

Sistema AEMET: Hacia un Sistema Integrado de Observación de Gases de Efecto Invernadero en España

Taller “Creación de un sistema de monitorización de emisiones de GEI en España”

Omaira García¹, E. Sepúlveda^{1,2}, N. Taquet^{1,2}, R. Ramos¹, F. Hase³, D. Dubravika³, C. Alberti³, I. Cabello^{1,2}, A. Alcántara¹, V. Carreño¹, P.P. Rivas¹, A. Álvarez^{1,2}, M. Yela⁴, J.A. Adame⁴, G. Villalba-Méndez⁵, R. Curcoll⁵, A. Calle⁶, R. González⁶, C. Toledano⁶, P. Martín-Mateos⁷, A. Collado⁷, J. Alonso-Montesinos⁸, J. M^a Ballestrín-Bolea⁹, T. Lavaoux¹⁰, C. Crevoisier¹¹, P. Castesana¹², M. Guevara¹², C. Pérez García-Pando¹², and **Carlos Torres**¹

¹Izaña Atmospheric Research Center (IARC), State Meteorological Agency (AEMET), Santa Cruz de Tenerife, Spain.

²Tragsatec, Madrid, Spain

³Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Spain.

⁴Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Madrid, Spain.

⁵Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Barcelona, Spain.

⁶Universidad de Valladolid (Uva), Valladolid, Spain.

⁷Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), Madrid, Spain.

⁸Universidad de Almería (UAL), Almería, Spain.

⁹CIEMAT, Almería, Spain.

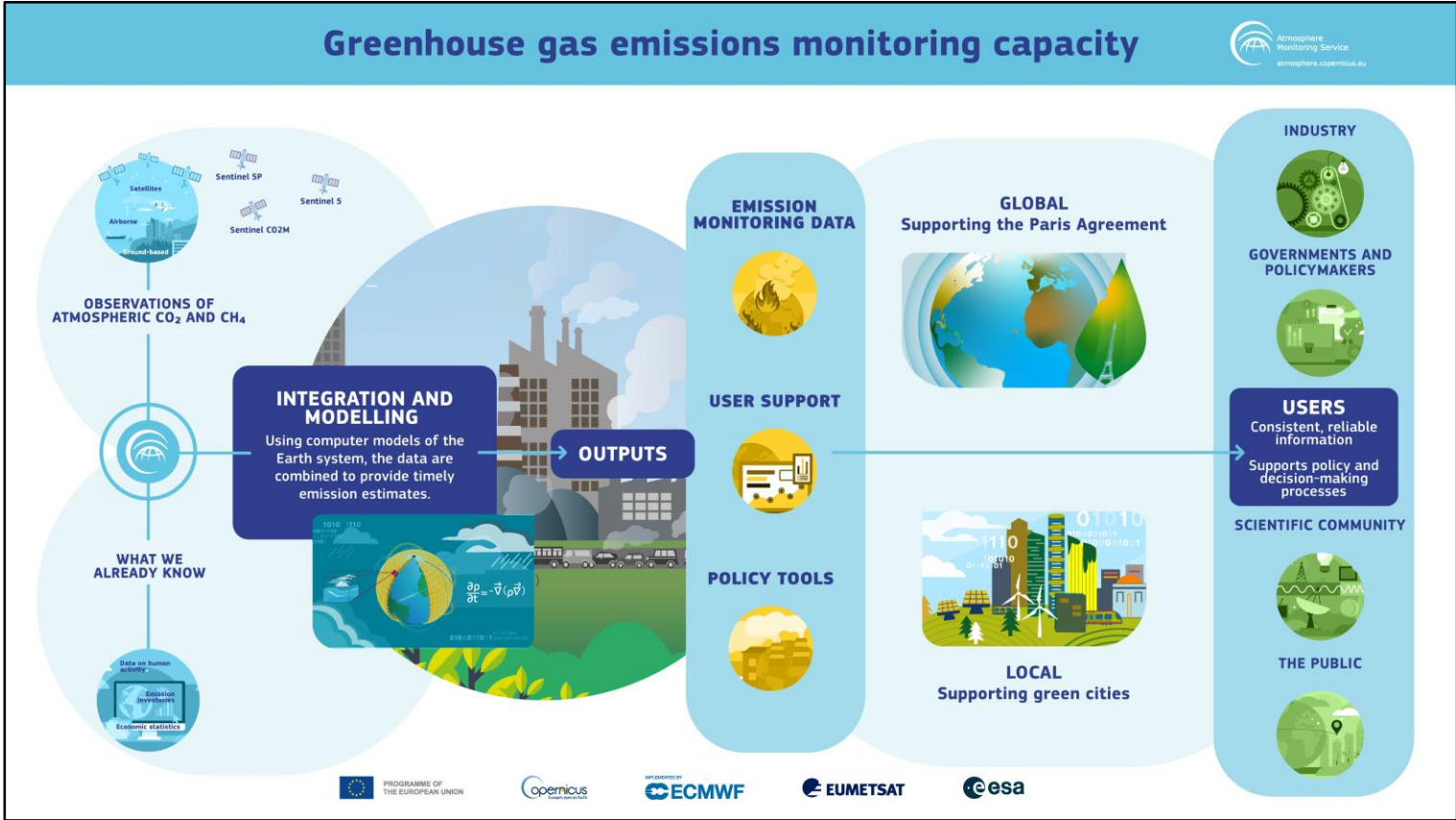
¹⁰University of Reims, Reims, France.

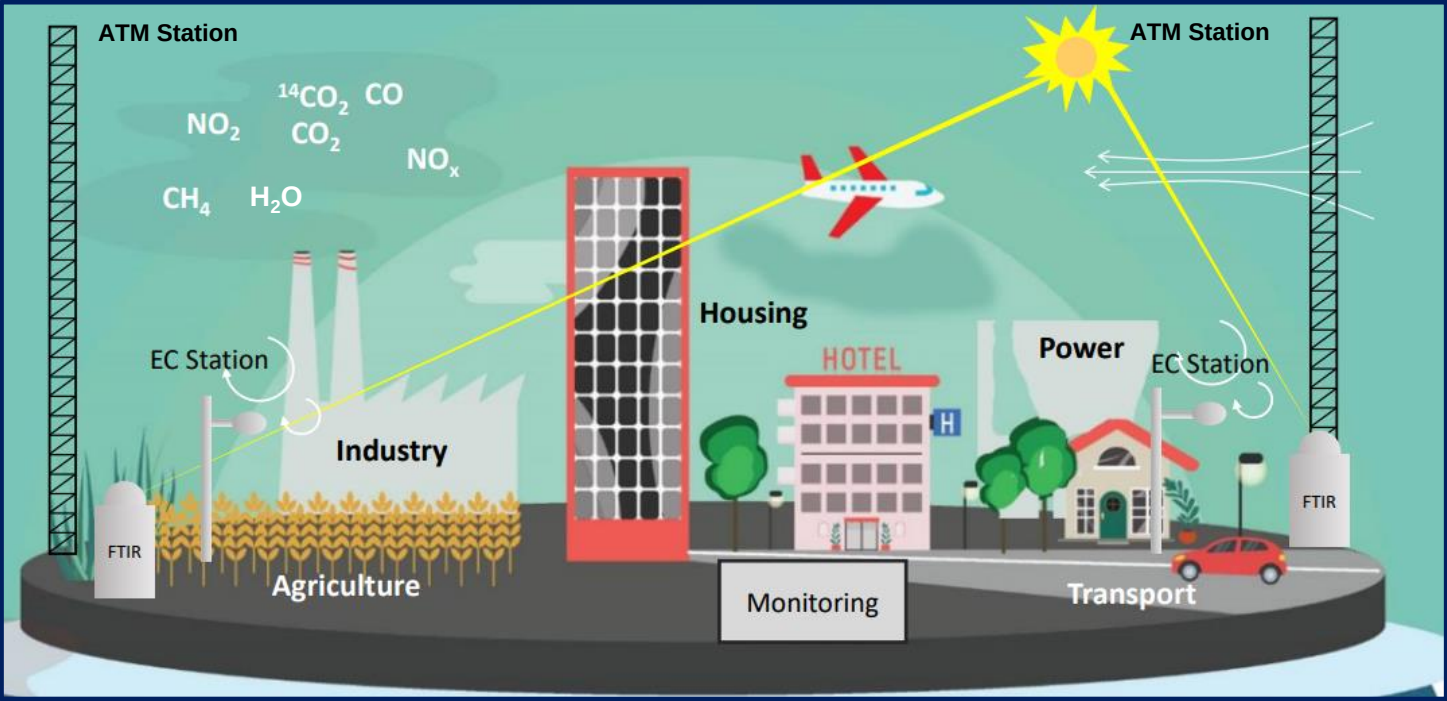
¹¹Laboratoire de Météorologie Dynamique/IPSL, CNRS, Paris, France.

