

## ANEXO II Memorias Científico-Técnicas

### Subproyecto 1. Islas Canarias: destino de Volcanes.

*IP: Juana Vegas Salamanca*

*Científica Titular*

*IP2: Nieves Sánchez Jiménez*

*Científica Titular*

*Instituto Geológico y Minero de España (IGME)*

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

## Memoria Científico-Técnica

### Título del Subproyecto:

Islas Canarias: destino de Volcanes

### Resumen

Las Islas Canarias son un territorio que ha emergido del fondo del océano Atlántico como consecuencia de las erupciones volcánicas que han tenido lugar en este territorio desde hace más de 20 millones de años hasta la actualidad. Actualmente, son la única zona volcánicamente activa del territorio nacional, con ocho erupciones históricas en La Palma, cinco en Tenerife, una en El Hierro y decenas de erupciones en los últimos miles de años en todo el archipiélago, que conforman un paisaje insular volcánico muy apreciado en el turismo internacional y nacional que hacen de Canarias un destino único bajo la marca de los VOLCANES con la mayor garantía de disfrutar en un entorno con seguridad para los visitantes.

El turismo volcánico es un sector muy importante del geoturismo que se define como la exploración y el estudio de las formas y procesos geotérmicos de volcanes activos, pero también como la visita a volcanes sin actividad o a regiones de volcanismo extinto, siempre que su patrimonio geológico sea de interés y atracción para generar corrientes de visitantes (Erfurt-Cooper, 2010a; 2011, Dóniz -Páez, 2012). (Dóniz-Páez, 2014; Galindo et al., 2015).

En Canarias, el Parque Nacional de Timanfaya es un ejemplo de aprovechamiento turístico del volcanismo. Lo son también los CAT del Cabildo de Lanzarote, como la Cueva de Los Verdes, Los Jameos del Agua, que son dos centros turísticos localizados a poca distancia y centrados sobre el mismo elemento geológico, el tubo volcánico del volcán de La Corona; o el Mirador de El Río desde el que se avista el archipiélago Chinijo. A escala internacional, existen también numerosos ejemplos de volcanes que son visitados por millones de personas al año, como el

Vesubio, Estromboli y el Etna en Italia, Katla en Islandia, Kilauea en Hawai, Mayón en Filipinas, Bromo en Java, Monte Pelée en Martinica, Poas y Arenal en Costa Rica, etc.

Muchos de los volcanes a nivel mundial tienen centros turísticos asociados. Algunos ejemplos son: (1) el centro de visitantes de la erupción del Eyjafjallajokull, también en Islandia, es una pequeña nave que han habilitado como tienda y sala de proyección sobre la erupción que colapsó el cielo europeo y cómo lo vivieron los granjeros del lugar (Figura 1); o (2) el museo de la erupción de Capelinhos (1957-1958) en la isla de Faial (Azores), perfectamente integrado en el paisaje y sede de un geoparque (Figura 2); (3) Nevado del Ruiz en la erupción del 1985, en Colombia; o (4) erupción del volcán Eldfell en 1973, en Islandia. En estos casos optaron por la creación de edificios que han recibido premios internacionales, con lo que son una atracción arquitectónica. El segundo, sin embargo, demuestra como una pequeña vivienda puede ser también una buena opción para atraer a los turistas.



Figura 1. Imagen de la erupción y centro de visitantes de la erupción del Eyjafjallajokull (Islandia).

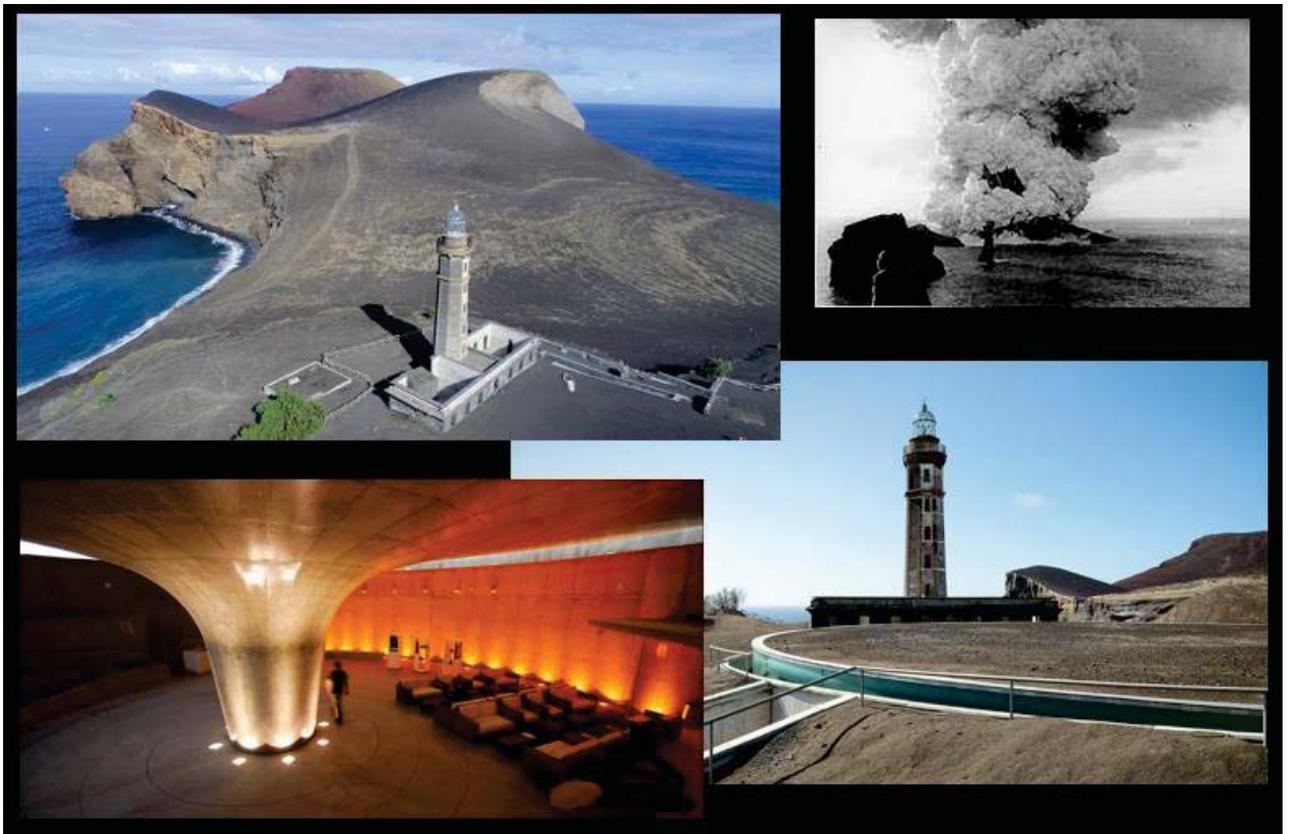


Figura 2. Imagen de la erupción de Capelinhos en 1957-58 (Azores) y de su centro de visitantes.



Figura 3. Imagen del volcán Nevado del Ruiz (Colombia) y el Parque Temático Omaira Sánchez en memoria de la erupción de 1985, con más de 23.000 fallecidos (<https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Parque-Tematico-Omaira-Sanchez.aspx>).



Figura 4. Imágenes del centro de visitantes de la erupción del volcán Eldfell en 1973 (Islandia) y de una vivienda afectada por las lavas en el exterior.

Dentro del conjunto de recursos naturales y de actividades que se realizan en los volcanes en Canarias, se pueden agrupar las posibles experiencias a desarrollar en ocho ejes principales:

- 1) Diversidad de volcanes por la variedad geocronológica y de diversidad de magmas y procesos geotectónicos implicados en las erupciones, que han originado una belleza y espectacularidad de sus formas que no se repite en ninguna de las islas.
- 2) Volcanes activos históricos seguros y accesibles para el turismo de naturaleza.
- 3) Geoturismo en dos Geoparques Mundiales de la UNESCO (El Hierro y Lanzarote-archipiélago Chinijo) enmarcados en la Red Mundial con 195 geoparques de 44 países diferentes.
- 4) Paisajes volcánicos que son escenarios únicos para la práctica de turismo activo y senderismo.
- 5) Turismo científico en torno a los volcanes. Sede de congresos científicos y actividades formativas de campo en las universidades.
- 6) Mucho más que volcanes. En el archipiélago los volcanes confluyen además el viento, el clima, el océano y la biodiversidad como modeladores y formadores de otros paisajes únicos. Las playas de arena negra, roja, blanca y verde que destacan por su singularidad y por ser únicas.
- 7) Volcanes, arqueología y usos tradicionales. La ocupación de las islas desde época Romana, sobre todo por las culturas aborígenes hasta el siglo XV y, desde entonces, los usos tradicionales que han perdurado hasta nuestros días son un nexo de unión único entre civilizaciones y volcanes.

8) Agua y volcanes. Aprovechamiento excepcional de las aguas subterráneas en islas volcánicas, donde los recursos hídricos superficiales son escasos y las aguas subterráneas representan aproximadamente el 90% de los recursos hídricos disponibles, que está estrechamente ligada a las características y la configuración geológica de los terrenos volcánicos.

El desarrollo de estos 8 ejes principales debe estar sustentado por las nuevas tecnologías que ayudan a la accesibilidad de las personas, generación de nuevo empleos, la diversificación del tejido empresarial turístico, la disminución de la huella de carbono y a la sostenibilidad de los recursos naturales. La realidad virtual y realidad aumentada (VR) es una tecnología inmersiva que permite a los usuarios interactuar con contenido digital en un entorno tridimensional (3D) permitiendo disfrutar de los volcanes de Canarias de una forma integral y la recreación de procesos y sonidos que ocurrieron en el pasado y no son visibles ahora.

## 1. Antecedentes

El patrimonio geológico de Canarias, en ocasiones, está invisibilizado por otros elementos de la biodiversidad canaria, tiene la fortaleza de ser la seña de identidad del volcanismo del país. Elementos como los estratovolcanes, calderas volcánicas, pitones, domos y el volcanismo fisural alcanzan los mayores valores científicos y de reconocimiento por la sociedad (p.ej. Centellas, 2000). Además, estos iconos del patrimonio geológico y la geodiversidad canarios han contribuido significativamente a la declaración de figuras de protección y desarrollo sostenible a nivel internacional como las de Reservas de la Biosfera, Geoparques Mundiales y Patrimonio Mundial (Carracedo, 2008; Durbán y Reverón, 2011; Galindo et al., 2015; Hilario y Carcavilla, 2020).

En este sentido conviene resaltar que la mayoría de los espacios actualmente protegidos en Canarias enfatizan el valor geológico de los procesos ligados al volcanismo, a pesar de que, durante la dilatada historia geológica del Archipiélago, la erosión y sedimentación han dado lugar a la creación de formas erosivas y depósitos sedimentarios de muy diverso origen y con un registro paleontológico único (playas, campos de dunas, paleosuelos, taludes detríticos, depósitos de avalanchas, etc.). Son todos estos procesos combinados los que contribuyen a aumentar la ya de por sí amplia variedad de procesos geológicos presentes en Canarias, permitiendo que, además de procesos eruptivos, tengamos fantásticos ejemplos de formas, elementos y afloramientos asociados al desarrollo de procesos geológicos externos.

Durante las últimas décadas, la economía de Canarias ha estado íntimamente ligada al turismo de volcanes, que se ha vuelto cada vez más dependiente de las actividades turísticas relacionadas con estos espacios naturales protegidos (Dorta et al., 2020). En la actualidad existen numerosas infraestructuras y productos turísticos sobre los volcanes, especialmente en los centros de visitantes de los dos Geoparques Mundiales UNESCO, en los cuatro Parques Nacionales, en la red Parques Naturales; así como en otros museos y centros de visitantes con algunas salas dedicadas a la geología y volcanología de cada isla.

En 2009 La Consejería de Turismo del Gobierno de Canarias puso en marcha el ‘Plan de Competitividad Islas Canarias (Pérez y Hernández, 2010). Una experiencia volcánica’ dentro

de los objetivos del Plan de Turismo Español Horizonte 2020 que perseguía revalorizar los recursos que fomenten el equilibrio socio-territorial del turismo, creando nuevas categorías de productos capaces de operar todo el año sobre la base de la diferenciación y especialización de los destinos turísticos, donde se desarrollaron fundamentalmente senderos temáticos en cada isla como productos turísticos, potenciando además la gastronomía y la cultura.

El equipo solicitante tiene varios antecedentes y experiencias que son vitales para la consecución de este proyecto:

La realización del inventario de Lugares de Interés Geológico de Canarias mediante el proyecto de investigación "LIGCANARIAS (2018-2021)", financiado por el Gobierno de Canarias con fondos Feder. Dicho proyecto ha supuesto la realización del primer inventario sistemático, con metodología actualizada, de todo el archipiélago canario. Previamente ya se disponía del inventario de Global Geosites que finalizó en 2008 (García-Cortés, 2008) y que puso de manifiesto el patrimonio geológico de relevancia internacional para España, incluyendo los Geosites de Canarias. El inventario de Lugares de Interés Geológico realizado para el Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y archipiélago Chinijo (Galindo et al., 2014, 2016a) realizado mediante un convenio con el Cabildo de Lanzarote, además permitió desarrollar el inventario de LIG en el PPNN de Timanfaya (Vegas et al., 2015; Galindo et al., 2019a,b,c,d); el Inventario del Geoparque Mundial UNESCO de El Hierro (Casillas et al., 2022) y el Inventario de recursos vulcanológicos de Fuerteventura (Casillas y Torres 2011). Todas ellas han permitido conocer el patrimonio geológico y la geodiversidad de relevancia internacional y nacional y se ha determinado su valor científico, didáctico y turístico.

La utilización de la imagen digital para la interpretación y musealización del patrimonio cultural está ya muy extendida (Barberà Giné, 2017; Blaya et al., 2017; Felicísimo et al., 2018; Sullivan et al., 2018), siendo su empleo menos frecuente en trabajos de geoturismo o turismo de volcanes. En el caso particular del patrimonio geológico, aunque su uso para el geoturismo es más bastante frecuente (González-Delgado et al., 2014), su aplicación en el geoturismo de volcanes es muy minoritaria. La producción de animación utiliza tecnologías que permiten la superposición de imágenes virtuales sobre imágenes reales para visualizar en teléfonos inteligentes o gafas VR. Estos modelos deberían ayudar a la comprensión de la evolución del paisaje volcánico de Canarias y contribuir a posicionar el geoturismo volcánico como uno de los puntos fuertes del turismo de calidad y de naturaleza en el archipiélago.

El geoturismo con frecuencia se muestra a través de expertos o guías que describen al público cómo se formaron las rocas, los volcanes, los antiguos ecosistemas ya extinguidos y los paisajes. Para poder hacer una experiencia turística a partir del patrimonio geológico se requiere gestionar lapsos de tiempo de millones y miles de años y cambios del medio físico, que hoy en día no visibles en el paisaje (Pellicer et al., 2022). Este método de comunicación permite visualizar el momento presente en un área limitada, pero para comprender la evolución de un paisaje que puede haberse formado hace varios millones de años necesita una gran abstracción por parte de los visitantes. La transferencia de esta información a la sociedad ha sido un desafío recurrente en geoturismo y, sobre todo, influye en la generación de una marca de destino y un producto único que esté al alcance de todos.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto consiste en la identificación de los 50 mejores destinos VOLCAN en Canarias y su interpretación geológica para conseguir un destino de GEOTURISMO único a nivel mundial. Para ello, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- i) Desarrollar una metodología para seleccionar los mejores 50 destinos VOLCAN en todo el archipiélago canario (destino azul y verde) por su alto valor científico y turístico, estado de conservación, baja fragilidad y accesibilidad.
- ii) Crear una marca y diseño de producto reconocible a nivel internacional, que refuerce los productos ya existentes, pero que impulse a Canarias como destino seguro de Volcanes.
- iii) Interpretación y animación mediante nuevas tecnologías, especialmente mediante la realidad virtual, de los 50 destinos VOLCAN para facilitar experiencias inmersivas en el tiempo sostenibles con el medioambiente.
- iv) Formar y capacitar para generación de empleo azul y verde especializado en volcanes, con especial atención en los colectivos con discapacidad y de igualdad de género en todo el archipiélago.
- v) Comunicar y divulgar el proyecto en el ámbito nacional e internacional.

## 3. Metodología

Se ha establecido un plan de trabajo estructurado en 9 actividades principales, para la consecución de los objetivos planteados. En cada una de ellas se fija un hito parcial consistente en la elaboración de un informe-memoria de las labores realizadas y de los resultados obtenidos. Su organización temporal puede apreciarse en el cronograma. Para la realización de las actividades y tareas previstas en este plan de trabajo, se aplicarán de forma simultánea y complementaria enfoques metodológicos de análisis y síntesis, compaginando secuencialmente métodos de adquisición de datos en campo y métodos de tratamiento y análisis en gabinete.

0. **Gestión del proyecto.** Coordinado desde el IGME-CSIC.

1. **Investigación y selección de los mejores 50 entornos volcánicos de Canarias** (destino AZUL y Verde) con criterios de sostenibilidad y conservación. Para ello, se desarrollará una metodología de valoración específica que identifique a partir de los 300 Lugares de Interés Geológico de Canarias que están en el IELIG, cuáles son los 50 mejores repartidos por islas, por diferente tipología de volcanes, condiciones de accesibilidad, seguridad, diversificación y espectacularidad. El punto de partida consiste en analizar los Lugares de Interés Geológico (en adelante LIG) de Canarias y se realizará una base de datos con una cartografía digital asociada. Estos LIG ya están reconocidos y caracterizados en los inventarios previos realizados en Canarias, sobre

todo del proyecto LIGCanarias y Global Geosites, y tienen asociados un conjunto de atributos que incluyen entre otros un valor científico, un valor educativo y un valor turístico/recreativo. El valor turístico es el que se empleará para estimar el uso público del patrimonio geológico.

## 2. Cartografía digital y base de datos de los entornos volcánicos y rutas.

La cartografía digital se entregará en el formato estándar para el intercambio de información geográfica shapefile, formato propietario de datos espaciales desarrollado por ESRI. Se trata de un formato estándar a la hora de representar la información geográfica y tiene como ventajas principales, el tener menores requisitos de almacenamiento que otros formatos, una gran velocidad de acceso y facilidad de transformación. No obstante, para asegurar la calidad del producto final, se llevarán a cabo los debidos controles de calidad topológica y geométrica necesarios. La información se encontrará georreferenciada en coordenadas geográficas y UTM Huso 28 N. Tal y como recoge el Real Decreto 1071/2007, será utilizado el sistema de referencia de coordenadas REGCAN95 (Red Geodésica de Canarias 1995), siendo utilizada como cartografía de referencia la BCN 1:5.000 de GRAFCAN. Con el fin de que la información pueda ser catalogada, compartida y explotada de modo seguro y eficaz por todo tipo de usuarios a lo largo del tiempo, la cartografía se suministrará acompañada de sus respectivos metadatos siguiendo el núcleo español de metadatos (NEM) y por tanto, conforme a la Norma ISO 19115 de Metadatos que recomienda la directiva INSPIRE (2007/2/CE) para la catalogación de conjuntos de datos espaciales.

El producto final de esta tarea será una cartografía digital y un mapa derivado aplicado, que utilizará la cartografía de base anterior, pero que implemente consultas específicas enfocadas a la gestión de estos lugares. A continuación, se indican algunas de las actividades previstas a desarrollar para la generación de la base de datos y cartografía digital que acompañará al proyecto.

i) Modelo de la base de datos. En una primera fase se decidirá el formato y los criterios y contenidos de la base de datos, siendo descritas las entidades y atributos necesarios a almacenar en la base de datos. A modo de síntesis, estos atributos descriptivos de los LIG pueden ser clasificados en 4 grandes grupos:

-Descripción (Localización, acceso).

-Valoración (valor científico y valor para el uso público).

-Diagnóstico

-Propuestas de actuación.

ii) Recopilación y evaluación de información. Atendiendo al modelo definido en la fase anterior, se identificarán las posibles fuentes de información. En el caso de que la información disponible no cubra completamente las necesidades de la nueva base de

datos, se realizarán operaciones que incluyan la transformación de la información ya existente o la captura de nuevos datos.

iii) La escala es un elemento muy importante al cartografiar estos LIG. El tamaño de los lugares de interés geológico puede que sea variopinto y por tanto que el detalle en la delimitación no sea homogéneo. Estos son los criterios orientativos que se utilizarán para elegir la escala de representación:

iii) Operaciones de filtrado y transformación de la información. Con el objetivo de obtener una cartografía digital única y homogénea a partir de información pre-existente, se evaluarán qué operaciones de transformación o combinación de la información serán necesarias.

iv) Control de calidad. Se revisará y comprobará que la base de datos y la cartografía digital cumplan con los requerimientos y especificaciones establecidos por el Organismo Autónomo Parques Nacionales.

v) Salidas gráficas. La documentación gráfica será entregada organizada en carpetas, incluyendo archivos de proyecto (mxd), archivos en formato no editable (pdf), archivos de simbología (.lyr) y los datos (.shp, acddb).

3. **Desarrollo de diagramas, cortes geológicos, fotografías con dron, búsqueda de análogos para obtener una fuente documental para interpretar los procesos geológicos de los 50 entornos volcánicos.** Se aplicarán los métodos de realidad virtual y aumentada (VR/AR) sobre las reconstrucciones geológicas de los entornos volcánicos seleccionados en cada isla. Se combinarán las reconstrucciones científicas con tecnologías de producción de realidad virtual para generar los diversos escenarios virtuales. Este proceso incluye la digitalización del entorno por medio de fotogrametría de alta resolución y escaneo 3D de afloramientos utilizando vuelos de drones y estaciones terrestres. El programa comercial Gocad permite la producción de reconstrucciones geológicas en 3D. Los modelos a escala regional se basan en datos disponibles de superficie y del subsuelo. También es necesario generar nuevos cortes geológicos a escala local para la producción de modelos 3D de detalle y a alta resolución.
4. **Interpretación, diseño de guiones y animación de los 50 entornos volcánicos para realidad virtual.** El resultado final serán imágenes y animaciones fotorealísticas de gran impacto visual y rigurosidad científica, que sirven para alimentar producciones audiovisuales y motores RV/RA. A través de la superposición de imágenes virtuales sobre las reales, utilizando dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas y gafas de RV, se ofrece al usuario una experiencia de visita inmersiva.
5. **Diseño de infraestructuras para el geoturismo en estos 50 entornos volcánicos.** Se realizará una búsqueda de instalaciones públicas que puedan destinarse al geoturismo y se realizará el proyecto expositivo de las que sean más viables para su puesta en funcionamiento. Se buscará el apoyo de instituciones y empresas del sector que puedan

mantener en el tiempo las instalaciones, como son los Geoparques Mundiales UNESCO, Parques Nacionales y otros espacios protegidos.

6. **Diseño de la marca de producto para todas las islas.** Se realizará el diseño de la marca de producto “Canarias: destino de VOLCANES”, tanto en inglés y español para su difusión internacional.
7. **Formación para generación de empleo azul y verde especializado en volcanes** dirigida a desempleados, pymes o micropymes. Se han programado un curso de formación a realizar en cada isla, dirigido a desempleados, con especial énfasis en empleo femenino que puedan trabajar como guías de la naturaleza o guías de turismo. Se impartirá un primer módulo sobre los procesos geológicos y volcánicos de los Volcanes seleccionados y un segundo módulo de actividades y herramientas para el geoturismo y gestión de empresas del sector.
8. **Desarrollo de una ‘SPIN-OFF’ of ‘STAR-UP’ turismo de volcanes para Canarias.**
9. **Difusión e internacionalización.** Redes sociales y plataforma digital para difusión del nuevo producto.

#### 4. Seguimiento y mecanismos efectivos de evaluación

Indicador		Fuente de datos
Eficacia	Reuniones de coordinación y seguimiento con Promotur	Plan de trabajo anual con al menos dos reuniones.
Eficiencia	Coste total de las acciones desarrolladas	Justificación económica final.
Relevancia	Numero de experiencias de realidad virtual desarrolladas y testadas	Encuestas a usuarios potenciales
Sostenibilidad	Desarrollo de productos con nuevas tecnologías para Destino Volcanes	Número de productos virtuales, reuniones online y eventos sostenibles realizados
Impacto	Reconocimiento de la marca destino Volcanes	Redes sociales, empresas involucradas y noticias en los medios



CSIC (IGME-Canarias)	2024	2025	2026	Total
Costes de personal	- €	94.360,00 €	94.360,00 €	188.720,00 €
Viajes y dietas	9.000,00 €	20.000,00 €	10.000,00 €	39.000,00 €
Equipamiento	10.000,00 €	7.500,00 €	7.500,00 €	25.000,00 €
Fungible	3.000,00 €	15.000,00 €	2.000,00 €	20.000,00 €
Otros gastos	19.949,00 €	78.604,00 €	90.502,00 €	189.055,00 €
<b>Total</b>	<b>41.949,00 €</b>	<b>215.464,00 €</b>	<b>204.362,00 €</b>	<b>461.775,00 €</b>
<b>FGULL</b>				
Costes de personal	- €	- €	- €	- €
Viajes y dietas	2.500,00 €	2.500,00 €	2.500,00 €	7.500,00 €
Equipamiento	375,00 €	375,00 €	375,00 €	1.125,00 €
Fungible	- €	- €	- €	- €
Otros gastos	- €	- €	- €	- €
<b>Total</b>	<b>2.875,00 €</b>	<b>2.875,00 €</b>	<b>2.875,00 €</b>	<b>8.625,00 €</b>
<b>TOTAL PROYECTO 1</b>	<b>44.824,00 €</b>	<b>218.339,00 €</b>	<b>207.237,00 €</b>	<b>470.400,00 €</b>

Por su parte el CSIC (IGME-Canarias) y la ULL aportarán 97.459,99 euros al subproyecto 1 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
<b>CSIC (IGME-Canarias)</b>				
Personal investigador	18.812,06 €	28.812,06 €	14.812,07 €	62.436,19 €
<b>FGULL</b>				
Personal investigador	11.674,60 €	11.674,60 €	11.674,60 €	35.023,80 €
<b>TOTAL PROYECTO 1</b>	<b>30.486,66 €</b>	<b>40.486,66 €</b>	<b>26.486,67 €</b>	<b>97.459,99 €</b>

## 7. Difusión de resultados y divulgación científica

La divulgación y difusión de los resultados de la investigación es una estrategia clave para la transmisión y divulgación del conocimiento a la sociedad y uno de los objetivos prioritarios del proyecto. Las acciones de comunicación y difusión de resultados previstas durante la duración del proyecto, tendrán como objetivo primordial permitir informar eficazmente al público interesado de cuáles son los objetivos y actividades del proyecto y conseguir la máxima visibilidad, accesibilidad e impacto de los contenidos científicos del mismo. Se realizará de

forma transversal y participarán en él todo el equipo de investigación. La filosofía de la comunicación en este proyecto es que sea una ‘comunicación verde’ mediante plataformas, innovaciones tecnológicas no invasivas en el medio natural y productos con baja huella de carbono, sostenibles y de gran impacto mediático.

Las actividades de difusión tendrán lugar a lo largo de las diferentes fases del proyecto. Durante la fase inicial, la estrategia de comunicación se centrará en la creación de una entidad gráfica, en la sensibilización sobre la problemática al público general y en la promoción del proyecto. Luego, y paulatinamente a la consecución de resultados, se irán difundiendo los resultados y beneficios obtenidos por el proyecto.

Las herramientas y canales de difusión que serán utilizados para presentar el contenido del proyecto al público externo serán:

- Publicaciones científicas. Se realizarán publicaciones científicas en revistas del SCI y otras de ámbito nacional. Por la temática de este proyecto, entre las revistas indexadas está previsto publicar en Geoheritage, Geosciences, Tourism Management Perspectives o en International Journal of Geoheritage and Geoparks.
- Congresos y reuniones científicas. Está previsto la presentación de resultados del proyecto en congresos y reuniones científicas nacionales e internacionales del ámbito del patrimonio geológico y el geoturismo. Entre las que se celebrarán en los próximos tres años se encuentran: ProGEO International Symposium sobre patrimonio geológico, en 2025; las ediciones de CONAMA; EUROPARC-España, FITUR.
- Seminarios y presentaciones del proyecto online. Se realizarán reuniones y difusión del proyecto mediante seminarios online (webinars) en plataformas digitales en abierto, que han demostrado su capacidad de convocatoria.
- Redes sociales. Las redes sociales serán una de las herramientas fundamentales en la estrategia de comunicación del proyecto. Su gratuidad, facilidad de uso, la posibilidad de llegar a públicos masivos, la rapidez y la posibilidad de utilizarse en cualquier lugar y momento son algunos de sus principales ventajas. La comunicación se llevará a cabo utilizando un lenguaje claro, directo y adaptado al público general, facilitando de manera periódica mensajes de identidad del proyecto que se consideran claves, para informar sobre los avances y resultados del proyecto. Para lograr una mayor visibilidad e impacto en las publicaciones se cuidará especialmente que las imágenes y/o vídeos que los acompañen sean lo más atractivos posibles. En español e inglés.
- Medios de comunicación (prensa escrita, radio, TV). Los medios tienen un papel importante para la promoción y difusión de los temas ambientales y pueden contribuir a la formación de una cultura ambiental ciudadana, generar estados de opinión y percepciones positivas, crear notoriedad sobre nuevos conceptos a transmitir y estimular las acciones de responsabilidad social de empresas y grupos de usuarios. Se hará especial énfasis en la prensa local en Canarias.
- Materiales digitales. Se realizarán vídeos, folletos digitales, tours virtuales, etc. para su difusión por diversos medios. Se realizarán en español y en inglés, atendiendo al alto porcentaje

de visitantes internacionales de canarias. Las nuevas tecnologías, como los catálogos de realidad virtual, proporcionarán interesantes posibilidades para la difusión de dicha información, complementando los servicios proporcionados por los centros de visitantes, todo ello en el marco de un adecuado programa de interpretación del patrimonio natural y cultural. Esta edición de materiales digitales, frente a la edición en papel o en otros formatos convencionales, supone una disminución de la huella de carbono, ahorro de costes y materias primas y aseguran su sostenibilidad en el tiempo.

## 8. Beneficios de este proyecto y transferencia

La estrategia inter- y multidisciplinar buscará conseguir sinergias y complementos entre los conocimientos y metodologías componentes de los equipos del proyecto, para generar resultados y productos más allá de las restricciones y límites clásicos de los diferentes campos de conocimiento y del estado del arte actual en cada uno de ellos. Para ello se crearán espacios y foros de intercambio y discusión de objetivos, tareas y resultados, tanto en el ámbito del gabinete (reuniones de trabajo, exposiciones orales, mesas redondas, tormentas de ideas), como en laboratorio o campo (comisiones de servicio conjuntas, intercambios de miembros entre subgrupos del proyecto). Con ello se busca no sólo sumar las aportaciones de cada disciplina o área de conocimiento, sino superar las barreras académicas y conseguir resultados transdisciplinarios (Galati, 2017). De esta forma, si bien la propuesta parte del área temática de Ciencias de la Tierra, se buscarán relaciones intensas con las otras Ciencias en el ámbito de la Comunicación, Antropología, Computación, Diseño y Turismo. Pero también de otras disciplinas afines como: Geografía, Sociología, Psicología, Economía; entre otras disciplinas.

Entre los beneficios esperables del proyecto **DESTINO VOLCANES** y su transferencia hemos distinguido:

1. Aumento del conocimiento sobre territorios volcánicos macaronésicos y nuevas formas de geoturismo en un mundo globalizado y conectado. Se dispondrá una vez finalizado el proyecto de las cartografías digitales, bases de datos, modelos 3D, etc. asociadas de los 50 mejores entornos volcánicos de Canarias para el turismo.
2. Un nuevo producto novedoso y sostenible con los recursos naturales, como es la realidad virtual con herramientas y recomendaciones para la gestión y el uso público.
3. Transferencia de productos para el turismo de volcanes., incluyendo cursos de formación para desempleados.
4. Desarrollo de una ‘SPIN-OFF’ of ‘STAR-UP’ turismo de volcanes para Canarias.
5. Transferencia directa a las empresas de turismo activo y ecoturismo.
6. Difusión e internacionalización.

Todas las actividades propuestas en DESTINO VOLCANES son replicables a otros archipiélagos de la macaronesia, incluso, a otros espacios naturales protegidos del país. El principal beneficio de este proyecto es la creación de un producto unificado con base tecnológica y sostenible para el fortalecimiento del destino de VOLCANES en Canarias a nivel internacional.

## 9. Referencias y bibliografía

Barrera JL (2009): Volcanic edificies and morphologies of the Canary Islands. In: García-Cortés A, Águeda Villar J, Palacio Suárez-Valgrande J, Salvador González CI (eds) Spanish geological frameworks and geosites. An approach to Spanish geological heritage of international relevance. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, pp 146–156

Casillas, R. y Torres, J.M. (2011): Inventario de recursos vulcanológicos de Fuerteventura. Cabildode Fuerteventura, 155 p.

Casillas Ruiz, R., Pérez Candelario, Y., Ferro Fernández, C. (2023). Geoheritage Inventory of the El Hierro UNESCO Global Geopark. In: Dóniz-Páez, J., Pérez, N.M. (eds) El Hierro Island Global Geopark. Geoheritage, Geoparks and Geotourism. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-07289-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-07289-5_4)

Galati, E. (2017). El pensamiento complejo y transdisciplinario como marcos de investigación científica. RepHipUNR, Publicaciones de docentes investigadores. URI: <http://hdl.handle.net/2133/1097>.

Galindo, I., Sánchez, N., Romero, C. y Vegas, J., 2014. Informe de resultados del Convenio específico de colaboración CIL-IGME, para la realización de estudios científicos-técnicos de los recursos geológicos de Lanzarote.

Galindo, I., Romero, C., Sánchez, N. y Vegas, J., 2015a. Realización de estudios científico-técnicos sobre el aprovechamiento de los recursos volcánicos de Lanzarote. Instituto Geológico y Minero de España. Cabildo de Lanzarote. Informe Técnico, inédito, 256 pp.

Galindo, I., Romero, C., Sánchez, N., Vegas, J., Guillén, C. y Mateo, E., 2015b. Sol, playa y mucha geología. Lanzarote y Archipiélago Chinijo declarados geoparque. Tierra y tecnología, 46, 42-48.

Galindo, I., Romero, C., Vegas, J., Sánchez, N. y Mateos, E., 2015c. Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: a geoheritage made of fire, sands and sea. 2nd VOLCANDPARK Conference. IAVCEI Commission on Volcano Geoheritage and Protected Volcanic Landscapes (VGPL).

Galindo, I., Sánchez, N., Romero, C., Vegas, J., Llorente, M., Rubio, J.C. y Díaz, G., 2016a. Informe de resultados del Convenio específico de colaboración CIL-IGME, para la realización de estudios científicos-técnicos de los recursos geológicos de Lanzarote.

Galindo, I., Romero, M.C., Sánchez, N. y Morales, J. M., 2016b. Quantitative volcanic susceptibility analysis of Lanzarote and Chinijo Islands based on kernel density estimation via a linear diffusion process. *Scientific reports*, 6, 27381.

Galindo, I., Romero, C., Coello, J.J., Sánchez, N., Martín-González, E. y Vegas, J., 2019a. Patrimonio geológico en las islas Canarias: propuesta de contextos geológicos. *Geogaceta*, 65, 5 – 8.

Galindo, I., Romero, C., Llorente, M., Rubio, J.C., Díaz, G., Sánchez, N., Martín- González, E., Mangas, J. and Vegas, J., 2019b. Geoheritage along the shallow submarine slopes of an oceanic volcanic edifice: a new option for diving geotourism. In: *Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: from Earth to Space. Geoheritage, Geopark and Geotourism Series. Springer 2*, 1 - 10. Springer, 2019.

Galindo I., Vegas J., Romero C., Llorente M., Martín-González E., Rubio J.C., Díaz G.A., Mangas J., Mateo E. and Sánchez, N., 2019c. Geoheritage Inventory of the Lanzarote and Chinijo Islands UNESCO Global Geopark. In: *Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: from Earth to Space. Geoheritage, Geopark and Geotourism Series. Springer*, 31-46.

Galindo I., Vegas J., Romero C., Sánchez N. y Martín-González E., 2019d. FUEGO, AGUA Y VIENTO: Lugares de Interés Geológico del Geoparque Mundial UNESCO de Lanzarote y Archipiélago Chinijo. Cabildo Insular de Lanzarote. 110 pp. ISBN: 978-84-120331-5-1. 110 pp.

Galindo, I., Sánchez, N., Vegas, J., Romero, C., Martín-González, E., Márques, A., Coello, J., Casillas, R. y Martín, C., 2021. Informe técnico del proyecto LIGCanarias (documento inédito). IGME y Gobierno de Canarias.

García Cortés, A. (Coord.), 2008. Contextos geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

García-Cortés, A., Vegas, J., Carcavilla, L., y Díaz-Martínez, E., 2019. Bases conceptuales y metodología del Inventario Español de Lugares De Interés Geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España. 104 pp. ISBN: 978-84-9138-092-4

Henoa Villa, C.F., García Arango, D.A., Aguirre Mesa, E.D., González-García, A., Bracho-Aconcha, R., Solorzano-Movilla, J.G., Arboleda López, A.P. (2017). Multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad en la formación para la investigación en ingeniería. *Revista Lasallista de investigación*, 14 (1) 179-197.

Pellicer X.M., Rivas G., Sellés A., Muñiz J.A., Muñoz J.A., Ferrer O., Gratacós O., Puras G., Verdeny N., Galobart A. (2022). Experiencia de realidad virtual en el anticlinal Boixols-Sant Corneli, un ejemplo pionero de difusión y conservación del patrimonio geológico. *GeoTemas* 19, 47-50.

Pérez, N., Hernández, P. 2010. Islas Canarias volcanic experience: a tourist marketing challenge for the Canary Islands. En: 6th Cities on volcanoes volcanoes (pp. 206). Tenerife.

Vegas, J., Galindo, I., Romero, C., Sánchez, N. y García-Cortés, A., 2015. Geoheritage inventory inside a Global Geosite. A matter of size and use in Timanfaya, Lanzarote (Canary Islands, Spain). 2nd VOLCANDPARK Conference. IAVCEI Commission on Volcano Geoheritage and Protected Volcanic Landscapes (VGPL).

Vegas, J., Galindo, I., Romero, C., Sánchez, N., Martín-González, E. and Mateo, E., 2019. Geoconservation and geotourism in the Lanzarote and Chinijo islands UNESCO Global Geopark. Lanzarote and Chinijo Islands Geopark: from Earth to Space. 1 - 10. Springer, 2019.

## Subproyecto 2. Promoviendo la Salud oceánica de las Islas Canarias.

*IP1: Dr. Javier Hernández Borges*

Catedrático de Universidad

Universidad de La Laguna (ULL)

*IP2: Dra. Daura Vega Moreno*

Profesora Contratada Doctora

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

## Memoria Científico-Técnica

### Título del Subproyecto:

Islas Canarias: Promoviendo la Salud Oceánica

*Ocean Health: Towards healthy oceanic Canary Islands waters*

### RESUMEN

El uso tan extendido de materiales plásticos ha traído consigo la generación de una gran cantidad de residuos que, si no son tratados de forma adecuada, se pueden acumular tanto en medios terrestres como acuáticos, llegando incluso a recorrer largas distancias por la acción de los vientos o las corrientes oceánicas, entre otros. Una vez en el medio marino, los residuos plásticos están expuestos a la acción de diversos factores que dan lugar a procesos de fragmentación, generando pequeñas partículas de plástico, denominadas *microplásticos* cuando adquieren un tamaño comprendido entre 5 mm y 1  $\mu$ m, si bien estos también se fabrican intencionadamente con ese tamaño.

