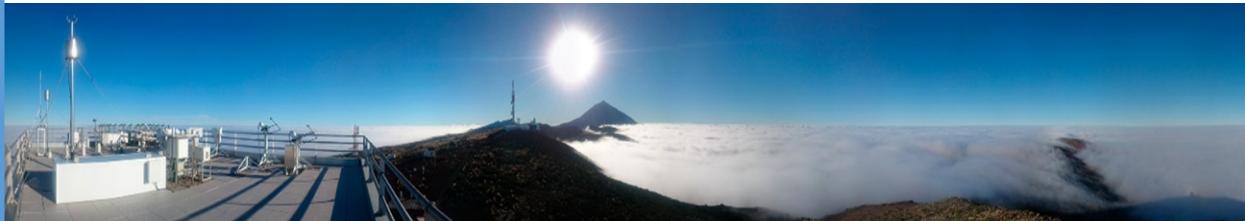


INFORME DE ACTIVIDADES

ICOS-ESPAÑA

2021 - 2022



Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



Citar como:

Cuevas, E., García, O.E., León-Luis, S.F., González-Dávila, M., Adame, J.A., Carrara, A., Vélez-Belchí, P., Delory, E., Rivas-Soriano, P.P., Villalba-Méndez, G., Barreto, A., Curcoll, R., Yela, M. y González-González, A. Informe Actividades ICOS-España 2021-2022 (Ed. García, O.E., León-Luis, S.F y González-Dávila, M), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid, España, NIPO: 666-23-011-9, <https://doi.org/10.31978/666-23-011-9>, 2023.

Para más información, contactar con:

Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI)
Calle La Marina, 20.
Santa Cruz de Tenerife
Tenerife, 38001, España
Tel: +34 922 151 718
Fax: +34 922 574 475
E-mail: ciai@aemet.es
<https://izana.aemet.es>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)
Calle Leonardo Prieto Castro, 8
Ciudad Universitaria
28071, Madrid, España
www.aemet.es

NIPO: 666-23-011-9
<https://doi.org/10.31978/666-23-011-9>

INFORME DE ACTIVIDADES ICOS-ESPAÑA 2021-2022

Elaborado por:

E. Cuevas¹, O.E. García¹, S.F. León-Luis², M. González-Dávila³, J.A. Adame⁴, A. Carrara⁵, P. Vélez-Belchí⁶, E. Delory⁷, P.P. Rivas-Soriano¹, G. Villalba-Mendez⁸, A. Barreto¹, R. Curcoll⁸, M. Yela⁹ y A. González-González²

Editores:

O.E. García¹, S.F. León-Luis² y Melchor González-Dávila³

¹Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Santa Cruz de Tenerife, España.

²TRAGSATEC, Madrid, España.

³Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), Las Palmas de Gran Canaria, España.

⁴Estación de Sondeos Atmosféricos – El Arenosillo. Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Mazagón-Huelva, España.

⁵Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), Valencia, España.

⁶Centro Oceanográfico de Canarias, Instituto Español Oceanografía-Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IEO-CSIC), Santa Cruz de Tenerife, España.

⁷Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN), Telde, España.

⁸Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB), Barcelona, España.

⁹Área de Instrumentación e Investigación Atmosférica, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Torrejón de Ardoz-Madrid, España.



Página en blanco intencionadamente

Contenido

Resumen Ejecutivo	I
1 ICOS-ERIC	1
2 ICOS-España.....	4
2.1 Asamblea General ICOS-ERIC en Madrid.....	5
3 Antecedentes e Implementación de ICOS-España	7
3.1 Izaña - AEMET	7
3.2 CanOA SOOP – ULPGC.....	9
3.3 El Arenosillo – INTA	11
3.4 Majadas de Tiétar – CEAM.....	13
3.5 ESTOC-PLOCAN, IEO-CSIC y ULPGC	15
4 Proyectos Científico – Técnicos.....	17
4.1 Recopilación de Datos de Observación de ICOS-ERIC	17
4.1.1 European CO ₂ y CH ₄ Obspack.....	17
4.1.2 Warm Winter 2020.....	17
4.2 Proyectos de Investigación en el contexto de ICOS-ERIC.....	17
4.2.1 ICOS Cities – Barcelona	17
4.2.2 Proyecto KADI.....	18
4.2.3 Proyecto GEORGE	18
5 Difusión de Actividades de ICOS-España.....	19
5.1 Portal Web y Redes Sociales	19
5.2 Promoción de la investigación de las Estaciones Atmosféricas ICOS-España.....	20
5.3 Publicaciones y Congresos	21
5.4 Actividades de Formación y Divulgación en el Ámbito Educativo.....	23
6 Lista de Miembros de ICOS-España	24
6.1 Delegados en la Asamblea General de ICOS-ERIC	24
6.2 Estación Atmosférica de Izaña	24
6.3 Estación Atmosférica de El Arenosillo.....	24
6.4 Estación Oceánica CanOA SOOP Line.....	24
6.5 Estación Oceánica ESTOC.....	24
6.6 Estación Asociada Ecosistemas Majadas de Tiétar	24
6.7 ICOS Cities Project.	24
6.8 ICOS KADI.....	25
7 Referencias.....	26
8 Lista de Acrónimos	28

Página en blanco intencionadamente

Resumen Ejecutivo

El presente informe resume el estado actual de la contribución española dentro del Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europeas del Sistema Integrado de Observación del Carbono (ICOS-ERIC).

España se unió oficialmente a ICOS-ERIC en el año 2021, después de que su solicitud de adhesión fuera aprobada por su Asamblea General en noviembre de 2020. En la actualidad, la red nacional ICOS-España está compuesta por el grupo Química Marina (QUIMA) del Instituto de Oceanografía y Cambio Climático (IOCG) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), la Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN), el Instituto Español de Oceanografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IEO-CSIC), el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). El Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN), a través de la Subdirección General de Internacionalización de la Ciencia y la Innovación, ostenta la representación de España ante ICOS-ERIC, y mediante un convenio bilateral con AEMET cede a esta institución la coordinación técnica de ICOS-España, y el pago de las correspondientes cuotas para que España disponga de voz y voto en las Asambleas Generales de ICOS-ERIC.

En el periodo 2021-2022, el nodo nacional ha experimentado un notable aumento en el número de estaciones pasando de dos a cinco localizaciones. Esta expansión fortalece la capacidad de ICOS-España para realizar observaciones y recopilar datos sobre los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes en diferentes zonas del país. Además, las estaciones del nodo nacional abarcan los tres dominios de observación: el atmosférico, el oceánico y el de ecosistemas, donde ICOS-ERIC monitoriza los GEI y estudia su relación con el cambio climático.

En diciembre de 2022, estos cinco emplazamientos estaban realizando el proceso de certificación establecido por ICOS-ERIC, donde se verifica que cumplen los exigentes requisitos técnicos de la red para cada dominio y donde se tiene en cuenta tanto la ubicación y el entorno de las estaciones como que los instrumentos utilizados alcanzan los estándares establecidos por ICOS-ERIC. En el momento de redactar este informe, el Observatorio de Izaña ha conseguido finalizar con éxito este proceso de certificación y se ha integrado plenamente dentro de ICOS-ERIC. Por otra parte, la plataforma de observación oceánica en superficie CanOA-SOOP espera finalizarlo en los próximos meses. La estación atmosférica de El Arenosillo ha concluido con éxito la evaluación sobre la idoneidad de su localización y ha iniciado el proceso para certificar su instrumentación y sistema de muestreo. Por último, la estación asociada de ecosistemas de Majadas de Tiétar, y la plataforma oceánica ESTOC han sido admitidas en ICOS-ERIC en 2022 e iniciaran su proceso de certificación durante 2023.

Paralelamente, ICOS-ERIC desarrolla proyectos de investigación con financiación europea donde hay una destacada participación de investigadores e instituciones españolas. Así, el proyecto ICOS Cities HORIZON 2020, donde participa la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), realiza observaciones sobre emisiones de GEI en áreas urbanas, siendo Barcelona la única ciudad española seleccionada junto con otras urbes europeas para su monitorización en este proyecto. Por otra parte, el proyecto GEORGE HORIZON 2020 (*Next Generation Multiplatform Ocean Observing Technologies for Research Infrastructures*) busca mejorar las observaciones marinas en términos de calidad, cobertura y continuidad mediante el desarrollo de tecnologías novedosas, en particular, sensores autónomos. En este proyecto participan la ULPGC, la PLOCAN, la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), el Consorcio para el Diseño, Construcción, Equipamiento y Explotación del Sistema de Observación Costero de Las Illes Balears (SOCIB), y OCEOMIC Marine Bio and Technology SLm. Por último, ICOS-ERIC coordina el proyecto KADI (*Knowledge and Climate Services from an African Observation and Data Research Infrastructure*), con participación de 16 socios africanos y europeos, entre ellos, AEMET. Este proyecto proporcionará nuevos conceptos para desarrollar servicios climáticos adaptados para África, necesarios para intensificar nuestra acción conjunta.

Página en blanco intencionadamente

1 ICOS-ERIC

El Sistema Integrado de Observación del Carbono (**ICOS**) es un Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europeas (**ERIC**) sobre gases de efecto invernadero (GEI) financiado por la Unión Europea y los países socios. ICOS-ERIC surgió en 2015 con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre el sistema Tierra-atmósfera y su respuesta frente al cambio climático, para avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y los Retos Sociales de la Unión Europea, especialmente, los relativos al calentamiento global. Para ello, esta infraestructura proporciona datos públicos de GEI y ciclo del carbono obtenidos con los mismos estándares técnicos y científicos de 173 estaciones de medida distribuidas por el continente europeo y océanos adyacentes. Las estaciones que integran ICOS-ERIC se organizan en nodos nacionales, existiendo actualmente 16 redes: Alemania, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Italia, Noruega, Suecia, Suiza, Reino Unido, República Checa y España (ver **Figura 1**).

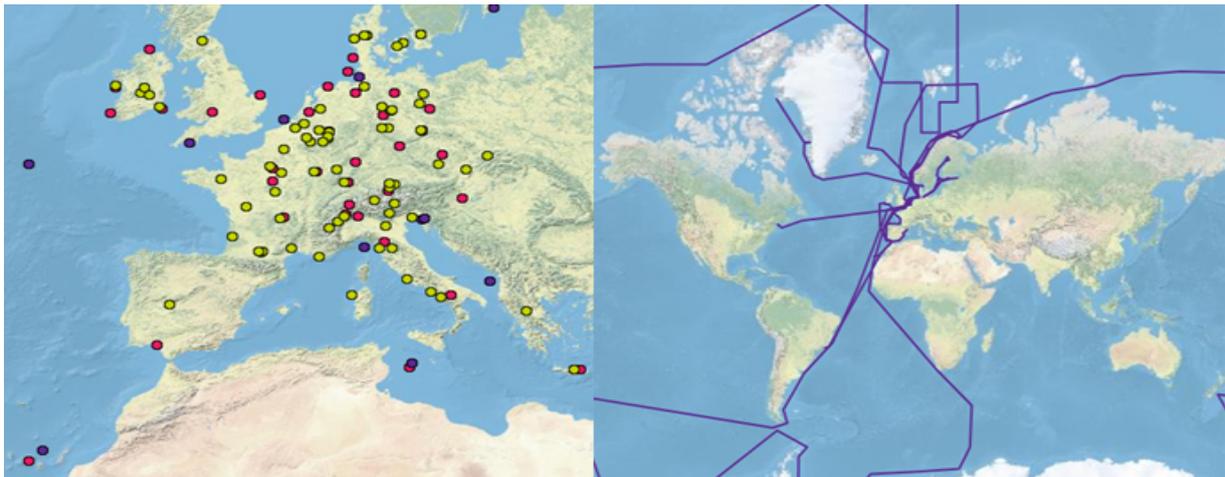


Figura 1. Mapa de las estaciones ICOS-ERIC: atmosféricas (magenta), ecosistemas (verde) y oceánicas boyas y líneas marítimas (violeta). Fuente: ICOS-ERIC, www.icos-cp.eu.

Estructuralmente, ICOS-ERIC abarca y diferencia tres dominios de trabajo: atmósfera, ecosistemas y océanos (ver **Figura 2**). En cada dominio, se han establecidos una serie de variables¹ requeridas a medir por las estaciones de la red, que van desde las concentraciones atmosféricas de diferentes GEI, o bien, los flujos de carbono intercambiados entre la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos, además de información complementaria para su posterior análisis. Las estaciones atmosféricas, oceánicas y de ecosistemas se clasifican en Clase 1 o Clase 2, dependiendo de si monitorizan todas o parte de las variables establecidas, respectivamente. No obstante, se aplica el mismo control de calidad para los datos en ambas clases. La red de ecosistemas se complementa con un conjunto de estaciones asociadas, con menores requisitos sobre las variables a medir y frecuencia de muestreo.