¹²Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación, Barcelona, Spain.

12/11/2025

- Monitorización de GEI: Línea Estratégica
 - ICOS, VAG-OMM y COCCON
 - COCCON-España
- Overview, implementación, desarrollos y productos orientados a usuarios





ICOS  INTEGRATED CARBON OBSERVATION SYSTEM

Segmento en tierra de CO2MVS (observaciones in-situ)

Concentraciones GEIs y flujos de emisión (+ co-emisores y trazadores)



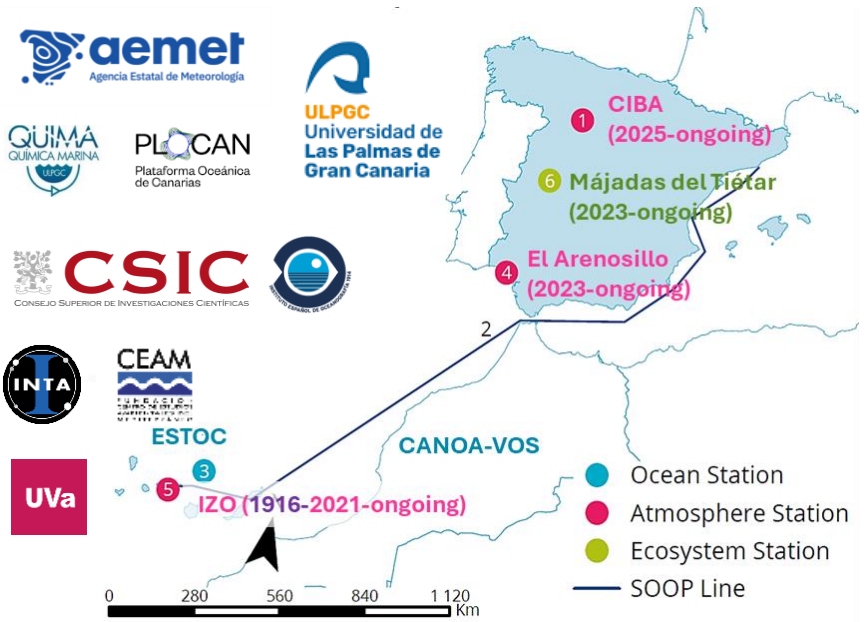
COCCON-España: Hacia un Sistema Integrado de Observación de Gases de Efecto Invernadero en España

ICOS

INTEGRATED CARBON OBSERVATION SYSTEM

ICOS

National Network Spain



<https://icos-spain.aemet.es>

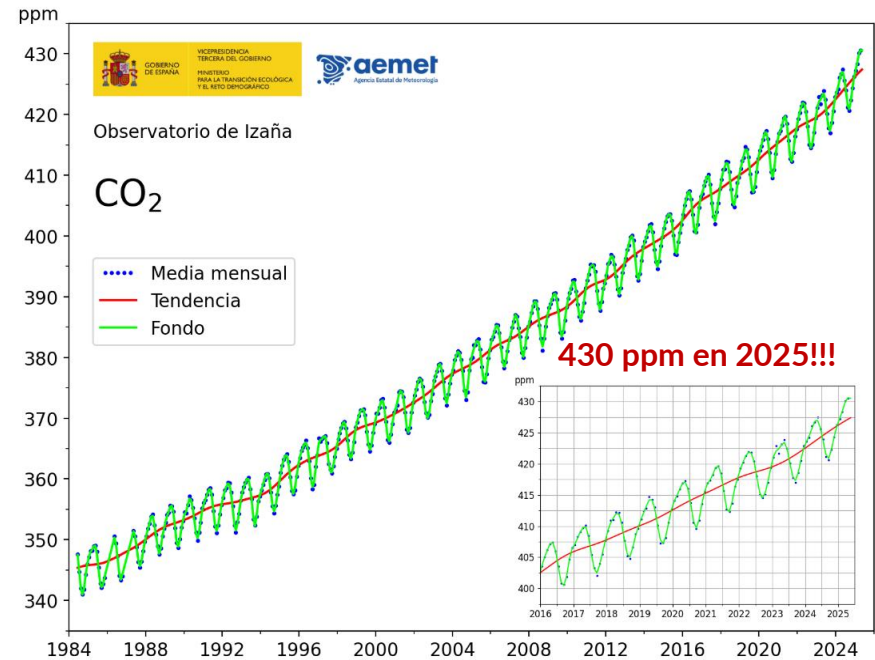


<https://izana.aemet.es/>



Vigilancia sistemática de la evolución de la composición atmosférica

Aerosoles, GEI, Gases Reactivos, Ozono Estratosférico y Radicación UV, Química de la Precipitación



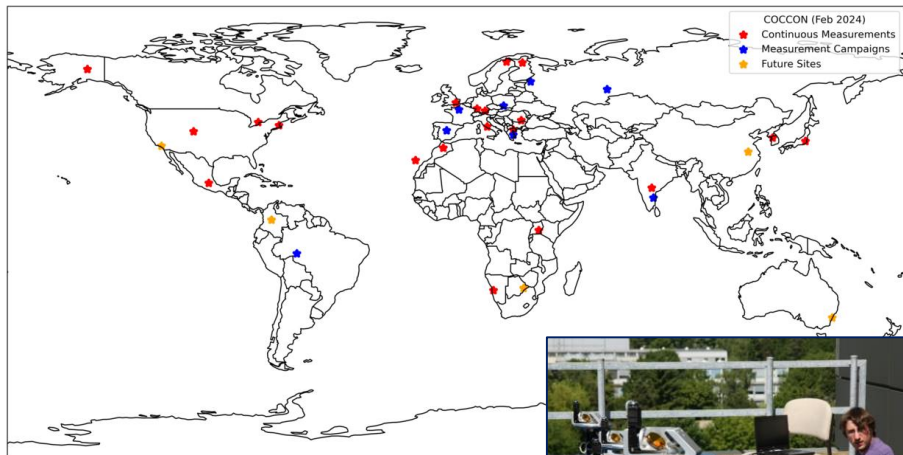
CIAI – IZO / AEMET: Estación Global del VAG-OMM

31 Estaciones Globales
+ 400 Estaciones Regionales

Logos of partner organizations: GAW, OMM, ICOS, National Network Spain, NABARD, TCCON, CO2CCON, ESA, BSC, and the University of Rochester.