La contaminación por plástico y microplástico en el medio marino es un hecho más que contrastado del cambio global, que está generando un importante impacto a todos los niveles, tanto en la salud de los propios océanos como en las costas a las que llegan, donde su abundancia y distribución es cada vez más amplia.

Canarias en particular, dada su posición privilegiada y estratégica en el océano Atlántico, se ve sometida a una alta presión e impacto por la importante cantidad de basuras marinas procedentes de regiones externas a estas islas. Sin embargo, los protocolos actualmente desarrollados para la caracterización e identificación de estas basuras marinas no han sido diseñados para islas oceánicas como son las Islas Canarias, con la singularidad que esto representa. Como consecuencia, estos protocolos, que han sido aceptados y aplicados a nivel Ministerial, vinculan la alta incidencia de basuras en Canarias al uso de

las playas a nivel turístico, cuando hay evidencias de que la procedencia de estos residuos es externa a esta región, y no parecen tener además una correlación con la tasa de ocupación turística.

Este proyecto pretende evaluar la concentración, distribución y composición de estas basuras marinas (tanto macroplásticos como microplásticos) en diferentes zonas de la región. Parte de las zonas representan áreas con interacción humana como son las playas o sedimentos en playas, y otras son zonas muy alejadas de la acción directa humana, como es el océano abierto, tanto en superficie como por debajo de ella. Los resultados de los muestreos realizados se compararán además con modelos de trayectorias de estas basuras marinas desde el océano Atlántico hacia Canarias.

## 1. ANTECEDENTES

---

Las **actividades antropogénicas** producidas como consecuencia del crecimiento de la población y sus demandas de recursos han generado importantes cambios en el uso de los suelos y de la energía y provocado un importante aumento de la presencia de **contaminantes** en todos los compartimentos ambientales, siendo estos últimos altamente responsables del **cambio global**. Como consecuencia de todo ello, se han producido alteraciones del sistema terrestre que han desencadenado en un aumento significativo de la temperatura de todo el planeta y una pérdida importante de biodiversidad. Todo ello está teniendo un impacto negativo en los océanos y sistemas costeros, está produciendo efectos meteorológicos adversos, degradación de los ecosistemas, problemas de seguridad alimentaria e incluso efectos nocivos sobre las especies, incluyendo la humana. En este contexto de cambio global, la **contaminación por plásticos** también es responsable de importantes cambios y transformaciones a gran escala producto de las actividades antropogénicas que afectan a todo el planeta.

### 1.1. Los plásticos y sus residuos

Los plásticos son macromoléculas orgánicas (polímeros) de entre 5.000 y un millón de Daltons. Se trata de materiales que, en general, presentan una alta ligereza, flexibilidad, buena inercia química, versatilidad y, sobre todo, una amplia variedad de formulaciones que, por sí mismas o en combinación con otros materiales como el papel, el cartón o el aluminio, han determinado la aparición de envases y estructuras muy diversas, adaptables a las necesidades del mercado.

Los polímeros se clasifican atendiendo a varios criterios: a) según la manera en que las moléculas son sintetizadas; b) en función de su estructura molecular; y c) atendiendo a su familia química. Sin embargo, la forma más utilizada para describir los polímeros se basa en su comportamiento mecánico y térmico, existiendo 2 grandes grupos claramente diferenciados: 1) los *termoplásticos*: los más usados al comportarse de forma plástica y dúctil, se deforman con el calor y son fácilmente reciclables; 2) los *termoestables*: más resistentes que los anteriores, se ablandan bajo presión y son de difícil reprocesar.

La **producción anual de plásticos** ha aumentado exponencialmente desde 1,5 millones de toneladas en los años 50, cuando comenzaron a producirse de forma masiva, hasta los **400 millones de toneladas en 2022**, siendo estos los datos más recientes de los que se dispone (*Plastic Europe*). Atendiendo a las últimas estadísticas publicadas, un 39,6 % de los plásticos producidos en Europa se utilizan en envases y embalajes, lo que da idea de su importancia, mientras que un 20,4 % se utiliza en el sector de la

construcción. En Europa, y también en España, el consumo de plásticos ha ido aumentando en los últimos años, destacando sobre todo la producción de termoplásticos.

Hoy en día, se puede disponer de multitud de materiales plásticos diferentes. Para cada uno de ellos se pueden dar a su vez multitud de formulaciones distintas con pequeñas diferencias en las propiedades, lo que multiplica su uso. En el ámbito de los termoplásticos (los más utilizados) se pueden identificar **cinco resinas de uso masivo**, fácil procesado y, por tanto, de altos volúmenes de producción, bajo precio y tecnología accesible. Éstas son el polietileno (PE) y sus derivados, el tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo (PVC). Entre ellos, los de mayor aplicación en la actualidad son el PP y el PE, representando la suma de estos un 46% de la producción mundial.

El uso tan extendido de materiales plásticos ha traído consigo la generación de una gran cantidad de **residuos** que se pueden **acumular** tanto **en medios terrestres** como **acuáticos** si no son tratados de forma adecuada (Barnes et al., 2009; Jambeck et al., 2015). Este hecho ha sido de tal relevancia durante los últimos años, que muchos países han adoptado medidas para intentar minimizar su impacto. De hecho, en enero de 2018 la Unión Europea publicó la denominada **“Estrategia europea para los plásticos en una economía circular”** y en septiembre de 2023 se publicó el Reglamento (UE) 2023/2055 que restringe el uso de microplásticos añadidos a mezclas cosméticas o productos de uso intencionado, como son las microesferas o la purpurina. Además, una nueva directiva europea ha prohibido, a partir del año 2021, los plásticos de un solo uso, aunque en España esa directiva entró en vigor en 2023.

A dicha estrategia se están uniendo cada vez más iniciativas públicas y privadas diferentes para tratar de reducir un problema que ha adquirido una dimensión extraordinariamente preocupante. El propio Gobierno de España aprobó el 2 de junio de 2020 la **Estrategia Española de Economía Circular (EEEC)** con vistas a 2030. En el caso de Canarias, el gobierno autonómico aprobó la **Estrategia de Economía Circular de la Comunidad Autónoma de Canarias** en Julio de 2021.

### ***1.2. Las basuras marinas: macroplásticos y microplásticos***

Una vez el plástico se encuentra en el medio ambiente (incluido el medio marino), se inicia su proceso de **degradación y fragmentación**, que puede ser abiótica (en primer lugar) y biótica. Esta última es mucho menos importante y sólo producida normalmente cuando los plásticos adquieren un tamaño tan pequeño que incluso les permite atravesar las paredes celulares de los microorganismos (Oberbeckmann and Labrenz, 2020). En el primer caso, la degradación se puede producir por diferentes mecanismos, tales como la degradación **termo-oxidativa**, en la que las altas temperaturas favorecen la rotura de las cadenas poliméricas; la **foto-oxidativa**, la más importante, que consiste en la rotura de las cadenas que se exponen prolongadamente a radiación UV; la **oxidación atmosférica**, debida a la presencia de oxígeno y de contaminantes atmosféricos, de tal manera que el oxígeno pasa a formar parte de la propia estructura del polímero; y la **mecánica**, en las que procesos de colisión, abrasión, etc. (muy frecuentes en el medio marino) acaban rompiendo el plástico en fragmentos más pequeños (Crawford and Quinn, 2017). Cabe destacar que existen plásticos que presentan una cierta “debilidad medioambiental”, por lo que el proceso de degradación es más efectivo en esos casos, mientras que los que contienen ciertos aditivos (como endurecedores, estabilizadores de la luz UV, etc.) generalmente ralentizan la degradación abiótica (Daniels, 1989; Sammon et al., 2000).

Cuando el plástico (macroplástico) se va degradando, se rompe en partículas de menor tamaño denominadas en su gran mayoría **microplásticos**, cuando su tamaño está comprendido entre 5 mm y 1

$\mu\text{m}$ , y **nanoplásticos**, cuando su tamaño es inferior a  $1 \mu\text{m}$ . Además de lo anterior, es preciso destacar que también existen microplásticos que son producidos intencionadamente con ese tamaño, como son los *pellets* o granzas de preproducción, para la elaboración de productos plásticos más grandes, o para incluirlos en productos cosméticos o industriales. En el caso de que se fabriquen directamente con un tamaño menor a 5 mm se habla de **microplásticos primarios**, siendo los **secundarios** los procedentes de la fragmentación de los macroplásticos.

Dentro de los microplásticos de menor tamaño, destacan las **microfibras sintéticas**, que algunos autores han definido como el tipo de microplástico más común en el medio ambiente (Pirc et al., 2016). Se trata de piezas filiformes de plástico (principalmente poliéster, nailon, acrilatos u otros materiales sintéticos) con una longitud de entre 10 micras y 5 mm y un ancho de al menos 1,5 órdenes de magnitud menor, aunque la mayor parte de estas, tienen longitudes inferiores al milímetro. Proceden principalmente de los **tejidos sintéticos pudiendo llegar a lugares remotos por vía atmosférica** (Allen et al., 2019). A modo de ejemplo, un informe del año 2017 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), compuesta por unas 1400 organizaciones gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil, estimó que el lavado de una sola chaqueta fabricada con materiales sintéticos puede liberar unos 2 g de microfibras (Boucher and Friot, 2017). Este hecho es el principal causante de que se hayan encontrado **microplásticos en lugares tan remotos como la Antártida** (Waller et al., 2017) o el **Ártico** (Obbard et al., 2014; Courteney-Jones et al., 2017; González-Pleiter et al., 2020), entre otros.

Actualmente existe una creciente preocupación por la contaminación marina por plásticos no sólo en la sociedad, sino también a nivel gubernamental. A modo de ejemplo, en 2008 la Unión Europea (UE) aprobó la **Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM)** (European Parliament, 2017) cuyo objetivo principal es proteger de una manera más eficaz todo el medio marino europeo (European Commission, 2018). Se trata del primer instrumento legislativo de la UE relacionado con la protección de la biodiversidad marina. En dicha directiva se establecen **11 descriptores de un buen estado medioambiental**, siendo el **descriptor 10** el relativo a las **basuras marinas**. Se estima que el 95% de las basuras marinas están hechas de materiales plásticos, entre las que se incluyen macroplásticos y microplásticos. De acuerdo con esta directiva, cada Estado miembro debe elaborar, para cada región o subregión marina afectada, una estrategia aplicable a sus aguas. Para ello, cada Estado miembro debe llevar a cabo una evaluación inicial del estado de sus aguas, definir una serie de objetivos medioambientales e indicadores, elaborar y aplicar programas de seguimiento coordinados, así como un programa de medidas para lograr o mantener dicho estado medioambiental. En España, la **DMEM se materializó mediante la Ley 41/2010** (Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino, 2010), que divide al medio marino español en cinco demarcaciones, incluyendo la canaria. Para cada una de esas demarcaciones es preciso elaborar una estrategia marina. La evaluación inicial llevada a cabo en el año 2012 por el Gobierno de España (Instituto Español de Oceanografía, 2012) puso de manifiesto que apenas existían datos sobre basuras marinas en Canarias y que, por lo tanto, no se podía establecer cuál era el estado medioambiental de dicha demarcación. Actualmente las **Estrategias Marinas** en España, enmarcadas dentro de los objetivos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, incluye datos de las basuras marinas en diferentes regiones de España, incluida Canarias, pero no se empezaron conocer resultados cuantificables de estos análisis hasta 2018.

### *1.3. Basuras marinas en Canarias – Clasificación, orígenes y transporte*

Canarias, en su posición estratégica en el océano Atlántico, se encuentra bajo la influencia del giro subtropical del Atlántico Norte, que hace girar el agua en la capa más superficial del océano (0-300 metros) por todo el Atlántico Norte en sentido horario (remolino anticiclónico). Junto con la masa de agua, se ven arrastrados y transportados también todo tipo de residuos en la misma dirección, incluyendo macroplásticos y microplásticos. En un reciente artículo se observa como a Canarias llega material que puede proceder incluso del continente americano (Cividanes et al., 2024), y que en su camino hacia Canarias puede tomar diferentes trayectorias en base a las estructuras macroescalares (>100 kms de dimensión) o mesoescalares (entre 10-100 km de tamaño). Estas estructuras de menor escala son las que condicionarán que en unas zonas de Canarias, como Famara en Lanzarote, Playa Grande en Tenerife o Arenas Blancas, en El Hierro, entre otras; tengan una mayor concentración en basuras marinas que otras zonas regiones próximas a ellas (Vega-Moreno et al., 2024).

Existen evidencias de que estas acumulaciones de plásticos en la región Canaria no están presentes sólo en regiones costeras, sino que existen microplásticos también en mar abierto, pero principalmente microplásticos de pequeñas dimensiones (<1 mm), estando presentes además por debajo de la superficie oceánica (hasta 1200 metros de profundidad) (Vega-Moreno et al., 2021).

También es de destacar la proximidad de las Islas Canarias a las costas africanas y regiones de pesca pertenecientes a dicha región, ya que estudios preliminares, aún pendientes de publicación (Abaroa et al, *unpublished*), muestran la posibilidad de que a Canarias estén llegando residuos plásticos flotantes como redes y sacos procedentes de dichas regiones africanas.

Dentro de las Estrategias Marinas, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico publica cada año los resultados de la presencia de basuras marinas en las playas del país, incluyendo en su informe un apartado específico para la Demarcación Marina Canaria.

Los resultados se han recogido y graficado en el **Informe de Caracterización y Origen de las Basuras Marinas en Canarias** (2022), realizado bajo el amparo del proyecto *OceanLit*, en el que la Consejería de Transición Ecológica y Lucha contra el Cambio Climático del Gobierno de Canarias participa como socio, entre otras instituciones.

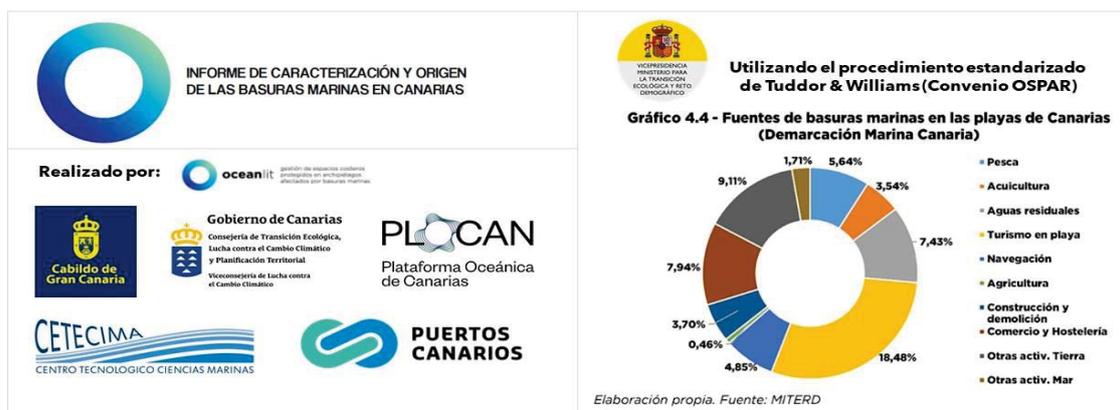


Figura 1. Gráfico 4.4. del “Informe de caracterización y origen de las basuras marinas en Canarias”.

En dicho informe se recoge que, de media para Canarias, el 18,48% de las basuras marinas analizadas según el procedimiento utilizado (Tuddor & Williams, Convenio OSPAR), proceden del **Turismo en**

playas, un valor por encima del doble de los dos siguientes orígenes o fuentes de basuras marinas, que sería “Otras actividades en tierra” con un 9,11% y el “Comercio y Hostelería” con un 7,94%.

Sin embargo, según un estudio realizado por el Observatorio de Basuras Marinas de Fuerteventura (Cabildo de Fuerteventura) en 2021, encuadrado en un proyecto del programa PLEAMAR (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), la incidencia de basuras marinas en las playas no se corresponde con los valores de turistas recibidos en dicha isla (Figura 2), siendo mayor la incidencia de las basuras marinas en los meses en los que las condiciones de mala mar son más frecuentes.

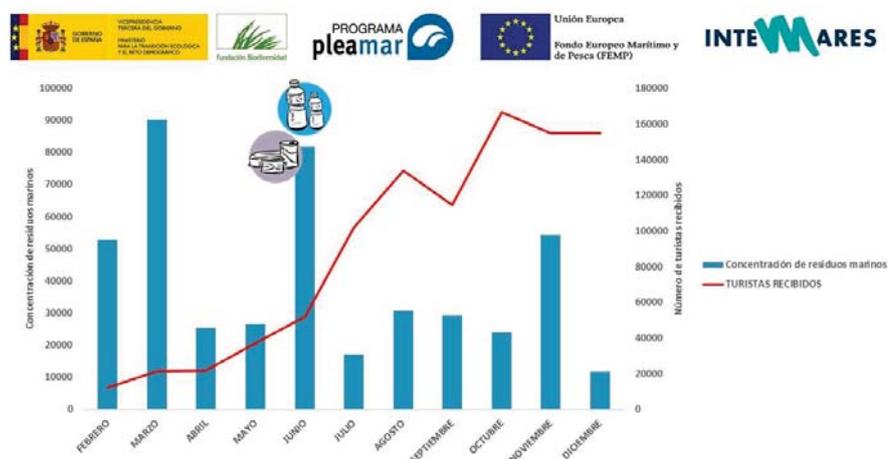


Figura 2. Figura comparativa de la concentración de basuras marinas (en azul) con los turistas recibidos en la isla de Fuerteventura (línea roja).

Según los resultados procedentes de este estudio, los valores máximos de basuras marinas no tienen ninguna correlación con el número de turistas en la isla, lo que hace sospechar que tal vez algunas de las conclusiones asumidas en estos estudios deben ser revisadas.

También se sabe de la presencia de microplásticos en los contenidos estomacales de algunas especies.

#### 1.4. Antecedentes y contribuciones previas de los dos grupos de investigación de este proyecto

Este proyecto se lleva a cabo gracias a la colaboración entre diferentes grupos de investigación pertenecientes a diferentes instituciones, principalmente ULL y ULPGC, en colaboración con el IEO-CSIC. Cada uno de los IP de este proyecto pertenece a una de las Universidades canarias, estando ambas representadas en igualdad de condiciones. Ambos grupos de investigación forman parte de la **Red Nacional de investigación de residuos plásticos en el medio ambiente** (EnviroPlaNet, [www.envioplanet.net](http://www.envioplanet.net)). Los grupos de investigación con mayor representación en este proyecto son:

- Grupo de investigación de Química Analítica Aplicada (AChem) de la Universidad de La Laguna (ULL).
- Grupo de investigación OpenPLAS (Evaluación de basuras marinas en océano abierto) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).
  - IEO-CSIC: aunque esta institución está representada específicamente en la propuesta, los objetivos de investigación se comparten con los de OpenPLAS, estando integrado en este grupo.

- OBAM: Observatorio de Basuras Marinas de Fuerteventura. En el contexto de este proyecto este equipo de trabajo se integrará junto con el de OpenPLAS.

El grupo de investigación AChem se formó en 2018 (<http://jhborges.webs.ull.es>) y estableció desde su creación una línea de investigación relacionada con la determinación de microplásticos en el medio ambiente. El coordinador de este grupo, el Dr. Hernández-Borges, ha sido coordinador del proyecto IMPLAMAC, un proyecto Interreg-MAC del Programa de Cooperación Transfronterizo Azores-Madeira-Canarias titulado “*Evaluación del impacto de los microplásticos y contaminantes emergentes en costas de la Macaronesia*”, finalizado en octubre de 2023. En este proyecto ([www.implamac.ull.es](http://www.implamac.ull.es)), se pusieron a punto diversas metodologías analíticas para la determinación de microplásticos y contaminantes emergentes adheridos a éstos en todos los archipiélagos de la Macaronesia (Canarias, Madeira, Azores y Cabo Verde). Además de este proyecto internacional en microplásticos, el grupo ha ejecutado diversos proyectos sobre esta temática, del Plan Nacional de I+D+i (Ministerio de Ciencia), del Gobierno de Canarias y de diversas Fundaciones, como la Fundación CajaCanarias, la Fundación Canarina, y la Fundación Diario de Avisos, entre otros.

Fruto de todo lo anterior, el equipo de investigación ha publicado 22 artículos en relación a las basuras marinas en Canarias, entre los que destacan:

**1.- *Monitoring of meso and microplastic debris in Playa Grande beach (Tenerife, Canary Islands, Spain) during a moon cycle***, M. González-Hernández, C Hernández-Sánchez, J González-Sálamo, J. López Darias and J. Hernández-Borges. *Marine Pollution Bulletin* 150 (2020) 110757. **Revista indexada en el JCR en el primer decil.**

**2.- *Microplastic debris in beaches of Tenerife (Canary Islands, Spain)***. C Álvarez-Hernández, C Cairós, J López-Darias, E Mazzetti, C. Hernández-Sánchez, J. González Sálamo and J. Hernández Borges, *Marine pollution bulletin* 146 (2019) 26-32. **Revista indexada en el JCR en el primer decil.**

**3.- *Microplastic-adsorbed organic contaminants: Analytical methods and occurrence***. J. González-Sálamo, C. Ortega-Zamora, C. Hernández-Sánchez, M. Á. González-Curbelo and J. Hernández-Borges, *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 2021, 116186. **Revista indexada en el JCR en el primer decil.**

**4.- *Arenas Blancas beach (El Hierro, Canary Islands, Spain), a new hotspot of plastic debris Arenas Blancas (El Hierro island), a new hotspot of plastic debris in the Canary Islands (Spain)***. Hernández-Sánchez, C., González-Sálamo, J., Díaz-Peña, F. J., Fraile-Nuez, E., and Hernández-Borges, J.. *Marine Pollution Bulletin* (2021) 169, 112548. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112548. **Revista indexada en el JCR en el primer decil.**

**5.- *Microplastic pollution in sublittoral coastal sediments of a North Atlantic island: The case of La Palma (Canary Islands, Spain)***. Villanova-solano, C., Díaz-Peña, F. J., Hernández-Sánchez, C., González-Sálamo, J., González-Pleiter, M., Vega-Moreno, D. et al. *Chemosphere* (2022) 288, 132530. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021. 13253. **Revista indexada en el JCR en el primer cuartil.**

**6.- *Beneath the water column: Uncovering microplastic pollution in the sublittoral coastal sediments of the Canary Islands, Spain***. Villanova-Solano, C., Díaz-Peña, F. J., Hernández-Sánchez, C., González-Sálamo, J., Edo, C., Vega-Moreno, D., et al. *J. Hazard. Mater.* (2024). 465. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.133128. **Revista indexada en el JCR en el primer decil.**

**7.- *Insights into emerging organic pollutants extraction from polypropylene, polystyrene, and polyethylene microplastics***. Jiménez-Skrzypek, G., Lusiardi, R., González-Sálamo, J., Vega-Moreno,

D., and Hernández-Borges, J. Anal. Chim. Acta (2024) 1287. doi: 10.1016/j.aca.2023.342071. *Revista indexada en el JCR en el primer decil.*

El otro grupo que conforma este consorcio de trabajo es OpenPLAS, coordinado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, con la Dra. Daura Vega-Moreno de coordinadora, y el Dr. Francisco Machín como miembro del equipo, el cual es oceanógrafo físico con una dilatada experiencia en el campo del estudio de la dinámica oceánica. Además, el grupo OpenPLAS está conformado también por investigadores del IEO-CSIC, con el Dr. Eugenio Fraile Nuez como coordinador de esa institución en el grupo. Esta colaboración entre diferentes instituciones permite a OpenPLAS abordar estudios en océano abierto, que sin la colaboración del IEO-CSIC serían imposibles. En el día a día de OpenPLAS la colaboración con el catedrático Dr. Javier Hernández Borges es continua y directa, como así lo demuestran las múltiples contribuciones científicas en conjunto.

Entre las publicaciones del grupo OpenPLAS éstas destacan:

**1.- Distribution and transport of microplastics in the upper 1150 m of the water column at the Eastern North Atlantic Subtropical Gyre, Canary Islands, Spain.,** Vega-Moreno, D., Abaroa-Pérez, B., Reinloring, P. D., Presas-Navarro, C., Fraile-nuez, E., and Machín, F. *Sci. Total Environ* 788 (2021) 147802. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147802. (*primer decil*).

**2.- Yellowing, Weathering and Degradation of Marine Pellets and Their Influence on the Adsorption of Chemical Pollutants.** Abaroa-Pérez, B., Ortiz-Montosa, S., Hernández-Brito, J. J., and Vega-Moreno, D., *Polymers* 14 (2022) 1305. doi: 10.3390/polym14071305. (*primer cuartil*).

**3.- Exploring the origin and fate of surface and sub-surface marine microplastics in the Canary Islands region.** Vega-Moreno, D., Sicilia-González, S., Domínguez-Hernández, C., Moreira-García, E., Aguiar-González, B., Hernández-Borges, J. al. *Front. Mar. Sci.* 11. (2024). doi: 10.3389/fmars.2024.1314754. (*primer cuartil*).

**4.- Solid-liquid-liquid microextraction ( $\mu$ SLLE) method for determining persistent pollutants in microplastics.** Abaroa-Pérez, B., Caballero-Martel, A. E., Hernández-Brito, J. J., and Vega-Moreno, D. *Water, air and soil pollution* (2021) 232, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05119-x>.

Además, el Observatorio de Basuras Marinas de Fuerteventura (OBAM) colabora desde su creación con OpenPLAS y participará en este proyecto en las acciones relativas a macroplásticos (integrado como equipo de trabajo de la ULPGC). Dos de los artículos de la lista anterior tienen de primera autora a la Directora del OBAM.

Por todo ello, ambos equipos de investigación cuentan con experiencia suficiente para poder realizar con éxito los objetivos previstos en este proyecto.

## 2. OBJETIVOS CIENTÍFICOS DEL PROYECTO

---

El estudio del **estado de salud oceánica de la región canaria** requiere el desarrollo de criterios y metodologías que permitan su correcta evaluación para poder llevar a cabo las acciones necesarias para su diagnóstico. En las Estrategias Marinas a nivel nacional (DMEM), se introducen las basuras marinas

como descriptores/indicadores del buen estado ambiental, y es importante saber si la procedencia de las mismas es regional o si por el contrario es externa a Canarias.

Este proyecto **pretende evaluar la concentración y tipo de basura marina en la región canaria, tanto de macroplásticos como de microplásticos, estableciendo modelos de transporte hasta llegar a Canarias, que permitan indicar los posibles orígenes de esa basura a través de estudios de dinámica oceánica. En base a estos resultados, el proyecto establecerá la fiabilidad de los datos aportados hasta el momento sobre el impacto de la actividad turística en nuestras costas, partiendo de la hipótesis que gran parte de la basura marina que llega a nuestras playas procede de regiones alejadas de Canarias que han sido transportadas hasta nuestra región, y no podrían por tanto ser catalogadas como debidas a actividades de “Turismo en playas”.**

Además de este objetivo principal, también se han establecido los siguientes objetivos específicos:

**1.- Monitorización y caracterización de basuras marinas (macroplásticos y microplásticos) que llegan a playas de Canarias. Análisis de las actividades de producción y clasificación de dichas basuras según protocolos actuales y futuros.**

- Cuantificación de la cantidad de basuras marinas (gramos/m<sup>2</sup>) recogidas en playas de la región canaria.
- Determinación de la composición y tipo de plástico para una fracción de las muestras recogidas mediante tecnología FTIR,  $\mu$ FTIR y pirólisis GC-MS.
- Determinación de la concentración y tipos de aditivos existentes en dichos plásticos mediante cromatografía de gases con detección de masas y de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- Evaluación de la aplicabilidad del protocolo OSPAR para los datos analizados en la región canaria. Propuesta de borrador de protocolo adecuado para islas oceánicas.

**2.- Monitorización y caracterización de microplásticos en sedimentos sublitorales y biomonitorización en invertebrados.**

- Cuantificación e identificación de microplásticos existentes en sedimentos subsuperficiales costeros.
- Cuantificación e identificación de microplásticos existentes en invertebrados, concretamente en lapas.

**3.- Monitorización y caracterización de macroplásticos y microplásticos en océano abierto, en superficie y por debajo de ella**

- Recogida y cuantificación de acumulaciones de macroplásticos en superficie próximos a la región canaria. Para cubrir este objetivo colaboran 35 barcos pesqueros y 50 Kayak de recreo (a través del OBAM).

- Cuantificación e identificación de microplásticos existentes en la columna de agua (entre 0 y 1200 metros de profundidad) en la región canaria a través del muestreo con buques oceanográficos (pertenecientes al IEO-CSIC).

#### 4.- Modelización de la dinámica oceánica a partir de las zonas de máxima acumulación de basuras marinas

- Estudio de trayectorias y retrotrayectorias a partir de los puntos de recogida de macrobasuras marinas superficiales. Análisis de la dinámica oceánica que arrastró esa basura marina hasta las localizaciones de recogida (ubicaciones obtenidas en el objetivo 3.1).
- Evaluación de las mayores zonas de convergencia-divergencia en la región canaria.
- Modelización de las masas de agua en la región canaria a diferentes profundidades en base a las zonas de máxima acumulación por debajo de la superficie.

### 3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

---

Los grupos AChem y OpenPLAS (junto con OBAM) se centrarán en el estudio de la presencia, concentración y composición de microplásticos en costa, mar abierto, y en organismos marinos. Parte del grupo OpenPLAS (equipo compuesto por oceanógrafos físicos) en colaboración con el IEO-CSIC, se centrarán en la modelización del transporte de estas partículas el océano Atlántico, así como la estimación de los posibles orígenes o principales fuentes de estas basuras marinas.

El Instituto Español de Oceanografía proporcionará además todas las infraestructuras y material necesarios para la toma de estas muestras y datos a través del proyecto VULCANA, que garantiza las campañas oceanográficas requerida para los muestreos en océano abierto.

El Plan de trabajo a desarrollar en este proyecto consta de las siguientes actividades o tareas (en cada una de ellas se describe la metodología empleada):

#### A) Campañas oceanográficas

Responsable: Dr. Eugenio Fraile-Nuez (IEO) y Dra. Daura Vega Moreno (ULPGC)

Participantes: Dr. Francisco Machín, Contratados con cargo al proyecto.

Las distintas campañas oceanográficas necesarias para la recogida de datos se realizarán haciendo uso de la flota del Instituto Español de Oceanografía, en concreto el B/O Ángeles Alvariño, que cuenta con todo el equipamiento necesario para llevar a cabo las labores científicas pertinentes con éxito. La principal instrumentación que se utilizará en el marco del proyecto será la roseta con su equipamiento completo, dos Bottle Nets y una red Manta, así como un multicore para los sedimentos profundos. Las Bottle Nets se colocan en la roseta, la cual dispone de 24-12L botellas Niskin + SeaBird 911 Plus CTD + L-ADCP para obtener las muestras físico-químicas del agua de mar y muestras de agua para el recuento de microplásticos a cada profundidad. Se obtendrán medidas continuas de temperatura, conductividad, profundidad, velocidad, pH, ORP, fluorescencia y oxígeno directamente de los sensores en el conjunto roseta-CTD, además de muestras discretas de agua para medir diversos parámetros físico-químicos y recoger las muestras de MP. Todos estos sensores, así como laboratorios y materiales necesarios para el análisis de muestras de agua, serán proporcionados por el IEO-CSIC, y parte del equipamiento específico para el muestreo de microplásticos pertenece a la ULPGC.



Figura 3. Roseta con 24 botellas Niskin en el B/O Ángeles Alvariño.

Dentro de las campañas oceanográficas se realizarán muestreos de microplásticos en aguas profundas (desde 0 hasta 1200 metros de profundidad como mínimo) y muestreo en la superficie del océano. Tanto las Bottle Nets como la red Manta (en este último caso para muestras superficiales) tienen un tamaño de poro de 100  $\mu\text{m}$ .

### **B) Análisis de la concentración y tipo de microplásticos muestreado en playas, en sedimentos sublitorales y en animales invertebrados**

Responsable: Dr. Javier Hernández Borges. Participantes: Dr. Cintia Hernández Sánchez, Dr. Javier González Sálamo, Dr. Elsa Rodríguez, Contratados con cargo al proyecto.

Para el muestreo en playas (arena) se recogerán los microplásticos de tamaño comprendido entre 1 y 5 mm (los más usuales) siguiendo las recomendaciones europeas al respecto (muestreo en cuadrantes de 50 x 50 cm, cada 25 m y hasta 5 cm de profundidad), con tamices parciales para cada uno de esos tamaños. Se clasifican por colores y tipos y se analizan por FTIR. Parte de estas muestras se utilizarán para analizar la concentración de aditivos y de otros contaminantes químicos presentes en las muestras.

La extracción de sedimentos subsuperficiales (7 metros de profundidad) se hará mediante la utilización de cores de 10 cm recogidos por buzos.

La determinación de microplásticos en sedimentos (válido para el punto B y C) requiere llevar a cabo una disgregación de la muestra y una digestión previa de la materia orgánica, que generalmente se realiza con  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% durante 4-5 horas a 60 °C. Tras filtrar la muestra, se suspende nuevamente en una disolución saturada de NaCl, de  $\text{ZnCl}_2$  o NaI y se filtra el sobrenadante. El filtrado es analizado previamente a través de la visualización en lupa trinocular y después mediante microscopía infrarroja con Transformada de Fourier ( $\mu\text{FTIR}$ ).

Para evitar/minimizar la contaminación de las muestras por microplásticos presentes en el propio laboratorio se utilizarán cámaras de aislamiento, material de vidrio, equipos de protección individual coloreados y de baja liberación de fibras, se calcinará el material de vidrio y los filtros de acero antes de ser utilizados, se filtrarán constantemente las disoluciones, se usarán cámaras de flujo laminar, etc. Así mismo, se llevarán a cabo análisis de blancos de procedimiento constantemente.

La metodología para la determinación de la concentración de microplásticos en lapas será equivalente a la realizada para sedimentos, siendo necesaria una digestión previa de la muestra previo a su análisis (también realizado por  $\mu$ FTIR).

### C) Análisis de la concentración y tipo de basuras marinas muestreadas en océano abierto (superficie y columna de agua)

Responsable: Dra Daura Vega Moreno y Dr. Javier Hernández Borges. Participantes: Dr. Eugenio Fraile Nuez, Dr. Cintia Hernández Sánchez, Dr. Javier González Sálamo, Dr. Elsa Rodríguez, Contratados con cargo al proyecto.

Este punto se divide en dos apartados: el muestreo de macrobasuras se hará de forma manual o mediante utensilios de pesca a partir de buques pesqueros que colaboran con el OBAM. Además, recientemente se ha unido a esta colaboración un club de Kayaks con más de 50 unidades rastreando la zona. Una vez detectan una zona de acumulación se anota la geolocalización, y esas basuras marinas se trasladan a tierra para su gestión. La ubicación donde se encontraban se aplica en el punto D. Las muestras recogidas se caracterizan y se pesan, además parte de las muestras se les realizará el análisis de composición del plástico.

Por otro lado, los microplásticos se analizarán utilizando buques oceanográficos con material específico para ello. Para la recogida de microplásticos presente en la columna de agua (entre 0-1200 m de profundidad) se hará uso de las botellas Niskin y de las Bottle Nets.

Cada muestra recogida en la campaña puede contener entre 20-400 unidades de microplásticos marino (en base a resultados de estudios previos, Vega-Moreno et al., 2021). La mayor parte de los fragmentos encontrados serán menores a 300  $\mu$ m (Figura 5). Los filtros donde se han recogido las muestras se visualizan a través de una lupa trinocular y se cuentan. Una vez cuantificados y caracterizados se analiza su composición específica por  $\mu$ -FTIR (Miller et al., 2017, 2021; Prata et al., 2019), que permite identificar el tipo de polímero de ese fragmento plástico. Se estima que en torno al 90% de los fragmentos inicialmente identificados como plásticos lo son, en las fibras es en torno al 50%, el resto serán de composición celulósica (Morales-Caselles et al., 2021).



Figura 4. Muestra de microplásticos recogidas en febrero de 2022 a 600 metros de profundidad

## D) Transporte de las basuras marinas hacia la región canaria y modelización de trayectorias y retrotrayectorias

Responsable: Dr. Francisco Machín.

Participantes: Dr. Eugenio Fraile Nuez y Dra. Daura Vega Moreno

El objetivo de esta tarea es estudiar el transporte horizontal y en su caso, también el vertical que tienen las basuras marinas (macroplásticos y microplásticos) en el océano Atlántico hasta llegar a la región canaria. Se analizarán las corrientes superficiales y profundas a través de datos procedentes de la plataforma *Copernicus Marine Service*, y con ellos evaluar los procesos de convergencia-divergencia de la región en estructuras macroescalares (tamaños >100 km) y mesoescalares (entre 10-100 km). Con los datos muestreados in-situ podrán validarse los resultados de estos modelos.

Para el análisis de retrotrayectorias se partirá de los principales puntos de llegada de basuras marinas en tierra (playas más afectadas), así como de los puntos identificados en la tarea C) donde se ha recogido mayor cantidad de macrobasura marina flotante.

De manera complementaria al esfuerzo observacional realizado en el punto C), se utilizará una herramienta para el seguimiento de partículas virtuales lagrangianas. Este tipo de metodologías son actualmente una de las principales fuentes de información sobre el comportamiento del microplástico en el océano (Sotillo et al., 2015). En esencia, se utiliza de base uno de los modelos operativos disponibles en *Copernicus* para conocer las condiciones dinámicas del océano en el entorno de Canarias para un determinado periodo. Sobre ese océano virtual se lanzan partículas a las que se realiza un seguimiento lagrangiano, esto es, se pretende conocer en todo momento su posición y la trayectoria seguida. De esta manera, el comportamiento de las partículas y su similitud con la incidencia observada puede resultar revelador en cuanto al destino y origen de las basuras marinas en el océano.

Estos resultados servirán para evaluar el ajuste de los datos reales en relación al origen de las basuras marinas con los estimados por el Convenio OSPAR, aportando datos in-situ y también modelizados para clarificar el aporte del impacto turístico en la existencia de basuras en las costas canarias.

## E) Creación de un nuevo protocolo de clasificación de basuras marinas que atienda a las singularidades de islas oceánicas como Canarias

Responsable: Dra Daura Vega Moreno y Dr. Javier Hernández Borges. Participantes: Dr. Cintia Hernández Sánchez, Contratados con cargo al proyecto.

El objetivo de esta tarea será, en base a los resultados obtenidos, preparar un nuevo protocolo a partir del utilizado en el Convenio OSPAR, para que se ajuste de forma real a las singularidades de islas oceánicas como Canarias, a las cuales les llega gran cantidad de basuras marinas de regiones muy remotas a sus costas. Este borrador se trasladará a los órganos de seguimiento pertinentes para su

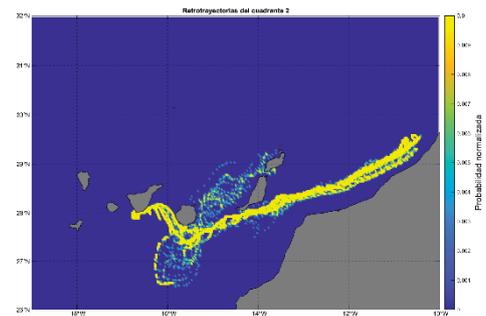


Figura 5. Retrotrayectoria de basuras marinas muestreadas al sur de Tenerife

presentación en el Gobierno de Canarias. En este proyecto se implementará a modo de prueba piloto para mostrar las diferencias en la clasificación seguida hasta el momento.

