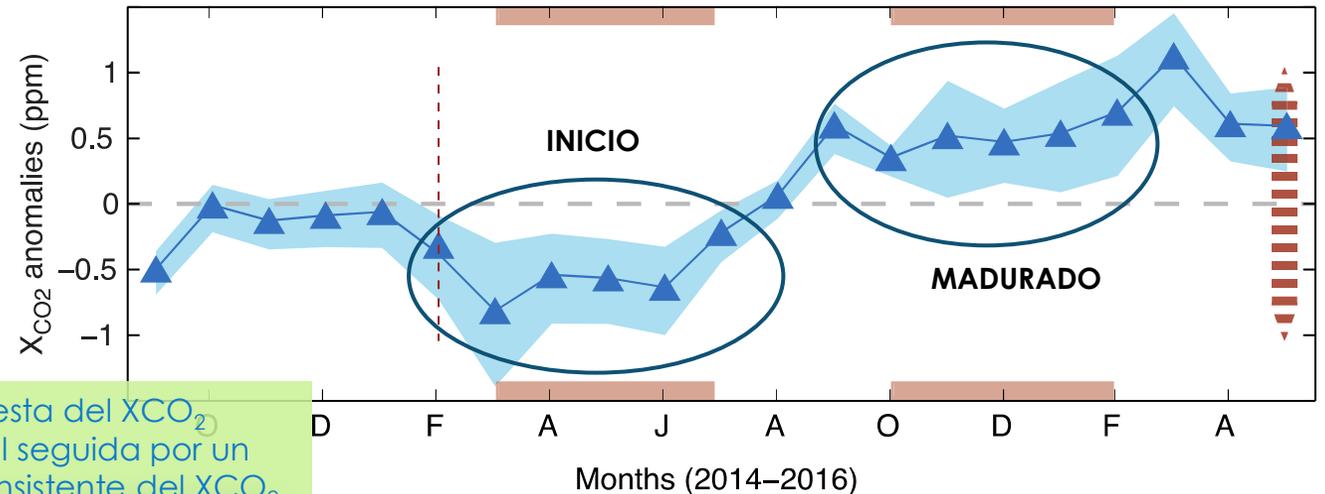
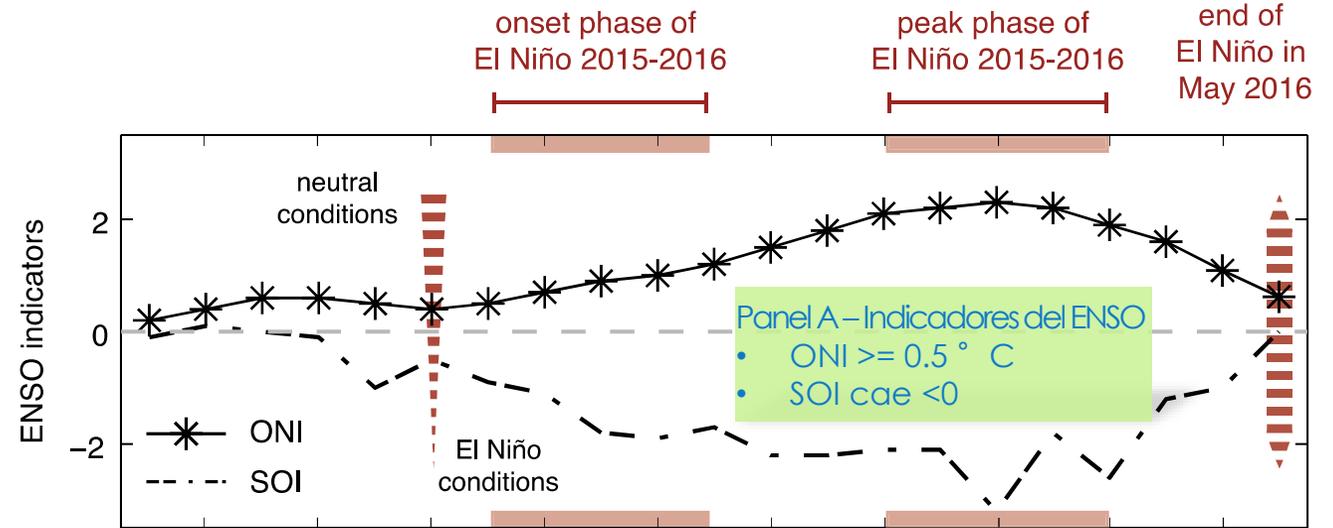
Tendencias Observables Durante el Fenómeno de El Niño 2015–2016



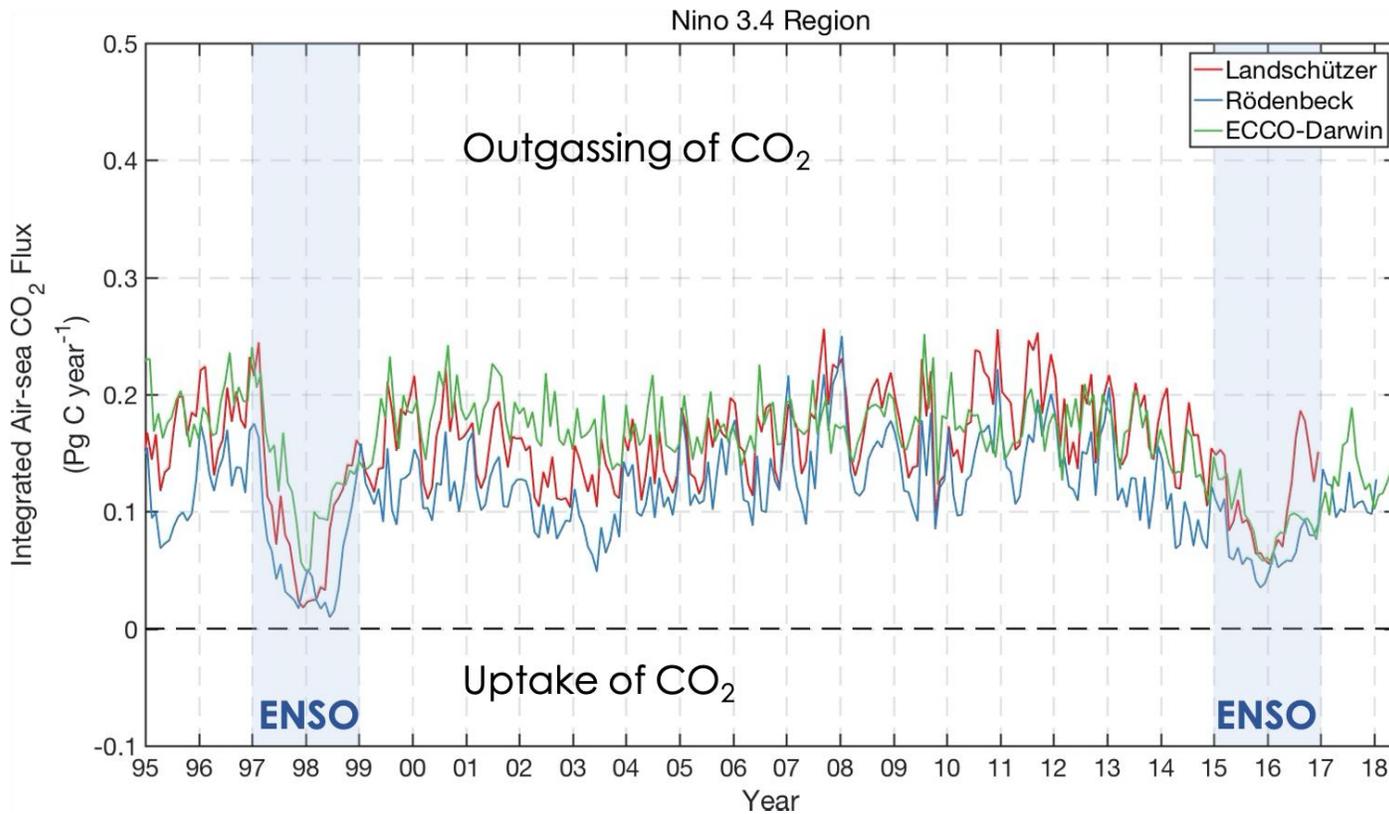
Serie temporal mostrando la evolución temporal de las anomalías del X_{CO_2} sobre la región Niño 3.4