Collaborative Carbon Column Observing Network (COCCON) proporciona la **ESTANDARIZACIÓN** necesaria para operar FTIRs portables destinados a la monitorización de GEI:

- **Soportada por la ESA** (COCCON PROCEEDS I-III, FRM4GHG I + II, COCCON OPERA)
- **Pruebas y caracterización previas** para todos los espectrómetros EM27/SUN FTIRs participantes (en cooperación con el fabricante) – *¡único!*"
- **Procesamiento de datos estandarizado** (códigos de fuente abierta, licencias GPL)
- **Publicación de datos via el portal ESA's EVDC**
- **Operación de un estándar viajero** para asegurar trazabilidad interna y con TCCCON
- Proyecto piloto **COCCON-España**: red operacional y densa en España, reducción en los plazos (publicación de datos en un máximo de 3 semanas)

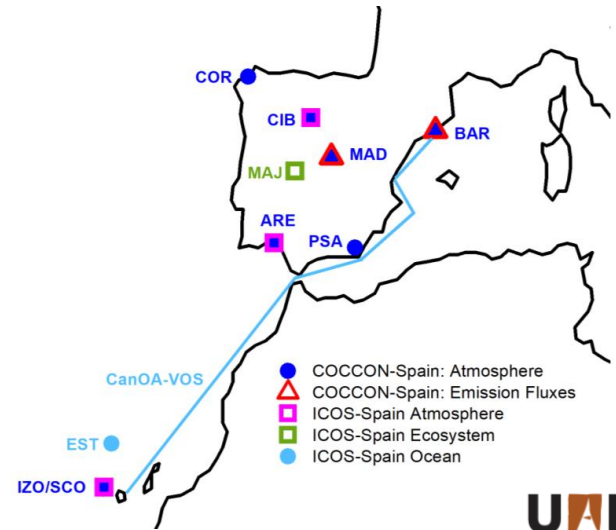


Carencia de Observaciones de GEI + (GCA) -> Red de estaciones a escala nacional soportada por el mecanismo europeo Next Generation (2023-2026)



Proyecto: Modernización de las redes de observación y digitalización de los procesos de producción para el desarrollo de servicios meteorológicos inteligentes en un contexto de cambio climático (P02.C05.I03.P51.S000).

Línea de Actuación: Servicios Climáticos, Calidad del Aire y GEI.



- 14 estaciones con LR-FTIRs (+DOAS): **CO₂, CH₄, H₂O, CO**, (HCl, HF,...) + (NO_x, SO₂, CH₂O, ...) + flujos emisión
- Referencia **Observatorio Izaña-AEMet**, con soporte de **KIT y ESA**.
- Estaciones Híbridas **ICOS + COCCON**.



Implementando una red desde cero...

2023/2024

- Diseño de la red: Selección de las localizaciones óptimas y diseño de la configuración de la estación
- Instrumentación: Adquisición y testeo de la instrumentación COCCON-España
- **Desarrollo del Centro de Procesamiento (COGEP): procesamiento centralizado**



2024/2025

- **QC/QA, consistencia, y trazabilidad de COCCON-España:** AEMET IZO como referencia + TS
- Instalación, operación, y QC/QA de toda la instrumentación COCCON-España
- **Desarrollo y testeo de cobertores automáticos (¡¡no existe una solución comercial!!)**



2025/2026

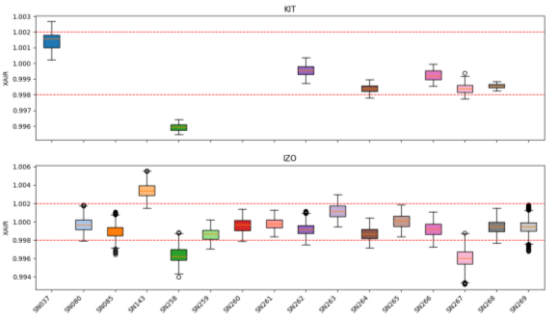
- **Expansión a co-emisores:** Gases Reactivos & de Calidad del Aire (DOAS acoplado a FTIRs)
- Desarrollo del repositorio nacional de GEI: COCCON-España+ICOS-España & productos no-estándar (flujos de emission y trazadores) ->>> **RESPIRE**



2026/...

- Expansión a otras áreas fuentes (ecosistemas?) y regiones (Portugal, Macaronesia?)
- Consolidación de COCCON-España: **Productos orientados a usuarios**, socio Cal/Val en misiones satelitales de GEI (CO2M, MicroCarb, GOSAT-GW, GHGSat...), nueva instrumentación GEI, ...

Intercomparación y QC/QA en el KIT y AEMET-IZO

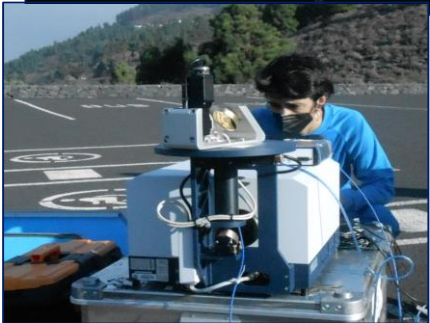
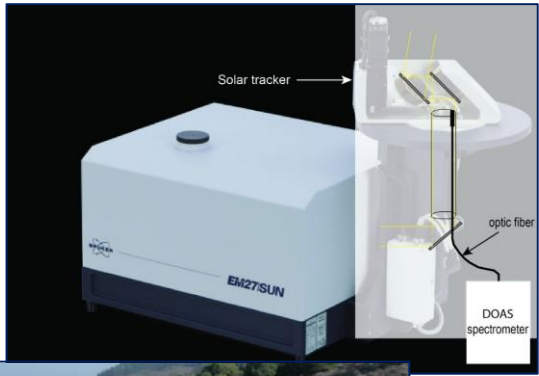


Desarrollo de cobertores automáticos (no existe una solución comercial!!)



