



# PROYECTO MOIRA

Memoria científico-técnica con recomendaciones para la gestión pesquera en la Red Natura 2000 de Gran Canaria



Con la colaboración de:



Para citar este informe:

Castro Hernández, J.J., Couce Montero, L., Guerra Marrero, A., Espino Ruano, A., Santana del Pino, A., Jiménez Alvarado D., Domínguez Brito, A.C., Del Toro Navarro, I., Gamo Campos, D., y Cabrera Gámez, J., 2021. *Modelización de las pesquerías recreativa y artesanal desarrolladas en los espacios de la Red Natura 2000 en Gran Canaria: gestión participativa y evolución ante escenarios climáticos futuros*. Informe científico-técnico preparado como parte del Proyecto MOIRA (co-financiado por la Fundación Biodiversidad en el marco de la Convocatoria PLEAMAR 2020). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 49 pp.

#### AVISO LEGAL

*Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.*

## Contenido

---

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>1</b>
<b>ENCUESTAS PESQUERAS .....</b>	<b>2</b>
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ESFUERZO PESQUERO EN GRAN CANARIA.....	2
ESTADO DE EXPLOTACIÓN DE LOS PRINCIPALES RECURSOS DE INTERÉS PESQUERO EN GRAN CANARIA Y ANÁLISIS PSA.....	3
<b>MODELIZACIÓN DEL ECOSISTEMA MARINO DE GRAN CANARIA.....</b>	<b>6</b>
ÁREA DE ESTUDIO .....	6
DESCRIPCIÓN DEL MODELO ECOSISTÉMICO Y PARAMETRIZACIÓN .....	6
RESULTADOS.....	12
<b>PROTOTIPO DE VEHÍCULO AUTÓNOMO DE SUPERFICIE (ASV) PARA LA MONITORIZACIÓN DE BIOMASA PESQUERA .....</b>	<b>21</b>
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	21
AJUSTES Y PRUEBAS EN LABORATORIO Y EN EL MAR .....	23
OBTENCIÓN DE DATOS CON LA ECOSONDA .....	23
DIFICULTADES ENCONTRADAS EN RELACIÓN AL NUEVO PROTOTIPO DESARROLLADO .....	25
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>31</b>

## RESUMEN EJECUTIVO

En el Archipiélago Canario, la actividad pesquera desarrollada en las islas se configura como la principal responsable de los cambios que se han producido en la productividad, estructura y estabilidad de los ecosistemas marinos.

Tradicionalmente, las pesquerías artesanales canarias han estado gestionadas bajo políticas enfocadas principalmente a la regulación del esfuerzo pesquero profesional, pero sin tener en cuenta los cambios tecnológicos que han tenido lugar en las flotas y sin considerar el incremento del número de licencias de pesca recreativa, a pesar de que estos pescadores compiten por los mismos recursos.

Asimismo, el uso inadecuado de los sistemas de pesca, la falta de información disponible, el sobredimensionamiento del poder de pesca real, niveles de esfuerzo pesquero superiores a la capacidad de recuperación de las especies, pérdida de ecosistemas y de la calidad del agua, junto con los impactos derivados del cambio climático, entre otros, son responsables del declive y agotamiento que presentan algunas de las principales especies objetivo de las pesquerías. Así lo constatan las evaluaciones realizadas mediante diagramas de Kobe, y los análisis de productividad – susceptibilidad (PSA) de los stocks de las especies más representativos de la pesquería.

En este contexto, y a fin de abordar esta problemática desde un punto de vista más integral, el empleo de nuevas metodologías de gestión basadas en un enfoque ecosistémico de la pesca se plantea como la opción más acertada. Esto permitirá, mediante modelos temporales y espaciales, establecer patrones de explotación que garanticen la sostenibilidad de los recursos, la viabilidad de la actividad pesquera, y contribuirá a su vez a la preservación de la biodiversidad marina y sus hábitats asociados.

El modelo ecosistémico desarrollado para la isla de Gran Canaria ha servido para determinar la estructura, funcionamiento y estado del ecosistema marino insular. Esto ha permitido cuantificar el impacto de la actividad pesquera, tanto profesional como recreativa, combinada con el cambio climático. Los resultados obtenidos muestran el riesgo que supone continuar con el modelo de explotación y gestión vigentes, y la necesidad de establecer nuevas medidas de gestión que limiten los impactos de la actividad extractiva de pescadores artesanales y recreativos.

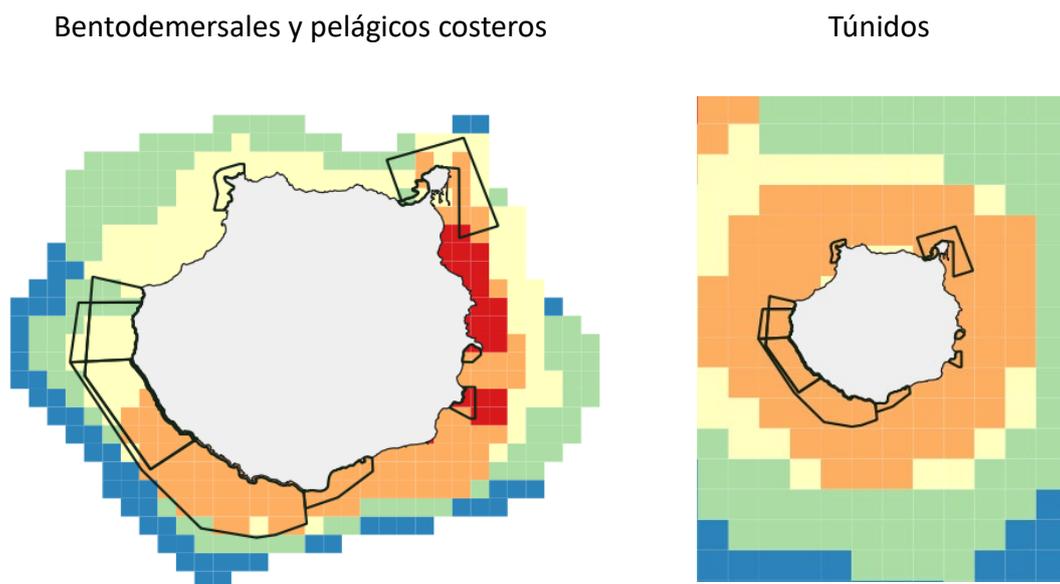
De manera complementaria, una de las líneas de trabajo del proyecto se ha centrado en el desarrollo de una nueva metodología de bajo coste para la monitorización de biomasa pesquera mediante un prototipo de vehículo autónomo de superficie (ASV). El nuevo dispositivo, fabricado a partir de una tabla de windsurf modificada, incorpora una ecosonda diferencial (50/200 KHz) de bajo coste y tiene una autonomía final de más 24 horas a una velocidad media de 2 nudos.

Tras las pruebas y campañas piloto desarrolladas en este proyecto, puede concluirse que este tipo de vehículos resultan viables y altamente eficientes como método innovador de monitorización de biomasa en entornos costeros. Las posibilidades de automatización que ofrece para este tipo de tareas sistemáticas, su coste económico, así como el bajo riesgo que representan para otras embarcaciones y usuarios del mar, le confieren unas capacidades idóneas para este tipo de estudios.

## Encuestas pesqueras

### Distribución espacial del esfuerzo pesquero en Gran Canaria

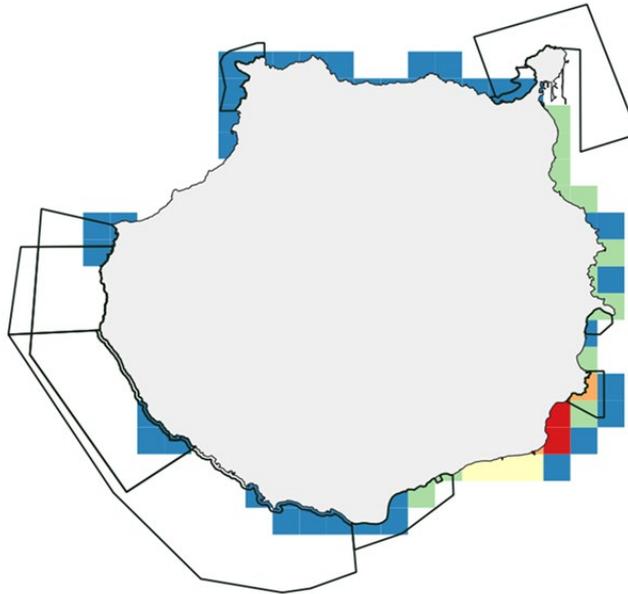
Para reflejar espacialmente el esfuerzo pesquero se diseñaron dos modelos de encuesta, uno enfocado a los pescadores artesanales y otro para pescadores recreativos (Anexo). Cada encuesta iba acompañada de un mapa de Gran Canaria que incluía una cuadrícula con un tamaño de celda predefinido de 1.5 millas náuticas para que los pescadores, tanto profesionales como recreativos, indicasen las celdas donde suelen pescar de manera habitual. A los pescadores artesanales también se les facilitó un mapa con un tamaño de celda superior para cuando pescan atún. A pesar de las reticencias y la no disponibilidad para la colaboración de una parte significativa de los colectivos objetivo, se realizaron 41 encuestas a los pescadores artesanales y 56 encuestas a los pescadores recreativos. Como resultado de las campañas realizadas, se elaboraron dos mapas relativos a las áreas de pesca visitadas por los pescadores artesanales (Fig. 1), diferenciando las partes del caladero donde pescan durante la zafra del atún de aquellas usadas para la captura del resto de las especies. En lo referente a los pescadores recreativos, únicamente se realizó un mapa aunando todos los tipos de modalidades de pesca (Fig. 2).



**Figura 1.** Distribución del esfuerzo pesquero artesanal expresado como la densidad de barcos por celda. La información se ha clasificado mediante el método de rupturas naturales (Jenks), asignando 5 categorías: azul, amarillo, verde, rojo y naranja para representar desde los valores más bajos hasta los más altos en ese mismo orden. Los polígonos en negro representan los espacios marinos incluidos en la Red Natura 2000.

Los datos de cada gráfico han sido clasificados según rupturas naturales (Jenks), creando categorías cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos. Se ha empleado la densidad de barcos o nº de pescadores recreativos (según corresponda) por superficie como medida de esfuerzo espacial relativo. Las áreas de pesca no están diferenciadas por artes de pesca, debido a que muchos artes se emplean a poca profundidad y la pesca se realiza muy próxima a costa, por lo que el tamaño de celda predefinido sería demasiado grande y los mapas podrían

llevar a confusión. La información referente a los sistemas de pesca, tiempo de operación, tiempo de calado, así como otros datos que guardan relación con el esfuerzo pesquero, fueron recopilados a través de estas mismas encuestas para estudios futuros.



**Figura 2.** Distribución del esfuerzo pesquero de los pescadores recreativos expresado como la densidad de pescadores por celda. La información se ha clasificado mediante el método de rupturas naturales (Jenks), asignando 5 categorías: azul, amarillo, verde, rojo y naranja para representar desde los valores más bajos hasta los más altos en ese mismo orden. Los polígonos en negro representan los espacios marinos incluidos en la Red Natura 2000.

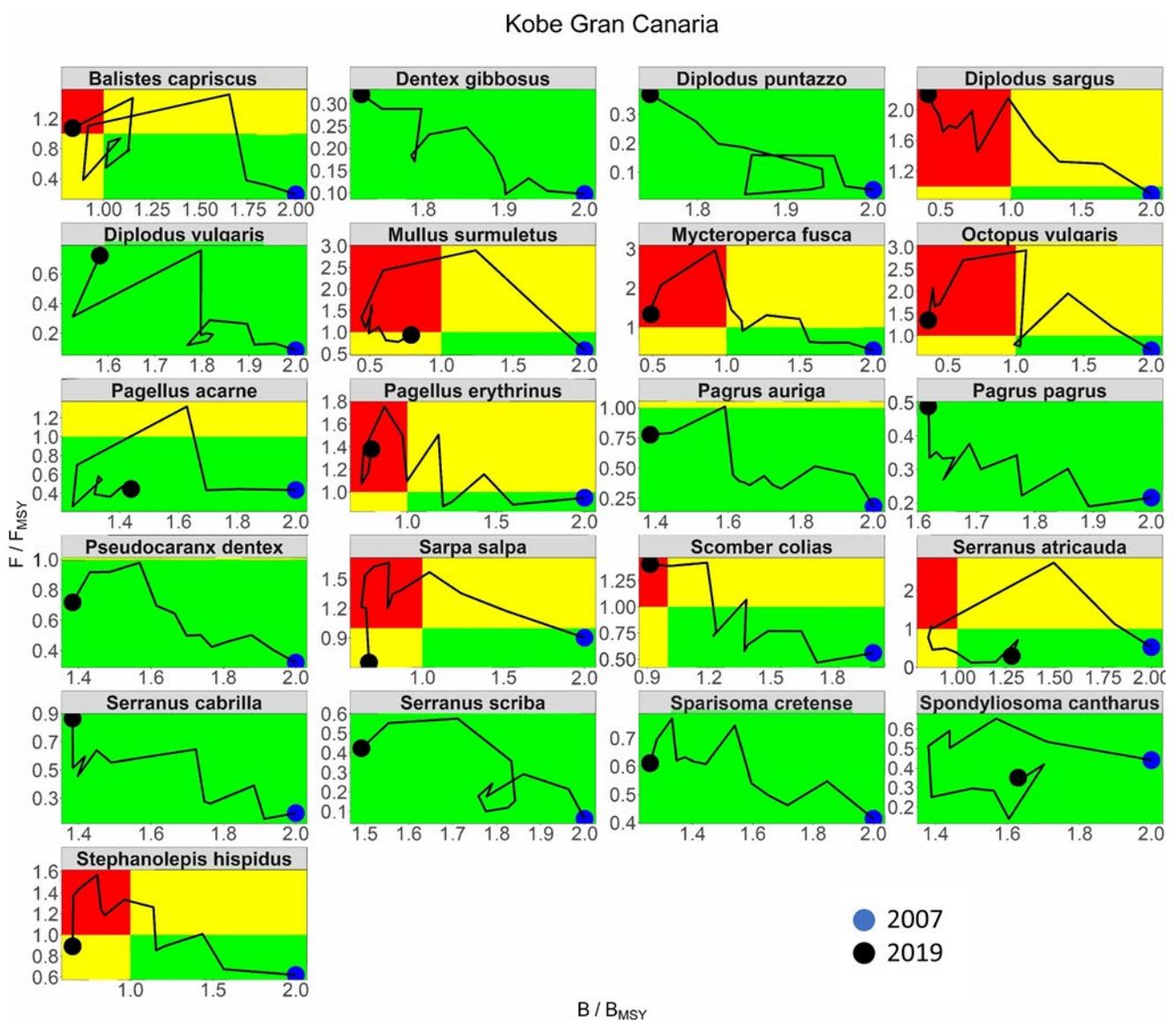
Resulta conveniente destacar que los resultados deben interpretarse con cautela, pues la mayor participación por parte de los pescadores artesanales se obtuvo de las cofradías y cooperativas que operan en la vertiente este de la isla. Asimismo, la mayoría de los pescadores recreativos entrevistados se dedicaban a la práctica de esta modalidad desde orilla, y eran principalmente de pertenecientes a asociaciones o entidades cuya actividad principal se realiza en la vertiente este de la isla, por lo que la representación del esfuerzo muestra un sesgo espacial, así como existe una probable subestimación en lo relativo al esfuerzo desplegado por pescadores submarinos y desde embarcación.

## Estado de explotación de los principales recursos de interés pesquero en Gran Canaria y análisis PSA

Para mantener las poblaciones de stocks explotados dentro de niveles sostenibles, es necesario cuantificar la mortalidad por pesca y el nivel mínimo de biomasa que es capaz de sostener cada pesquería. Sin embargo, tales predicciones son difíciles de hacer cuando se desconoce la dinámica poblacional de la mayoría de las especies. Estas evaluaciones son muy complejas en pesquerías mixtas pobres en datos debido a que pueden capturarse muchas especies simultáneamente con un solo arte y a la disparidad en cuanto a los datos disponibles.