#### 4. SEGUIMIENTO Y MECANISMOS EFECTIVOS DE EVALUACIÓN

El seguimiento y la evaluación del proyecto se llevarán a cabo mediante un enfoque integral que abarcará diversos aspectos. Se establecerá un sistema de informes periódicos, conforme a los términos y condiciones establecidos en la memoria del proyecto o en el convenio con la entidad financiadora. Estos informes proporcionarán un análisis detallado del progreso, los hitos alcanzados y cualquier desviación con respecto al plan original.

Además, se buscará la máxima visibilidad y difusión de los resultados a través de la publicación de investigaciones en revistas científicas de alto impacto. La participación en congresos científicos especializados será otro medio para compartir los hallazgos, presentando ponencias y posters que contribuirán al intercambio de conocimientos con la comunidad científica.

El compromiso con la divulgación científica será fundamental, utilizando las plataformas de redes sociales para llegar a un público más amplio. Se prepararán notas de prensa para su distribución a medios de comunicación, facilitando entrevistas en radio, prensa escrita y televisión. Estas acciones no solo contribuirán a la concienciación pública, sino que también fortalecerán la imagen del proyecto y su impacto en la sociedad. La transparencia y la comunicación efectiva serán pilares clave para el éxito y la sostenibilidad del proyecto.

Actividades/Tareas	Centro ejecutor	Investigador		Primer año	Segundo año	Tercer año
		responsable	Otros participantes			
Tarea A. Campañas Oceanográficas	IEO-CSIC	EFN	DVM, CH, FM, CP2			
Tarea B1. Basuras en playas	ULL	JHB	CH, JS, CP1			
Tarea B2. MP en sedimento sublitoral	ULL	JHB	CH, JS, CP1			
Tarea B3. MP en lapas	ULL	JHB	CH, CP1			
Tarea C1. Macroplásticos en superficie	ULPGC (+OBAM)	DVM	FM, BA, CP2			
Tarea C2. MP en océano abierto (0-1200m)	ULPGC-IEO	DVM	EFN, FM, CP2			
Tarea D1. Modelización desde playas	ULPGC	FM	EFN, CP2			
Tarea D2. Modelización desde océano ab.	IEO-CSIC	EFN	FM, CP2			
Tarea E. Protocolo de clasificación	ULPGC (+OBAM)	ULPGC	JHB, CH, CP1, CP2			
Actividades de divulgación	ULL	JHB-JS	Todos			
Reunión de síntesis	ULL-ULPGC	JHB-DVM	Todos			
Elaboración de manuscritos	Todos	Todos	Todos			
Preparación de informes	ULL-ULPGC	JHB-DVM	Todos			

##### Investigadores

JHB: Javier Hernández Borges (ULL)  
DVM: Daura Vega Moreno (ULPGC)  
CH: Cintia Hernández (ULL)  
EFN: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC)  
FM: Francis Machín (ULPGC)  
JS: Javier González Sálamo (ULL)  
CP1: Contratado Proyecto (ULL)  
CP2: Contratado Proyecto (ULPGC)

##### Centros

IEO-CSIC: Centro Oceanográfico de Canarias  
ULL: Universidad de La Laguna  
ULPGC: Universidad de Las Palmas de GC

#### 5. DATOS E INFORMES

La gestión y documentación de datos desempeñarán un papel crucial en el desarrollo del proyecto. Se establecerá un sistema eficiente para la recopilación, almacenamiento y análisis de datos, asegurando la integridad y disponibilidad de la información generada por parte de las diferentes instituciones que participan y también por parte de la entidad financiadora. Los informes detallados contendrán análisis

específicos, resultados obtenidos, gráficas, mapas y conclusiones relevantes a lo largo de cada fase del proyecto.

Se implementarán medidas para garantizar la calidad y precisión de los datos recopilados, así como su conformidad con los estándares y protocolos establecidos. Estos datos se pondrán a disposición de los colaboradores, partes interesadas y, cuando sea posible, del público en general, promoviendo la transparencia y la colaboración.

Además de los informes periódicos mencionados en el punto anterior, se generará una documentación exhaustiva que respalde las decisiones tomadas, los métodos utilizados y los resultados obtenidos. Esta información será clave para futuras investigaciones, replicabilidad del proyecto y la rendición de cuentas a todas las partes involucradas. Asimismo, se desarrollará una capa inteligente científica aplicada al turismo sostenible, brindando asesoramiento para una gestión inteligente del turismo azul. Esto permitirá una integración innovadora de los datos científicos en iniciativas prácticas que fomenten un enfoque sostenible en el sector turístico.

Entre los datos, informes y resultados obtenidos, se detallan los principales indicadores previstos:

- Cuantificación de la concentración de macroplásticos y microplásticos en regiones costeras para diferentes puntos de las Islas Canarias en las dos provincias (preferentemente en zonas consideradas puntos negros).
- Cuantificación de la concentración de macroplásticos y microplásticos en aguas abiertas de la región canaria.
- Publicaciones científicas en revistas de impacto, con notas de prensa y difusión en los medios de los resultados para cada uno de ellos.
- Material divulgativo para participar en ferias, congresos e impartición de charlas divulgativas (escolares, Semana de la Ciencia, Feria Internacional del Mar, entre otros).
- Resultados de modelos de trayectorias de partículas tras la evaluación de la dinámica oceánica para macroplásticos y microplásticos.
- Análisis de composición de partículas plásticas (entre macroplásticos y microplásticos).
- Análisis de composición específica (aditivos y/o posibles contaminantes adheridos) de parte de los microplásticos muestreados.

Todos los resultados se publicarán en abierto y estarán a disposición del organismo financiador para que lo requiera, incluyendo exposiciones orales de dichos resultados en caso de que así se solicite.

## 6. MATERIAL Y EQUIPOS

---

Entre los laboratorios del grupo AChem (ULL) y de OpenPLAS (ULPGC) se disponen de las siguientes infraestructuras: cinco laboratorios químicos totalmente equipados con tomas de suministro de gases ( $N_2$  gas, He, aire e  $H_2$ ), más un laboratorio de modelización en el ámbito de la oceanografía física. El IEO-CSIC dispone de todo el equipamiento necesario para el correcto desarrollo de las campañas oceanográficas y recogidas de muestras a bordo (roseta, botellas Niskin, CTD completo, entre otros).

Respecto al equipamiento de laboratorio se detalla:

#### **- Cromatografía líquida**

- HPLC con un detector UV (VWR International, HITACHI ELITE LaChrom).
- UHPLC 1260 Infinity II acoplado a un MS 6470 LC/TQ con analizador de triple cuadrupolo y una fuente de ionización de electrospray (Agilent Technologies).
- HPLC (Waters). Propiedad del Departamento.
- HPLC 1220 Infinity LC (Agilent Technologies). Propiedad del Departamento.

#### **- Cromatografía de gases**

- Tres cromatógrafos de gases 8860 acoplados a un MS 5977B GC/MSD con analizador de cuadrupolo simple y una fuente de ionización de impacto electrónico (Agilent Technologies).
- GC 7820A con un detector FID (Agilent Technologies).
- GC 7820A acoplado a un MS 5977B MSD con analizador de cuadrupolo simple y una fuente de ionización de impacto electrónico (Agilent Technologies).
- GC 8890 acoplado a un MS 7000D GC/TQ con analizador de triple cuadrupolo y una fuente de ionización de impacto electrónico (Agilent Technologies).

#### **- Espectrometría de absorción atómica**

- Espectrómetro de absorción atómica SpectrAA 50B (Varian). Propiedad del Departamento.

#### **- Espectroscopia Infrarroja**

- Equipo de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), modelo Cary 630, (Agilent Technologies).
- espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier Nicolet TM iN 10  $\mu$ FTIR (Thermo Fisher Scientific)

#### **- Equipamiento para microplástico en campañas oceanográficas**

- Red Manta con tamaño de poro de 100  $\mu$ m
- 2 Bottle Nets para acoplamiento en roseta, tamaño de poro 100  $\mu$ m.
- Tren de filtración para la recogida final de las muestras y su traslado a los laboratorios en tierra.

#### **- Pequeño equipamiento**

- Tres agitadores magnéticos RCT basic con sonda para control de temperatura (IKA).
- Agitador magnético Asincra (Selecta) y agitador vórtex de velocidad regulable (VWR International).
- Dos balanzas analíticas ENTRIS224I-1S de 0,1 mg de precisión y 220 g de capacidad máxima (Sartorius) y con 0,1 g de precisión y pesada máxima de 5000 g (VWR International).
- Baño de ultrasonidos USC-T con frecuencia de 45 kHz (VWR International).
- Centrífuga 5702 para tubos de 15 y 50 mL con control de tiempo y velocidad (Eppendorf).
- Dos estufas de 80 L de capacidad (Selecta) y de 100 L de capacidad (VWR International).
- Tres lupas binoculares Nexius Zoom (Euromex) con cámaras M1400 PLUS (Levenhuk).
- pH-metro FiveEasy Plus con sensor de temperatura (Mettler Toledo).
- Rotavapor RV-8 con baño termostático HB (IKA), bomba de vacío CVC-3000 y controlador de vacío (VWR International).
- Sistema de purificación de agua Milli-Q (Millipore). Propiedad del Departamento.
- Dos sistemas de vacío para SPE CHROMABOND<sup>®</sup> SPE (Macherey-Nagel) con capacidad para la extracción simultánea de 12 muestras.

#### **- Otros**

- Dos campanas de flujo laminar BH-100 (Telstar).
- Dos glove boxes de metacrilato de 1 m x 50 cm x 50 cm.
- Frigorífico con congelador (Kunft), frigorífico (Liebherr) y congelador (Selecline).
- Separador de nitrógeno gas NGMs1 (Atlas Copco).

## **7. PRESUPUESTO**

El presupuesto total del subproyecto 2 es de **1.116.102,40 euros**

La aportación dineraria de Promotur al CSIC (IEO-Canarias), la ULL, a través de la FGULL, y la ULPGC para el desarrollo del subproyecto 2, se distribuye en las siguientes partidas:

CSIC (IEO-Canarias)	2024	2025	2026	Total proyecto
Costes de personal	- €	- €	- €	- €
Viajes y dietas	300 €	1.035 €	735 €	2.070,00 €
Equipamiento	- €	- €	- €	- €
Fungible	- €	- €	- €	- €
Otros gastos	- €	- €	- €	- €
<b>Total</b>	<b>300 €</b>	<b>1.035 €</b>	<b>735 €</b>	<b>2.070,00 €</b>
<b>FGULL</b>				
Costes de personal	7,000.00 €	53,600.00 €	66,400.00 €	127,000.00 €
Viajes y dietas	1,399.00 €	2,490.00 €	3,990.00 €	7,879.00 €
Equipamiento	44,000.00 €	54,990.00 €	1,000.00 €	99,990.00 €
Fungible	20,000.00 €	20,242.85 €	20,000.00 €	60,242.85 €
Otros gastos	1,250.00 €	2,579.67 €	2,250.00 €	6,079.67 €
<b>Total</b>	<b>73,649.00 €</b>	<b>133,902.52 €</b>	<b>93,640.00 €</b>	<b>301,191.52 €</b>
<b>ULPGC</b>				
Costes de personal	- €	116,000.00 €	87,000.00 €	203,000.00 €
Viajes y dietas	1,250.00 €	5,100.00 €	3,700.00 €	10,050.00 €
Equipamiento		60,500.00 €		60,500.00 €
Fungible	10,053.30 €	46,500.00 €	27,300.00 €	83,853.30 €
Otros gastos	3,500.00 €	9,850.00 €	6,305.18 €	19,655.18 €
<b>Total</b>	<b>14,803.30 €</b>	<b>237,950.00 €</b>	<b>124,305.18 €</b>	<b>377,058.48 €</b>
<b>TOTAL PROYECTO 2</b>	<b>88,752.30 €</b>	<b>372,887.52 €</b>	<b>218,680.18 €</b>	<b>680.320,00 €</b>

Por su parte el CSIC (IEO-Canarias), la ULL y la ULPGC aportarán 435.782,40 euros al subproyecto 2 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
<b>CSIC (IEO-Canarias)</b>				
<b>Personal investigador</b>	21.500,50 €	21.500,50 €	21.500,50 €	64.501,50 €
<b>FGULL</b>				
<b>Personal investigador</b>	70.203,50 €	70.203,50 €	70.203,50 €	210.610,50 €

<b>ULPGC</b>				
<b>Personal investigador</b>	53.556,80 €	53.556,80 €	53.556,80 €	160.670,40 €
<b>TOTAL PROYECTO 2</b>	145.260,80 €	145.260,80 €	145.260,80 €	<b>435.782,40 €</b>

## 8. DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

---

Ambos grupos de investigación tienen una dilatada experiencia en la difusión de resultados de investigación, y en particular en la temática de basuras marinas, con multitud de intervenciones en diferentes medios de comunicación: prensa escrita, televisión y radio. Esa intensa participación y actividad se continuará en el período de ejecución de este proyecto dando difusión a los resultados obtenidos.

Además, desde el proyecto se dará apoyo a los requerimientos que desde las instituciones públicas (Gobierno de Canarias o Cabildos) se requieran para hacer frente a la problemática de las basuras marinas en Canarias. Como ejemplo, el Dr. Javier Hernández ha sido asesor científico del Gobierno de Canarias en la activación del plan de emergencia PLATECA del 10 de enero de 2024 en relación a la llegada de *pellets* a Canarias, y la Dra. Daura Vega colabora también con el Gobierno de Canarias para tratar de regular, a propuesta del Parlamento de Canarias, una mejora en la seguridad en el transporte marítimo de los contenedores de *pellets*.

Durante el proyecto también se llevarán a cabo diversas actividades de difusión de los resultados obtenidos (jornadas, charlas, notas de prensa, podcast en redes sociales, web, presentaciones en congresos, etc.) con objeto de dar a conocer la problemática de las basuras marinas y los datos reales que llegan a Canarias desde otras regiones externas a nuestro archipiélago, poniendo en relieve la importancia de la investigación realizada y poner de manifiesto los efectos y el impacto que produce a escala global.

## 9. BENEFICIOS DE ESTE PROYECTO Y TRANSFERENCIA

---

La identificación y cuantificación de las diferentes basuras marinas que llegan a Canarias y sus diversos orígenes, tiene **dos ejes principales de transferencia**:

- Aportar **nuevos datos a la sociedad y al Gobierno de Canarias** sobre la abundancia, composición, tipo y potencial toxicidad (en base a los aditivos y compuestos químicos asociados) de los plásticos que llegan a Canarias (tanto macroplásticos como microplásticos), y con eso poder identificar el estado de salud oceánica de cada región específica dentro del archipiélago. Estos datos basados en muestreos en tierra y mar abierto se verán complementados con modelos de transporte que permitan entender, tanto al organismo financiador de este proyecto, como a la sociedad en general, detalles sobre las diversas fuentes de las basuras marinas. Estas fuentes de basuras marinas que llegan al

archipiélago se prevén sean en su mayoría de agua procedentes de abiertas del Atlántico Norte y de regiones próximas del continente africano, pero no debida a aportes locales o regionales.

- Además, basado en el Convenio OSPAR, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico realiza anualmente sus informes de **Estrategias Marinas**, se basa en una metodología de clasificación publicada por Tuddor & Williams (2004). Desde la experiencia de este equipo de investigación, y representando éste un potencial resultado y transferencia de este proyecto, consideramos que dicha metodología no es aplicable en islas oceánicas como Canarias, las cuales están bajo la influencia fundamental de la dinámica oceánica. La aplicación de esa metodología a nuestra región representa muy posiblemente una **sobreestimación incorrecta en los porcentajes asignados a “Turismo en playas”** cuando con alta probabilidad **el porcentaje de basuras marinas debido al impacto del turismo es muy posiblemente menor** del indicado en esos informes. Este proyecto tiene como transferencia directa el **desarrollar un nuevo protocolo de medida ajustado a las circunstancias propias de islas oceánicas como lo es Canarias, donde previsiblemente el porcentaje asignado a “Turismo en playas” será significativamente menor.**

## 10. REFERENCIAS

---

- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., et al. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat. Geosci.* 12, 339–344. doi: 10.1038/s41561-019-0335-5.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., and Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. doi: 10.1098/rstb.2008.0205.
- Boucher, J., and Friot, D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources.
- Cividanes, M., Aguiar-González, B., Gómez, M., Herrera, A., Martínez, I., Pham, C. K., et al. (2024). Lagrangian tracking of long-lasting plastic tags: From lobster fisheries in the USA and Canada to Macaronesia. *Mar. Pollut. Bull.* 198. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115908.
- Courtene-Jones, W., Quinn, B., Gary, S. F., Mogg, A. O. M., and Narayanaswamy, B. E. (2017). Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean. *Environ. Pollut.* 231, 271–280. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.026.
- Crawford, C. B., and Quinn, B. (2017). “4 - Physiochemical properties and degradation,” in eds. C. B. Crawford and B. B. T.-M. P. Quinn (Elsevier), 57–100. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9>.
- Daniels, C. A. (1989). *Polymers: structure and properties*. Technomic Publishing Company.
- European Commission (2018). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions a European Strategy for Plastics in a Circular Economy, COM/2018/028 final.
- European Parliament (2017). Comission Directive (EU) 2017/845 of 17 May 2017 amending Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council as regards the indicative lists of elements to be taken into account for the preparation of marine strategies. *Off. J. Eur. Union* L125, 27–33.
- González-Pleiter, M., Velázquez, D., Edo, C., Carretero, O., Gago, J., Barón-Sola, A., et al. (2020). Fibers spreading worldwide: Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Sci. Total Environ.* 722, 137904. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137904>.
- Instituto Español de Oceanografía (2012). Estrategia marina. Demarcación marina del estrecho y Alborán. Parte IV. Descriptores del buen estado ambiental. Descriptor 10: Basuras marinas. Evaluación inicial y buen estado ambiental.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science (80- )*. 347, 768–771. doi: DOI: 10.1126/science.1260352.

- Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino (2010).
- Miller, E., Sedlak, M., Lin, D., Box, C., Holleman, C., Rochman, C. M., et al. (2021). Recommended best practices for collecting, analyzing, and reporting microplastics in environmental media: Lessons learned from comprehensive monitoring of San Francisco Bay. *J. Hazard. Mater.* 409, 124770. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124770.
- Miller, M. E., Kroon, F. J., and Motti, C. A. (2017). Recovering microplastics from marine samples: A review of current practices. *Mar. Pollut. Bull.* 123, 6–18. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.058.
- Morales-Caselles, C., Viejo, J., Martí, E., González-Fernández, D., Pragnell-Raasch, H., González-Gordillo, J. I., et al. (2021). An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nat. Sustain.* 4, 484–493. doi: 10.1038/s41893-021-00720-8.
- Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. a., Baker, I., and Thompson, R. C. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Futur.* 2, 315–320. doi: 10.1002/2014EF000240.Abstract.
- Oberbeckmann, S., and Labrenz, M. (2020). Marine Microbial Assemblages on Microplastics: Diversity, Adaptation, and Role in Degradation. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 12, 209–232. doi: 10.1146/annurev-marine-010419-010633.
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A., and Kržan, A. (2016). Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 22206–22211. doi: 10.1007/s11356-016-7703-0.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., and Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC - Trends Anal. Chem.* 110, 150–159. doi: 10.1016/j.trac.2018.10.029.
- Sammon, C., Yarwood, J., and Everall, N. (2000). An FT–IR study of the effect of hydrolytic degradation on the structure of thin PET films. *Polym. Degrad. Stab.* 67, 149–158. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(99\)00104-4](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(99)00104-4).
- Sotillo, M. G., Cailleau, S., Lorente, P., Levier, B., Aznar, R., Reffray, G., et al. (2015). The myocean IBI ocean forecast and reanalysis systems: Operational products and roadmap to the future copernicus service. *J. Oper. Oceanogr.* 8, 63–79. doi: 10.1080/1755876X.2015.1014663.
- Vega-Moreno, D., Abaroa-Pérez, B., Rein-loring, P. D., Presas-navarro, C., Fraile-nuez, E., and Machín, F. (2021). Distribution and transport of microplastics in the upper 1150 m of the water column at the Eastern North Atlantic Subtropical Gyre, Canary Islands, Spain. *Sci. Total Environ.* 788, 147802. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147802.
- Vega-Moreno, D., Sicilia-González, S., Domínguez-Hernández, C., Moreira-García, E., Aguiar-González, B., Hernández-Borges, J., et al. (2024). Exploring the origin and fate of surface and sub-surface marine microplastics in the Canary Islands region. *Front. Mar. Sci.* 11. doi: 10.3389/fmars.2024.1314754.
- Waller, C. L., Griffiths, H. J., Waluda, C. M., Thorpe, S. E., Loaiza, I., Moreno, B., et al. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research. *Sci. Total Environ.* 598, 220–227. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.283.

### Subproyecto 3. Islas Canarias: Naturaleza Marina Singular para tu Salud y Bienestar.

**IP: Dra. Ana Raquel Díaz Marrero**

*Científica Titular*

*Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA)*

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

**IP2: José Javier Fernández Castro**

*Profesor Titular*

*Universidad de La Laguna (ULL)*

## Memoria Científico-Técnica

### Título del Subproyecto:

Islas Canarias: Naturaleza Marina Singular para tu Salud y Bienestar

### RESUMEN

El estudio de los microorganismos marinos es, dentro de la química de los productos naturales, un área de investigación muy novedosa que está aportando excelentes resultados en la identificación de nuevas entidades químicas con fines biotecnológicos.

Los microorganismos marinos presentan un enorme potencial para el descubrimiento de nuevas sustancias bioactivas con la ventaja de ser una fuente sostenible, renovable y manipulable, que permite el desarrollo de cultivos por fermentación a gran escala para obtener sustancias de interés a un coste razonable, incluso a escala industrial.

Basada en su gran potencial, este proyecto está orientado al descubrimiento y desarrollo de nuevas sustancias bioactivas de interés para la industria cosmética y farmacéutica, tomando como punto de partida la biodiversidad de la microbiota marina de las Islas Canarias. El objetivo principal es identificar cepas bacterianas de interés para el desarrollo de compuestos de alto valor añadido, compuestos susceptibles de convertirse en potenciales agentes cosméticos o terapéuticos.

### 1. ANTECEDENTES

En los últimos sesenta años, la química de los productos naturales marinos ha experimentado un auge que ha conducido al aislamiento de un gran número de nuevas moléculas estructuralmente diversas

procedentes de algas e invertebrados marinos.<sup>1</sup> Si bien los primeros estudios estaban fundamentalmente centrados en la determinación estructural de nuevas sustancias marinas, hoy en día los esfuerzos se dirigen hacia el descubrimiento de compuestos con actividad biológica y biomédica relevante. El mayor éxito de la química de productos naturales de origen marino lo constituye el Yondelis®, que se ha convertido en el primer fármaco de origen marino en alcanzar el mercado como agente anticancerígeno, desarrollado y comercializado por la empresa española PharmaMar. Junto con Yondelis®, otros diecisiete fármacos de origen marino han sido comercializados,<sup>2</sup> entre ellos: Lovaza®, para el tratamiento de la hipercolesterolemia; Prialt®, analgésico derivado de la  $\omega$ -conotoxina para el tratamiento del dolor crónico o Halaven®, un análogo simplificado de un producto natural con propiedades anticancerígenas.<sup>3</sup>

Las condiciones físico-químicas extremas de los océanos han favorecido que los organismos marinos produzcan una gran variedad de nuevas moléculas como mecanismo para asegurar su supervivencia. Estos compuestos son únicos en términos de diversidad y características estructurales con respecto a aquellas que producen los organismos terrestres, y suponen un reservorio de nuevos compuestos bioactivos de gran potencial biofarmacéutico.<sup>4</sup> Se estima que el 91% de las especies que habitan los océanos aún permanecen por identificar.<sup>5,6</sup>

### **Los microorganismos marinos suponen una importante fuente de biodiversidad inexplorada.**

La microbiota marina, como bacterias, cianobacterias, levaduras, hongos y microalgas, se revela como una fuente prometedora e inagotable para el desarrollo de nuevos fármacos<sup>7</sup> y sustancias bioactivas si consideramos que el 80% de los compuestos antitumorales marinos que se encuentran en estudios clínicos son de origen microbiano.<sup>8</sup> A esto hay que añadir la imponderable ventaja, de ser un recurso biosostenible e inagotable para la producción de productos naturales vía fermentación. Los procesos de fermentación son el método de elección preferido por las compañías farmacéuticas frente a otras metodologías como la síntesis química, en particular cuando nos referimos a compuestos de origen natural, ya que éstos, generalmente, poseen estructuras químicas complejas, lo que dificulta su síntesis y aumenta considerablemente los costes de producción. Por el contrario, la fermentación es la ruta más económica ya que acorta tanto los procesos de producción como el tiempo de acceso al mercado.

Estudios recientes en microbiología ambiental indican que tan sólo un 1% de los microorganismos que habitan el medio marino ha sido cultivado e identificado.<sup>9</sup> Actualmente se están descubriendo numerosas especies de microorganismos estrictamente marinos<sup>10</sup> como son los nuevos géneros de actinomicetos *Salinispora*, *Serinococcus*, *Marinispora* y *Salinibacterium*.<sup>11</sup> La salinosporamida A<sup>12</sup> es un ejemplo de una sustancia bioactiva aislada de una cepa del género *Salinispora*. Esta sustancia es un potente anticancerígeno que presenta actividad inhibitoria del proteosoma 20S. Este compuesto entró en estudios de fase clínica en menos de tres años desde su publicación.<sup>13</sup>

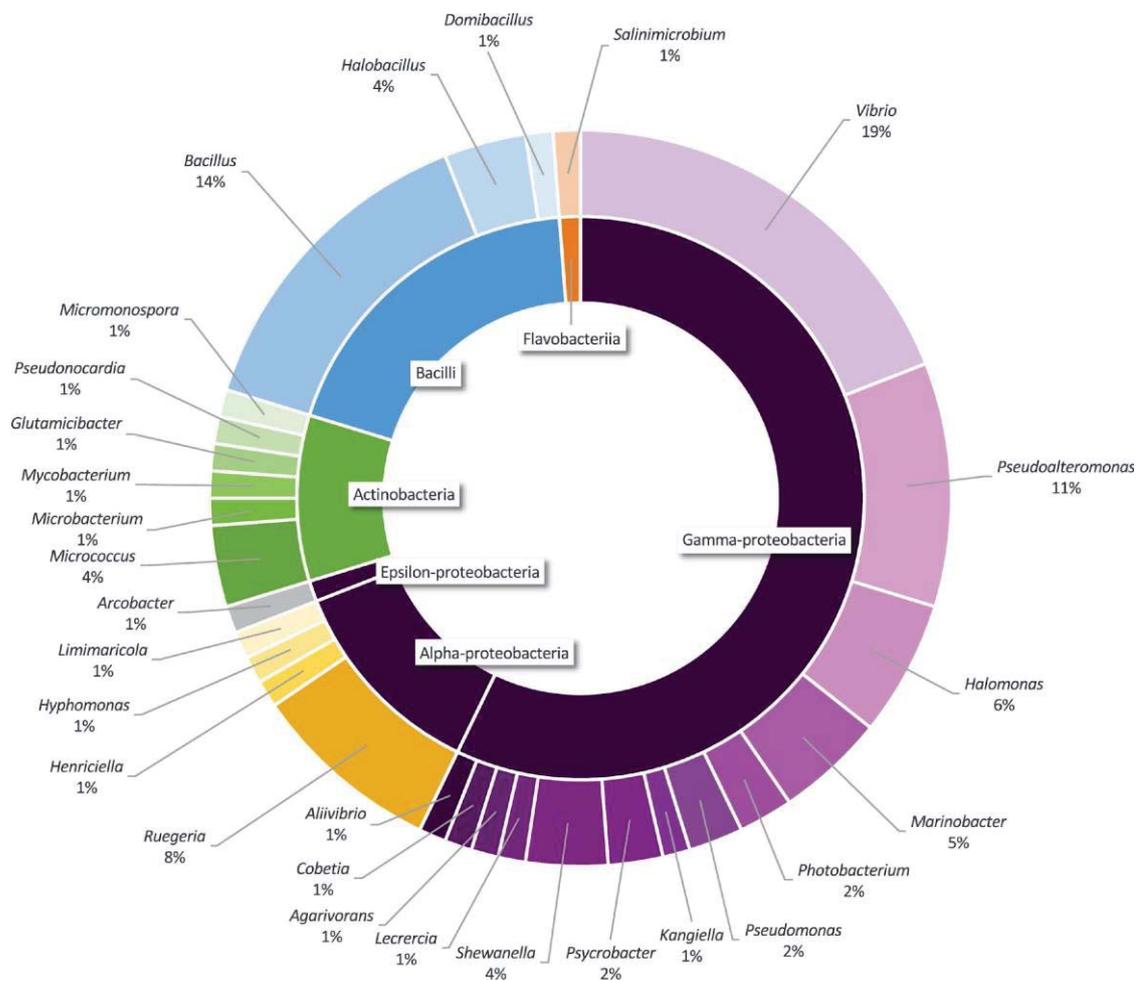
Desde el punto de vista microbiológico, muchos hábitats marinos permanecen inexplorados en comparación con los ecosistemas terrestres. En los últimos años se han intensificado los estudios de bioprospección de microorganismos marinos aislados de hábitats singulares con objeto de acceder a nuevas fuentes de biomoléculas con potencial biotecnológico.<sup>14</sup>

Bajo esta premisa, desde octubre de 2013, con financiación de un proyecto europeo (FP7-REGPOT-2012-CT2012-31637-IMBRAIN), inicié una nueva línea de investigación en la Universidad de La

Laguna (ULL) centrada en la búsqueda de nuevas sustancias bioactivas producidas por bacterias marinas que ahora continuo en el Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA-CSIC).

Con el fin de incrementar la posibilidad de acceso a una extensa diversidad química, la presente propuesta tiene como objetivo explorar el potencial metabólico de microorganismos marinos de ambientes volcánicos singulares de las Islas Canarias, consideradas un laboratorio natural por su historia biológica y biodiversidad. Las fuentes hidrotermales de aguas profundas y los volcanes submarinos constituyen ecosistemas únicos que se consideran “hot spots” para el acceso a cepas bacterianas que han desarrollado mecanismos de resistencia como resultado de la respuesta adaptativa fenotípica y genotípica a las condiciones ambientales.<sup>15</sup> Un ejemplo de dicho ecosistema es el volcán submarino Tagoro, en El Hierro, la isla con la actividad volcánica submarina más reciente.<sup>16</sup>

En colaboración con IEO-CSIC, en octubre de 2016 participamos en una de las campañas oceanográficas multidisciplinares que estudia el volcán submarino Tagoro desde el inicio de la erupción volcánica en octubre de 2011. Este acontecimiento se planteó como una oportunidad única de acceder a un nuevo *micro-ecosistema* en desarrollo con el objetivo principal de aislar microorganismos endófitos y asociados tanto a muestras de rocas como de invertebrados marinos de profundidad, un ecosistema en el que se confirma la identificación de nuevas especies bacterianas.<sup>17</sup>

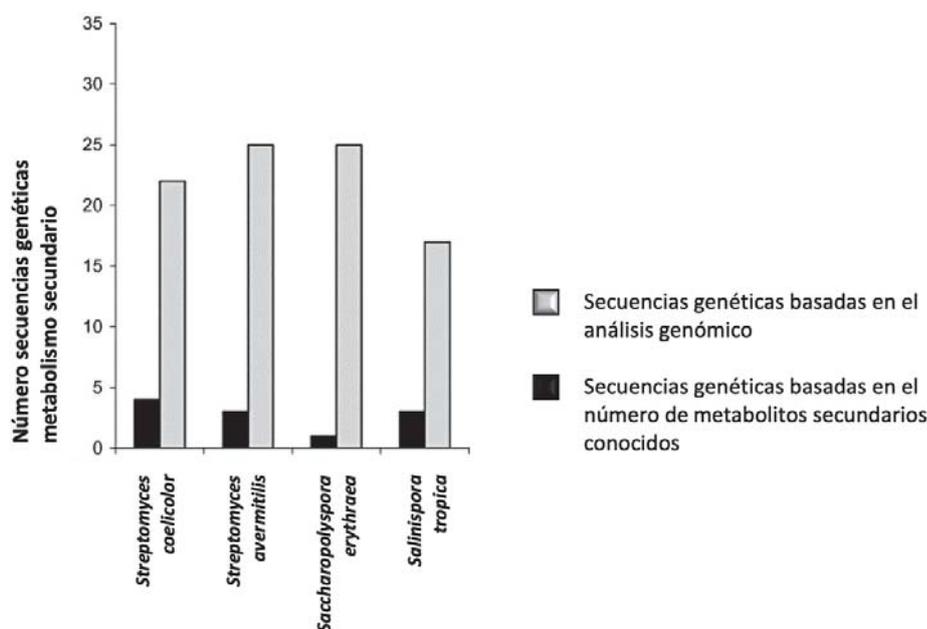


**Figura 1.** Representación taxonómica distribuida por género (anillo exterior) y clase (anillo interior) de la colección de bacterias aisladas del Volcán Tagoro.<sup>18</sup>

Como resultado, de las muestras extraídas de la nueva colada del volcán submarino y del exterior de la reserva marina de La Restinga, a profundidades comprendidas entre los 160 y 800 m, se obtuvo una colección de más de 180 aislados bacterianos adaptados a las condiciones físico-químicas extremas de temperatura, acidificación del medio, etc. Estos aislados bacterianos han sido identificados y caracterizados taxonómicamente, Figura 1.<sup>18</sup>

En este trabajo, se analizó el potencial antiproliferativo (citotoxicidad) de tan sólo el 18% (33 cepas bacterianas/21 géneros/120 extractos) de esta colección de bacterias. De ellas, los extractos de 5 aislados destacaron por su capacidad para inhibir el crecimiento de diversas líneas celulares de cáncer humano a concentraciones de IC<sub>50</sub> inferiores a 20 µg/mL, lo que supone, que el 85% restante no presentaban toxicidad significativa. Su baja toxicidad en células humanas supone un punto de partida excepcional para la búsqueda de nuevas aplicaciones cosméticas y farmacológicas de esta colección de bacterias aisladas de un hábitat extremo.

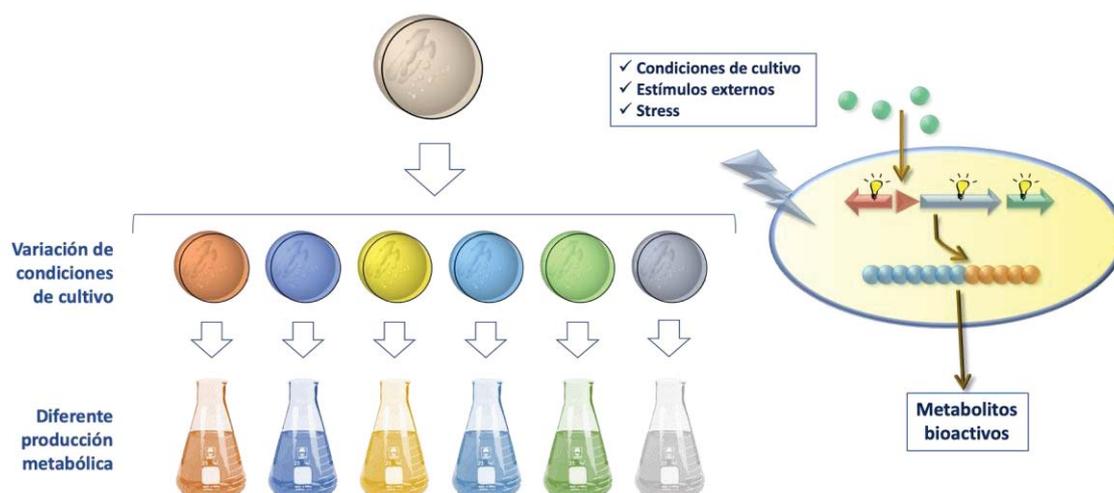
Un aspecto clave para el desarrollo de este proyecto se basa en los análisis genómicos de microorganismos que revelan un gran número de secuencias biosintéticas de productos naturales aún desconocidos,<sup>19</sup> encontrándose que en algunos microorganismos el número de genes que codifican la formación de enzimas intervinientes en las rutas biosintéticas de productos naturales es superior al número de metabolitos secundarios conocidos en estos microorganismos (Figura 2).<sup>20</sup> Un pequeño porcentaje de las rutas biosintéticas se expresan en las condiciones estándar de cultivo, las restantes rutas metabólicas se encuentran “silenciadas”.



**Figura 2.** Secuencias genéticas estimadas que codifican la producción de metabolitos secundarios de bacterias.

Por tanto, teniendo en cuenta la capacidad de los micro-organismos de adaptarse y responder al entorno mediante la generación de metabolitos secundarios, lo que se pretende en este proyecto es la

estimulación/activación de esas rutas del metabolismo secundario de bacterias marinas que se encuentran silenciadas (o no expresadas) con el fin de desarrollar una colección de extractos naturales bioactivos de origen marino.<sup>21</sup>



**Figura 3.** Fundamento básico de la estrategia OSMAC. Influencia de las condiciones de cultivo, estímulos externos y stress en la biosíntesis de productos naturales.

De manera general, las estrategias empleadas para activar la producción metabólica de estos genes silentes se pueden dividir, a grandes rasgos, en métodos que utilizan técnicas de ingeniería genética y aquellos que se basan en modificar las condiciones de cultivo.<sup>22,23</sup> Esta última, también conocida como estrategia *OSMAC –One Strain MAny Compounds–*, se considera la estrategia más simple y eficaz. Se basa en la idea de que una única cepa microbiana tiene el potencial de producir múltiples compuestos si se cultiva en las condiciones adecuadas, esto es, por manipulación tanto de factores nutricionales (condiciones de cultivo), ambientales (estímulos externos y estrés), adición de elicitores químicos y co-cultivo que afectan al control epigenético (Figura 3).<sup>23</sup>

La investigación contempla: la generación de una colección de cepas de bacterias marinas resultantes de un hábitat extremo. la obtención de diversidad molecular a través de distintas estrategias para estimular la activación de rutas metabólicas silenciadas de las cepas seleccionadas (estudio de las condiciones de fermentación y aplicación de la estrategia *OSMAC –One Strain MAny Compounds–* y fermentación mixta o co-cultivo). Se preparará una colección de extractos para evaluar su potencial terapéutico en un amplio panel de ensayos de actividad biológica, un aspecto determinante para valorar su potencial terapéutico y valorizar los recursos marinos de nuestras islas.

