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

Omaira E. García, N. Taquet, E. Sepúlveda, R. Ramos, F. Hase, D. Dubravika, C. Alberti, J. Chen, M. Makowski, I. Cabello, V. Carreño, Alcántara, P.P. Rivas, A. Álvarez, V. Carreño, M. Yela, J.A. Adame, G. Villalba-Méndez, R. Curcoll, A. Calle, R. González, P. Martín-Mateos, A. Collado-Rodríguez, J. Alonso-Montesinos, J. Mª Ballestrín-Bolea, M. Guevara, P. Castesana y C. Torres.

Centro de Investigación Atmosférica de Izaña

aemet
Agencia Estatal de Meteorología

PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA

- Monitorización de GEI: Línea Estratégica
- ICOS y COCCON
- COCCON-España
  Overview: [illegible] desarrollos y productos [illegible] ciudadanía

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

Omaira E. García, N. Taquet, E. Sepúlveda, R. Ramos, F. Hase, D. Dubravika, C. Alberti, J. Chen, M. Makowski, I. Cabello, V. Carreño, Alcántara, P.P. Rivas, A. Álvarez, V. Carreño, M. Yela, J.A. Adame, G. Villalba-Méndez, R. Curcoll, A. Calle, R. González, P. Martín-Mateos, A. Collado-Rodríguez, J. Alonso-Montesinos, J. Mª Ballestrín-Bolea, M. Guevara, P. Castesana y C. Torres.

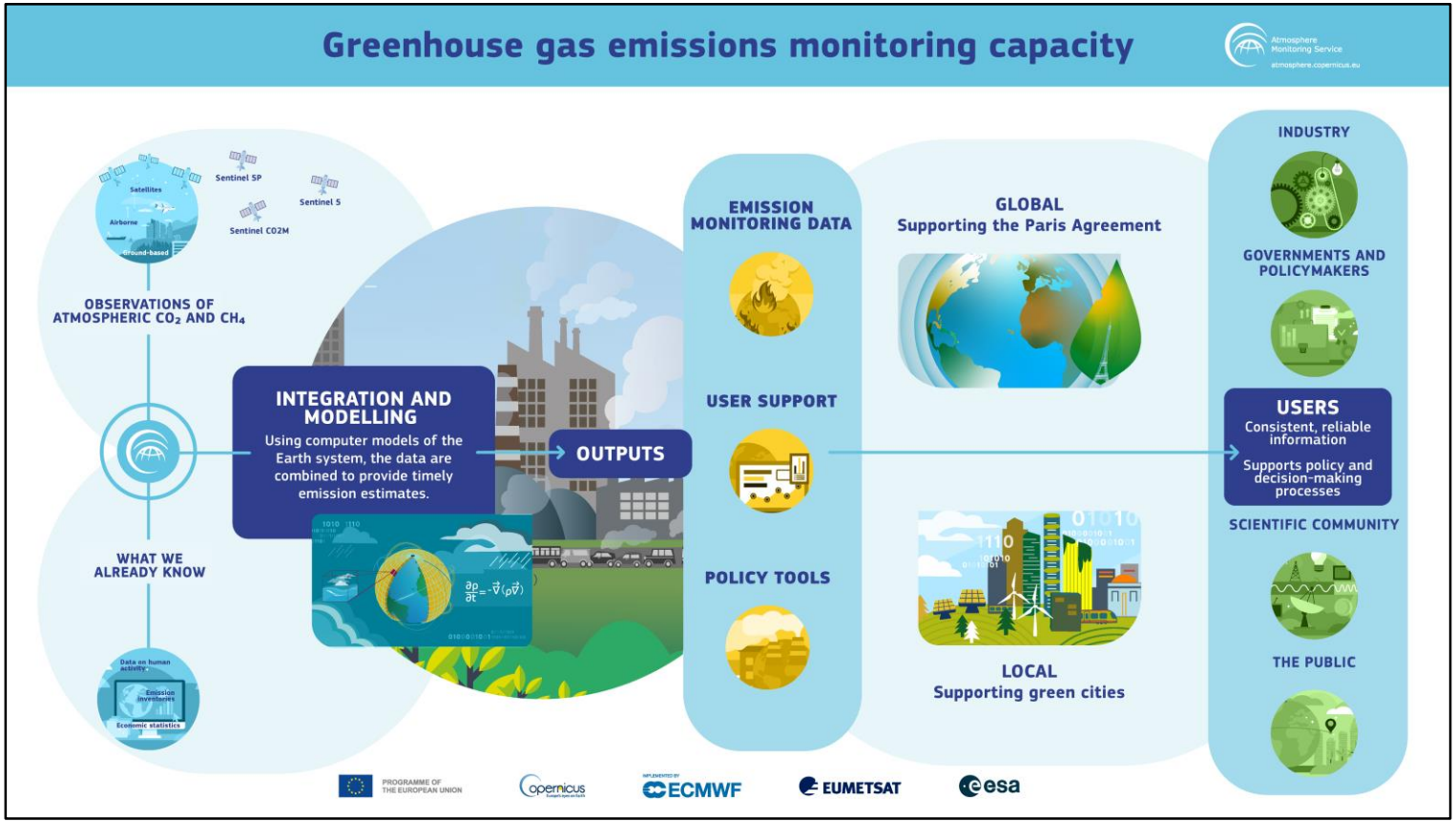
Centro de Investigación Atmosférica de Izaña