El desarrollo de métodos con datos limitados es un área activa de investigación, y se puede consultar un resumen de los principales métodos disponibles que ya se han probado (Dowling et al., 2019). Tras revisar los datos de primera venta, elegimos el método optimizado de solo captura (OCOM) (Zhou et al.,

2018), que se basa en el modelo de producción excedente de Graham-Schaefer. Para evaluar el estado de algunas de las principales especies objetivo se analizó qué poblaciones de peces superan la mortalidad por pesca a un rendimiento máximo sostenible ( $F/F_{MSY}$ ) y cuáles tienen una biomasa inferior a la requerida en el punto de máximo rendimiento sostenible ( $B/B_{MSY}$ ). Los resultados obtenidos se muestran en diagramas de Kobe (Fig. 3), donde se representa la evolución de cada stock durante el periodo comprendido entre 2007 y 2019. El cuadrante rojo representa niveles de explotación insostenibles, donde el stock se está agotando y se está sobrepescando. El cuadrante verde representa poblaciones que están explotadas en niveles sostenibles. El cuadrante amarillo superior derecho indica que la explotación es sostenible en lo referente a la biomasa del stock, pues se encuentra por encima de la  $B_{MSY}$ ; sin embargo, el stock se está sobrepescando. El cuadrante amarillo inferior izquierdo nos indica que el stock es sostenible en cuanto a que la mortalidad por pesca se encuentra por debajo de la  $F_{MSY}$ ; no obstante, la biomasa es baja por lo que la  $F$  debe continuar en estos niveles para que el stock se recupere.



**Figura 3.** Diagrama Kobe donde se analiza el estado de algunas de las principales especies objetivo de la pesquería artesanal en Gran Canaria.

Los resultados obtenidos a partir de los diagramas de Kobe muestran que el gallo cochino (*Balistes capriscus*), el sargo (*Diplodus sargus*), el abae (*Mycteroperca fusca*), el pulpo (*Octopus vulgaris*) y la breca (*Pagellus erythrinus*) se encuentran explotados por encima de lo que los stocks pueden soportar. El salmonete (*Mullus surmuletus*) y el gallito verde (*Stephanolepis hispidus*) muestran biomasa inferiores a los valores estimados como sostenibles y su mortalidad por pesca está muy próxima al límite máximo aceptable, por lo que de seguir con la tendencia observada es probable que actualmente se encuentren en el cuadrante rojo. La salema (*Sarpa salpa*) ha estado sobreexplotándose durante los últimos años analizados, por ello a pesar de que en el 2019 muestra una mortalidad por pesca bastante inferior a la  $F_{MSY}$ , su biomasa está muy por debajo de los límites recomendables. Por ello, a pesar de reducir la presión pesquera sobre esta especie, es probable que el stock tarde en alcanzar la biomasa necesaria para sostener esta pesquería. El resto de las especies evaluadas aparecen en la “zona segura” pero únicamente se están considerando los datos registrados de desembarques de los pescadores artesanales. Dichas especies también son objetivo de los pescadores recreativos, por lo que antes de extraer conclusiones sobre el buen estado de explotación de estas poblaciones, sería necesario evaluar las pesquerías artesanal y recreativa en conjunto.

Para complementar los resultados obtenidos con los diagramas de Kobe, en las encuestas realizadas a los pescadores (Parte II, Anexo I y II), se incluyó un cuestionario específico para poder desarrollar un análisis de productividad y susceptibilidad (PSA) con algunas especies seleccionadas. El análisis PSA es un método que permite evaluar de manera rápida la vulnerabilidad relativa de una población en casos de insuficiente información pesquera o biológica. Esta metodología puede resultar útil a la hora de diseñar líneas de investigación y gestión de los recursos pesqueros de manera sustentable. Para efectuar este análisis se ha seguido la metodología planteada por Free et al. (2017) y los resultados obtenidos pueden consultarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis PSA para 8 especies objetivo, comunes a pecadores artesanales y recreativos.

Especie	Kobe	PSA Artesanales	PSA Recreativos
<i>Mullus surmuletus</i>	Rojo	2,14	1,85
<i>Octopus vulgaris</i>	Rojo	2,28	2,00
<i>Pagellus erythrinus</i>	Rojo	2,14	2,07
<i>Pagrus auriga</i>	Verde	2,07	2,14
<i>Pagrus pagrus</i>	Verde	2,21	2,00
<i>Scomber colias</i>	Rojo	2,07	2,14
<i>Sparisoma cretense</i>	Verde	2,07	<b>2,51</b>
<i>Stephanolepis hispidus</i>	Amarillo	2,07	1,84

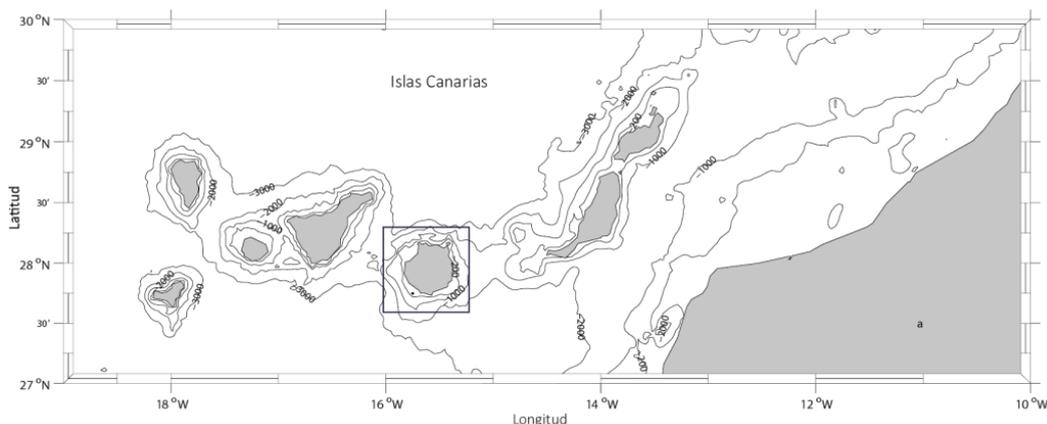
Las puntuaciones inferiores a 1,5 indican que los stocks están subexplotados; si son superiores a este valor, pero inferiores a 2,5 se consideran plenamente explotados, y todos aquellos stocks con valores superiores a 2,5 se asume que están sobreexplotados.

La percepción general de todos los encuestados es que la mayoría de los stocks evaluados se encuentran plenamente explotados; a excepción de la vieja, la cual consideran los pescadores recreativos que está en una situación más vulnerable (Tabla 1).

## Modelización del ecosistema marino de Gran Canaria

### Área de estudio

El sistema analizado comprende el área de pesca de la flota artesanal de la isla de Gran Canaria. Para efectos de este trabajo se delimitó el área de estudio desde los 28° 15' N hasta los 27° 42' N y desde 15° 56' O hasta 15° 18' O. desde la superficie hasta una profundidad máxima de 1.000 m. con una superficie aproximada de 2.146 km<sup>2</sup> (Fig. 4). En dicha área quedan incluidos todos los espacios marinos de las zonas de especial conservación de Gran Canaria definidas en la Red Natura 2000.



**Figura 4.** Mapa del Archipiélago Canario. El recuadro muestra el área de estudio correspondiente a la isla de Gran Canaria hasta la batimetría de los 1000 m.

### Descripción del modelo ecosistémico y parametrización

El programa Ecopath with Ecosim (EwE) permite crear un modelo de cajas (grupos funcionales), así como cuantificar los flujos de energía que se dan entre dichas cajas y, en base al balance de masas, caracterizar la estructura trófica del ecosistema y su funcionalidad (Ulanowicz, 1986). Con el paso de los años el programa continuó desarrollándose para mejorar y extender su uso, incorporando rutinas de simulación de dinámica temporal (Ecosim) y de modelado espacial (Ecospace) (Walters et al., 1997, 1999). Se trata de un programa de acceso libre y código abierto y se encuentra gestionado por un consorcio de varios grupos de investigación de la Universidad de British Columbia. En resumen, el programa consta de tres módulos principales:

- ECOPATH: constituye la parte descriptiva del ecosistema, asumiendo el balance de masas para un periodo de tiempo concreto.
- ECOSIM: proporciona una simulación de la dinámica temporal del ecosistema definido a partir del modelo Ecopath.
- ECOSPACE: es un módulo de simulación dinámica y espacial que permite definir dónde se desarrollan las actividades de las diferentes flotas y a qué tipo de hábitats están ligadas. Asimismo, este módulo incluye herramientas de optimización espacial que permiten establecer, por ejemplo, el mejor emplazamiento de un área marina protegida.

### Módulo Ecopath

Ecopath está basado en dos ecuaciones maestras, una que describe la producción en términos de biomasa y la otra que describe el balance de energía de cada grupo funcional. Por definición, un grupo funcional es aquel constituido por una o varias especies que comparten nichos ecológicos similares (Christensen et al., 2008). La primera ecuación se describe como la producción para cada grupo funcional:

$$P_i = Y_i + B_i \cdot M2_i + BA_i + E_i + P_i(1 - EE_i) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde  $i$  es cada uno de los grupos funcionales;  $P_i$  es la tasa de producción total de  $i$ ;  $Y_i$  es la tasa de captura total de  $i$  por unidad de área y tiempo;  $B_i$  es la biomasa de  $i$  por unidad de área;  $M2_i$  es la tasa de mortalidad por depredación total sobre  $i$ ;  $BA_i$  es la biomasa acumulada de  $i$  (positiva o negativa) por área y tiempo;  $E_i$  es la tasa de migración neta de  $i$  (emigración – inmigración) y  $P_i(1-EE_i)$  representa la tasa de otras mortalidades para cada  $i$ .  $EE_i$  es la eficiencia ecotrófica de  $i$ , es decir, la fracción de producción consumida por la depredación y/o exportada del sistema.

El modelo equilibra las entradas y salidas de cada grupo funcional  $i$ , haciendo uso de la segunda ecuación maestra:

$$Q_i = P_i + R_i + U_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde  $Q_i$  es el consumo de  $i$  sobre presas del sistema o de otras que provengan de fuera del mismo a modo de importaciones;  $P_i$  es la producción de  $i$  que debe ser consumida por sus predadores, exportada desde el sistema o que puede contribuir al detrito;  $R_i$  es la respiración de cada grupo  $i$  y  $U_i$  es el alimento no asimilado por  $i$ .

Para poder definir los grupos funcionales, se realizó una revisión de las especies que se podían encontrar en el área de estudio (Brito et al., 2002). Para explorar los posibles agrupamientos ecológicos de las especies presentes en el sistema, se realizó un análisis de componentes principales que se complementó con información relativa a los hábitats preferidos de las especies, su abundancia, las preferencias de alimentación, así como otras similitudes taxonómicas. En total se revisaron más de 150 especies, incluyendo mamíferos marinos, aves marinas, tortugas, peces y especies de invertebrados.

Como modelo base de Ecopath se tomó un modelo desarrollado previamente en Gran Canaria por investigadores participantes en este proyecto, el cual se actualizó con los nuevos datos disponibles. Toda la información técnica relativa a la creación de las variables, fuentes de información y tratamiento de los datos utilizados para la construcción del modelo, puede consultarse en (Couce-Montero et al., 2015).

### Módulo dinámico Ecosim

Ofrece la posibilidad de realizar simulaciones dinámicas a partir de los resultados obtenidos con el modelo trófico Ecopath. Para ello, Ecosim emplea una serie de ecuaciones diferenciales acopladas, que derivan de la primera ecuación maestra del módulo Ecopath (Ec.1), y se definen como:

$$\frac{dB_i}{dt} = g_i \sum_j Q_{ji} - \sum_j Q_{ij} + I_i - (MO_i + F_i + e_i)B_i \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde  $dB_i/dt$  representa la tasa de crecimiento durante el intervalo de tiempo  $dt$  del grupo  $i$  en términos de su biomasa  $B_i$ ;  $g_i$  es la eficiencia de crecimiento neto (también puede expresarse como la relación  $P/Q$ );  $MO_i$  es la mortalidad natural no causada por la depredación;  $F_i$  es la de mortalidad por pesca;  $e_i$  es la tasa de emigración;  $l_i$  es la tasa de inmigración ( $e_i \cdot B_i - l_i$  es la tasa neta de migración). El  $\sum_j Q_{ji}$  expresa el consumo total del grupo  $i$  y el  $\sum_j Q_{ij}$  expresa la depredación de todos los grupos  $j$  sobre  $i$ .

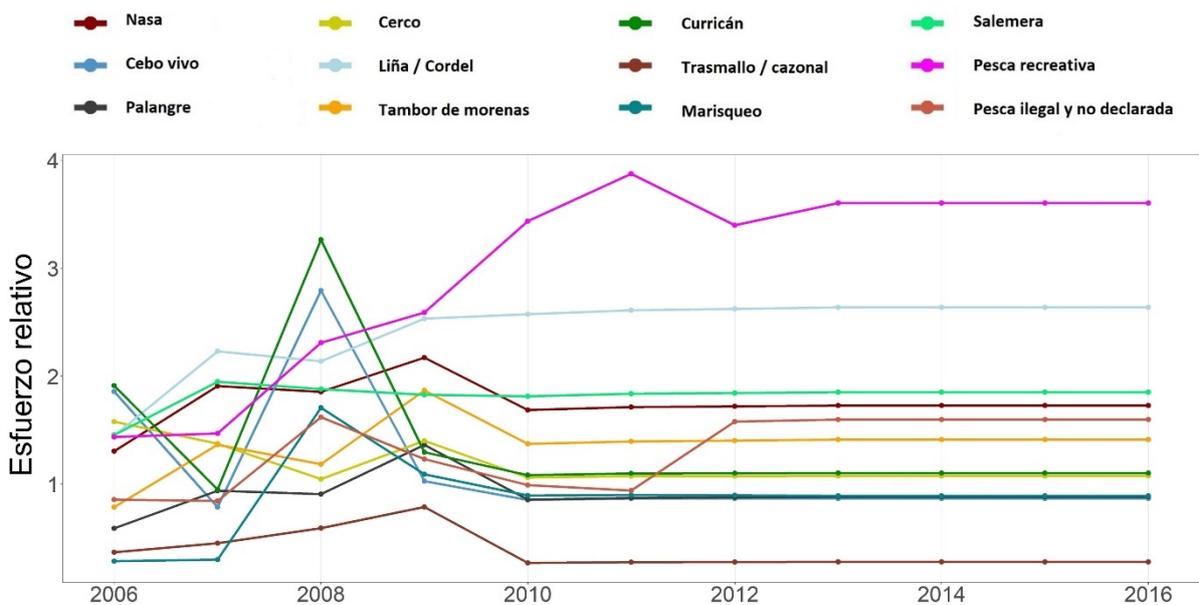
El modelo Ecopath es estático, lo que implicaría una disponibilidad total de las presas frente a los predadores. Para solucionar esto, se implementó en el módulo Ecosim como forma de poder definir un límite de la cantidad de presa disponible para cada predador en un momento dado. Esto se conoce como la teoría del “Foraging Arena” (área de alimentación) y se aplica en los cálculos de las tasas de consumo de la ecuación anterior, asumiendo que las presas no se encuentran disponibles todo el tiempo, sino que muestran comportamientos que las hacen más o menos vulnerables a la predación.

Así, la biomasa de un grupo  $i$  se divide entre una fracción vulnerable y otra fracción no vulnerable a los predadores (Walters et al., 1997). La tasa de transferencia ( $v$ ) entre estos componentes determinará el tipo de control de cada interacción predador-presa (bottom-up, top-down o una combinación de ambos). Teniendo en cuenta la teoría anterior, la tasa de consumo  $Q_{ij}$  para cada interacción predador-presa queda definida de la siguiente forma:

$$Q_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot v_{ij} \cdot B_i \cdot B_j \cdot T_i \cdot T_j \cdot S_{ij} \cdot M_{ij} / D_j}{v_{ij} + v_{ij} \cdot T_i \cdot M_{ij} + a_{ij} \cdot M_{ij} \cdot B_j \cdot S_{ij} \cdot T_j / D_j} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde,  $a_{ij}$  es la tasa de búsqueda efectiva de la presa  $i$  por parte de los predadores  $j$ ;  $v_{ij}$  es la tasa de transferencia de biomasa entre estados vulnerables e invulnerables a la predación;  $B_i$  representa la biomasa de la presa  $i$ ;  $B_j$  es la biomasa del predador  $j$ ;  $T_i$  y  $T_j$  son los tiempos relativos empleados en la alimentación de la presa y predador, respectivamente;  $S_{ij}$  es un factor definido por el usuario para incluir efectos ambientales a corto o largo plazo;  $M_{ij}$  representa un factor de mediación y,  $D_j$  representa los efectos de la limitación del cociente de consumo (Christensen et al., 2008).

El módulo Ecosim define por defecto un tipo de control mixto para las vulnerabilidades ( $v=2$ ), pero este valor puede modificarse para adaptarlo a las características del ecosistema de estudio y las especies que lo conforman, a fin de obtener un mejor ajuste del modelo. Los valores bajos de vulnerabilidad indican un control por parte de las presas y valores altos un control por los predadores. Para poder realizar las simulaciones dinámicas, se construyeron series temporales de captura y esfuerzo para todos los grupos de interés pesquero y flotas definidas en el modelo Ecopath (Fig. 5).