La incorporación de una nueva estación comienza con la solicitud oficial realizada por el punto focal a la sede central de ICOS-ERIC. Una vez aceptada, se inicia el proceso de certificación, que se divide en dos etapas:

1. Validar que la estación está ubicada en una zona de interés científico.
2. Certificar que su instrumentación cumple los requisitos de precisión establecidos.

¹ Variables a monitorizar en función del dominio de la estación.
Atmosférico: <https://icos-atc.lscce.ipsl.fr/documents>
Ecosistema: <http://www.icos-etc.eu/icos/documents/instructions>
Oceánico: <https://otc.icos-cp.eu/documents>

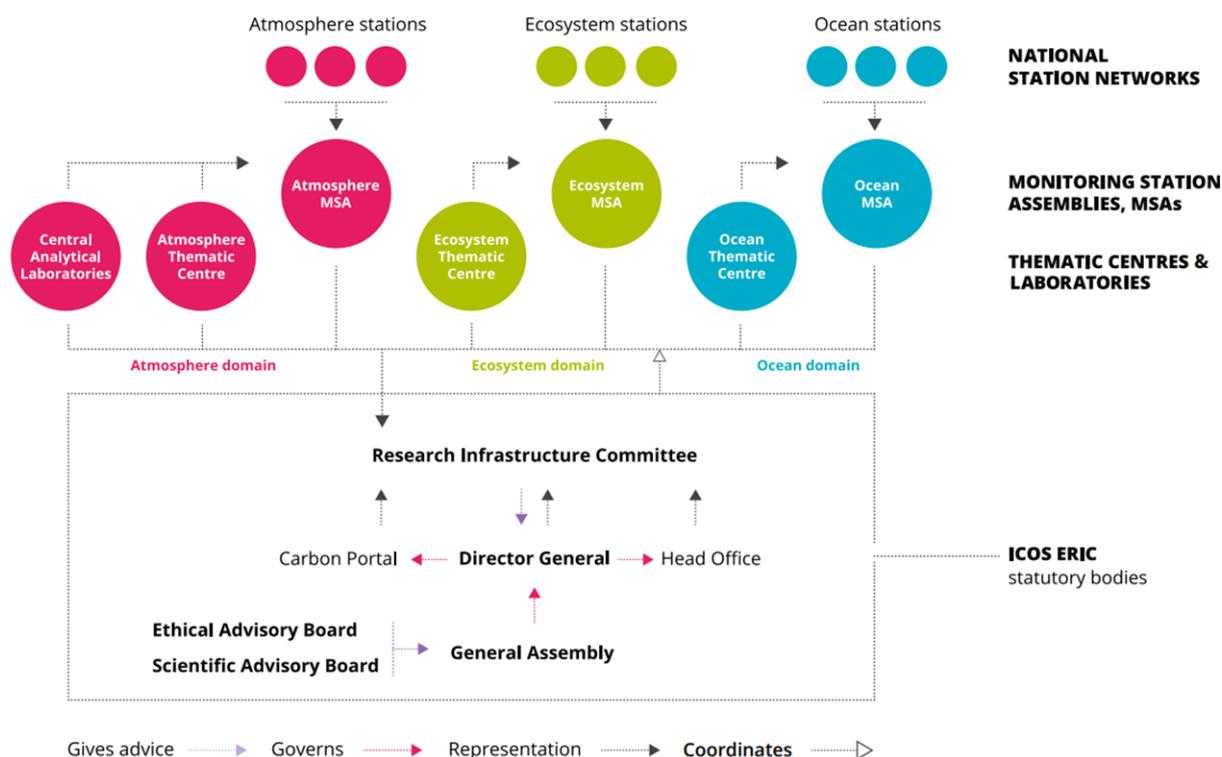


Figura 2. Estructura organizativa y de investigación de ICOS-ERIC. Fuente: ICOS-ERIC, www.icos-cp.eu.

Los anteriores pasos son verificados por los respectivos centros temáticos. En ICOS-ERIC, cada dominio cuenta con un centro temático que da apoyo técnico a las estaciones y sus investigadores durante el proceso de certificación, incluyendo la revisión técnica de su instrumentación y verificando que los investigadores aplican correctamente el control de calidad sobre sus datos, que posteriormente se integrarán en la base de datos de acceso público (Carbon-Portal).

Cada centro temático en estrecha colaboración con su Asamblea de Estaciones de monitorización (MSA) de cada dominio y los Laboratorios Analíticos Centrales (CAL), coordina las observaciones en cada área. El centro temático de atmósfera (ATC) está compuesto por un centro de datos y un laboratorio de metrología y se complementa con un laboratorio móvil de control de calidad de las estaciones. El ATC está coordinado y gestionado por el *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement* (LSCE) de Francia, con el apoyo del *Finnish Meteorological Institute* (FMI). El Centro Temático de Ecosistemas (ETC) está coordinado y gestionado por *EuroMediterranean Centre on Climate Change* (CMCC) en colaboración con la *University of Tuscia* (UNITUS) en Viterbo, Italia, el grupo de investigación *Plants and Ecosystems* (PLECO) de la *University of Antwerp* de Bélgica y el *National Research Institute for Agriculture, Food and Environment* (INRAE) de Francia. Por otra parte, el Centro Temático Oceánico (OTC) está coordinado y operado por el *Norwegian Research Centre* (NORCE) y la *University of Bergen* (UIB) en Noruega, y la *University of Exeter* (UOE) y *National Oceanography Centre* (NOC) en Reino Unido.

El CAL está situado en Alemania y consta de dos laboratorios: The Flask and Calibration Laboratory (FCL) de Jena, que depende del *Max Planck Institute for Biogeochemistry* (MPI-BGC), y el Central Radiocarbon Laboratory (CRL) que depende del *Institute of Environmental Physics of the Heidelberg University* (UHEI). El FCL realiza análisis de las concentraciones de GEI y de otros trazadores, que aportan información auxiliar sobre el origen de las muestras de aire: composición isotópica estable del dióxido de carbono (CO₂), nivel de oxígeno (O₂), y otros gases. También elabora los tanques de calibración usados para garantizar la compatibilidad de las mediciones de GEI con los datos de otras redes mundiales de vigilancia y presta apoyo sobre el material implicado. El CRL cuantifica el contenido de radiocarbono (¹⁴C) del CO₂ en muestras de aire y desarrolla métodos para derivar la contribución de los combustibles fósiles al CO₂ atmosférico (ffCO₂).

La sede central de ICOS-ERIC gestiona la estructura técnica, operativa y de gestión de la infraestructura y organiza dos asambleas generales anuales para alcanzar acuerdos con los puntos focales y delegados de cada país sobre temas que afectan a toda la red, como son su financiación, la incorporación de nuevos países o estaciones, etc.

A nivel internacional, ICOS-ERIC participa en diversas iniciativas como es el desarrollo del Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero ([IG3IS](#)) de la Organización Meteorológica Mundial ([OMM](#)). Además, desde 2019, ICOS-ERIC es una organización observadora en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ([UNFCCC](#)) y, por tanto, contribuye al trabajo de la Convención y de su Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Técnico ([OSACT](#)), pudiendo organizar sus propios eventos paralelos en relación con las negociaciones anuales sobre el clima mundial ([COP](#)). Como observador ante el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ([IPCC](#)), ICOS-ERIC puede fomentar activamente la participación de su comunidad científica en el proceso de redacción de los diversos informes del IPCC. Asimismo, esta infraestructura, bajo el amparo de la Comisión Europea y Copernicus, actuará como coordinador de validación del *Operational Anthropogenic CO₂ Emissions Monitoring Verification Support Capacity* [1].

Por otro lado, con el objetivo de diseminar las medidas y registros de su red de estaciones, ICOS-ERIC ha promovido sinergias con otras redes de observación. Por ejemplo, los datos de flujo de carbono de un gran número de estaciones de ecosistemas están integrados en [FLUXNET](#), las estaciones oceánicas participan en Surface Ocean CO₂ Atlas ([SOCAT](#)) y Global Ocean Data Analysis Project ([GLODAP](#)) y parte de sus estaciones atmosféricas pertenecen al Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global de la Organización Meteorológica Mundial ([VAG-OMM](#)).

Por último, ICOS-ERIC promueve intensamente el desarrollo de actividades y proyectos de investigación asociado a los GEI y ciclo de carbono. Ejemplos significativos son la reciente iniciativa ICOS Cities Project, que tiene el objetivo de reunir y evaluar diferentes enfoques de medida innovadores sobre las emisiones de GEI en áreas urbanas densamente pobladas. Este proyecto apoya el Pacto Verde Europeo, teniendo como objetivo desarrollar herramientas y servicios útiles para las ciudades en apoyo de sus planes locales de acción climática. Otros ejemplos importantes son el proyecto GEORGE, que centra su actividad en desarrollar mejoras tecnológicas para optimizar toda la cadena de datos sobre el sistema de carbonato oceánico y, también, el proyecto KADI para el desarrollo de sistemas climáticos en el continente africano. Todos ellos cuentan con participación de instituciones e investigadores españoles.

2 ICOS-España

La Asamblea General de ICOS-ERIC aprobó la solicitud de adhesión de España el 17 noviembre de 2020. La red nacional, [ICOS-España](#), está formada por el grupo [QUIMA](#) del Instituto de Oceanografía y Cambio Climático perteneciente a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ([ULPGC](#)), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial ([INTA](#)), la Plataforma Oceánica de las Islas Canarias ([PLOCAN](#)), el Instituto Español de Oceanografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas ([IEO-CSIC](#)), el Centro de Estudios Medioambientales del Mediterráneo ([CEAM](#)) y la Agencia Estatal de Meteorología ([AEMET](#)), encargada además de las tareas de coordinación técnica de la red nacional. Cada socio es responsable de su estación, proponiendo un investigador principal entre su personal que será el responsable de participar en diferentes actividades organizadas por cada centro temático, como son las reuniones de seguimiento durante el proceso de certificación de la estación y, posteriormente, las asambleas de estaciones de cada dominio.

La participación de España ha permitido expandir la cobertura geográfica de las observaciones de esta red hasta la zona subtropical Norte del Océano Atlántico. A finales de 2022, ICOS-España estaba constituida por solo tres estaciones que abarcaban el dominio atmosférico (Observatorio de Izaña y El Arenosillo) y el oceánico (CanOA-SOOP). No obstante, la Asamblea General de ICOS-ERIC aprobó la incorporación de dos nuevas estaciones a partir del 1 de enero de 2023: la estación oceánica, ESTOC y la estación asociada de ecosistemas, Majadas de Tiétar. La primera será operada conjuntamente por la PLOCAN, IEO-CSIC y ULPGC, mientras la segunda será gestionada por el CEAM (ver **Figura 3**).



Figura 3. Localización de las estaciones de ICOS-España.

En el periodo 2021-2022, las cinco estaciones de la red ICOS-España han estado inmersas en el proceso de incorporación establecido por ICOS-ERIC descrito anteriormente. De manera que, los investigadores han ido adaptando su laboratorio e instrumentación a los criterios técnicos fijados por esta red. Además, en algunos casos, sus equipos han sido enviados al centro temático correspondiente o a su fabricante para su revisión. En consecuencia, las observaciones de GEI realizadas hasta el momento no están disponibles en el portal de datos, porque son usadas por los centros temáticos para el seguimiento del proceso de certificación. Durante la redacción de este informe, el Observatorio de Izaña ha finalizado este proceso y ha sido admitido de pleno derecho como estación atmosférica y, por tanto, sus observaciones pueden consultarse en el portal de datos de ICOS-ERIC. La **Tabla 1** resume el estado actual de las estaciones de la red nacional.

Tabla 1. Situación actual de las estaciones ICOS-España.

Estación (Institución)	Dominio	Clase de estación	Incorporación	Estado del proceso de certificación ²
Izaña (AEMET)	Atmosférica	Clase 2	1/1/2021	Validación estación (19/4/2021) Finalizado proceso de certificación (23/5/2023)
CanOA-SOOP (ULPGC)	Oceánica	Clase 1	1/1/2021	Validación estación (25/2/2021). En proceso de certificar su instrumentación.
El Arenosillo (INTA)	Atmosférica	Clase 2	1/1/2022	Validación estación (11/8/2022). En proceso de certificar su instrumentación.
Majadas de Tiétar (CEAM)	Ecosistema	Asociada	1/1/2023	En 2022, se solicitó su incorporación a ICOS-ERIC. En 2023 se inició su proceso de certificación.
ESTOC (PLOCAN, IEO-CSIC, ULPGC)	Oceánica	Clase 1	1/1/2023	En 2022, se solicitó su incorporación a ICOS-ERIC. En 2023 se inició su proceso de certificación.