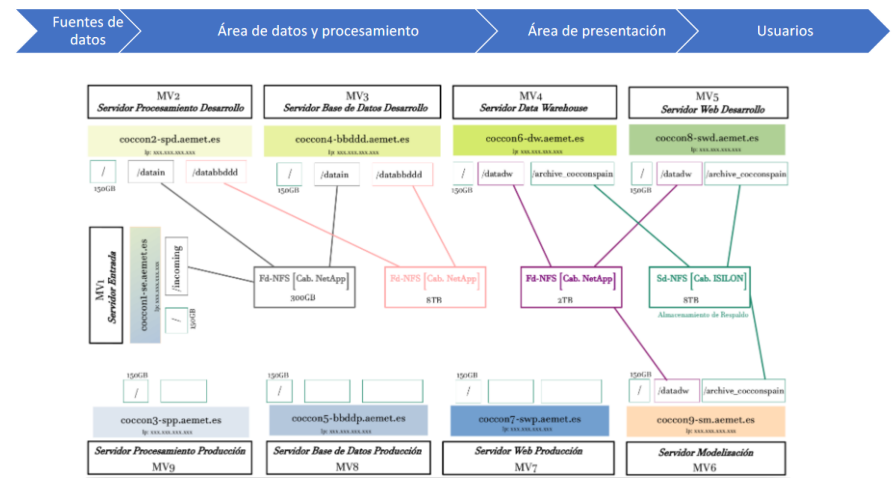
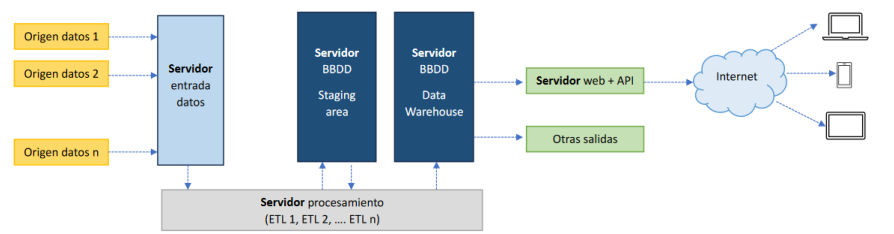
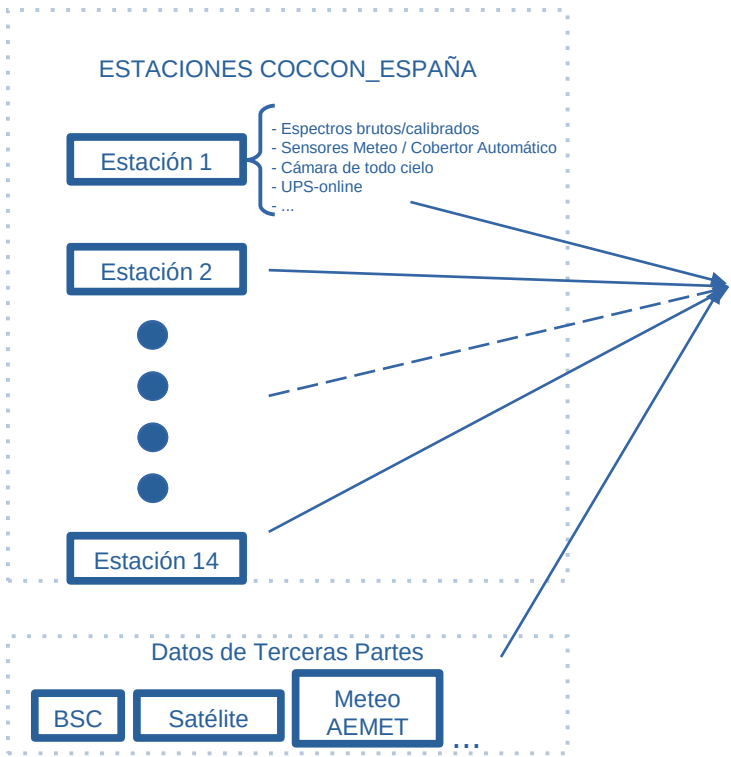
Monitorización de GEI y co-emisores (DOAS y FTIRs)

(Erupción volcánica de La Palma 2021)



Taquet et al. (2025)

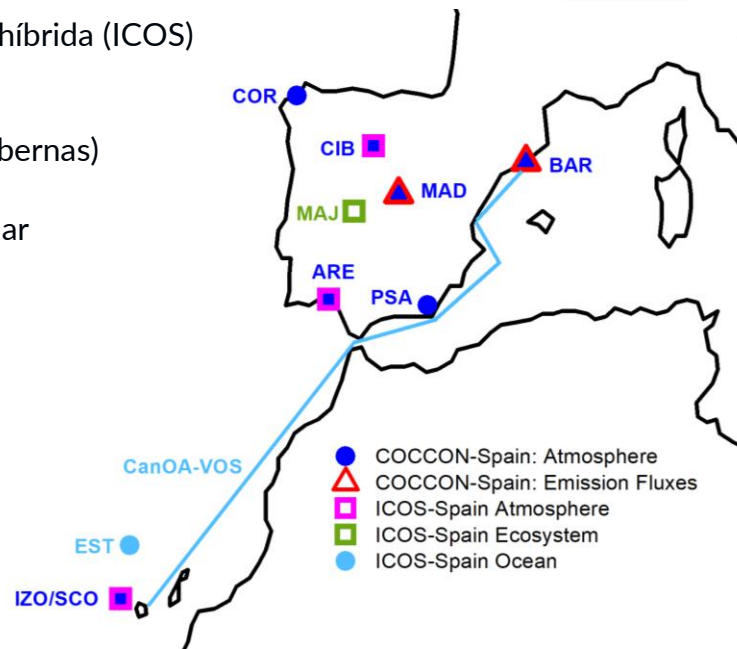
Centro de Operación, Generación y Explotación de Productos (COGEP, AEMET HPC)



Selección de la **localización óptima** para las estaciones COCCON-España: condiciones de fondo (diferentes albedos y entornos) + hot-spots urbano-industriales

14

1. **IZO**: alta montaña en la región subtropical del Atlántico Norte + estación híbrida (ICOS)
2. **SCO**: nivel del mar
3. Arenosillo (**ARE**): bajo albedo superficial + estación híbrida (ICOS)
4. Plataforma Solar de Almería (**PSA**): alto albedo superficial (Desierto de Tabernas)
5. UVa CIBA (**CIB**): fondo continental + estación híbrida (ICOS)
6. Delegación AEMET de Galicia (**COR**): bajo albedo superficial + nivel del mar



Selección de la **localización óptima** para las estaciones COCCON-España: condiciones de fondo (diferentes albedos y entornos) + hot-spots urbano-industriales