aemet
Agencia Estatal de Meteorología

PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA

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

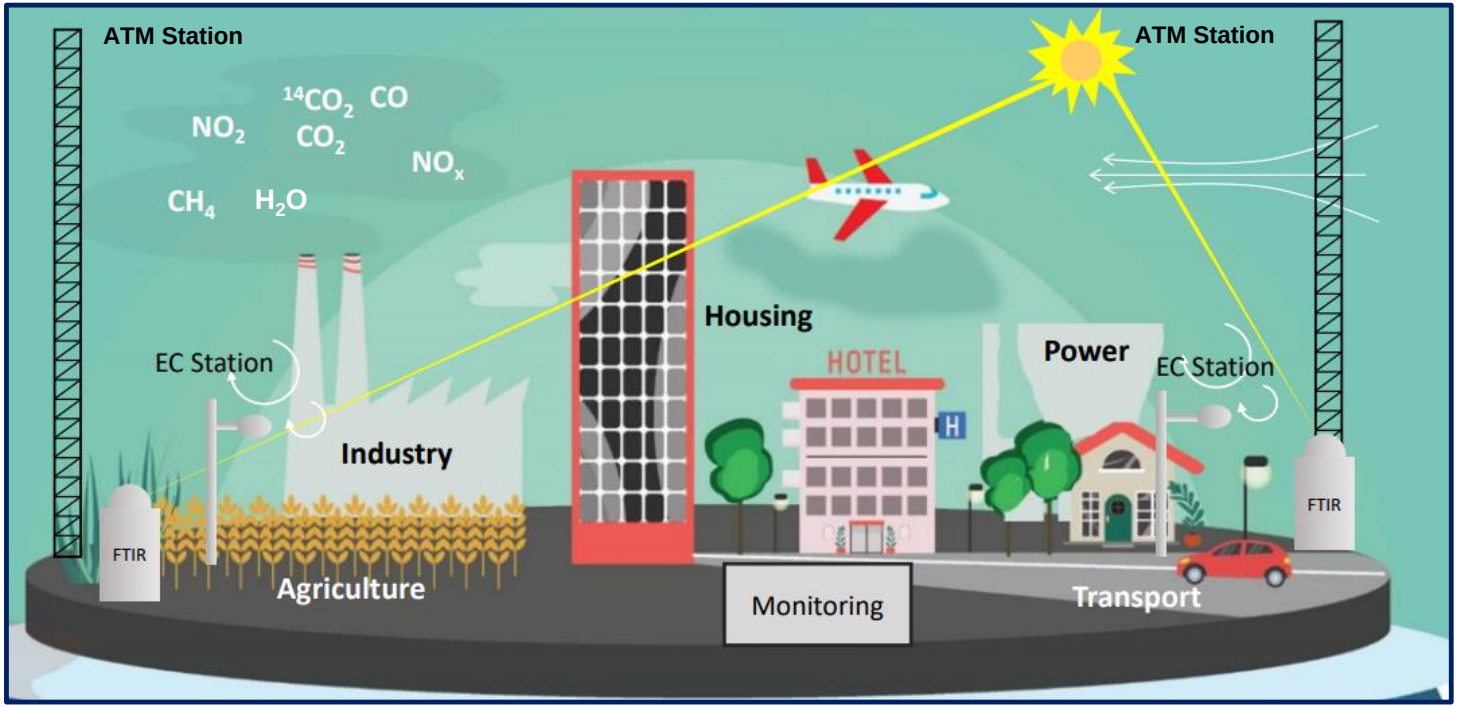
Monitorización de GEI: Línea Estratégica



Integrated Global Greenhouse Gases Information System (IG3IS) – GAW - WMO

IG3IS Integrated Global Greenhouse Gas Information System

Monitorización de GEI Multi-plataforma: Línea Estratégica



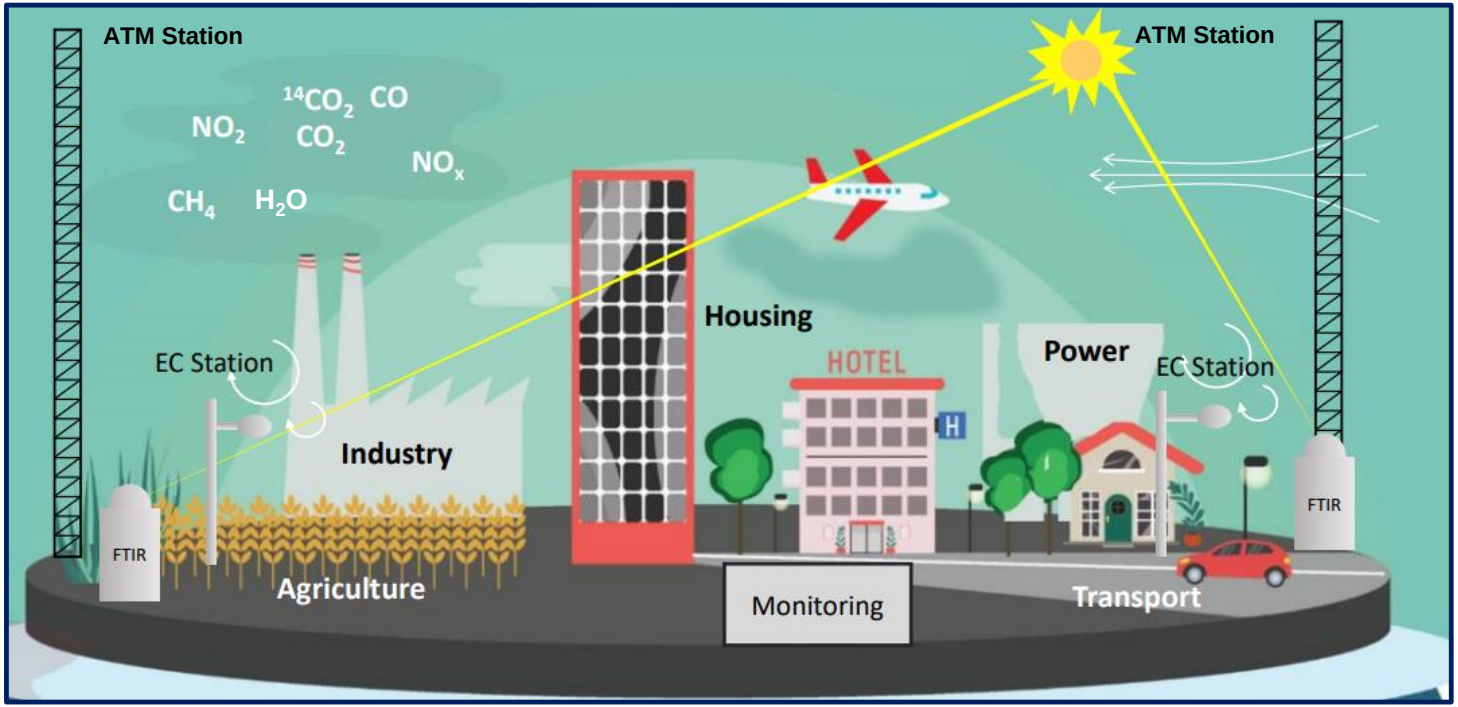
ICOS INTEGRATED CARBON OBSERVATION SYSTEM

Segmento en tierra de CO2MVS
(observaciones in-situ)

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

Funded by the European Union

Monitorización de GEI Multi-plataforma: Línea Estratégica



ICOS INTEGRATED CARBON OBSERVATION SYSTEM

Segmento en tierra de CO2MVS
(observaciones in-situ)