2.1 Asamblea General ICOS-ERIC en Madrid

Los días 22 y 23 de noviembre de 2022 tuvo lugar la primera Asamblea General de ICOS-ERIC con sede en España. Esta reunión, de gran importancia para la toma de decisiones dentro de ICOS-ERIC, contó con la participación de destacados miembros de ICOS-España y del Ministerio de Ciencia e Innovación ([MICIN](#)) como María Vallejo, organizadora de esta asamblea. El lugar elegido para su celebración fue la sede del MICIN, situada en la capital española (ver **Figura 4**), lo que demuestra la importancia que este ministerio otorga a la participación española en esta infraestructura europea.

Durante la asamblea, se llevaron a cabo diversas presentaciones en las que se informó sobre diferentes aspectos del estado actual del nodo nacional. Emilio Cuevas, punto focal nacional, resumió los avances y logros alcanzados hasta la fecha. Omaira García, Melchor González, Arnaud Carrara y Gara Villalba presentaron los avances realizados en sus respectivas estaciones ICOS o en redes asociadas de observación (ver **Tabla 2**).

Uno de los aspectos más destacados de estas exposiciones fue la presentación de las nuevas estaciones que se incorporarán a la red ICOS-España en 2023. Estas estaciones desempeñarán un papel fundamental en la monitorización y comprensión de los flujos de carbono y la acidificación oceánica, y permitirán que el nodo español tenga representatividad en los tres dominios de investigación donde opera ICOS-ERIC.

²El proceso de certificación aparece descrito en la sección anterior.



Figura 4. Asamblea General ICOS-ERIC, Madrid 22-23 Noviembre 2022. (Izq. a dcha.) Emilie Hachem -Asesora proyectos europeos, Katri Ahlgren - Responsable de Comunicaciones ICOS-ERIC, Gonzalo Arévalo Nieto - Director General de Planificación de la Investigación MICIN, Christian Plass-Dülmer - Presidencia Alemana de la Asamblea General y Werner Kutsch -Director General ICOS-ERIC.

La presentación de estas estaciones despertó un gran interés entre los asistentes, ya que representan una importante contribución a la monitorización de los GEI en la Península Ibérica y el Océano Atlántico. También se describió la participación de la ciudad de Barcelona en el proyecto ICOS Cities. Por último, se presentó la futura red nacional COCCON-Spain, coordinada por AEMET, que monitorizará la concentración de los principales GEI en columna. Esta red consistirá en 12 estaciones de medidas de CO₂, metano (CH₄), vapor de agua (H₂O) y monóxido de carbono (CO) con espectrómetros de transformada de Fourier: seis de ellos en condiciones de fondo en Tenerife, Huelva, Almería, Valladolid, y en una localización en el norte de la península ibérica aún por decidir, y otras seis estaciones a barlovento y sotavento de las zonas metropolitanas de Madrid y Barcelona, donde se sitúan las principales áreas urbanas/industriales con emisiones antropogénicas de GEI en España.

Tabla 2. Investigadores y ponencias realizadas en la Asamblea General de ICOS-ERIC, Madrid, 22-23 Noviembre 2022.

Investigador	Institución	Presentación
Dr. Emilio Cuevas Agulló	Punto Focal ICOS-España Director del Centro Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI)	Atmosphere ICOS and non-ICOS activities
Dra. Omaira E. García Rodríguez	Responsable del programa FTIR. Centro Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI)	Future COCCON Spanish network
Dr. Melchor González Dávila	Director del Grupo de investigación QUIMA. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)	Ocean ICOS and non-ICOS activities
Dr. Arnaud Carrara	Director del Grupo de investigación sobre el Cielo del Carbono. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)	Ecosystem ICOS and non-ICOS activities
Dra. Gara Villalba Méndez	Departamento de Ingeniería Química, Biológica y Ambiental. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA-UAB)	GHG measurements and monitoring in the Metropolitan Area of Barcelona

3 Antecedentes e Implementación de ICOS-España

El despliegue inicial de la red ICOS-España se está realizando a partir de estaciones de observación ya consolidadas en el territorio nacional. De manera que, una parte de la infraestructura se encuentra ya implementada y, por tanto, sólo es necesario adecuarla a los requisitos técnicos de ICOS-ERIC. A continuación, se describen las estaciones que forman la red nacional.

3.1 Izaña - AEMET

El Observatorio de Izaña (28.3 °N, 16.5°W, 2373 m.s.n.m.) es gestionado por el CIAI, dependiente de AEMET. Inaugurado en 1916, lleva realizando observaciones meteorológicas y climatológicas de forma ininterrumpida hasta la actualidad. Se localiza en la meseta montañosa de Izaña, por encima de la inversión térmica asociada al tope de la capa del alisio que se sitúa normalmente por debajo de la estación y, además, bajo la influencia de la rama descendente de la célula de circulación de Hadley. Estas condiciones garantizan un aire limpio y cielo despejado durante la mayor parte del año. Estas excelentes condiciones favorecen las mediciones in situ de gases traza y aerosoles en condiciones de troposfera libre, y las observaciones mediante técnicas de teledetección.



En 1960, se llevaron a cabo las primeras observaciones relacionadas con los GEI en el Observatorio de Izaña [2,3]. El Dr. Reidar Nydal estableció una red mundial de estaciones para monitorizar la concentración atmosférica del isótopo ^{14}C emitido durante las pruebas nucleares realizadas hasta comienzos de la década de 1960 en varias zonas del planeta. La distribución temporal de este isótopo fue una importante herramienta para testear modelos que describen el flujo de carbono intercambiado en el sistema Tierra-atmósfera. En 1984, el Observatorio de Izaña comenzó a registrar de forma continua las concentraciones de CO_2 y CH_4 , primero como estación de la red BAPMoN (Background Atmospheric Pollution Monitoring Network) y, desde 1987, en el marco del actual Programa VAG-OMM, donde sus observaciones son representativas de la zona subtropical Norte del Océano Atlántico en condiciones de troposfera libre. La serie de registros de CO_2 en condiciones de fondo de troposfera libre es la segunda más larga que existe en la actualidad, tras las medidas del Observatorio de Mauna Loa (MLO, Hawái). En 2007, el programa de observación de GEI se extendió incorporando medidas de óxido nítrico (N_2O) y hexafluoruro de azufre (SF_6). También, se comenzó a monitorizar el CO debido a su importancia en el ciclo del carbono [4].

El Observatorio de Izaña fue seleccionado para integrarse en ICOS-ERIC como estación atmosférica de montaña de Clase 2 y, por tanto, con la obligación de proporcionar mediciones continuas in situ de CO_2 y CH_4 , así como medidas complementarias de CO y N_2O . Siguiendo los requerimientos técnicos de la infraestructura europea, se adquirieron expresamente un analizador Picarro G2401 y un analizador Los Gatos Research (LGR) 907-0015, para medir los cuatro gases mencionados anteriormente, de forma simultánea e independiente de los instrumentos de medida del Programa VAG-OMM. En 2021, ambos analizadores fueron enviados al ATC para comprobar que están dentro de los estándares de incertidumbre establecidos por ICOS-ERIC. Tras un periodo de exigentes pruebas y ajustes instrumentales, finalmente, los analizadores Picarro y LGR superaron los tests el 25 de noviembre de 2021 y el 30 de marzo de 2022, respectivamente.

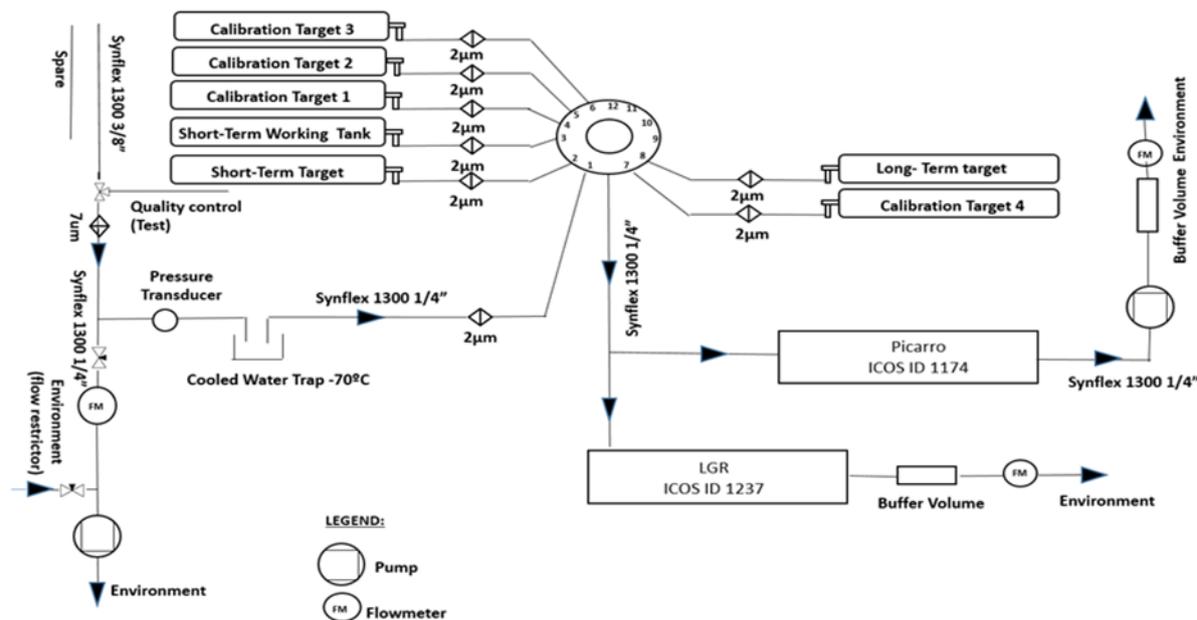


Figura 5. (Panel Superior) Esquema del sistema de bombeo de aire ambiente y de los estándares de calibración y trabajo ICOS-ERIC hasta los analizadores Picarro y LGR implementado en el Observatorio de Izaña. (Panel Inferior) Fotografías de la instalación, toma de muestra, medidores de caudal, tanques de gases y el técnico de ICOS-España (Sergio León Luis) supervisando los protocolos de medida y calibración de los instrumentos.

Paralelamente al proceso de adquisición y testeo de ambos instrumentos, se procedió a enviar la documentación requerida por el ATC para validar la idoneidad de la ubicación del observatorio como estación atmosférica de montaña, siendo aceptada su solicitud formalmente el 19 de abril de 2021. La **Figura 5** muestra el sistema de bombeo de aire ambiente y los tanques de calibración (P&ID) implementado en el Observatorio de Izaña siguiendo las recomendaciones del ATC [5]. En noviembre de 2022, se iniciaron las calibraciones periódicas con los tanques de calibración proporcionados por el CAL cada 15 días. Como se comentó anteriormente, en el Observatorio de Izaña opera en paralelo los programas de Observación VAG-OMM e ICOS-ERIC, lo que permite una intercomparación continua y en tiempo real de ambas redes de observación y de su trazabilidad.

El CIAI también contribuye con la OMM a través del Sistema Mundial de Observación del Clima ([GCOS](#)) y a través de Measurement Lead Centre for Aerosols and Water Vapor Remote Sensing Instruments de la OMM ([MLC-Izaña](#)) como banco de pruebas para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua. El CIAI, dado su completo programa de observación de la atmósfera, participa además en numerosas redes y programas internacionales como son: Aerosols, Clouds, and Trace Gases Research Infrastructure ([ACTRIS](#)), Network for Detection of Atmospheric Composition Change ([NDACC](#)), Total Carbon Column Observing Network ([TCCON](#)), Collaborative Carbon column observing network ([COCCON](#)), Baseline Surface Radiation Network ([BSRN](#)), AErosol RObotic NETwork ([AERONET](#)), Micropulse Lidar NETwork ([MPLNET](#)), EUMETNET EIG GNSS Water Vapour Programme ([E-GVAP](#)), [PANDORA-PANDONIA](#), European Brewer Network ([EUBREWNET](#)), World Ozone and Ultraviolet Data Center ([WOUDC](#)), Neutron Monitor Database ([NMDB](#)) y Cooperative Air Sampling Network ([NOAA/ESRL/GML](#)).