14

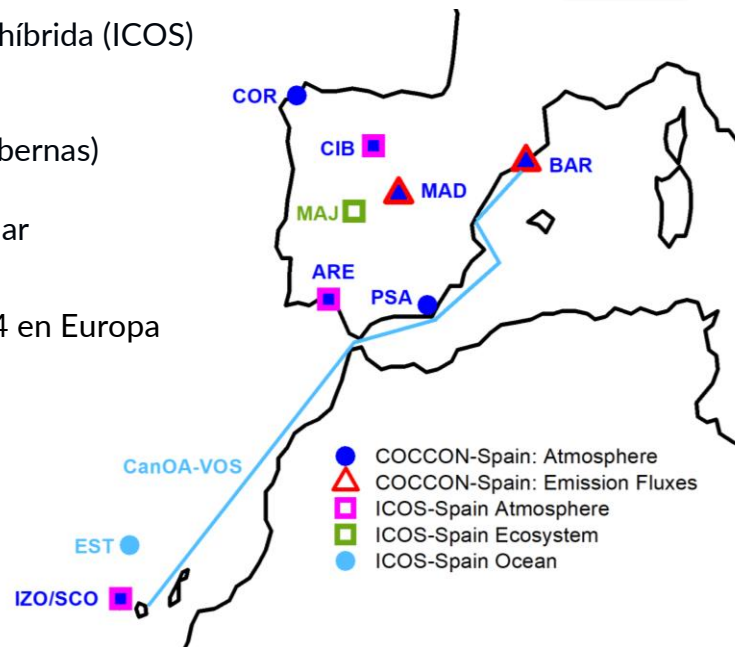
1. **IZO**: alta montaña en la región subtropical del Atlántico Norte + estación híbrida (ICOS)
2. **SCO**: nivel del mar
3. Arenosillo (**ARE**): bajo albedo superficial + estación híbrida (ICOS)
4. Plataforma Solar de Almería (**PSA**): alto albedo superficial (Desierto de Tabernas)
5. UVa CIBA (**CIB**): fondo continental + estación híbrida (ICOS)
6. Delegación AEMET de Galicia (**COR**): bajo albedo superficial + nivel del mar

Área Metropolitana de Madrid (MAD): Una de los grandes hot-spots de CH₄ en Europa

7. Universidad Carlos III, Madrid (**UC3M**)
8. INTA Torrejon de Ardoz campus (**TOR**)
9. INTA La Marañosa campus Ardoz (**MAR**)
10. AEMET Sede Central (**SSCC**)

Área Metropolitana de Barcelona (BAR): Emisiones urbanas y puerto

11. Observatorio Astronómico de Fabra (**FAB**)
12. Universidad Politécnica de Barcelona (**UPC**)
13. Universidad de Barcelona, Campus Torrebieria (**UAB**)
14. Delegación AEMET de Cataluña (**ADB**)

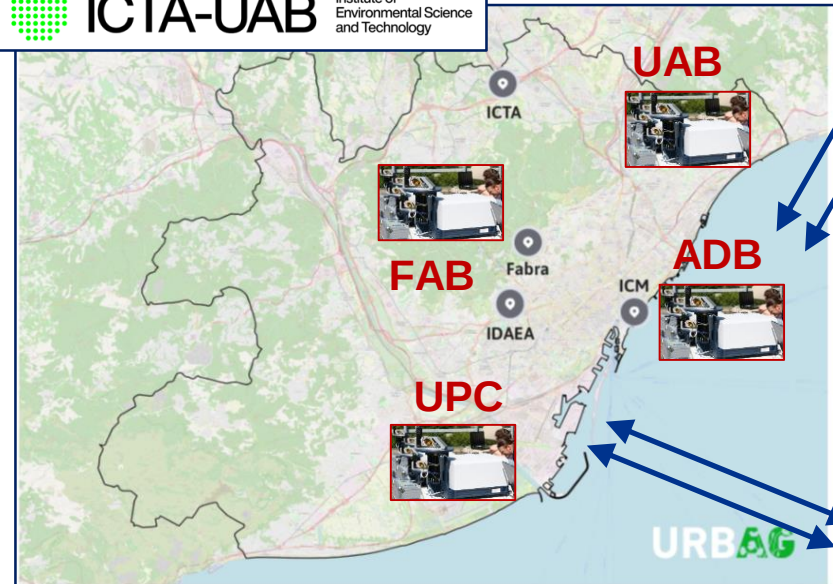


Hot-spots urbano-industriales para la monitorización de concentraciones atmosféricas y flujos de emisión: Estaciones híbridas ICOS-COCCON (superficie y columna)

ICOS  Cities



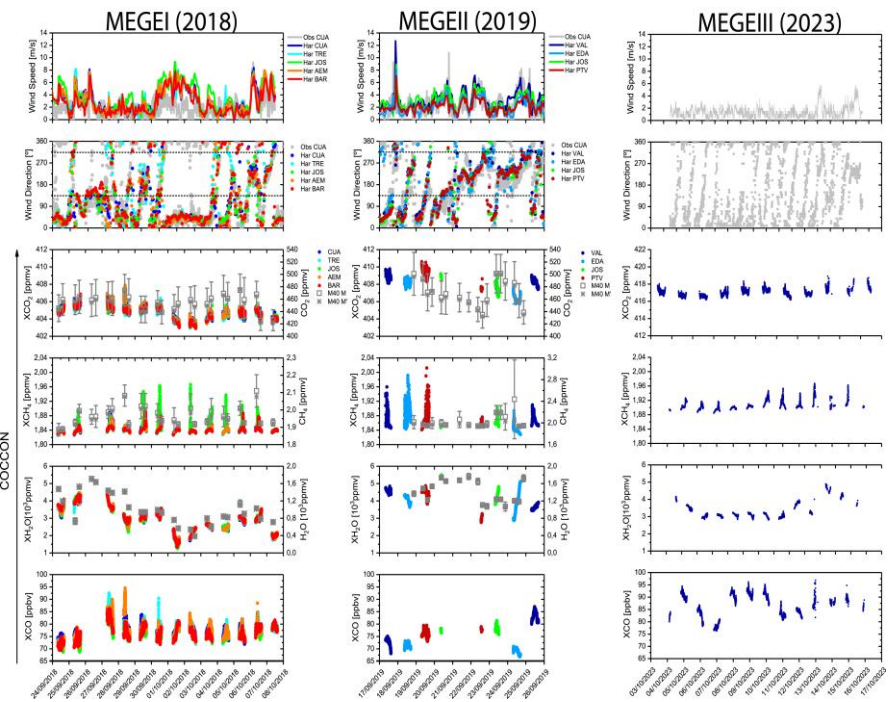
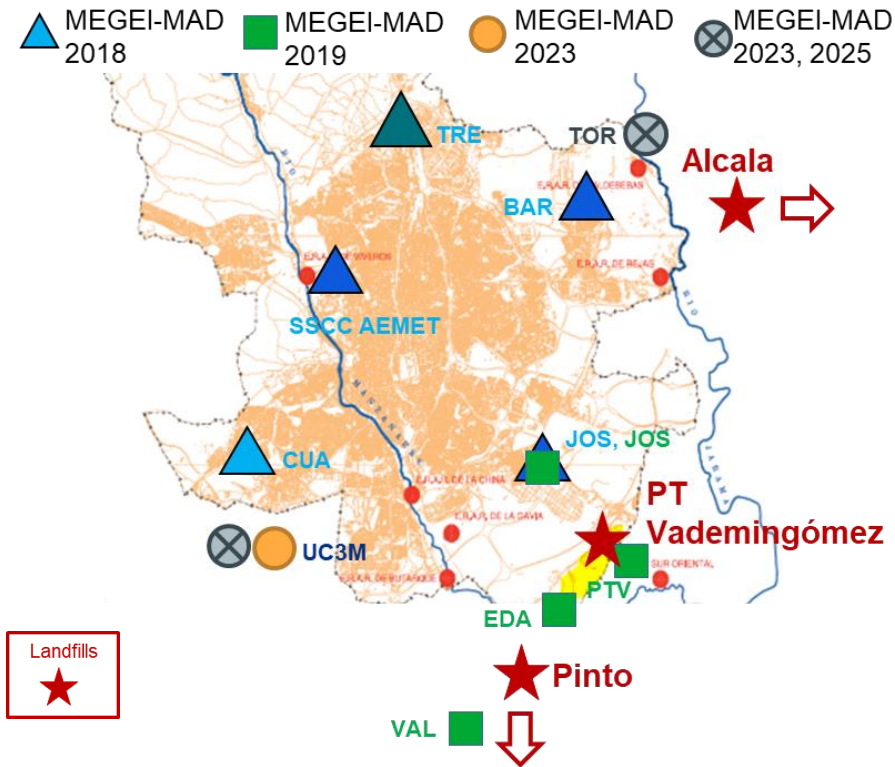
 **ICTA-UAB** Institute of Environmental Science and Technology



<https://urbag.eu/>

AM Madrid: 2018, 2019, 2023 y 2025 (12 estaciones)

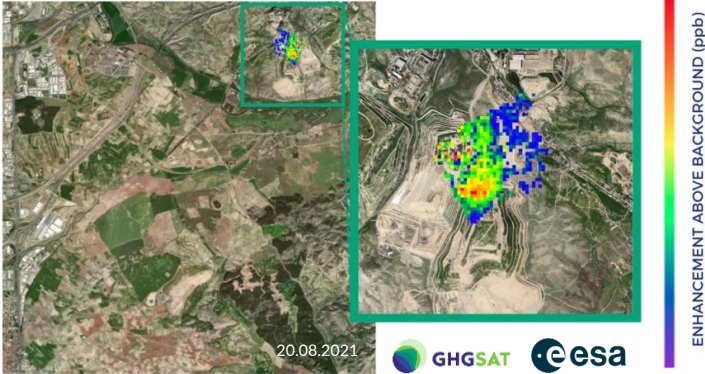
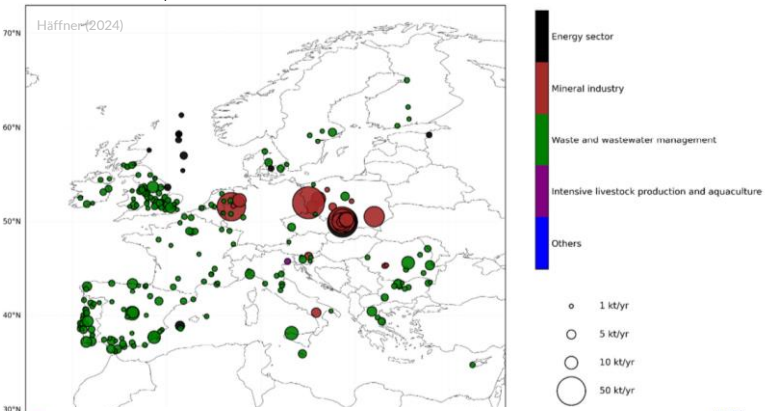
Detección de Emisiones de CH₄ procedentes de plantas de tratamiento residuos en Madrid + Emisiones CO₂ + Configuración COCCON-España



ΔXCH_4 ESA GHGSat: +0.67 ppm
 ΔXCH_4 EM27/Sun Campaigns: +6-8% (max: +0.14 ppm)
 ΔXCO_2 : +0.4-0.7% (max: 3.0 ppm)
 ΔXCO : +13-26% (max: +20 ppb)

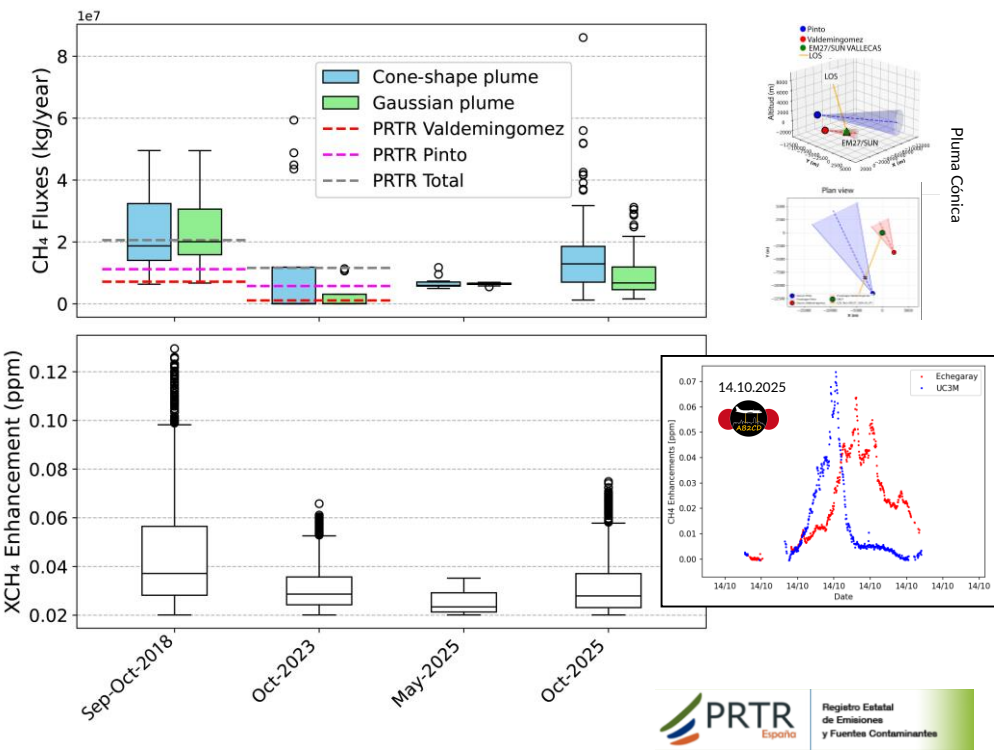
Ejemplo: Plantas Tratamiento RU Madrid

Fuentes de CH₄ con flujos de emisión > 1kt/año (E-PRTR 2019)



Modelos Atmosféricos "Simples"

Balance de Masas, Dispersión de Pluma, Correlación Trazadores





Carencia de Observaciones

Productos Orientados a Usuarios

- Monitorización Atmosférica
- Cal/Val Misiones Satelitales
- Flujos de Emisión – Verificación Inventarios
- Nueva Instrumentación

¡Muchas Gracias!

Omaira García / Carlos Torres
ogarcia@aemet.es / ctorresg@aemet.es

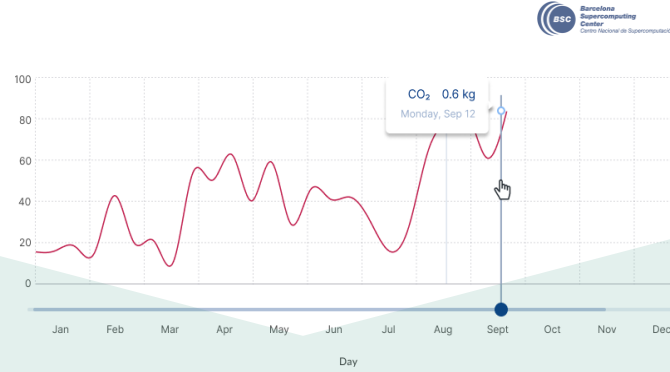
 respire.bsc.es

Four pillars integrating activity-based and observation-based high-resolution CO₂ and CH₄ emissions.