sep. 2014 – mayo 2016

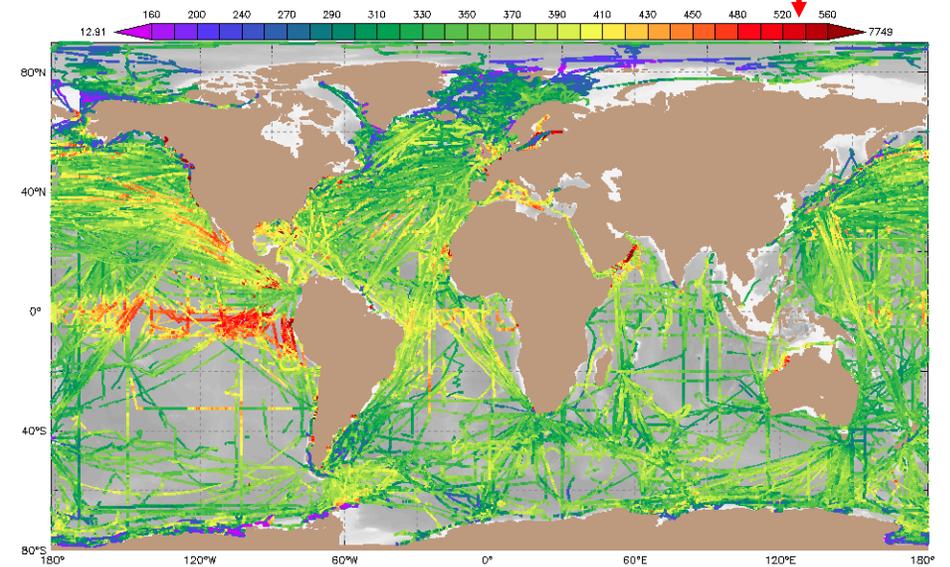
Chatterjee et al. [2017]



Reducción en la Liberación de CO₂ del Pacífico Tropical



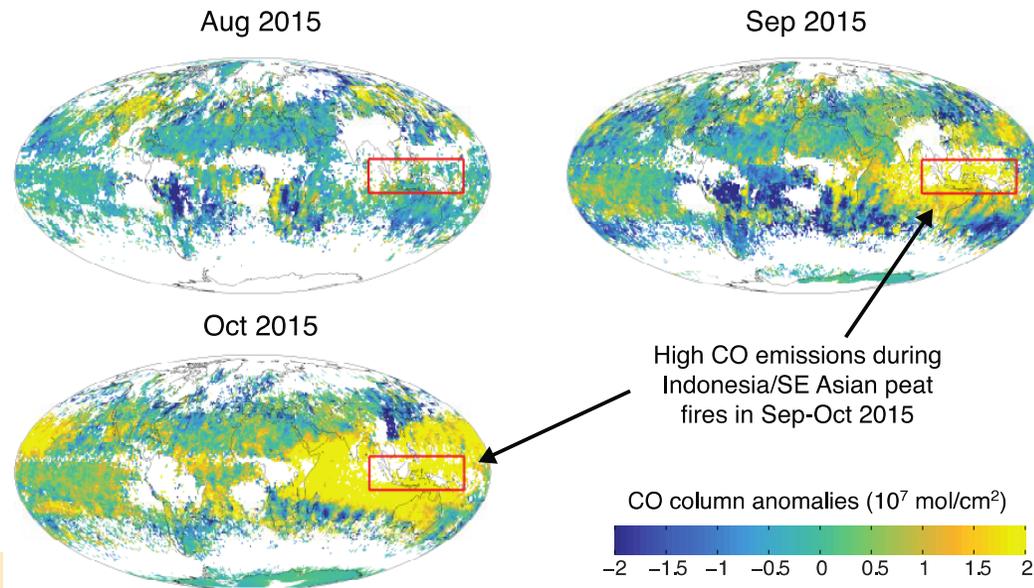
Estimación de Flujos Basado en OCO-2 (PgC)	Media del Ensamble del Modelo (PgC año ⁻¹)	Estimación Basada en Datos Observados desde Barcos (PMEL)
0.20 ± 0.07	0.12 ± 0.06	0.22 - 0.26



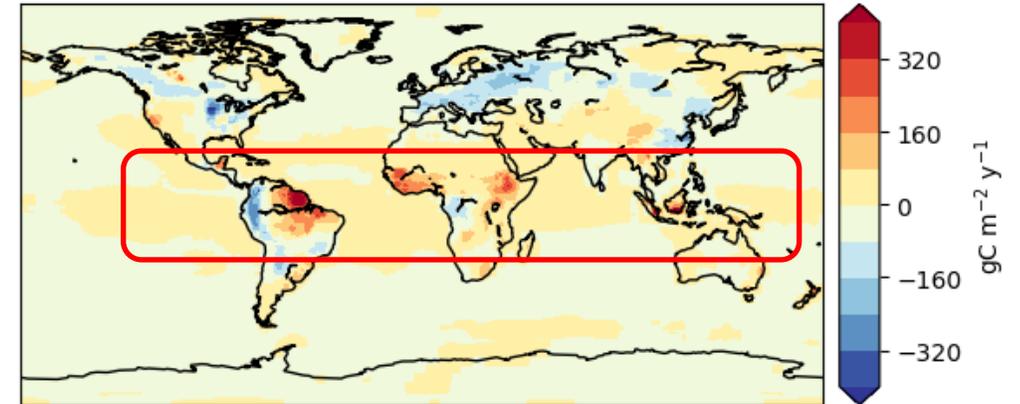
¿Qué Causó el Incremento de CO₂ Atmosférico?