En los últimos años, la *búsqueda de nuevos agentes terapéuticos de fuentes marinas* ha sido una línea de trabajo muy productiva en el grupo de investigación constituido por investigadores del IPNA-CSIC y la ULL. Así, en muy corto espacio de tiempo, ha sido posible la identificación de una variedad de terpenos (C-15,<sup>24</sup> C-20<sup>25</sup> y C-30<sup>26</sup>), alcaloides<sup>27</sup> y pigmentos fotosensibilizadores<sup>28</sup> como potenciales cabezas de serie para el tratamiento de la Leishmaniasis, enfermedad de Chagas, keratitis amebode e incluso, la letal meningoencefalitis amebode primaria (PAM) causada por *Naegleria fowleri*. De esta

línea hay que destacar cuatro solicitudes de patente sobre el uso y la identificación de una serie de modelos químicos con propiedades antiparasitarias en la Oficina Española de Patentes y Marcas (Referencias: P202030582, P202030581, P202230496) y en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (MX/a/2022/011373), incluyendo una solicitud internacional que ha sido publicada recientemente.<sup>29</sup>

Este proyecto de carácter multidisciplinar, además de ser sostenible con el medio ambiente, está basado en la biotecnología azul y la búsqueda de aplicaciones sostenibles de los recursos marinos de las Islas Canarias para la salud. Por tanto, está a la vanguardia de la investigación actual, contribuyendo a la gestión inteligente y dinamización del “turismo azul” y en consonancia con las líneas de actuación prioritarias de las estrategias de I+D nacionales y europeas, alineándose con la Estrategia Canaria de Economía Azul para un crecimiento sostenible basado en la bioeconomía.

## 2. OBJETIVOS

---

A través de la biotecnología azul, **este proyecto pretende poner en valor la singularidad de la biodiversidad microbiológica del medio marino de Canarias**, influenciado por sus volcanes, como fuente sin precedentes **para el desarrollo sostenible de ingredientes activos naturales**, sustancias bioactivas **de aplicación en el ámbito de la cosmética y la salud** con el fin último de mejorar nuestra calidad de vida.

Para alcanzar este objetivo nos centraremos en el aislamiento y estudio de cepas bacterianas productoras de sustancias con aplicación en el ámbito biomédico/farmacológico a partir de muestras ambientales procedentes de nichos ecológicos únicos de las Islas Canarias, en el ámbito científico y tecnológico de la biotecnología marina o biotecnología azul. Para ello se definen los siguientes objetivos específicos, que se pretenden alcanzar en el marco de este proyecto:

- Obtener muestras ambientales de hábitats marinos singulares de las Islas Canarias para el aislamiento de microorganismos.
- Desarrollar una colección de bacterias marinas procedentes de dichos hábitats: identificación taxonómica y análisis filogenético.
- Investigar y desarrollar estudios de fermentación a pequeña escala, incluyendo métodos de cultivo basados en la presencia de elicitadores.
- Desarrollar una colección de extractos para análisis biológico.
- Investigar el potencial cosmético y farmacológico de las colecciones de extractos, fracciones y compuestos como posibles ingredientes bioactivos.
- Abordar estrategias de aislamiento bioguiado para la obtención de ingredientes y compuestos bioactivos.
- Determinación estructural de moléculas de interés para la salud.
- Valorización y difusión de resultados.

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología se describe a continuación distribuida en las actividades y tareas previstas en el presente proyecto. Para su desarrollo se cuenta con un equipo multidisciplinar constituido por un total de ocho investigadores y personal técnico que pertenecen tres Instituciones Científicas y Académicas de Canarias: Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA-CSIC), Universidad de La Laguna (ULL) e Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC).

#### 1.1.1.ACTIVIDAD 1: INVESTIGACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MICROBIOLÓGICA DE HÁBITATS SINGULARES DE LAS ISLAS CANARIAS

***Objetivo:** Acceso a la biodiversidad microbológica de muestras medioambientales de un hábitat marino singular. Desarrollo de una colección de bacterias marinas de alto valor añadido.*

**Tarea 1.1.** Bioprospección. Esta tarea contempla la recolección de muestras ambientales y sedimentos del fondo marino de las costas Canarias, con particular interés en hábitats singulares de naturaleza volcánica. En esta tarea se contará con infraestructura, asistencia y logística de los buques oceanográficos del IEO-CSIC clave para el acceso muestras de profundidad. Las muestras se dispondrán selectivamente en recipientes estériles y se mantendrán a 4°C hasta que sean trasladadas al laboratorio. Es importante destacar que la cantidad de muestra requerida es mínima y se generará un impacto nulo en el ecosistema marino. Las muestras se preservarán convenientemente hasta su procesado. Se solicitarán los permisos pertinentes para la obtención de muestras de acuerdo con la normativa vigente para la aplicación del Protocolo de Nagoya.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); E. Fraile (Investigador Científico, IEO-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

**Tarea 1.2.** Biodiversidad microbológica. Procesado de las nuevas muestras ambientales. Dependiendo de la naturaleza de las muestras se utilizarán distintas metodologías para facilitar dos aspectos críticos de cara a aumentar las posibilidades de éxito: el acceso a cepas poco cultivables y favorecer el aislamiento de cepas estrictamente marinas. Las muestras macroscópicas se homogeneizarán con agua de mar estéril y se agitarán en vórtex 5 minutos. Los sedimentos se diluirán en agua de mar estéril (50 mg/mL) y se someterán a agitación durante 5 min. Después de la homogeneización de la muestra, se realizarán diluciones seriadas del sobrenadante y se cultivarán por duplicado en placas de Petri con dos medios sólidos: MA (Marine Agar 2216, Panreac) y MM1 [Extracto de levadura (4 g/L); almidón (10 g/L); peptona bacteriológica (2 g/L); agar (15 g/L); y agua de mar filtrada (90%)]. Las placas de Petri inoculadas se incubarán a 20 °C y el crecimiento microbiano se controlará semanalmente durante 6 meses. Las colonias microbianas que se observen durante este periodo de 6 meses se aislarán en cultivo puro. Todas las cepas aisladas en cultivo puro se cultivarán de nuevo en medio líquido y serán criopreservadas a -80°C en glicerol al 20% por duplicado. De manera orientativa, se espera obtener un promedio de 5-10 aislados por muestra.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); A. Casal (Investigadora predoctoral, IPNA-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

**Tarea 1.3.** Para poder identificar la taxonomía de las cepas aisladas en cultivo se procederá a la extracción de ADN de las mismas y a la secuenciación del gen 16S rRNA (gen muy conservado en bacterias que se utiliza para la reconstrucción de filogenias debido a su baja tasa de evolución). La extracción de ADN, amplificación del gen 16S rRNA y secuenciación se realizará a través del Servicio de Genómica de los Servicios Generales de Apoyo a la Investigación de la Universidad de La Laguna.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); J.J. Fernández (Catedrático de Universidad, ULL); A. Casal (Investigadora predoctoral, IPNA-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

### 1.1.2. ACTIVIDAD 2: INVESTIGACIÓN DE LA DIVERSIDAD QUÍMICA en LOS MICROORGANISMOS AISLADOS

Teniendo en cuenta la capacidad adaptativa de los microorganismos como mecanismos de supervivencia a las condiciones del entorno a través de la producción de metabolitos secundarios, se tratará de estimular/activar las rutas del metabolismo secundario de bacterias marinas que se encuentran silenciadas a través de metodología dependientes de cultivo.

*Objetivo:* Obtención de quimiodiversidad de los microorganismos aislados de interés, con el objetivo de caracterizar moléculas que podrían servir como fármacos en etapas posteriores. Desarrollar una colección de extractos marinos de interés biotecnológico

**Tarea 2.1.** Los aislados bacterianos de las diferentes clases filogenéticas serán sometidos a condiciones de cultivo oligotróficos (bajo en nutrientes) durante un largo periodo de tiempo de fermentación. El objetivo es inducir condiciones de estrés y así estimular la activación de genes silenciados para la producción de metabolitos secundarios basándonos en el enfoque OSMAC. Esta estrategia se ha revelado como un enfoque simple y efectivo para inducir la activación de los mecanismos biosintéticos de los microorganismos para producir nuevos metabolitos secundarios al cambiar las condiciones de cultivo. Los aislados bacterianos se cultivarán en diferentes medios de cultivo con bajo contenido en nutrientes en matraces Erlenmeyer de 500 mL que contendrán 300 mL de una dilución 1:5 de caldo marino (MB/5, Marine Broth 2216, Panreac) y medio MM1 (MM1/5). Partiendo de esta base, se introducirán variables como cambios en la composición del medio, aireación, adición de elicitores/inhibidores de enzimas, y/o co-cultivo con otras especies microbianas. Los cultivos se mantendrán a 20 °C en oscuridad de 20 a 30 días. Después del proceso de incubación, los cultivos se extraerán tres veces con acetato de etilo ( $3 \times 100$  mL EtOAc) o, de manera alternativa, mediante procedimientos de extracción de fase sólida (SPE) para un pre-fraccionamiento si fuera necesario. Se prepararán muestras de los extractos para su análisis biológico posterior, según se detalla en la actividad 3.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); A. Casal (Investigadora predoctoral, IPNA-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

**Tarea 2.2.** Cultivo a escala de laboratorio de las cepas bacterianas más prometedoras seleccionadas a partir del screening biológico (actividad 3). Las cepas seleccionadas se fermentarán a mayor escala (20 L aprox.) manteniendo las condiciones óptimas previamente establecidas, para obtener los extractos

correspondientes según se ha descrito en la Tarea 2.1. A continuación se procederá al análisis cromatográfico de los extractos y aislamiento bioguiado para la obtención de fracciones enriquecidas y compuestos puros. Para el proceso de purificación se emplearán técnicas cromatográficas habituales: intercambio iónico, geles de filtración, cromatografía en columna de media presión. La purificación final se realizará en sistemas de HPLC semipreparativo y analítico. El procedimiento es iterativo analizando en cada etapa cromatográfica la actividad biológica. En esta etapase comprobará la reproducibilidad de la metodología.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); A. Casal (Investigadora predoctoral, IPNA-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC); C. Curbelo (Personal Técnico, IPNA-CSIC)

**Tarea 2.3.** Determinación estructural de los productos puros. A medida que se disponga de material purificado, se iniciarán los estudios de determinación de las estructuras de las nuevas moléculas bioactivas. Estos estudios se llevarán a cabo por análisis de RMN y de espectrometría de masas, fundamentalmente, utilizando la infraestructura y equipamiento científico de apoyo a la investigación del IPNA-CSIC.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); J.J. Fernández (Catedrático de Universidad, ULL); M.L. Souto (Profesora Titular, ULL); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

### 1.1.3. ACTIVIDAD 3: EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS, FRACCIONES Y COMPUESTOS BACTERIANOS Y SU POTENCIAL COSMÉTICO Y FARMACOLÓGICO

*Objetivo:* Evaluación del potencial farmacológico de los metabolitos secundarios aislados de las colecciones de extractos de bacterias marinas de hábitats singulares.

En esta actividad se medirá el potencial cosmético y farmacológico de las colecciones de extractos, fracciones y compuestos obtenidos de la actividad 2. Esta actividad valorará el potencial de las muestras en un amplio panel de estudios biológicos con el fin de poner en valor su potencial para la salud.

**Tarea 3.1.** Evaluación del potencial cosmético. Estudio/evaluación del potencial cosmético de las colecciones de extractos, fracciones y productos puros generados en las actividades 1 y 2 en los paneles de actividad biológica seleccionados. Se implementarán en el IPNA-CSIC nuevos ensayos de screening rápido orientados a evaluar la actividad cosmética que permitan valorar el potencial antioxidante y como agentes despigmentantes.

La actividad antioxidante frente a ABTS (2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio) se determinará utilizando un método modificado descrito originalmente por Re et al. (1999).<sup>32</sup> El ensayo se realizará en placas de 96-pocillos añadiendo las muestras disueltas en DMSO y se incubarán en presencia de ABTS para valorar el porcentaje de inhibición mediante análisis de la absorbancia.

Por otra parte, se valorará el potencial de inhibición de la actividad tirosinasa. La tirosinasa o polifenol oxidasa, es una oxidorreductasa que participa en la biosíntesis de la melanina, un pigmento biológico

ubicuo que se encuentra en el cabello, los ojos, o la piel. La inhibición de la tirosinasa ha sido un objetivo desde hace mucho tiempo en la salud de la piel e investigación cosmética. Los productos para blanquear y blanquear la piel utilizan inhibidores de la tirosinasa naturales o sintéticos para aclarar el color de la piel. Como inhibidores de la tirosinasa se han utilizado polifenoles, derivados de benzaldehído, lípidos de cadena larga, esteroides y compuestos naturales, que en la mayoría de los casos están libres de los efectos adversos. Para realizar este ensayo se emplea un kit de detección de inhibidores de tirosinasa. Es un ensayo colorimétrico que se realiza en placas de 96 pocillos y proporciona una prueba rápida, simple, sensible y confiable adecuada para la detección de inhibidores de tirosinasa de alto rendimiento. La tirosinasa cataliza la oxidación de la tirosina, produciendo un cromóforo que puede detectarse a 510 nm. En presencia de ácido kójico, un inhibidor reversible de la tirosinasa, disminuye la tasa de oxidación del sustrato.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); A. Casal (Investigadora predoctoral, IPNA-CSIC); Contratado proyecto (IPNA-CSIC)

**Tarea 3.2.** Evaluación del potencial antiparasitario. Aprovechando la trayectoria y resultados previos del equipo de trabajo, se pretende extender los estudios a la búsqueda de sustancias antiparasitarias. La ausencia de vacunas para la prevención de infecciones causadas por parásitos hace que el principal método de control de estas enfermedades se base en el uso de fármacos. Sin embargo, los tratamientos disponibles en la actualidad presentan importantes problemas de toxicidad, eficacia, suelen ser tratamientos prolongados y costosos además de presentar complicaciones derivadas de la aparición de resistencias parasitarias. Todas estas razones respaldan el desafío que supone el desarrollo de fármacos innovadores, eficaces y seguros para combatir las infecciones causadas por estos parásitos y sus formas resistentes.<sup>30, 31</sup>

Los extractos orgánicos secos se disolverán en dimetilsulfóxido para preparar un stock de 50 mg/mL para realizar los ensayos de bioactividad. Para medir su capacidad antiparasitaria los extractos se evaluarán frente a un panel de diferentes parásitos kinetoplásticos y amebas como *Leishmania amazonensis*, *Leishmania donovani*, *Trypanosoma cruzi*, *Acanthamoeba castellanii* Neff y *Naegleria fowleri* utilizando un ensayo colorimétrico con alamarBlue. Los experimentos se llevarán a cabo en microplacas bajo las condiciones específicas para cada parásito y se medirá la densidad óptica para determinar su IC<sub>50</sub>. Esta tarea será abordada a través de una colaboración externa con el grupo de parasitología del Instituto de Enfermedades Tropicales y Salud Pública de Canarias de la ULL.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); J.J. Fernández (Catedrático de Universidad, ULL); M.L. Souto (Profesora Titular, ULL)

**Tarea 3.3.** Estudio de otras actividades biológicas. Se aprovechará la red nacional e internacional de contactos del grupo de investigación para extender el rango de posibles actividades biológicas si se estimara oportuno.

*Investigadores:* A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); J.J. Fernández (Catedrático de Universidad, ULL); M.L. Souto (Profesora Titular, ULL)

#### 1.1.4. ACTIVIDAD 4: Valorización y difusión de resultados

**Objetivo:** Esta actividad persigue, como fin último, la gestión y puesta en valor de los resultados del proyecto vinculando la gestión inteligente con la producción sostenible de productos para un “turismo azul”

**Tarea 4.1.** Atendiendo a la evolución de los resultados durante la última anualidad los esfuerzos se centrarán en el desarrollo y transferencia de resultados de interés. Asimismo, se contemplan otros aspectos de importancia para garantizar el éxito de la propuesta que se han marcado como objetivos. En este sentido, bien a través de reuniones presenciales o de video-conferencias, será necesario concretar todos los aspectos relacionados con el curso de la investigación, desde el análisis, divulgación y publicación de resultados, firma de los correspondientes acuerdos de transferencia de materiales, y aspectos concernientes a la propiedad intelectual, entre otros.

**Investigadores:** A.R. Díaz-Marrero (Científica Titular, IPNA-CSIC); M. Cueto (Científica Titular, IPNA-CSIC); J.J. Fernández (Catedrático de Universidad, ULL); CDT (Contratado divulgación y transferencia, IPNA-CSIC)

#### 4. SEGUIMIENTO Y MECANISMOS EFECTIVOS DE EVALUACIÓN

El seguimiento y la evaluación del proyecto se llevarán a cabo mediante un enfoque integral que abarcará diversos aspectos. Por una parte, y de acuerdo con los términos y condiciones establecidos en la memoria del proyecto o en el convenio con la entidad financiadora, se establecerá un sistema de informes periódicos. Estos informes proporcionarán un análisis detallado del progreso, los hitos alcanzados, así como cualquier desviación con respecto al plan original.

Los resultados derivados de las investigaciones del proyecto serán publicados en revistas científicas de alto impacto y divulgados en congresos y reuniones científicas especializados, presentando ponencias y posters que contribuirán al intercambio de conocimientos con la comunidad científica.

Actividades/Tareas	Centro ejecutor	Investigador responsable	Otros participantes	Primer año	Segundo año	Tercer año
Tarea 1.1. Bioprospección	IPNA-CSIC, IEO	ARD	EFN, CP			
Tarea 1.2. Biodiversidad microbiológica	IPNA-CSIC	ARD	MCP, ACS, CP			
Tarea 1.3. Taxonomía	IPNA-CSIC, ULL	ARD	JJF, ACS, CP			
Tarea 2.1. Cultivo	IPNA-CSIC	MCP	ARD, CCC, CP			
Tarea 2.2. Fraccionamiento bio-guiado	IPNA-CSIC	MCP	ARD, ACS, CCC, CP			
Tarea 2.3. Determinación estructural	IPNA-CSIC, ULL	MCP	JJF, MLS, CP			
Tarea 3.1. Potencial cosmético	IPNA-CSIC	ARD	MCP, ACS, CP			
Tarea 3.2. Potencial antiparasitario	IPNA-CSIC, ULL	JJF	ARD, MLS			
Tarea 3.3. Otras actividades biológicas	IPNA-CSIC, ULL	ARD	MCP, JJF, MLS			
Tarea 4.1. Actividades de divulgación	IPNA-CSIC	ARD	Todos, CDT			
Tarea 4.1. Reunión de seguimiento	IPNA-CSIC	ARD	Todos			
Tarea 4.1. Elaboración de manuscritos	Todos	Todos	Todos			
Tarea 4.1. Preparación de informes	IPNA-CSIC	ARD	Todos, CDT			

##### Investigadores

ARD: Ana R. Díaz-Marrero (IP1, IPNA-CSIC)  
MCP: Mercedes Cueto Prieto (IPNA-CSIC)  
ACS: Andrea Casal Silva (IPNA-CSIC)  
CCC: Carmen Curbelo Cruz (IPNA-CSIC)  
EFN: Eugenio Fraile-Nuez (IEO-CSIC)  
JJF: José J. Fernández (IP2, ULL)  
MLS: María L. Souto (ULL)  
CP (M3): Contratado proyecto  
CDT (M1): Contratado divulgación y transferencia

##### Centros

IPNA-CSIC: Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA-CSIC)  
IEO-CSIC: Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC)  
ULL: Universidad de La Laguna (ULL)

#### 5. DATOS E INFORMES

La gestión y documentación de resultados derivados de la investigación desempeñarán un papel determinante en el desarrollo del proyecto. Para ello es crítico establecer un sistema eficiente para la recopilación, almacenamiento y análisis de datos. Los informes detallados contendrán análisis específicos, resultados obtenidos y conclusiones relevantes a lo largo de cada fase del proyecto. Para la gestión y visibilización de los datos generados en relación con la biodiversidad y producción química, se promoverá el uso de repositorios específicos asegurando la integridad y disponibilidad de la información generada. Esto constituye en sí mismo un producto de transferencia para la gestión inteligente del turismo azul. Esto contribuirá a la integración innovadora de los datos científicos en iniciativas prácticas que fomenten un enfoque sostenible en el sector turístico y dinamización del “turismo azul” a través de la valorización de los recursos marinos de nuestra región.

## 6. MATERIAL Y EQUIPOS

La dimensión y alcance científico tecnológico que caracteriza este proyecto hace necesaria la adquisición de material y equipamiento específico, y otros gastos relacionados con el desarrollo del mismo que se detalla en el siguiente presupuesto general.

## 7. PRESUPUESTO

El presupuesto total del subproyecto 3 es de **542.126,93 euros**.

La aportación dineraria de Promotur al CSIC para el desarrollo del subproyecto 3, se distribuye en las siguientes partidas:

CSIC (IPNA-Canarias)	1ª anualidad	2ª anualidad	3ª anualidad	Total proyecto
<b>Costes de personal</b>	11.800,00 €	79.770,00 €	61.122,00 €	152.692,00 €
<b>Viajes y dietas</b>		10.344,00 €	6.000,00 €	16.344,00 €
<b>Equipamiento</b>	16.000,00 €	120.000,00 €		136.000,00 €
<b>Fungible</b>	16.000,00 €	36.000,00 €	20.000,00 €	72.000,00 €
<b>Otros gastos</b>		14.000,00 €	7.800,00 €	21.800,00 €
<b>Total</b>	43.800,00 €	260.114,00 €	94.922,00 €	398.836,00 €
<b>CSIC (IEO-Canarias)</b>				
<b>Costes de personal</b>	9.752,00 €	38.690,00 €	19.186,00 €	67.628,00 €
<b>Viajes y dietas</b>		2.376,00 €	3.000,00 €	5.376,00 €
<b>Equipamiento</b>				0,00 €
<b>Fungible</b>		4.000,00 €		4.000,00 €
<b>Otros gastos</b>				0,00 €
<b>Total</b>	9.752,00 €	45.066,00 €	22.186,00 €	77.004,00 €
<b>TOTAL PROYECTO 3</b>	53.552,00 €	305.180,00 €	117.108,00 €	<b>475.840,00 €</b>

Por su parte el CSIC y ULL aportarán 66.286,93 euros al subproyecto 3 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
<b>CSIC</b>				
<b>Personal investigador</b>	16.666,04 €	20.666,05 €	12.666,04 €	49.998,13 €
<b>FGULL</b>				
<b>Personal investigador</b>	5.429,60 €	5.429,60 €	5.429,60 €	16.288,80 €
<b>TOTAL PROYECTO 3</b>	<b>22.095,64 €</b>	<b>26.095,65 €</b>	<b>18.095,64 €</b>	<b>66.286,93 €</b>

## 7. DIFUSIÓN DE RESULTADOS Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Los resultados derivados de las investigaciones del proyecto serán publicados en revistas científicas de alto impacto para garantizar la máxima visibilidad y difusión. Igualmente, la participación en congresos científicos especializados y reuniones a través de ponencias y posters que contribuirán al intercambio de conocimientos con la comunidad científica.

Un aspecto esencial debe ser el compromiso con la divulgación científica. El IPNA-CSIC cuenta con el apoyo de personal especializado en comunicación y divulgación. De este modo, se plantea la divulgación mediante las plataformas de redes sociales institucionales para llegar a un público más amplio, la preparación de notas de prensa y su distribución a medios de comunicación, promoviendo entrevistas en radio, prensa escrita y televisión. Estas acciones no solo contribuirán a la concienciación pública, sino que también fortalecerán la imagen del proyecto y su impacto en la sociedad. La transparencia y la comunicación efectiva serán pilares clave para el éxito y la sostenibilidad del proyecto.

## 8. BENEFICIOS DE ESTE PROYECTO Y TRANSFERENCIA

Las Islas Canarias están rodeadas de un mar con una alta biodiversidad, un mundo marino por descubrir. La vida submarina en las costas del archipiélago rebosa en variedad de especies y ecosistemas que componen elementos importantes de nuestra ecología, nuestra cultura y economía. Este proyecto pretende contribuir al conocimiento de la microbiota de los fondos marinos de Canarias para que ésta revierta en la sociedad, a través de la gestión inteligente y la creación de producto de Turismo azul poniendo en valor y desarrollando productos de interés para la industria cosmética y farmacéutica.

Son innumerables los beneficios que se aportan además de contribuir al conocimiento científico. Se busca aportar una solución disruptiva en el sector de la biotecnología marina que suponga un beneficio social significativo, respecto a su contribución en el ámbito de la salud, teniendo un gran impacto en la mejora de la calidad de vida.

Desde el punto de vista ecológico, se trata de una propuesta absolutamente sostenible con el medio ambiente que generará un impacto negativo nulo sobre el ecosistema marino que nos permitirá ser un referente de nivel mundial en la conversión de la rica diversidad biológica de las Islas Canarias en una fuente de riqueza a través de la biotecnología.

La biotecnología azul, ciencia que se ocupa de la exploración y explotación de los organismos marinos con objeto de crear nuevos productos, es una de las líneas de actuación prioritarias de las estrategias europeas para un crecimiento sostenible basado en la bioeconomía. Además, hay que destacar que la potencialidad de esta propuesta no queda restringida exclusivamente a la industria farmacéutica, sino que ésta puede extenderse a otros sectores industriales, como la industria cosmética, la alimentaria, o veterinaria entre otras.

## 9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

---

1. Carroll, A.R.; Copp, B.R.; Davis, R.A.; Keyzers, R.A.; Prinsep, M.R. Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* **2021**, *38*, 362–413 y referencias de la serie.
2. Mayer, A.M.S. Marine Pharmacology Available online: <https://www.marinepharmacology.org/> (Acceso: 17/01/2024).
3. Barreca, M.; Spanò, V.; Montalbano, A.; Cueto, M.; Díaz Marrero, A.R.; Deniz, I.; Erdoğan, A.; Lukić Bilela, L.; Moulin, C.; Taffin-de-Givenchy, E.; Spriano, F.; Perale, G.; Mehiri, M.; Rotter, A.; P. Thomas, O.; Barraja, P.; Gaudêncio, S.P.; Bertoni, F. Marine Anticancer Agents: An Overview with a Particular Focus on Their Chemical Classes. *Mar. Drugs* **2020**, *18*, 619.
4. Reen, F.J.; Gutiérrez-Barranquero, J.A.; Dobson, A.D.W.; Adams, C.; O'Gara, F. Emerging concepts promising new horizons for marine biodiscovery and synthetic biology. *Marine Drugs* **2015**, *13*, 2924–2954.
5. Mora, C.; Tittensor, D.P.; Adl, S.; Simpson, A.G.B.; Worm, B. How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biology* **2011**, *9*, e1001127
6. Danovaro, R.; Canals, M.; Tangherlini, M.; Dell'Anno, A.; Gambi, C.; Lastras, G.; Amblas, D.; Sanchez-Vidal, A.; Frigola, J.; Calafat, A. M.; Pedrosa, R.; Rivera, J.; Rayo, X.; Corinaldesi, C. A Submarine Volcanic Eruption Leads to a Novel Microbial Habitat. *Nat. Ecol. Evol.* **2017**, *1*, 144.
7. Gerwick, W.H.; Fenner, A.M. Drug Discovery from Marine Microbes. *Microbial ecology.* **2013**, *65*, 800–806.

8. Simmons, T.L.; Coates, R.C.; Clark, B.R.; Engene, N.; Gonzalez, D.; Esquenazi, E.; Dorrestein, P.C.; Gerwick, W.H. Biosynthetic origin of natural products isolated from marine microorganism–invertebrate assemblages. *PNAS* **2008**, *105*, 4587-4594.
9. (a) Epstein, S.; López-García, P. “Missing” protists: a molecular prospective *Biodivers. Conserv.* **2008**, *17*, 261-276. (b) Kaeberlein, T.; Lewis, T.; Epstein, S. S. Isolating "Uncultivable" Microorganisms in Pure Culture in a Simulated Natural Environment. *Science*, **2002**, *296*, 1127-1129.
10. Lam, K. S. Discovery of novel metabolites from marine actinomycetes. *Curr. Opin. Microbiol.* **2006**, *9*, 245-251.
11. (a) Maldonado, L. et al. *Salinispora* gen. Nov., a home for obligate marine actinomycetes belonging to the family *Micromonosporaceae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **2005**, *55*, 1759-1766. (b) Yi, H.; Schumann, P.; Sohn, K.; Chun, J. *Serinococcus marinus* gen. Nov. Sp. Nov. A novel actinomycete with L-ornithine and L-serine in the peptidoglycan. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **2004**, *54*, 1585-1589. (c) Jensen, P.R.; Mincer, T.J.; Williams, P.G.; Fenical, W. Marine actinomycete diversity and natural product discovery. *Antonie Van Leeuwenhoek*, **2005**, *87*, 43-48. (d) Han, S. K.; Nedashkovskaya, O. J.; Mikhailov, V. V.; Kim, S. B.; Bae, K. S. *Salinibacterium amurkyense* gen. Nov., sp. Nov., a novel genus of the family *Microbacteriaceae* from the marine environment. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **2003**, *53*, 2061-2066.
12. Feling R. H.; Buchanan G.O.; Mincer T.J.; Kauffman C.A.; Jensen P.R.; Fenical W. Salinosporamide A: A highly cytotoxic proteasome inhibitor from a novel microbial source, a marine bacterium of the new genus *Salinispora* *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, *42*, 355-356.
13. Fenical, W.; Jensen, P.R.; Palladino, M.A.; Lam, K.S.; Lloyd, G.K.; Potes, B.C. Discovery and development of the anticancer agent salinosporamide A. *Bioorg. & Med. Chem.* **2009**, *17*, 2175-2180.
14. Thatoi, H.; Behera, B. C.; Mishra, R. R.; Dutta, S. K. Biodiversity and biotechnological potential of microorganisms from mangrove ecosystems: A review. *Ann. Microbiol.* **2013**, *63*, 1–19, doi: 10.1007/s13213-012-0442-7.
15. Farias, P.; Espírito Santo, C.; Branco, R.; Francisco, R.; Santos, S.; Hansen, L.; Sorensen, S.; Morais, P.V. Natural hot spots for gain of multiple resistances: arsenic and antibiotic resistances in heterotrophic, aerobic bacteria from marine hydrothermal vent fields. *Appl. Environ. Microbiol.* **2015**, *81*, 2534-2543. doi: 10.1128/AEM.03240-14
16. Fernández de Puelles, M.L.; Gazá, M.; Cabanellas-Reboredo, M.; González-Vega, A.; Herrera, I.; Presas-Navarro, C.; Arrieta, J.M.; Fraile-Nuez, E. Abundance and structure of the zooplankton community during a post-eruptive process: the case of the submarine volcano Tagoro (El Hierro; Canary Islands), 2013-2018. *Front. Mar. Sci.* **2021**, *8*, 692885. doi: 10.3389/fmars.2021.692885
17. Danovaro, R.; Canals, M.; Tangherlini, M.; Dell’Anno, A.; Gambi, C.; Lastras, G.; Amblas, D.; Sanchez-Vidal, A.; Frigola, J.; Calafat, A. M.; Pedrosa, R.; Rivera, J.; Rayo, X.; Corinaldesi, C. A Submarine Volcanic Eruption Leads to a Novel Microbial Habitat. *Nat. Ecol. Evol.* **2017**, *1*, 144.
18. García-Davis, S.; Reyes, C.P.; Lagunes, I.; Padrón, J.M.; Fraile-Nuez, E.; Fernández, J.J.; Díaz-Marrero, A.R. Bioprospecting Antiproliferative Marine Microbiota From Submarine Volcano Tagoro. *Front. Mar. Sci.* **2021**, *8*, 988, doi:10.3389/fmars.2021.687701.
19. Chiang, Y. M.; Chang, S. L.; Oakley, B. R.; Wang, C. C. C. Recent advances in awakening silent biosynthetic gene clusters and linking orphan clusters to natural products in microorganisms. *Curr. Opin. Chem. Biol.* **2011**, *15*, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.10.011>
20. Gross H. Genomic mining--a concept for the discovery of new bioactive natural products. *Curr Opin Drug Discov Devel.* **2009** *12*, 207-219.
21. Zerikly, M.; Challis, G. L. Strategies for the discovery of new natural products by genome mining. *Chembiochem.* **2009**, *10*, 625-633. <https://doi.org/10.1002/cbic.200800389>

22. Rutledge, P. J.; Challis, G. L. Discovery of microbial natural products by activation of silent biosynthetic gene clusters. *Nat. Rev. Microbiol.* **2015**, *13*(8), 509–523. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3496>
23. Pan, R.; Bai, X.; Chen, J.; Zhang, H.; Wang, H. Exploring Structural Diversity of Microbe Secondary Metabolites Using OSMAC Strategy: A Literature Review. *Frontiers Microbiol.* **2019**, *10*, 294. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00294>
24. García-Davis, S.; Sifaoui, I.; Reyes-Batlle, M.; Viveros-Valdez, E.; Piñero, J.E.; Lorenzo-Morales, J.; Fernández, J.J.; Díaz-Marrero, A.R. Anti-Acanthamoeba Activity of Brominated Sesquiterpenes from *Laurencia johnstonii*. *Mar. Drugs* **2018**, *16*.
25. Chiboub, O.; Sifaoui, I.; Lorenzo-Morales, J.; Abderrabba, M.; Mejri, M.; Fernández, J.J.; Piñero, E.J.; Díaz-Marrero, R.A. Spiralyde A, an Antikinetoplastid Dolabellane from the Brown Alga *Dictyota spiralis*. *Mar. Drugs* **2019**, *17*.
26. Díaz-Marrero, A.R.; López-Arencibia, A.; Bethencout-Estrella, C.J.; Cen-Pacheco, F.; Sifaoui, I.; Hernández Creus, A.; Duque-Ramírez, M.C.; Souto, M.L.; Hernández Daranas, A.; Lorenzo-Morales, J.; et al. Antiprotozoal activities of marine polyether triterpenoids. *Bioorg. Chem.* **2019**, *92*.
27. Cartuche, L.; Sifaoui, I.; Cruz, D.; Reyes-Batlle, M.; López-Arencibia, A.; Javier Fernández, J.; Díaz-Marrero, A.R.; Piñero, J.E.; Lorenzo-Morales, J. Staurosporine from *Streptomyces sanyensis* activates Programmed Cell Death in Acanthamoeba via the mitochondrial pathway and presents low in vitro cytotoxicity levels in a macrophage cell line. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 1–12.
28. Vázquez-Ortega, F.; Sifaoui, I.; Reyes-Batlle, M.; Piñero, J.E.; Lagunes, I.; Trigos, Á.; Lorenzo-Morales, J.; Díaz-Marrero, A.R.; Fernández, J.J. Photodynamic treatment induced membrane cell damage in *Acanthamoeba castellanii* Neff. *Dye. Pigment.* **2020**, *180*.
29. Fernández, J.J.; Nocchi, N.; Díaz-Marrero, A.R.; Lorenzo-Morales, J.; Piñero, J.E.; Arberas, I.; Sifaoui, I.; Rizo-Liendo, A. Use of the (+)-elatol compound for treating or preventing a *Naegleria fowleri* infection. International Patent WO/2023/237795. 01/06/2023.
30. Hotez, P.J.; Pecoul, B.; Rijal, S.; Boehme, C.; Aksoy, S.; Malecela, M.; Tapia-Conyer, R.; Reeder, J.C. Eliminating the Neglected Tropical Diseases: Translational Science and New Technologies. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2016**, *10*, 1–14, <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003895>.
31. Kourbeli, V.; Chontzopoulou, E.; Moschovou, K.; Pavlos, D.; Mavromoustakos, T.; Papanastasiou, I. An Overview on Target-Based Drug Design against Kinetoplastid Protozoan Infections: Human African Trypanosomiasis, Chagas Disease and Leishmaniases. *Molecules* **2021**, *26*, 4629, <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules26154629>.
32. Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolourisation assay. *Free Radical Biology and Medicine*, **1999**, *26*, 1231-1237.

## Subproyecto 4. Islas Canarias: Protectoras frente al Cambio Climático.

**IP1: Dr. Jesús M. Arrieta**

*Investigador Científico*

**IP2: Dr. José Antonio Lozano Rodríguez**

*Científico Titular*

*Instituto Español de Oceanografía (IEO-Tenerife)*

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

# Memoria Científico-Técnica

## Resumen

Durante el último siglo, la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha experimentado un aumento exponencial, principalmente debido a actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Este exceso de CO<sub>2</sub> no solo afecta la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global, sino que gran parte de él ha sido absorbido por los océanos, generando un problema adicional, la acidificación del océano.

La absorción masiva por los océanos es un proceso que amortigua de manera natural las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, pero también causa la acidificación del agua, un fenómeno que amenaza la vida marina y altera los ecosistemas acuáticos. Además, el Calentamiento Global, provocado por los gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> produce cambios importantes en el clima a nivel planetario. Frente a esta crisis, es crucial explorar soluciones innovadoras. Los ecosistemas marinos desempeñan un papel fundamental al absorber grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a través de procesos químicos y biológicos. Por ejemplo, las playas de las Islas Canarias contienen cantidades importantes de un mineral, el olivino, que podría ser capaz de aliviar tanto los síntomas de la acidificación como las causas de las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>.

El olivino, un mineral rico en magnesio, se disuelve lentamente en el agua de mar, amortiguando la acidez y aumentando la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, a la vez que libera micronutrientes esenciales para el crecimiento del fitoplancton que, a su vez, absorbe más CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis. Las playas también son ricas en carbonatos, provenientes de conchas y otros restos de organismos marinos, constituyendo así un almacén natural de CO<sub>2</sub>.

Aunque se ha planteado el enriquecimiento artificial de playas como estrategia de mitigación. Las playas de las Islas canarias contienen olivino de forma natural que podría no solo contrarrestar la acidificación

del océano, sino también ofrecer refugio a especies amenazadas. De esta manera, estas áreas costeras ricas en olivino podrían actuar como sumideros naturales de carbono, contribuyendo a reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.

Este proyecto tratará de describir la composición mineral de las playas de nuestras islas, a la vez que la identidad de los organismos que las pueblan y el potencial de almacenamiento de CO<sub>2</sub> de estas playas. De esta forma, el proyecto, contribuirá a poner de relieve el enorme valor de nuestras playas como un recurso natural que merece ser preservado y que puede ser disfrutado más allá de la dimensión turística y estética.

## 2. Antecedentes

El escenario de crisis climática motivado por las crecientes concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha propiciado la aparición de diferentes estrategias de mitigación para intentar eliminar cientos de gigatoneladas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera antes del final del presente siglo (Boettcher et al. 2019). Algunas de estas estrategias están basadas en acelerar los procesos naturales de meteorización de minerales que absorben CO<sub>2</sub> durante su disolución. Sin embargo, el conocimiento de los “efectos secundarios” que podrían tener este tipo de intervenciones a gran escala es muy limitado, lo cual plantea serias dudas acerca de su viabilidad. La disolución de olivino en playas con oleaje intenso se ha postulado como una de estas estrategias de mitigación. El presente proyecto tiene como uno de sus objetivos acumular conocimientos sobre los posibles efectos de la disolución de olivino en playas, estudiando uno de los lugares donde este fenómeno se produce de forma natural: las playas las Islas Canarias.

## 3. Geología de las Islas Canarias:

El área volcánica en la que se encuentran las Islas Canarias se extiende por el Norte hasta los Bancos de Concepción y Dacia y por el Sur hasta los Sahara *seamounts*. Hacia el Oeste de las Islas comienza la llanura abisal que aparece interrumpida por importantes edificios volcánicos submarinos en una franja que se extiende desde la región del Haagar en el Norte de África hasta las White Mountains en Norteamérica, constituyendo la zona con mayor actividad volcánica del Atlántico. El Archipiélago Canario se integra en la Macaronesia junto a los archipiélagos atlánticos de Azores, Madeira, Salvajes y Cabo Verde.

Las Islas Canarias se encuentran sobre una corteza oceánica de edad Jurásica. Con espesores que van desde los 8 km al Oeste de las islas y llegan incluso a los 20 en el Este. En muchos lugares del archipiélago, las alineaciones volcano-tectónicas actuales coinciden con grandes fracturas del basamento en la prolongación de fallas del Atlas africano o de los sistemas atlánticos de fallas transformantes (León et al., 2022).