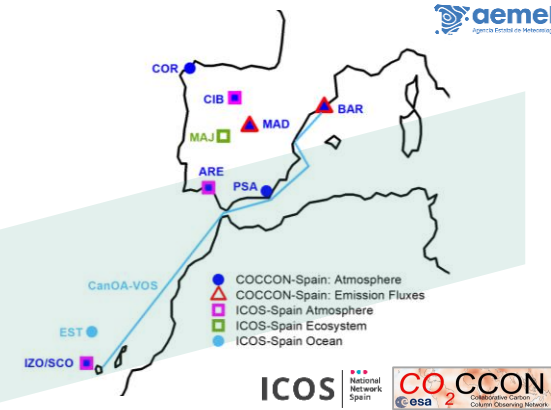
Pillar 1: GHG Emission Maps consistent with official reports



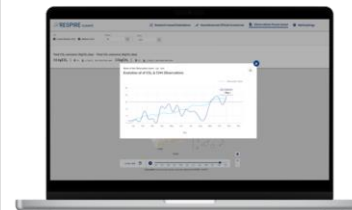
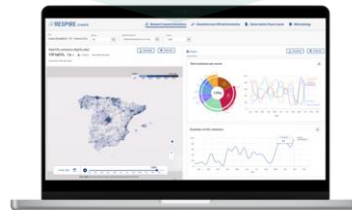
Pillar 2: Low-Latency GHG Emissions Monitoring System



Pillar 3: National GHG Observational Monitoring Network

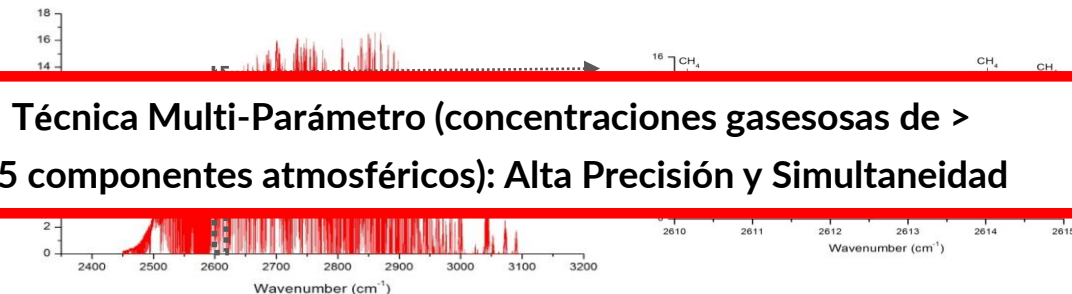


Pillar 4: Web Application





Programa FTIR en el OAI-CIAI desde 1999



FTIR de alta resolución: IFS 125HR



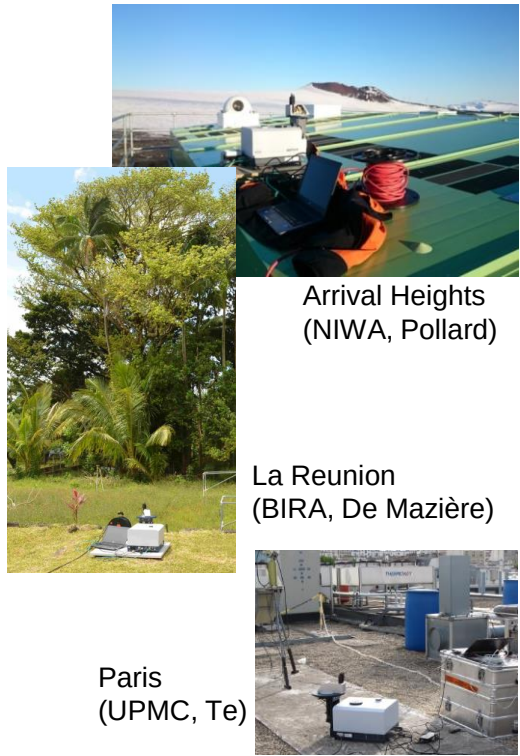
FTIR de baja resolución: EM27/SUN -> COCCON-España



- ✓ Instrumento pasivo
- ✓ Portable y simple operación
- ✓ Bajo coste (100 K€)
- ✓ Baja resolución espectral (@0.5 cm⁻¹)
- ✓ Alta frecuencia temporal (@ 1 min)
- ✓ Alta precisión (CO₂ escalado de 0.995 con TCCON)
- ✓ No calibración absoluta
- ✓ Offset solar!!!

Un rango amplio de Aplicaciones

Validación (TCCON, satélite)



Arrival Heights
(NIWA, Pollard)

La Reunion
(BIRA, De Mazière)

Paris
(UPMC, Te)

Sitios Remotos

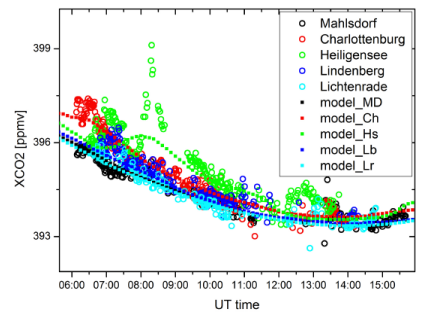
Gobabeb, Namibia



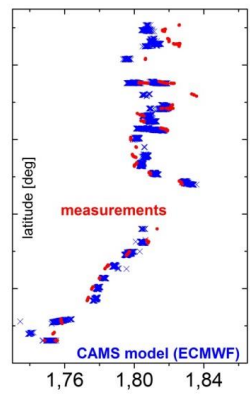
Gadanki, India
(NARL, Gadhavi et al.)



Fuentes locales, gradientes, aplicaciones móviles



Berlin CO₂
outflow



Buque Polarstern
(Klappenbach, Butz)



AB2CD: AirBorne Campaign for Carbon Dioxide

06/10/2025 – 18/10/2025

<https://observations.ipsl.fr/aeris/ab2cd/README.html>



- 4 objetivos: Fos-sur-mer, Bilbao, Barcelona, Madrid
- 3 aircrafts:
 - ATR42 (Picarro, CHARM-F CO₂/CH₄ lidar, LiVe (Wind) Lidar)
 - Gerfaut (Picarro)
 - GHGSat (airborne imager (Spectro-imager CH₄))
- AirCore sonda atmosférica
- 2 COCCON-España EM27/SUN
- Picarro (superficie)