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

CO2 CCON Collaborative Carbon Column Observing Network esa España

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

Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

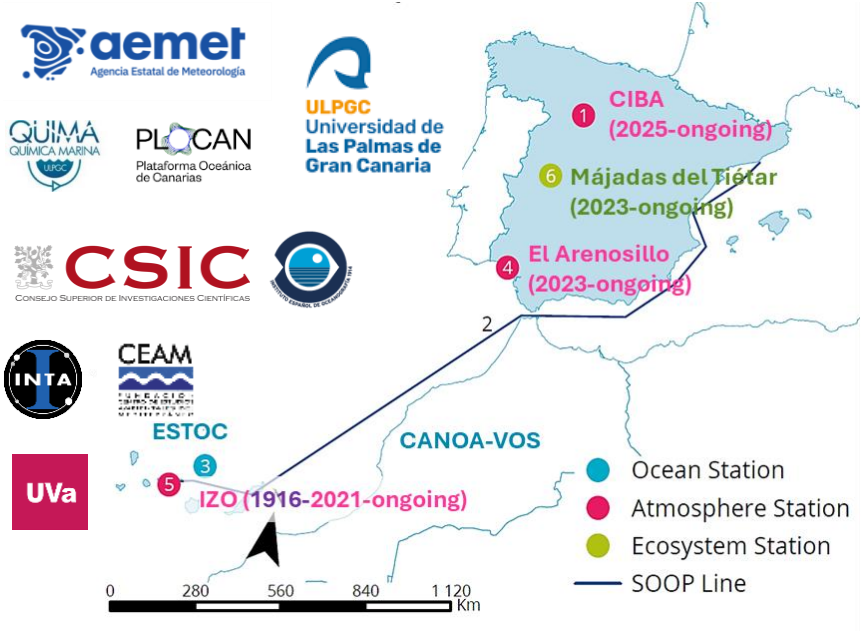
ICOS: ICOS-España

ICOS INTEGRATED CARBON OBSERVATION SYSTEM

ICOS National Network Spain

aemet Agencia Estatal de Meteorología

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES



https://icos-spain.aemet.es

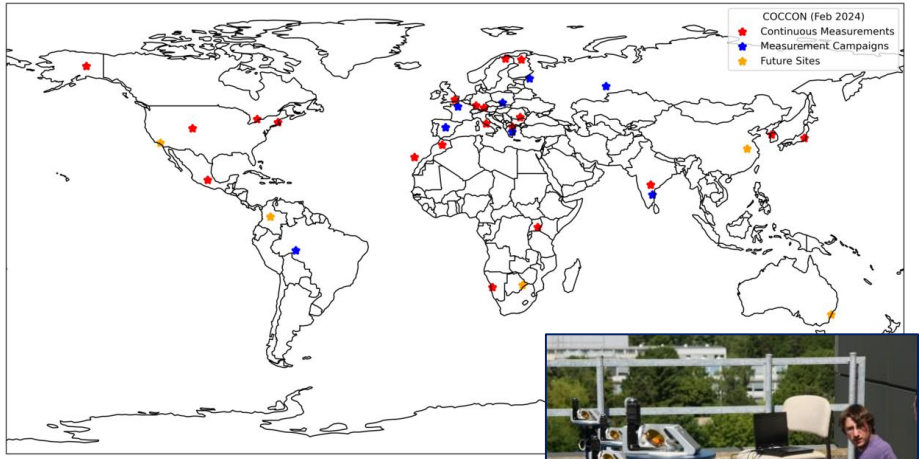
https://izana.aemet.es/

Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

COCCON: COCCON-España

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



Karlsruher Institut für Technologie

BRUKER

Fiducial Reference Measurements for Greenhouse Gases

TUM

BIRA-IASB

esa

CO_2 CCON Collaborative Carbon Column Observing Network

Courtesy F. Hase (KIT)

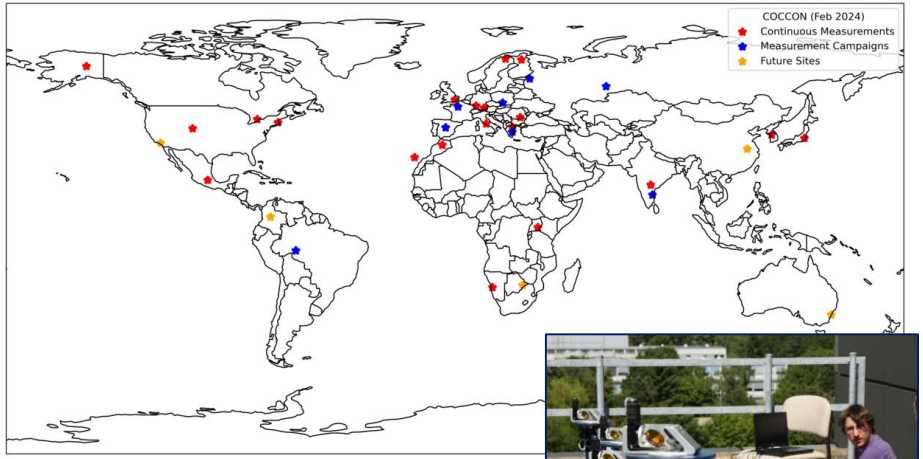
Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

COCCON: COCCON-España

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 estandard 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)



Courtesy F. Hase (KIT)

COCCON-España: Overview

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.

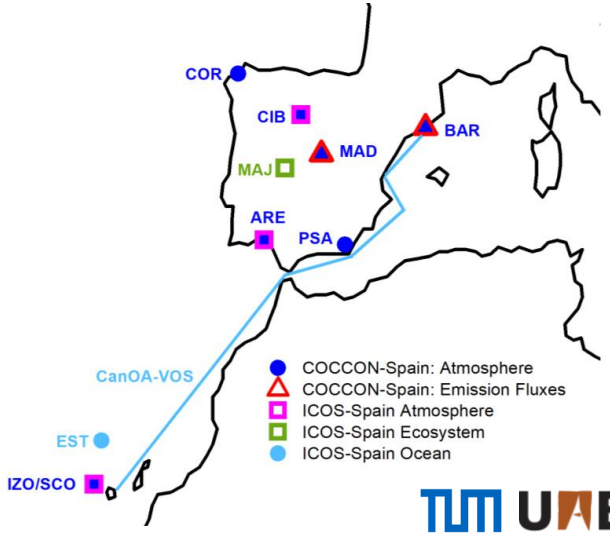
COCCON-España: Overview

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

aemet Agencia Estatal de Meteorología

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): **CO_2, CH_4**, H_2O, CO, (HCl, HF,…) + (NO_x, SO_2, CH_2O, …) + flujos emisión
- Referencia **Observatorio Izaña-AEMet**, con soporte de **KIT y ESA.**
- **Estaciones Híbridas ICOS + COCCON.**

KIT Karlsruher Institut für Technologie · esa · COCCON-OPERA

TUM · UAB · INTA · BSC · Ciemat

PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA

P02.C05.I03.P51.S000.042
P02.C05.I03.P51.S000.043

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-estándard (flujos de emission y trazadores) **->>> RESPIRE** …

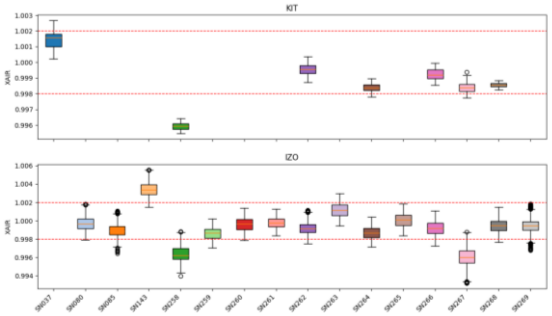
2026/…

- 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, …

Funded by the European Union

COCCON-España: Desarrollos

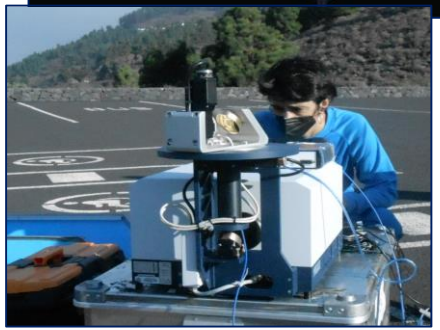
Intercomparación y QC/QA en el KIT y AEMET-IZO



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

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

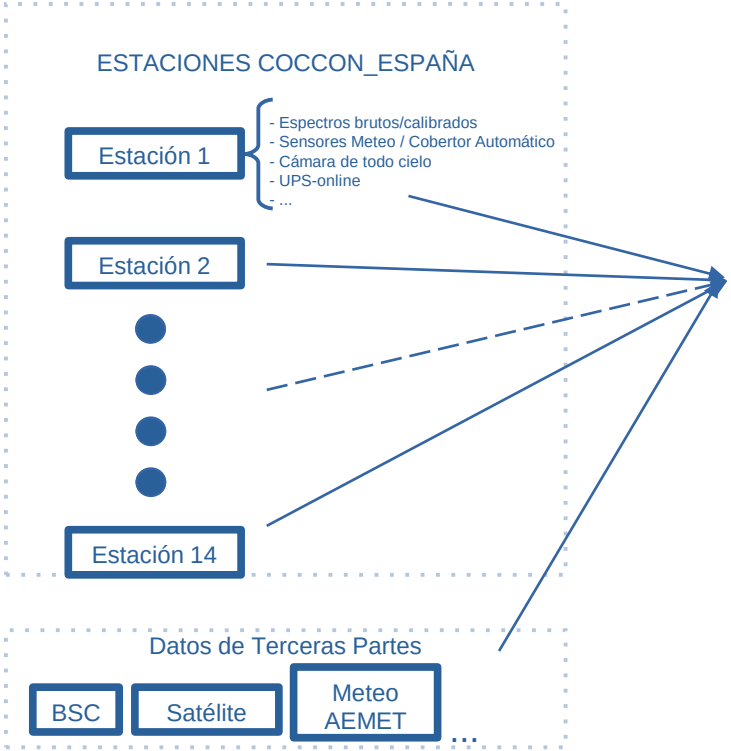
(Erupción volcánica de La Palma 2021)

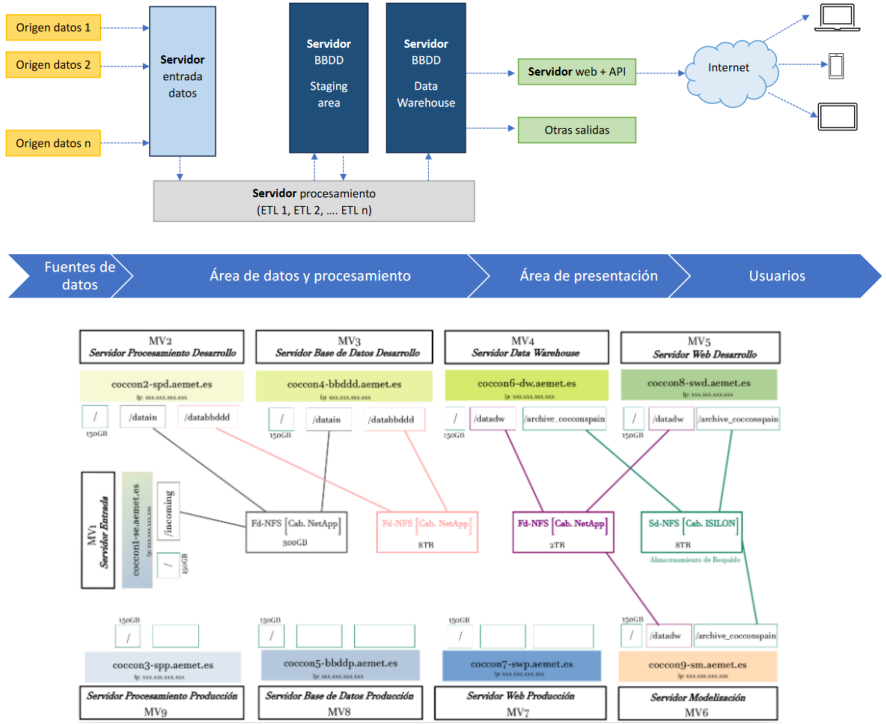


Taquet et al. (2025)

Funded by the European Union

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



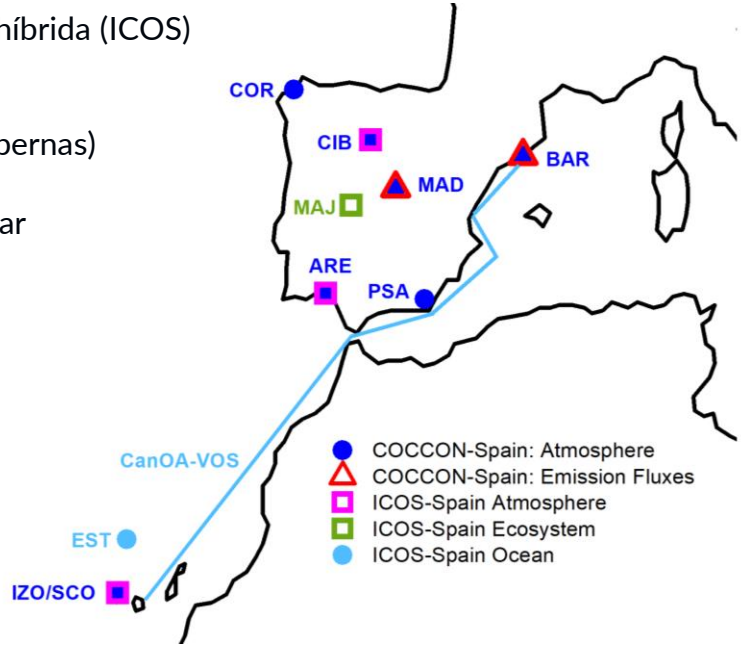


Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

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

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 (Desiérto de Tabernas)
5. UVa CIBA (**CIB**): fondo continental + estación híbrida (ICOS)
6. Delegación AEMET de Galicia (**COR**): bajo albedo superficial + nivel del mar



Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

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

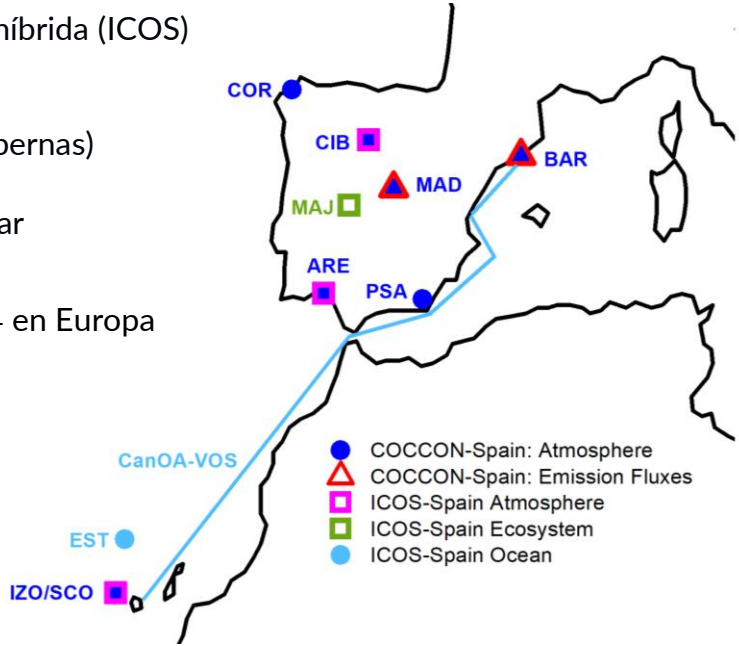
1. **IZO**: alta montaña en la región subtropical del Atlántico Norte + estación híbrida (ICOS)
2. **SCO**: nivel del mar
3. Arenosillo (**ARE**): bajo albedo superficial + estación híbrida (ICOS)
4. Plataforma Solar de Almería (**PSA**): alto albedo superficial (Desiérto de Tabernas)
5. UVa CIBA (**CIB**):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

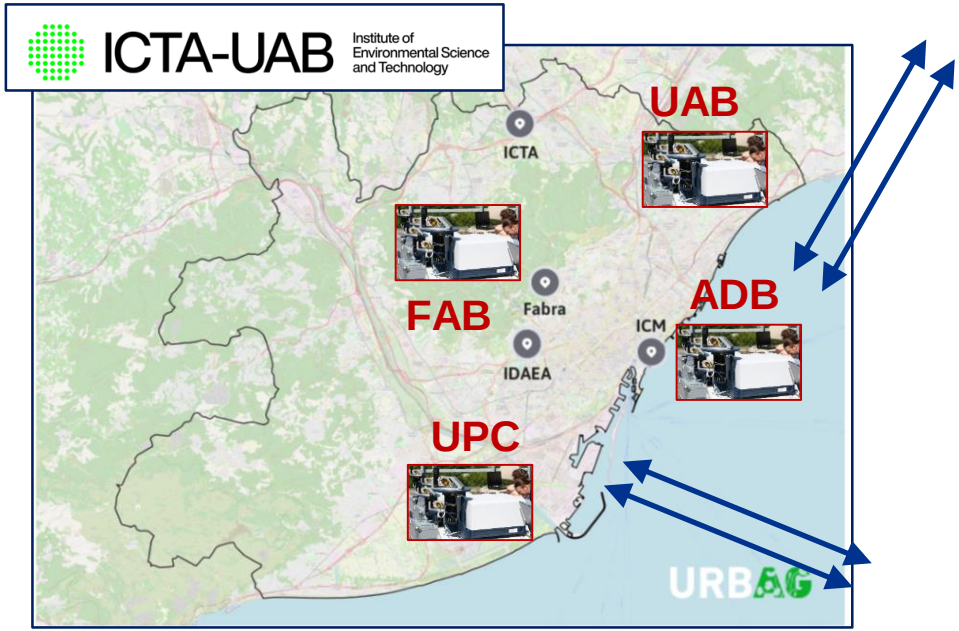
Área Metropolitana de Barcelona (BAR): Emisiones urbanas y puerto

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**)



Funded by the European Union

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

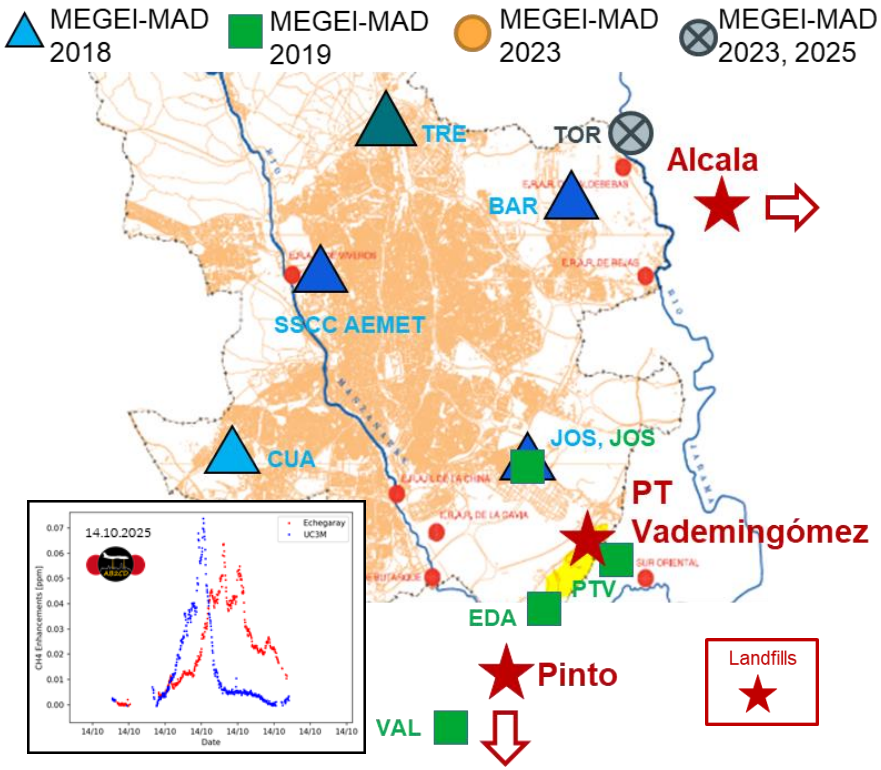


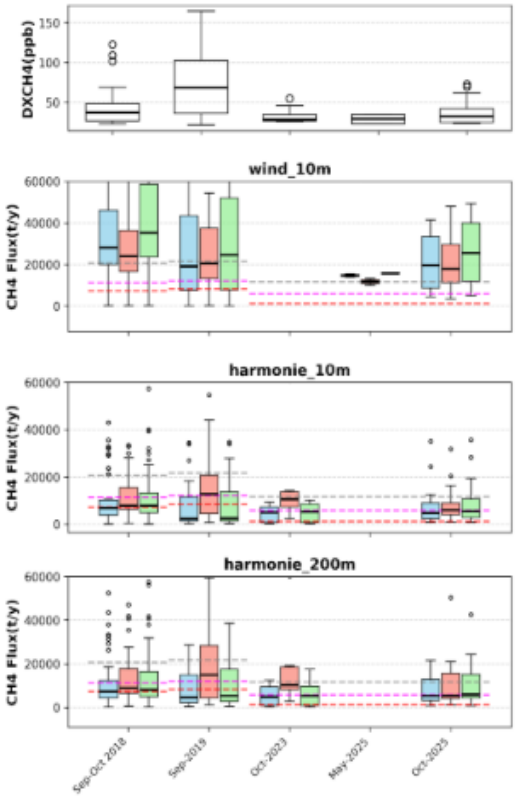
https://urbag.eu/

COCCON-España: Diseño de la Red + Productos Orientados a Usuarios

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

Detección de **Emisiones de CH_4** procedentes de plantas de tratamiento residuos en Madrid + **Emisiones CO_2** + **Configuración COCCON-España**