**Figura 5.** Series temporales de esfuerzo pesquero del modelo GC de 2006-2016. Se asigna un valor igual a 1 al año de referencia (2006) y los valores de esfuerzo relativos de los años siguientes se estiman en proporción a este año de referencia.

Para elegir el mejor ajuste para cada modelo, se siguió el procedimiento de ajuste paso a paso (Scott et al., 2016), que prueba hipótesis alternativas para ajustar los modelos de EwE a los datos de referencia, por la diferencia mínima entre las predicciones del modelo y las observaciones de series temporales, utilizando la suma ponderada de diferencias al cuadrado (SS) y el Criterio de Información de Akaike (AIC). Esta herramienta prueba hipótesis alternativas relacionadas con el impacto de la pesca, los cambios en la dinámica predador-presa (vulnerabilidades), los cambios en la producción primaria (anomalías de producción) o todos juntos (Heymans et al., 2016; Mackinson et al., 2009). El mejor ajuste del modelo se obtuvo con la configuración del modelo base de referencia (Tabla 2), por lo que las vulnerabilidades no se modificaron.

**Tabla 2.** Resultados del proceso de ajuste. La tabla muestra el “mejor” modelo estadístico. Vs representa el número de vulnerabilidades estimadas; k es el número de parámetros. El "mejor" modelo elegido se resalta en negrita.

Análisis	Vs	k	SS	AICc
<b>Modelo base</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>727.8</b>	<b>265.1</b>
Modelo base e interacciones tróficas	1	1	727.8	267.1
Pesquerías	0	0	2072	506.7
Pesquerías e interacciones tróficas	9	9	1025	367.3

Se plantearon 5 escenarios de gestión pesquera que se detallan a continuación:

- **Escenario 1:** Se mantiene constante el esfuerzo pesquero, tanto de pescadores artesanales como recreativos, y se añaden funciones de forzamiento de cambio climático para grupos de especies.
- **Escenario 2:** Se mantiene constante el esfuerzo pesquero artesanal. Se añaden funciones de forzamiento de cambio climático para grupos de especies y se reduce el esfuerzo recreativo un 30%.
- **Escenario 3:** Se mantiene constante el esfuerzo pesquero de recreativos. Se añaden funciones de forzamiento de cambio climático para grupos de especies y se reduce el esfuerzo de nasa y trasmallo (profesional) un 30%.
- **Escenario 4:** Se añaden funciones de forzamiento de cambio climático para grupos de especies. Se reduce el esfuerzo de nasa, trasmallo y pesca recreativa un 30% y el esfuerzo del resto de artes de pesca artesanal se mantiene constante.
- **Escenario 5:** Se añaden funciones de forzamiento de cambio climático para grupos de especies. Se reduce el esfuerzo de nasa, trasmallo y pesca recreativa un 30% y el esfuerzo del resto de artes de pesca artesanal se mantiene constante. Asimismo, se crean Áreas Marinas Protegidas integrales en los siguientes espacios de la RN2000:
  - ZEC ES7011005 Sebadales de Güigüí
  - ZEC ES7010048 Bahía de Gando
  - ZEC ES7010053 Playa del Cabrón

Para crear las funciones de forzamiento de cambio climático se han tenido en cuenta las previsiones de los expertos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (<https://archive.ipcc.ch>). Se ha asumido un incremento de 1°C entre el periodo comprendido entre 2020-2030, y de 1,5°C entre 2031-2050. Se han seleccionado los grupos de especies que habitan principalmente en los primeros 150 m. y se han evaluado cambios en sus ratios de consumo/biomasa por medio de la ecuación planteada por

Palomares y Pauly (1998). Cada función de forzamiento modificará el consumo de estas especies, afectando a las interacciones predador-presa. Asimismo, estos cambios también afectan a la distribución de las especies y modifican su vulnerabilidad frente a predadores.

Para las funciones de forzamiento de esfuerzo pesquero se asumió un esfuerzo constante entre el 2016 y 2020 en vista de la tendencia observada para todas las flotas desde el año 2013 (Fig. 5).

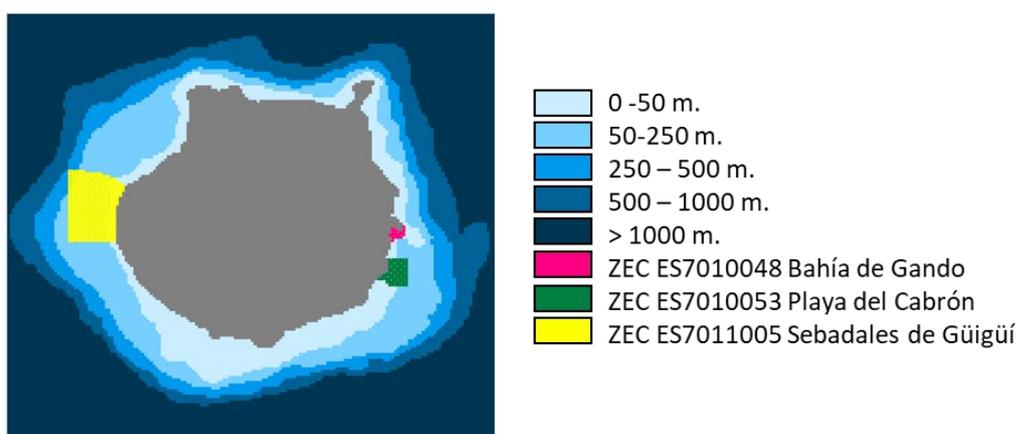
### Módulo espacio-temporal Ecospace

El módulo Ecospace es una herramienta de simulación espacial que toma los datos de partida empleados para definir el modelo Ecopath y los escenarios temporales creados con el módulo Ecosim. Para poder representar las variaciones espaciales de las biomásas resultantes de los escenarios, hay que crear una matriz de celdas de dos dimensiones (mapa), donde cada celda cuenta con su respectivo sistema de ecuaciones diferenciales (Ec. 3 y 4) (Walters et al., 1999). El tamaño de cada celda es definido por el usuario en el programa atendiendo a su área de estudio. Las variaciones espaciales de las biomásas resultantes de los diferentes escenarios se obtienen teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los movimientos de una celda a sus cuatro adyacentes son simétricos, aunque se modifican dependiendo de si la celda está definida como un hábitat preferido o no para cada grupo.
- En los hábitats no preferidos se asume un incremento en el riesgo de predación y una disminución en la tasa de alimentación.
- Existe un nivel de esfuerzo pesquero asignado a cada celda.

Se definió un mapa base de 159 x 174 celdas. cada una de ellas de 500 m. de lado. Una vez generado el mapa, se añadieron las diferentes capas (Fig. 6) que actúan como condicionantes en la distribución de la biomasa y que pueden agruparse en:

- Capas para diferenciar qué celdas corresponden al océano y cuáles a tierra.
- Capas para definir los diferentes hábitats analizados.
- Capas para asignar áreas marinas protegidas (AMP). Éstas pueden ser abiertas o cerradas y puede definirse su estacionalidad.



**Figura 6.** Definición espacial del mapa base de Gran Canaria y los hábitats considerados para los escenarios 1-5 planteados en el módulo Ecosim.

Se asumió que los grupos plantónicos, el detrito y las medusas no muestran preferencia por ningún área en particular. Para el resto de los grupos se consultó la bibliografía existente en el área de estudio y se complementó, cuando fue necesario, con datos extraídos de Fishbase ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)) y Sealifebase ([www.sealifebase.org](http://www.sealifebase.org)) (Tabla 3).

Tabla 3. Asignación de hábitats preferidos de distribución para cada uno de los grupos. Los valores oscilan entre 0 y 1, considerando este último como una preferencia por ese hábitat del 100%.

Grupos funcionales	Todos	0-50 m.	50 – 250 m.	250 – 500 m.	500 – 1000 m.	> 1000 m.
Grandes cetáceos	0	0.1	0.05	0.2	0.25	0.4
Delfines y zifios	0	0.3	0.1	0.25	0.25	0.1
Tortugas	0	0.1	0.05	0.25	0.25	0.35
Aves marinas	0	0.25	0.2	0.25	0.2	0.1
Tiburones pelágicos	0	0.05	0.01	0.25	0.25	0.44
Tiburones bentónicos	0	0.35	0.2	0.3	0.1	0.05
Túnidos y similares	0	0.14	0.01	0.25	0.2	0.4
Bonito listado	0	0.15	0.05	0.3	0.25	0.25
Medregales	0	0.15	0.05	0.3	0.25	0.25
Merluza	0	1	1	0.15	0.7	0.15
Grandes serránidos y chernes	0	0.4	0.35	0.2	0.05	1
Espáridos	0	0.35	0.4	0.15	0.1	1
Samas	0	0.4	0.35	0.2	0.05	1
Bocinegro	0	0.45	0.2	0.3	0.05	1
Pelágicos costeros	0	0.6	0.1	0.2	0.1	1
Peces epidemersales	0	0.35	0.55	0.1	1	1
Peces mesodemersales	0	1	1	0.2	0.65	0.15
Vieja	0	0.25	0.75	1	1	1
Gallos	0	0.55	0.35	0.1	1	1
Pejeperro	0	0.25	0.75	1	1	1
Breca	0	0.45	0.3	0.25	1	1
Morenas	0	0.25	0.55	0.2	1	1
Cefalópodos bentónicos	0	0.25	0.55	0.2	1	1
Cefalópodos pelágicos	0	0.09	0.01	0.2	0.25	0.45
Crustáceos natantia	0	0.07	0.03	0.5	0.3	0.1
Moluscos	0	0.25	0.35	0.2	0.1	0.1
Erizos	0	0.15	0.5	0.2	0.1	0.05
Bentos	0	0.25	0.3	0.2	0.15	0.1
Medusas	1	0	0	0	0	0
Fanerógamas marinas y macroalg.	0	1	0	0	0	0
DSL	0	0	0	0.5	0.3	0.2
Zooplancton	1	0	0	0	0	0
Fitoplancton	1	0	0	0	0	0
Detrito	1	0	0	0	0	0

En Ecospace, la biomasa varía a lo largo del tiempo en cada celda, incluso cuando no se produce ningún forzamiento externo, ya que una fracción de la biomasa siempre se dispersa aleatoriamente alrededor de cada celda definida en el mapa base, representada por la tasa de dispersión (km/año). Ecopath asume por defecto una tasa de dispersión de 300 km/año, excepto para el detrito (Christensen et al., 2008). Para el modelo de Gran Canaria, elegimos cinco tasas de dispersión diferentes para representar la movilidad de cada grupo funcional en función de su forma de vida, es decir, 1000 km/año para los depredadores superiores rápidos, 600 km/año para los túnidos, 300 km/año para los grupos funcionales de peces demersales que se mueven más rápido, 30 km/año para el resto de grupos de peces, los organismos que habitan en la capa de reflexión profunda (DSL) y zooplancton y, por último, 3 km/año para grupos casi estacionarios o sésiles (principalmente invertebrados bentónicos). Estas tasas de dispersión se eligieron tomando como referencia la regla general "300-30-3" (acorde a Chen et al., 2009).

La asignación de flotas se hizo tomando como referencia la distribución de las especies capturadas, así como los datos obtenidos en las encuestas. Para el escenario 5 definido en Ecosim, se limitó el acceso de todas las flotas a las Áreas Marinas Protegidas definidas.

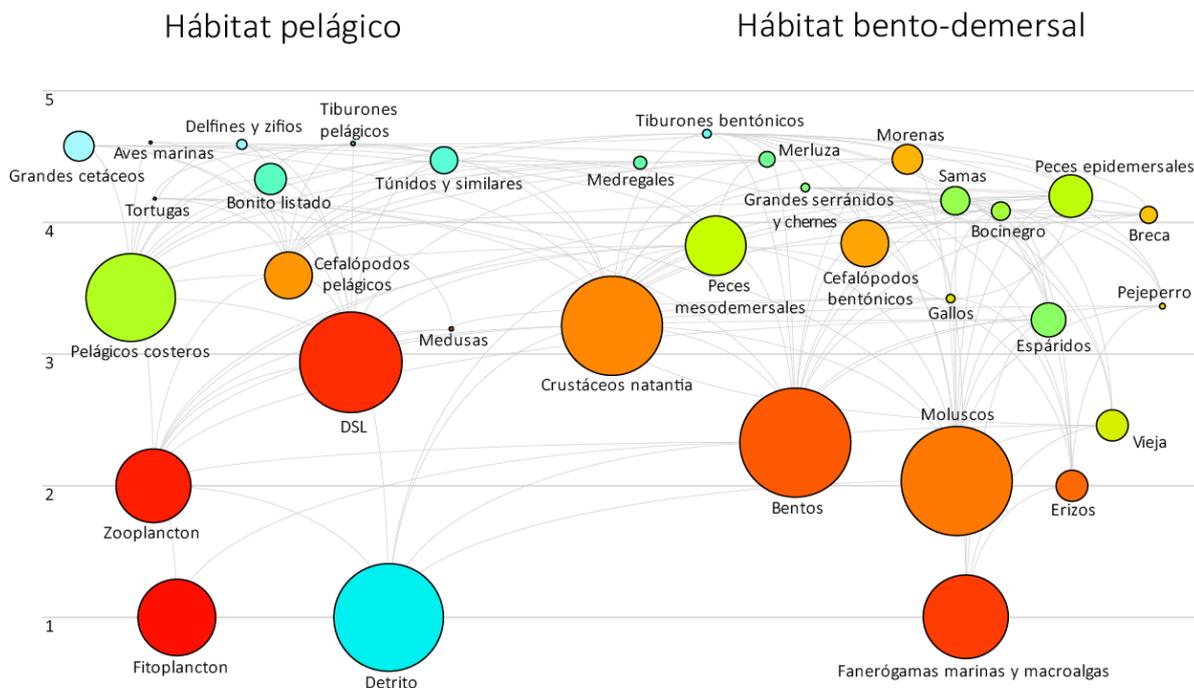
## Resultados

### Calidad del modelo e incertidumbre de los datos

El programa Ecopath, incorpora un módulo denominado Pedigree que permite determinar la incertidumbre asociada a los parámetros de entrada del modelo. Este módulo emplea tablas predefinidas para cada tipo de datos (Biomasa, P/B, Q/B, Capturas y Dietas), asignando a cada variable un valor de incertidumbre o intervalo de confianza. Este índice varía desde 0 para los modelos que cuentan con una baja calidad, hasta 1 en aquellos modelos cuyos datos de entrada proceden del área de estudio y cuentan con una alta fiabilidad en sus estimaciones. El índice se obtiene a partir del promedio de todos los parámetros de entrada para todos los grupos y, además de ofrecer información sobre la calidad del modelo, sirve para establecer comparaciones con modelos similares. Para este modelo se obtuvo un pedigree de 0,638, lo que se considera un valor bueno.

### Estructura de la red trófica

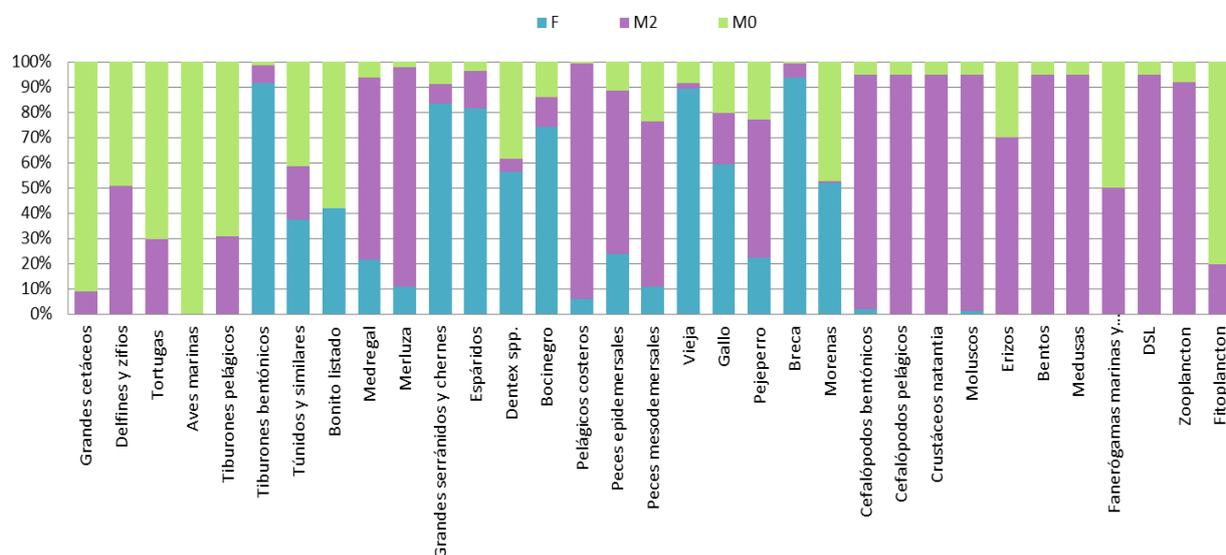
En la Fig. 7 se muestra el Diagrama de Flujos Tróficos, donde se representan de forma esquemática las interacciones tróficas de los diferentes grupos funcionales. El tamaño de cada círculo es proporcional a la biomasa de cada grupo y las líneas grises representan las relaciones predadores-presas. En términos de biomasa, los grupos más importantes son los correspondientes a los niveles tróficos inferiores junto con la DSL y los crustáceos natantia. Para la comunidad ictiológica, así como aquellos predadores que se encuentran en el TL 4, los grupos referentes a pelágicos costeros, crustáceos natantia y cefalópodos bentónicos juegan un papel muy importante en la red trófica.