Más información sobre el Observatorio de Izaña en: <https://icos-spain.aemet.es/Izana>

3.2 CanOA SOOP – ULPGC

CanOA es una plataforma de observación oceánica en superficie (SOOP), instalada en un buque portacontenedores diseñada y mantenida por el Grupo QUIMA de la ULPGC. Esta línea se estableció en febrero de 2019 y desde enero de 2021 es una de las estaciones oceánicas de ICOS-España. La línea CanOA-SOOP recorre cada semana la región oriental de las Islas Canarias, cruza la región norteafricana hacia el Estrecho de Gibraltar, y desde allí a Barcelona por la parte occidental del Mar Mediterráneo, realizando el recorrido de vuelta la semana siguiente. El barco realiza escalas en los puertos insulares de Gran Canaria (Puerto de La Luz y Las Palmas), Tenerife y Lanzarote, y en los puertos peninsulares de Sagunto (Valencia) y Barcelona. De esta forma, permite el registro continuo de datos de la región con una frecuencia de una semana. El buque portacontenedores donde está instalada la instrumentación es el MV RENATE P de la empresa REEDEREI STEFAN PATJENS GmbH & Co.KG, gestionado en España por NISA MARITIMA. En noviembre de 2021, el portacontenedores cambia su nombre por el de MV JONA SOPHIE.



Esta estación oceánica permitirá tener observaciones del contenido de CO₂, además de otros parámetros, en el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo. Su ruta cubre la región este del Océano Atlántico afectada por el afloramiento norteafricano y la región oeste del Mar Mediterráneo. Además, las observaciones realizadas en el Estrecho de Gibraltar, lugar donde se produce la interacción de las dos masas de agua con características diferentes, son de especial interés científico para esta infraestructura de investigación europea.

El sistema instalado en el buque portacontenedores incluye el sistema de medida General Oceanics™ GO8050 de pCO₂ con detector LICOR 7000 y equilibrador con cámara de spray para favorecer el equilibrio en fase gaseosa. Incluye sensores para el control de la temperatura del agua superficial (Seabird 38) y dentro del equilibrador, así como para el control de salinidad del agua de mar (Seabird 45) y un sistema de medida del contenido de oxígeno disuelto en el agua de mar. El sensor LICOR es calibrado cada tres horas con cuatro gases de calibrado en el rango 0 a 850 ppm suministrados por el centro CAL. Cada hora, el sistema realiza una medida del contenido de CO₂ en el aire atmosférico, que se utiliza para estimar posteriormente los flujos atmósfera-océano en la región de estudio (ver **Figura 6**).

En Octubre de 2021, con el traspaso del buque y su llevada a dique seco para proceder a la renovación del mismo, se tuvo que desinstalar el equipo de medida. Se aprovechó ese periodo para el envío del Oceanics™ GO8050 a su fabricante y proceder a la sustitución de la mayor parte de los sensores internos, tuberías, conexiones y recalibración de sensores. El proceso se extendió en el tiempo, siendo remitido el equipo desde EEUU en el mes de Julio de 2022. En Septiembre de 2022, el equipo se reinstala en el buque y comienza de nuevo a registrar datos.

Después del primer envío de datos para llevar a cabo el paso 2 del proceso de certificación iniciado en septiembre 2022, se modificaron los diferentes pasos de medida (tres ciclos para los gases de calibración y cinco para los atmosféricos) y un grupo de datos de 4 meses de medida se enviaron al OTC para ser evaluados el 24 de marzo de 2023. Los gases de calibración suministrados por CAL se incluyeron en el equipo de medida el 11 de enero de 2023.

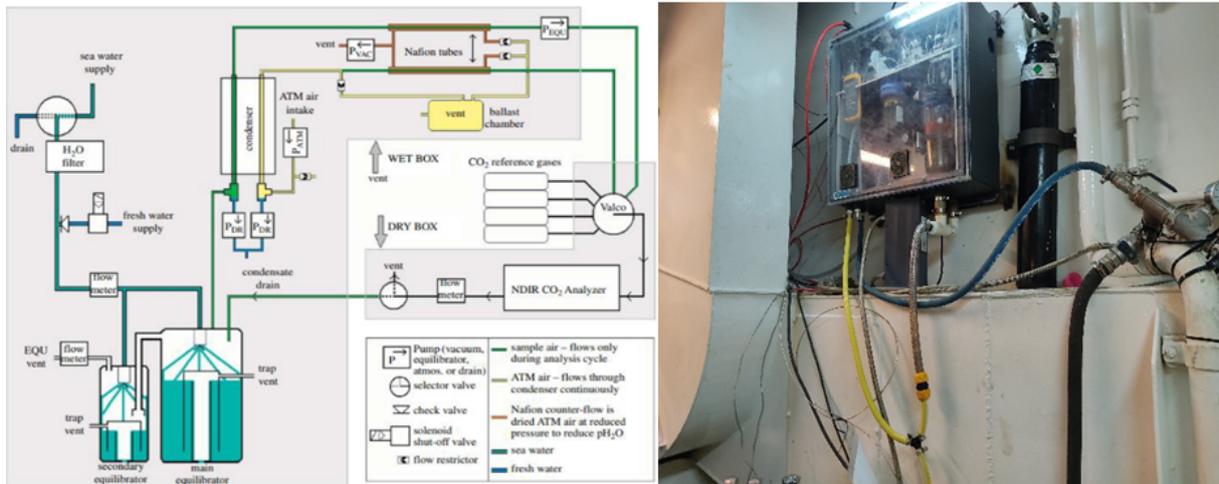


Figura 6. Diagrama del sistema de medida del CO₂ en equilibrio con el agua de mar y General Oceanics™ GO8050 de pCO₂ instalado en el buque MV JONA SOPHIE. Fotografía de la instrumentación: caja húmeda incluyendo equilibrador, sistemas de limpieza y secado del aire, así como sensores de temperatura y salinidad, oxígeno disuelto y válvulas reguladoras de caudal de agua de mar.

La línea CanOA-SOOP (VOS_1) forma parte, a su vez, de una red más amplia de observación de la acidificación oceánica en la región Canaria, la Red de Observación de Dióxido de Carbono Oceánico en Canarias (CARBOCAN) financiada por el Gobierno de Canarias, como muestra la **Figura 7**. Esta red regional incluye una segunda VOS line (VOS_2) entre las islas de Tenerife (Los Cristianos) y La Palma con parada en La Gomera (Buque Benchijigua Express, compañía Fred Olsen Express) y un sistema de tres boyas oceanográficas superficiales con sensores de medida de pCO₂ y acidificación. Las boyas se encuentran localizadas en la Bahía de Gando, en Gran Canaria (B_1), al sur de las islas de El Hierro (B_2) y La Graciosa (B_3).

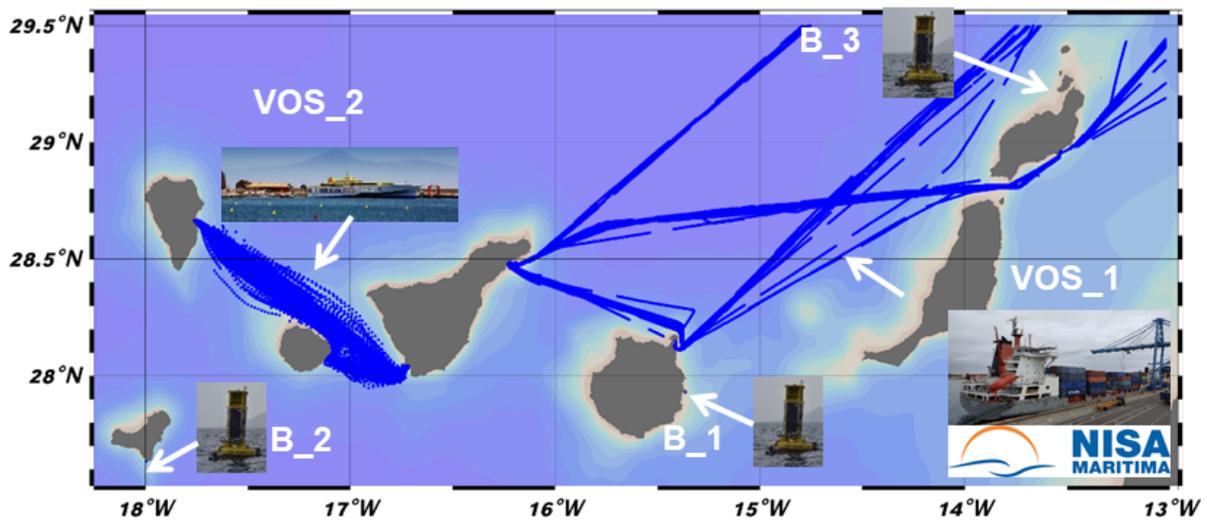


Figura 7. Rutas marítimas de los barcos donde están implementadas las estaciones de muestro (VOS_1 y VOS_2) y localización de las boyas fijas (B_1, B_2 y B_3) de la red CARBOCAN.

Más información sobre la estación oceánica CanOA-SOOP en: <https://icos-spain.aemet.es/CanOA>.

3.3 El Arenosillo – INTA

La Estación de Sondeos Atmosféricos (ESAt) de El Arenosillo (37.1 °N, 6.7 °W, 42 m.s.n.m.) pertenece al INTA y se encuentra ubicada en el suroeste de la Península Ibérica, a escasos 700 m de la costa atlántica, en la zona del pre-parque Nacional de Doñana. Esta estación atmosférica costera de ICOS-ERIC dispone de una torre de 100 metros (ver **Figura 8**), con sensores meteorológicos ubicados en los niveles de 10, 50 y 100 m, con medidas en continuo desde el año 2016.



Figura 8. Torre de El Arenosillo donde se miden concentraciones de GEI y de parámetros meteorológicos en los niveles de 10, 50 y 100 m.

El edificio principal de la ESAt se ubica a aproximadamente 1 km. de la línea de costa y a unos 450 m de la mencionada torre (ver **Figura 9**). En la ESAt se monitorizan gases traza reactivos como el ozono (O_3) desde el año 2000, óxidos de nitrógeno (NO_x) desde 2008, dióxido de azufre (SO_2) desde 2015 y compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno y xileno) desde 2019 [5–7].



Figura 9. Ubicación de la torre de 100 m y de la Estación de Sondeos Atmosféricos de El Arenosillo.

Además, se dispone de instrumentación para la medida de diferentes parámetros de aerosoles (espesor óptico de aerosoles, distribución de tamaño de partículas sub- y super-micro, concentración total de partículas, y propiedades de dispersión, retro-dispersión y absorción), de radiación solar (global, ultravioleta, directa, difusa, etc.) y de columna total de ozono [9,10]. Asimismo, se monitorizan las principales variables meteorológicas en superficie desde hace más de tres décadas y se dispone de un sistema para la realización de sondeos meteorológicos y ozonosondeos, realizándose sondeos atmosféricos en el marco de campañas concretas.



Figura 10. Instrumentación (sistema de toma de muestras, bombas, filtros, sistema de secado, bombas de calibración y Picarro G2401) en el interior del laboratorio ubicado en la base de la torre de 100 m.

En septiembre de 2019 se instaló en la ESAAt, junto al resto de la instrumentación de gases traza, un instrumento Picarro G2401, comenzando el programa de medidas en superficie de CO₂, CH₄ y CO. Después de más de dos años midiendo en superficie, a finales de noviembre de 2021, se trasladó a un laboratorio ubicado en la base de la torre de 100 m. Previamente, se había instalado un sistema de toma de muestras, formado por líneas de muestreo ubicadas en 10, 50 y 100 m de altura; y en el interior del laboratorio se instaló el resto de elementos necesarios como bombas, tanques de calibración, válvulas, sistema de secado, etc. (Figura 10). El diseño del sistema y su implementación se realizó siguiendo las especificaciones de ICOS-ERIC para la medida de GEI en torres elevadas [5]. El sistema de bombas y la válvula rotaria permite la entrada de aire de cada línea de muestreo en el Picarro, midiéndose la concentración de estos tres gases en cada una de las tres alturas durante 10 minutos.

A principios de 2022, la estación de El Arenosillo comenzó el proceso de certificación y el 11 de agosto aprueba el primer paso de este proceso. Después de algo más de un año de medidas continuadas en la torre (diciembre de 2021- diciembre de 2022), en la primera quincena de enero de 2023 el instrumento fue enviado al ATC (Francia) para conseguir superar el proceso de certificación del instrumento, el cual espera ser completado a lo largo de 2023. Desde principios de 2023, se está en proceso de análisis y posterior publicación del primer año de medidas en la torre [11].

El Arenosillo participa en otros programas de observación e investigación como la red andaluza de calidad del aire y las redes internacionales VAG-OMM, AERONET, MPLNET, NOAA/FAN, ACTRIS, WOUDC y EUBREWNET. En ICOS-España, El Arenosillo proporciona medidas de gran interés científico para estudiar la composición química de esta región de transición, donde se produce el intercambio y transporte de masas de aire desde el océano Atlántico, el mar Mediterráneo o el norte de África hacia al interior de la Península Ibérica y Europa. Además, su localización junto al Parque Nacional de Doñana, considerada una de las mayores reservas de la biosfera y uno de los humedales más importantes de Europa, ayudará a monitorizar los efectos del cambio climático en los ecosistemas de esta región potencialmente sensible.

Más información sobre la estación atmosférica de El Arenosillo en: <https://icos-spain.aemet.es/Arenosillo>.

3.4 Majadas de Tiétar – CEAM

La estación de ecosistema asociada de Majadas de Tiétar realiza medidas de flujos de H₂O y CO₂ de forma continua desde 2003. Se encuentra ubicada en la provincia de Cáceres (Extremadura), en una dehesa de encinas (*Quercus Ilex*), un ejemplo típico de sistema agrosilvopastoral, que tiene una gran importancia económica y social en la Península Ibérica, tanto por su extensión superficial como por la función de fijación de población rural en sus núcleos. La Unión Europea reconoció en 1992 (mediante la Directiva 92/43/CEE del Consejo), la singularidad de esta impresionante formación vegetal, siendo catalogado como hábitat natural. Se extiende por más de 3 millones y medio de hectáreas y se concentra fundamentalmente en el suroeste de la Península Ibérica.



El entorno donde se sitúa la estación experimental es una dehesa típica, con bosque abierto de encinas y un sustrato inferior de pastizal compuesto por herbáceas con alta biodiversidad. Las encinas tienen aproximadamente cien años, una fracción de cabida cubierta de 20% y una densidad de 22 encinas por hectárea. La encina es una de las especies que mayor dispersión tiene en el sur de Europa y, sin duda, la más representativa de toda la Península Ibérica.

La estación experimental de Majadas de Tiétar cuenta con una infraestructura excepcional y única en toda la Península Ibérica. Comenzó a operar en el año 2003 con la instalación por parte de la Fundación CEAM de una torre de flujos “Eddy Covariance” de 15m en el marco del proyecto europeo CarboEurope-IP (ver **Figura 11**) y contribuyó en varios proyectos europeos (MIND, CarboExtreme, GHG-Europe, NitroEurope) y nacionales (Carbored-II, CARBOREDES, BALANGEIS, BIOSPEC, FLUXPEC, GEISpain, ELEMENTA) relacionados con el estudio del ciclo de carbono y otros ciclos biogeoquímicos, y algunos específicamente dedicados a mejorar métodos de observación sistemática, como el proyecto IMECC y el proyecto ICOS-PP, donde sirvió como sitio de testeo instrumental y estación de demostración ICOS-ERIC.

Con los años la estación experimental implementó un complejo programa de observación sistemática a largo plazo, basado en sistemas de medida de flujos de CO₂, H₂O y energía por la técnica de “eddy covariance”, complementados por centenares de sensores de varios tipos para monitoreo de variables meteorológicas (presión atmosférica, temperatura y humedad del aire, precipitación, velocidad del viento, radiación global, difusa, de onda corta y de onda larga, incidente y reflejada), y ambientales (perfiles de temperatura y humedad del suelo, flujos de calor en suelo, temperatura de los árboles).

Además de este programa de observación sistemática, desde el año 2014 la estación sirve de plataforma de investigación a varios grupos (MPI-BGC, CSIC-CCHS, Universidad de Extremadura, INIA) en el marco de un proyecto de investigación “Monitoring Carbon and Water fluxes in Dehesa Ecosystems” coordinado por el *Max Planck Institute for Biogeochemistry* ([MPI-BGC](#)). Se han implementado varios sistemas de observación complementarios, incluyendo 5 sistemas de “eddy covariance” adicionales, fotómetro multiespectral atmosférico, 3 estaciones de lisímetros, una red inalámbrica de sensores de “sapflows” y dendrómetros automáticos, mini-rhizotrones para monitoreo de la dinámica de las raíces de la vegetación; sistemas de medición de los flujos de CO₂ del suelo, torres radiométricas con sensores multiespectrales e hiperespectrales (Figura 11). En paralelo, se han realizados campañas experimentales para el monitoreo de múltiples variables biofísicas y ecofisiológicas, y varias campañas de teledetección con UAV y aero-portada hiperespectral y multiespectral (sensores AHS y CASI, INTA; sensores HYPLANT, TASI y APEX, ESA-FLEXSENSE).



Figura 11. Fotografía tomada desde la torre de flujo principal. Torre de flujo de la parcela fertilizada con nitrógeno; fotómetro solar y captador de partículas; modelo obtenido con datos LIDAR, sistema ELBARA.

Además, la estación de Majadas de Tiétar pertenece al sistema Pan-europeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Ecosistemas Forestales (ICP-Forest, Red de Nivel II), y ha contribuido desde 2015 a la red global de observación [Phenocam](#) dedicada al seguimiento de la fenología de la vegetación en ecosistemas terrestre. Datos de la estación están integradas en bases de datos internacionales (“*European Flux Database*” a nivel europeo y FLUXNET a nivel global) para fomentar y facilitar su utilización por múltiples grupos de investigadores en España y a nivel internacional.

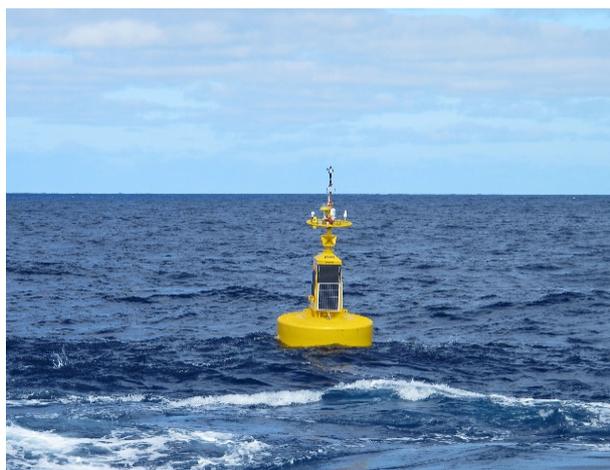
Los datos proporcionados por la estación son de particular relevancia para la estimación de ciertos servicios ecosistémicos actuales, como el secuestro de carbono, el uso de agua o la regulación de flujos hidrológicos. La disponibilidad de agua está siendo el principal factor limitante de la productividad de los ecosistemas mediterráneos, las interacciones entre el ciclo de carbono y el ciclo del agua son cruciales para estudiar la sensibilidad y la vulnerabilidad del balance de carbono de estos ecosistemas, y por lo tanto de su productividad, al cambio climático. Sus registros han sido también utilizados para la calibración y validación de productos de teledetección, así como para el ajuste y la validación de varios modelos (modelos climáticos globales, modelos de intercambio Suelo-Vegetación-Atmósfera, modelos biogeoquímicos y ecológicos complejos). La relevancia de los estudios realizados a partir de los datos experimentales de la estación de Majadas de Tiétar se ve reflejada en la importante producción científica resultante, con más de cien artículos científicos publicados en revistas internacionales SCI, de los cuales en unos 50 han participado investigadores de la Fundación CEAM.

Majadas de Tiétar presentó su candidatura para integrarse en la red de estaciones ICOS-ERIC como estación de ecosistema asociada en 2022. Esta candidatura se aprobó formalmente durante la Asamblea General ICOS-ERIC que se celebró en Madrid los días 22 y 23 de noviembre de 2022. Será la primera estación de observación sistemática de flujos de CO₂ y H₂O a nivel nacional en integrarse en la red de estaciones de ecosistema de ICOS-ERIC.

Más información sobre la estación asociada de ecosistemas Majadas de Tiétar en: <https://icos-spain.aemet.es/Majadas>.

3.5 ESTOC-PLOCAN, IEO-CSIC y ULPGC

La Estación de Series Temporales en el Océano de las Islas Canarias ([ESTOC](#)), gestionada por la PLOCAN, es una boya instrumentalizada que se localiza a 60 millas náuticas al Norte de Gran Canaria. Desde su inauguración, en 1994, genera y registra series temporales meteorológicas y oceanográficas representativas del Centro-Este del Atlántico Norte [12–14]. Sus medidas han contribuido en el estudio del cambio climático y su impacto en las tendencias físico-químicas del océano Atlántico [15]. A diferencia del resto de estación de ICOS-España, ésta será co-gestionada por tres entidades independientes (PLOCAN, IEO-CSIC y ULPGC). PLOCAN es la responsable del diseño y mantenimiento de la boya oceanográfica con medida de $p\text{CO}_2$ con el asesoramiento del grupo QUIMA-ULPGC y del grupo de física IEO-Canarias, siendo este último además responsable de la provisión de tiempo de barco para realizar las labores de monitorización del perfil de la columna de agua y del fondeo de la boya oceanográfica (con una frecuencia de al menos dos veces al año).



ESTOC, localizada a $29^{\circ}10'N$, $15^{\circ}30'W$ en el Atlántico Noreste, comenzó como una estación con visitas mensuales y toma de muestras de agua de mar discretas en 24 diferentes profundidades sobre la columna de agua de 3650 m. En el año 2016, PLOCAN instaló una boya oceanográfica en la posición ESTOC que incluía en el cuerpo de la boya, además de sensores de $p\text{CO}_2$ y pH superficial, sensores de temperatura y salinidad, fluorescencia para la medida del contenido de clorofila y oxígeno disuelto. Asimismo, en la columna de agua se incluían varios sensores de temperatura y salinidad a diferentes profundidades, así como un sistema de medida de nutrientes a 100 m de profundidad. Una nueva boya oceanográfica ha sido diseñada por PLOCAN, que incluye un sensor PROOceanus con membrada de equilibrio y detector NDIR, sensor de pH espectrofotométrico, además de sensores físicos. Con cada visita a la estación se tomarán muestras de agua discretas para medir el contenido de alcalinidad y carbono inorgánico total disuelto por parte del grupo QUIMA para el recalibrado de los sensores (**Figura 12**).



Figura 12. Las tareas de mantenimiento de ESTOC en alta mar necesitan de un barco adaptado para la retirada de esta infraestructura.

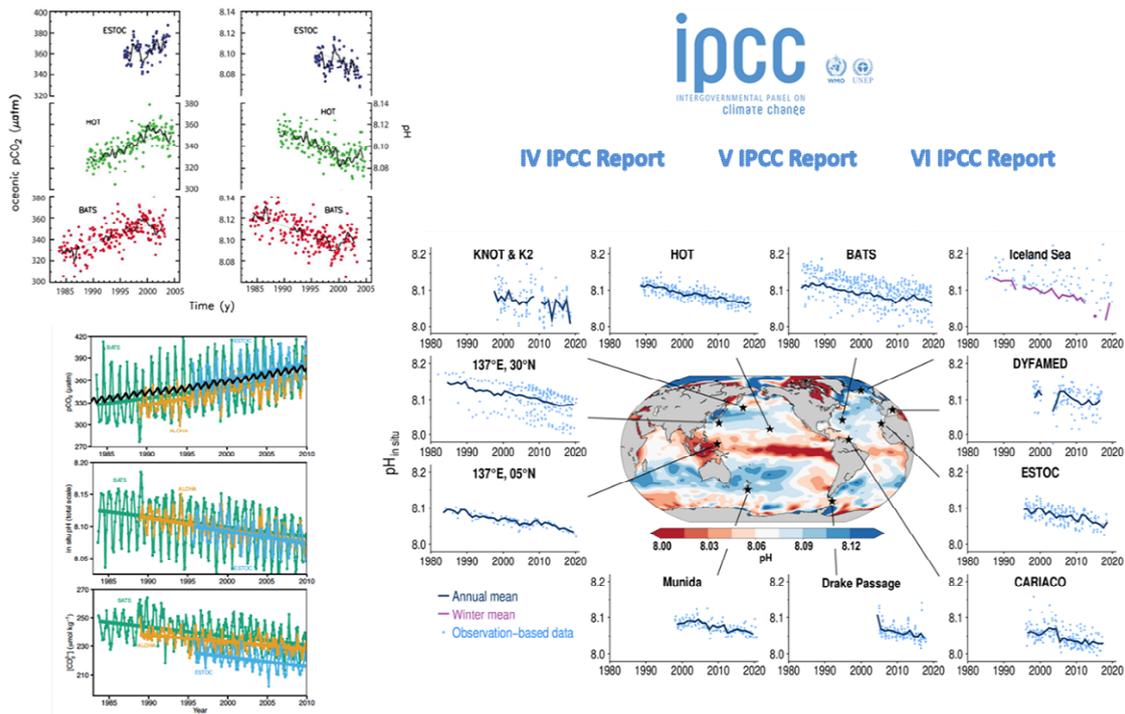


Figura 13. Datos de las estaciones oceánicas con series de medidas de CO₂ recogidos en los diferentes informes del IPCC, IV, V y VI, mostrando las tendencias oceánicas de acidificación y de contenido de CO₂ disuelto.

Los registros de ESTOC han servido para estudiar el proceso de acidificación del Océano Atlántico subtropical (ver **Figura 13**). Junto con los datos de otras series temporales oceánicas a nivel global, los registros de la evolución tanto del contenido de CO₂ en las aguas superficiales como del pH de las mismas han formado parte de diversas publicaciones científicas, las cuales se consideran como referentes para la evolución espacio-temporal de las tendencias actuales. La estación ESTOC, junto con las estaciones americanas en Bermudas, BATS, y en Hawái, HOT, han constituido la base para mostrar las tendencias de acidificación en los informes del IPCC, números IV, V y VI (<https://www.ipcc.ch/about/>).

Más información sobre la estación oceánica ESTOC en: <https://icos-spain.aemet.es/ESTOC>.

4 Proyectos Científico – Técnicos

4.1 Recopilación de Datos de Observación de ICOS-ERIC

4.1.1 European CO₂ y CH₄ Obspack

Las recopilaciones de datos de observación atmosféricos (ObsPack) son una herramienta eficaz para estimular y respaldar estudios sobre la modelización del ciclo del carbono. La versión europea de GlobalView Obspack consiste en una compilación de datos de series temporales de CO₂ y CH₄ de estaciones atmosféricas europeas, que han finalizado o están en el proceso de certificación como estaciones ICOS-ERIC, y que se complementa con algunas estaciones adicionales que no pertenecen a la infraestructura de investigación. La calidad de los datos ha sido controlada por el investigador principal de cada estación o llevada a cabo por el ATC [16].

Los datos de CO₂ y CH₄ recopilados abarcan desde 1972 y 1984, respectivamente, hasta comienzos de 2023. En este caso, la serie completa de registros de estos componentes en el Observatorio de Izaña (1984-2022) forma parte de esta recopilación de datos.

4.1.2 Warm Winter 2020

Esta recopilación de datos de observación de flujos de “Eddy Covariance” de 73 estaciones de ecosistemas, muchas de ellas integradas dentro de la red ICOS-ERIC, cubre el periodo 1989-2020. Los datos están en el formato estándar utilizado para los productos de ecosistemas ICOS-ERIC L2, también utilizado por otras redes regionales como [AmeriFlux](#). El procesamiento se realizó acorde a [ONEFlux](#), siendo compatible e integrable con la versión [FLUXNET2015](#) [17]. Las observaciones realizadas en la estación de ecosistemas de Majadas (2014-2020) forman parte de esta recopilación.

4.2 Proyectos de Investigación en el contexto de ICOS-ERIC.

Aunque el objetivo principal de ICOS-ERIC es establecer una red de estaciones para monitorizar los GEI y los flujos de carbono, también desarrolla y participa en numerosos proyectos de investigación con financiación europea. A continuación, se describen los proyectos con participación de instituciones españolas.

4.2.1 ICOS Cities – Barcelona

El proyecto [ICOS Cities](#) HORIZON 2020 realiza observaciones sobre emisiones de GEI en áreas urbanas densamente pobladas debido a que éstas contribuyen significativamente a las emisiones totales de GEI de origen antropogénico. ICOS Cities concentra y evalúa diferentes enfoques para registrar las emisiones de GEI en estas zonas, teniendo como objetivo desarrollar herramientas y servicios útiles para las ciudades en apoyo a sus planes locales de acción climática.

Un panel internacional científico seleccionó las ciudades de París, Múnich y Zúrich, como ciudades piloto para este proyecto, basándose en sus planes de acción climática y su apuesta por desarrollo de políticas eficientes y efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático, además de su contribución para mejorar los inventarios de emisiones de GEI existentes. Si bien, en una segunda etapa, este proyecto se ha expandido a otras 12 ciudades europeas: Amberes, Barcelona, Basilea, Brno, Atenas, Copenhague, Heidelberg, Helsinki, Cracovia, Roma, Rotterdam y Oporto, las cuales ofrecen una mayor diversidad de perfiles en términos de geografía, población y actividad económica, permitiendo así evaluar la viabilidad de diferentes planteamientos de modelización de las emisiones en entornos urbanos.

En concreto, para el área metropolitana de Barcelona (**Figura 14**), se han instalado cuatro estaciones de medidas en continuo de GEI en cuatro zonas diferenciadas de la conurbación urbana de Barcelona. Las estaciones son ICTA-UAB (41.50°N, 2.11°E, 123 m.s.n.m.), IDAEA (41.39°N, 2.12°E, 80 m.s.n.m.), Observatorio de Fabra (41.42°N, 2.12°E, 410 m.s.n.m.), e Instituto de Ciencias del Mar, ICM (41.39°N, 2.20°E, 8 m.s.n.m.). Con estas estaciones se pretende monitorizar las concentraciones en distintas zonas características de la conurbación urbana, estudiar la influencia meteorológica en las concentraciones y estimar las emisiones de GEI de la ciudad mediante modelos químicos de transporte.



Figura 14. Ubicación de las estaciones de medida en continuo. Instalación de los equipos en la estación del IDAEA.

Las estaciones se pusieron en marcha entre enero y noviembre de 2022 y todas están equipadas con un analizador Picarro G2301 para medidas in-situ de CO₂ y CH₄ en continuo, así como de tanques de calibración en la escala NOAA y multiválvulas para su calibración automática.

El grupo de URBAG (<https://urbag.eu>) del ICTA-UAB es el responsable de las medidas y del control de calidad de las mismas. Actualmente se está trabajando para que los datos actualizados de las estaciones, ya calibrados, sean completamente accesibles en abierto y de uso público. Mientras tanto, se puede consultar en la web <https://urbag.eu/ghg/> las características de cada estación, las variables meteorológicas típicas de cada localidad, y una gráfica de las observaciones del día anterior.

4.2.2 Proyecto KADI

El continente africano contribuye minoritariamente al total de emisiones de carbono y GEI a nivel global. Sin embargo, la contribución africana al balance global de carbono es significativa y está incrementándose debido al cambio de uso de la tierra y la urbanización [15]. Además, África es una de las regiones del mundo más vulnerables a los impactos del cambio climático.

El proyecto [KADI](#) (Knowledge and Climate Services from an African Observation and Data Research Infrastructure) tiene como objetivo diseñar un sistema de observación climática pan-africano, utilizando los servicios climáticos como principio orientador. Esto implica establecer una infraestructura de observación climática en toda África para recopilar datos relevantes y proporcionar servicios climáticos a los usuarios, además de ampliar la red de información actual como base para una cooperación exitosa y sostenible. Pretende como fin último desarrollar una estrategia sólida para la implementación y uso futuro del sistema de observación climática en África, en estrecha conexión con los posibles actores y usuarios. Esto implica involucrar a las partes interesadas relevantes, como los sistemas de observación y las comunidades de usuarios, las organizaciones de investigación, los gobiernos, las instituciones financieras y las comunidades locales, para garantizar que el sistema sea utilizado de manera efectiva y sostenible [15].

Este Proyecto, liderado por ICOS-ERIC, se desarrolla en el período 2022-2025 y cuenta con las siguientes instituciones: , University of the Witwatersrand Johannesburg, National Research Foundation (Sudáfrica), University of Pretoria (Sudáfrica), Helsingin Yliopisto (Finlandia), Centre National de la Recherche Scientifique (Francia), Université Felix Houphouët Boigny (Costa de Marfil), Kenya Meteorological Department (Kenia), Turun Yliopisto (Finlandia), Trinity College Dublin (Irlanda), Norwegian Research Centre (Noruega), Hellenic Centre for Marine Research (Grecia), Eidgenössisches Departement des Innern (Suiza) y AEMET.

4.2.3 Proyecto GEORGE

El proyecto [GEORGE](#) (Next Generation Multiplatform Ocean Observing Technologies for Research Infrastructures) pretende proporcionar mejores tecnologías para mejorar la cadena de valor de los datos sobre el sistema de observación del carbonato oceánico. La parte marina de las infraestructuras de investigación europeas en el dominio ambiental ([ENVRI](#)) ha implementado con éxito un sistema líder mundial de observaciones oceánicas

estandarizadas durante los últimos 15 años, basándose en más de un siglo de experiencias de los institutos marinos involucrados. Esta comunidad ha unido fuerzas en la propuesta del proyecto GEORGE para llevarlos al siguiente nivel tecnológico: observaciones sistemáticas autónomas a largo plazo.

El proyecto GEORGE reúne a 28 socios destacados del mundo académico y de la industria, incluidas tres infraestructuras de investigación: [EMSO-ERIC](#), [Euro-Argo-ERIC](#) e ICOS-ERIC. Juntos, estos tres ERIC cubren toda la extensión de las aguas marinas europeas, desde las costas hasta mar abierto y desde el lecho marino hasta el interior y la superficie del océano. El proyecto está coordinado por ICOS-ERIC y EMSO-ERIC.

El principal objetivo de EMSO-ERIC es contribuir, a través de observaciones sostenidas a largo plazo, a la comprensión de los procesos ambientales globales y estimular el desarrollo de nuevas tecnologías de observación. Euro-Argo-ERIC opera aproximadamente una cuarta parte del programa internacional Argo de boyas perfiladoras, que miden principalmente la temperatura y la salinidad del océano desde la superficie del océano hasta 2000 m de profundidad. ICOS-ERIC mide los niveles de CO₂ y los flujos entre la superficie del océano y la atmósfera desde plataformas fijas de observación oceánica de superficie y barcos de oportunidad (SOOP). Además, esta propuesta se ha conectado con comunidades dentro del marco de ENVRI que están desarrollando más observaciones sistemáticas del OCEANO, concretamente para observaciones costeras ([JERICO](#)) y tecnología de planeadores ([GROOM](#)).

El objetivo primario de GEORGE es proporcionar observaciones de carbono sostenidas en las escalas espaciotemporales necesarias para limitar la absorción de CO₂ del océano, el almacenamiento de carbono y las tasas de exportación, lo que sigue siendo un desafío importante principalmente debido a la falta de tecnología autónoma para las observaciones del sistema de carbonato y ha sido reconocido como una prioridad máxima por el *Global Ocean Observing System* ([GOOS](#)). La filosofía básica detrás de este proyecto es la cadena de valor que conecta las observaciones biogeoquímicas oceánicas con la ciencia, la evaluación y el impacto social. GEORGE contribuirá a la implementación de la estrategia del *European Ocean Observing System* ([EOOS](#)), hacia un sistema de observación europeo integrado, y trabajará en estrecha colaboración con el *International Ocean Carbon Coordination Project* ([IOCCP](#)).

El grupo QUIMA de la ULPGC actúa como uno de los grupos de trabajo del proyecto GEORGE. Los participantes ULPGC y la empresa canaria OCEOMIC avanzarán en el desarrollo TRL de muestreadores autónomos para SOOP y los optimizarán para mediciones de sistemas de carbonato, al permitir la conservación de muestras a través de la inyección de biosidas y adaptaciones para permitir el almacenamiento hermético al gas y el monitoreo de temperatura/salinidad en la entrada de la muestra.

5 Difusión de Actividades de ICOS-España

5.1 Portal Web y Redes Sociales

La web ICOS-España (<https://icos-spain.aemet.es/>) desempeña un papel fundamental en la difusión de la investigación llevada a cabo por las estaciones de la red (ver **Figura 15**). Este portal web contiene una descripción detallada de cada estación y servirá para dar a conocer noticias sobre los hitos alcanzados por cada emplazamiento del nodo nacional. Asimismo, se incluye un listado de las publicaciones científicas, participaciones en congresos y actividades educativas desarrolladas por los investigadores y miembros de cada estación.

Además, cada vez que una localización complete su proceso de certificación, sus observaciones serán compartidas y difundidas a través de este portal. De esta manera, la comunidad científica y el público en general tendrán acceso a los datos y resultados obtenidos, fomentando así la transparencia y accesibilidad de los mismos.

Por otro lado, ICOS-España dispone de una cuenta en Twitter ([@ICOS_Spain](#)), como complemento a los esfuerzos de divulgación de la red a nivel nacional. A través de esta plataforma, se compartirán noticias y eventos relacionados con la monitorización de los GEI, el cambio climático y sobre las actividades de ICOS-ERIC y ICOS-España.

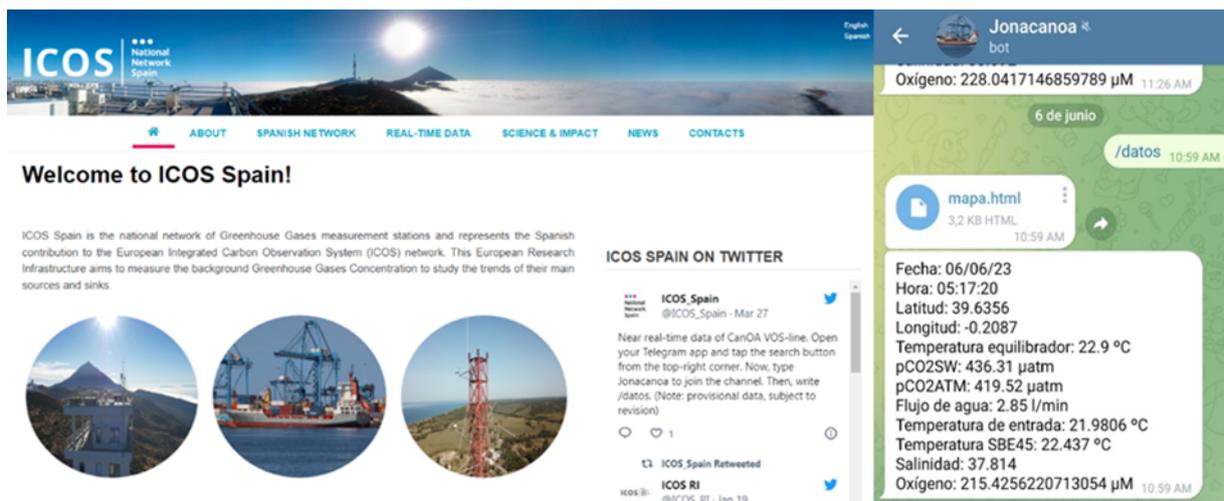


Figura 15. Página principal de la web de ICOS-España donde se incorpora el contenido del Twitter @ICOS_Spain. Canal Telegram con las coordenadas y mediciones realizadas por la estación oceánica CanOA-SOOP.

Además, el grupo de investigación QUIMA, responsable de la estación oceánica CanOA-SOOP, ha desarrollado una canal en Telegram que permite a los usuarios obtener información en tiempo real sobre los valores de las principales variables oceánicas medidas por dicha estación. Al unirse al bot de Jonacanoa e introducir el código "/datos", los usuarios pueden acceder a los últimos datos obtenidos por la línea cuando se encuentra cerca de la costa, y recibir actualizaciones a través de mensajes de texto (SMS).

Estas herramientas de difusión y acceso a los datos fortalecen la comunicación entre la comunidad científica y el público en general, facilitando así una mayor comprensión y concienciación sobre la importancia de la monitorización de los GEI y la mitigación del cambio climático.

5.2 Promoción de la investigación de las Estaciones Atmosféricas ICOS-España.

A finales del 2022, el Observatorio de Izaña y la Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo fueron visitados por la periodista Charlotta Henry y el fotógrafo Pekka Pelkonen, integrantes del equipo de comunicaciones de ICOS-ERIC, con el objetivo de recopilar información gráfica de ambos emplazamientos, así como las impresiones de sus investigadores.

Pedro Pablo Rivas, responsable del programa de GEI y ciclo del carbono e investigador principal, la Dra. Omaira García, responsable del programa de Espectrometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) y el técnico Dr. Sergio León fueron entrevistados por Charlotta Henry para explicar la importancia de incorporar el Observatorio de Izaña a esta infraestructura europea. Respecto a la Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo, José Antonio Adame, investigador principal, y Rubén Padilla, estudiante de doctorado, explicaron la importancia de realizar medidas de GEI en el entorno del Parque Nacional de Doñana y próximo al estrecho de Gibraltar.

Ambos reportajes pueden encontrar en la web principal de ICOS-ERIC:

- Observatorio de Izaña: <https://www.icos-cp.eu/exploreicos-station-above-clouds>
- Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo: <https://www.icos-cp.eu/exploreicos-only-icos-tall-tower-iberian-peninsula>

5.3 Publicaciones y Congresos

Recopilación datos observación ICOS-ERIC:

- Warm winter 2020 Team, & ICOS Ecosystem Thematic Centre. (2022). Warm Winter 2020 ecosystem eddy covariance flux product for 73 stations in FLUXNET-Archive format—release 2022-1 (Version 1.0). ICOS Carbon Portal. <https://doi.org/10.18160/2G60-ZHAK>
- ICOS RI, Bergamaschi, P., Colomb, A., De Mazière, M., Emmenegger, L., Kubistin, D., Lehner, I., Lehtinen, K., Lund Myhre, C., Marek, M., Platt, S.M., Plaß-Dülmer, C., Schmidt, M., Apadula, F., Arnold, S., Blanc, P.-E., Brunner, D., Chen, H., Chmura, L., Conil, S., Couret, C., Cristofanelli, P., Delmotte, M., Forster, G., Frumau, A., Gheusi, F., Hammer, S., Haszpra, L., Heliasz, M., Henne, S., Hoheisel, A., Kneuer, T., Laurila, T., Leskinen, A., Leuenberger, M., Levin, I., Lindauer, M., Lopez, M., Lunder, C., Mammarella, I., Manca, G., Manning, A., Marklund, P., Martin, D., Meinhardt, F., Müller-Williams, J., Necki, J., O'Doherty, S., Ottosson-Löfvenius, M., Philippon, C., Piacentino, S., Pitt, J., Ramonet, M., Rivas-Soriano, P., Scheeren, B., Schumacher, M., Sha, M.K., Spain, G., Steinbacher, M., Sørensen, L.L., Vermeulen, A., Vítková, G., Xueref-Remy, I., di Sarra, A., Conen, F., Kazan, V., Roulet, Y.-A., Biermann, T., Heltai, D., Hensen, A., Hermansen, O., Komínková, K., Laurent, O., Levula, J., Pichon, J.-M., Smith, P., Stanley, K., Trisolino, P., ICOS Carbon Portal, ICOS Atmosphere Thematic Centre, ICOS Flask And Calibration Laboratory, ICOS Central Radiocarbon Laboratory, 2023. European Obspack compilation of atmospheric carbon dioxide data from ICOS and non-ICOS European stations for the period 1972-2022; obspack_co2_466_GLOBALVIEWplus_v8.0_2023-03-08. <https://doi.org/10.18160/CEC4-CAGK>
- C., Ramonet, M., Apadula, F., Arnold, S., Blanc, P.-E., Brunner, D., Chen, H., Chmura, L., Conil, S., Couret, C., Cristofanelli, P., Delmotte, M., Forster, G., Frumau, A., Gheusi, F., Hammer, S., Haszpra, L., Hatakka, J., Heliasz, M., Henne, S., Hoheisel, A., Kneuer, T., Laurila, T., Leskinen, A., Leuenberger, M., Levin, I., Lindauer, M., Lunder, C., Mammarella, I., Manca, G., Manning, A., Martin, D., Meinhardt, F., Mölder, M., Müller-Williams, J., Necki, J., Ottosson-Löfvenius, M., Philippon, C., Piacentino, S., Pitt, J., Rivas-Soriano, P., Scheeren, B., Schumacher, M., Sha, M.K., Smith, P., Spain, G., Steinbacher, M., Sørensen, L.L., Vermeulen, A., Vítková, G., Xueref-Remy, I., di Sarra, A., Conen, F., Kazan, V., Roulet, Y.-A., Biermann, T., Heltai, D., Hensen, A., Hermansen, O., Komínková, K., Laurent, O., Levula, J., Lopez, M., Marklund, P., Pichon, J.-M., Schmidt, M., Stanley, K., Trisolino, P., ICOS Carbon Portal, ICOS Atmosphere Thematic Centre, ICOS Flask And Calibration Laboratory, ICOS Central Radiocarbon Laboratory, 2023. European Obspack compilation of atmospheric methane data from ICOS and non-ICOS European stations for the period 1984-2023; obspack_ch4_466_GLOBALVIEWplus_v8.0_2023-03-30. <https://doi.org/10.18160/JM91-JXHK>

Lista de publicaciones revisadas por expertos independientes:

2021

- Curbelo-Hernández, D., González-Dávila, M., González-Santana, D., Santana-Casiano, J.M., 2021. CO₂ fluxes in the Northeast Atlantic Ocean based on measurements from a surface ocean observation platform. Science of the Total Environment, 775, 145804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145804>
- Curbelo-Hernández, D., Santana-Casiano, J.M., González-González, A. González-Dávila, M. 2021. Air-sea CO₂ exchange in the Strait of Gibraltar. Front. Mar. Sci. Marine Biogeochemistry, Volume 8 – 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.745304>

2022

- Adame, J.A., Padilla, R., Gutierrez-Alvarez, I., Bogeat, J.A., Lopez, A., Yela, M. Greenhouse gases in the tall tower of El Arenosillo-ICOS station in the Southwestern Europe: first-year of measurements. Atmospheric Research (in process).

Conferencias:

2021

- David Curbelo-Hernández, Melchor González-Dávila, Aridane G. González, David González-Santana, J. Magdalena Santana-Casiano. Seasonal and spatial variability of the CO₂ system parameters in the Northeast Atlantic based on measurements from a surface ocean observation platform. EGU General Assembly 2021. Vienna, Austria. 19-30 April 2021.

2022

- Omaira E. García Rodríguez, Emilio Cuevas Agulló, Pedro Pablo Rivas Soriano, Sergio Fabián León Luis. Inter-comparison of CO₂, CO and CH₄ mixing ratios obtained by in-situ and remote measurements techniques in the Izaña Atmospheric Observatory. ICOS Conference 13-15 September 2022.
- José Antonio Adame, Ruben Padilla, Jose A. Bogeat, Margarita Yela. Sampling system and measurements of CO₂, CH₄ and CO in the tall tower of El Arenosillo observatory (Southwestern Europe). ICOS Conference 13-15 September 2022.
- Rubén Padilla, José Antonio Adame, Juan Pedro Bolívar, Margarita Yela. Carbon monoxide measurements at El Arenosillo Observatory. ICOS Conference 13-15 September 2022.
- Roger Curcoll, Claudia Grossi, Juan Pedro Bolivar, Isidoro Gutierrez-Alvarez, Jose Adame, Josep Anton Morguá, Arturo Vargas. Atmospheric Radon Monitor (ARMON): Overview of its applications in Spain and presentation of the new user-friendly monitor. ICOS Conference 13-15 September 2022.
- Melchor González-Dávila, David Curbelo-Hernández, David González-Santana, Adrián Castro-Álamo, J. Magdalena Santana-Casiano, Aridane G. González. High spatio-temporal resolution evaluation of oceanic CO₂ variability based on underway data collected by a VOS line within the CARBOCAN network in the Canary Islands. ICOS Conference 13-15 September 2022.
- Melchor González Dávila, Magdalena Santana-Casiano, David González-Santana, Aridane González, David Curbelo. 5th International Symposium on the Ocean in a High CO₂ World CanOA, Ocean Acidification Network in the Canary Islands Region, oral presentation. 12-16 September 2022.
- David Curbelo Hernández, J. Magdalena Santana-Casiano, Melchor González Dávila, Aridane G. González. XXI Iberian Seminar of Marine Chemistry (SIQUIMAR) Spatio-temporal variability of the air-sea CO₂ fluxes in the Strait of Gibraltar based on high-frequency data collected by a VOS). Oral presentation. Las Palmas de Gran Canaria 6-8 July 2022.
- Melchor González-Dávila, J. Magdalena Santana Casiano, Aridane G. González, David Curbelo Hernández, David González-Santana, Adrián Castro-Alamo, David Estupiñan-Santana. Observation network of the carbon dioxide system and ocean acidification in the Canary Islands. Oral Presentation. XXI Iberian Seminar of Marine Chemistry (SIQUIMAR). Las Palmas de Gran Canaria 6-8 July 2022.
- David Curbelo Hernández, Melchor González Dávila, David González Santana, Aridane González, J. Magdalena Santana-Casiano. The variability of the surface CO₂ system and air-sea exchange in the Northeast Atlantic based on VOS data. VII International Symposium on Marine Sciences 2022. Oral presentation. Las Palmas de Gran Canaria 6-8 July 2022.

- David Curbelo Hernández, J. Magdalena Santana Casiano, Aridane González González, A., David González Santana, Melchor González Dávila. 2022. Variability of the air-sea CO₂ exchange in the Strait of Gibraltar based on measurements from a VOS line. EGU General Assembly 2022. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2412>

David Curbelo-Hernandez, J. Magdalena Santana-Casiano, Aridane González, Melchor González-Dávila. Spatio-temporal Variability of the Air-Sea CO₂ Exchange in the Strait of Gibraltar. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2021, pp. GC55K-0540).

Lista de publicaciones sin revisión por expertos independientes:

- **Informative Note ICOS-Spain N°1:** [Izaña Observatory yet again recorded a historical maximum in the concentration of carbon dioxide \(CO₂\) in May 2021. Covid-19 has not slowed down the increase of the greenhouse gas in the atmosphere](#)
- **Informative Note ICOS-Spain N°2:** [Synergy between surface and column measurements at Izaña Global Atmospheric Watch station: application to the volcanic eruption on La Palma](#)
- **Informative Note ICOS-Spain N°3:** [Atmospheric CO₂ and CH₄ concentrations measured at Izaña Observatory continue their upward trend](#)
- **Informative Note ICOS-Spain N°4:** [Global Carbon Budget 2022](#)
- **Informative Note ICOS-Spain N°5:** [The Mauna Loa Observatory interrupts its observations due to the volcanic eruption, but the atmospheric CO₂ monitoring at global scale goes on](#)
- **News:** [El Arenosillo Atmospheric Station passes the first: stage of the ICOS certification process](#)

5.4 Actividades de Formación y Divulgación en el Ámbito Educativo

- ✓ Tesis doctoral sobre el CO y CH₄ en la región de El Arenosillo.
- ✓ Tesis doctoral sobre Observación y análisis del sistema carbonatado y los flujos aire-mar de CO₂ en el Atlántico nororiental y el Mediterráneo occidental.
- ✓ Master en Oceanografía Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: CO₂ y acidificación del océano.
- ✓ Visitas de estudiantes de secundaria, grado y Máster; así como de otros grupos (representantes públicos y asociaciones varias) al Observatorio Atmosférico de Izaña.
- ✓ Visitas de estudiantes de secundaria, grado y Máster; así como de otros grupos (representantes públicos y asociaciones varias) a la ESAt de El Arenosillo, establecidas en el programa de visitas del CEDEA (Centro de Experimentación de El Arenosillo), ocho visitas en el segundo semestre de 2022 y seis visitas en el primer semestre de 2023.
- ✓ Seminario Avanzando en el Máster de Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva y la Universidad Internacional de Andalucía, impartido en mayo de 2023 por José A. Adame.
- ✓ Conferencia científica de divulgación dentro del programa Aula Morán de la Asociación Meteorológica Española, impartido en abril 2022 por Omaira García.

6 Lista de Miembros de ICOS-España.

6.1 Delegados en la Asamblea General de ICOS-ERIC.

- María Vallejo Abascal. Subdirección General de Internalización de la Ciencia y la Innovación. Secretaría General de Investigación. Ministerio de Ciencia e Innovación (MICIN).
- Dr. Emilio Cuevas Agulló. Punto Focal ICOS-España. Director del Centro de Investigación Atmosférico de Izaña (CIAI). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (Retirado en agosto de 2023).
- Dr. Carlos Torres García. Punto Focal ICOS-España. Director del Centro de Investigación Atmosférico de Izaña (CIAI). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (Desde septiembre de 2023).
- Dr. Melchor González Dávila. Instituto de Oceanografía y Cambio Global. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

6.2 Estación Atmosférica de Izaña

- Pedro Pablo Rivas-Soriano. Investigador Principal. Jefe del grupo GEI y Ciclo del Carbono del Centro de Investigación Atmosférico de Izaña (CIAI). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- Dr. Sergio Fabián León Luis. Técnico de ICOS-España. Tragsatec.

6.3 Estación Atmosférica de El Arenosillo

- Dr. José Antonio Adame. Investigador Principal. Instituto Nacional Técnica Aeroespacial (INTA).
- Dra. Margarita Yela González. Investigadora. Jefa de Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica (AIIA). Instituto Nacional Técnica Aeroespacial (INTA).

6.4 Estación Oceánica CanOA SOOP Line.

- Dr. Melchor González Dávila. Investigador Principal. Grupo de Investigación QUIMA. Instituto de Oceanografía y Cambio Climático (IOCAG). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)
- Dr. Aridane González González. Investigador. Grupo de Investigación QUIMA. Instituto de Oceanografía y Cambio Climático (IOCAG). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

6.5 Estación Oceánica ESTOC.

- Dr. Eric Delory. Investigador Principal. Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN)
- Dr. Pedro Vélez Belchí. Investigador. Centro Oceanográfico de Canarias, Instituto Español Oceanografía-Consejo Superior de Investigaciones científicas (IEO-CSIC).
- Dr. Melchor González Dávila. Investigador. Grupo de Investigación QUIMA. Instituto de Oceanografía y Cambio Climático (IOCAG). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

6.6 Estación Asociada Ecosistemas Majadas de Tiétar.

- Dr. Arnaud Carrara. Investigador Principal. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).

6.7 ICOS Cities Project.

- Dra. Gara Villalba Méndez. Investigadora Principal. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB).
- Dr. Roger Curcoll. Investigador. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB).

6.8 ICOS KADI.

- Dra. África Barreto Velasco. Investigadora Principal. Centro de Investigación Atmosférico de Izaña (CIAI). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- Dra. Omaira E. García Rodríguez. Investigadora. Centro de Investigación Atmosférico de Izaña (CIAI). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

7 Referencias

- [1] New CO₂ Green Report 2019 Published | Copernicus, <https://www.copernicus.eu/es/node/8337>.
- [2] R. Nydal and J. S. Gislefoss, Further Application of Bomb ¹⁴C as a Tracer in the Atmosphere and Ocean, *Radiocarbon* 38, 389 (1996).
- [3] R. Nydal and K. Loevseth, Tracing Bomb ¹⁴C in the Atmosphere 1962--1980, *J Geophys Res U. S.* 88:C6, (1983).
- [4] Cuevas, E., Milford, C., Barreto, A., Bustos, J. J., García, O. E., García, R. D., Marrero, C., Prats, N., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rivas-Soriano, P. P., Romero-Campos, P. M., Torres, C. J., Schneider, M., Yela, M., Belmonte, J., Almansa, F., López-Solano, C., Basart, S., Werner, E., Rodríguez, S., Afonso, S., Alcántara, A., Alvarez, O., Bayo, C., Berjón, A., Carreño, V., Castro, N. J., China, N., Cruz, A. M., Damas, M., Gómez-Trueba, V., González, Y., Guirado-Fuentes, C., Hernández, C., León-Luís, S. F., López-Fernández, R., López-Solano, J., Parra, F., Pérez de la Puerta, J., Rodríguez-Valido, M., Sálamo, C., Santana, D., Santo-Tomás, F., Sepúlveda, E. and Serrano, A.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2019-2020. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. and Tarasova, O.), State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, NIPO: 666-22-014-0, WMO/GAW Report No. 276, <https://doi.org/10.31978/666-22-014-0>, 2022.
- [5] Laurent, Olivier, ICOS Atmosphere Station specifications Version 2.0. ICOS ERIC. DOI: 10.18160/GK28-2188., <https://box.lsce.ipsl.fr/index.php/s/YKxksYdSoVUtPPr>.
- [6] J. A. Adame, I. Gutierrez-Alvarez, J. P. Bolivar, and M. Yela, Ground-Based and OMI-TROPOMI NO₂ Measurements at El Arenosillo Observatory: Unexpected Upward Trends, *Environ. Pollut.* 264, 114771 (2020).
- [7] J. A. Adame, L. Lope, M. Sorribas, A. Notario, and M. Yela, SO₂ Measurements in a Clean Coastal Environment of the Southwestern Europe: Sources, Transport and Influence in the Formation of Secondary Aerosols, *Sci. Total Environ.* 716, 137075 (2020).
- [8] J. A. Adame, I. Gutiérrez-Álvarez, P. Cristofanelli, A. Notario, J. A. Bogeat, A. López, A. Gómez, J. P. Bolívar, and M. Yela, Surface Ozone Trends over a 21-Year Period at El Arenosillo Observatory (Southwestern Europe), *Atmospheric Res.* 269, 106048 (2022).
- [9] M. Sorribas, E. Andrews, J. A. Ogren, A. del Águila, R. Fraile, P. Sheridan, and M. Yela, Climatological Study for Understanding the Aerosol Radiative Effects at Southwest Atlantic Coast of Europe, *Atmos. Environ.* 205, 52 (2019).
- [10] M. Sorribas, J. A. Adame, E. Andrews, and M. Yela, An Anomalous African Dust Event and Its Impact on Aerosol Radiative Forcing on the Southwest Atlantic Coast of Europe in February 2016, *Sci. Total Environ.* 583, 269 (2017).
- [11] Adame, J.A., Padilla, R., Gutierrez-Alvarez, I., Bogeat, J.A., Lopez, A., Yela, M., Greenhouse Gases in the Tall Tower of El Arenosillo-ICOS Station in the Southwestern Europe: First-Year of Measurements (in Process).

- [12] M. González-Dávila, J. M. Santana-Casiano, M. J. Rueda, and O. Llinás, The Water Column Distribution of Carbonate System Variables at the ESTOC Site from 1995 to 2004, *Biogeosciences* 7, 3067 (2010).
- [13] N. Bates, Y. Astor, M. Church, K. Currie, J. Dore, M. Gonaález-Dávila, L. Lorenzoni, F. Muller-Karger, J. Olafsson, and M. Santa-Casiano, A Time-Series View of Changing Ocean Chemistry Due to Ocean Uptake of Anthropogenic CO₂ and Ocean Acidification, *Oceanography* 27, 126 (2014).
- [14] Curbelo-Hernández, D., Gonzalez-Davila, M., Santana-Casiano, J.M. (2023). The Carbonate System and Air-Sea CO₂ Fluxes in Coastal and Open-Ocean Waters of the Macaronesia. *Frontiers in Marine Science*. 10. 1094250. 10.3389/Fmars.2023.1094250.
- [15] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, <https://archive.ipcc.ch/index.htm>.
- [16] European Obspack 2023-1 for CO₂ and CH₄, <https://www.icos-cp.eu/obspaceEU-2022>.
- [17] Warm Winter 2020 Ecosystem Eddy Covariance Flux Product for 73 Stations in FLUXNET-Archive Format—Release 2022-1, <https://www.icos-cp.eu/data-products/2G60-ZHAK>.
- [18] KADI Project Continues to Build an African Greenhouse Gas Observation Infrastructure, <https://www.icos-cp.eu/event/1276>.

8 Lista de Acrónimos

ACTRIS - Aerosols, Clouds, and Trace gases research infrastructure

AERONET - AErosol RObotic NETwork

AEMET - Agencia Estatal de Meteorología

ATC - Centro Temático de Atmosfera

BSRN - Baseline Surface Radiation Network

CAL - Central Analytical Laboratories

CEAM - Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo

CIAI - Centro de Investigación Atmosférico de Izaña

CMCC - EuroMediterranean Centre on Climate Change

COCCON - Collaborative Carbon Column Observing Network

COP - Conference of the Parties

CRL - Central Radiocarbon Laboratory

E-GVAP - Water Vapour programme

ERIC - European Research Infrastructure Consortium

ESA - European Space Agency

ETC - Centro Temático de Ecosistemas

EOOS - European Ocean Observing System

EUBREWNET - European Brewer Network

EUMESAT - European Association of National Metrology Institutes

FCL - Flask and Calibration Laboratory

FMI - Finish Meteorological Institute

GAW - Global Atmospheric Watch

GCOS - Global Climate Observing System

GEORGE - Next Generation Multiplatform Ocean Observing Technologies for Research Infrastructures

GLODAP - Global Ocean Data Analysis Project

GOOS - Global Ocean Observing System

ICOS - Integrated Carbon Observation System

IEO-CSIC - Instituto Español de Oceanografía- Consejo Superior Investigaciones Científicas

IG3IS - Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero

INRAE - National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, Francia.

INTA - Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

IOCCP - International Ocean Carbon Coordination Project

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

KADI - Knowledge and Climate Services from an African Observation and Data Research Infrastructure

LSCE - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

MICIN - Ministerio de Ciencia e Innovación

MPLNET - Micropulse Lidar NETwork

NDACC - Network for Detection of Atmospheric Composition Change

NMDB - Neutron Monitor Database

NOC - National Oceanography Centre, Reino Unido.

NORCE- Norwegian Research Centre

OMM - Organización Meteorológica Mundial

OSACT - Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Técnico

OTC - Centro Temático Oceánico

PLOCAN - Plataforma Oceánica de Canarias

QUIMA - Química Marina

SOCAT - Surface Ocean CO₂ Atlas

TCCON - Total Carbon Column Observing Network

UAB - Universidad Autónoma de Barcelona

UIB - Universidad de Bergen, Noruega

UHEI - Institute of Environmental Physics of the Heidelberg University

ULPGC - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

UNFCCC - Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

UNITUS - Universidad de Tuscia, Italia.

UOE - Universidad of Exeter, Reino Unido

WOUDC - World Ozone and Ultraviolet Data Center