## 4. Historia Geológica de Tenerife:

Comienza hace 12 millones de años con los primeros materiales volcánicos subaéreos que aparecieron en el sector de Anaga. seguidos de otros en el sector de Teno y en el sector del Roque del Conde. Fueron

emisiones basálticas procedentes de grandes cámaras magmáticas que configuraron muy probablemente tres islas independientes que se elevaban desde los 3.000 m de profundidad en el fondo del mar.

De la isla de Anaga a día de hoy sólo se conserva la mitad sur de una isla que se extendía hacia el norte, pero a la que la erosión marina y desprendimientos sucesivos la han hecho desaparecer. La formación más antigua constituye un sustrato de lavas basálticas inyectadas de muchos diques que aflora en el sector de Taganana. Sobre este sustrato se alzaron grandes edificios estrombolianos con conos piroclásticos masivos de los que surgieron lavas basálticas que se apilaron inclinadas, preferentemente hacia el sur y sureste, en las partes altas.

La península de Teno está constituida por dos grandes formaciones: 1) un apilamiento lávico basáltico de 6.5 Ma ligeramente inclinada hacia el oeste y atravesada por muchos diques basálticos. Un importante evento destructivo provocó el deslizamiento de parte de esta formación y generó un depósito brechoide de gran espesor. 2) Sobre la depresión que ocupaba la brecha se emitieron coladas basálticas masivas en disposición subhorizontal.

Roque del Conde representa el resto aislado de un edificio cuyas dimensiones y relación con los afloramientos de la península de Teno se desconocen. Es un apilamiento de coladas basálticas atravesadas por pocos diques. Todo el conjunto ha sido rodeado, por lavas de épocas posteriores.

Hace 4 Ma y hasta hace tan sólo 170.000 años, el vulcanismo se desplazó al centro de la isla, con sucesivas erupciones sálicas explosivas que construyeron varios edificios volcánicos que se superpusieron entre sí, denominados Edificios Cañadas. Llegaron a Alcanzar alturas de unos 4000 m.

Uno de los tres ejes de rift volcánico de la isla es el denominado Edificio Dorsal. Conformar un relieve alargado, con dos vertientes opuestas, que une el macizo de Anaga con Las Cañadas del Teide. Está constituido por un potente apilamiento de coladas basálticas que se inclinan suavemente hacia la costa, en ambas vertientes.

La caldera incompleta que conforma Los edificios Cañadas son consecuencia de un colapso con morfología elíptica (16 x10 km), probablemente en distintas fases, y cuyo fondo actual se encuentra a 2.100 m de altitud. La pared norte de la caldera se deslizó al mar en el deslizamiento de Icod de los Vinos. Su lugar fue ocupado por las erupciones postcaldera que ocuparon la gran depresión (Pico Viejo, El Teide, domos sálicos -lugar de convergencia en un punto triple de los tres rifts de Tenerife-) y, en ocasiones las coladas llegaron hasta el mar, en la costa norte.

Diversos volcanes estrombolianos emitieron coladas basálticas en el eje NE-SO (hoy inactivo), entre 1.0 Ma y 0.5 Ma, y los más recientes no históricos. Cubriendo los afloramientos anteriores en ambas vertientes de la Dorsal. En el eje NO de Teno, hoy activo, sucedió lo mismo que en el eje anterior. Muchas erupciones estrombolianas emitieron gran cantidad de coladas basálticas a ambos lados de la vertiente cubriendo parte del macizo antiguo de Teno y emisiones anteriores de Cañadas. Por último, en

el tercer eje NS, dos amplios campos de conos estrombolianos cubrieron parte de las laderas de Cañadas y del macizo antiguo del Roque del Conde.

El resultado de mayores dimensiones es el llamado Complejo Teide-Pico Viejo, un conjunto de estratovolcanes compuestos. Siendo El Teide un estratovolcán de basanitas y fonolitas máficas que se eleva hasta los 3.718 m y está coronado por un cráter con actividad fumarólica. Pico Viejo es otro estratovolcán de 3.134 m de altura compuesto de basaltos y basanitas. Tiene el mayor cráter de todo el archipiélago y en su ladera SO se abrió una fisura eruptiva en 1798 que provocó la erupción del volcán Chahorra. Las erupciones históricas son de pequeñas dimensiones y, la mayoría localizadas en el eje NO de Teno.

Esta historia geológica ha propiciado la generación de un gran número de playas ricas en olivino, procedentes del gran volumen de coladas basálticas existentes en la isla. Existiendo también playas pobres en olivino concurrentes con las áreas más félsicas del vulcanismo.

## 5. Historia geológica de Gran Canaria.

La forma de Gran Canaria, tendente a circular, recuerda a la de los volcanes en escudo. Tiene unos 46 km de diámetro y arranca aproximadamente de los 4.000 m de profundidad en la llanura abisal del océano Atlántico. Su máxima altitud sobre el nivel del mar se encuentra en el Pico de las Nieves, con 1.949 m, situado en el centro de la isla. La red de barrancos por erosión, se sitúa de modo radial desde el centro de la isla.

Como consecuencia de esta erosión, podemos afirmar que Gran Canaria es una isla geológicamente madura, con un relieve mayoritariamente afectado por la erosión, en decremento del vulcanismo. La actividad volcánica comenzó hace unos 15-14 Ma y hoy en día no presenta actividad. Esta isla, al igual que Tenerife, presenta rocas máficas correspondientes a erupciones explosivas de composición sálica.

La parte Suroeste de la isla, es denominada dominio de Paleocanaria. Se caracteriza por ser la parte más antigua y por ende la más erosionada, con una red hidrográfica muy encajada. Por el contrario, la parte Noreste, también conocida como dominio de Neocanaria, es ocupado por las erupciones volcánicas más recientes (estrombolianas de <3 Ma) y mucho menos erosionada.

El ciclo más reciente es anterior a la conquista castellana de la isla, en el S. XV. Este vulcanismo se sitúa en la mitad NE de la isla, con conos volcánicos alineados de tipo estromboliano. Sus dataciones se sitúan en menos de 300.000 años. La datación más joven que se ha obtenido, ha dado 3.075 años en el volcán Montañón Negro.

Al igual que en la isla de Tenerife, la historia geológica ha propiciado la generación de un gran número de playas ricas en olivino, procedentes del gran volumen de coladas basálticas existentes en la isla. Existiendo también playas pobres en olivino concurrentes con las áreas más félsicas del vulcanismo.

## 6. Historia geológica de La Palma.

Los dos dominios volcánicos claramente diferenciados existentes en la isla de La Palma se encuentran en el tercio norte (con forma redondeada, o Dominio Taburiente), y en el sur de la isla (con forma alargada, o Dominio Dorsal).

El relieve más grande de la isla corresponde al Dominio Taburiente, con planta semicircular y forma troncocónica en la que una gran depresión central por erosión genera grandes escarpes. Se trata de la Caldera de Taburiente, que tiene una altura de 2.426m (Roque de los Muchachos). Se trata de una superposición de grandes volcanes centrales (estratovolcanes) que pudieron llegar hasta los 3.000 m de altura sobre el nivel del mar. Toda esta fase subaérea se apoyó de modo discordante sobre materiales volcánicos submarinos muy atravesados por diques de composición basáltica (Complejo Basal de hace 4 Ma).

El Dominio Dorsal está constituido por un eje eruptivo de dirección N-S. la parte sur, denominada Cumbre Vieja, se reactiva hace 0,123 Ma con una longitud de 21,5 km. Es aquí, en donde se han producido las erupciones históricas de los últimos 500 años. Con coladas básicas alcalinas, (basaltos alcalinos, basanitas, traquibasaltos y tefritas) y depósitos piroclásticos de carácter estromboliano. En la mayoría de los casos, las coladas avanzaron por los flancos y llegaron a la costa, generando deltas, fosilizando el acantilado y generando nuevas playas ricas en olivino.

## 7. Historia geológica de El Hierro.

Es la más joven de las islas y es la que más conos volcánicos tiene por superficie (más de 500). Arranca de más de 4.000 m de profundidad desde la llanura abisal y tiene en superficie una altura de 1501 m sobre el nivel del mar (pico Malpaso). La morfología de la isla con formas arqueadas en media luna, es consecuencia de la generación de grandes deslizamientos. Presenta varios rift volcánicos con diferentes alineaciones que en algunos casos, como ocurren en el rift del sur, prosigue bajo el mar, generando en 2011-2012 la erupción submarina de Tagoro (única erupción histórica). Alcanzó más de 300 m de altura, un diámetro en la base de 1000 m y cuya cima se quedó tan solo a 86 m de la superficie marina. Son pocas playas las que existen en el Hierro, pero ricas todas en olivino.

## 8. Historia geológica de La Gomera.

En el Mioceno Superior, aproximadamente hace 10 Ma aparece un volcán en escudo de aproximadamente 1000 m de altura sobre el nivel del mar (edificio volcánico Antiguo Inferior); Se generó inestabilidad de la ladera norte, con la generación de un gran deslizamiento que dejó al descubierto las rocas del complejo basal. En la cuenca generada por el deslizamiento se formó el volcán de Vallehermoso que también terminaría colapsando. Las erupciones volcánicas se desplazaron hacia el sur, generando un edificio volcánico (Antiguo Superior) que hizo crecer la isla hacia el sur. Este ciclo volcánico finaliza hace 6 Ma, comenzando el primer ciclo erosivo que durará 1 Ma.

En el Plioceno, hace 5 Ma las erupciones volcánicas se reactivan en la cuenca de Garajonay, rellenándola en grandes estratos horizontales. En algunas zonas colmató la cuenca y desbordo por los flancos hasta llegar al mar, especialmente en la parte sur.

Hace 4 Ma surgen erupciones volcánicas puntuales por todo el sur de la isla que atraviesan el apilamiento de lavas anteriores (domos y pitones).

Al final del Plioceno la costa sur sufrió un levantamiento a lo largo de varias fallas.

En el Pleistoceno comienza un nuevo ciclo erosivo que continúa hasta nuestros días. El proceso de erosión de los barrancos se aceleró en la parte sur de la isla como consecuencia del levantamiento. Las fallas han influido en la formación de los grandes barrancos y valles (Valle Gran Rey, Barranco de Santiago, Barranco de La Villa).

La isla no ha tenido vulcanismo desde hace 2 Ma, generando un relieve con profundos barrancos que radian desde el centro de la isla hacia la costa. La parte norte de la isla está más erosionada que la sur, que presenta más acantilados. Las playas, de cantos y arenas negras sólo se han formado en las desembocaduras de grandes barrancos.

## 9. Historia geológica de Fuerteventura.

Durante el Mioceno Inferior (23 Ma) surge un gran edificio volcánico en lo que sería el centro de la isla (Gan Tarajal). Con posterioridad, hace 17 Ma aparecen otros dos volcanes más pequeños al Suroeste y al Norte (Edificio volcánico de Jandía y Tetir respectivamente). Los volcanes de Tarajal y Jandía con unos 3000 m de altura sobre el nivel del mar. Durante el Mioceno Medio (15 Ma) el edificio central sufrió un gran derrumbe hacia el Oeste, quedando al descubierto las rocas del Complejo Basal de la isla. En el Mioceno Superior se produce un ciclo erosivo que dura 7 Ma. Los edificios volcánicos pierden altura y las cubres y laderas de vuelven afiladas (barrancos y cuchillos). Los valles se ensanchan y en una franja de litoral al oeste se acumulan sedimentos de origen eólico y aluvial.

En el Plioceno (5 Ma), se reanuda una actividad volcánica en la zona de Betancuria. Mas tarde le siguen volcanes en escudo con coladas de lava fluida que fueron rellenando antiguos relieves de la zona centro-norte de la isla.

En el Pleistoceno el clima se hizo más fresco y seco. La acción del viento forma playas alrededor de toda la isla. En el sur de forma un istmo que une los restos del volcán de Jandía con la zona central. Al norte, el oleaje y las corrientes costeras forman el gran campo de dunas de Corralejo.

Hace 135.000 años de produce una intensa actividad volcánica en el norte de la isla con la formación de conos volcánicos alineados en la dirección NE-SO siguiendo líneas de fisura. Estas erupciones ampliaron la superficie de la isla formando la Isla de Lobos.

La última erupción volcánica se produjo hace 10.000 años (volcán de la Arena). El relieve continuó erosionándose. La acción del mar ha dado lugar a costas acantiladas y las regresiones marinas han dejado al descubierto playas fósiles elevadas.

## 10. Historia geológica de Lanzarote.

Durante el Mioceno Medio (15 Ma), como consecuencia del vulcanismo que se estaba produciendo en el N de Fuerteventura, surge el edificio volcánico de Los Ajaches. 3 Ma más tarde, se formaría al NE otro edificio volcánico (Famara). Durante el Mioceno Superior, la actividad eruptiva se detiene en los Ajaches y continua en Famara.

Hace 6 Ma entre los dos volcanes se forma uno más pequeño (Tías).

Durante el Plioceno (3.8 Ma), se detiene la actividad eruptiva y comienza un ciclo de erosión. Las lluvias y el mar arrasan gran parte de las superficies de los Macizos de Famara y de Los Ajaches. En la mitad sur se forma una planicie en la que se depositan sedimentos.

En el Pleistoceno la actividad volcánica se reanuda. Surgen volcanes alineados en dirección NE-SO. En el Norte comienza a formarse la isla de La Graciosa.

En el Holoceno, al Norte de la isla el oleaje y las corrientes marinas forman playas de arena blanca. El viento transporta estas arenas hacia el interior formando el Campo de dunas de El Jable. Hace 3.000 años aparecen erupciones en el Norte de la isla ampliando la superficie hacia el Este de Famara y terminaron de formar el Archipiélago Chinijo.

Entre 1730 y 1736 aparecen fisuras de varios km de longitud que rompen el terreno del valle central cubriéndolo de conos volcánicos y campos de lavas, ampliando la superficie de la isla hacia el oeste. En 1824 se produjo el último episodio eruptivo con tres volcanes en el valle central (Volcán Tao, Nuevo y Tinguantón).

## 11. La disolución de sílice y el ciclo del carbono en el océano.

La disolución de arenas silíceas en agua de mar es un proceso natural que contribuye de manera significativa al ciclo global de la sílice en el océano (Fabre et al., 2019). Los silicatos disueltos son un nutriente esencial para las diatomeas y otros muchos organismos fitoplanctónicos (Finkel, 2016) responsables del secuestro de grandes cantidades de materia orgánica en el océano profundo (Smetacek et al., 2012; Assmy et al., 2013; Zúñiga et al., 2021). Además, el proceso de disolución de algunos de estos minerales ricos en silicatos (principalmente en nesosilicatos), participa en la alcalinización de las aguas superficiales, amortiguando la acidificación del océano y absorbiendo CO<sub>2</sub> atmosférico (Bach et al., 2019) (Figura 1). De esta forma, la **disolución de silicatos** en agua de mar contribuye a **mitigar** de forma natural dos de los problemas ambientales más acuciantes a escala global, las **elevadas concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y la acidificación de los océanos**. De entre los minerales formados por silicatos, el olivino es el más fácilmente soluble (Velbel, 1999). Además, la solubilización de silicatos ricos en magnesio como el olivino (variedad forsterita) produce el efecto de alcalinización deseado, mientras que otros más ricos en hierro pueden tener el efecto contrario, acidificando las aguas superficiales y resultando en una emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (Griffioen, 2017).

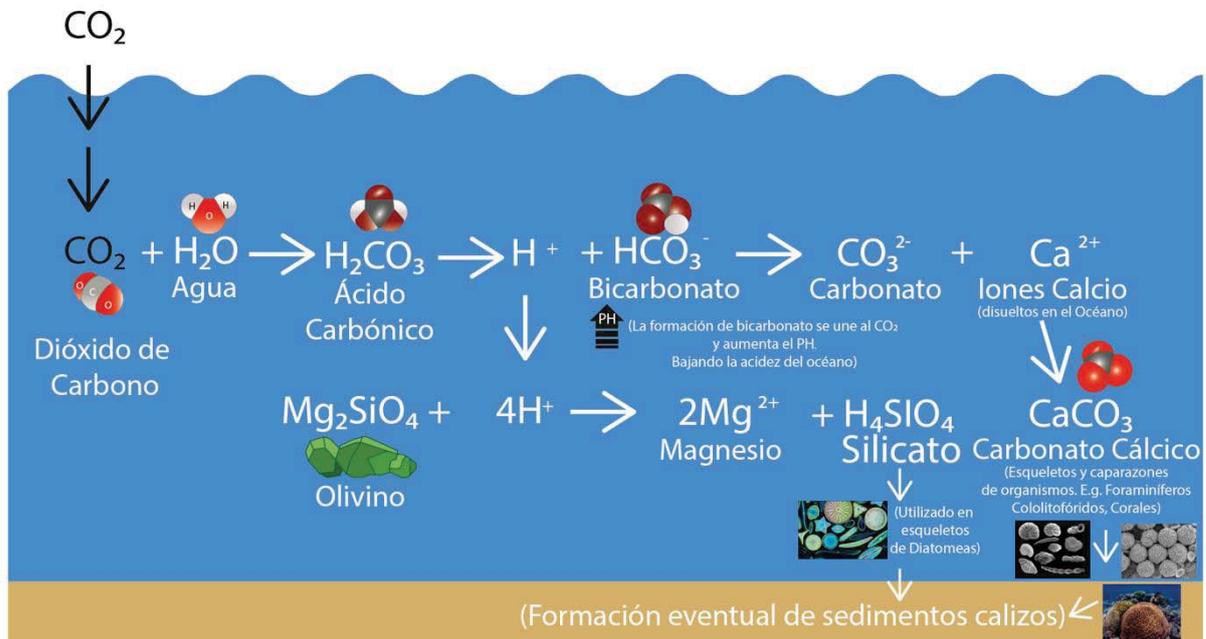


Figura 1. Resumen gráfico del proceso de meteorización del olivino en agua de mar modificada de Bach et al., 2019. Cuando los silicatos ricos en Mg (p. ej., olivino) se disuelven, consumen protones, desplazando el equilibrio químico del sistema de carbonatos desde  $\text{CO}_2$  hacia  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Al bajar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la superficie del océano, se absorbe  $\text{CO}_2$  atmosférico adicional para equilibrar su concentración en relación con la atmósfera circundante. Los silicatos resultantes sirven como nutriente para diversas especies de fitoplancton que contribuyen a secuestrar carbono en el sedimento mediante la bomba biológica, mientras que los carbonatos pueden ser fijados por organismos calcificadores.

Debido a estas propiedades, se ha propuesto añadir polvo de **olivino** en mar abierto como una posible estrategia para **reducir las concentraciones de  $\text{CO}_2$  atmosférico** (Montserrat et al., 2017; Rigopoulos et al., 2018). La eficiencia de este proceso en aguas abiertas es posiblemente reducida dado que se necesita usar un tamaño de grano muy fino para mantener el olivino en suspensión, y para tener una superficie activa muy grande con respecto a volumen (Köhler et al., 2010, 2013). Además, el proceso de disolución también está limitado por la formación de una capa protectora (“passivating layer”) de sílice amorfo en la superficie del mineral que restringe su solubilización (Béarat et al., 2006; King et al., 2010). El proceso de disolución es mucho **más eficiente en playas con oleaje**, ya que la constante abrasión de esta capa protectora mantiene la superficie del mineral de olivino en contacto con el agua facilitando su disolución (Schuiling and De Boer, 2010; Meysman and Montserrat, 2017).

Dejando a un lado las estrategias de geoingeniería para centrarnos en los procesos que ocurren de forma natural en nuestras islas, nuestro proyecto, **nuestro proyecto plantea tres hipótesis principales:**

- **Hipótesis 1.** la hipótesis principal del proyecto es que las **playas ricas en olivino** (forsterita) de nuestras islas **tienen una capacidad añadida de absorber carbono atmosférico** en comparación con otras playas de nuestro archipiélago donde no existe este mineral.
- **Hipótesis 2.** Los silicatos resultantes del proceso de solubilización sirven como nutriente para diversas especies de fitoplancton que contribuyen a secuestrar carbono en el sedimento mediante la bomba biológica. Por otro lado, la alcalinización genera una mayor disponibilidad de carbonatos que pueden ser fijados por diferentes organismos calcificadores y almacenados en el sedimento. La **segunda hipótesis** este proyecto es que las interacciones químicas y biológicas en las playas ricas en olivino (forsterita) de nuestras islas generan un **almacenamiento más elevado de carbono orgánico e inorgánico en el sedimento** en comparación con otras playas donde no existe ese mineral.
- **Hipótesis 3.** Estas playas ricas en olivino pueden constituir un refugio natural para especies amenazadas por la acidificación

## 12. Objetivos

### 12.1. Objetivo 1. Caracterización geológica de las playas e identificación de las playas con distinto potencial de disolución de olivino.

Se caracterizará la mineralogía y granulometría de las playas de las diferentes islas. Esta caracterización inicial servirá para establecer los puntos de muestreo que serán objeto de un análisis más exhaustivo. La selección de puntos de muestreo se llevará a cabo teniendo en cuenta la granulometría, así como la proporción de olivino en el sedimento. El tamaño de grano es una variable fundamental, ya que se espera que la tasa de solubilización de olivino sea más baja en aquellas zonas con tamaños de grano más grandes (Köhler et al., 2013; Montserrat et al., 2017). Por otro lado, el estudio de la mineralogía del material de la playa al microscopio petrográfico será esencial para cuantificar en detalle la cantidad de olivinos magnesianos, entender el proceso de disolución de los mismos a partir de la caracterización textural y estructural y la potencial formación de otros minerales de alteración.

#### 12.1.1. Objetivos específicos

- Caracterización de la concentración de olivino en las diferentes playas. Análisis estructural, textural y mineralógico de los olivinos.
- Medida de la granulometría de las arenas y gravas (en donde se encuentran los olivinos) presentes en las diferentes playas.

### 12.1.2. Objetivo 2. Caracterización biológica de las playas del litoral canario.

La caracterización biológica se llevará a cabo mediante el recuento de abundancia de microorganismos, heterótrofos y autótrofos (fitoplancton) en muestras de agua utilizando imágenes de microscopía de flujo y citometría de flujo. Paralelamente, se analizará la diversidad de las comunidades microbianas tanto de procariontas (bacterias y arqueas) como de eucariotas mediante la secuenciación de amplicones de genes del ARN ribosómico 16S y 18S. Esta caracterización de las especies microbianas nos permitirá detectar la presencia de distintos microorganismos tanto autótrofos como heterótrofos en la columna de agua y el sedimento superficial que servirá de ayuda para detectar los cambios en las comunidades microbianas de fitoplancton y otros microorganismos asociados a los cambios en los parámetros químicos y a la disolución de olivino.

Adicionalmente se caracterizará la comunidad de peces, crustáceos y metazoos en general utilizando amplicones de DNA ambiental (eDNA, Jeunen et al. 2019; DiBattista et al. 2022) que permitirán distinguir los patrones de presencia-ausencia de estos organismos en playas con diferente potencial de solubilización de olivino.

#### Objetivos específicos:

- Medida de la abundancia microbiana en las diferentes playas
- Caracterización de la diversidad microbiana en las diferentes playas
- Caracterización de la diversidad animal en las diferentes playas mediante DNA ambiental.

### 12.2. Objetivo 3. Caracterización química de las playas del litoral canario

Dado que pretendemos estudiar el efecto y la magnitud de la disolución de olivino, es necesario estudiar los diferentes parámetros (silicatos y alcalinidad) directamente influenciados por el proceso de disolución. Se medirá la concentración de silicatos y otros nutrientes inorgánicos (fosfatos, nitratos) disueltos como indicador de la solubilización de olivino. También se medirán la alcalinidad total y el pH, así como la cantidad de carbono inorgánico disuelto y su fraccionamiento isotópico. Otros parámetros químicos relevantes serán, la concentración de carbono orgánico disuelto y particulado como indicadores de la capacidad de almacenamiento de carbono en el sistema.

#### 12.2.1. Objetivos específicos:

- Medida de nutrientes inorgánicos (P,N,Si) y orgánicos (P,N)
- Medida de la alcalinidad total, pH, carbono inorgánico disuelto y su composición isotópica
- Medidas de carbono orgánico disuelto y particulado

### 13. Metodología

#### Organización general del muestreo. Lugares y fechas de muestreo.

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dr. José Antonio Lozano Rodríguez (IEO-CSIC, responsable de tarea, Dr. Ramón Casillas Ruiz (Universidad de La Laguna), Dr. Eugenio Fraile-Nuez (IEO-CSIC), Dr. Pedro Llanillo del Río (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Carmen Presas Navarro (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

En una primera fase, se muestrearán las diferentes playas para obtener una medida de la concentración de olivino, de la granulometría y de la alcalinidad superficial. Estas medidas nos servirán para establecer aquellas playas donde el potencial de disolución de olivino es más alto y aquellas que usaremos como control, que teniendo una composición similar, presentan una menor concentración de olivino o un tamaño de grano más grande, lo cual dificulta la disolución del olivino (Köhler et al., 2013; Rigopoulos et al., 2018).

Una vez determinada la heterogeneidad de las playas y su potencial de disolución de olivino, centraremos nuestra atención en un número más reducido de puntos de muestreo en cada playa y las visitaremos en cada estación para capturar la variabilidad estacional en los parámetros biológicos y químicos en cada playa. Esto supone un total de 4 visitas cada playa aproximadamente cada 3 meses durante los dos primeros años.

#### 14. Tarea 1.a. Caracterización de la concentración de olivino en las diferentes playas

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. José Antonio Lozano Rodríguez (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dr. Ramón Casillas Ruiz (Universidad de La Laguna), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Carmen Presas Navarro (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

Es de gran importancia para constreñir el conocimiento del mecanismo de captación de CO<sub>2</sub> en las playas que se van a estudiar, que exista una gran concentración de olivinos en las mismas. En este sentido, la primera tarea a realizar ha de consistir en elegir los lugares con mayores concentraciones.

**Metodología:** Se tomarán muestras inalteradas con un testigo cilíndrico de 8 cm de diámetro y 25 de altura de PVC, con la finalidad de poder elegir varias secciones de su interior para conteo porcentual de olivinos. Ese proceso se realizará embutiendo diferentes secciones en resina y la posterior realización de lámina delgada. De esta manera, se podrá estudiar en el microscopio petrográfico gracias a una platina contadora de puntos.

##### 14.1. Tarea 1.b. Análisis estructural, textural y mineralógico de los olivinos

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. José Antonio Lozano Rodríguez (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dr. Ramón Casillas Ruiz (Universidad de La Laguna), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC).*

El estudio al microscopio petrográfico es esencial para poder establecer la microestructura de los cristales de olivino (forma, tamaño, grado de angulosidad, desarrollo de caras y características internas en donde se incluyen posibles fracturaciones, que favorezcan la disolución). Seguido de una primera identificación mineralógica del olivino, dado que es una solución sólida entre la fase forsterita rica en Mg y la fase fayalita rica en Fe. Es la fase rica en Mg la que parece ser más adecuada en las reacciones químicas que contribuyen a la fijación de CO<sub>2</sub> (Scott et al., 2021).

**Metodología:** Este estudio petrográfico se realizará gracias a las láminas delgadas preparadas para el conteo porcentual de olivinos descrito en la tarea 1.

#### **14.2.Tarea 1.c. Medida de la granulometría de las arenas y gravas presentes en las diferentes playas**

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. José Antonio Lozano Rodríguez (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dr. Ramón Casillas Ruiz (Universidad de La Laguna), Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), Dr. Eugenio Fraile-Nuez (IEO-CSIC), Dr. Pedro Llanillo del Río (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Carmen Presas Navarro (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

El tamaño de los granos de olivino es el otro factor clave en el proceso de disolución, directamente relacionado con el proceso energético erosivo realizado fundamentalmente por el oleaje, de manera que reduzca los granos de olivino lo suficiente para que estos puedan disolverse en el agua.

**Metodología:** Para la determinación de la granulometría se utilizarán parte de las diferentes secciones existentes en cada testificación cilíndrica descrita arriba. El análisis granulométrico se realiza por tamizado con la muestra desecada. Y consiste en hacer pasar una muestra seca por tamices de diferentes aberturas, desde 12,5mm hasta 0,075mm (tamiz nº 200). Con esto, se consigue una curva granulométrica de una muestra dada. Para tamaños de partículas inferiores se emplea la granulometría por sedimentación mediante un higrómetro. Este ensayo es menos común que el anterior y normalmente se emplea en casos muy específicos donde es necesario determinar el porcentaje de partículas finas. Lo emplearíamos en caso necesario.

#### **14.3.Tarea 2.a. Medida de la abundancia microbiana en las diferentes playas**

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC, responsable de tarea), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

Uno de los resultados esperados del proyecto es que la abundancia de diatomeas y microfitoplancton en general, sea mayor en las playas donde el proceso de solubilización es más intenso debido a las mayores concentraciones de silicatos y otros nutrientes (Hauck et al., 2016). La abundancia de bacterias heterótrofas y cianobacterias también puede ofrecer importantes pistas sobre las variaciones en productividad y en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en las diferentes playas o zonas de la playa.

**Metodología:** Se tomarán muestras de biomasa en la columna de agua en filtros de fibra de vidrio para la determinación de la concentración de clorofila total. La concentración de clorofila se cuantificará después de la extracción en acetona mediante medidas de fluorescencia (Estrada, 2012). La abundancia de diferentes tipos de microfitoplancton se llevará a cabo mediante microscopía en muestras de agua fijadas con Lugol (Lund et al., 1958; Schoeman, 1979). La abundancia de bacterias heterótrofas, cianobacterias y piceocariotas se determinará mediante citometría de flujo (Gasol and Del Giorgio, 2000; Marie et al., 2000, 2005).

#### **14.4.Tarea 2.b. Caracterización de la diversidad microbiana en las diferentes playas.**

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC, responsable de tarea), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

La composición y estructura de las comunidades microbianas en playas con diferente composición mineral y tamaño de grano se caracterizará mediante la secuenciación masiva de amplicones (Sogin et al., 2006; Caporaso et al., 2010) a partir de muestras de agua o sedimento de las diferentes playas. Por un lado, se obtendrán amplicones de procariotas, representando la comunidad de arqueas, bacterias heterótrofas y cianobacterias. Por otro lado, se secuenciarán amplicones usando cebadores específicos para eucariotas para obtener una representación de la comunidad microbiana eucariótica.

**Metodología:** La comunidad microbiana será caracterizada mediante secuenciación a partir de la biomasa recogida en filtros de 0.22µm de tamaño de poro o muestras de sedimento. El ADN presente en las muestras será extraído utilizando kits de extracción comerciales y se amplificará, por un lado, el gen del ARN ribosómico 16S a (Apprill et al., 2015; Parada et al., 2016) y por otro el gen del ARN ribosómico 18S (Amaral-Zettler et al., 2009). El procesado de las secuencias se realizará utilizando el servidor bioinformático del Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC). La identificación de las variantes de secuencias se llevará a cabo utilizando metodologías estándar (Callahan et al., 2016) por comparación de las secuencias con la última versión disponible de las base de datos SILVA (Pruesse et al., 2007) y PR2 (Guillou et al., 2013).

#### **14.5.Tarea 2.c. Caracterización de la diversidad animal en las diferentes playas mediante DNA ambiental (eDNA)**

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigador responsable: Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC, responsable de tarea), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

Las técnicas moleculares de eDNA han permitido catalogar de una forma rápida y económica la diversidad de grupos animales en ambientes costeros con una resolución de unos pocos kilómetros (Jeunen et al., 2019; Madduppa et al., 2021; DiBattista et al., 2022). Dado que muchos de los grupos animales afectados por la acidificación oceánica podrían encontrar condiciones ventajosas en las playas donde el proceso de disolución de olivino sea más intenso, haremos un inventario de especies animales utilizando cebadores universales basados en ADN mitocondrial y otros específicos para diferentes grupos animales (Madduppa et al., 2021) ma. Estos inventarios de especies servirán para comprobar si existen organismos favorecidos por las condiciones presentes en playas con diferente potencial de disolución de olivino. Además, estos inventarios de especies serán de gran utilidad para monitorizar el estado de conservación del parque ya que permitirán tener una representación de la biota actualmente presente en sus aguas para su comparación con estudios futuros.

**Metodología:** La diversidad animal será caracterizada mediante secuenciación a partir de los materiales recogidos en filtros de 0.22µm de tamaño de poro o muestras de sedimento. El ADN presente en las muestras será extraído utilizando kits de extracción comerciales y se amplificarán diferentes secuencias genómicas universales para describir la comunidad de metazoos en general y también otras secuencias específicas de grupos como peces o crustáceos (Fraija-Fernández et al., 2020; Govindarajan et al., 2021; Madduppa et al., 2021). El procesado de las secuencias se realizará utilizando el servidor bioinformático del Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC). La identificación de las variantes de secuencias se llevará a cabo utilizando metodologías estándar (Callahan et al., 2016) por comparación de las secuencias con secuencias disponibles en bases de datos públicas.

#### **14.6.Tarea 3.a. Estudio de los nutrientes mayoritarios (nitratos, fósforos, silicatos y amonio) disueltos.**

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile-Nuez (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dra. Marta Álvarez (IEO-CSIC), Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), Dr. Eugenio Fraile-Nuez (IEO-CSIC), Dr. Pedro Llanillo del Río (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC)*

El proceso de disolución del olivino afecta fundamentalmente a la concentración de silicatos disueltos, que son un nutriente esencial para las diatomeas, aunque otros grupos de fitoplancton eucariota, algunas cianobacterias e incluso bacterias heterótrofas presentan estructuras silíceas (Finkel, 2016). Es por esto que estimamos que la disponibilidad de Si puede jugar un papel más importante en la composición de las comunidades microbianas de lo que se pensaba. La determinación de nitratos, fosforos y amonio ofrecerá información sobre si existen otros nutrientes limitantes que pudieran enmascarar el efecto de la disolución de olivino sobre las comunidades planctónicas.

**Metodología:** Los nutrientes se determinarán haciendo uso de un sistema automatizado de cinco canales Technicon-Bran Luebbe AA III AutoAnalyzer para determinación por análisis de flujo continuo segmentado (SCFA) usando la metodología descrita por (Treguer et al., 1976) para nitratos y nitritos, (Folkard, 1978) para silicatos y el método estándar de la US EPA (1978) para fosfatos, el amonio se analizará por fluorimetría utilizando el método de derivatización mediante reacción con la orto-ftaldialdehído en medio sulfuroso (Kérouel and Aminot, 1997).

#### 14.7. Tarea 3.b. Medidas del sistema del CO<sub>2</sub> en agua de mar: alcalinidad total (TA), pH, carbono inorgánico disuelto (DIC) y su composición isotópica.

*Centro ejecutor: IEO-CSIC. Investigadores responsables: Dra. Marta Álvarez (IEO-CSIC, responsable de tarea), Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), Dr. Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

El proceso de disolución del olivino capta CO<sub>2</sub> disuelto y libera bicarbonato y silicato, por ello la totalidad del sistema del CO<sub>2</sub> se ve afectado, disminuye la presión parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>), aumenta el DIC y la TA, aumentando el pH. El sistema del CO<sub>2</sub> está afectado por procesos físicos, químicos y biológicos, para discernir el efecto de la disolución de olivino se deberán determinar DIC, TA y pH, y calcular pCO<sub>2</sub>. Esta información junto con otras variables orgánicas y biológicas enumeradas en otras tareas del proyecto, además de la composición isotópica del DIC, ayudarán a discernir y cuantificar el impacto de la disolución de olivino sobre el sistema del CO<sub>2</sub>, contribuyendo a evaluarlo como un mecanismo de CDR (Carbon Dioxide Removal), de captura de CO<sub>2</sub> atmosférico.

**Metodología:** Las variables del sistema del CO<sub>2</sub> se determinarán siguiendo protocolos estandarizados (Dickson et al., 2007), usando medidas espectrofotométricas para pH, potenciométricas para TA y coulombimétricas para DIC. La composición isotópica del DIC se determinará con un sistema AutoMate conectado a un analizador isotópico CRDS (Cavity Ring Down Spectrometer) (Smith et al., 2017). El mismo sistema se utilizará para medir la cantidad de carbono inorgánico acumulado en el sedimento superficial. La precisión y exactitud de los análisis se controlarán mediante el uso de material de referencia certificado de CO<sub>2</sub> (Dickson lab, SIO, USA). Las muestras deberán filtrarse según el procedimiento de Bockmon and Dickson (2014). Se almacenarán en botellas de borosilicato de 500 ml y conservarán con HgCl<sub>2</sub> para su envío al laboratorio de análisis.

#### 14.8. Tarea 3.b. Medidas de carbono orgánico disuelto y particulado.

*Centro ejecutor: IEOCSIC. Investigador responsable: Dr. Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC, responsable de tarea), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 1 (IEO-CSIC), Persona contratada proyecto 2 (IEO-CSIC)*

**Metodología:** La concentración de materia orgánica disuelta se determinará en muestras de agua filtradas a través de filtros de policarbonato de 0.22µm de tamaño de poro y almacenadas en viales de borosilicato previamente calcinados (24h, 450°C) con tapón de teflón y conservados en frío (4°C) hasta

su medida en el laboratorio (Suzuki et al., 1992). La materia orgánica particulada se recogerá en filtros de fibra de vidrio previamente calcinados (24h, 450°C) que se almacenarán congelados hasta su análisis en un analizador elemental (Turnewitsch et al., 2007).

## 15. Seguimiento y mecanismos efectivos de evaluación. Datos e informes.

De esta manera se establecen los siguientes hitos para realizar el seguimiento:

### **Hito 1: Primer trimestre Contratación de personal y comienzo de las labores iniciales de muestreo.**

Se elaborarán listados de las playas objeto de muestreo con una primera caracterización geológica basada en mapas geológicos y literatura disponible. Este listado servirá de guía para el inventario de playas y para la toma de muestras.

**Hito 2: Primer trimestre del segundo año.** Primer informe conteniendo el listado final de playas investigadas con fotografías y primera descripción de la granulometría y composición mineral de las diferentes playas con su variabilidad estacional si la hubiera.

**Hito 3: Segundo trimestre del segundo año.** Primer informe sobre la composición del plancton presente en las playas, su variación estacional y abundancia relativa.

**Hito 4: Tercer-cuarto trimestre del segundo año.** Primer informe sobre la composición de especies animales presentes en las playas a partir de DNA ambiental y su posible variación estacional.

**Hito 5: Cuarto trimestre del segundo año.** Primer informe sobre la capacidad de absorción de carbono de las diferentes playas en función de su composición mineral y el carbono almacenado.

**Hito 6: Primer-segundo trimestre del tercer año.** Segundo informe sobre la composición del plancton presente en las playas, su variación estacional y abundancia relativa.

**Hito 7: Fin del tercer año.** Informe final y síntesis de datos.

Todos los datos genéticos obtenidos en este proyecto se depositarán en bases de datos de acceso libre. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra>).

Los datos de imágenes microscópicas y citometría de flujo se depositarán también en bases de datos públicas con acceso abierto (<http://flowrepository.org>).

Actividades/Tareas	Centro ejecutor	Investigador responsable	Otros participantes	2024	2025	2026
Tarea 1.a. Caracterización playas	IEO-CSIC	JLR	JMA, RCR, JEP, CPN, CP1, CP2			
Tarea 1.b. Análisis olivinos	IEO-CSIC	JLR	RCR, CP1, CP2			
Tarea 1.c. Granulometría	IEO-CSIC	JLR	RCR, CP1, CP2, JMA, EFN, PLR, JEP, CPN			
Tarea 2.a. Abundancia microbiana	IEO-CSIC	JMA	JEP, CP1, CP2			
Tarea 2.b. Diversidad microbiana	IEO-CSIC	JMA	JEP, CP1, CP2			
Tarea 2.c. Diversidad animal (eDNA)	IEO-CSIC	JMA	JEP, CP1, CP2			
Tarea 3.a. Nutrientes	IEO-CSIC	EFN	JEP, MAR, JMA, PLR			
Tarea 3.b. Carbono inorgánico	IEO-CSIC	MAR	JMA, EFN, JEP			
Tarea 3.b. Carbono Orgánico	IEO-CSIC	JMA	JEP, CP1, CP2			
Actividades de divulgación	IEO-CSIC	JMA	Todos			
Reunión de síntesis	IEO-CSIC	JMA	Todos			
Elaboración de manuscritos	Todos	Todos	Todos			
Preparación de informes	IEO-CSIC	JMA	Todos			

Investigadores
JLR: José Antonio Lozano
JMA: Jesús M. Arrieta
MAR: Marta Álvarez
CP1: Contratado proyecto 01
CP2: Contratado proyecto 02
EFN: Eugenio Fraile-Nuez
PLR: Pedro Llanillo del Río
JEP: José Escáñez Pérez
CPN: Carmen Presas Navarro
RCR: Ramón Casillas

Centros
IEO-CSIC: Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC)

Figura 2. Cronograma de las actividades propuestas indicando el personal involucrado en cada tarea.

## 16. Material y equipos

El Centro Oceanográfico de Canarias cuenta con los equipos necesarios para llevar a cabo una gran parte de los análisis mencionados anteriormente en este proyecto entre ellos:

- Laboratorio de análisis petrográfico equipado con maquinaria para cortar y pulir láminas delgadas, microscopio petrográfico equipado con análisis de imagen y tamizadora para la caracterización del perfil granulométrico de las muestras. Responsable: J.A. Lozano
- Laboratorio de citometría equipado con un citómetro multicolor con tres láseres (violeta, azul y amarillo).
- Laboratorio de análisis genético equipado con termocicladores, electroforésis, sistemas de cuantificación de ADN y todo lo necesario para llevar a cabo la extracción y amplificación del ADN de las muestras. Responsable: J.M. Arrieta.
- Laboratorio de análisis de carbono equipado con analizadores de carbono orgánico total, analizador elemental y sistema CRDS de caracterización isotópica de carbono. Responsable: J.M. Arrieta.
- Laboratorio de análisis de nutrientes equipado con analizador de flujo segmentado para el análisis de nutrientes. Responsable: José Escáñez.
- Laboratorio de análisis de muestras discretas de alcalinidad y pH. Responsable: Marta Álvarez.

Adicionalmente, se solicitan una serie de equipos adicionales necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto:

- Microscopio de flujo para la generación automática de librerías de imágenes de organismos planctónicos entre 2µm y 1 mm.
- Sensor de pCO<sub>2</sub> para uso en el campo
- Sensor de pH para uso en el campo

También se solicitan dos contratos categoría M3 durante la duración del proyecto y un presupuesto para material fungible además de viajes y estancias del personal durante las campañas de muestreo y para transporte de muestras y equipos para algunas de las técnicas propuestas. El presupuesto detallado aparece en la Figura 3.

## 7. PRESUPUESTO

El presupuesto total del subproyecto 4 es de **649.279,60 euros**

La aportación dineraria de Promotur al CSIC y a la ULL, a través de la FGULL, para el desarrollo del subproyecto 4, se distribuye en las siguientes partidas:

CSIC (IEO-Canarias)	1ª anualidad	2ª anualidad	3ª anualidad	Total proyecto
Costes de personal	21.652,00 €	85.900,00 €	42.595,00 €	150.147,00 €
Viajes y dietas	7.000,00 €	12.000,00 €	9.000,00 €	28.000,00 €
Equipamiento	- €	240.000,00 €	- €	240.000,00 €
Fungible	17.500,00 €	30.000,00 €	15.000,00 €	62.500,00 €
Otros gastos	- €	- €	- €	- €
<b>Total</b>	<b>46.152,00 €</b>	<b>367.900,00 €</b>	<b>66.595,00 €</b>	<b>480.647,00 €</b>
<b>FGULL</b>				
Costes de personal	- €	- €	- €	- €
Viajes y dietas	1.500,00 €	3.500,00 €	2.353,00 €	7.353,00 €
Equipamiento	- €	- €	- €	- €
Fungible	- €	- €	- €	- €
Otros gastos	- €	- €	- €	- €
<b>Total</b>	<b>1.500,00 €</b>	<b>3.500,00 €</b>	<b>2.353,00 €</b>	<b>7.353,00 €</b>
<b>TOTAL PROYECTO 4</b>	<b>47.652,00 €</b>	<b>371.400,00 €</b>	<b>68.948,00 €</b>	<b>488.000,00 €</b>

*Figura 3. Presupuesto detallado desglosado por anualidades*

Por su parte el CSIC (IEO-Canarias) y la ULL aportarán 161.279,60 euros al subproyecto 4 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
<b>CSIC (IEO-Canarias)</b>				
<i>Personal investigador</i>	42.085,27 €	56.085,27 €	28.085,26 €	126.255,80 €
<b>FGULL</b>				
<i>Personal investigador</i>	11.674,60 €	11.674,60 €	11.674,60 €	35.023,80 €
<b>TOTAL PROYECTO 4</b>	53.759,87 €	67.759,87 €	39.759,86 €	161.279,60 €

## 17. Difusión de resultados y divulgación científica

El presente proyecto material generará abundante material gráfico (fotografías de organismos, granos de arena de diferente origen, láminas delgadas y de los lugares de recolección). Todo este material gráfico quedará a disposición de PROMOTUR tan pronto como sea generado y validado para su uso promocional en la forma que PROMOTUR estime conveniente.

Los resultados científicos se publicarán en revistas científicas de acceso abierto y además se incluirán en un ciclo de charlas de divulgación y la confección de un vídeo corto de divulgación para dar a conocer los resultados del proyecto.

## 18. Beneficios de este proyecto y transferencia

El beneficio más evidente e inmediato de este proyecto es dar a conocer los servicios ecosistémicos proporcionados por las playas de las Islas Canarias. El reconocimiento de la playa como un ecosistema vivo que contribuye a la amortiguación del cambio climático, fomentará la puesta en valor de nuestras playas más allá del uso recreativo y de la apreciación estética del paisaje. De esta forma se promueve la conservación y, mediante el reconocimiento, el respeto a los recursos naturales de nuestras islas.

El proyecto presenta una serie de beneficios que se extienden tanto a nivel científico como a su aplicación práctica en la sociedad y la gestión de los recursos naturales y turísticos. Entre los beneficios clave se encuentran:

- **Contribuciones Científicas:** El estudio de nuestras playas y su composición mineral como sumideros de carbono globales será de gran importancia para la formulación de futuras estrategias de mitigación en el medio marino.
- **Aplicaciones Prácticas:** Los datos recopilados serán fundamentales para la monitorización del clima, la calidad y la productividad de los ecosistemas costeros, con implicaciones directas en la economía azul y la gestión sostenible de los recursos marinos en general.

- **Transferencia de Conocimiento:** Los informes, publicaciones y eventos de divulgación, generados resultan en transferencia de conocimiento a todos los sectores sociales implicados, la comunidad científica, los sectores relacionados con el turismo y economía azul y el público en general, promoviendo la comprensión y la conciencia de la importancia de conservar nuestros recursos naturales y los servicios ecosistemas que proporcionan.
- **Colaboración Internacional:** El Instituto Español de Oceanografía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en general, mantienen fuertes lazos de cooperación internacional con las instituciones de investigación más relevantes a nivel mundial. En este contexto, los resultados de este proyecto contribuirán a la visibilidad de las instituciones de investigación de las Islas Canarias con el potencial de generar importantes colaboraciones científicas a nivel internacional.

Por todo lo anteriormente mencionado, este proyecto no solo tiene el potencial de avanzar significativamente en la comprensión de los procesos de absorción y secuestro de CO<sub>2</sub> atmosférico en ecosistemas costeros, sino que también generará beneficios tangibles para la sociedad y ayudará a potenciar la visibilidad de las Islas Canarias como centro de liderazgo mundial en investigación.

## 19. Referencias y bibliografía

Amaral-Zettler, L. A., McCliment, E. A., Ducklow, H. W., and Huse, S. M. (2009). A Method for Studying Protistan Diversity Using Massively Parallel Sequencing of V9 Hypervariable Regions of Small-Subunit Ribosomal RNA Genes. *PLoS ONE* 4, e6372. doi: 10.1371/journal.pone.0006372.

Apprill, A., McNally, S., Parsons, R., and Weber, L. (2015). Minor revision to V4 region SSU rRNA 806R gene primer greatly increases detection of SAR11 bacterioplankton. *Aquat. Microb. Ecol.* 75, 129–137. doi: 10.3354/ame01753.

Assmy, P., Smetacek, V., Montresor, M., Klaas, C., Henjes, J., Strass, V. H., et al. (2013). Thick-shelled, grazer-protected diatoms decouple ocean carbon and silicon cycles in the iron-limited Antarctic Circumpolar Current. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 201309345. doi: 10.1073/pnas.1309345110.

Bach, L. T., Gill, S. J., Rickaby, R. E. M., Gore, S., and Renforth, P. (2019). CO<sub>2</sub> Removal With Enhanced Weathering and Ocean Alkalinity Enhancement: Potential Risks and Co-benefits for Marine Pelagic Ecosystems. *Front. Clim.* 1. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fclim.2019.00007> [Accessed May 26, 2022].

Béarat, H., McKelvy, M. J., Chizmeshya, A. V. G., Gormley, D., Nunez, R., Carpenter, R. W., et al. (2006). Carbon Sequestration via Aqueous Olivine Mineral Carbonation: Role of Passivating Layer Formation. *Environ. Sci. Technol.* 40, 4802–4808. doi: 10.1021/es0523340.

Bockmon, E. E., and Dickson, A. G. (2014). A seawater filtration method suitable for total dissolved inorganic carbon and pH analyses. *Limnol. Oceanogr. Methods* 12, 191–195. doi:

10.4319/lom.2014.12.191.

Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., and Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat. Methods* 13, 581–583. doi: 10.1038/nmeth.3869.

Caporaso, J. G., Lauber, C. L., Walters, W. A., Berg-Lyons, D., Lozupone, C. A., Turnbaugh, P. J., et al. (2010). Colloquium Paper: Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 4516–4522. doi: 10.1073/pnas.1000080107.

DiBattista, J. D., Berumen, M. L., Priest, M. A., De Brauwer, M., Coker, D. J., Sinclair-Taylor, T. H., et al. (2022). Environmental DNA reveals a multi-taxa biogeographic break across the Arabian Sea and Sea of Oman. *Environ. DNA* 4, 206–221. doi: 10.1002/edn3.252.

Dickson, A. G., and Christian, J. R. (2007). Guide to best practices for ocean CO<sub>2</sub> measurements.

Estrada, M. (2012). “Determinación de la concentración de clorofila a,” in *Expedición de Circunnavegación Malaspina 2010. Libro blanco de métodos y técnicas de trabajo oceanográfico.*, ed. E. Moreno-Ostos, 399–405.

Fabre, S., Jeandel, C., Zambardi, T., Roustan, M., and Almar, R. (2019). An Overlooked Silica Source of the Modern Oceans: Are Sandy Beaches the Key? *Front. Earth Sci.* 7. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2019.00231> [Accessed May 25, 2022].

Finkel, Z. V. (2016). “Silicification in the Microalgae,” in *The Physiology of Microalgae*, eds. M. A. Borowitzka, J. Beardall, and J. A. Raven (Cham: Springer International Publishing), 289–300. doi: 10.1007/978-3-319-24945-2\_13.

Folkard, A. R. (1978). Automatic analysis of sea water nutrients. *Fish. Res. Tech. Rep.* 46, 1–22.

Fraija-Fernández, N., Bouquieaux, M.-C., Rey, A., Mendibil, I., Cotano, U., Irigoien, X., et al. (2020). Marine water environmental DNA metabarcoding provides a comprehensive fish diversity assessment and reveals spatial patterns in a large oceanic area. *Ecol. Evol.* 10, 7560–7584. doi: 10.1002/ece3.6482.

Gasol, J. M., and Del Giorgio, P. A. (2000). Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities. *Sci. Mar.* 64, 197–224.

Govindarajan, A. F., Francolini, R. D., Jech, J. M., Lavery, A. C., Llopiz, J. K., Wiebe, P. H., et al. (2021). Exploring the Use of Environmental DNA (eDNA) to Detect Animal Taxa in the Mesopelagic Zone. *Front. Ecol. Evol.* 9, 574877. doi: 10.3389/fevo.2021.574877.

Griffioen, J. (2017). Enhanced weathering of olivine in seawater: the efficiency as revealed by thermodynamic scenario analysis. *Sci. Total Environ.* 575, 536–544.

Guillou, L., Bachar, D., Audic, S., Bass, D., Berney, C., Bittner, L., et al. (2013). The Protist Ribosomal

Reference database (PR2): a catalog of unicellular eukaryote Small Sub-Unit rRNA sequences with curated taxonomy. *Nucleic Acids Res.* 41, D597–D604. doi: 10.1093/nar/gks1160.

Hauck, J., Köhler, P., Wolf-Gladrow, D., and Völker, C. (2016). Iron fertilisation and century-scale effects of open ocean dissolution of olivine in a simulated CO<sub>2</sub> removal experiment. *Environ. Res. Lett.* 11, 024007.

Jeunen, G.-J., Knapp, M., Spencer, H. G., Lamare, M. D., Taylor, H. R., Stat, M., et al. (2019). Environmental DNA (eDNA) metabarcoding reveals strong discrimination among diverse marine habitats connected by water movement. *Mol. Ecol. Resour.* 19, 426–438. doi: 10.1111/1755-0998.12982.

Kérouel, R., and Aminot, A. (1997). Fluorometric determination of ammonia in sea and estuarine waters by direct segmented flow analysis. *Mar. Chem.* 57, 265–275. doi: 10.1016/S0304-4203(97)00040-6.

King, H. E., Plümper, O., and Putnis, A. (2010). Effect of Secondary Phase Formation on the Carbonation of Olivine. *Environ. Sci. Technol.* 44, 6503–6509. doi: 10.1021/es9038193.

Köhler, P., Abrams, J. F., Völker, C., Hauck, J., and Wolf-Gladrow, D. A. (2013). Geoengineering impact of open ocean dissolution of olivine on atmospheric CO<sub>2</sub>, surface ocean pH and marine biology. *Environ. Res. Lett.* 8, 014009. doi: 10.1088/1748-9326/8/1/014009.

Köhler, P., Hartmann, J., and Wolf-Gladrow, D. A. (2010). Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 20228–20233. doi: 10.1073/pnas.1000545107.

León, R., Palomino, D., Sánchez-Guillamón, O., Fernández-Salas, L. M., and Vázquez, J. T. (2022). Tectonic control on sedimentary dynamics in intraplate oceanic settings: A geomorphological image of the eastern Canary Basin and insights on its middle-upper Miocene to quaternary volcano-tectonic-sedimentary evolution. *Mar. Geol.* 445, 106737. doi: 10.1016/j.margeo.2022.106737.

Lund, J. W. G., Kipling, C., and Le Cren, E. D. (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11, 143–170. doi: 10.1007/BF00007865.

Madduppa, H., Cahyani, N. K. D., Anggoro, A. W., Subhan, B., Jefri, E., Sani, L. M. I., et al. (2021). eDNA metabarcoding illuminates species diversity and composition of three phyla (chordata, mollusca and echinodermata) across Indonesian coral reefs. *Biodivers. Conserv.* 30, 3087–3114. doi: 10.1007/s10531-021-02237-0.

Marie, D., Simon, N., Guillou, L., Partensky, F., Vaultot, D., Diamond, R., et al. (2000). “Flow Cytometry Analysis of Marine Picoplankton,” in *In Living Color. Protocols in Flow Cytometry and Cell Sorting* (Springer Lab Manual), 421–454.

Marie, D., Simon, N., and Vaulot, D. (2005). “Phytoplankton cell counting by flow cytometry,” in *Algal Culturing Techniques*. (Amsterdam: Elsevier).

Meysman, F. J. R., and Montserrat, F. (2017). Negative CO<sub>2</sub> emissions via enhanced silicate weathering in coastal environments. *Biol. Lett.* 13, 20160905. doi: 10.1098/rsbl.2016.0905.

Montserrat, F., Renforth, P., Hartmann, J., Leermakers, M., Knops, P., and Meysman, F. J. R. (2017). Olivine Dissolution in Seawater: Implications for CO<sub>2</sub> Sequestration through Enhanced Weathering in Coastal Environments. *Environ. Sci. Technol.* 51, 3960–3972. doi: 10.1021/acs.est.6b05942.

Parada, A. E., Needham, D. M., and Fuhrman, J. A. (2016). Every base matters: assessing small subunit rRNA primers for marine microbiomes with mock communities, time series and global field samples. *Environ. Microbiol.* 18, 1403–1414. doi: 10.1111/1462-2920.13023.

Pruesse, E., Quast, C., Knittel, K., Fuchs, B. M., Ludwig, W., Peplies, J., et al. (2007). SILVA: a comprehensive online resource for quality checked and aligned ribosomal RNA sequence data compatible with ARB. *Nucleic Acids Res.* 35, 7188–7196. doi: 10.1093/nar/gkm864.

Rigopoulos, I., Harrison, A. L., Delimitis, A., Ioannou, I., Efstathiou, A. M., Kyratsi, T., et al. (2018). Carbon sequestration via enhanced weathering of peridotites and basalts in seawater. *Appl. Geochem.* 91, 197–207.

Schoeman, F. R. (1979). A Method for the Quantitative and Qualitative Determination of Planktonic Diatoms. *J. Limnol. Soc. South. Afr.* 5, 107–109. doi: 10.1080/03779688.1979.9633196.

Schuiling, R. D., and De Boer, P. L. (2010). Coastal spreading of olivine to control atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: A critical analysis of viability. Comment: Nature and laboratory models are different. *Int. J. Greenh. Gas Control* 4, 855.

Scott, A., Oze, C., Shah, V., Yang, N., Shanks, B., Cheeseman, C., et al. (2021). Transformation of abundant magnesium silicate minerals for enhanced CO<sub>2</sub> sequestration. *Commun. Earth Environ.* 2, 25. doi: 10.1038/s43247-021-00099-6.

Smetacek, V., Klaas, C., Strass, V. H., Assmy, P., Montresor, M., Cisewski, B., et al. (2012). Deep carbon export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom. *Nature* 487, 313–319. doi: 10.1038/nature11229.

Smith, E., Gonnea, M. E., Boze, L. G., Casso, M., and Pohlman, J. (2017). A Novel Method for Analysis of Dissolved Inorganic Carbon Concentration and  $\delta^{13}\text{C}$  by Cavity Ring-Down Spectroscopy. 2017, B43D-2159.

Sogin, M. L., Morrison, H. G., Huber, J. A., Welch, D. M., Huse, S. M., Neal, P. R., et al. (2006). Microbial diversity in the deep sea and the underexplored “rare biosphere.” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103, 12115–12120. doi: 10.1073/pnas.0605127103.

Suzuki, Y., Tanoue, E., and Ito, H. (1992). A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of dissolved organic carbon in seawater: analysis and improvement. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* 39, 185–198. doi: 10.1016/0198-0149(92)90104-2.

Treguer, P., Le Corre, P., and Courtot, P. (1976). Notes on techniques and methods for sea water analysis: Dosage automatique des orthophosphates dans l'eau de mer utilisation de l'AutoAnalyzer (R) II. *ICES J. Mar. Sci.* 36, 289–294. doi: 10.1093/icesjms/36.3.289.

Turnewitsch, R., Springer, B. M., Kiriakoulakis, K., Vilas, J. C., Arístegui, J., Wolff, G., et al. (2007). Determination of particulate organic carbon (POC) in seawater: The relative methodological importance of artificial gains and losses in two glass-fiber-filter-based techniques. *Mar. Chem.* 105, 208–228. doi: 10.1016/j.marchem.2007.01.017.

Velbel, M. A. (1999). Bond strength and the relative weathering rates of simple orthosilicates. *Am. J. Sci.* 299, 679–696.

Zúñiga, D., Sanchez-Vidal, A., Flexas, M. M., Carroll, D., Rufino, M. M., Spreen, G., et al. (2021). Sinking Diatom Assemblages as a Key Driver for Deep Carbon and Silicon Export in the Scotia Sea (Southern Ocean). *Front. Earth Sci.* 9. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2021.579198> [Accessed May 25, 2022].

## Subproyecto 5. Islas Canarias: un Mar de Sonidos.

### IP1: Dr. Jesús Alcázar Treviño

Investigador Catalina Ruiz de la ULL, de estancia postdoctoral en el  
Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC)

### IP2: Dr. Eugenio Fraile Nuez

Investigador Científico del Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-Tenerife)  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

## *Memoria científico-técnica*

### Resumen

Existe un elevado número de organismos marinos para los cuales el sonido es vital: lo utilizan para comunicarse, orientarse y cazar. Las Islas Canarias son poseedoras de una gran biodiversidad marina, y eso se refleja en sus ambientes sonoros: son un auténtico Mar de Sonidos. Aunque se conozca de forma general que algunos animales marinos como los delfines emiten ciertos sonidos, muy pocas personas y visitantes de las islas saben la inigualable diversidad de sonidos que tenemos en el Archipiélago. Este conocimiento podría resultar un enorme atractivo turístico, especialmente para los usuarios del turismo azul, por lo que nos proponemos ampliar nuestros conocimientos al respecto y divulgarlos al público, generando transferencia entre la ciencia y los agentes turísticos. Para ello, proponemos crear estaciones de monitoreo en reservas marinas de todas las islas, provistas de sensores acústicos -los hidrófonos- y cámaras acuáticas. De esta manera, se podrían grabar los sonidos que hacen los organismos marinos que pasan por cada reserva, en la primera monitorización continua del mar de sonidos de las Islas Canarias. Identificar todos estos sonidos de las grabaciones con especies concretas de las cámaras resultaría un gran atractivo turístico, fomentando actividades del turismo azul. La selección de grabaciones sonoras y de vídeo con especies emblemáticas como el delfín mular, la fula o el mero emitiendo sonidos sería un producto de transferencia al sector turístico. La divulgación de estos resultados permitiría a los usuarios incluso identificar los sonidos que escuchan al bañarse en ciertas playas y al realizar actividades de buceo, así como conocer más en profundidad la biodiversidad del Archipiélago. Este acercamiento del mar de sonidos de las Islas Canarias al público implicaría una sinergia entre ciencia y turismo azul, fomentando la conservación de las reservas marinas ya que revierten en un importante beneficio para la actividad turística.

## 1. Antecedentes

La capacidad de estudiar organismos marinos mediante métodos no invasivos a medida que avanza la tecnología está adquiriendo relevancia a nivel mundial, minimizando así el impacto de la actividad científica sobre los ecosistemas (Arranz et al., 2023; Putland et al., 2018; Zemanova, 2020). Debido a la baja visibilidad en el agua marina comparada con el medio aéreo (Berman et al., 1985), muchos organismos utilizan distintos sonidos para comunicarse entre sí, orientarse en el medio y detectar a sus presas o depredadores (Alcázar-Treviño et al., 2021; Romagosa et al., 2021; Van Cise et al., 2018). La actividad humana, principalmente el transporte marítimo, la exploración de hidrocarburos y la construcción generan un ruido que puede ocasionar perjuicios a los organismos marinos de la zona (Duarte et al., 2021). Por ello, cada vez son más importantes las localizaciones con unos paisajes sonoros naturales y poco antropizados, que encontraríamos en figuras de protección como las Reservas ZEC de la Red Natura 2000 (Zona Especial de Conservación, European Commission, 1992). Entre otras tareas de seguimiento, las Estrategias Marinas de la Unión Europea establecen la necesidad de monitorear los niveles de ruido submarino en aguas de los estados miembro, con especial interés en las ZEC (European Commission, 2017).

La Demarcación Marina Canaria cuenta con 24 reservas ZEC (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Boletín Oficial del Estado, 2011) del total de las 33 ZEC marinas de España (Alonso et al., 2017). Estas reservas marinas albergan una importante riqueza de hábitats y especies, muchas de ellas famosas por producir sonidos característicos como los silbidos de los delfines mulares, las llamadas de los calderones tropicales o los chasquidos de los zifios (Jensen et al., 2011; King & Janik, 2015; Madsen et al., 2005). A esta lista se suman numerosas especies de las cuales se está descubriendo su capacidad de emitir sonidos, en invertebrados como la langosta y algunos camarones, y en peces como el mero y la fula (Coquereau et al., 2016; Luczkovich & Sprague, 2022). En su conjunto, toda esta diversidad de sonidos conforma el paisaje sonoro submarino de las Islas Canarias. Sin embargo, esta riqueza en cuanto al ambiente sonoro submarino en aguas del Archipiélago es en gran parte desconocida por el público general, aun cuando existen cada vez más usuarios del turismo azul que visitan las islas (ODS Empresas Canarias, 2022).

Por todo ello, las reservas marinas de las Islas Canarias necesitan de una sensorización, en este caso consistente en la colocación de sensores acústicos y complementarios para monitorear la presencia y actividad de organismos marinos en sus aguas. Al mismo tiempo, serviría para dar a conocer estos santuarios sonoros tanto a nivel científico como al público general, administraciones y especialmente a los distintos agentes del turismo azul.

## 2. Objetivos

Este proyecto plantea objetivos científicos, de divulgación y de transferencia.

En primer lugar, la **sensorización de áreas marinas protegidas**. Mediante el despliegue de distintos sensores en reservas ZEC, se creará la primera gran base de datos de acústica submarina de las Islas Canarias. Con estos datos se podrá monitorear la presencia de diversas especies sonoras en el Archipiélago, detectando patrones de paso estacional o de residencia permanente de las especies, por ejemplo. Además, la detección e identificación de ciertos sonidos de especies estudiadas permitirá conocer la actividad biológica que desarrollan estos organismos en las reservas: por ejemplo si se detectan sonidos asociados a la alimentación de cetáceos como los delfines (King & Janik, 2015), o sonidos asociados al apareamiento en peces (Amorim et al., 2015; Bolgan et al., 2020). Calculando métricas generales de los niveles sonoros en cada reserva junto a índices de ecoacústica, se podrá reflejar el buen estado de conservación de las áreas marinas protegidas de Canarias.

El segundo objetivo general del proyecto estaría relacionado con la **divulgación**, para dar a conocer los santuarios sonoros mediante digitalización. A medida que se despliegue la sensorización anteriormente mencionada, irá creciendo la nueva base de datos científica con sonidos e imágenes de especies viviendo en las reservas marinas, así como del estado del ambiente sonoro submarino de las Islas Canarias. Los resultados del proyecto se darán a conocer a la comunidad científica por medio de publicaciones y comunicaciones a eventos científicos internacionales de prestigio. Además, una cuidadosa selección de archivos de audio y vídeo relevantes será llevada a cabo para divulgar entre el público general todos estos conocimientos sobre los santuarios sonoros que tienen las Islas Canarias.

El tercer objetivo es de **transferencia**, estrechamente ligado a los objetivos anteriores. Consiste en proporcionar a Promotur y las administraciones pertinentes los datos, tanto científicos como de divulgación general, para promover el acercamiento turista-producto, con énfasis en el turismo azul, proporcionando información a los clubes de buceo para que la transmitan a los clientes, por ejemplo. Se pretende promover así la conservación de santuarios sonoros y por tanto de las reservas marinas en su totalidad, revirtiendo a su vez positivamente en la marca Islas Canarias: Latitud de vida, a través de la conservación del propio producto de turismo azul.

### 3. Metodología

Se crearán estaciones de seguimiento en 9 Reservas Marinas ZEC de las Islas Canarias (Figura 1), incluyendo una estación por cada isla, más el Islote de Lobos. Las Reservas ZEC son: Mar de Las Calmas (El Hierro), Franja Marina de Fuencaliente (La Palma), Franja Marina de Santiago-Valle Gran Rey (La Gomera), Franja Marina de Teno-Rasca (Tenerife), Franja Marina de Mogán (Gran Canaria), Playas de Sotavento de Jandía (Fuerteventura), Sebadales de Lobos (Islote de Lobos - Fuerteventura), Cagafrecho (Lanzarote) y Sebadales de La Graciosa (La Graciosa - Lanzarote). Para cada una de las estaciones, se creará un sistema de fondeo de sensores, que serán desplegados en cada reserva ZEC, a profundidades entre 5 y 200 metros.



**Figura 1.** Mapa de las Reservas ZEC de las Islas Canarias, mostrando las 9 reservas donde se colocarán sistemas de fondeos para la sensorización (<https://visor.grafcan.es/visorweb>).

### Sistema de fondeo

Se requerirá asistencia técnica para fabricar el sistema de fondeo, que contará con un bloque de hormigón que actúa de peso y sujeción al sustrato, con los anclajes necesarios para su largado desde embarcación, así como para su recuperación para las tareas de mantenimiento. Además, deberá contar con un sistema de anclaje para asegurar la correcta colocación de los sensores en el sistema de fondeo. Dichos sensores constituyen principalmente un hidrófono y una cámara acuática (Figura 2), además de un CTD en ciertas estaciones.

El hidrófono tiene que ser un sistema autocontenido, de adquisición de datos acústicos en continuo a frecuencias de al menos 96 kilohercios (kHz) y con capacidad de almacenamiento de datos correspondientes a mínimo un mes de grabaciones acústicas.

La cámara acuática tiene que poder programarse de modo que funcione de manera intermitente, realizando grabaciones y/o fotografías cada cierto tiempo para registrar la mayor variedad de especies y comportamientos posibles a lo largo del día durante el periodo de fondeo del sistema. Se adquirirán cámaras con carcasa resistente a la presión acorde a la profundidad de largado de cada sistema (entre 5 y 200 metros).



**Figura 2.** Ejemplos de fondeo de sensores por separado: videocámara grabando peces (izquierda) e hidrófono grabando sonidos de peces (derecha). Imágenes [https://www.123rf.com/photo\\_167342976\\_using-action-camera-in-waterproof-box-on-a-flexible-foldable-mini-tripod-to-make-photos-and-video.html](https://www.123rf.com/photo_167342976_using-action-camera-in-waterproof-box-on-a-flexible-foldable-mini-tripod-to-make-photos-and-video.html); <https://www.oceaninstruments.co.nz/>

Se podrán acoplar sensores complementarios durante la toma de datos, como sensores de temperatura, iluminación puntual para las cámaras, etc., según las necesidades y disponibilidad. En dos de las estaciones se acompañarán los sensores de un CTD, que mide parámetros oceanográficos como la temperatura, presión y conductividad del agua.

Una vez desplegado el sistema, todos los sensores recogerán datos, teniendo que realizar visitas periódicas a cada estación para su mantenimiento. El mantenimiento consistirá en acudir a cada estación para la extracción de los sensores del fondeo y así obtener los datos, realizar el recambio de baterías y la limpieza de sensores, así como la comprobación de su correcto funcionamiento. Tras el mantenimiento, se volverán a desplegar los sensores para asegurar un registro continuo de los datos.

### Procesado y análisis de datos

Los datos acústicos registrados con el hidrófono de cada estación constituirán una gran base de datos, cuyo análisis requerirá un elevado tiempo de procesamiento. Los datos se analizarán utilizando software especializado, desarrollando herramientas específicas para este proyecto. Se emplearán principalmente los software de programación Matlab (The MathWorks, <https://matlab.mathworks.com/>) y R (The R Project for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/>; Thomas et al., 2013), además de todos los que se consideren necesarios durante la ejecución del proyecto para el correcto y completo análisis de las grabaciones. Los análisis consistirán en medidas generales de los niveles sonoros de cada estación, obteniendo métricas como los niveles en tercio de banda de octava (1/3 Octave Levels, TOLs, Couvreur & Couvreur, 1997), el nivel de presión sonora (SPL, sound pressure level) para la construcción de espectrogramas y otros gráficos informativos. De esta manera, se podrán ver las diferencias en

el ambiente sonoro entre el día y la noche, así como su evolución a lo largo de las estaciones del año.

Además, se empleará el software libre semiautomático PAMGuard (Gillespie et al., 2009) para detectar la presencia y valorar el comportamiento de especies de cetáceos (ballenas, delfines, zifios), de peces y de invertebrados. Se identificarán los sonidos detectados a nivel de familia, y cuando sea posible, de especie, y se extraerán los fragmentos de audio con sonidos de cada especie para su análisis y divulgación.

En cuanto a los datos tomados por las cámaras acuáticas, se empleará software especializado a tal fin, de tal manera que se detecten automáticamente los eventos en los que aparezcan organismos en las grabaciones y/o fotografías (Cutter et al., 2015; Edgington et al., 2003). A continuación, se analizará cada evento, identificando la especie presente y su comportamiento. De forma análoga a las detecciones sonoras, se extraerán fragmentos de vídeo donde aparezcan las distintas especies detectadas para su divulgación.

Se podrán relacionar los eventos de presencia de organismos en la cámara acuática con los registros acústicos del hidrófono, una actividad pionera que podría descubrir nuevos sonidos para especies marinas presentes en Canarias.

#### **4. Seguimiento y mecanismos efectivos de evaluación**

El proyecto está organizado de manera que las distintas actividades pueden agruparse en siete tareas, cuyos tiempos de ejecución se detallan en el cronograma adjunto a la propuesta (Tabla 1):

1- Preparación general: adquisición de material, preparación de los fondeos y prueba del sistema

El proyecto comenzaría con el encargo de toda la instrumentación necesaria para desarrollar el proyecto. Una vez se cuente con todo el equipo en las instalaciones del IEO-CSIC, se prepararán los sistemas de fondeo y se probarán en los tanques de acuicultura del propio centro.

Al mismo tiempo, se realizará por parte de la ULL el proceso de contratación de dos técnicos y de licitación para la asistencia técnica necesaria para las campañas de mantenimiento y recuperación de datos de los sistemas de fondeo.

2- Despliegue de los fondeos sensorizados

En esta tarea, la asistencia técnica adjudicataria de la licitación será la encargada, bajo la coordinación de los investigadores principales, de desplazarse a todas las islas y desplegar los sistemas de fondeo en cada una de las reservas ZEC seleccionadas.

3- Realización de las campañas de mantenimiento de los fondeos

Como en la tarea anterior, la asistencia técnica se encargará de visitar cada sistema de fondeo al menos dos veces por anualidad para realizar el mantenimiento de los sistemas. Esto incluye

el recambio de baterías y de memorias para seguir almacenando datos. Los sistemas de fondeo se volverán a desplegar, y las memorias llenas de datos se entregarán al investigador responsable.

#### 4- Análisis de los datos y emisión de informes

Bajo la dirección del investigador responsable, y como principal dedicación de las personas contratadas como técnicos, se llevará a cabo la organización, procesado y análisis de los datos, como se describió en la metodología. Las cuatro personas contratadas (PC) serán responsables de colaborar en alguno de los aspectos de los análisis de los datos tomados por los sensores. De esta manera, la PC1 (IEO/CSIC) se encargará de colaborar en los cálculos de métricas del ambiente acústico y grabaciones de videocámara; la PC2 (IEO/CSIC) se encargará de la revisión de las bandas de alta frecuencia de las grabaciones (>10 kHz) así como de programar y revisar los detectores semiautomáticos para detectar cetáceos odontocetos; la PC3 (ULL) revisará las bandas de media frecuencia (1-10 kHz) y se encargará de los detectores semiautomáticos de silbidos y llamadas de media frecuencia; y por último, la PC4 (ULL) revisará las bandas de baja frecuencia (<1000 Hz) de las grabaciones, y se encargará de los detectores semiautomáticos para cetáceos mysticetos. Todas las personas contratadas colaborarán en los informes y paquetes de datos aportando los resultados que han obtenido de sus respectivos análisis. Las personas contratadas serán coordinadas y supervisadas por los investigadores principales y demás investigadores del proyecto, con quienes trabajarán en colaboración.

Como mecanismo de evaluación, se propone la emisión de informes anuales por parte del equipo del proyecto, a entregar a Promotur, que indiquen todas las actividades del proyecto llevadas a cabo durante cada anualidad del mismo, como se detalla en el siguiente apartado. Los informes incluirán un resumen de los resultados obtenidos en cada anualidad, así como el paquete de archivos seleccionados para su entrega a Promotur.

#### 5- Divulgación científica y entrega de material a Promotur

Se realizarán comunicaciones científicas en congresos y simposios de relevancia internacional tanto con el planteamiento de este novedoso proyecto como con los resultados a medida que se vayan obteniendo. También se llevarán a cabo actividades de divulgación científica, y se entregarán los paquetes de archivos especialmente seleccionados para que Promotur pueda utilizarlos y distribuirlos como valorización del producto del turismo azul y la marca Islas Canarias: Latitud de vida.

#### 6- Recogida de los fondeos

A medida que se acerque la finalización del proyecto, la asistencia técnica se encargará de recoger todos los sistemas de fondeos de cada isla y de depositarlos en el almacén del IEO-CSIC.

#### 7- Informe final del proyecto

Antes de la finalización de la última anualidad, se entregará un informe final del proyecto, que resume el conjunto de actividades desarrolladas durante el mismo, los hitos alcanzados, los resultados obtenidos, su divulgación y los productos de transferencia puestos a disposición de Promotur.

**Tabla 1.** Cronograma propuesto para el desarrollo de las actividades del proyecto, incluyendo los investigadores responsables y centro ejecutor.

Actividades/Tareas	Centro ejecutor	Investigador responsable	Otros participantes	2024	2025	2026
Tarea 1. Preparación general	IEO-CSIC	EFN / JAT	SB, MB, GL, JHB			
Tarea 2. Despliegue sensores	IEO-CSIC	JAT	A, M3, EFN			
Tarea 3. Campañas mantenimiento y datos	IEO-CSIC	JAT	A, M3, EFN			
Tarea 4. Análisis de datos	IEO-CSIC / ULL	JAT / SB	PC1, PC2, PC3, PC4, GL, MB, EFN			
Tarea 5. Actividades de divulgación	IEO-CSIC / ULL	EFN	JAT, M3, SB, GL, MB, JHB			
Tarea 6. Recogida de fondeos	IEO-CSIC	JAT	A, M3, EFN			
Reunión de síntesis	IEO-CSIC / ULL	EFN	JAT, M3, SB, GL, MB, JHB, PC1-4			
Elaboración de manuscritos	IEO-CSIC / ULL	JAT	M3, SB, GL, MB, EFN, JHB			
Preparación de informes	IEO-CSIC / ULL	JAT	M3, SB, GL, MB, EFN, PC1-4			
<b>Investigadores</b>		<b>Centros</b>				
JAT: Jesús Alcázar Treviño		IEO-CSIC: Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC)				
EFN: Eugenio Fraile-Nuez		ULL: Universidad de La Laguna				
SB: Susannah Buchan						
MB: Manuel Bou						
GL: Guillermo Lara						
JHB: Javier Hernández Borges						
PC1: Contrato técnico, métricas generales y cámara						
PC2: Contrato técnico, análisis alta frecuencia						
PC3: Contrato técnico, análisis media frecuencia						
PC4: Contrato técnico, análisis baja frecuencia						

## 5. Datos e informes

Se generará una gran cantidad de datos, de la cual se guardará una copia completa en el Centro Oceanográfico de Canarias del IEO-CSIC y otra en la ULL a modo de copia de seguridad. Se pondrán a disposición de Promotur todos los datos requeridos.