**Figura 7.** Diagrama de flujo de la red trófica de Gran Canaria. Los grupos funcionales están representados según sus niveles tróficos.

## Mortalidades de los grupos funcionales

Las tasas de mortalidad estimadas por el modelo para cada uno de los grupos funcionales se dividen en mortalidad por pesca (F), mortalidad por predación (M2) y otras causas de mortalidad (M0) (Fig. 8).



**Figura 8.** Porcentaje de mortalidad por pesca (F), mortalidad por predación (M2) y otras mortalidades (M0) para cada grupo funcional del modelo ecosistémico de la isla de Gran Canaria.

Los valores de F obtenidos para los grupos grandes serránidos y chernes, espáridos, peces epidemerales, vieja, gallo y breca fueron más elevados que los datos obtenidos en el área de estudio a partir de la bibliografía consultada. La causa de estas discrepancias probablemente esté relacionada con la fuerte presión pesquera a la que se encuentran sometidas estas especies, ya que son las principales especies objetivo de pescadores artesanales y recreativos. Los valores elevados de M0 suelen estar relacionados con especies que pasan parte del tiempo fuera del área o a aquellas de gran abundancia (Christensen et al., 2008). Otro indicador relacionado con la mortalidad de las especies es la tasa de eficiencia pesquera, que representa la mortalidad por pesca frente a la mortalidad total ( $F/Z$ ). En el modelo, las ratios  $F/Z$  varían desde los  $5,33 \times 10^{-6}$  en el caso de los crustáceos natantia, hasta 0,937 para el grupo de las brechas. Los tiburones bentodemersales, los grandes serránidos y los espáridos muestran valores superiores a 0,80 y los valores para la vieja, la breca y el gallo son superiores al valor recomendado de 0,5 para especies que no cuentan con una dieta predominantemente piscívora. Por todo ello, podemos considerar que estos grupos funcionales se encuentran sobreexplotados (Mertz & Myers, 1998).

## Especies clave

Para identificar especies claves dentro de la red trófica se utilizó el índice desarrollado por Libralato et al., (2006). Este método identifica como grupos claves aquellos que tienen un alto impacto trófico y una alta biomasa. Los resultados obtenidos mostraron que los grupos funcionales correspondientes a los gallos (monacántidos y balístidos), las fanerógamas marinas y macroalgas, los cefalópodos pelágicos, el zooplankton y los delfines y zifios, en ese mismo orden, son las especies más importantes en la red trófica.

Las fanerógamas marinas y macroalgas desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas costeros, contribuyendo al mantenimiento de los procesos ecológicos (Hernández et al.,

2008), pues las especies herbívoras pastan en estos grupos y existe una densa población de microinvertebrados asociados. También actúan como zonas de cría y desarrollo de juveniles de muchas especies de peces y macroinvertebrados. La eriza (*Diadema africanum*) es actualmente uno de los invertebrados marinos gregarios más abundantes de los fondos marinos infralitorales de Canarias y los gallos son depredadores naturales de esta especie, lo que explica por qué se considera un grupo clave a pesar de su baja biomasa.

### Indicadores obtenidos a partir del modelo Ecopath de Gran Canaria

Para determinar el grado de madurez del ecosistema marino de Gran Canaria, así como el impacto de la pesca sobre el mismo, se han analizado algunos de los indicadores que ofrece el programa Ecopath (Tabla 4). El índice de reciclaje de Finn (FCI) es la proporción de todos los flujos que se reciclan en el sistema (Finn, 1976). Pese a que este índice se emplea para medir el desarrollo y reciclaje del ecosistema, también proporciona información sobre la estabilidad de este, ya que aquellos ecosistemas con índices de reciclaje elevados son más estables por lo que pueden resistir mejor las perturbaciones (Christensen, 1995). Un valor del 12,60% para el FCI es indicativo de un ecosistema inmaduro.

La ascendencia (A) es una medida de la información mutua promedio en un sistema, escalada por los flujos totales y derivada de la teoría de la información (Ulanowicz, 1986; Ulanowicz & Norden, 1990). Esta medida se asocia con la organización y eficiencia del ecosistema, así como con su madurez y la capacidad para resistir a perturbaciones externas. Existe un límite superior teórico para el tamaño de la ascendencia, que se conoce como capacidad de desarrollo (C) y la diferencia entre ambas se conoce como coste de funcionamiento u “Overhead” (O). Este parámetro muestra el “potencial de reserva al que puede recurrir el ecosistema cuando se somete a perturbaciones (Ulanowicz, 1986), o dicho de otra manera, indica cuánto puede crecer y desarrollarse un ecosistema. La ascendencia fue del 25,49%, lo que indica que el ecosistema posee un tamaño de aproximadamente el 25% respecto a su capacidad. El overhead muestra que el ecosistema posee una resiliencia alta, de casi el 75%, lo cual es característico de sistemas en desarrollo (Ulanowicz, 1986).

La eficiencia bruta de la pesquería ( $GE_h$ ) (tabla 9) mostró un valor de 0,002, el cual es superior al valor medio global de los ecosistemas, estimado en 0,0002 (Christensen et al., 2005). Este resultado es congruente con lo esperado para un ecosistema donde la pesca está dirigida a los predadores superiores.

El nivel trófico medio de la captura (TLc) indica que la pesquería está dirigida hacia especies que se encuentran en los niveles tróficos más altos (Tabla 4). El rendimiento bruto de la pesquería ( $GE_h$ ) se expresa como el cociente entre la captura y la producción primaria neta del sistema y puede interpretarse como una medida de la eficiencia de la pesquería. La  $GE_h$  mostró un valor de 0,002, el cual es 10 veces superior al valor medio global estimado (Christensen et al., 2005). Este valor es consistente con un ecosistema donde la pesca está dirigida a los predadores superiores.

La producción primaria requerida para sostener la pesquería se puede considerar como una medida de la huella ecológica de la pesca en el ecosistema marino (Pauly & Christensen, 1995a). La producción primaria para sostener la pesquería desde el detrito (%PPRb), muestra un valor del 20,52% (Tabla 4), lo que está próximo a los valores del 24,2% (zonas de plataforma en áreas tropicales) y 25,1% (upwelling) (Pauly & Christensen, 1995b). Este valor ligeramente inferior a los mencionados se debe principalmente a que las Islas Canarias se encuentran en una región subtropical, poseen un marcado carácter oceánico y cuentan con una escasa plataforma. Si no se considera el detrito, la producción primaria necesaria (%PPRa) para sostener la pesquería disminuye un 3,55% (Tabla 4), lo que pone de manifiesto la importancia que tienen las especies detritívoras como son los crustáceos natantia, los moluscos, los invertebrados bentónicos y la DSL en las capturas.

**Tabla 4.** Indicadores ecológicos del modelo ecosistémico de Gran Canaria.

Índices de reciclaje y análisis de la red trófica	Valor	Unidades
Índice de reciclaje de Finn (FCI) (% de transferencias totales)	12,60	%
<b>Índices de información</b>		
Ascendencia (A)	25,49	%
Coste de funcionamiento total (O)	74,51	%
Capacidad total (C)	31579	Flowbits
<b>Índices del estado de la pesquería</b>		
Nivel trófico medio de la captura (TLc)	3,445	
Rendimiento bruto de la pesquería (GE <sub>H</sub> : captura/ producción primaria neta del sistema)	0,002	
Producción primaria requerida para sostener la pesquería (desde los productores primarios) (%PPRa)	16,97	%
Producción primaria requerida para sostener la pesquería (desde el TL=1. detrito y productores primarios) (%PPRb)	20,52	%

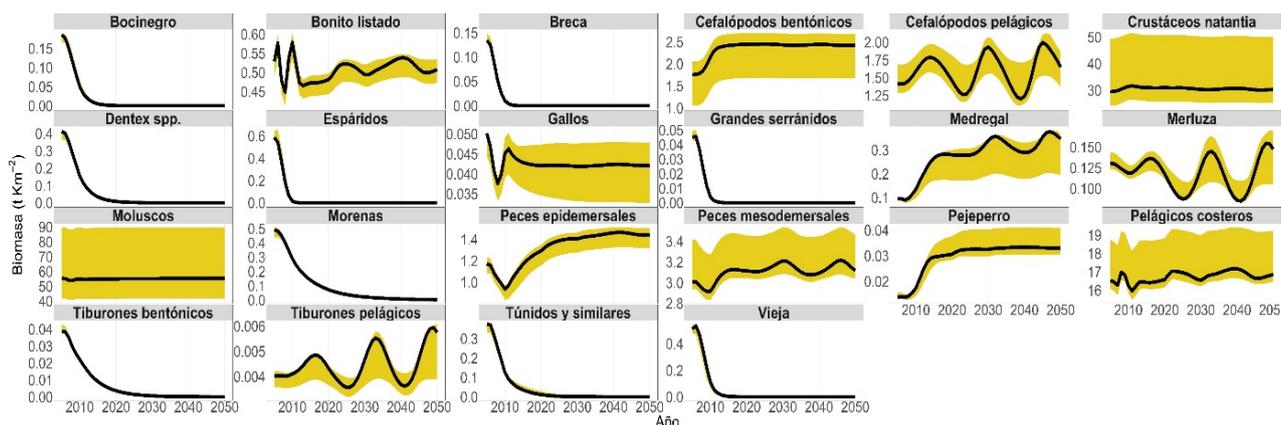
### Proyecciones según los escenarios de gestión planteados

Se tuvo en cuenta la incertidumbre de los datos de entrada del modelo Ecopath a la hora de decidir qué modelo Ecosim era el más acertado para cada uno de los escenarios propuestos. Para ello, se utilizó la rutina de análisis de Monte Carlo incluida en el programa y a través del módulo Ecosampler (Steenbeek et al., 2018) se hicieron 500 permutaciones para cada escenario, basadas en el coeficiente de variación de incertidumbre definido en el pedigree, para cada dato de biomasa, consumo/biomasa, producción/biomasa y captura incluidos en el modelo.

Estas permutaciones modifican los parámetros de entrada del modelo Ecopath, por lo que, para cada escenario, se realizaron muestras aleatorias entre los resultados de las diferentes permutaciones, para comprobar que se mostraban resultados coherentes y no había problemas en el ajuste de los modelos obtenidos. Tras realizar este paso y comprobar que todo era correcto, para cada escenario se seleccionó el modelo que presentaba un mejor ajuste estadístico. En todos los casos, los modelos seleccionados obtuvieron valores más bajos de SS que el modelo base original.

### **Escenario 1**

En el primer escenario se asume que cada flota mantiene un esfuerzo constante entre 2021-2050, tomando como referencia los valores correspondientes al año 2000 y añadiendo el efecto que el cambio climático podría tener sobre los grupos funcionales de interés pesquero o que incluyen especies accesorias de la pesquería. Especies como el bocinegro, la breca, las samas (*Dentex spp.*), los tiburones bentónicos (ej., cazones) y la vieja (*Sparisoma cretense*) muestran una biomasa con tendencia claramente decreciente, apuntando hacia el aparente colapso de estos stocks incluso antes de 2050 (Fig.9). Los patrones oscilantes que muestran los grupos de cefalópodos pelágicos, peces mesodemersales, medregales y merluza estarían relacionados con cambios en la abundancia de sus presas.



**Figura 9.** Evolución de la biomasa de las especies objetivo o accesorias de la pesquería artesanal, durante el periodo 2006 - 2050. La línea sólida representa el modelo escogido, y el sombreado muestra los resultados del resto de permutaciones incluidos entre los percentiles 5% y 95%.

## Escenarios 2-5

Los siguientes escenarios muestran qué cambios podrían suceder de aquí a 2050, de realizarse pequeños cambios en la actual estrategia de gestión pesquera. Los resultados obtenidos al combinar las simulaciones temporales y espaciales (Tabla 5), muestran que cualquiera de las estrategias planteadas resultaría insuficiente para garantizar el buen estado ambiental de los principales stocks objetivo de la pesquería.

Los grupos de serránidos (incluido el cherne), bocinegro, samas y pequeños espáridos se encuentran entre los grupos más afectados, seguidos de la breca, los gallos y las morenas, experimentando todos ellos las mayores pérdidas de biomasa relativa a finales de 2050.

Si se reduce únicamente el esfuerzo de los pescadores recreativos (escenario 2), se observa que para esos mismos grupos la pérdida de biomasa es menor que si únicamente se reduce el esfuerzo relativo a las flotas de nasas y trasmallo profesionales (escenario 3). La excepción la encontraríamos en el grupo funcional de los gallos, cuya pérdida de biomasa sería inferior en el escenario 3, pues se capturan mayoritariamente con nasas.

Para interpretar correctamente los resultados, hay que entender que las variaciones en la biomasa no dependen únicamente de la presión pesquera sobre los recursos, sino también de los efectos del cambio climático y de las distintas interacciones predador-presa que tienen lugar dentro del ecosistema.

Esto explica por qué se dan resultados tan dispares en grupos como el del listado, los pelágicos costeros, los peces mesodemersales, la vieja, los gallos o el pejeperro, que muestran mayores pérdidas de biomasa cuanto mayor es la restricción pesquera.

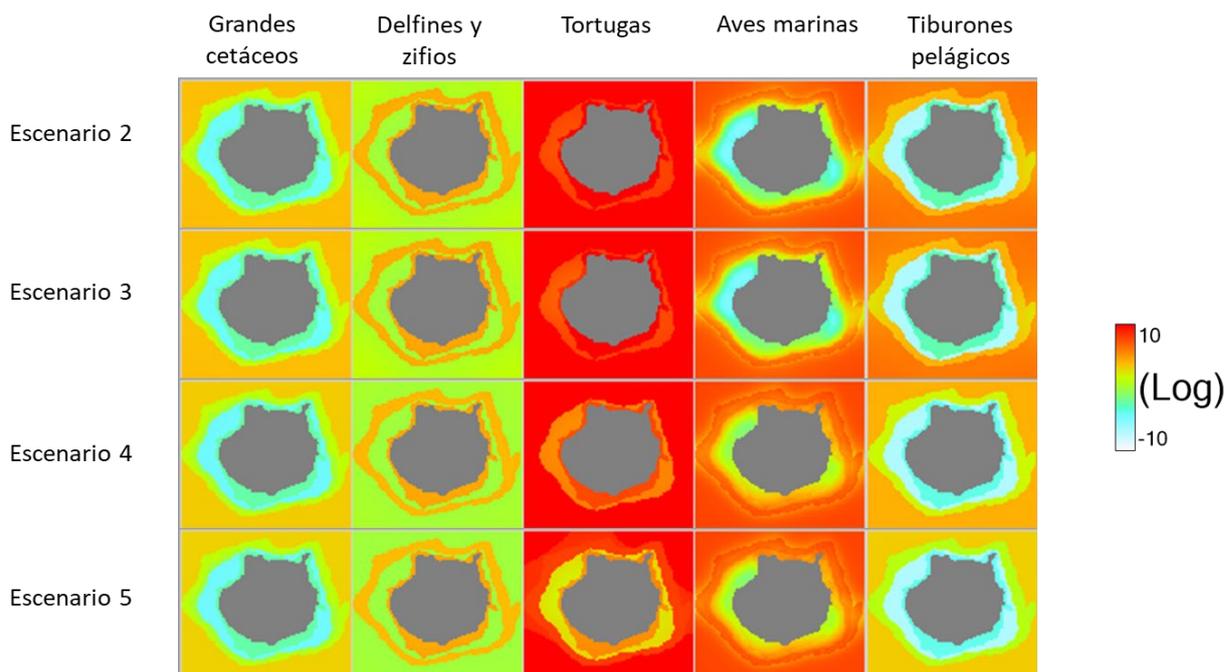
Un incremento en la biomasa de sus principales predadores justifica estos resultados en los grupos de pelágicos costeros, vieja, gallos y pejeperro, mientras que para los otros grupos mencionados los resultados estarían relacionados con una disminución en la biomasa de sus presas, más concretamente de los pelágicos costeros.