Cambios en los Flujos en las Superficies Terrestres Tropicales

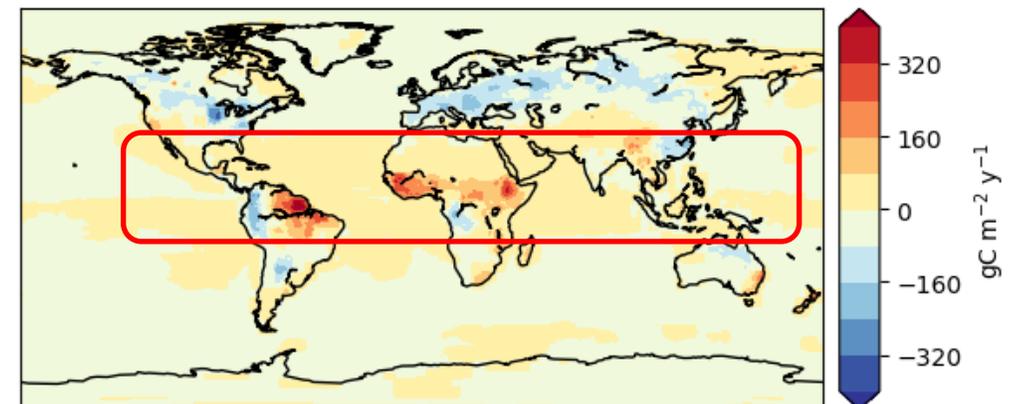
- Aumento de las emisiones por quema de biomasa
- Clima más cálido y seco en las superficies terrestres tropicales: reducción general de la absorción biosférica



2015- Flujo Anual Neto (OCO-2)

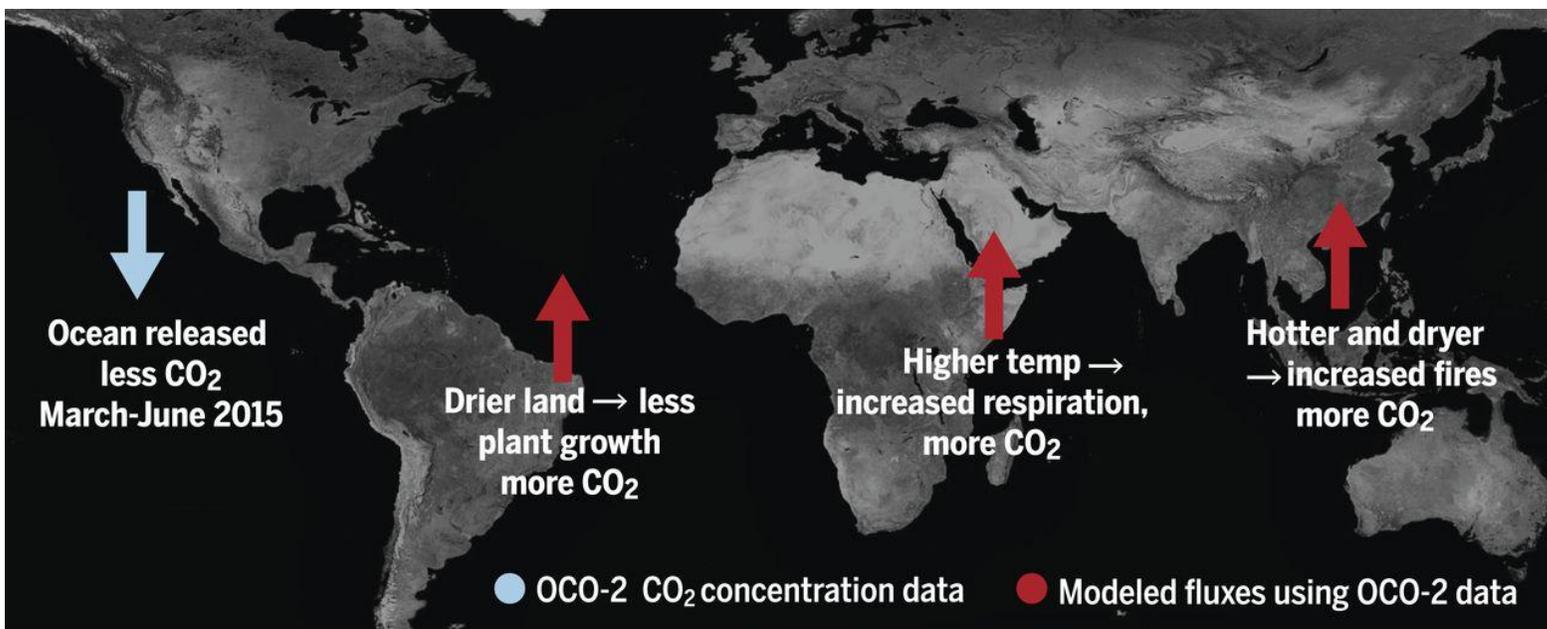


2016- Flujo Anual Neto (OCO-2)



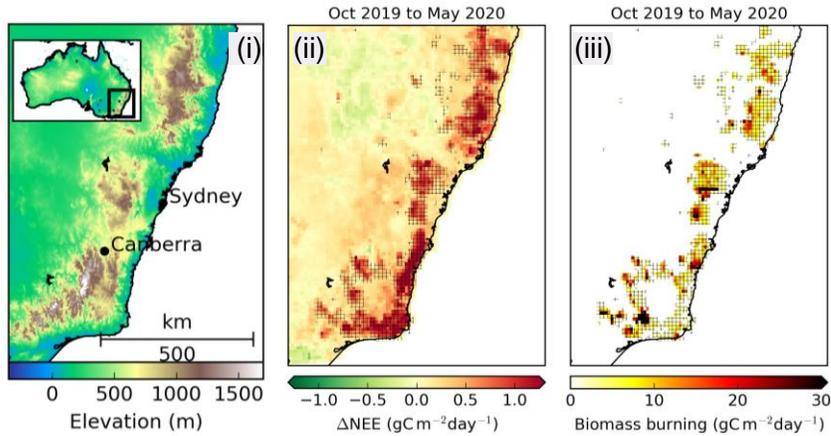
Lectura Adicional Sobre Hallazgos Únicos de OCO-2

- En 2017, tuvimos una edición especial en la revista Science (Vol. 358, Número 6360). OCO-2 proporcionó los primeros y únicos conocimientos sobre los efectos de El Niño en los flujos de CO₂, la detección de emisiones de CO₂ de fuentes puntuales y la medición de la fotosíntesis terrestre.

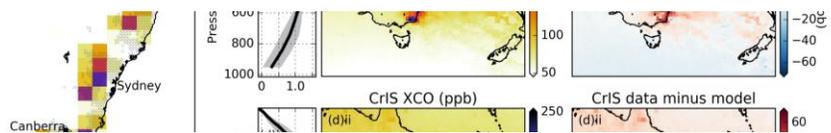


Respuesta del Ciclo del Carbono a los Incendios Forestales de 2019-2020 en el Sureste de Australia

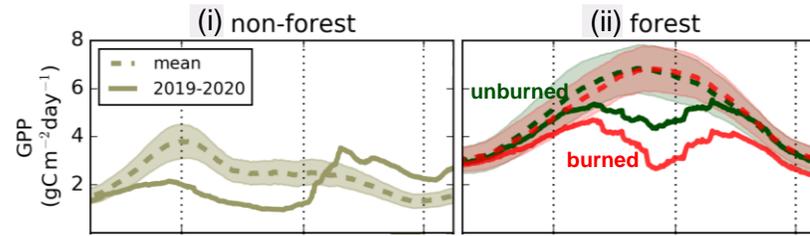
(a) Geography and maps of CO₂ flux anomalies



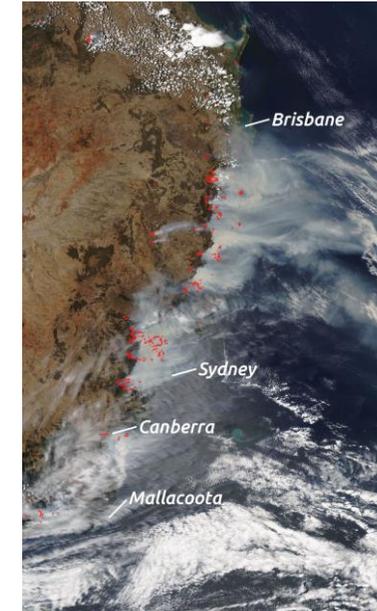
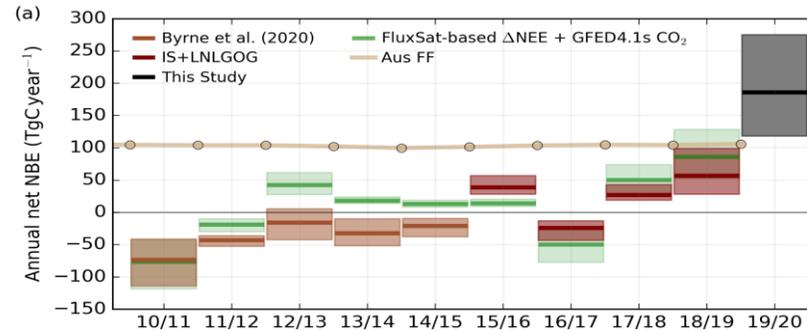
(b) Timeseries of prior (red) and posterior (blue) CO emissions



(c) Timeseries of GPP for 2019/20 and mean year

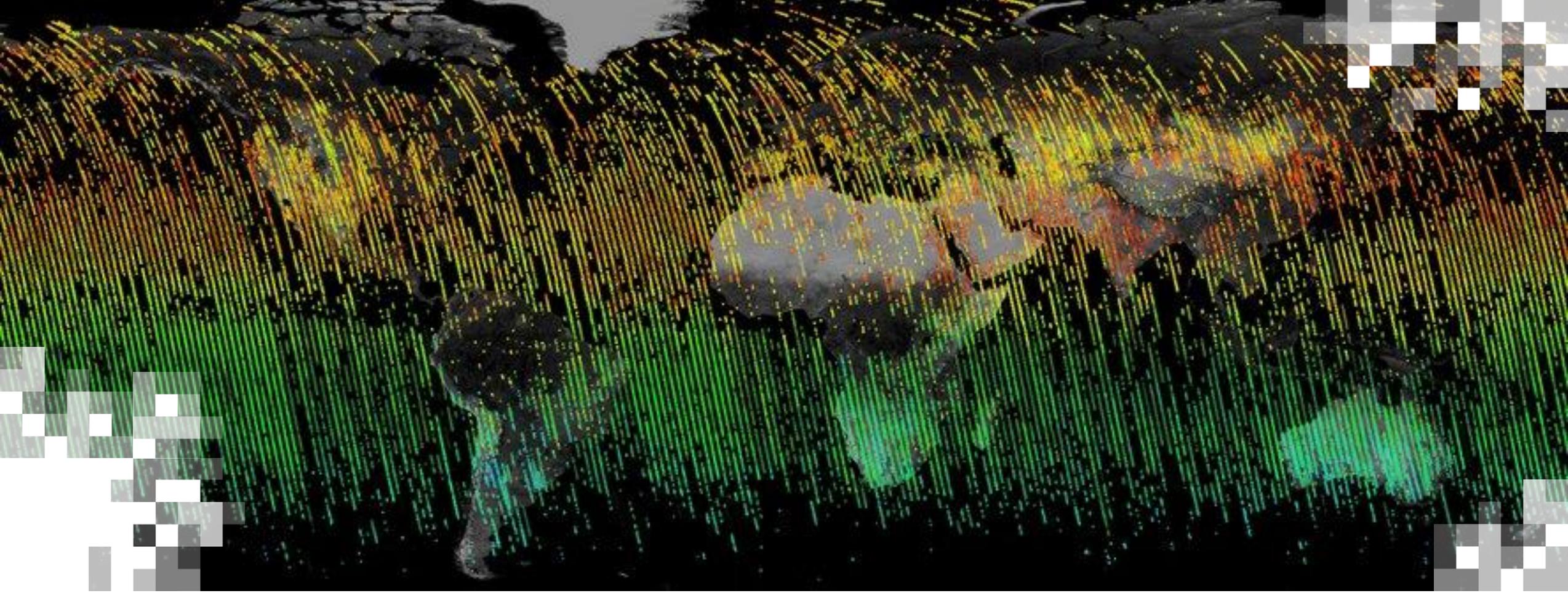


(d) Net annual NBE fluxes from 2010/11 to 2019/20



NASA Satellite Imagery from Dec. 2019

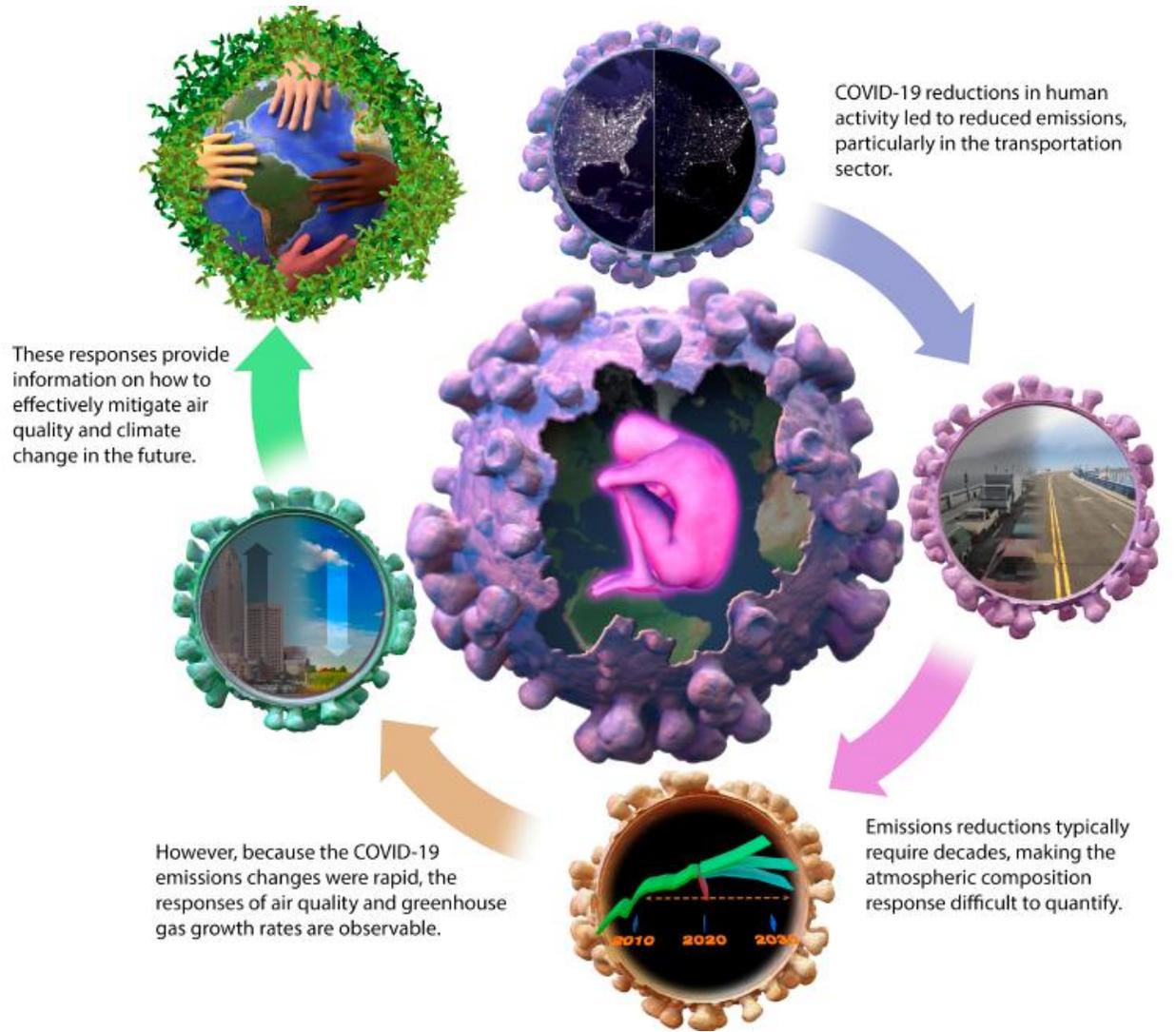
- 2019 fue el año más caliente y seco registrado en el sureste de Australia, lo que provocó incendios forestales de una magnitud sin precedentes.
- Ver Byrne et al. (2021) para un análisis detallado utilizando los datos de OCO-2.
- Las anomalías del flujo de CO₂ entre la superficie y la atmósfera debido a eventos extremos se pueden rastrear desde el espacio; además, podemos usar datos de misiones como OCO-2 y OCO-3 para cuantificar las diferencias en las respuestas del ciclo del carbono entre los tipos de vegetación y los ecosistemas quemados/no quemados.



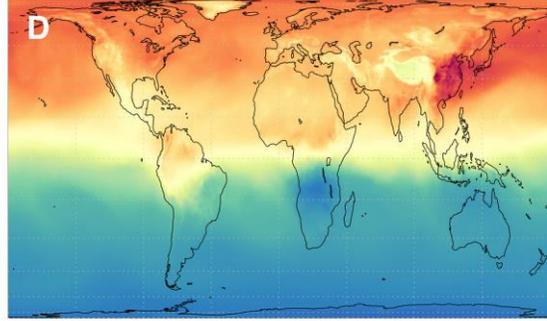
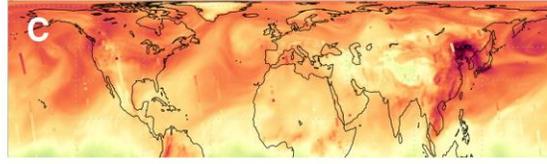
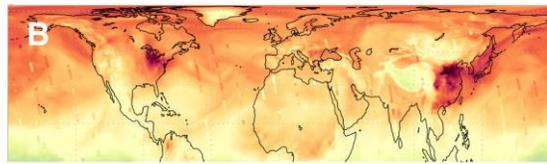
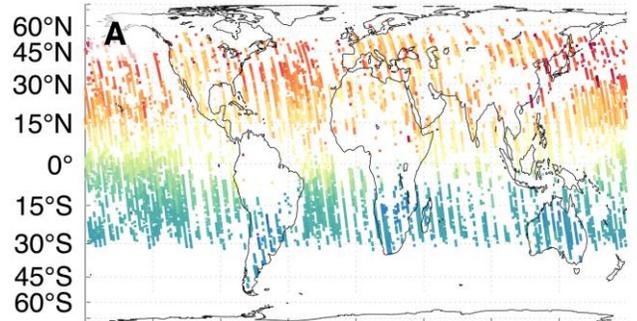
Respuesta del Ciclo del Carbono a los Disturbios Antropogénicos

Reducciones en las Emisiones por la Actividad Humana Causadas por la Pandemia del COVID-19

- La pandemia de COVID-19 y las limitaciones resultantes en los viajes y otros sectores económicos por países de todo el mundo redujeron drásticamente la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero en solo unas pocas semanas.
- Las estimaciones de emisiones para 2020 basadas en datos de actividades económicas sugirieron que, en comparación con las emisiones de 2019, las emisiones globales diarias disminuyeron entre un 15% y un 20% en abril de 2020.
- Las métricas de los cambios en las actividades humanas a diferentes escalas muestran que el impacto más fuerte de los confinamientos por COVID-19 se produjo en los sectores de transporte, y que estos impactos variaron sustancialmente de un país a otro.
- Veá Laughner et al. (2021).

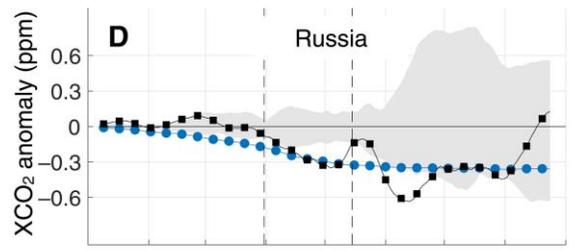
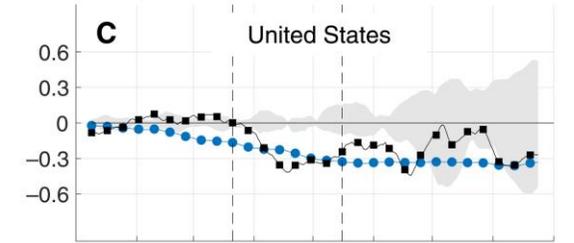
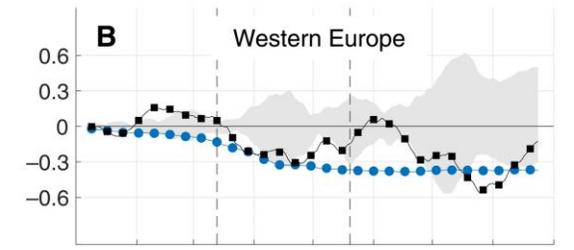
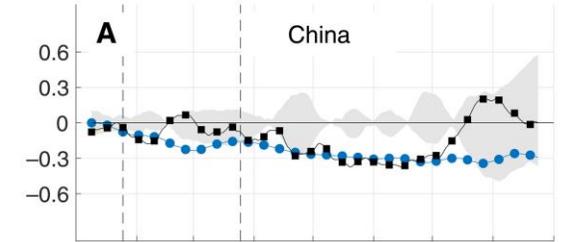


Reducciones Regionales en la Concentraciones de CO₂ Detectadas Desde el Espacio



406 408 410 412 414 416 418 420
April 1–16, 2020 XCO₂ (ppm)

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep

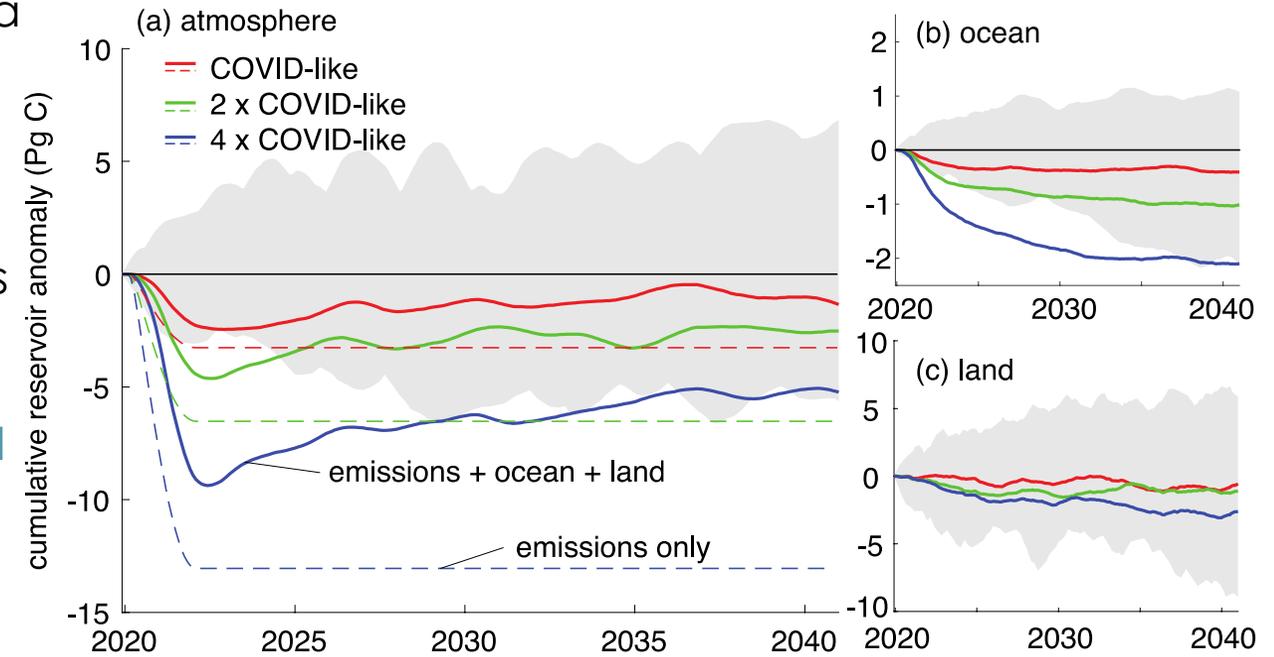
2017–2019 analysis • 2020 FF-only sim.
—■— 2020 analysis

- Datos de XCO₂ de 50 km con los vacíos rellenados (diarios y mensuales), que se producen mediante la asimilación de datos de OCO-2 corregidos de sesgos por el Sistema de asimilación de datos constituyentes (CoDAS) de GEOS.
- A partir de febrero de 2020 y hasta mayo de 2020, la columna de CO₂ en muchas de las regiones con mayores emisiones del mundo fue de 0.14 a 0.62 partes por millón menos de lo esperado en un escenario libre de pandemia, consistente con reducciones del 3 al 13 % en las emisiones globales anuales.
- Mapas de anomalías y concentraciones disponibles en (NASA/ESA/JAXA) Earth Data Dashboard – <https://eodashboard.org/covid-19>
- Veá Weir et al. (2021).



La Historia Completa del COVID-19 y el Ciclo del Carbono Tiene Muchas Matices

- Los cambios del XCO₂ monitoreados por satélite a principios de 2020 debido a la pandemia de COVID-19 fueron pequeños (0.14–0.62 ppm), negativos y consistentes con los datos de actividades a nivel de país.
 - Los EE. UU., Europa y el este de Asia vieron las reducciones más notables.
 - Sin embargo, a escala global y anual, no podemos distinguir la señal de la variabilidad natural del CO₂.
- Los océanos y la superficie terrestre habían reducido la absorción en el año 2020.
 - La señal de reducción de emisiones similar a la del COVID en el reservorio de carbono atmosférico puede haber sido detectable por encima del ruido de la variabilidad interna durante al menos 2-3 años consecutivos, si no fuera por la desaceleración del sumidero de carbono terrestre y oceánico.



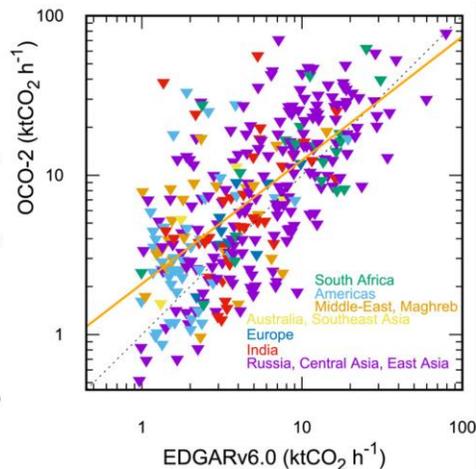
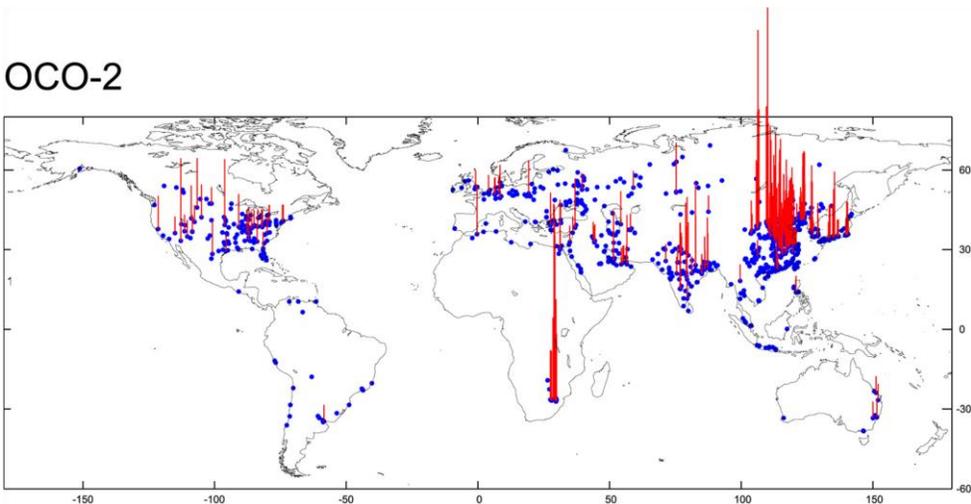
Respuesta de los 3 Principales Reservorios de Carbono y su Recuperación Después de la Pandemia

Ver Lovenduski et al. (2021)

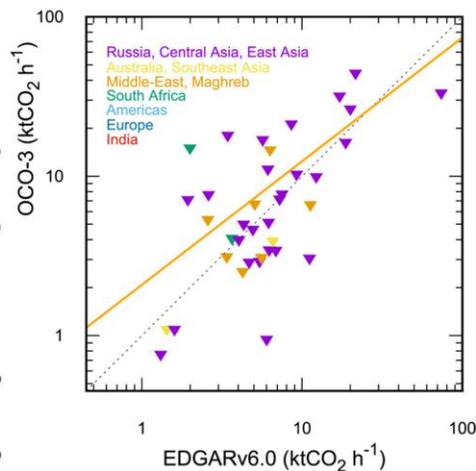
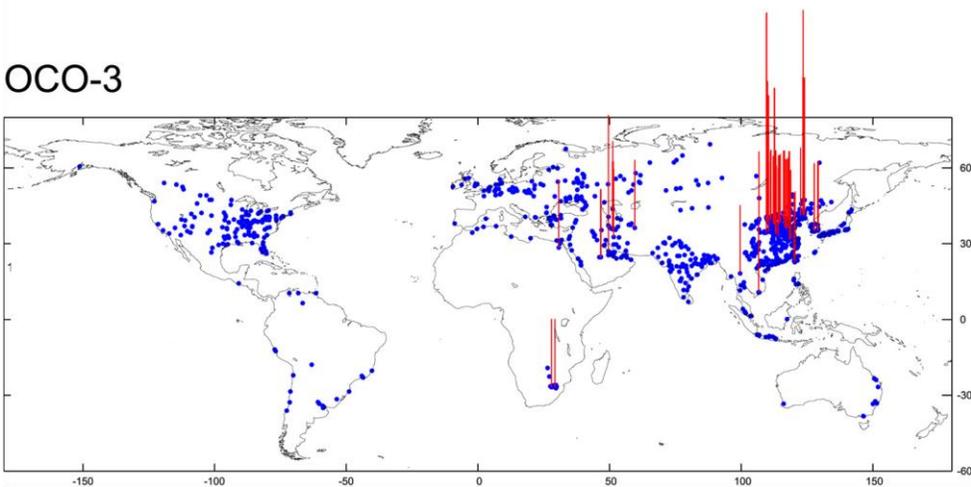


Emisores de CO₂ de Grandes Fuentes Puntuales Vistas Desde el Espacio

OCO-2



OCO-3



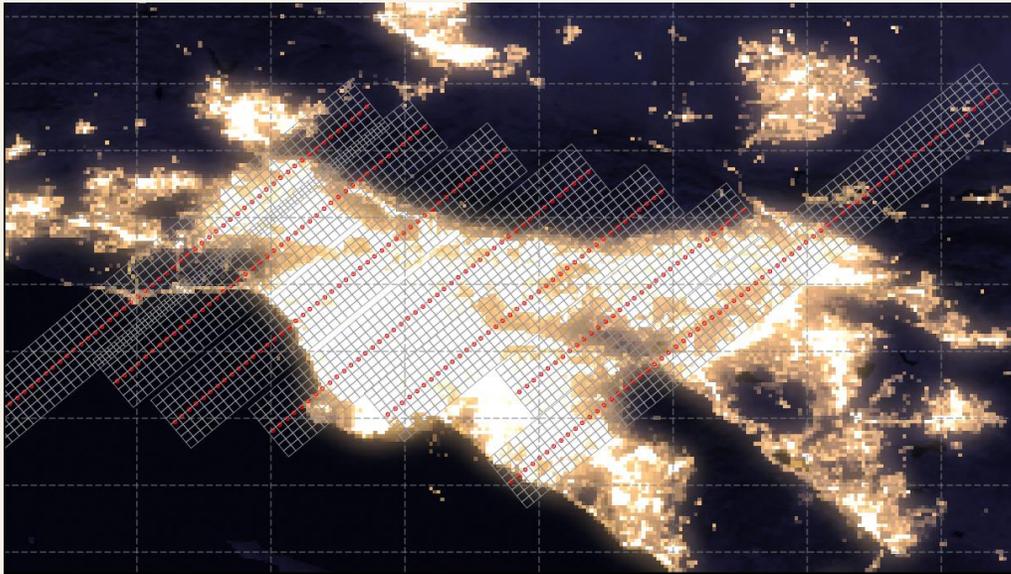
Ver Chevallier et al. (2022)

- OCO-2 y OCO-3 observan plumas de emisiones de grandes fuentes puntuales: a raíz del Acuerdo Climático de París, existe una necesidad cada vez mayor de monitorear las emisiones de la quema de combustibles fósiles en todo el mundo.
- Los puntos azules representan ubicaciones globales, donde las emisiones superan 1.0 ktCO₂ h⁻¹. Las líneas rojas en estos mapas ilustran la cantidad de veces que las emisiones recuperadas se atribuyen a estas celdas para OCO-2 (arriba) y OCO-3 (abajo).
- OCO-2 y OCO-3 explican gran parte de la variabilidad que se observa en un inventario global de emisiones (EDGAR).



Otros Estudios de Emisiones Urbanas y Locales

- La Próxima Clase – Sesión 4 (2 de junio) – **Cómo Entender Las Emisiones de Carbono en Zonas Urbanas con Observaciones del Dióxido de Carbono Desde el Espacio**