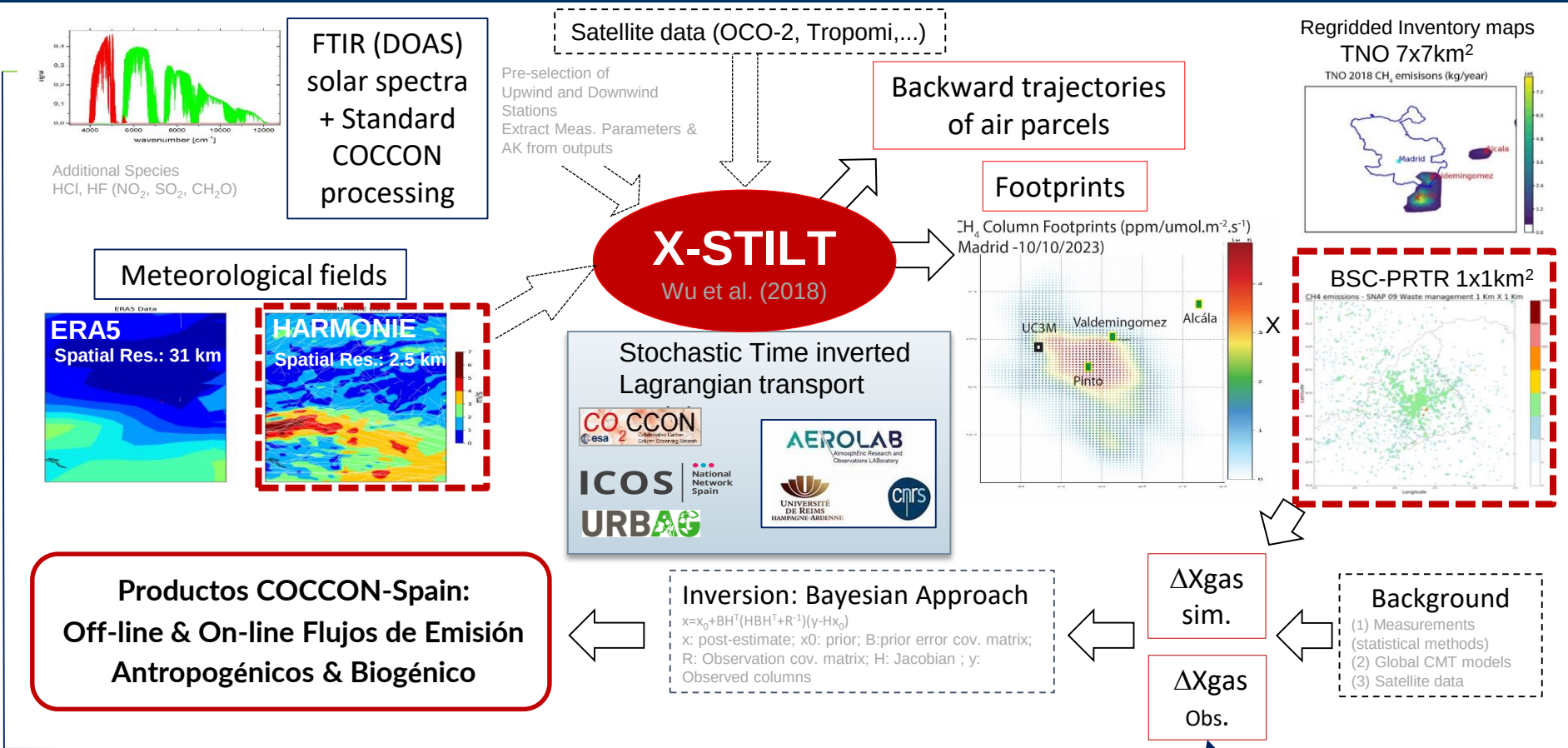


EM27/SUN- UC3M, Madrid



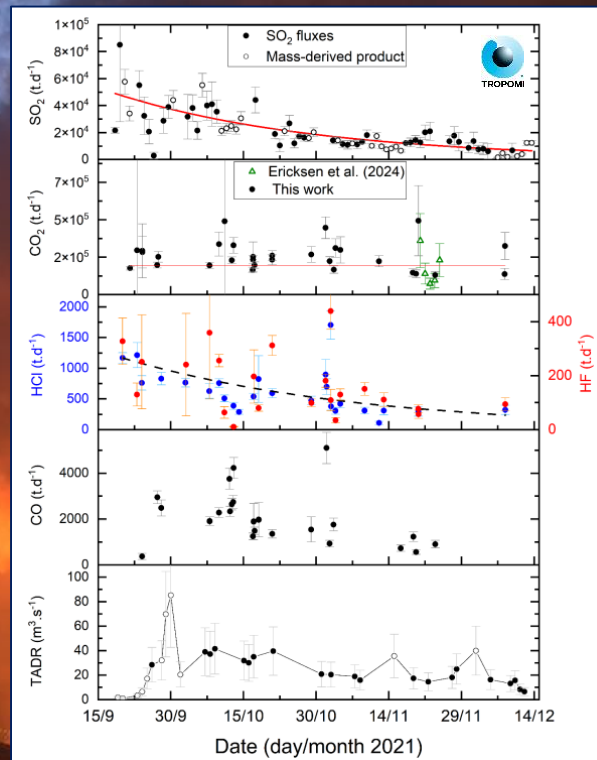
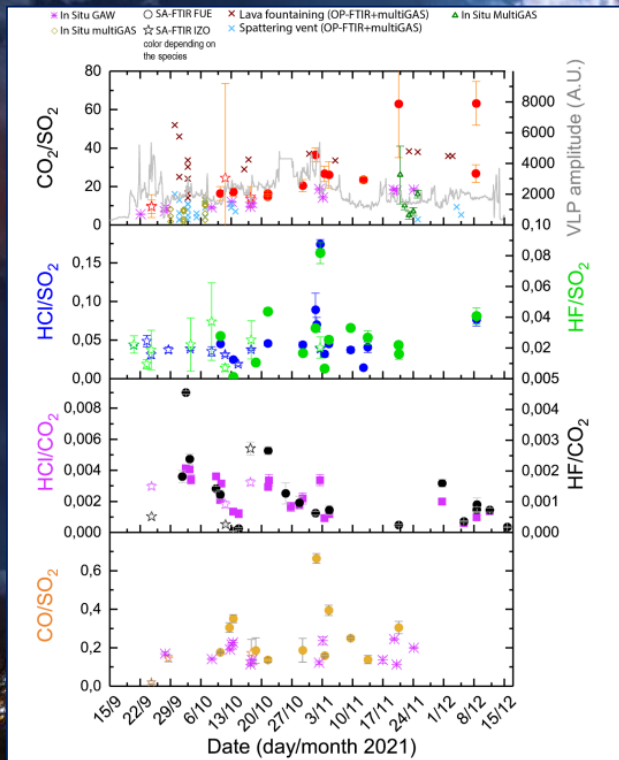
EM27/SUN - Vallecas, Madrid

Testeo de nueva instrumentación CO₂/CH₄
Flujos de emisión top-down (*inverse modelling*)



Hacia una estimación más precisa de los flujos de emisión

Monitorización Vulcanológica: Erupción de La Palma 2021 (Islas Canarias, España)



Apoyo en la toma de decisiones en tiempo real

Caracterización de la composición de la pluma volcánica como proxy de la monitorización y vigilancia vulcanológica e investigación durante crisis volcánicas

Total SO₂ : 1.8±0.2Mt
 Total CO₂ : 19±2 Mt
 Total HCl : 0.05±0.01 Mt
 Total HF : 0.013±0.002 Mt
 Total CO: 0.123±0.005 Mt