**Tabla 5.** Variación en la abundancia entre 2005 y 2050 para cada uno de los escenarios propuestos y para los grupos funcionales objetivo de la pesquería.

Grupos funcionales	Escenario 2 % Biomasa	Escenario 3 % Biomasa	Escenario 4 % Biomasa	Escenario 5 % Biomasa
Tiburones bentónicos	-46,00	-57,98	-38,34	-37,34
Túnidos y similares	248,16	356,51	298,80	285,41
Bonito listado	-16,06	-25,37	-44,54	-44,36
Medregales	88,19	129,54	72,73	69,96
Merluza	298,76	447,04	294,26	271,03
Grandes serránidos y chernes	-97,62	-99,71	-98,83	-95,21
Espáridos	-81,01	-85,91	-77,38	-70,85
Samas	-77,23	-80,62	-74,51	-71,36
Bocinegro	-80,92	-87,54	-85,75	-82,08
Pelágicos costeros	68,02	104,26	0,06	0,47
Peces epidemersales	-31,55	-21,93	-12,67	-12,93
Peces mesodemersales	146,43	249,26	99,36	88,22
Vieja	-32,94	-39,58	-71,33	-67,30
Gallos	-62,61	-49,78	-70,91	-70,53
Pejeperro	126,19	96,47	21,12	17,79
Breca	-68,86	-74,28	-68,50	-64,88
Morenas	-68,78	-65,94	-63,44	-61,88
Cefalópodos bentónicos	7,01	12,02	202,71	200,96
Cefalópodos pelágicos	285,01	410,73	361,72	340,03
Crustáceos natantia	130,59	99,78	206,79	202,60
Moluscos	262,70	263,63	644,99	643,90

Los grupos que integran especies con algún tipo de protección muestran resultados más esperanzadores (Fig. 10). Los dos grupos de mamíferos marinos, así como el grupo de tiburones pelágicos muestran una distribución similar de abundancia en todos los escenarios de gestión planteados, siendo ligeramente inferior en los escenarios 4 y 5 debido a la disminución en la abundancia de peces pelágicos costeros. En el grupo de tortugas marinas, se observan cambios en la distribución de su abundancia, especialmente en los escenarios 4 y 5 (Fig. 10).

La alimentación de estas especies se basa principalmente en medusas, cuya biomasa es prácticamente idéntica en todos los escenarios planteados, por lo que estos cambios estarían relacionados con los patrones de distribución y abundancia del resto de grupos funcionales que componen su dieta. Las aves marinas se benefician de los escenarios más restrictivos (Fig. 10), el 4 y 5, pues con ellos se incrementaría la biomasa de su principal presa, los cefalópodos pelágicos.

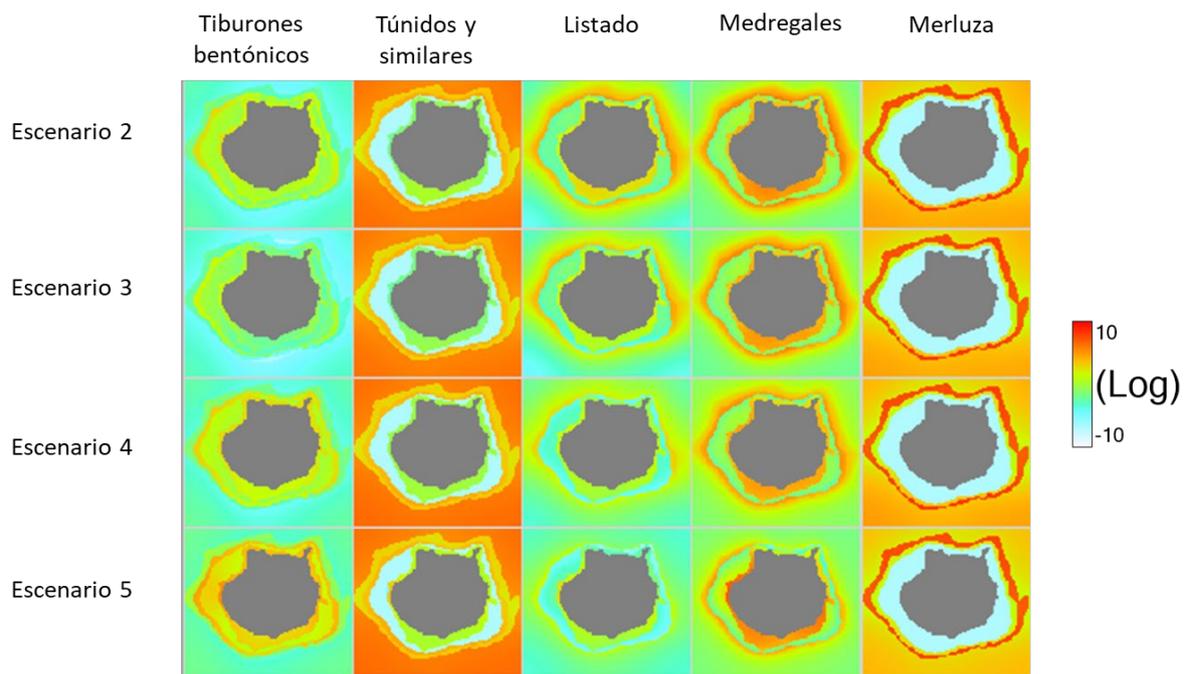


**Figura 10.** Simulación espacial de la biomasa relativa de los grupos funcionales que incluyen especies con alguna medida de protección y que no son objetivo de la pesquería en el año 2050, ante los escenarios alternativos de gestión pesquera planteados.

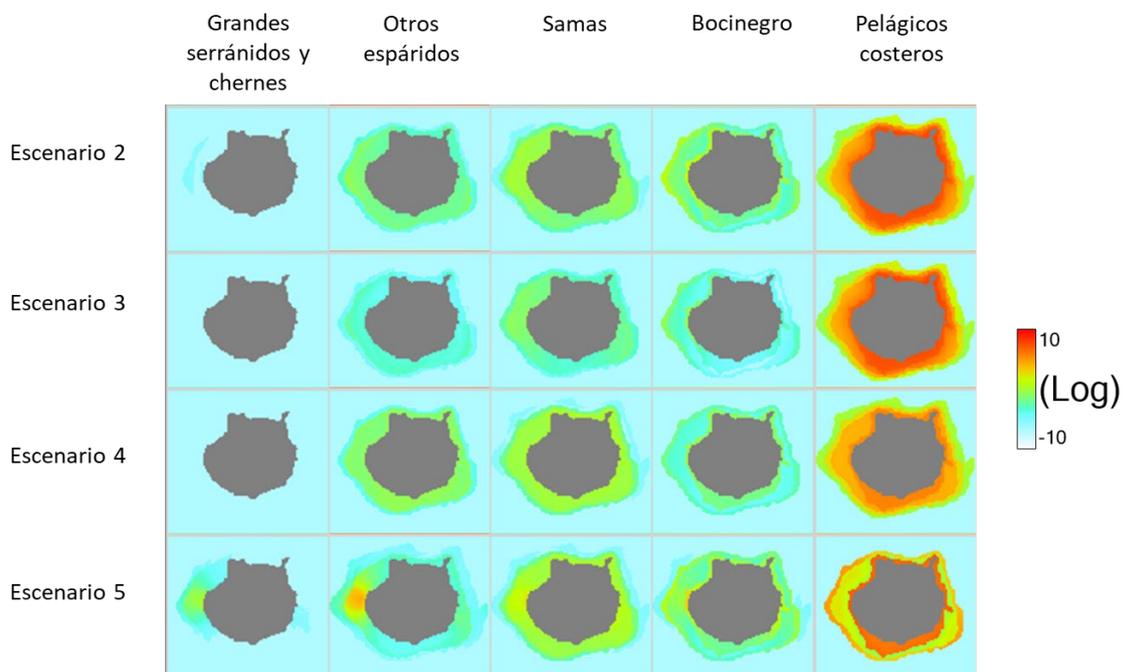
Los cambios en la biomasa de tiburones bentónicos registrados en la Tabla 5 son más notorios si tenemos en cuenta la distribución espacial de estas especies (Fig. 11), observándose una mayor concentración en las zonas próximas a costa en el escenario 5. En los medregales se observa una mayor concentración en las áreas de la Red Natura 2000 definidas como reservas marinas integrales (escenario 5, Fig. 11), en especial en la que se encuentra en la vertiente oeste de la isla que se corresponde con el ZEC ES7011005 - Seadales de Güigüí. El establecimiento de zonas con protección integral parece no tener un efecto tan visible en los grupos de túnidos, listado y merluza (Fig. 11).

El escenario 1 mostraba el más que probable colapso de la población de tiburones bentónicos (Fig. 9); sin embargo, pequeños cambios en la estrategia pesquera, aunque resulten insuficientes, pueden ser un pequeño paso para lograr la recuperación de estos stocks a medio o largo plazo. Los resultados referentes a los grupos de grandes túnidos hay que tomarlos con más cautela ya que son especies reguladas internacionalmente con criterios de explotación que se modifican año a año,

Las poblaciones de grandes serránidos, samas, bocinegro y pequeños espáridos distan mucho de encontrarse en buen estado a tenor de los resultados obtenidos (Fig.9). Estos grupos están sometidos a una intensa presión pesquera, tanto por pescadores artesanales como recreativos, por lo que el buen estado de sus poblaciones puede haberse visto seriamente comprometido. Tal es así, que en el grupo que engloba a los grandes serránidos la imagen es devastadora (Fig12), pues de seguir así en el año 2050 apenas quedarían ejemplares.



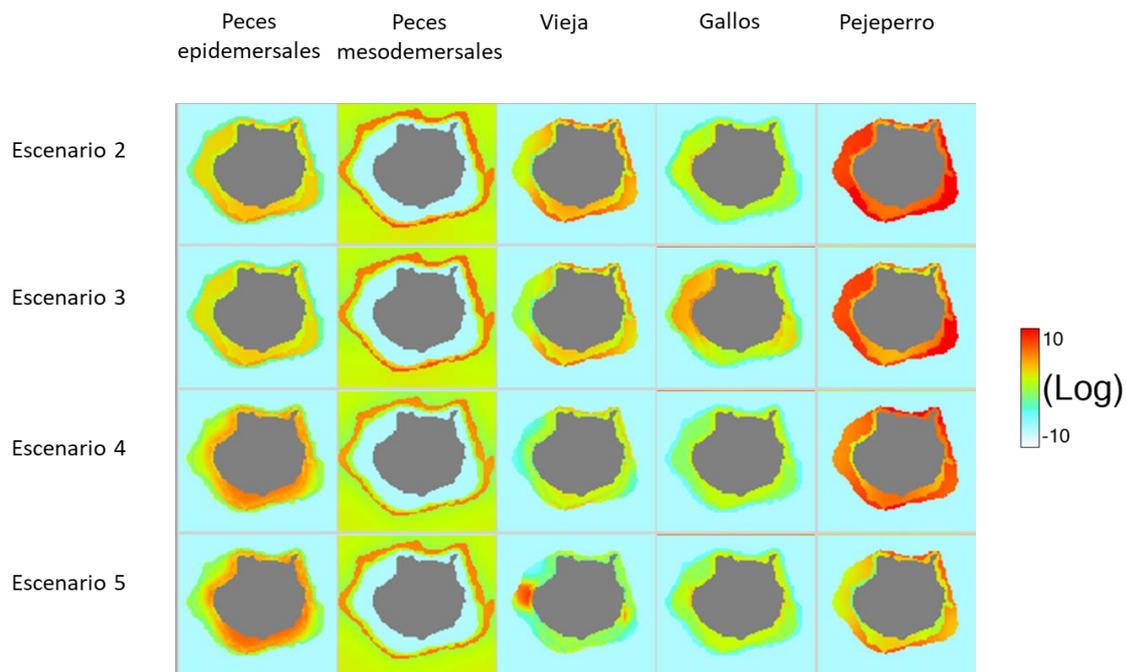
**Figura 11.** Simulación espacial de la biomasa relativa de tiburones bentónicos, túnidos y especies afines, listado, medregales y merluza en el año 2050, ante los escenarios alternativos de gestión pesquera planteados.



**Figura 12.** Simulación espacial de la biomasa relativa de grandes serránidos, pequeños espáridos, samas, bocinegro y pelágicos costeros en el año 2050, ante los escenarios alternativos de gestión pesquera planteados.

El caso de los pequeños espáridos, las samas y bocinegro es algo mejor, pues cualquiera de los escenarios planteados contribuiría a una pequeña recuperación de sus stocks (Fig. 12). Pese a todo, lo que sí queda demostrado es la influencia positiva que tienen las reservas integrales, pues para estos cuatro grupos se observa una mayor concentración de biomasa en estas áreas marinas protegidas (Fig. 12).

Los cambios en la distribución de pelágicos costeros están relacionados con los cambios en la abundancia y distribución de sus principales predadores (Fig. 12).



**Figura 13.** Simulación espacial de la biomasa relativa de peces epidemersales, peces mesodemersales, vieja, gallos y pejeperro en el año 2050, ante los escenarios alternativos de gestión pesquera planteados.

Los peces epidemersales muestran mejores previsiones de biomasa con los escenarios más restrictivos, el 4 y 5; si bien los grupos correspondientes a peces mesodemersales, vieja, gallos y pejeperro se ven más beneficiados con los escenarios 1 y 2 (Tabla 5, Fig. 13).

Como ya se ha comentado anteriormente, esto tiene su explicación en las interacciones predador-presa que ocurren dentro del ecosistema. La población de la vieja de seguir con la estrategia de gestión actual podría ver su integridad comprometida (Fig. 9).

Sin embargo, limitar el esfuerzo pesquero artesanal y recreativo tendría un impacto favorable sobre este stock (Fig. 13) y la creación de áreas marinas integrales modificaría la distribución de esta especie, concentrándose en dichas zonas.

## Prototipo de vehículo Autónomo de Superficie (ASV) para la monitorización de biomasa pesquera

### Construcción del prototipo

Una de las líneas estratégicas de este proyecto consistió en el desarrollo de un prototipo autónomo de bajo coste para la evaluación de biomasa y stocks pesqueros. Para ello, y partiendo de una tabla de windsurf reutilizada, se ha diseñado una plataforma autónoma portadora de una ecosonda capaz de cuantificar la distribución espacial de intensidades de eco, de forma periódica, en las áreas de estudio.

El objetivo desde el inicio era conseguir una autonomía aproximada de al menos 6 horas a una velocidad de dos nudos. Tanto la velocidad desarrollada, como las características de la plataforma, hacen que la misma no represente ningún riesgo para otras embarcaciones.

El proceso de construcción ha implicado, en una primera fase, la ejecución de trabajos de adaptación por parte de un fabricante de tablas de surf, que se resumen en los siguientes hitos:

- Fabricación e integración de un tambucho estanco (Fig. 14) de dimensiones interiores 73 cm de largo x 38 cm de ancho y 15 cm de profundidad para albergar todos los componentes electrónicos del prototipo. El tambucho dispone de un canal central de 10 cms de ancho de mayor profundidad (265mm) para poder situar las celdas de la batería en posición vertical.
- Integración de un tubo de carbono en el centro de la tabla para la sujeción de la ecosonda.
- Realización de perforaciones en la tabla y en el tambucho para la instalación de determinados componentes (antena, motores, cableado, etc.).
- Diseño e instalación de un soporte específico para los paneles solares.