Tras los análisis mencionados en la metodología, se seleccionarán eventos interesantes que ofrecer como datos en abierto, como la grabación en vídeo de especies y sus sonidos particulares. También se prepararán gráficos informativos que muestren la calidad de estos Santuarios sonoros.

Además, todos los sonidos que sean identificados a nivel de especie serán enviados al registro mundial de especies marinas (World Register of Marine Species, <https://www.marinespecies.org/>), que ha destacado la importancia del sonido en las especies animales creando un nuevo apartado de grabaciones acústicas disponibles para cada especie.

Como se mencionó en el apartado anterior, se generarán informes anuales que contendrán una descripción detallada de las actividades realizadas y los hitos del proyecto alcanzados, así como las posibles dificultades encontradas en su ejecución. Los informes contendrán un apartado científico-técnico, mostrando los análisis con todos los resultados, aportando métricas de los niveles sonoros en cada reserva ZEC, así como de la presencia detectada de especies, tanto a nivel sonoro como visual, y de sus comportamientos registrados gracias a los sistemas de fondeo. Un apartado económico dará cuenta de la ejecución presupuestaria. Por último, se incluirá un apartado de divulgación y transferencia, con todas las actividades realizadas para

divulgar los objetivos y resultados del proyecto a medios científicos especializados y público general. En este apartado se añadirán todos los recursos que se consideren de interés para potencial uso de la promoción del destino Islas Canarias, como las grabaciones acústicas y visuales de especies y sus comportamientos en las reservas ZEC. Será el material adjunto puesto a disposición de Promotur como transferencia. Teniendo en cuenta los prolongados tiempos de grabación, se espera con gran probabilidad conseguir los siguientes registros acústicos con los que se podrá realizar transferencia y divulgación, dependiendo de la localización de cada estación de fondeo:

**Sonidos abióticos.** Estos sonidos incluyen los eventos de lluvias y fuertes vientos. Podría resultar muy llamativo para el público saber cómo se escucha bajo el agua las lluvias y las rachas de viento, así como el propio oleaje.

**Sonidos bióticos.** Todos los sonidos producidos por organismos y que sean identificados. Sería el producto principal y más llamativo, e iría acompañado del propio audio, grabaciones de vídeo si se consiguen, una descripción del sonido en sí y del comportamiento que refleja en esa especie en concreto. En este apartado se distinguen grandes grupos:

- 1- Cetáceos misticetos, comúnmente conocidos como ballenas. Estos animales producen llamadas a baja frecuencia que son identificables para cada especie, y existen varias con paso estacional por las Islas Canarias, por lo que se espera registrar sus sonidos durante el proyecto.
- 2- Cetáceos odontocetos, que incluyen los delfines, zifios y cachalotes. Estos animales producen chasquidos de ecolocalización a media-alta frecuencia, así como silbidos y llamadas a media frecuencia, y también son específicos de cada grupo. Existen tanto poblaciones residentes como de paso en el Archipiélago, por lo que se espera alta probabilidad de grabar estos sonidos para poder mostrarlos, junto con una descripción detallada de los propios sonidos y el uso que le dan estos animales.
- 3- Peces. Existe una gran variedad de sonidos producidos por especies de peces que habitan las Islas Canarias. Algunos son sonidos puntuales relacionados con la reproducción y otros son coros de sonidos emitidos por muchos peces al unísono, por ejemplo, al anochecer. Se espera una alta probabilidad de grabar una gran variedad de sonidos producidos por peces en todas las islas, además de grabar con las cámaras simultáneamente a los individuos que estén vocalizando.
- 4- Invertebrados. Aunque menos conocidos, existen también sonidos específicos de algunos invertebrados marinos como ciertos camarones, langostas y cangrejos. Se espera grabar estos sonidos en todas las estaciones, siendo muy comunes.

**Ambiente sonoro general.** La combinación de todos los sonidos también es un producto interesante, pudiendo mostrar cómo suena en su conjunto cada reserva marina, con la combinación del oleaje, los sonidos de peces, invertebrados y delfines, por ejemplo. Se trataría del sonido firma de cada reserva ZEC, y sería descrito por primera vez gracias a los resultados del proyecto.

Durante la última anualidad, se emitirá un informe final del proyecto, donde se resumirán todas las actividades e hitos alcanzados en las tres anualidades. También se dará cuenta de la ejecución presupuestaria de los fondos del proyecto, así como la divulgación que se ha hecho a nivel científico y público general. Finalmente, se detallarán todos los archivos producidos y entregados como transferencia a Promotur, generando una sinergia entre la ciencia y el turismo azul que satisfaga a todos los agentes implicados.

## 6. Material y equipos

Se presenta a continuación la relación de material a adquirir durante el proyecto, así como el aportado por las instituciones participantes y el equipo de investigación responsable de las actividades.

### Estaciones de fondeo

Para las estaciones de fondeo será necesario adquirir materiales y la asistencia técnica para construir algunos elementos del mismo, comprar instrumentos y ensamblar cada estación de fondeo, tal y como se detalla a continuación:

Sistema de fondeo (9 unidades): bloque de hormigón, cabo, mosquetones y sistema de anclaje de los sensores.

Sistema de grabación acústica (9 unidades): hidrófono, grabadora, baterías y tarjetas de memoria. Se propone adquirir el sistema autocontenido “SoundTrap ST600 Long Term Recorder” (Ocean Instruments, <https://www.oceaninstruments.co.nz/>), o “SYLENCE-LP-440” (RTSys, <https://rtsys.eu/>) con una capacidad de grabación de más de 4 meses, resistente en fondeos hasta 250 metros de profundidad y especialmente recomendada para grabaciones acústicas de mamíferos marinos, peces y ruido ambiental. Estos sistemas necesitan baterías recargables y tarjetas de memoria microSD para fondeos de larga duración como el que propone este proyecto.

Sistema de grabación visual (9 unidades): cámaras acuáticas, baterías y tarjetas de memoria. Se propone adquirir cámaras “GoPro Hero12”, que cuentan con la opción de acoplar baterías extra y una carcasa especial de resistencia hasta 250 metros de profundidad (<https://gopro.com>). De manera experimental, se podría fabricar una cámara sumergible que realice grabaciones de larga duración para los fondeos en aguas poco profundas (Mouy et al., 2020), a través de los Servicios de Mecánica y Electrónica del SEGAI de la ULL (<https://www.ull.es/servicios/segai/>).

En dos de las estaciones, una por cada provincia, se acoplará al sistema de fondeo un sensor más, conocido como CTD. Este aparato mide de forma continua parámetros oceanográficos del agua como la temperatura y la conductividad. El monitoreo continuo de estos parámetros es esencial a nivel científico en vistas al cambio climático, y a la vez resulta muy llamativo para la divulgación entre el público general y los usuarios del turismo azul.

En relación con este apartado, el IEO-CSIC pone a disposición del proyecto sus instalaciones para el almacenaje del material y su puesta a punto. Además, facilitará el uso de tanques de la

planta de cultivos para las pruebas del correcto funcionamiento de los sistemas previo a su despliegue en las reservas ZEC.

### Gabinete

Se propone la adquisición de un sistema NAS de almacenamiento de alta capacidad conectado a la red, sustentado por discos duros almacenamiento de datos (20 unidades). Los datos de grabaciones hechas con hidrófonos y cámaras acuáticas requieren una gran capacidad de almacenamiento, por lo que será necesaria la adquisición de discos externos que permitan además tener una copia de seguridad de cada sistema de fondeo. El sistema NAS permitirá que los investigadores del proyecto puedan acceder en remoto a los datos para su análisis y preparación de entregables a Promotur.

En este apartado, tanto la ULL como el IEO-CSIC ponen a disposición del proyecto despachos para desarrollar todo el trabajo de gabinete del proyecto. Además, la ULL proporcionará acceso a la licencia anual del software Matlab para procesado y análisis de datos. El IEO-CSIC facilitará el acceso a sus servidores para disminuir el tiempo de computación de algunos de los análisis más complejos planteados en el proyecto.

### Trabajo de campo

Para realizar el despliegue de los sistemas en las reservas ZEC, así como las visitas de mantenimiento, recolección de los datos y la recuperación final de los equipos se precisa de asistencia técnica. Será necesario operar desde una embarcación, empleando un equipo de largado y recuperación del material que estará fondeado a profundidades entre 5 y 200 metros. Este trabajo por tanto será ofertado como una licitación de la Universidad de La Laguna.

### Grupo de trabajo

El grupo de trabajo está compuesto por dos investigadores principales, cuatro investigadores y cuatro personas contratadas. Se podrán establecer colaboraciones con personal investigador adicional a medida que se desarrolle el proyecto, previa autorización de Promotur.

Investigador Principal: Jesús Alcázar, Investigador del Programa Catalina Ruiz (ACIISI) de la Universidad de La Laguna, de estancia postdoctoral en el IEO-CSIC (Centro Oceanográfico de Canarias).

Co-Investigador Principal: Eugenio Fraile, Investigador Científico del IEO-CSIC (Centro Oceanográfico de Canarias).

Susannah Buchan, Universidad de Concepción (Chile), de estancia postdoctoral en el IEO-CSIC (Centro Oceanográfico de Canarias).

Manuel Bou, Investigador Científico del IEO-CSIC (Centro Oceanográfico de Murcia).

Guillermo Lara, Titulado Superior Especializado de OPIS, Unidad Mixta del IEO-CSIC y UPV.  
Javier Hernández Borges, Catedrático de Universidad, Universidad de La Laguna.

Se propone la convocatoria de contratos de técnicos e investigadores en formación, dos por entidad, para participar en las tareas de procesado y análisis de datos, así como en la redacción de informes y entregables, como se ha especificado en el apartado 4.4.

## 7. PRESUPUESTO

El presupuesto total del subproyecto 5 es de **627.809,83 euros**

La aportación dineraria de Promotur al CSIC y a la ULL, a través de la FGULL, para el desarrollo del subproyecto 5, se distribuye en las siguientes partidas:

**Tabla 2.** Presupuesto solicitado para desarrollar el muestreo y alcanzar los objetivos del proyecto.

CSIC (IEO-Canarias)	2024	2025	2026	Total proyecto
Costes de personal	0,00 €	59.028,00 €	46.554,00 €	105.582,00 €
Viajes y dietas	0,00 €	1.000,00 €	2.000,00 €	3.000,00 €
Equipamiento	0,00 €	89.900,00 €	0,00 €	89.900,00 €
Fungible	0,00 €	25.971,26 €	9.814,92 €	35.786,18 €
Otros gastos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Total CSIC (IEO-Canarias)</b>	<b>0,00 €</b>	<b>175.899,26 €</b>	<b>58.368,92 €</b>	<b>234.268,18 €</b>
FGULL	2024	2025	2026	Total proyecto
Costes de personal	0,00 €	56.322,18 €	34.959,82 €	91.282,00 €
Viajes y dietas	0,00 €	1.500,00 €	1.500,00 €	3.000,00 €
Equipamiento	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Fungible	918,08 €	2.990,88 €	740,86 €	4.649,82 €
Otros gastos	0,00 €	75.000,00 €	75.000,00 €	150.000,00 €
<b>Total FGULL</b>	<b>918,08 €</b>	<b>135.813,06 €</b>	<b>112.200,68 €</b>	<b>248.931,82 €</b>
<b>TOTAL PROYECTO 5</b>	<b>918,08 €</b>	<b>311.712,32 €</b>	<b>170.569,60 €</b>	<b>483.200,00 €</b>

Por su parte el CSIC (IEO-Canarias) y la ULL aportarán 144.609,83 euros al subproyecto 5 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
<b>CSIC (IEO-Canarias)</b>				
<b>Personal investigador</b>	34.874,78 €	46.874,78 €	22.874,77 €	104.624,33 €
<b>FGULL</b>				
<b>Personal investigador</b>	15.559,50 €	15.559,50 €	6.693 €	39.985,50 €

TOTAL PROYECTO 5	50.434,28 €	62.434,28 €	31.741,27 €	144.609,83 €
------------------	-------------	-------------	-------------	--------------

## 7. Difusión de resultados y divulgación científica

Se propone la asistencia a eventos científicos como congresos y simposios internacionales para dar a conocer los pioneros resultados entre la comunidad científica. Ejemplos de estos eventos serían los congresos anuales que organizan la Sociedad Internacional de Ecoacústica (ISE, <https://www.ecoacoustics2024.org/>) y la Sociedad Europea de Cetáceos (ECS, <https://www.europeancetaceansociety.eu/>). Como se ha comentado previamente, también se depositarán grabaciones sonoras en el Registro mundial de especies marinas (World Register of Marine Species, <https://www.marinespecies.org/>) y en la plataforma Fish Sounds (<https://fishsounds.net/>), y se prepararán publicaciones científicas con los resultados de los análisis, que serán enviadas a revistas internacionales de prestigio. En todas las comunicaciones científicas fruto de este proyecto se mencionaría tanto el proyecto en sí como la procedencia de los fondos, como es costumbre.

Se participará también en jornadas de divulgación científica con resultados del proyecto, organizando comunicaciones para las jornadas de puertas abiertas del IEO-CSIC y la Macaronight de la Noche Europea de los Investigadores (<https://macaronight.eu/>), entre otros eventos.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los resultados serán enviados a Promotur, por lo que se podrán divulgar tanto imágenes como grabaciones sonoras que muestren comportamientos de especies registradas durante el proyecto en las plataformas que se prefieran: páginas web, aplicaciones móviles y otros medios de divulgación, tal y como se detalla en el siguiente apartado de transferencia.

## 8. Beneficios de este proyecto y transferencia

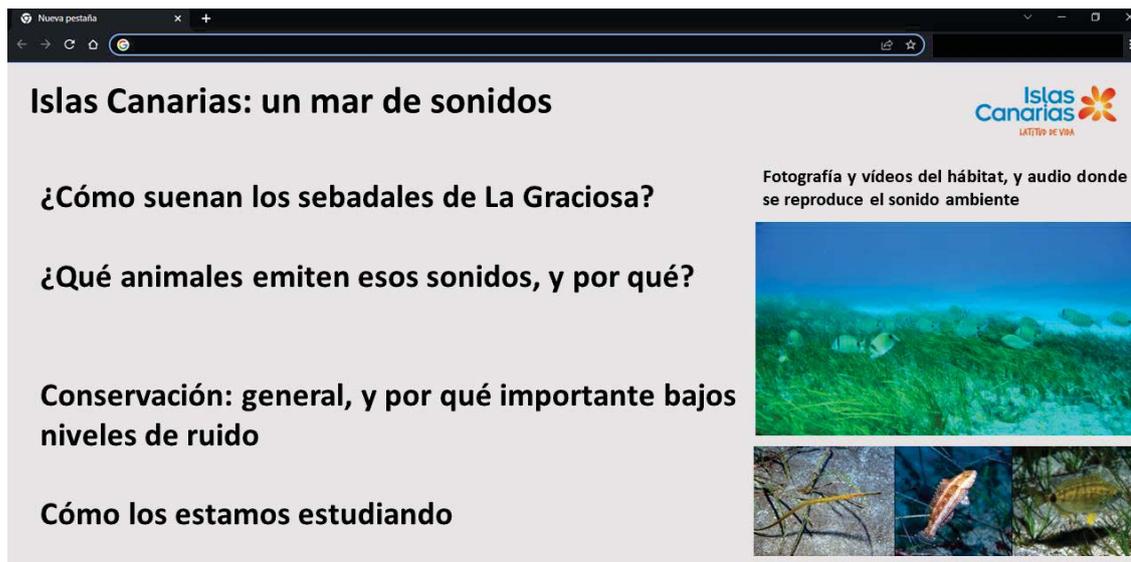
La ejecución de este proyecto conllevaría unos importantes beneficios científicos y de fomento de conservación de las reservas marinas. Se trataría de un monitoreo pionero, grabando datos sonoros continuos y simultáneos en todas las islas. La consiguiente caracterización acústica del ambiente submarino en las reservas de las Islas Canarias sería una aportación para la ciencia que además se podría utilizar como base para la monitorización futura de la evolución de estos santuarios sonoros. Además, la detección de especies como cetáceos, peces e invertebrados permitirá realizar estudios de presencia estacional y uso del hábitat, unos resultados que pueden tener sinergias positivas con otros sectores relacionados con el turismo azul, y que más adelante detallaremos.

La difusión a nivel de público general de estos resultados pretende tener un impacto de concienciación en la gente, tomando conciencia de la presencia de un mar de sonidos en las Islas Canarias. Esto despertará una conciencia de conservación de estos Santuarios sonoros, por

su naturaleza llamativa y por el impacto positivo en los agentes de turismo azul que repercuten luego a nivel local y regional.

### Transferencia – productos para el turismo azul

Se generará una gran cantidad de material divulgativo que podrá exponerse en direcciones web, en aplicaciones móviles y cartelería informativa, entre otros medios (Figuras 3-5). Todo el material, especificado en el apartado de datos e informes, será entregado a Promotur para su posible distribución a empresas de turismo, especialmente para turismo azul como actividades acuáticas y promoción de la marca Islas Canarias: Latitud de vida. Podrá mostrarse cómo son estos Santuarios sonoros tanto de una manera visual como con ejemplos de audio, con información correspondiente a cada una de las reservas ZEC donde se ha colocado una estación de monitoreo (Figura 3).



**Figura 3.** Ejemplo de información sobre la reserva ZEC que podría presentarse en una página web como producto de la transferencia de datos del presente proyecto con destino en los usuarios del turismo azul.

De una manera más concreta, se podrán aportar ejemplos de grabaciones tanto acústicas como en vídeo de especies emblemáticas presentes en las reservas ZEC tales como delfines y meros. Así, los agentes de turismo azul podrán mostrar este contenido a los clientes y usuarios, como valor añadido a las actividades que pueden realizar en las Islas Canarias como el buceo recreativo y el avistamiento de cetáceos en libertad (Figura 4).

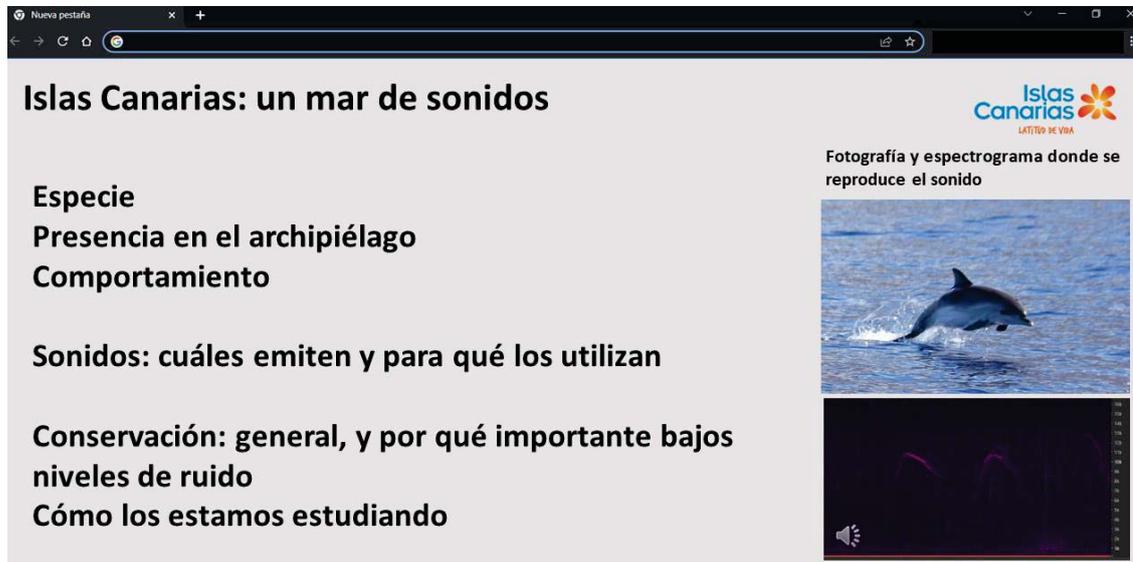


Figura 4. Ejemplo de información sobre especies concretas que podría presentarse en una página web como producto de la transferencia de datos del presente proyecto con destino en los usuarios del turismo azul.

La capacidad de divulgar el conocimiento científico generado a los usuarios del turismo azul es tan grande, que incluso la actividad acuática más básica como es el disfrute de las playas de las islas podrá relacionarse con las especies que pueden escucharse simplemente sumergiendo la cabeza durante el baño, como los característicos chasquidos de los camarones pistola (Figura 5).

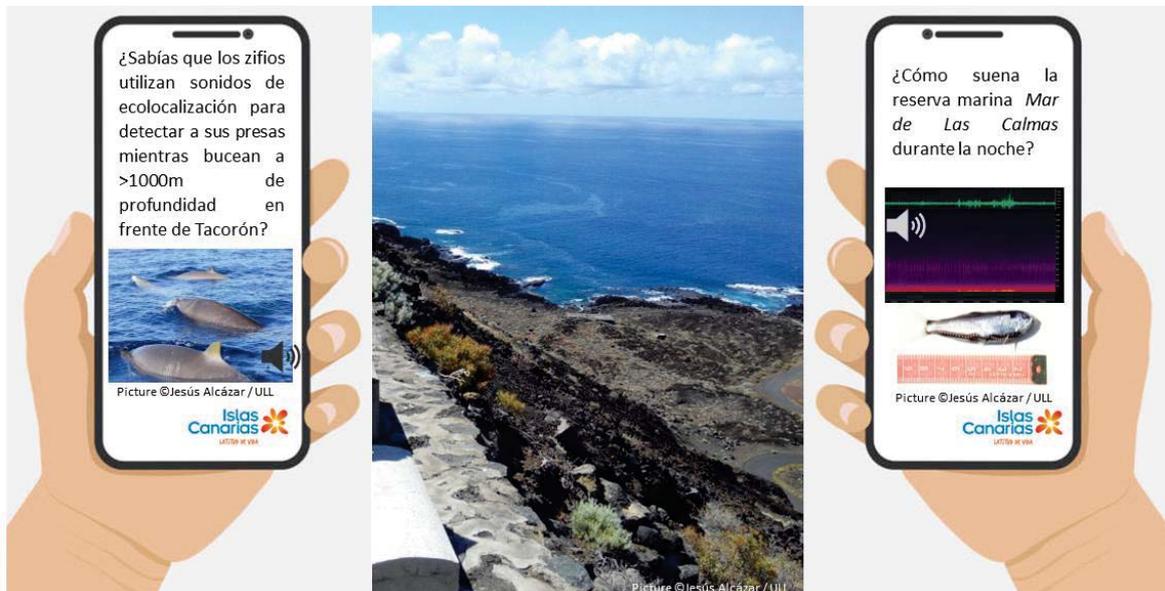


Figura 5. Ejemplo de información de la reserva y las especies principales que emiten sonidos característicos. Sugerencia de presentación en una aplicación móvil como producto de la transferencia de datos del presente proyecto con destino en los usuarios del turismo azul.

Estos ejemplos pretenden demostrar cómo con la base de datos científica que habremos generado durante el proyecto se creará a su vez una capa inteligente de ciencia aplicada a la divulgación y la valorización del producto del turismo azul, beneficiando a todos los agentes implicados. Esto incluye desde la propia conservación de las reservas marinas ZEC, a la producción científica puntera a nivel internacional generada desde el ámbito regional, la divulgación al público general y especialmente el acercamiento del usuario del turismo azul al producto. Esto se traduciría en mejoras en el servicio ofrecido por parte de los agentes de turismo azul en las Islas Canarias, fomentando la necesaria convivencia entre los espacios naturales y el turismo responsable que genere beneficios a nivel local y regional.

## 9. Referencias y bibliografía

- Alcázar-Treviño, J., Johnson, M., Arranz, P., Warren, V. E., Pérez-gonzález, C. J., Marques, T., Madsen, P. T., & Soto, N. A. De. (2021). Deep-diving beaked whales dive together but forage apart. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1942), 20201905. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1905>
- Alonso, J., García-Bellido, E., & Prados, S. (2017). La red natura 2000 marina. *Ambienta*, 82–95.
- Amorim, M. C. P., Vasconcelos, R. O., & Fonseca, P. J. (2015). Fish Sounds and Mate Choice. In F. Ladich (Ed.), *Sound Communication in Fishes* (pp. 1–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1846-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1846-7_1)
- Arranz, P., Miranda, D., Gkikopoulou, K. C., Cardona, A., Alcazar, J., Aguilar de Soto, N., Thomas, L., & Marques, T. A. (2023). Comparison of visual and passive acoustic estimates of beaked whale density off El Hierro, Canary Islands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153(4), 2469. <https://doi.org/10.1121/10.0017921>
- Berman, T., Walline, P. D., Schneller, A., Rothenberg, J., & Townsend, D. W. (1985). Secchi disk depth record: A claim for the eastern Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 30(2), 447–448. <https://doi.org/10.4319/lo.1985.30.2.0447>
- Bolgan, M., Crucianelli, A., Mylonas, C. C., Henry, S., Falguière, J. C., & Parmentier, E. (2020). Calling activity and calls' temporal features inform about fish reproductive condition and spawning in three cultured Sciaenidae species. *Aquaculture*, 524(March), 735243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735243>
- Canarias, O. E. (2022). *Economía azul: una oportunidad para Canarias*. <https://www.odsempresascanarias.org/economia-azul-una-oportunidad-para-canarias/>
- Coquereau, L., Grall, J., Clavier, J., Jolivet, A., & Chauvaud, L. (2016). Acoustic behaviours of large crustaceans in NE Atlantic coastal habitats. *Aquatic Biology*, 25, 151–163. <https://doi.org/10.3354/ab00665>
- Couvreur, C., & Couvreur, I. (1997). Implementation of a one-third-octave filter bank in Matlab. *Applied Acoustics*, 1–12. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.57.5728>
- Cutter, G., Stierhoff, K., & Zeng, J. (2015). Automated detection of rockfish in unconstrained underwater videos using haar cascades and a new image dataset: Labeled fishes in the wild. *Proceedings - 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops, WACVW 2015, February*, 57–62. <https://doi.org/10.1109/WACVW.2015.11>

- Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguiluz, V. M., Erbe, C., Gordon, T. A. C., Halpern, B. S., Harding, H. R., Havlik, M. N., Meekan, M., Merchant, N. D., Miksis-Olds, J. L., Parsons, M., Predragovic, M., Radford, A. N., Radford, C. A., Simpson, S. D., ... Juanes, F. (2021). The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science*, 371(6529). <https://doi.org/10.1126/science.aba4658>
- Edgington, D. R., Salamy, K. A., Risi, M., Sherlock, R. E., Walther, D., & Koch, C. (2003). Automated event detection in underwater video. *Oceans Conference Record (IEEE)*, 5. <https://doi.org/10.1109/oceans.2003.178344>
- European Commission. (1992). *COUNCIL DIRECTIVE 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01992L0043-20130701>
- European Commission. (2017). Commission Decision (EU) 2017/ 848 - of 17 May 2017 - laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardized methods for monitoring and assessment, . *Official Journal of the European Union*, 2017(May 2017), 43–74.
- Gillespie, D., Gordon, J., Mchugh, R., McLaren, D., Mellinger, D., Redmond, P., Thode, A., Trinder, P., & Deng, X. Y. (2009). PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localisation of cetaceans. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 30, 2547.
- Jensen, F. H., Perez, J. M., Johnson, M., Soto, N. A., & Madsen, P. T. (2011). Calling under pressure: short-finned pilot whales make social calls during deep foraging dives. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 278(1721), 3017–3025. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2604>
- King, S. L., & Janik, V. M. (2015). Come dine with me: food-associated social signalling in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Animal Cognition*, 18(4), 969–974. <https://doi.org/10.1007/s10071-015-0851-7>
- Luczkovich, J. J., & Sprague, M. W. (2022). Soundscape Maps of Soniferous Fishes Observed From a Mobile Glider. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.779540>
- Madsen, P. T., Johnson, M. P., Aguilar de Soto, N., Zimmer, W. M. X., & Tyack, P. L. (2005). Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*). *The Journal of Experimental Biology*, 208(Pt 2), 181–194. <https://doi.org/10.1242/jeb.01327>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Boletín Oficial del Estado. (2011). *Orden ARM/2417/2011, de 30 de agosto, por la que se declaran zonas especiales de conservación los lugares de importancia comunitaria marinos de la región biogeográfica Macaronésica de la Red Natura 2000 y se aprueban sus correspondientes medidas de conser* (pp. 97238–97988).
- Mouy, X., Black, M., Cox, K., Qualley, J., Mireault, C., Dosso, S., & Juanes, F. (2020). FishCam: A low-cost open source autonomous camera for aquatic research. *HardwareX*, 8, e00110. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00110>
- Putland, R. L., Mackiewicz, A. G., & Mensinger, A. F. (2018). Localizing individual soniferous fish using passive acoustic monitoring. *Ecological Informatics*, 48(June), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.08.004>
- Romagosa, M., Pérez-Jorge, S., Cascão, I., Mouriño, H., Lehodey, P., Pereira, A., Marques, T. A., Matias, L., & Silva, M. A. (2021). Food talk: 40-Hz fin whale calls are associated with

prey biomass. *Proceedings of the Royal Society B*, July.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1156>

Thomas, R., Vaughan, I., & Lello, J. (2013). *Data Analysis with R Statistical Software - A Guidebook for Scientists*. Eco-Explore CIC.

Van Cise, A. M., Mahaffy, S. D., Baird, R. W., & Barlow, J. (2018). Song of my people: Dialect differences among sympatric social groups of short-finned pilot whales in Hawai'i. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *In press*, 1–13.

Zemanova, M. A. (2020). Towards more compassionate wildlife research through the 3Rs principles: Moving from invasive to non-invasive methods. *Wildlife Biology*, *2020*(1), 1–17. <https://doi.org/10.2981/wlb.00607>

## Proyecto 6. Islas Canarias: Referente para el Estudio de la Calidad de las Aguas del Planeta.

**IP1: Dr. Eugenio Fraile Nuez**  
*Investigador Científico*

**IP2: Dra. Alba González Vega**  
*Investigadora*

*Instituto Español de Oceanografía (IEO-Tenerife)*  
*Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

### *Memoria científico-técnica*

## Resumen

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) destaca la crítica función del océano en el sistema climático global, observando el aumento del calentamiento oceánico y la disminución de la clorofila-*a* o la acidificación oceánica con variaciones en el sistema del dióxido de carbono, lo que sin duda, presenta desafíos significativos para los ecosistemas marinos. Ante este panorama, las observaciones satelitales se revelan como herramientas vitales y eficientes para monitorear extensas áreas oceánicas y comprender los cambios en la temperatura superficial del mar (SST), la distribución de clorofila-*a*, el aumento del pCO<sub>2</sub>, la disminución del pH, la disminución del oxígeno disuelto, etc.

Respaldo por PROMOTUR Turismo de Canarias, este proyecto busca construir una capa de datos inteligentes oceánicos y atmosféricos de alta resolución. Además de contribuir al turismo azul, la iniciativa impulsa la ayuda al desarrollo de plataformas digitales para mejorar la experiencia turística y la gestión de destinos. La fusión de observaciones satelitales atmosféricas y oceanográficas, posicionará a Canarias como líder mundial en el estudio del clima. Este impacto no solo se limita a nivel global, sino que también tiene consecuencias locales, mejorando la comprensión de los procesos climáticos y fomentando la conservación de recursos cruciales para la economía y turismo azul de las Islas Canarias.

Al ser una convergencia de tecnología satelital avanzada y ciencia aplicada, esta iniciativa se presenta como un hito significativo, promoviendo la sostenibilidad y el liderazgo de las Islas Canarias en el estudio y conservación de los entornos marinos y atmosféricos a nivel internacional. Contribuyendo además, a la lucha por la obtención de una de las infraestructuras satelitales más importantes a nivel mundial para la calibración satelital (OC-SVC) y referente para el estudio de la calidad de las aguas del Planeta.

## 1. Antecedentes

**Las Islas Canarias en el foco de atención de la comunidad internacional por desbancar a todos los países del mundo con sus inmejorables condiciones oceanográficas y atmosféricas.**

El Archipiélago Canario, ubicado en el Océano Atlántico al sureste del Giro Subtropical de la corriente del Atlántico Norte, destaca por su posición geográfica privilegiada. Este enclave único le confiere condiciones

atmosféricas y oceanográficas excelentes, consolidándolo como poseedor de uno de los mejores climas a nivel mundial.

La gestación de la candidatura "El Hierro - Mar de Las Calmas" para acoger la Infraestructura OC-SVC de EUMETSAT tuvo inicio en el año 2018, coincidiendo con la convocatoria global de la Agencia Europea de Meteorología EUMETSAT para identificar el emplazamiento óptimo en el planeta destinado a albergar una infraestructura única de calibración satelital. Este proyecto se fundamenta en la imperativa necesidad de establecer un centro de calibración oceánica distintivo en el Océano Atlántico, con el objetivo de respaldar el Programa Copernicus de la Comisión Europea.

Denominada Ocean Colour System Vicarious Calibration (OC-SVC), esta infraestructura desempeña un papel esencial en la calibración continua de sensores radiométricos instalados en satélites europeos (EUMETSAT), americanos (NOAA) y japoneses. Estos sensores tienen la misión de medir la reflectancia del agua y diversos productos bio-ópticos en los océanos globales (Fraile-Nuez, et al., 2021a-d). La propuesta de El Hierro como sede para esta instalación se basa en su idónea ubicación geográfica, la pureza de sus aguas y la claridad atmosférica, factores que lo posicionan como un entorno privilegiado para el monitoreo satelital.

Este proyecto no solo implica una contribución significativa a la investigación y calibración satelital, sino que también resalta la importancia estratégica de El Hierro y Canarias como epicentro para el avance de la comprensión global de los procesos oceánicos y atmosféricos.

En estos momentos, Canarias ha pasado con éxito a la 4ª Fase de evaluación científica, programada para el primer semestre de 2024 con dos años de duración, hasta finales de 2026, en la que se determinará la ubicación final de esta infraestructura. La candidatura de "El Hierro - Mar de Las Calmas" compite con Creta Sur (Grecia) entre las cinco propuestas iniciales. Este esfuerzo se enmarca en la misión del Programa Copernicus de encontrar una ubicación estratégica para la infraestructura OC-SVC, gestionada por EUMETSAT (Fraile-Nuez, et al., 2021a-d).

Las aplicaciones de esta infraestructura son de vital importancia, abarcando la monitorización del clima, la calidad del agua y la pesca. La misión satelital "Ocean Colour" desempeña un papel clave en los servicios oceánicos y la economía azul, con un valor económico significativo. La investigación científica marina, en particular, es esencial para reducir la incertidumbre en las estimaciones del secuestro de carbono, con un impacto financiero estimado en cientos de miles de millones de euros.

EUMETSAT, gestionando el desarrollo de la infraestructura OC-SVC para el Programa Copernicus, busca asegurar la autonomía de Europa en la calibración de los sensores Sentinel de observación del océano para las próximas dos décadas. Actualmente, solo existe una infraestructura similar, gestionada por Estados Unidos en Hawaii. La ubicación geográfica única de Canarias, con El Hierro en el extremo occidental, brinda condiciones óptimas para este proyecto.

### **¿Por qué es importante observar el océano desde el espacio?**

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha identificado el papel crítico del océano para comprender la variabilidad del sistema climático de la Tierra (IPCC, 2007, 2013, 2019) (Siemer et al., 2021). Se ha observado un aumento significativo en las tendencias de calentamiento global en la mayoría de las regiones oceánicas, tanto en la superficie como en las capas profundas (Johnson & Lyman, 2020). Los cambios en la temperatura de la superficie del mar (SST) tienen importantes implicaciones en los patrones de circulación oceánica y el funcionamiento del ecosistema (Winton et al., 2012). La señal global de calentamiento oceánico se acompaña de una tendencia decreciente en la clorofila-*a* (Chl-*a*) durante las últimas décadas (Behrenfeld et al., 2006). La capa fótica es de gran preocupación científica, ya que al menos el 50% de la producción primaria neta (NPP) global es oceánica (Lindeman, 1942). El fitoplancton marino no solo proporciona carbono fijo para niveles tróficos superiores y libera oxígeno, sino que también constituye la base de la mayoría de las redes alimentarias oceánicas (Field, 1998). Se han informado efectos del calentamiento global en el fitoplancton y otras especies marinas, como cambios en la tasa de crecimiento, desplazamiento del hábitat latitudinal y extinciones de especies (Xiu et al., 2018).

Las observaciones satelitales son medidas útiles, rentables y eficientes en tiempo para recuperar y analizar una amplia gama de datos captados de manera remota en extensas áreas oceánicas (Arabi et al., 2020). Áreas oceanográficas específicas como las giros subtropicales y los Sistemas de Upwelling de las Fronteras Orientales (EBUS) muestran tendencias espaciales y temporales diferentes en SST y Chl-*a* (Polovina et al., 2008). Los giros subtropicales son uno de los ecosistemas marinos más grandes, cubriendo el 40% de la superficie oceánica global. Aunque la productividad en estos giros subtropicales suele ser baja, su inmenso tamaño los convierte en una importante fuente a la producción primaria global. Recientemente, se ha informado de concentraciones decrecientes de Chl-*a* en los cinco giros subtropicales (Martinez et al., 2020). Además, se ha reportado que las áreas oligotróficas en los giros subtropicales se están expandiendo con una tasa acelerada (Meng et al., 2021). En general, se espera que el calentamiento de la superficie oceánica incremente la estratificación, resultando en un limitado intercambio vertical con las capas inferiores del océano y una reducción en la disponibilidad de nutrientes en la capa fótica.

Por otro lado, los Sistemas de Upwelling de las Fronteras Orientales (EBUS) son áreas altamente productivas que contribuyen aproximadamente al 20% de la producción pesquera global a pesar de abarcar solo el 1% del océano global (Cropper et al., 2014). En las últimas décadas, los cuatro principales sistemas de afloramiento (California, Benguela, Perú y Canarias) han mostrado un aumento en la temperatura de la superficie del mar (SST) (Demarcq, 2009). Además, se observó un fortalecimiento de los vientos favorables para los afloramientos hacia el ecuador en la mayoría de los EBUS (Bakun, 1990). Sin embargo, mientras que se han observado concentraciones crecientes de Chl-*a* en la mayoría de los EBUS, áreas extensas en el sistema de afloramiento de Canarias han mostrado tendencias recientes a la baja en Chl-*a* (basado en modelos de color oceánico).

El giro subtropical del Atlántico Norte Oriental (NASE) constituye el hábitat natural perfecto para estudiar las tendencias recientes en SST y Chl-*a* en configuraciones oceanográficas específicas, como áreas de afloramiento y oligotróficas. Aunque varios autores han centrado sus investigaciones en las tendencias de estas variables en el NASE, detectando una variedad de cambios importantes (Aristegui et al., 2009; Siemer et al., 2021), existe una falta de análisis de series temporales de alta resolución a largo plazo y cómo esos cambios podrían afectar áreas específicas sensibles en el NASE (Siemer et al., 2021).