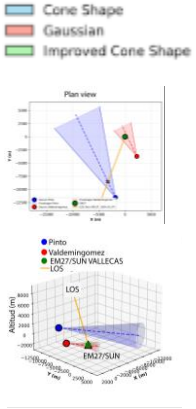




ΔXCH_4 ESA-Tropomi: 0.67 ppm
ΔXCH_4 EM27/Sun Campaigns: +6-8% (max: +0.14 ppm)

ΔXCO_2: +0.4-0.7% (max: 3.0 ppm)
ΔXCO: +13-26% (max: +20 ppb)

Modelos de dispersión simples



Funded by the European Union
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

RESPIRE CLIMATE

New GHG Climate Service in Spain: Integrated Observation System (COCCON-Spain) and GHG Emission system in Spain

WMO | IG3IS Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS)

WMO IG3IS Endorsement en Agosto 2025!!

Funded by the European Union NextGenerationEU
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
aemet Agencia Estatal de Meteorología

Cuatro pilares que integran emisiones de CO_2 y CH_4 de alta resolución basadas en actividades y observaciones

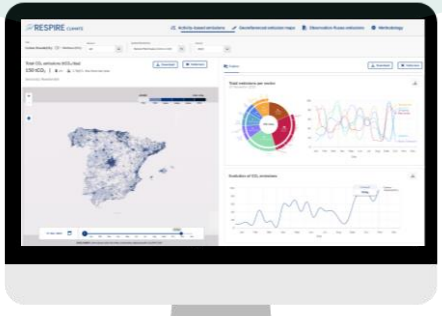
Pilar 1: Mapas de Emissiones de GEI Georeferenciados

Pilar 2: Sistema de Monitorización de Emisiones de GEI de Baja Latencia

Pilar 3: Red Nacional de Monitorización de GEI

Pilar 4: Aplicación Web

https://respire.bsc.es/



Funded by the European Union

Cortesía de M. Guevara (BSC)

Cuatro pilares que integran emisiones de CO_2 y CH_4 de alta resolución basadas en actividades y observaciones

Pilar 1: Mapas de Emissiones de GEI Georeferenciados

Pilar 2: Sistema de Monitorización de Emisiones de GEI de Baja Latencia

Pilar 3: Red Nacional de Monitorización de GEI

- **Información útil sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con la resolución espacial, temporal y sectorial necesaria para evaluar y orientar el progreso hacia los objetivos de reducción.**
- **Herramientas accesibles para apoyar a la administración pública, la comunidad científica, entidades privadas y ciudadanos.**

https://respire.bsc.es/

Cortesía de M. Guevara (BSC)

Funded by the European Union

COCCON-España: Para terminar…

Carencia de Observaciones

Productos Orientados a Usuarios

Monitorización Atmosférica

Cal/Val Misiones Satelitales y Modelización

Flujos de Emisión – Verificación Inventarios

Nueva Instrumentación

Funded by the European Union

aemet
Agencia Estatal de Meteorología

¡Muchas Gracias!

ogarciar@aemet.es

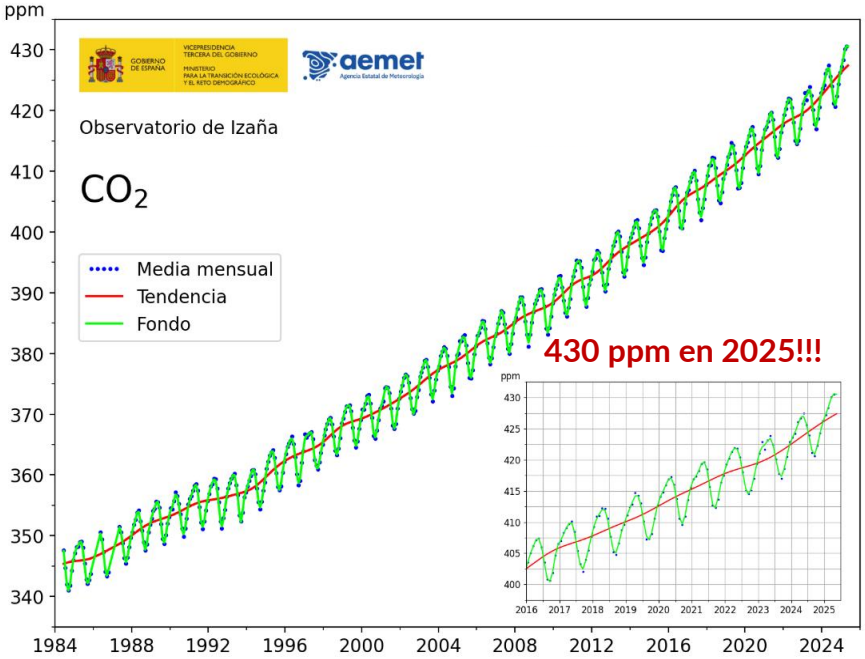
VAG-OMM: Observatorio de Izaña

GLOBAL ATMOSPHERE WATCH

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL

Vigilancia sistemática de la evolución de la composición atmosférica

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



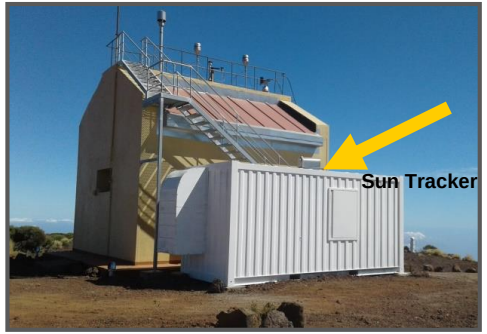
Funded by the European Union

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

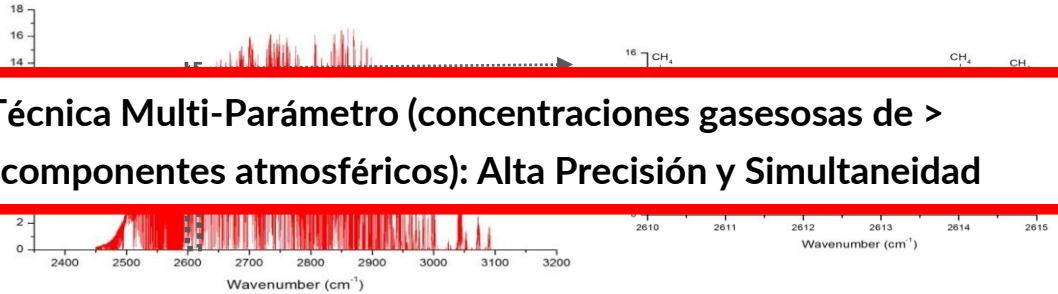
aemet Agencia Estatal de Meteorología

Barcelona Supercomputing Center

COCCON-España: Instrumentación



Programa FTIR en el OAI-CIAI desde 1999



Técnica Multi-Parámetro (concentraciones gasesosas de > 25 componentes atmosféricos): Alta Precisión y Simultaneidad

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 spectral (@0.5 cm^{-1})
- ✓ Alta frecuencia temporal (@ 1 min)
- ✓ Alta precisión (CO_2 escalado de 0.995 con TCCON)
- ✓ No calibración absoluta
- ✓ **Offset solar!!!**

Funded by the European Union

COCCON: COCCON-España

Un rango amplio de Aplicaciones

Validación (TCCON, satéllite)

Arrival Heights
(NIWA, Pollard)

La Reunion
(BIRA, De Mazière)

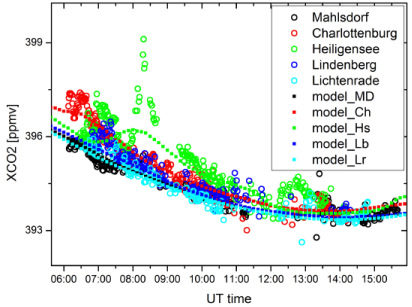
Paris
(UPMC, Te)

Sitios Remotos

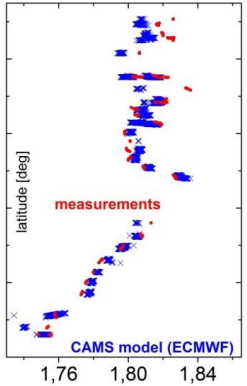
Gobabeb, Namibia

Gadanki, India
(NARL, Gadhavi et al.)

Fuentes locales, gradientes, aplicaciones móviles



Berlin CO_2 outflow



Buque Polarstern
(Klappenbach, Butz)

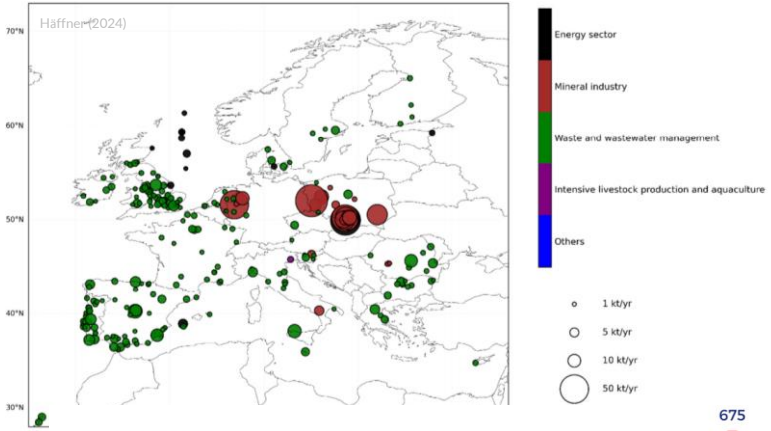
Courtesy F. Hase (KIT)

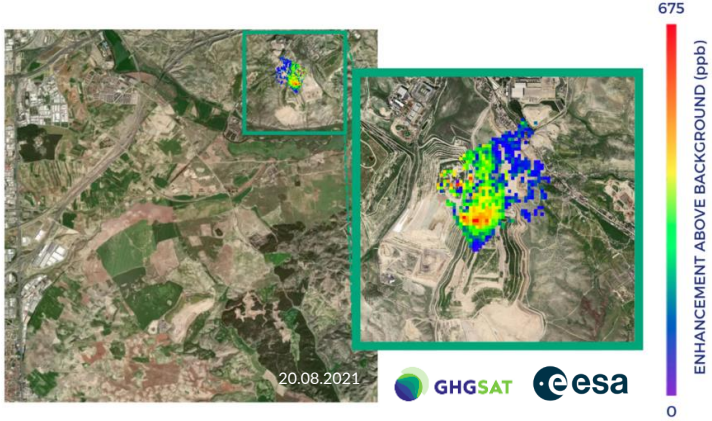
Funded by the European Union

COCCON-España: Productos Orientados a Usuarios

Ejemplo: Plantas Tratamiento RU Madrid

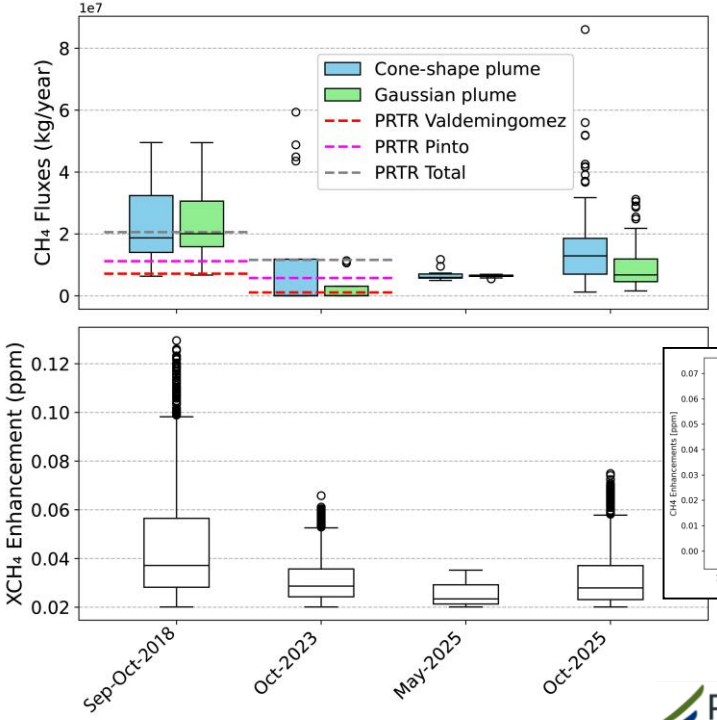
Fuentes de CH_4 con flujos de emisión > 1kt/año (**E-PRTR 2019**)

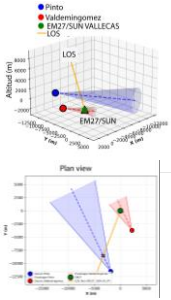




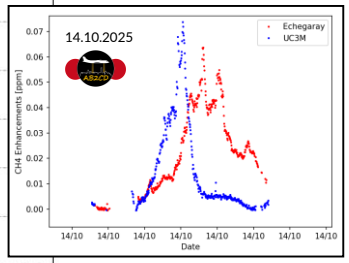
Modelos Atmosféricos "Simples"

Balance de Masas, Dispersión de Pluma, Correlación Trazadores



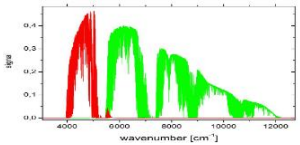


Pluma Cónica



PRTR España — Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

COCCON-España: Productos Orientados a Usuarios



Additional Species
HCl, HF (NO_2, SO_2, CH_2O)

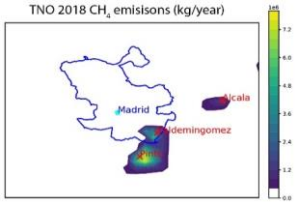
FTIR (DOAS) solar spectra + Standard COCCON processing

Satellite data (OCO-2, Tropomi,...)