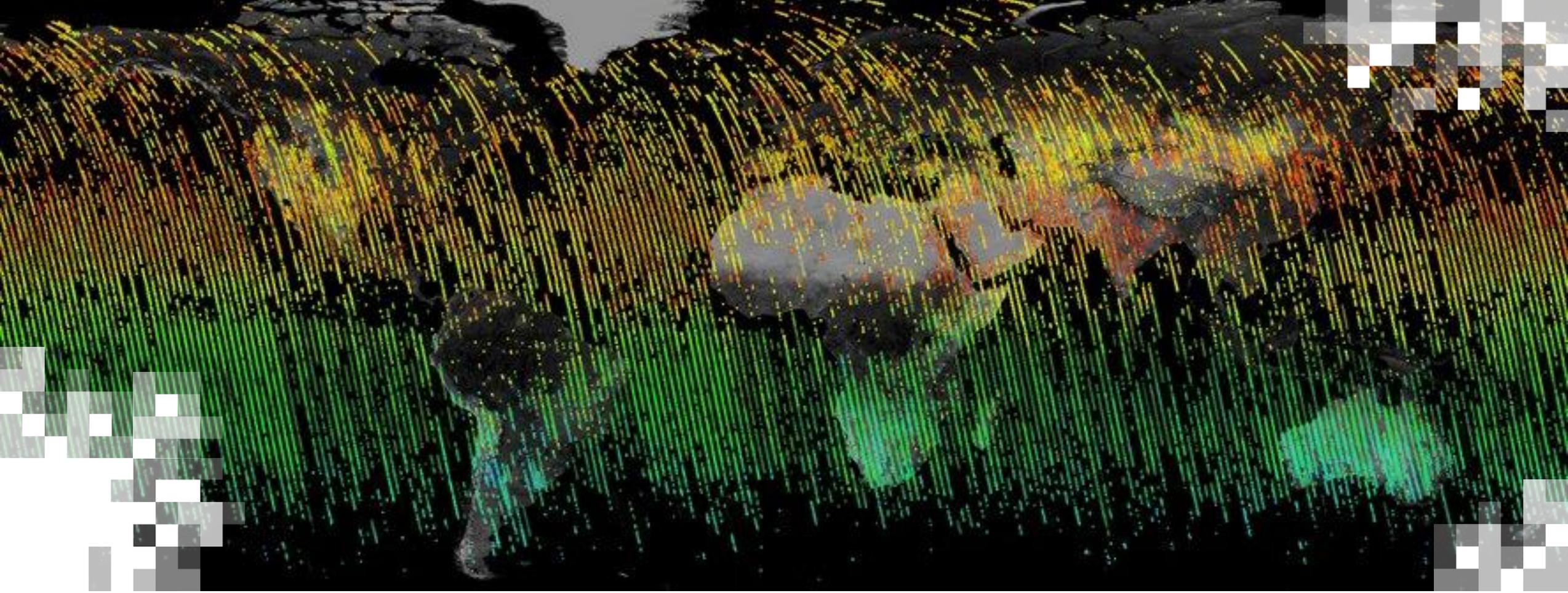


Cobertura de OCO-3 Modo SAM Sobre la Megaciudad de Los Ángeles



Fuente: NASA Earth Observatory/NOAA NGDC



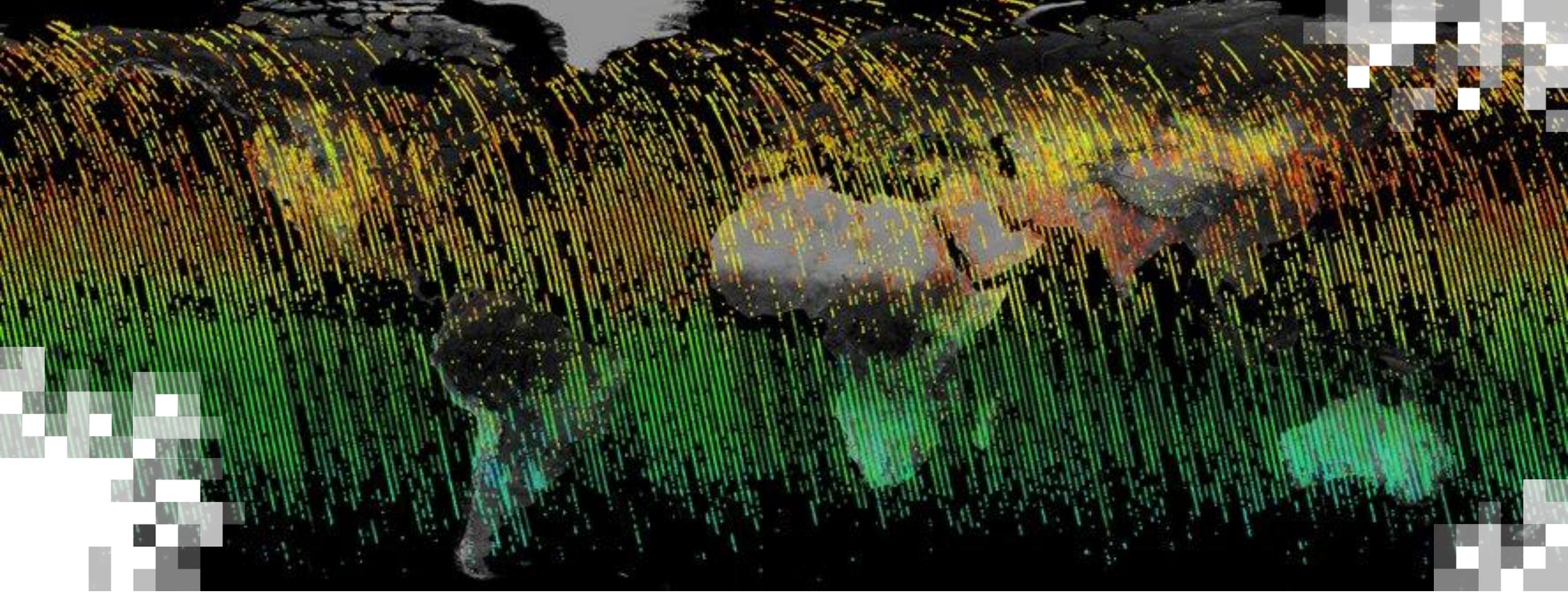


Resumen

Para Concluir: ¿Qué Hemos Aprendido?

- El monitoreo del CO₂ desde el espacio se está convirtiendo en una capacidad cada vez más importante y relevante en apoyo a los estudios climáticos y para informar las decisiones políticas.
 - Sin embargo, a los datos nativos del XCO₂ de Nivel 2 a menudo les faltan sondeos.
 - La comunidad científica utiliza el Nivel 3 (producto de XCO₂ con los vacíos rellenos) y el Nivel 4 (información sobre emisiones y remociones de CO₂) para la mayoría de los estudios globales y regionales.
- Las estimaciones de flujos de CO₂ derivadas del XCO₂ se utilizan para limitar el intercambio neto de la biosfera (NBE) y el intercambio neto de carbono (NCE) entre las superficies terrestres y oceánicas y la atmósfera.
 - Estas estimaciones están proporcionando información valiosa para el proceso de inventario mundial de la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
- Los datos del XCO₂ también brindan información única sobre los procesos del ciclo del carbono global y regional y cómo responden a diversos forzamientos, perturbaciones naturales (patrones climáticos) y antropogénicas (cambios en las emisiones).
 - El Niño de 2015 - 2016 y la pandemia de COVID-19 son estudios de casos clásicos que demuestran cómo podemos usar los datos del XCO₂ para avanzar nuestra comprensión geofísica de la ciencia del ciclo del carbono.





Referencias y Repositorios de Datos

Referencias

- Byrne, B., et al. (2021), The Carbon Cycle of Southeast Australia During 2019-2020: Drought, Fires, and Subsequent Recovery, *AGU Advances*, 2, 4
- Chatterjee, A., et al. (2017), Influence of El Niño on atmospheric CO₂ over the tropical Pacific Ocean: findings from NASA's OCO-2 mission, *Science*, 358 (6360), doi: 10.1126/science.aam 5776
- Chevallier, F., et al. (2022), Large CO₂ emitters as seen from satellite: Comparison to a gridded global emission inventory. *GRL*, 49, e2021GL097540. doi:10.1029/2021GL097540
- Crowell, S., et al. (2019), The 2015–2016 carbon cycle as seen from OCO-2 and the global in situ network, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 15
- Eldering, A., et al. (2017), Evaluation of the flux of carbon dioxide to and from the atmosphere: The Orbiting Carbon Observatory-2 Early Science Investigations, *Science*, 358 (6360), doi: 10.1126/science. Aam5745
- Laughner, J., et al. (2021), Societal shifts due to COVID-19 reveal large scale complexities and feedbacks between atmospheric chemistry and climate change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, doi: 10.1073/pnas.2109481118
- Lovenduski, N., et al. (2021), On the detection of COVID driven changes in atmospheric CO₂, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2021GL095396
- Patra, P., et al. (2017), Orbiting carbon observatory (OCO-2) tracks 2-3 peta-grams increase of carbon release to the atmosphere during the 2014-2016 El Niño, *Scientific Reports – Nature*, 7, doi:10.1038/s41598-017-13459-0
- Peiro, H., et al. (2022), Four years of global carbon cycle observed from the Orbiting Carbon Observatory 2 (OCO-2) version 9 and in situ data and comparison to OCO-2 version 7, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 2, 1097-1130
- Philip, S., et al. (2022), OCO-2 Satellite-Imposed Constraints on Terrestrial Biospheric CO₂ Fluxes Over South Asia, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 127, 3
- Weir, B. et al. (2021), Regional impacts of COVID-19 on carbon dioxide detected from space, *Science Advances*, doi: 10.1126/sciadv.abf9415



Repositorios de Datos

- Datos del XCO₂ de Nivel 2 –
OCO-2 –
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2_L2_Lite_FP_10r/summary?keywords=OCO2%20L2
OCO-3 -
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO3_L2_Lite_FP_10.4r/summary?keywords=OCO3%20L2
- Estimaciones de Concentraciones de CO₂ de Nivel 3 con los Vacíos Llenados –
Producto de Datos Diarios –
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2_GEOS_L3CO2_DAY_10r/summary?keywords=OCO2%20GEOS%20L3
Producto de Datos Mensuales -
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2_GEOS_L3CO2_MONTH_10r/summary?keywords=OCO2%20GEOS%20L3
- Estimaciones de Flujos de Carbono de Nivel 4 Derivadas de un Ensamble de Modelos Inversos - https://gml.noaa.gov/ccgg/OCO2_v10mip/index.php



Contactos

- Presentadores:
 - Abishek Chatterjee:
abishek.chatterjee@jpl.nasa.gov
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-medicion-del-dioxido-de-carbono-atmosferico-desde-el-espacio-en>

Síguenos en Twitter
[@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)

Échele una mirada a nuestros programas hermanos:





¡Gracias!