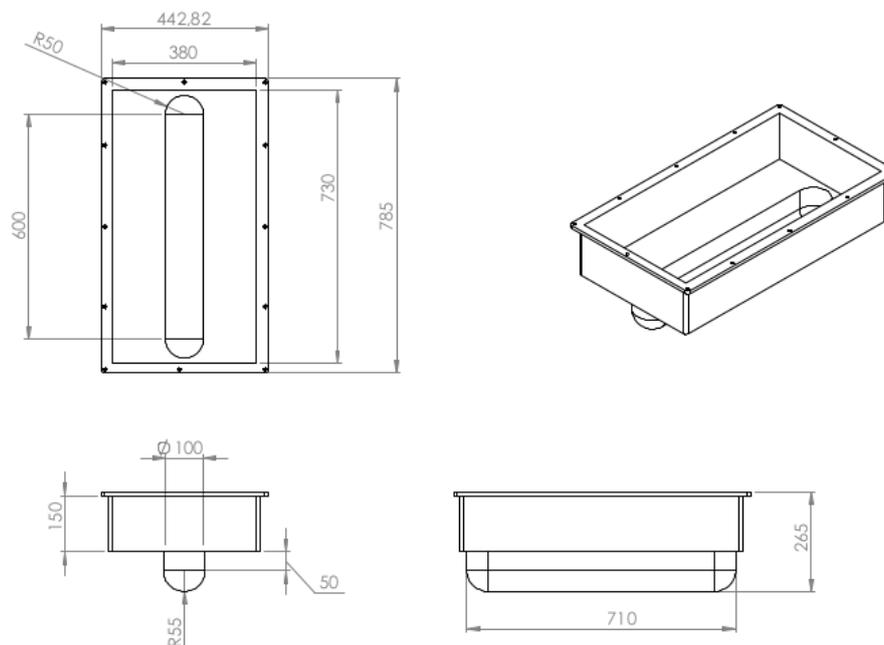


Figura 14. Dimensiones del tambucho integrado en la tabla.

En una segunda fase, se procedió al ensamblaje y puesta a punto de la plataforma (Tabla 6, Fig. 15), cuyo proceso se podría dividir en cuatro etapas:

- Integración de los sistemas de impulsión.
- Integración del sistema de recarga fotovoltaica.
- Integración de los sistemas de navegación y comunicaciones.
- Integración de la ecosonda.

**Tabla 6.** Relación de los principales componentes de la plataforma.

Tipo	Modelo	Principales características
Motores	T200 de Blue Robotics	5.25 / 4.1 kg f @ 16V
Baterías	5 x LiFePO4 de GWL	3.65V@110 A.h
Sistema de control de potencia	1 x REC Q BMS 16S	Hasta 16 celdas, RS485 y CAN bus
Reguladores	2 x GVB-8 MPPT de Genasun	Litio 11-19.9V Custom Voltage MPPT
Paneles solares	2 x SXX 130 de Solbian	Paneles flexibles ligeros, 130 W por panel.
GNSS	U-BLOX NEO-M9N	Multiconstelación, interfaz I2C
Comunicaciones (GPRS)		
Ecosonda	1 x EU D052 de EchoLogger	Ecosonda OEM multifrecuencia (50/200kHz)



**Figura 15.** Distintas fases de la construcción de la plataforma y aspecto final (sin paneles fotovoltaicos instalados).

## Ajustes y pruebas en laboratorio y en el mar

Antes de poder utilizar la plataforma en campañas de obtención de datos, ha sido necesario realizar una buena cantidad de ajustes a partir de pruebas de laboratorio (más de 10) y en el mar (Fig. 16) para la mejora de la navegación (2 pruebas realizadas en el Médano –Tenerife-, los días 8 de marzo y 8 de junio de 2021; así como 3 pruebas realizadas dentro del muelle de Taliarte –Gran Canaria-, durante los días 07, 13 y 18 de octubre de 2021).

Además, se han realizado una serie de pruebas específicas destinadas a la calibración de la ecosonda, previa a su utilización en las campañas de recogida de datos (29 de julio de 2021 y días 07, 13 y 18 de octubre de 2021).



**Figura 16.** Distintos momentos durante las pruebas previas de navegación y registro con la ecosonda.

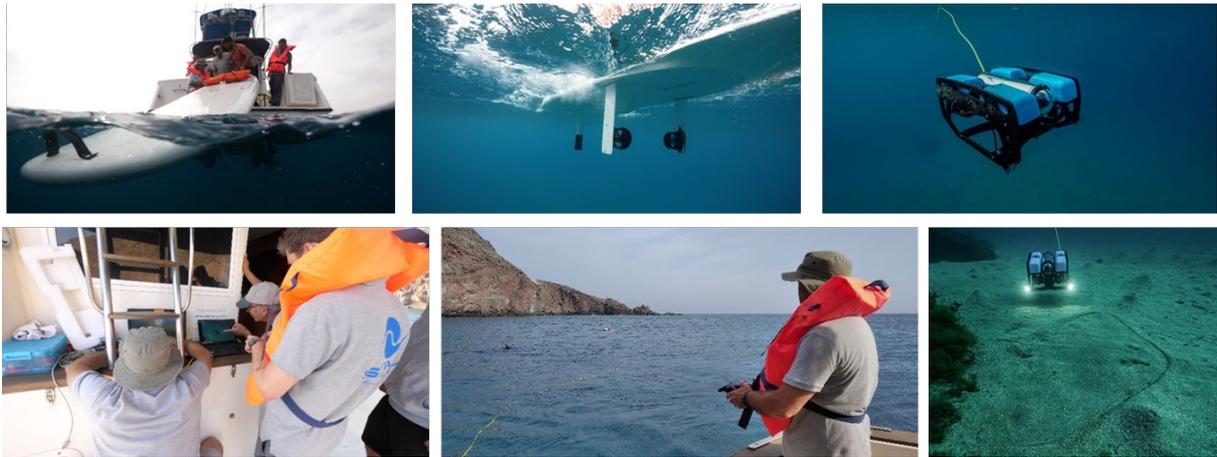
## Obtención de datos con la ecosonda

Pese a que la fuente principal de datos del proyecto han sido las encuestas y entrevistas realizadas a los propios pescadores, un objetivo colateral del proyecto consistía en evaluar la viabilidad de uso de plataformas autónomas de bajo coste para la monitorización de biomasa pesquera en zonas de la Red Natura 2000 de Gran Canaria.

Para ello se han realizado hasta la fecha cuatro campañas piloto de mar específicas (Fig. 17), durante los días 29 de julio, 19 de octubre y 19 y 22 de noviembre de 2021.

En total, se han ejecutado más de 12 horas de muestreo en continuo con la nueva ecosonda integrada en la plataforma que se han complementado, a efectos de calibración e información complementaria (identificación de hábitats, tipos de agregaciones y especies de peces), con más de 3 horas de filmación obtenidas con un vehículo operado remotamente (ROV) en las mismas áreas y momentos en los que se registraba con la ecosonda.

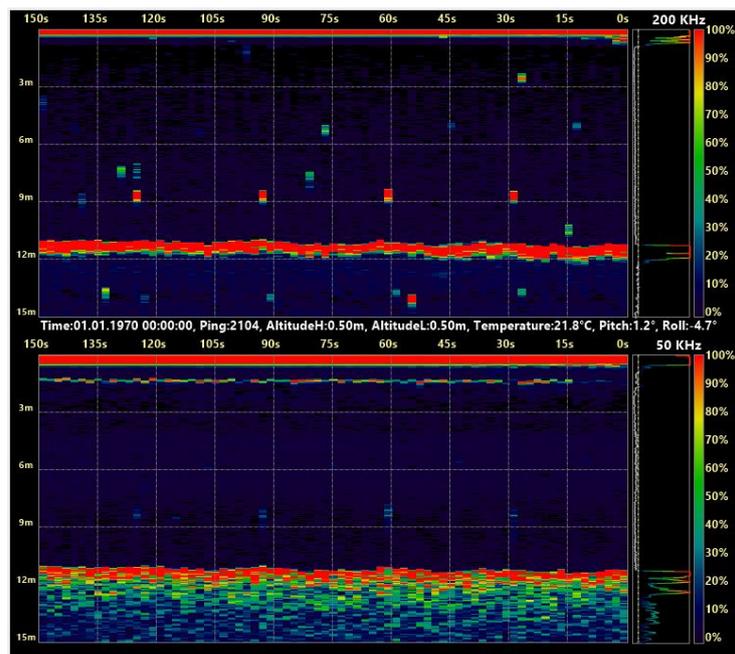
El objetivo principal de estas campañas ha sido validar la idoneidad de la nueva metodología desarrollada y su replicabilidad en otras áreas Red Natura 2000 de Canarias y la Península. La información que proporciona la plataforma autónoma se refiere a especies pelágicas y demersales, la mayoría de ellas especies objetivo de las pesquerías artesanal y recreativa que se desarrollan en el área de actuación del proyecto.



**Figura 17.** Campañas de monitorización con el vehículo autónomo de superficie y el ROV.

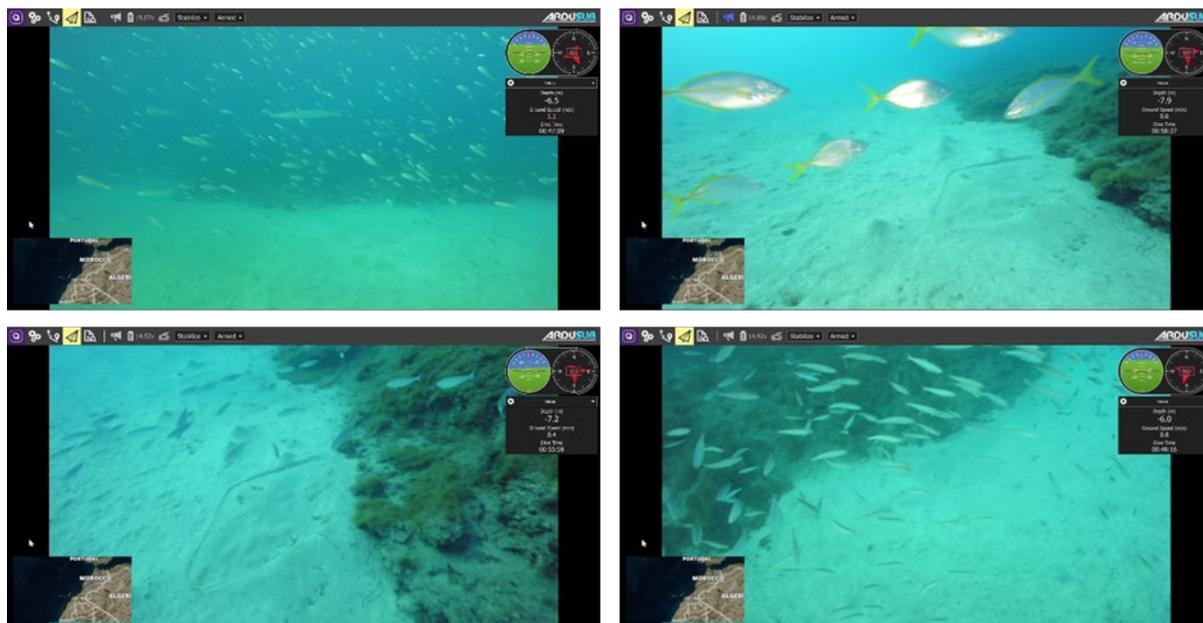
Como principales resultados obtenidos a partir de las campañas de mar realizadas con la plataforma construida, destacan las más de 12 horas de registro con la nueva ecosonda en aguas de la Red Natura 2000 de Gran Canaria, en concreto en las zonas ZEC Franja Marina Mogán (ES7010017) y Bahía de Gando (ES7010048).

La ecosonda EchoLogger EU D052 ha demostrado ser capaz de detectar biomasa sumergida y producir estimaciones cualitativas en base a la integración de ecos a lo largo de la trayectoria. Su pequeño tamaño, su reducido consumo y su carácter abierto la convierten en un instrumento atractivo para su integración en plataformas autónomas como la desarrollada en MOIRA. La calidad de los datos que ha sido posible obtener de la EU D052 durante este proyecto difiere significativamente de la producida por ecosondas científicas de precio muy superior. No obstante, se considera que aún no se ha alcanzado el máximo potencial de este instrumento. Para ello será necesario intensificar el desarrollo de un software de postproceso más elaborado, que no ha sido posible abordar en el marco temporal del proyecto. La frecuencia de 200 kHz produce los ecogramas de mayor resolución (Fig. 18) y es la de mayor utilidad en aguas someras.



**Figura 18.** Ecogramas captados a 200 y 50 kHz durante las pruebas realizadas en la Bahía de Gando (ES7010048).

Por otro lado, el uso del ROV ha demostrado ser altamente valioso como elemento de validación y calibración durante los muestreos (Fig. 19). Gracias a las imágenes obtenidas desde este otro dispositivo, ha sido posible dirigir de manera más eficaz los transectos de muestreo ejecutados con la plataforma hacia aquellas zonas donde se apreciaba mayor agregación de peces. Al mismo tiempo, la calidad de las imágenes permite la identificación de las especies concretas que están siendo captadas por la ecosonda, además de una evaluación general del estado de conservación de los hábitats muestreados e, incluso, la detección de especies de interés (p.e.: especies protegidas o invasoras).



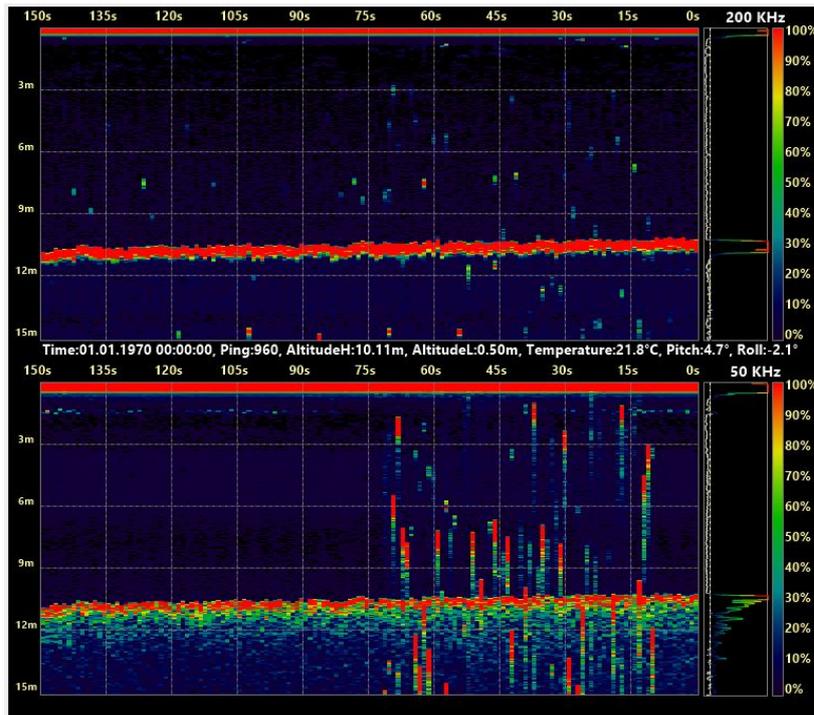
**Figura 19.** Capturas de imágenes obtenidas con el ROV.

### Dificultades encontradas en relación al nuevo prototipo desarrollado

La escasez actual en el suministro de ciertos materiales electrónicos, así como la opción de optar por una fabricación propia de bajo coste, suponen una inversión de tiempo muy alta que debe ser valorada con detenimiento a la hora de planificar un proyecto de estas características, especialmente cuando se trata de proyectos de corta duración como MOIRA (12 meses de ejecución en total).

El modelo de ecosonda adquirida para los objetivos de este proyecto, por necesidades de adaptación a un presupuesto bastante ajustado, ha implicado limitaciones importantes en cuanto a la calidad y nivel de detalle de los datos obtenidos. El fabricante no proporciona ninguna librería para el control de la misma, por lo que ha sido necesario desarrollar una librería propia para el control de este dispositivo, cuestión que ha supuesto una demora adicional.

Se ha constatado también que la ecosonda EU D052 (50/200kHz) es susceptible a interferencias por parte del ecosondador del barco de apoyo cuando este se encuentra próximo al vehículo autónomo (Fig. 20). Esto se ha podido constatar con claridad en el canal de 50 kHz con un ecosondador EK60 equipado con un transductor de haz simple (single beam) de 38 kHz.



**Figura 20.** Ecogramas de 200kHz (superior) y 50 kHz (inferior). A partir el segundo 70 aproximadamente, es claramente visible el ruido provocado al encender una ecosonda EK60 en el barco auxiliar y situarse próximo al vehículo autónomo.

La calidad de los datos finales recogidos también se ha visto influida por la transmisión de la información en tiempo real desde la plataforma al ordenador portátil operado desde la embarcación de apoyo. Una vez adquirida cierta experiencia en el manejo de la ecosonda y, desde el punto de vista de la calidad final de los datos, se ha constatado mucho más eficiente la grabación en continuo de datos en una tarjeta de memoria, para su análisis posterior en el laboratorio.

Tanto las pruebas en el mar como, en especial, las propias campañas de muestreo realizadas en aguas abiertas para este proyecto han supuesto un despliegue logístico importante (alquiler de furgón y embarcación para las operaciones de transporte y despliegue de la plataforma) que, a su vez, implica unos costes finales elevados. La disminución de estos costes será paulatina, a medida que el despliegue de las plataformas autónomas requiera menos infraestructura y pueda realizarse incluso desde la costa, optando por un tipo de navegación en modo 100% autónoma.