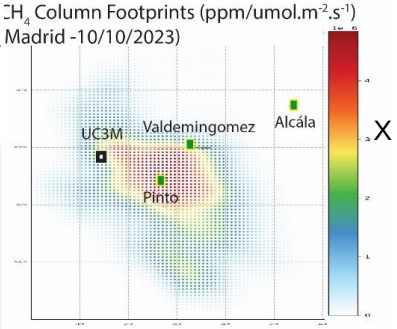
Pre-selection of Upwind and Downwind Stations
Extract Meas. Parameters & AK from outputs

Backward trajectories of air parcels

Regridded Inventory maps
TNO 7x7km²

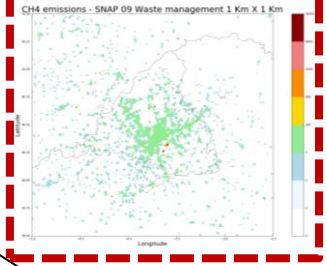


Footprints

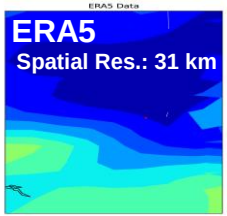


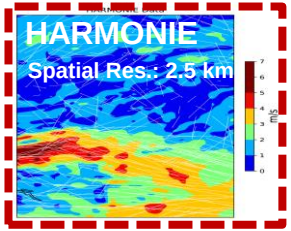
X

BSC-PRTR 1x1km²



Meteorological fields





X-STILT
Wu et al. (2018)

Stochastic Time inverted Lagrangian transport

CO2 COCCON
ICOS National Network Spain
URBAG
AEROLAB
Université de Reims Champagne-Ardenne
CNRS

ΔXgas sim.

ΔXgas Obs.

Background
(1) Measurements (statistical methods)
(2) Global CMT models
(3) Satellite data

Inversion: Bayesian Approach
$x=x_0+BH^T(HBH^T+R^{-1})(y-Hx_0)$
x: post-estimate; x0: prior; B:prior error cov. matrix; R: Observation cov. matrix; H: Jacobian ; y: Observed columns

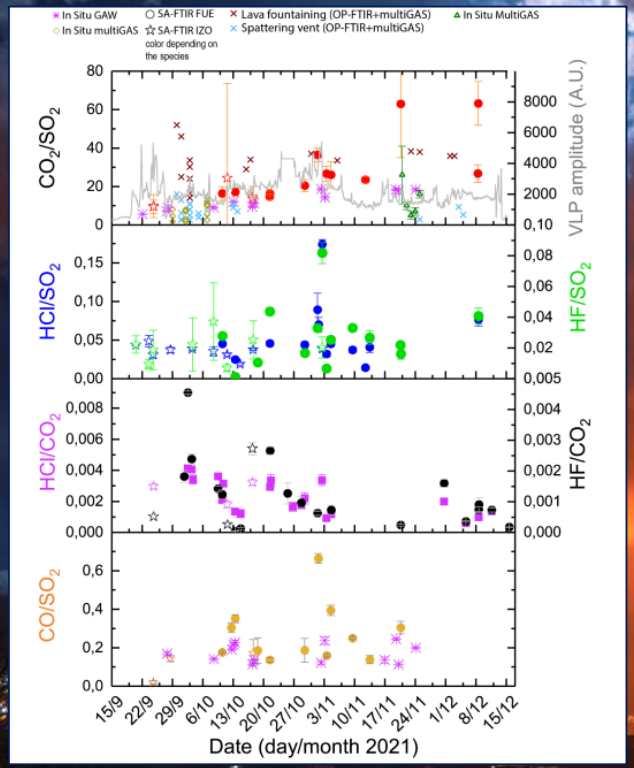
Productos COCCON-Spain:
Off-line & On-line Flujos de Emisión Antropogénicos & Biogénico

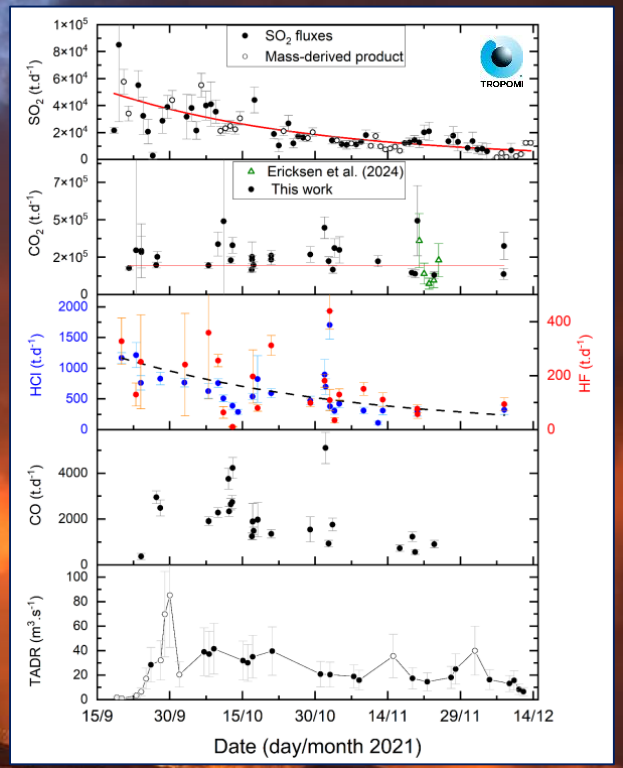
Hacia una estimación más precisa de los flujos de emisión

Funded by the European Union
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
aemet Agencia Estatal de Meteorología
BSC Barcelona Supercomputing Center

COCCON-España: Productos Orientados a Usuarios

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 SO_2 : 1.8±0.2Mt
Total CO_2 : 19±2 Mt
Total HCl : 0.05±0.01 Mt
Total HF : 0.013±0.002 Mt
Total CO: 0.123±0.005 Mt

[Burton et al., (2023); Erikson et al., (2024); Taquet et al., (2025)]