Por ello, se hará énfasis en el análisis combinado de conjuntos de datos captados de manera remota de la temperatura de la superficie del mar (SST) y clorofila-*a* (Chl-*a*), así como sus tendencias en diferentes áreas oceanográficas en el giro subtropical del Atlántico Norte Oriental (NASE) y Canarias a lo largo de las últimas cuatro décadas. Además, se examinará la evolución temporal y la distribución espacial de las áreas productivas (Chl-*a* > 2 mg m<sup>-3</sup>) y las áreas denominadas como "desiertos oceánicos" improductivos (Chl-*a* < 0.07 mg m<sup>-3</sup>). Finalmente, el proyecto tiene como objetivo evaluar si las tendencias locales en el giro subtropical del Atlántico Norte Oriental y en Canarias corresponden con las observadas a nivel global. Para lograrlo, se estudiarán estimaciones derivadas de satélites de SST y Chl-*a* en la superficie, en dos entornos extremos: el giro subtropical del Atlántico Norte Oriental y su Sistema de afloramiento.

### **Islas Canarias: Referente para el Estudio de la Calidad de las Aguas del Planeta**

Este proyecto, "Islas Canarias: Referente para el Estudio de la Calidad de las Aguas del Planeta" financiado dentro de las acciones de PROMOTUR Turismo de Canarias para actuaciones de Cohesión de Destinos – Canarias Eco ínsulas, y antesala de la posible instalación en Canarias de la infraestructura de calibración satelital OC-SVC, pretende construir una capa de datos inteligentes oceánicos y atmosféricos de alta resolución que ayude, con datos científicos, al producto turismo azul. Además, ayudará al desarrollo de plataformas digitales para mejorar la experiencia del turista y una mejor interrelación entre el turista y el destino. Esta plataforma permitirá además a los gestores de los destinos y del producto turístico el acceso y tratamiento de la información almacenada de forma directa.

Esta acción por tanto, promete situar a Canarias en la vanguardia mundial del estudio integral del clima, fusionando observaciones satelitales, atmosféricas y oceanográficas. Más allá del impacto global, la iniciativa tendría consecuencias significativas a nivel local, mejorando la comprensión de los procesos climáticos y promoviendo la

conservación de los recursos que sustentan la economía de la isla de El Hierro. La infraestructura propuesta no solo beneficiaría a la comunidad científica internacional, sino que también sería crucial para el desarrollo sostenible y la gestión ambiental de la región.

## 2. Objetivos

A través de la integración de tecnologías satelitales avanzadas y ciencia aplicada, este proyecto tiene como **objetivo destacar la relevancia del entorno oceánico y atmosférico de Canarias**. Influenciado por sus características geográficas únicas, este proyecto ayudará además a obtener datos de valor para ser más competitivos ante la fase 4 de selección de la posible instalación de la infraestructura de calibración satelital OC-SVC en Canarias. Se busca por tanto, construir una capa de datos inteligentes de alta resolución que impulse el turismo azul mediante el uso de datos científicos para mejorar la experiencia del turista y facilitar la gestión de destinos, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la conservación de los recursos marinos en la región. La fusión de observaciones satelitales atmosféricas y oceanográficas posicionará a Canarias como líder mundial en el estudio integral del clima, promoviendo la sostenibilidad y consolidando su liderazgo en la investigación y monitorización de los océanos a nivel internacional. Además, este proyecto será un referente clave para el estudio de la calidad de las aguas a nivel global, contribuyendo significativamente al conocimiento científico y al desarrollo de soluciones innovadoras para la preservación de nuestros entornos marinos y atmosféricos.

Para conseguir estos objetivos, se plantea:

2.1.- Desarrollar, en tiempo real, una capa de inteligencia científica para el estudio de parámetros oceanográficos y atmosféricos en las Islas Canarias.

2.2.- Determinar las tendencias climáticas de la temperatura superficial del océano, Producción Primaria y Clorofila-a, en diferentes áreas oceanográficas en el Giro Subtropical del Atlántico Norte Oriental y Canarias a lo largo de las últimas cuatro décadas. Además de series propias en Canarias de Temperatura, salinidad, clorofila-a, oxígeno disuelto, pH y pCO<sub>2</sub>.

2.3.- Examinar la evolución temporal y la distribución espacial de las áreas productivas (Chl-a > 2 mg m<sup>-3</sup>) y las áreas denominadas como "desiertos oceánicos" improductivos (Chl-a < 0.07 mg m<sup>-3</sup>).

2.4.- Calibración, mediante datos in situ, de los datos incorporados a la capa de inteligencia científica para estudios de parámetros oceanográficos y atmosféricos en las Islas Canarias (temperatura, salinidad, pH, pCO<sub>2</sub>, nutrientes inorgánicos, clorofila-a y oxígeno disuelto)

## 3. Metodología

Se seleccionará un área de estudio que abarcará el giro subtropical del Atlántico Norte Oriental (NASE, 20°N–45°N; 30°W–5°W) incluyendo todo el Archipiélago Canario y zonas circundantes hasta el continente africano. Con el fin de examinar tendencias lineales espaciales en regiones clave, se identificaron tantas subregiones significativas como se estime oportuno.

### 3.1. Tendencias Climáticas de la Temperatura Superficial del Océano (SST)

Responsable: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC)

Colaboradores: Pedro Llanillo (IEO-CSIC), Contratado 1 (IEO-CSIC), Contratado 2 (IEO-CSIC).

Los datos de la Temperatura de la Superficie del Mar (SST) se adquirirán de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) mediante interpolación óptima de datos satelitales y observaciones in situ de boyas y buques oceanográficos (<https://www.ncei.noaa.gov/data/sea-surface-temperature-optimum-interpolation/v2/access/avhrr-only/>). Se empleará el Radiómetro Advanced Very High Resolution Radiometer

(AVHRR) para las mediciones satelitales de SST. Los datos in situ de SST provienen del Conjunto Internacional de Datos Océano-Atmósfera (ICOADS). La resolución espacial del análisis es de  $0.25^\circ$ , con una resolución temporal diaria. Los datos de SST irregularmente espaciados se transformarán en una malla regular (Reynolds et al., 2007). La serie temporal original de SST abarca más de 40 años, desde 1981 hasta la fecha actual. Para validar el registro de SST por teledetección proporcionado por NOAA, se realizará una validación regional utilizando conjuntos de datos in situ independientes de los asimilados en la reanálisis de Reynolds et al. (2007) y datos obtenidos durante el proyecto por sensores marinos cercanos al Centro Oceanográfico de Canarias en Tenerife.

Se utilizarán regresiones lineales de ajuste robusto (Holland y Welsch, 1977) y regresiones lineales simples (Chatterjee y Hadi, 1986) para evaluar las tendencias temporales de diferentes variables. La regresión lineal simple se utilizará para los datos de SST y áreas productivas e improductivas. Estas metodologías de ajuste lineal se aplicarán a las anomalías de las diferentes variables, que se obtendrán restando el componente de la media estacional de la serie temporal original (Siemer et al., 2021). Finalmente, las tendencias temporales se calcularán utilizando la pendiente y la intersección de la regresión lineal de las anomalías de cada variable. Se utilizarán anomalías para calcular las tendencias de todas las variables.

### 3.2. Tendencias climáticas de color del océano (Clorofila-a)

Responsable: Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC)

Colaboradores: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC), Pedro Llanillo (IEO-CSIC), Contratado 1 (IEO-CSIC), Contratado 2 (IEO-CSIC).

Los datos de Clorofila-*a* serán proporcionados por el Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS). El producto Copernicus-GlobColour, fusiona tres algoritmos (Garnesson et al., 2019). Se utilizarán diferentes sensores de color del océano (SeaWiFS, MODIS Aqua, MODIS Terra, MERIS, VIIRS NPP, VIIRS-JPSS1 OLCI-S3A, y S3B) para producir las observaciones. Los datos originales, con una resolución de 4 km, se pasarán a una malla de resolución de  $0.25^\circ$  con una frecuencia temporal diaria. Los datos utilizados corresponderán al producto interpolado "libre de nubes" de nivel 4, tanto de día como de noche (Siemer et al., 2021). El conjunto de datos original abarcará el período desde septiembre de 1997 hasta hoy (Garnesson et al., 2019; <https://resources.marine.copernicus.eu/>).

Se utilizará la regresión lineal de ajuste robusto (Dumouchel y O'Brien, 1991) para evaluar las tendencias temporales de los datos de clorofila-*a*, abordando específicamente las tendencias de clorofila-*a* y los días productivos e improductivos (Siemer et al., 2021). Esto se debe a la menor sensibilidad de la regresión lineal de ajuste robusto a valores atípicos, según lo señalado por Demarcq en 2009. La metodología de ajuste lineal se aplicará a las anomalías de los datos de clorofila-*a*, las cuales se obtendrán restando el componente de la media estacional de la serie temporal original. Finalmente, las tendencias temporales de la clorofila-*a* se calcularán mediante la pendiente e intersección de la regresión lineal de las anomalías de esta variable.

### 3.3. Evolución temporal y distribución espacial de áreas productivas ( $\text{Chl-}a > 2 \text{ mg m}^{-3}$ ) y áreas denominadas como "desiertos oceánicos" improductivos ( $\text{Chl-}a < 0.07 \text{ mg m}^{-3}$ ).

Responsable: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC),

Colaboradores: Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), Pedro Llanillo (IEO-CSIC), Contratado 1 (IEO-CSIC), Contratado 2 (IEO-CSIC).

Con las imágenes adquiridas a alta resolución de Chl-*a* satelital, se calculará la extensión real de cada píxel de la cuadrícula espacial teniendo en cuenta la variación en la distancia con la longitud para calcular la extensión productiva (píxeles con  $\text{Chl-}a > 2 \text{ mg m}^{-3}$ ) en las áreas de afloramiento cercanas al archipiélago Canario y las áreas desérticas no productivas (píxeles con  $\text{Chl-}a < 0.07 \text{ mg m}^{-3}$ ) en las áreas del océano abierto. La metodología para obtener el área desértica se ha adaptado de la descrita por Polovina et al. (2008). Se calculará una medida adicional contando el número de días por año en que las áreas de afloramiento y las áreas de océano abierto sean productivas

(días con Chl-*a* > 2 mg m<sup>-3</sup>) y no productivas (días con Chl-*a* < 0.07 mg m<sup>-3</sup>) respectivamente (Siemer et al., 2021). Los datos satelitales de Chl-*a* deberán ser validados con datos in situ de recogidos durante los muestreos de agua establecidos en el punto 3.4. de esta memoria.

### 3.4. Medidas in-situ: sistema del CO<sub>2</sub> en agua de mar (alcalinidad total (TA), pH, carbono inorgánico disuelto (DIC) y su composición isotópica), Oxígeno disuelto, Nutrientes Inorgánicos y Clorofila-*a*

Responsable: Marta Álvarez (IEO-CSIC)

Colaboradores: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC), Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Carmen Presas (IEO-CSIC), Contratado 1 (IEO-CSIC), Contratado 2 (IEO-CSIC).

Con el fin de calibrar los datos satelitales obtenidos del programa Copernicus, se utilizará, a falta de la instalación de la boya de calibración satelital que se pretende ubicar en Canarias a raíz de este proyecto (Candidatura Mar de Las Calmas – El Hierro), datos in situ proporcionados por sensores de Temperatura, Fluorescencia, oxígeno disuelto, nutrientes inorgánicos y otros parámetros como el sistema del CO<sub>2</sub> que dará cobertura a programas internacionales transversales como ICOS. Estas medidas son fundamentales para la calibración de los datos en tiempo real suministrados desde el proyecto. Los sensores estarán ubicados en una instalación anexa (Estación de Muestreo IEO-CSIC, Figura 1) próxima al Centro Oceanográfico de Canarias – Tenerife y perteneciente a la misma institución, con acceso directo al mar. Un sistema de bombas traerán de forma continua agua del exterior de la dársena pesquera de Santa Cruz de Tenerife para ser analizada en continuo por esta instrumentación de altísima resolución y precisión.



Figura 1.- Mapa Localización IEO-CSIC y su Estación de muestreo con toma directa al océano. Dentro se instalarán todos los sensores de monitoreo en tiempo real

Las variables del sistema del CO<sub>2</sub> se determinarán siguiendo protocolos estandarizados (Dickson et al., 2007), usando medidas espectrofotométricas para pH, potenciométricas para TA y culombimétricas para DIC. La precisión y exactitud de los análisis se controlarán mediante el uso de material de referencia certificado de CO<sub>2</sub> (Dickson lab, SIO, USA). Las muestras deberán filtrarse según el procedimiento de Bockmon and Dickson (2014). Se almacenarán en botellas de borosilicato de 500 ml y conservarán con HgCl<sub>2</sub> para su envío al laboratorio de análisis.

Los nutrientes se determinarán haciendo uso de un sistema automatizado de cinco canales Technicon-Bran Luebbe AA III AutoAnalyzer para determinación por análisis de flujo continuo segmentado (SCFA) usando la metodología descrita por (Tréguer et al., 1976) para nitratos y nitritos, (Folkard, 1978) para silicatos y USEPA(1997) para fosfatos, el amonio se analizará por fluorimetría utilizando el método de derivatización mediante reacción con la orto-ftaldialdehído en medio sulfuroso de (Kérouel and Aminot, 1997).

El contenido en oxígeno disuelto será determinado a través del método Winkler (Winkler and Whaley, 1888) con las modificaciones posteriores de (Carpenter, 1965) y (Carret and Carpenter, 1966).

Además, se tomarán muestras para el análisis de la concentración de Clorofila-*a* por fluorescencia (Estrada, 2012).

### 3.5. Capa de inteligencia científica de datos oceanográficos y atmosféricos

Responsable: Eugenio Fraile Nuez (IEO-CSIC)

Colaboradores: Jesús M. Arrieta (IEO-CSIC), Pedro Llanillo (IEO-CSIC), José Antonio Lozano (IEO-CSIC), Carmen Presas Navarro (IEO-CSIC), José Escáñez Pérez (IEO-CSIC), Contratado 1 (IEO-CSIC), Contratado 2 (IEO-CSIC), Contratado 3 (IEO-CSIC).

Con el objetivo de establecer la Capa de Inteligencia Científica de Datos Oceanográficos y Atmosféricos, se requiere una metodología integral que aborde la complejidad inherente a la recopilación y análisis de información en estas medidas. En primer lugar, se debe diseñar un marco de trabajo que defina claramente los objetivos específicos de la capa, identificando las variables oceanográficas y atmosféricas relevantes para el proyecto. La adquisición de datos debe realizarse utilizando sensores y plataformas avanzadas, asegurando la calidad y precisión de la información recopilada (apartado 6.4). La plataforma submarina se instalará en la isla de El Hierro (punto exacto por concretar), cerca de la zona donde se instalará la plataforma de calibración satelital de EUMETSAT. Se debe prestar especial atención a la resolución temporal y espacial, garantizando la representación adecuada de fenómenos críticos. La interoperabilidad y la estandarización de los datos son elementos clave, facilitando la colaboración entre diversas fuentes y permitiendo la integración de datos oceanográficos y atmosféricos con otras capas de inteligencia científica. Se establecerá un proceso de validación riguroso para garantizar la fiabilidad de los resultados, involucrando a expertos en oceanografía y meteorología en la verificación y evaluación de los datos y predicciones generadas por la capa.

## 4. Seguimiento y mecanismos efectivos de evaluación

El seguimiento y la evaluación del proyecto se llevarán a cabo mediante un enfoque integral que abarcará diversos aspectos. Se establecerá un sistema de informes periódicos, conforme a los términos y condiciones establecidos en la memoria del proyecto o en el convenio con la entidad financiadora. Estos informes proporcionarán un análisis detallado del progreso, los hitos alcanzados y cualquier desviación con respecto al plan original (Cronograma, Tabla 1).

Además, se buscará la máxima visibilidad y difusión de los resultados a través de la publicación de investigaciones en revistas científicas de alto impacto. La participación en congresos científicos especializados será otro medio para compartir los hallazgos, presentando ponencias y posters que contribuirán al intercambio de conocimientos con la comunidad científica.

El compromiso con la divulgación científica será fundamental, utilizando las plataformas de redes sociales para llegar a un público más amplio. Se prepararán notas de prensa para su distribución a medios de comunicación, facilitando entrevistas en radio, prensa escrita y televisión. Estas acciones no solo contribuirán a la concienciación pública, sino que también fortalecerán la imagen del proyecto y su impacto en la sociedad. La transparencia y la comunicación efectiva serán pilares clave para el éxito y la sostenibilidad del proyecto.



mediciones estables a lo largo de su instalación. El sensor combinado de clorofila-*a* y turbidez está protegido por una placa frontal de cobre y un pequeño limpiaparabrisas que impide que se adhieran partículas biológicas o microalgas. Todos los sensores del HydroCAT-EP se construyen con materiales de alta calidad y una electrónica avanzada, pero además, proporcionan una metodología de calibración rápida y sencilla para optimizar el rendimiento del equipo en el campo.



Sensors	Range	Accuracy	Typical Stability	Resolution
Conductivity	0- 70 mS/cm (0- 70,000 µS/cm)	± 0.003 mS/cm (3 µS/cm)	0.003 mS/cm (3 µS/cm) per month	0.0001 mS/cm (0.1 µS/cm)
Temperature	-5 to 45°C	± 0.002°C/± 0.01°C (over 32°C)	0.0002°C per month	0.0001°C
Pressure	0- 20 m/0- 100 m/ 0- 350 m	± 0.1% of full scale range	0.05% of full scale range	0.002% of full scale range
Optical Dis- solved Oxygen	200% of surface saturation in all natural waters (fresh and salt)	larger of ± 0.14 mL/L (equivalent to 0.2 mg/L) or ±2%	< 0.03 mL/L / 100,000 samples (20°C) (equivalent to 0.0429 mg/L)	0.005 mL/L (equivalent to 0.07245 mg/L)
pH	0 - 14 pH	± 0.1 pH	0.1 pH 90 Days	.01 pH
Turbidity	0 - 3,000 NTU	± 1%		0.06 - 0.17 based on range
Chlorophyll	0 - 400 µg/L	± 3% signal equiva- lent of Uranine		0.007 - 0.037 based on range

Figura 2.- Sensor Sea-Bird Scientific HydroCAT-EP

## 6.2.- CONTROS HydroFIA™ pH

El CONTROS HydroFIA™ pH es un sistema de flujo continuo diseñado para determinar el valor de pH en soluciones salinas y aguas salobres (Figura 3). Funciona de manera autónoma y puede utilizarse en laboratorios o integrarse fácilmente en sistemas de medición automatizados. Este instrumento es esencial para la investigación en la medición de la acidez oceánica, un indicador clave del cambio climático inducido por el hombre.

**Principio de funcionamiento:** Para determinar el pH, se añade el reactivo m-Cresol Purple a la muestra, y los espectros de absorción se miden mediante espectrometría de absorción VIS a 25°C. A partir de estos datos, se calcula el pH utilizando el enfoque de Mueller y Rehder (2018). En cada medición, solo se inyecta un pequeño volumen del indicador de colorante en la corriente de la muestra.

**Beneficios:** La medición del valor de pH utilizando m-Cresol Purple es un método de medición absoluta. Gracias a su implementación técnica, este analizador no requiere calibración y, por lo tanto, es adecuado para aplicaciones a largo plazo. Además, el analizador se puede utilizar para monitorear procesos biogeoquímicos a corto plazo.

Los bajos requisitos de mantenimiento y el bajo consumo de reactivo contribuyen a periodos de despliegue prolongados. Cuando se agotan los reactivos, los cartuchos pueden intercambiarse fácilmente gracias a un diseño fácil de usar. Además, el bajo consumo de muestra permite determinar el pH a partir de volúmenes pequeños de muestra.



TECHNICAL SPECIFICATIONS			
Detector	VIS absorption spectrometry, Temperature stabilized, bench-top system	Measuring range	pH 7.3 to 8.7
Field application	Surface water	Measurements per cartridge	approx. 16000
Dimensions	480 x 400 x 322 mm	Resolution	0.001
Weight	5.5 kg	Accuracy <sup>1</sup>	±0.003
Temperature range		Precision	±0.001
- water	+5 °C to +30 °C	Measurement cycle	approx. 2 min
- ambient	+5 °C to +30 °C	Power supply	100 VAC to 240 VAC
Salinity range	0 psu to 40 psu	Data Interface	Ethernet, RS-232

Figura 3.- Sensor CONTROS HydroFIA pH

### 6.3.- CONTROS HydroC™ CO2 FT

El sensor de presión parcial de dióxido de carbono en agua superficial CONTROS HydroC™ CO2 FT es una herramienta única diseñada para aplicaciones continuas (FerryBox) y de laboratorio (Figura 4). Basado en la innovadora y comprobada tecnología CONTROS HydroC™, que cuenta con un historial envidiable en publicaciones científicas revisadas por pares, el HydroC™ CO2 FT es un sistema internacionalmente confiable y una herramienta esencial para la investigación sobre el cambio climático.

**Calibración individual 'in situ':** Todos los sensores se calibran individualmente en un tanque de agua que simula la temperatura promedio de despliegue. Aquí, se utiliza un detector de referencia sofisticado para verificar las concentraciones de pCO<sub>2</sub> en el tanque de calibración. El sensor de referencia se recalibra diariamente con estándares secundarios de alta calidad, lo que garantiza que los sensores de pCO<sub>2</sub> CONTROS HydroC™ logren una precisión inigualable a corto y largo plazo.

**Principio de funcionamiento:** El agua se bombea a través de la cabeza de flujo del sensor CONTROS HydroC™ CO2 FT. Las moléculas de CO<sub>2</sub> disueltas difunden a través de la membrana TOUGH de película delgada de diseño personalizado recientemente desarrollada hacia el circuito de gas interno que conduce a una cámara de detector. Aquí, la presión parcial de CO<sub>2</sub> se determina mediante espectrometría de absorción infrarroja (IR). Las intensidades de luz infrarroja no dispersiva (NDIR) dependientes de la concentración se convierten en una señal de salida a partir de coeficientes de calibración almacenados en el firmware del sensor y datos de sensores adicionales dentro del circuito de gas.



#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Detector	High-precision optical analyzing NDIR system	Initial accuracy	± 0.5 % of reading
Measuring range <sup>1</sup>	200 – 1,000 µatm	Data format	ASCII and NMEA protocol
Weight	5.3 kg	Connector <sup>3</sup>	Hirschmann-plug CAGLD
Flow rate <sup>2</sup>	2 to 15 l/min	Supply Voltage	11 V - 24 V
Dimensions	325 x 240 x 136 mm	Power Consumption	Approx. 350 mA @ 12 V
Temp range	1°C to 30°	Data Interface	For FT only RS232
Resolution	< 1 µatm	Data format	ASCII, NMEA protocol

Figura 4.- CONTROS HydroC CO2 FT

#### 6.4.- CONTROS HydroC™ CO2 FT

El COSTOF2 representa la última generación de sistemas de adquisición de datos de sensores marinos desarrollados por IFREMER. Este avanzado sistema permite la operación a largo plazo en cualquier plataforma de observación, desde el fondo marino hasta la superficie, proporcionando flexibilidad y fiabilidad en diversas aplicaciones de monitoreo. Características del COSTOF2:

**Compatibilidad con Sensores:** El COSTOF2 está diseñado para operar con una amplia variedad de sensores, incluyendo sensores de presión, temperatura, profundidad, pH, corriente, hidrófonos y otros sensores convencionales. Además, admite sensores de alto volumen de datos, como cámaras de video 4K.

**Capacidad de Sensores Simultáneos:** Puede operar con hasta 12 sensores simultáneamente, dependiendo de la interfaz del sensor, lo que lo convierte en una solución robusta para proyectos complejos de adquisición de datos.

**Interfaz de Conectividad:** El sistema es compatible con diversas interfaces de comunicación, incluyendo Ethernet, RS232, RS485, RS422 e interfaces con cable marino, garantizando una integración eficiente con otros equipos y sistemas de monitoreo.

**Modos de Operación:** En modo autónomo o cableado, los datos recopilados se almacenan en una tarjeta µSD o en un SSD, dependiendo del volumen de datos, asegurando la integridad y disponibilidad de la información.

**Recuperación de Datos:** La recuperación de datos es sencilla y eficiente, ya que puede realizarse a través de Wi-Fi o Ethernet en modo cableado, facilitando el acceso y análisis de la información recopilada.

**Eficiencia Energética:** El COSTOF2 tiene un consumo de energía extremadamente bajo, de solo 1.5 mW en modo de suspensión (modo de bajo consumo), optimizando su operación en condiciones remotas o con recursos limitados.

**Facilidad de Configuración:** La configuración del COSTOF2 se realiza a través de una interfaz web intuitiva, simplificando su implementación y uso en el campo.

Estas características hacen del COSTOF2 un instrumento esencial y eficiente para cualquier proyecto de adquisición de datos marinos, garantizando la recolección precisa y fiable de información en diversas condiciones ambientales.



Characteristics	Payloads & Option
<ul style="list-style-type: none"> <li>Multisensor capacity: up to 12 sensors</li> <li>Supported sensors: sensors with Ethernet or RS232/485/422 or 1-wire interface</li> <li>Multifunction capability: wired and autonomous modes</li> <li>Easy to use: embedded web interface</li> <li>Deployment depth: <ul style="list-style-type: none"> <li>COSTOF2-DW: Up to 6000 m</li> <li>COSTOF2-SW: Up to 200 m</li> </ul> </li> <li>COSTOF2-SURFACE: Waterproof case IP68</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data Storage Capacity: 2 GB <math>\mu</math>SD, 512 GB SSD (up to 2 TB), up to 4 SSD <ul style="list-style-type: none"> <li>Clock Accura <ul style="list-style-type: none"> <li>TXCO (default) Short-term stability (Allan Deviation)<sup>m</sup> at <math>\tau = 1</math> sec: <math>3 \cdot 10^{-6}</math></li> <li>Atomic Clock Short-term stability (Allan Deviation)<sup>m</sup> at <math>\tau = 1</math> sec: <math>3 \cdot 10^{-10}</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>Sensor software driver development kit (available on demand)</li> </ul>
Supplied Hardware	Dimensions
<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy supply and control</li> <li>Communication with the outside world (acoustic, inductive, satellite, 4G modems)</li> <li>Measurement sequencing and local data storage</li> <li>Precise time-stamping, sensors synchronization</li> <li>Protection against biofouling</li> <li>Technical data monitoring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Length: <ul style="list-style-type: none"> <li>COSTOF2-SW / DW: 821 mm</li> <li>COSTOF2-SURFACE: 335 mm</li> </ul> </li> <li>Diameter: 142 mm (COSTOF2-SW / DW)</li> <li>Weight: 21.5 kg (COSTOF2-DW)</li> <li>Width: 204 mm (COSTOF2-SURFACE)</li> <li>Thickness: 92 mm (COSTOF2-SURFACE)</li> </ul>

POWERED BY SDA®

Figura 5.- COSTOF2. Estación de monitoreo submarina de variables oceanográficas.

## 7. PRESUPUESTO

El presupuesto total del subproyecto 5 es de **694.328,84 euros**

La aportación dineraria de Promotur al CSIC para el desarrollo del subproyecto 5, se distribuye en las siguientes partidas:

A continuación, se presenta el presupuesto total del proyecto 6: “Islas Canarias: Referente para el Estudio de la Calidad de las Aguas del Planeta” (Tabla 2).

CSIC (IEO-Canarias)	1ª anualidad	2ª anualidad	3ª anualidad	Total proyecto
Costes de personal	33.416,00 €	132.570,00 €	65.740,00 €	231.726,00 €
Viajes y dietas	4.000,00 €	10.000,00 €	6.000,00 €	20.000,00 €
Equipamiento	0,00 €	229.960,18 €	0,00 €	229.960,18 €
Fungible	16.313,60 €	30.000,00 €	28.240,22 €	74.553,82 €
Otros gastos	8.000,00 €	25.000,00 €	13.000,00 €	46.000,00 €
<b>TOTAL PROYECTO 6</b>	<b>61.729,60 €</b>	<b>427.530,18 €</b>	<b>112.980,22 €</b>	<b>602.240,00 €</b>

Por su parte el CSIC aportarán 92.088,84 euros al subproyecto 6 a través de las horas de trabajo de su personal, distribuido como sigue:

	2024	2025	2026	Total
CSIC (IEO-Canarias)				
Personal investigador	30.696,28 €	41.696,28 €	19.696,28 €	92.088,84 €
<b>TOTAL PROYECTO 6</b>	<b>30.696,28 €</b>	<b>41.696,28 €</b>	<b>19.696,28 €</b>	<b>92.088,84 €</b>

## 7. Difusión de resultados y divulgación científica

La difusión de los resultados y la divulgación científica serán componentes esenciales para maximizar el impacto y la visibilidad del proyecto. Se llevarán a cabo diversas estrategias de difusión, incluyendo:

**Publicaciones Científicas de Alto Impacto:** Los hallazgos del proyecto se compartirán a través de artículos en revistas científicas de prestigio, garantizando la contribución a la comunidad académica y científica internacional.

**Participación en Congresos y Eventos Especializados:** Presentaciones de ponencias y posters en congresos y eventos científicos proporcionarán una plataforma para compartir conocimientos, intercambiar ideas y establecer colaboraciones.

**Divulgación en Redes Sociales:** Se utilizarán plataformas de redes sociales para difundir de manera accesible y comprensible los avances del proyecto, promoviendo la participación y la conciencia pública sobre los temas abordados.

**Comunicados de Prensa y Entrevistas:** La colaboración con medios de comunicación permitirá la difusión de resultados a un público más amplio, facilitando la comprensión de la importancia y relevancia de las investigaciones realizadas.

**Eventos de Divulgación Científica:** Se organizarán eventos específicos para la comunidad local, escolar y general, con el objetivo de compartir los descubrimientos de manera didáctica y fomentar el interés en la ciencia.

Esta estrategia integral de difusión garantizará que los logros del proyecto no solo contribuyan al avance del conocimiento científico, sino que también se traduzcan en un beneficio tangible para la sociedad en general.

## 8. Beneficios de este proyecto y transferencia

El proyecto presenta una serie de beneficios que se extienden tanto a nivel científico como a su aplicación práctica en la sociedad y la toma de decisiones por gestores. Entre los beneficios clave se encuentran:

**Contribución Científica Significativa:** El estudio de las tendencias de variables oceanográficas y atmosféricas en la región del giro subtropical del Atlántico Norte y Canarias proporcionará datos valiosos para la mejor comprensión de fenómenos climáticos globales y su aplicación directa a estudios ecosistémicos marinos.

**Posicionamiento Internacional:** Al respaldar la fase 4 de la instalación pionera de la infraestructura OC-SVC de EUMETSAT, con un monitoreo integral oceanográfico y atmosférico, el proyecto consolidará la posición de Canarias como líder en la investigación y vigilancia de los océanos a nivel internacional. Este hito contribuirá significativamente a la proyección global de Canarias como referente en la comprensión de los procesos marinos y climáticos, estableciendo la región como un actor destacado en la ciencia oceanográfica a escala mundial.

**Aplicaciones Prácticas:** Los datos recopilados serán fundamentales para mejorar la monitorización del clima, la calidad del agua y la pesca, con implicaciones directas en la economía azul y la gestión sostenible de los recursos marinos en general.

**Transferencia de Conocimiento:** A través de informes, publicaciones y eventos de divulgación, el conocimiento generado se transferirá a la comunidad científica, sectores relacionados con el turismo y economía azul y al público en general, promoviendo la comprensión y la conciencia sobre la importancia de la investigación oceanográfica.

**Colaboración Internacional:** La colaboración con entidades como el Instituto Español de Oceanografía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en general, establecerá puentes de cooperación internacional, facilitando el intercambio de conocimientos y la participación en futuras iniciativas científicas.

De forma esquemática este proyecto proporcionaría ciertos hitos científicos de gran valor para el desarrollo de los compromisos de PROMOTUR en campos como la Gestión Inteligente del Producto Islas Canarias, Economía Azul y/o el Turismo Azul:

**Implementación de Infraestructura OC-SVC en Canarias:** Establecimiento exitoso de la infraestructura OC-SVC en Canarias, consolidando la región como líder en investigación oceanográfica y atmosférica.

**Desarrollo de Capa Científica Aplicada al Turismo Sostenible:** Creación y aplicación de una capa inteligente científica para el asesoramiento de la gestión inteligente del turismo azul, proporcionando datos científicos para impulsar iniciativas sostenibles en el sector turístico.

**Generación de Informes y Publicaciones Científicas:** Producción y difusión de informes periódicos, publicaciones científicas en revistas de alto impacto, y otros materiales divulgativos, destacando los aspectos únicos y sostenibles de las Islas Canarias.

**Integración de Datos en la Estrategia de PROMOTUR:** Integración de los datos generados por el proyecto en la estrategia de PROMOTUR para la gestión inteligente del producto Islas Canarias, fortaleciendo la calidad y sostenibilidad de la oferta turística.

**Participación en Congresos Científicos Especializados:** Presentación de ponencias y posters en congresos científicos especializados para compartir hallazgos y avances, consolidando la posición de Canarias en la escena científica internacional.

**Promoción en Redes Sociales y Medios de Comunicación:** Campañas de divulgación científica en redes sociales, notas de prensa, entrevistas en radio, prensa escrita y televisión para aumentar la visibilidad de Canarias como destino sostenible y líder en investigación oceanográfica.

**Desarrollo de Herramientas para Turistas Inteligentes:** Ayuda a la creación de herramientas interactivas y aplicaciones para turistas que utilicen la información científica generada, proporcionando experiencias turísticas enriquecedoras y respetuosas con el medio ambiente.

**Participación en Proyectos de Turismo Azul a Nivel Internacional:** Colaboración activa en proyectos internacionales de turismo azul, posicionando a Canarias como referente global en el desarrollo sostenible del turismo vinculado a los océanos.

Por todo ello, este proyecto no solo tiene el potencial de avanzar significativamente en la comprensión de los procesos oceanográficos y atmosféricos, sino que también generará beneficios tangibles para la sociedad y consolidará la posición de Canarias como actor destacado en la investigación climática y marina a nivel global.

## 9. Referencias y bibliografía

Arabi, B., Salama, M. S., Pitarch, J., & Verhoef, W. (2020). *Integration of in-situ and multi-sensor satellite observations for long-term water quality monitoring in coastal areas. Remote Sensing of Environment*, 239, 1–17.

Arístegui, J., Barton, E. D., Álvarez-Salgado, X. A., Santos, A. M. P., Figueiras, F. G., Kifani, S., et al. (2009). *Sub-regional ecosystem variability in the Canary Current upwelling. Progress in Oceanography*, 83, 33–48.

Bakun, A. (1990). *Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. Science*, 247, 198–201.

Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., et al. (2006). *Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. Nature*, 444, 752–755.

Carpenter, J.H., 1965. *THE ACCURACY OF THE WINKLER METHOD FOR DISSOLVED OXYGEN ANALYSIS. Limnology and Oceanography* 10, 135–140. doi:10.4319/lo.1965.10.1.0135

Carret, D.E., Carpenter, J.H., 1966. *Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler Method of determining dissolved oxygen in Sea water. A. Nasco. Report. J. Mar.*

Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (1986). *Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression. Statistical Science*, 1, 379–393.

Cropper, T. E., Hanna, E., & Bigg, G. R. (2014). *Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off Northwest Africa, 1981-2012. Deep-Sea Research Part I Oceanographic Research Papers*, 86, 94–111.

Demarcq, H. (2009). *Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998-2007). Progress in Oceanography*, 83, 376–385.

Bockmon, E. E., and Dickson, A. G. (2014). A seawater filtration method suitable for total dissolved inorganic carbon and pH analyses. *Limnol. Oceanogr. Methods* 12, 191–195. doi: 10.4319/lom.2014.12.191.

Dickson, A. G., Sabine, C. L., Christian, J. R., Barger, C. P., and North Pacific Marine Science Organization eds. (2007). *Guide to best practices for ocean CO<sub>2</sub> measurements*. Sidney, BC: North Pacific Marine Science Organization.

Dumouchel, W., & O'Brien, F. (1991). *Integrating a robust option into a multiple regression computing environment*. In *Computer science and statistics: Proceedings of the 21st symposium on the interface*. American Statistical Association.

Field, C. B. (1998). Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 4, 954.

Fraile-Nuez, E., Milford, C., Arrieta, J. M., Vélez-Belchí, P., & Cuevas, E. (2021a). *Climatological Characterisation of Ocean Sites for Ocean Colour System Vicarious Calibration: El Hierro (Canary Islands, Spain). Task 1 Report: Climatological and observational data sets*.

Fraile-Nuez, E., Milford, C., Arrieta, J. M., Vélez-Belchí, P., & Cuevas, E. (2021b). *Climatological Characterisation of Ocean Sites for Ocean Colour System Vicarious Calibration: El Hierro (Canary Islands, Spain). Task 2 Report: Site Characterisation*.

Fraile-Nuez, E., Milford, C., Arrieta, J. M., Vélez-Belchí, P., & Cuevas, E. (2021c). *Climatological Characterisation of Ocean Sites for Ocean Colour System Vicarious Calibration: El Hierro (Canary Islands, Spain). Task 2 Report: Physical Safety of the El Hierro site*.

Fraile-Nuez, E., Milford, C., Arrieta, J. M., Vélez-Belchí, P., & Cuevas, E. (2021d). *Climatological Characterisation of Ocean Sites for Ocean Colour System Vicarious Calibration: El Hierro (Canary Islands, Spain). Task 2 Report: on-shore OC-SVC support center*.

Garnesson, P., Mangin, A., D'Andon, O. F., Demaria, J., & Bretagnon, M. (2019). The CMEMS globcolour chlorophyll a product based on satellite observation: Multi-sensor merging and flagging strategies. *Ocean Science*, 15, 819–830.

Holland, P. W., Welsch, R. E. (1977). Robust regression using iteratively reweighted least-squares. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 6, 813–827.

Johnson, G. C., & Lyman, J. M. (2020). Warming trends increasingly dominate global ocean. *Nature Climate Change*, 10, 757–761.

Martinez, E., Gorgues, T., Lengaigne, M., Fontana, C., Sauz.de, R., Menkes, C., et al. (2020). Reconstructing global chlorophyll-a variations using a non-linear statistical approach. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1–20.

Meng, S., Gong, X., Yu, Y., Yao, X., Gong, X., Lu, K., et al. (2021). Strengthened ocean-desert process in the North Pacific over the past two decades. *Environmental Research Letters*, 16, 1–10.

Polovina, J. J., Howell, E. A., & Abecassis, M. (2008). Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysical Research Letters*, 35, 2–6.

Reynolds, R. W., Thomas, M. S., Liu, C., Chelton, D. B., Casey, K. S., & Schlax, M. G. (2007). Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature by. *Journal of Climate*, 8, 1–58.

Siemer, J. P., Machín, F., González-Vega, A., Arrieta, J. M., Gutiérrez-Guerra, M. A., Pérez-Hernández, M. D., ... & Fraile-Nuez, E. (2021). Recent Trends in SST, Chl-a, Productivity and Wind Stress in Upwelling and Open

*Ocean Areas in the Upper Eastern North Atlantic Subtropical Gyre. Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(8), e2021JC017268.

Tréguer, P., Le Corre, P., Courtot, P., 1976. Notes on techniques and methods for sea water analysis: Dosage automatique des orthophosphates dans l'eau de mer utilisation de l'AutoAnalyzer (R) II. *ICES Journal of Marine Science* 36, 289–294. doi:10.1093/icesjms/36.3.289

Winkler, L.W., Whaley, R.C., 1888. *The determination of dissolved oxygen in water.*

Winton, M., Griffies, S. M., Samuels, B. L., Sarmiento, J. L., & Frlicher, T. L. (2012). Connecting changing ocean circulation with changing climate. *Journal of Climate*, 26, 2268–2278.

Xiu, P., Chai, F., Curchitser, E. N., & Castruccio, F. S. (2018). Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current system. *Scientific Reports*, 8, 2866.