## Conclusiones

- En el archipiélago canario, las pesquerías artesanales y recreativa se caracterizan por tener grandes lagunas de información que dificultan establecer una correcta gestión. El uso de metodologías basadas en “ciencia ciudadana”, como son las encuestas, se plantea como una herramienta rápida y de bajo coste para suplir estas deficiencias.
- Para poder extraer resultados más precisos de la distribución espacial del esfuerzo pesquero, se requiere una mayor participación por parte de los pescadores, tanto profesionales como recreativos.
- Es necesario separar las tres modalidades de pesca recreativa para evaluar de una forma más apropiada y fiable el esfuerzo pesquero recreativo, El gallo cochino, sargo, abae, pulpo, breca, salmonete y caballa se encuentran sobrepescados y continúan sobreexplotándose según se extrae de los diagramas de Kobe estimados a partir de los datos de primera venta del Gobierno de Canarias.
- El análisis PSA de pescadores artesanales y recreativos mostró resultados muy similares, considerando que los stocks evaluados se encuentran todos plenamente explotados. Únicamente existe discrepancia respecto a la percepción que se tiene del estado del stock de vieja, que los pescadores recreativos consideran que está sobreexplotado mientras que los profesionales lo consideraban como plenamente explotado.
- Los índices de información y desarrollo ecosistémico muestran un ecosistema estresado, influenciado por la actividad pesquera, que todavía no ha alcanzado su estado de madurez y que presenta una resiliencia alta frente a perturbaciones.
- El nivel trófico promedio de la captura, las altas tasas de explotación pesquera, el elevado rendimiento bruto de la pesquería y la producción necesaria para sostener la pesquería, reflejan la intensa explotación a la que están sometidos los recursos pesqueros.
- El impacto combinado de cambio climático, interacciones tróficas y pesca sobre las principales especies de interés pesquero quedó patente al realizar las simulaciones dinámicas temporales y espaciales.
- Las medidas de gestión alternativas planteadas (reducción del esfuerzo de pesca profesional y recreativo un 30%) no solucionarían el problema de agotamiento de los principales stocks pesqueros a corto plazo, pero muestran una tendencia favorable, aunque no suficiente, de cara a escenarios a medio y largo plazo.
- Otorgar protección estricta a áreas ya incluidas en la Red Natura 2000, limitando cualquier actividad pesquera, tendría efectos positivos en especies bentodemersales.
- Las técnicas tradicionales para la caracterización de los stocks pesqueros requieren la monitorización de biomasa mediante dispositivos ecosondadores de elevado precio instalados, a menudo, en embarcaciones especializadas y buques oceanográficos. A partir de la experiencia adquirida a lo largo del proyecto MOIRA puede concluirse que, en determinados ámbitos costeros más reducidos en cuanto a extensión, las nuevas técnicas desarrolladas en el marco del proyecto son viables y suponen, además, una reducción drástica en los costes finales de las actividades de evaluación de la biomasa pesquera.
- La plataforma autónoma desarrollada, equipada con su propia ecosonda, puede llegar a alcanzar una autonomía de más de 24 horas a una velocidad media de 2 nudos. Tanto la velocidad desarrollada, como las características de la plataforma, hacen que ésta no represente ningún riesgo para otras embarcaciones.

- La posibilidad de operar en modo totalmente autónomo, siguiendo rutas y transectos previamente definidos y programados en el laboratorio, le confieren unas capacidades idóneas para la realización de campañas sistemáticas de monitorización, fundamentalmente en aguas costeras, con una mínima supervisión desde la costa.

## Recomendaciones

- Resulta mandatorio estrechar vínculos entre la administración pública, los colectivos de pescadores y la comunidad científica, para limar asperezas y disminuir la desconfianza existente actualmente. Contar con el conocimiento de los pescadores artesanales y recreativos ayudaría a mejorar modelos como el que aquí se presenta y obtener así previsiones más certeras.
- La pesca artesanal y recreativa son actividades bien definidas; la primera constituye una actividad profesional y la segunda una actividad lúdica; no obstante, ambas deben ser controladas por parte de la Administración pública para garantizar que se está cumpliendo la normativa vigente.
- Los barcos pesqueros artesanales deberían reportar todos sus posiciones, independientemente de su eslora, pues ayudaría con la trazabilidad de las capturas a la hora de registrarlas en los puntos de primera venta. Estos datos no tendrían por qué ser públicos, pero sí accesibles con fines científicos o de gestión tras su correspondiente autorización.
- Se requiere un censo actualizado de las embarcaciones autorizadas para la pesca recreativa y la obligatoriedad de reportar sus posiciones. Asimismo, es necesario aumentar el control sobre esta modalidad de pesca, pues para el ciudadano común, es fácil observar a pie de costa irregularidades en cuanto a los kilogramos máximos desembarcados y a la prohibición de no comercializar sus capturas.
- Se desconoce el estado actual de las poblaciones pesqueras y los pocos análisis que se pueden realizar son mediante los datos de primera venta disponibles. Hay que profundizar en la biología y ecología de especies para las que apenas existe información y actualizar la información de las que sí existe, pues en muchos casos podría estar obsoleta.
- Deberían establecerse vedas atendiendo a los ciclos biológicos de las especies y crear áreas marinas protegidas integrales.
- Realización de campañas de divulgación y concienciación a la sociedad para potenciar el valor de existencia de especies protegidas que se encuentran en los espacios de la Red Natura 2000 de Gran Canaria.
- Las únicas pesquerías que se ajustan medianamente bien a evaluaciones con enfoques monoespecíficos son las de túnidos, grandes peces pelágicos (peces espada y afines) o especies ícticas que se encuentran en los niveles tróficos más altos. Las pesquerías multiespecíficas y donde se emplean múltiples artes de pesca deben evaluarse siguiendo las recomendaciones del enfoque ecosistémico.
- Desde la Comisión Europea, a través de la Directiva Marco de Estrategias Marinas, se insta a los Estados Miembros a adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado ambiental del medio marino en cada una de sus demarcaciones marinas. Conocer en qué estado de salud se encuentran las especies que habitan en los ecosistemas marinos canarios debería ser prioritario.

## Referencias

- Brito, A., Pascual, P. J., Falcón, J. M., Sancho, A., & González, G. (2002). *Peces de las Islas Canarias. Catálogo comentado e ilustrado* (Francisco Lemus Editor).
- Chen, Z., Xu, S., Qiu, Y., Lin, Z., & Jia, X. (2009). Modeling the effects of fishery management and marine protected areas on the Beibu Gulf using spatial ecosystem simulation. *Fisheries Research*, 100(3), 222-229.
- Christensen, V. (1995). Ecosystem maturity—Towards quantification. *Ecological modelling*, 77(1), 3-32.
- Christensen, V., Walters, C. J., & Pauly, D. (2005). *Ecopath with Ecosim: A user's guide*. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver.
- Christensen, V., Walters, C. J., Pauly, D., & Forrest, R. (2008). Ecopath with Ecosim version 6 User guide. *Lenfest Ocean Futures Project*, 235.
- Couce-Montero, L., Christensen, V., & Castro, J. J. (2015). Effects of small-scale and recreational fisheries on the Gran Canaria ecosystem. *Ecological Modelling*, 312, 61-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.05.021>
- De Lury, D. B. (1947). On the estimation of biological populations. *Biometrics*, 3(4), 145-167.
- Dedeu, A. L., Boada, J., & Gordo, A. (2019). The first estimates of species compositions of Spanish marine recreational fishing reveal the activity's inner and geographical variability. *Fisheries Research*, 216, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.03.025>
- Dowling, N. A., Smith, A. D. M., Smith, D. C., Parma, A. M., Dichmont, C. M., Sainsbury, K., Wilson, J. R., Dougherty, D. T., & Cope, J. M. (2019). Generic solutions for data-limited fishery assessments are not so simple. *Fish and Fisheries*, 20(1), 174-188. <https://doi.org/10.1111/faf.12329>
- Finn, J. T. (1976). Measures of ecosystem structure and function derived from analysis of flows. *Journal of theoretical Biology*, 56(2), 363-380.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Wiedenmann, J., & Deroba, J. J. (2017). The refined ORCS approach: A catch-based method for estimating stock status and catch limits for data-poor fish stocks. *Fisheries Research*, 193, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.03.017>
- Hernández, J. C., Clemente, S., Sangil, C., & Brito, A. (2008). The key role of the sea urchin *Diadema aff. Antillarum* in controlling macroalgae assemblages throughout the Canary Islands (eastern subtropical Atlantic): An spatio-temporal approach. *Marine Environmental Research*, 66, 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.03.002>
- Heymans, J. J., Coll, M., Link, J. S., Mackinson, S., Steenbeek, J., Walters, C., & Christensen, V. (2016). Best practice in Ecopath with Ecosim food-web models for ecosystem-based management. *Ecological Modelling*, 331, 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.12.007>
- Jiménez Alvarado, D. L. (2016). *La pesca recreativa en Canarias: Aspectos principales y evolución*. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Libralato, S., Christensen, V., & Pauly, D. (2006). A method for identifying keystone species in food web models. *Ecological Modelling*, 195, 153-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.11.029>
- Mackinson, S., Daskalov, G., Heymans, J. J., Neira, S., Arancibia, H., Zetina-Rejón, M., Jiang, H., Cheng, H. Q., Coll, M., & Arreguin-Sanchez, F. (2009). Which forcing factors fit? Using ecosystem

models to investigate the relative influence of fishing and changes in primary productivity on the dynamics of marine ecosystems. *ecological modelling*, 220(21), 2972-2987.

- MAPYA. (2006). *Análisis y ordenación de la pesca de recreo en el ámbito de las Islas Canarias*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Pesca Marítima.
- Mertz, G., & Myers, R. A. (1998). A simplified formulation for fish production. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(2), 478-484. <https://doi.org/10.1139/f97-216>
- Palomares, M. L. D., & Pauly, D. (1998). Predicting food consumption of fish populations as functions of mortality, food type, morphometrics, temperature and salinity. *Marine and Freshwater Research*, 49(5), 447. <https://doi.org/10.1071/MF98015>
- Pauly, D., & Christensen, V. (1995a). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374, 255-257.
- Pauly, D., & Christensen, V. (1995b). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374, 255-257.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382.
- Scott, E., Serpetti, N., Steenbeek, J., & Heymans, J. J. (2016). A Stepwise Fitting Procedure for automated fitting of Ecopath with Ecosim models. *SoftwareX*, 5, 25-30.
- Steenbeek, J., Corrales, X., Platts, M., & Coll, M. (2018). Ecosampler: A new approach to assessing parameter uncertainty in Ecopath with Ecosim. *SoftwareX*, 7, 198-204.
- Ulanowicz, R. E. (1986). *Growth and development. Ecosystems phenomenology*. Springer, New York.
- Ulanowicz, R. E., & Norden, J. S. (1990). Symmetrical overhead in flow networks. *International Journal of Systems Science*, 21(2), 429-437.
- Walters, C., Christensen, V., & Pauly, D. (1997). Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Reviews in fish biology and fisheries*, 7(2), 139-172.
- Walters, C., Pauly, D., & Christensen, V. (1999). Ecospace: Prediction of Mesoscale Spatial Patterns in Trophic Relationships of Exploited Ecosystems, with Emphasis on the Impacts of Marine Protected Areas. *Ecosystems*, 2(6), 539-554.
- Zhou, S., Punt, A. E., Smith, A. D., Ye, Y., Haddon, M., Dichmont, C. M., & Smith, D. C. (2018). An optimized catch-only assessment method for data poor fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3), 964-976.

# ANEXO



## CUESTIONARIO PARA EL DESARROLLO DE ANÁLISIS PSA PESCA PROFESIONAL EN LA ISLA DE GRAN CANARIA

<b>BUQUE/MATRICULA</b>	
<b>COFRADÍA:</b>	
<b>FECHA:</b>	
<b>ENCUESTADOR:</b>	

### PARTE I: INFORMACIÓN DE LOS ARTES DE PESCA Y EL ESFUERZO PESQUERO

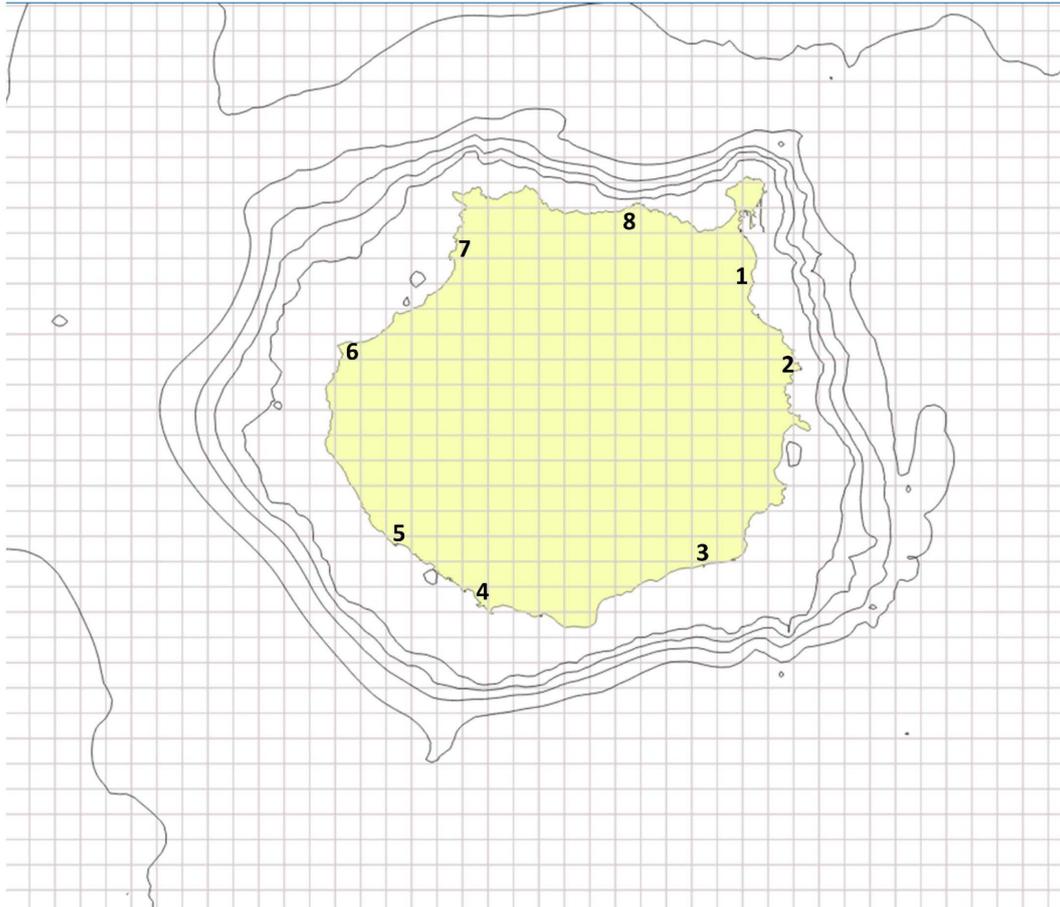
Nasas	Peces	Crustáceos	Tambores
Número de nasas de cada tipo			
¿Cuántos días pesca a la semana?			
Tiempo de operación (en horas, desde que sale del puerto hasta que vuelve)			
Tiempo de calado (horas o días, especificar)			
Nº de nasas levantadas por jornada			
Profundidad (mínima-máxima)			
¿En qué periodos no pesca con...?			
¿En qué mes tiene vacaciones?			

Anzuelo	Liña / Cordel	Palangre	Otros (indicar)
Número de artes y/o anzuelos			
¿Cuántos días pesca a la semana?			
Tiempo de operación (en horas, desde que sale del puerto hasta que vuelve)			
Profundidad (mínima-máxima)			
¿En qué periodos no pesca con...?			

Artes de enmalle	Tiempo operación (h)	Tiempo empleado con el arte (h)	Días a la semana	Periodo de no uso	Tamaño de malla	Altura red (m)	Longitud (m)
Cerco							
Salemera							
Cazonal							
Otros							



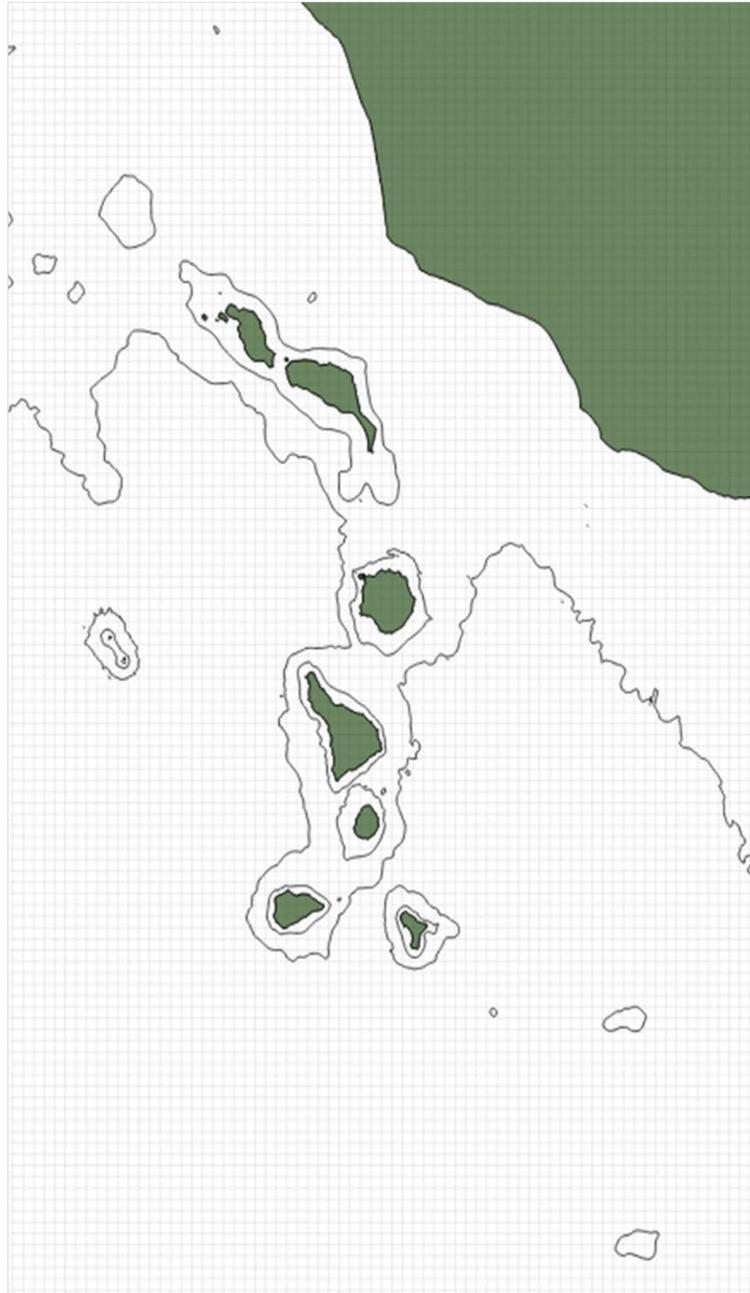
Señalar las áreas de pesca más frecuentes e indicar los tipos de artes empleados habitualmente en cada una de ellas



Profundidad	Tamaño de celda	Puntos de referencia	
100 m.	1.5 x 1.5 millas náuticas	1. San Cristóbal	5. Mogán
250 m.	2.8 x 2.8 kilómetros	2. Melenara	6. La Aldea
500 m.		3. Castillo del Romeral	7. Agaete
1000 m.		4. Arguineguín	8. Bañaderos
2000 m.			
3000 m.			



NOMBRE DEL ENCUESTADO:	Tamaño de celda
NOMBRE DEL BUQUE:	5 x 5 millas náuticas
MATRÍCULA DEL BUQUE:	9.2 x 9.2 kilómetros
COFRADÍA:	Profundidad
ISLA:	1000 m.
FECHA:	3000 m.
ENCUESTADOR:	





## PARTE II: ESTADO ACTUAL DE LA PESCA ARTESANAL SEGÚN EL SECTOR

1. Del stock de .... ¿Qué proporción cree que está sobreexplotado? (marque con una X donde corresponda).

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			

2. ¿Cómo de accesibles son las especies en las áreas donde pesca habitualmente?

	<50% hábitat es accesible a la pesca	50-75% de hábitat es accesible a la pesca	>75% del hábitat es accesible a la pesca
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			

3. ¿Cómo afecta la morfología de cada especie a la eficiencia del sistema de pesca que usa para capturarla?

	Baja eficiencia	Moderada eficiencia	Alta eficiencia	Sistema de pesca
Fula altura / Alfonsino				
Vieja				
Bocinegro				
Sama				
Pulpo				
Merluza				
Breca				
Gallito verde				
Cabrilla				
Salmonete				
Caballa				
Camarón				



4. ¿Cómo afecta la agrupación formando bancos a las capturas de cada especie?

	Disminuyen la eficiencia del arte	No afectan a la eficiencia del arte	Aumentan la eficiencia del arte
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			

5. Proporción de capturas descartadas según especie

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			

6. Intensidad de la pesca hacia cada especie evaluada

	Pesquería no dirigida (captura incidental)	Ocasionalmente dirigida (parte de la captura de múltiples especies)	Pesquería dirigida (especie objetivo)
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			



7. Ocurrencia en las capturas totales

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			

8. ¿En los últimos 5 años ha apreciado una variación en las capturas y esfuerzo relacionado con las especies en sus zonas habituales de pesca? Marcar con una X donde corresponda

	Capturas (kg)			Esfuerzo (días de pesca)		
	Más	Igual	Menos	Más	Igual	Menos
Fula altura / Alfonsino						
Vieja						
Bocinegro						
Sama						
Pulpo						
Merluza						
Breca						
Gallito verde						
Cabrilla						
Salmonete						
Caballa						
Camarón						

9. ¿Ha observado alteración en los hábitats de las zonas donde pesca habitualmente estas especies?

	Sin alteración	Alteración media	Muy alterados
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Camarón			



## CUESTIONARIO PARA EL DESARROLLO DE ANÁLISIS PSA PESCA RECREATIVA EN LA ISLA DE GRAN CANARIA

<b>TIPO DE LICENCIA:</b>	
<b>FECHA:</b>	
<b>ENCUESTADOR:</b>	

### PARTE I: INFORMACIÓN ECONÓMICA Y ESFUERZO PESQUERO SEGÚN MODALIDAD DE PESCA

PESCA DE ORILLA					
Número de cañas					
Número de anzuelos por caña					
Tipo de carnada/reclamo que usa (otros )					
Meses en los que suele pescar					
Meses que pesca más					
¿Cuántos días pesca a la semana?					
¿Cuántos kg captura por día de pesca?					
Tiempo en horas, desde que empieza a pescar hasta que recoge					
Porcentaje de días en los que la captura es cero respecto al año (Redondear o tachar)	< 10%	10-25%	25-50%	50-75%	>75%
Especies más capturadas o sueltas					
GASTOS					
Cañas (valorar lo que cuestan todas las cañas que posee)	Año adquisición cañas:				
Gasto anual en aparejos (Nylon, boyas, plomos, reclamos, Señuelos)					
Gastos por jornada de pesca (desplazamiento hasta zona de pesca, carnada, comida...)					



PESCA DESDE EMBARCACIÓN O KAYAK					
Número de cañas					
Número de anzuelos por caña					
Tipo de carnada/reclamo que usa					
Meses en los que suele pescar					
Meses que pesca más					
¿Cuántos días pesca a la semana?					
¿Cuántos kg captura por día de pesca?					
Tiempo en horas, desde que sale de puerto hasta que regresa					
Porcentaje de días en los que la captura es cero respecto al año (Redondear o tachar)	< 10%	10-25%	25-50%	50-75%	>75%
Número de pescadores en la embarcación por jornada de pesca					
Especies más capturadas y Seltas					
GASTOS					
Cañas (valorar lo que cuestan todas las cañas que posee con sus carretes)	Año adquisición:				
Gasto anual en aparejos (tanza, boyas, plomos, reclamos)					
Gastos por jornada de pesca (desplazamiento hasta el barco, carnada, comida...)					
Valor de la embarcación	Año de compra:				
Gasto mensual /anual de atraque (indicar cuál)					
Gasto mensual en combustible					
En caso de no disponer de embarcación propia, indicar el gasto aproximado de alquiler diario incluyendo combustible					



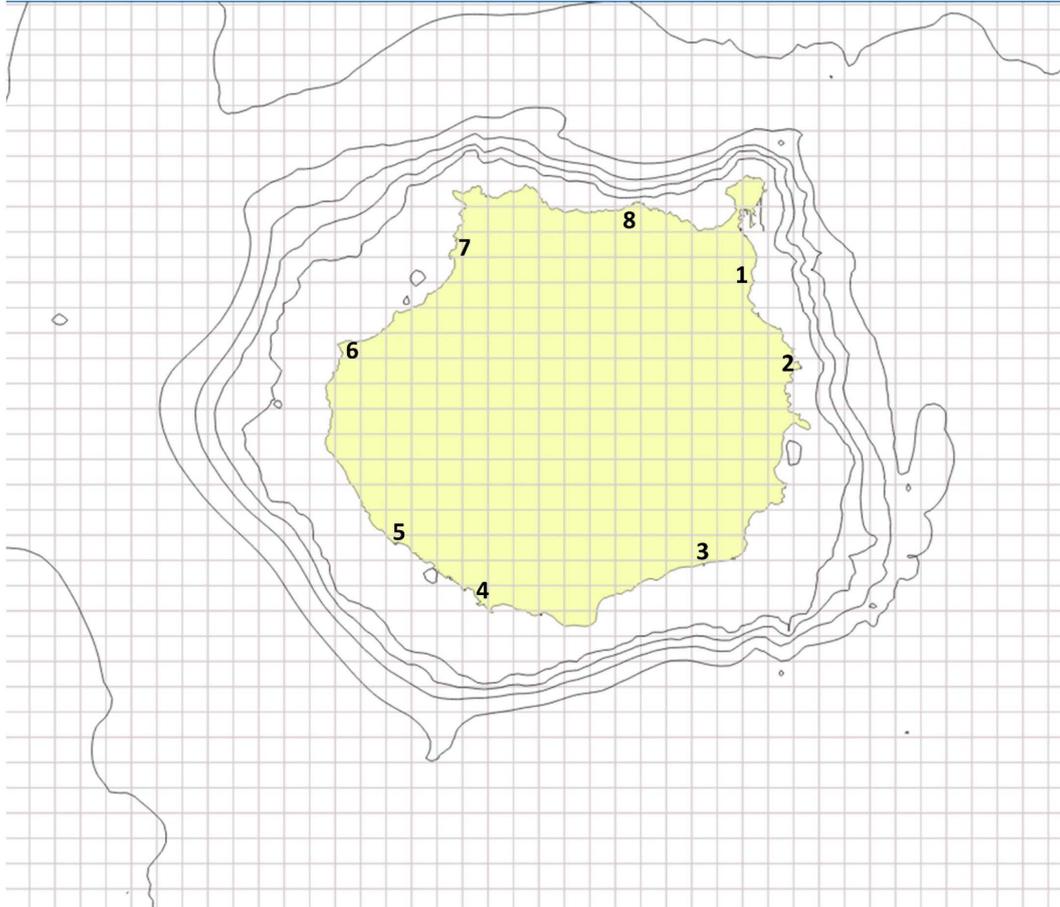
PESCA SUBMARINA	
Número total de fusiles aunque solo pesque con 1 cada vez	
Número de varillas	
¿Pesca con figa/fija?	
Meses en los que suele pescar	
Meses que pesca más	
¿Cuántos días pesca a la semana?	
¿Cuántos kg captura por día de pesca?	
Tiempo en horas, desde que entra al agua hasta que sale	
Porcentaje de días en los que la captura es cero respecto al año	
¿Sale a pescar desde orilla o desde embarcación?	
Especies más capturadas	
GASTOS	
Fusiles (valorar lo que cuestan todos los que posee)	Año adquisición:
Gasto anual en aparejos (varillas, ligas, etc)	
Gastos por jornada de pesca (desplazamiento hasta el barco, comida...)	
EN CASO DE DESPLAZARSE HASTA LA ZONA DE PESCA DESDE EMBARCACIÓN	
Valor de la embarcación	Año de compra:
Gasto mensual /anual de atraque (indicar cuál)	
Gasto mensual en combustible	
En caso de no disponer de embarcación propia, indicar el gasto aproximado de alquiler diario incluyendo combustible	



Unión Europea  
Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP)



Señalar las áreas de pesca más frecuentes e indicar los tipos de artes empleados habitualmente en cada una de ellas



Profundidad	Tamaño de celda	Puntos de referencia	
100 m.	1.5 x 1.5 millas náuticas	1. San Cristóbal	5. Mogán
250 m.	2.8 x 2.8 kilómetros	2. Melenara	6. La Aldea
500 m.		3. Castillo del Romeral	7. Agaete
1000 m.		4. Arguineguín	8. Bañaderos
2000 m.			
3000 m.			



**PARTE II: ESTADO ACTUAL DE LA PESCA RECREATIVA SEGÚN EL SECTOR**

Marcar las casillas según corresponda indicando si se trata de pesca desde orilla (O), embarcación (E) o submarina (S)

1. Del stock de .... ¿Qué proporción cree que está sobreexplotado?

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			

2. ¿Cómo de accesibles son las especies en las áreas donde pesca habitualmente?

	<50% hábitat es accesible a la pesca	50-75% de hábitat es accesible a la pesca	>75% del hábitat es accesible a la pesca
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			



3. ¿Cómo afecta la morfología de cada especie a la eficiencia del sistema de pesca que usa para capturarla?

	Baja eficiencia	Moderada eficiencia	Alta eficiencia	Sistema de pesca
Fula altura / Alfonsino				
Vieja				
Bocinegro				
Sama				
Pulpo				
Merluza				
Breca				
Gallito verde				
Cabrilla				
Salmonete				
Caballa				
Crustáceos				
Sargo				
Salema				
Mero				
Abae				
Bicuda				
Jurel				
Pejeperro				
Medregal				

4. ¿Cómo afecta la agrupación formando bancos a las capturas de cada especie?

	Disminuyen la eficiencia del arte	No afectan a la eficiencia del arte	Aumentan la eficiencia del arte
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			



5. Proporción de capturas descartadas según especie

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			

6. Intensidad de la pesca hacia cada especie evaluada

	Pesquería no dirigida (captura incidental)	Ocasionalmente dirigida (parte de la captura de múltiples especies)	Pesquería dirigida (especie objetivo)
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			



7. Ocurrencia en las capturas totales

	Menos del 10%	Entre el 10 – 25 %	Más del 25%
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			

8. ¿En los últimos 5 años ha apreciado una variación en las capturas, y esfuerzo relacionado con las especies en sus zonas habituales de pesca? Marcar con una X donde corresponda

	Capturas (kg)			Esfuerzo (días de pesca)		
	Más	Igual	Menos	Más	Igual	Menos
Fula altura / Alfonsino						
Vieja						
Bocinegro						
Sama						
Pulpo						
Merluza						
Breca						
Gallito verde						
Cabrilla						
Salmonete						
Caballa						
Crustáceos						
Sargo						
Salema						
Mero						
Abae						
Bicuda						
Jurel						
Pejeperro						
Medregal						



9. ¿Ha observado alteración en los hábitats de las zonas donde pesca habitualmente estas especies?

	Sin alteración	Alteración media	Muy alterados
Fula altura / Alfonsino			
Vieja			
Bocinegro			
Sama			
Pulpo			
Merluza			
Breca			
Gallito verde			
Cabrilla			
Salmonete			
Caballa			
Crustáceos			
Sargo			
Salema			
Mero			
Abae			
Bicuda			
Jurel			
Pejeperro			
Medregal			



### PARTE III: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE GESTIÓN

En el marco del proyecto Moira se pretende realizar una modelización del sistema ecológico marino de la isla de Gran Canaria, poniendo especial énfasis en las áreas de la Red Natura 2000, de modo que se generen proyecciones de futuro del estado de los recursos marinos en función no sólo de la actividad pesquera actual y de los escenarios de cambio climático previstos, sino también según las diferentes estrategias de gestión pesquera y de ordenación espacial (e.g. Reservas marinas) que se puedan implementar. Por ello, y de acuerdo con su experiencia y conocimientos del sistema marino y de la forma en que se desarrolla su actividad de pesca, nos gustaría saber cuáles cree Ud. que deben ser las medidas de gestión de la pesca que se deben modificar, eliminar o introducir para alcanzar un mayor grado de conservación y sostenibilidad de los recursos y ecosistemas marinos, así como reducir el impacto de la pesca (profesional y/o recreativa), el furtivismo y la conflictividad social, a corto, medio y largo plazo:

1- Medidas a corto plazo o urgentes (a realizar entre 1 y 5 años):

2- Medidas a medio plazo (a realizar entre 5 y 10 años):

3- Medidas a largo plazo (a realizar a más de 10 años):



# PROYECTO MOIRA

Un proyecto de:



Entidades colaboradoras:



Empresario de San Bartolomé  
**PE!CATOBR!**  
De Pesca a Turismo

Con la colaboración de:

