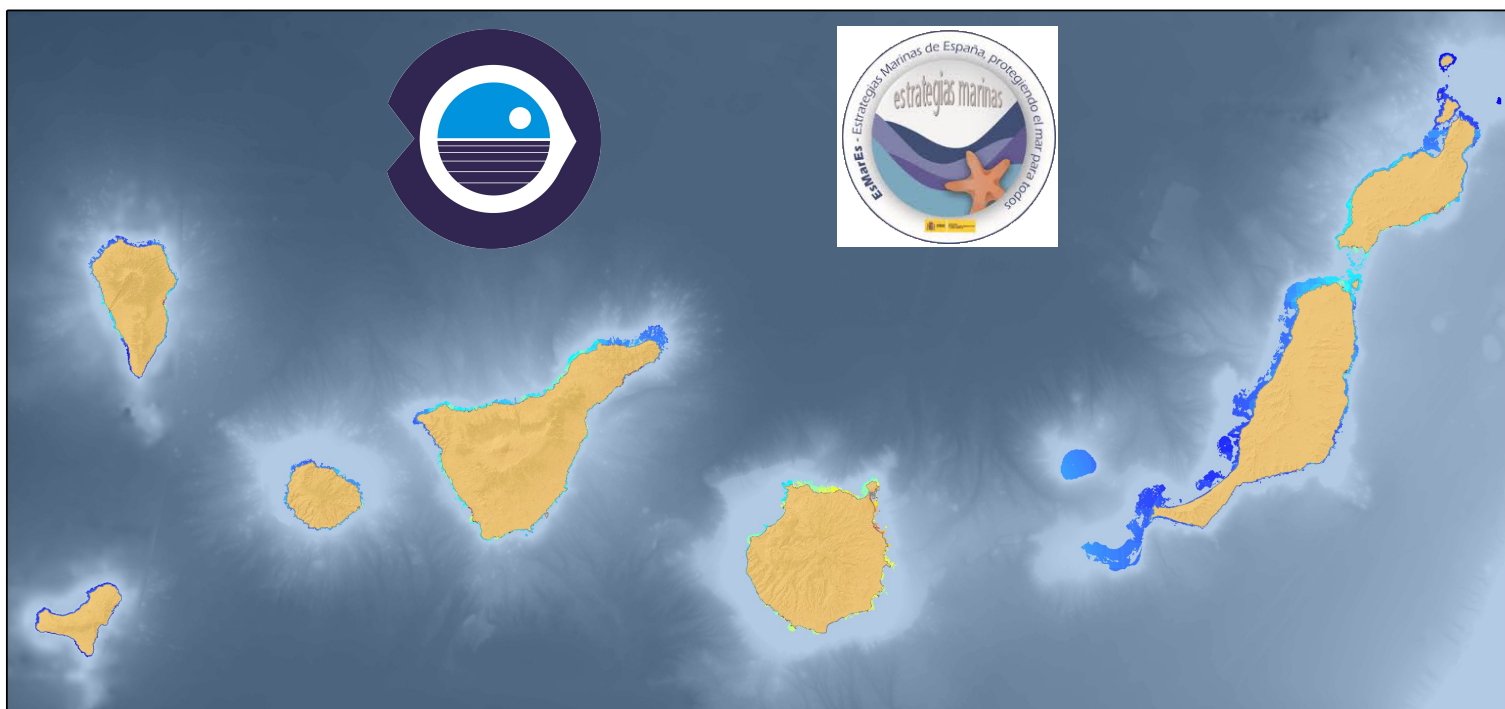


ANÁLISIS PRELIMINAR DE PRESIONES ANTRÓPICAS EN EL MEDIO MARINO PARA LA SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO EN EL INFRALITORAL ROCOSO -DEMARCACIÓN MARINA CANARIA-





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Informe realizado por el Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Canarias.

Autores

Yeray González Marrero

Jaime Ezequiel Rodríguez Riesco

Yulimar González Rodríguez

Carlos Luis Hernández González

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
METODOLOGÍA.....	3
1. MODELO	3
2. FLUJO DE TRABAJO PARA LA CREACIÓN DEL MODELO	4
2.1. Generación de una máscara de trabajo para todas las capas	4
2.2. Identificación de las actividades humanas y confección de mapas ráster para cada actividad.	5
2.3. Definición de los pesos de las actividades y combinación de los mapas de actividades por cada presión.	6
2.4. Definición de pesos para cada presión.....	6
2.5. Generación del mapa de Impactos finales.	8
RESULTADOS.....	10
1. ELABORACIÓN DE CAPAS POR ACTIVIDADES	10
1.1. ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS	11
1.2. ALÓCTONAS ACUICULTURA	12
1.3. ALÓCTONAS PUERTOS	12
1.4. PESCA SUBMARINA	13
1.5. PESCA RECREATIVA DESDE TIERRA	14
1.6. PESCA DEPORTIVA DESDE EMBARCACIÓN.....	15
1.7. DIFUSIÓN ACUICULTURA	17
1.8. DIFUSIÓN PUERTOS DEPORTIVOS.....	17
1.9. DIFUSIÓN PUERTOS ESTATALES	17
1.10. VERTIDOS	18
1.11. NUTRIENTES Y PESTICIDAS DE ORIGEN AGRÍCOLA.....	21
1.12. BASURAS	23
2. ELABORACIÓN DE CAPAS POR PRESIONES.....	23
3. RESULTADO FINAL Y PRÓXIMA ETAPA	24
BIBLIOGRAFÍA	2 5
ANEXO I TABLAS.....	2 7
ANEXO II MAPAS	30

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca en el programa de seguimiento para el infralitoral rocoso de la demarcación marina canaria y más concretamente en las tareas de selección de las áreas de muestreo. El objetivo del programa es la evaluación continua en el tiempo del estado ambiental de sus aguas, mediante el estudio de estaciones fijas de muestreo. Así pues, en dichas estaciones se pondrán en práctica los programas de seguimiento diseñados en el marco de los programas PC1 (Peces y cefalópodos del infralitoral rocoso), HB1 (Hábitats Bentónicos del infralitoral rocoso) y HB6 (Especies catalogadas).

Uno de los criterios más importantes para la selección de las zonas de estudio son los gradientes de presión antrópica existentes. En el marco de las estrategias marinas es importante establecer las relaciones entre las presiones y el estado de conservación para hacer una evaluación adecuada y determinar su proximidad o no al buen estado ambiental (BEA). El entendimiento en detalle de las presiones que actúan sobre una comunidad biológica ayuda a explicar su estado de conservación actual. Además, en los casos en los que no se alcance el BEA, el conocimiento espacial de dichas relaciones ayudará a entender las actividades humanas sobre las que se deben centrar las futuras medidas correctoras. Por otro lado, debido a que diferentes presiones afectan a distintas especies, hábitats o incluso funciones ecosistémicas es necesario una correcta selección de las presiones que afectan en cada situación.

En Canarias la acumulación de presiones sobre el medio marino es más intensa en las áreas costeras y por tanto en el infralitoral. Por ello, es necesario realizar un análisis previo, que permita evaluar, según las diferentes presiones, dónde se espera que exista un mayor o menor impacto. El objetivo de este análisis es cuantificar espacialmente los impactos sobre infralitoral rocoso, estableciendo un valor numérico obtenido a raíz de la suma de presiones y actividades. Estos valores servirán de guía para designar los futuros puntos de muestreo en base a zonas con diferente grado potencial de impacto antrópico.

La recopilación de información basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha sido imprescindible para desarrollar este trabajo. Además de la información cartográfica perteneciente al IEO, se ha recopilado y actualizado información pública disponible y aportada por otros proyectos relacionados con actividades antrópicas como el MarSP (*Macaronesian Maritime Spatial Planning*), en el cual el IEO participó como socio del proyecto.

METODOLOGÍA

Las presiones antrópicas ejercidas sobre una comunidad biológica u organismo resultan en un estado de conservación que a su vez genera una respuesta de la sociedad en forma de políticas ambientales. Esta es la forma en la que tradicionalmente se aborda un estudio de presiones, lo que se llama un modelo *presión-estado-respuesta*.

El estudio de presiones antrópicas sobre el medio natural básicamente se puede realizar desde dos perspectivas. La primera, consiste en implementar una monitorización de las presiones. Para ello, es imprescindible hacer un diseño específico de muestreo que sea capaz de captar la variabilidad espacio temporal de la presión. La segunda, consiste en utilizar información espacial existente sobre las presiones de estudio e integrarlas mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). El objeto principal del seguimiento ambiental encomendado al Instituto Español de Oceanografía (IEO) son las comunidades biológicas y no las presiones antrópicas. Por esa razón, y por la imposibilidad de abarcar la mayoría de las presiones en un solo estudio, se optó por la segunda perspectiva, la de integrar todo el conocimiento actual en materia de presiones antrópicas ejercidas sobre los hábitats bentónicos del infralitoral rocoso en el archipiélago canario.

Para determinar el impacto ecológico de las actividades humanas sobre el medio marino es necesaria una metodología que transforme dichas actividades en impactos específicos distribuidos espacialmente para cada hábitat y para cada actividad. Por otro lado, en la gestión de las zonas costeras los impactos de las actividades humanas se suelen considerar por separado. Sin embargo, las afecciones en el medio son múltiples, pueden existir interacciones y ser acumulativas. Un modelo que tiene en cuenta todos estos aspectos es el Modelo de Impactos Acumulativos (MIA) (Halpern, 2008). Es un método cuantitativo y estandarizado basado en el criterio de experto para identificar diferencias espaciales y por hábitat en impactos antropogénicos.

En este documento el sentido del término *presión*, de presión antrópica, es el mismo que el recogido en los documentos publicados en el tercer ciclo de estrategias marinas. Las *actividades*, de actividades antrópicas, son actividades humanas concretas que conllevan a generar una o varias presiones sobre el medio. El concepto de impacto es el resultado del producto de una presión concreta por su *peso*, siendo este último un indicador de la vulnerabilidad de un hábitat a una presión concreta. El impacto final es la suma de cada presión y es un impacto previsto fruto de una modelización matemática y por lo tanto no empírico.

1. MODELO

El objetivo de este modelo ha sido la creación de un modelo predictivo espacial cuantitativo de todos los impactos que está sufriendo actualmente el hábitat infralitoral rocoso a nivel regional en el archipiélago canario. En este trabajo se han adaptado las metodologías para MIA descritas inicialmente por Halpern (Halpern *et al.*, 2008) y otros autores (Ban, Alidina, & Ardrón, 2010; Halpern, Selkoe, Micheli, & Kappel, 2007; Kappel, Halpern, & Napoli, 2012; Katsanevakis, Tempera, & Teixeira, 2016; Olenin, Minchin, & Daunys, 2007; Pearce-Higgins, Stephen, Langston, & Bright, 2008; Teck *et al.*, 2014) con la finalidad de poder aplicar esta familia de modelos a las particularidades de este estudio; concretamente, para poder combinar actividades humanas (por ejemplo: pesca profesional, pesca recreativa desde barco, pesca recreativa desde tierra) con fuentes de datos de distinto origen, magnitudes y/o unidades que afectan a la misma presión (por ejemplo: extracción o mortalidad de especies silvestres). En esos casos cada actividad se ha evaluado inicialmente de manera independiente y en una fase posterior se aplican pesos a cada actividad en función de la intensidad, extensión, frecuencia o durabilidad de la actividad con relación al resto. En ausencia de parámetros de presión directo se han usado indicadores.

El Modelo de Impactos Acumulativos se basa en el principio de aditividad de sus impactos, o lo que es lo mismo que el impacto total es igual a la suma de los impactos que recibe. De esta manera, las presiones existentes se combinan en un único estimador univariado para cada hábitat, permitiendo una comparación espacio temporal sobre un mismo hábitat.

$$I_f = \sum_{i=1}^n I_{pi}$$

Ecuación 1. Cálculo del Impacto final de todas las presiones sobre un hábitat determinado.

Siendo I_f el impacto final de todas las presiones sobre el hábitat infralitoral rocoso; I_p es el impacto de una presión i sobre el mismo hábitat.

2. FLUJO DE TRABAJO PARA LA CREACIÓN DEL MODELO

Los modelos finales, uno para cada enfoque, *aversión a la incertidumbre* (AI) y *principio de precaución* (PP), son unos mapas ráster con un tamaño de celda de 100 m x 100 m, con una extensión que cubre todo el archipiélago canario y con valores para las zonas donde existe el hábitat infralitoral rocoso. Así mismo, los mapas ráster intermedios como los mapas de actividades y presiones tienen las mismas resoluciones y extensiones. Para ello, fue necesario establecer una capa que tuviera la función de máscara con la extensión de interés para el estudio de las presiones acumuladas en el infralitoral rocoso.

2.1. Generación de una máscara de trabajo para todas las capas

Para la elaboración de esta máscara se fusionaron las siguientes capas:

- **Estudios ecocartográficos armonizados:** encargados por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar del entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y el Cabildo Insular de Tenerife, realizados entre los años 2000 a 2007. Estos trabajos se encomendaron a diferentes empresas para cada isla, por lo que la metodología utilizada no fue la misma para todas, y se realizaron en diferentes periodos de tiempo. El Instituto Universitario Ecoaqua - ULPGC (Universidad de las Palmas de Gran Canaria) armonizó las leyendas de hábitats marinos según tres estándares de clasificación: el Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (IEHEM), el *European Nature Information System 4* (EUNIS) y la clasificación incluida en los anexos de la Decisión (UE) 2017/848 de la Comisión, de 17 de mayo de 2017, por la que se establecen los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, así como especificaciones y métodos normalizados de seguimiento y evaluación, y por la que se deroga la Decisión 2010/477/UE que establece los métodos de monitoreo aplicables en la Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina, DMEM).
- **Cartografía de las comunidades bentónicas litorales de la isla de La Palma (2013).** Estudio realizado en la isla de La Palma entre 2009 y 2012 a lo largo de todo el perímetro costero de la isla, desde 0 hasta 50 m de profundidad.
- **Reservas Marinas de Interés Pesquero.** La zona espacial que cubre las tres Reservas Marinas de Canarias: Reserva marina del entorno de la isla de La Graciosa e islotes del norte de Lanzarote, Reserva marina del entorno de la Punta de La Restinga-Mar de las Calmas y la Reserva marina de la isla de La Palma. Fuente: Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).

- **Zona de estudio del Banquete y Amanay dentro del proyecto INDEMARES.** Cartografía bionómica y MDT obtenidos en las campañas 2012-2013 del IEO. Se creó un polígono a partir del MDT con la zona inferior a los 100 m de profundidad.

Con la capa final, se elaboró un ráster con una resolución de 100x100 m y con el sistema de referencia (SRS) EPSG:32628 (WGS84 / UTM zona 28N). Esta capa se utilizó como máscara para delimitar la extensión de los diferentes ráster de las capas de actividades.

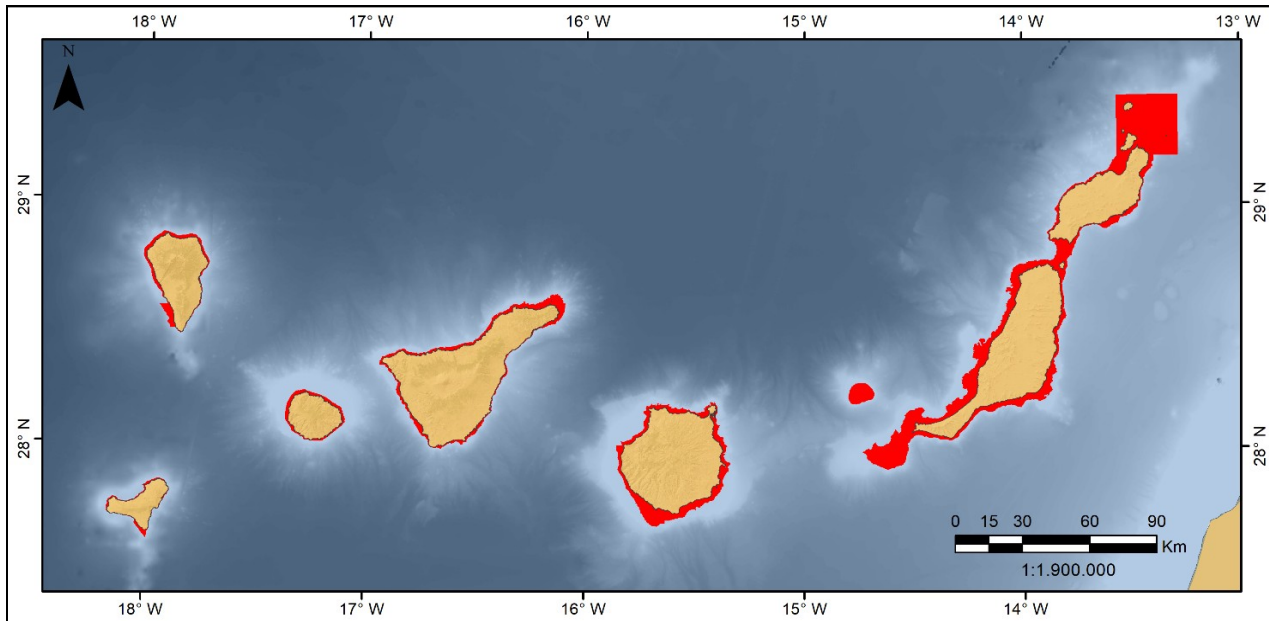


Figura 1. Extensión de la máscara para delimitar la zona de estudio de las presiones del infralitoral rocoso.

El flujo de trabajo consiste en 4 pasos básicos:

1. Identificación de las actividades humanas y confección de mapas ráster para cada actividad.
2. Definición de los pesos de las actividades y combinación de los mapas de actividades por cada presión.
3. Definición de pesos para cada presión.
4. Generación del mapa de Impactos finales, combinando los mapas de cada presión.

2.2. Identificación de las actividades humanas y confección de mapas ráster para cada actividad.

Para que los resultados de este modelo sean coherentes dentro del marco de trabajo de las estrategias marinas (EEMM) se ha optado por adoptar la clasificación y codificación de las presiones definidas en el Programa de Seguimiento de Presiones publicadas en el segundo ciclo y elaboradas por el CEDEX. Lo primero, fue detectar las presiones que genera cada actividad sobre el hábitat de interés. Seguidamente, se recopilaron y adaptaron las capas ya existentes sobre cada actividad. En los casos en los que no existían capas SIG se elaboraron por el propio equipo recopilando la información espacial o generando modelos espaciales en base a indicadores contrastados en publicaciones científicas. Los valores de las celdas de cada mapa de actividades reflejan la variabilidad de intensidad de dicha actividad en el espacio.

2.3. Definición de los pesos de las actividades y combinación de los mapas de actividades por cada presión.

Para dar mayor o menor importancia a cada actividad humana sobre una presión concreta se estimaron los llamados *pesos de actividades* en base a criterios como la intensidad, extensión, frecuencia y durabilidad de la actividad humana en el medio (para especies alóctonas también abundancia de individuos y número de especies) como se muestra en la tabla de resultados de los pesos de actividades. En base a dichos resultados se estableció un peso [0-1] para cada actividad en relación con la actividad de mayor importancia dentro de una presión, siendo el peso del más importante igual a 1. Por ejemplo, a una actividad con la mitad de influencia que la actividad más relevante se le asigna un peso de 0,5.

Con el objetivo de que los valores de las celdas de los mapas resultantes de presiones se mantuvieran entre [0-1] en el cálculo de los valores se implementó un reescalado a la suma de los productos entre cada ráster de actividades y su peso. De esta manera, el número de capas utilizado no influye el valor del resultado. Hay que recordar que los mapas de presiones indican valores relativos de la actuación de una presión en la zona de estudio, siendo 1 donde mayor es la intensidad y 0 donde no existe.

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^m (A_j \cdot W_{a_{ij}}) - A_{j \min}}{A_{j \max} - A_{j \min}}$$

Ecuación 2. Cálculo de valores de celda para el ráster de una presión concreta.

Siendo D_i el valor de intensidad normalizada de la presión i en cada celda del ráster; A es el valor de la intensidad de una actividad j ; $W_{a_{ij}}$ es el peso de actividad para una actividad j en una presión i ; $A_{j \min}$ y $A_{j \max}$ son respectivamente el valor de intensidad mínimo y máximo de las celdas de un ráster para una actividad j .

Esta función presenta la ventaja de poder comparar actividades con unidades o incluso magnitudes diferentes que afectan una presión.

2.4. Definición de pesos para cada presión.

El *peso de las presiones* o W_p es un indicador de la vulnerabilidad de la biocenosis que ocupa un hábitat frente a una presión (por ejemplo, la vulnerabilidad del infralitoral rocoso al aumento de un nivel normal de nutrientes).

Para establecer estos valores, como paso inicial, se ha definido la vulnerabilidad en una escala de 5 categorías (mínimo, bajo, moderado, alto y masivo). Posteriormente, se traducen las vulnerabilidades (variable categórica) a pesos de presiones (unidades numéricas). Para valorar los pesos de cada presión se ha seguido, por orden de preferencia, los siguientes criterios:

- Siempre que existieran, se ha optado por incluir los valores de vulnerabilidades específicas para este tipo de modelos que existan en la bibliografía y hayan sido consultadas para su elaboración a comités de expertos en cada una de las materias (Halpern *et al.*, 2007, 2008).
- En segundo lugar y en ausencia de la fuente anterior, nos hemos basado en publicaciones científicas con experimentos manipulativos, experimentos en el medio natural, modelización, observaciones directas y correlaciones no experimentales, en ese orden de preferencia.
- Finalmente, para las presiones en las que no se han encontrado dicha información se ha optado por el criterio de experto. No obstante, este modelo tiene previsto el establecimiento de los pesos como un proceso dinámico en el que, por un lado, se irá retroalimentando con los

resultados de campo y por el otro, se revisará por expertos en cada una de las materias. Para ello, y como primer paso, se pretende lanzar unas consultas mediante mesas redondas a los colegas de la institución que lidera la parte de seguimiento de este proyecto.

Principio de Precaución vs. Aversión a la Incertidumbre

Una vez que se han definido las vulnerabilidades de cada presión en el rango de 5 categorías, se traducen las categorías (*vulnerabilidades*) a valores numéricos (*pesos de presiones*), para incluirlos en el modelo. Para ello, se ha seguido dos enfoques basados en la manera de afrontar la incertidumbre en el conocimiento de las vulnerabilidades siguiendo la metodología propuesta por Katsanevakis, Tempera, & Teixeira, 2016:

- El enfoque de *aversión a la incertidumbre (AI)* (Yemshanov, Koch, Ducey, & Koehler, 2013) permite afrontar la situación en la que hay una baja incertidumbre en los valores o índices de los pesos, de manera que se infravaloran dichos casos para minimizar el error.
- El otro enfoque es el del *principio de precaución (PP)*, en el que los índices de los pesos no se infravaloran independientemente de la certidumbre sobre dicho valor.

Por lo tanto, el segundo enfoque resulta en valores mayores de impacto, promoviendo así que, en caso de duda sobre el grado de afección de las presiones al medio natural, prevalezca la perspectiva de mayor impacto favoreciendo un enfoque conservador desde el punto de vista conservacionista.

Para determinar la fuerza de la evidencia dentro del enfoque *aversión a la incertidumbre* se han tenido en cuenta dos aspectos. El primero, el grado de certidumbre sobre los resultados que acompaña la fuente de información que ha sido utilizada para determinar la vulnerabilidad del hábitat a una presión. Será robusta cuando la información proceda de experimentos manipulativos, experimentos naturales, o exista información publicada y específica sobre la vulnerabilidad que haya sido consensuada por expertos en la materia. Será media cuando la información proceda de modelizaciones, observaciones directas o correlaciones no experimentales. Además, cuando se ha considerado que la información no se ajusta a las dinámicas ecológicas locales, la fuerza de la evidencia se ha degradado en un nivel. Para el resto de situaciones, la fuerza de la evidencia será limitada.

		IMPACTO				
		Mínimo	Bajo	Moderado	Alto	Masivo
FUERZA DE LA EVIDENCIA	Robusto	0	1	2	4	8
	Medio	0	0	1	2	4
	Limitado	0	0	0	1	2

Figura 2. Pesos de las presiones basados en la fuerza de la evidencia de la fuente de información. En el caso del enfoque de *principio de precaución* se sigue la primera fila "Robusto" (Adaptado de Katsanevakis, 2016).

2.5. Generación del mapa de impactos finales.

El último paso ha consistido en sumar los impactos generados por cada presión. El impacto de cada presión se obtuvo multiplicando el ráster de presión D_j resultante de la sección anterior por el valor del peso de cada presión W_{pi} (Tabla A2 del Anexo) como se muestra a continuación. La lista de los valores de los pesos que se utilizaron para cada presión se recoge en la sección de RESULTADOS.

$$I_{pi} = D_i \cdot W_{pi}$$

Ecuación 3. Cálculo de impactos para cada presión.

Siendo I_{pi} el impacto generado por una presión i en el hábitat infralitoral rocoso; D_i la intensidad de la presión i sobre el hábitat de estudio y W_{pi} el peso de la presión i .

Por último, para calcular el ráster de impactos finales se suman todos los impactos y se aplica la ecuación 1.

Todos los cálculos espaciales y la representación de mapas se realizaron con los softwares R (R core Team, 2021), ArcGIS (Environmental Systems Research Institute, 2021) y Qgis (QGIS Association, 2021).

Para dicho análisis se ha tenido en consideración la modificación del 17 de mayo de la DMEM que fue incorporada a la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino mediante el Real Decreto 957/2018, de 27 de julio, por el que se modifica el anexo I de la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino y que modifica el cuadro 2 del Anexo I relativo a las presiones antropogénicas, utilizaciones y actividades humanas en el medio marino.

Tabla 1. Presiones antropogénicas sobre el medio marino de especial importancia a efectos del artículo 8.3.a) y b) y de los artículos 9, 10 y 11 de la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino.

Presiones biológicas
Introducción o propagación de especies alóctonas.
Introducción de organismos patógenos microbianos.
Introducción de especies genéticamente modificadas y translocación de especies autóctonas.
Pérdida o cambio de comunidades biológicas naturales debido al cultivo de especies animales o vegetales.
Perturbación de especies (por ejemplo, en sus zonas de cría, descanso y alimentación) debido a la presencia humana.
Extracción o mortalidad / lesiones de especies silvestres, incluidas especies objetivo y no objetivo (mediante la pesca comercial y recreativa y otras actividades).
Presiones físicas
Perturbaciones físicas del fondo marino (temporales o reversibles).
Pérdidas físicas (debido a un cambio permanente del sustrato o la morfología del fondo marino y a la extracción de sustrato del fondo marino).
Cambios de las condiciones hidrológicas.

Presiones de sustancias, basuras y energía

Aporte de nutrientes: fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica.

Aporte de materias orgánicas: fuentes difusas y fuentes puntuales.
--

Aporte de otras sustancias (por ejemplo, sustancias sintéticas, sustancias no sintéticas, radionucleidos): fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes graves.

Aporte de basuras (basuras sólidas, incluidas microbasuras).
--

Aporte de sonido antropogénico (impulsivo, continuo).

Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor).

Aporte de agua: fuentes puntuales (por ejemplo, salmuera).
--

RESULTADOS

1. ELABORACIÓN DE CAPAS POR ACTIVIDADES

Tras la recopilación bibliográfica de la cartografía existente de las diferentes actividades antrópicas en la demarcación marina canaria, se procedió a filtrar, procesar y adecuar toda esa información a las presiones citadas en la Tabla 1, referente a la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino. Además, las actividades que se incluyeron como influyentes en cada presión se pueden ver en las siguientes tablas.

Tabla 2. Actividades humanas incluidas en cada presión antrópica de tipo biológica considerada en el modelo.

Introducción o propagación de especies alóctonas	
Alóctonas puertos	Alóctonas Acuicultura
Introducción de organismos patógenos microbianos	
Difusión-puertos estado	Aliviaderos, piscinas, EBAR
Difusión-puertos deportivos	Alóctonas puertos
Urbanos mayores	Alóctonas Acuicultura
Urbanos menores	
Introducción de especies genéticamente modificadas y translocación de especies autóctonas	
Alóctonas Acuicultura	
Pérdida o cambio de comunidades biológicas naturales debido al cultivo de especies animales o vegetales	
Áreas Marinas Protegidas	Alóctonas Acuicultura
Perturbación de especies (por ejemplo, en sus zonas de cría, descanso y alimentación) debido a la presencia humana	
Pesca profesional	Pesca recreativa tierra
Pesca submarina	Buceo_todos
Pesca recreativa barco	
Extracción o mortalidad / lesiones de especies silvestres, incluidas especies objetivo y no objetivo (mediante la pesca comercial y recreativa y otras actividades)	
Áreas Marinas Protegidas	Pesca profesional
Pesca recreativa tierra	Pesca submarina
Pesca recreativa barco	

Tabla 3. Actividades humanas incluidas en cada presión antrópica de tipo física considerada en el modelo.

Perturbaciones físicas del fondo marino (temporales o reversibles)
Buceo_todos
Pérdidas físicas (debido a un cambio permanente del sustrato o la morfología del fondo marino y a la extracción de sustrato del fondo marino)
Sellado
Cambios de las condiciones hidrológicas
Sellado

Tabla 4. Actividades humanas incluidas en cada presión antrópica de tipo sustancias, basuras y energía considerada en el modelo.

Aportes de nutrientes	
Nutrientes_pesticidas	Vertidos-nutrientes
Difusión acuicultura	
Aporte de materias orgánicas: fuentes difusas y fuentes puntuales	
Urbanos mayores	Aliviaderos, piscinas, EBAR
Urbanos menores	Difusión-Acuicultura
Aporte de otras sustancias (por ejemplo, sustancias sintéticas, sustancias no sintéticas, radionucleidos): fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes grave	
Difusión-puertos estado	Salmuera mayores
Difusión-puertos deportivos	Salmuera menores
Urbanos mayores	Industriales mayores
Urbanos menores	Industriales menores
Refrigeración	Nutrientes-pesticidas
Aliviaderos, piscinas, EBAR	
Aporte de basuras (basuras sólidas, incluidas microbasuras)	
Pesca recreativa tierra	Urbanos menores
Pesca recreativa barco	Aliviaderos
Pesca profesional	Difusión-acuicultura
Urbanos mayores	Basuras terrestres
Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor)	
Refrigeración	
Aporte de agua: fuentes puntuales (por ejemplo, salmuera)	
Salmuera mayores	Salmuera menores

A continuación, se describe el proceso que se llevó a cabo para la elaboración de las diferentes capas de actividades antrópicas.

1.1. ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS

Las Áreas Marinas Protegidas no son actividades antrópicas como tal, pero debido al efecto positivo que generan, por exclusión de otras actividades, se tienen en cuenta como zonas de presión positiva. Las capas fuente para la creación de la capa final de presiones positivas de las Áreas Marinas Protegidas fueron:

- **Reservas Marinas de Interés Pesquero.** Fuente: Secretaría General de Pesca.
- **ZEC marinos y marítimo terrestres de Canarias.** Fuente: modificación de las capas originadas por el MITECO. Se eliminaron los LIC por no tener planes de gestión y se añadieron las ZEC marítimo terrestres de competencia autonómica.
- **Parque Natural Archipiélago de Chinijo.** Espacio marino que cubre este espacio natural protegido. Fuente: EENNPP del SITCAN (Gobierno de Canarias).

Se combinaron en una única capa, estableciendo una categoría de 1 a 5 según su grado de protección, siendo 5 la de mayor protección (Tabla 5). En las zonas donde se superponen varios espacios, se mantiene el dato de mayor valor.

Tabla 5. Valor de impacto positivo según su categoría de protección.

Valor	Zona	Descripción
5	Reserva Marina Integral	
4	Reserva Marina Amortiguamiento	En la Reserva Marina del Mar de Las Calmas
3	Reserva Marina Exterior	
2	ZECs con vigilancia propia	En las islas de Tenerife y Gran Canaria
1	ZECs sin vigilancia propia	Resto de islas
1	PN Archipiélago de Chinijo	Solo el ámbito marino

1.2. ALÓCTONAS ACUICULTURA

En estas capas se refleja la información espacial sobre los impactos debidos a las especies alóctonas procedentes de escapes de instalaciones acuícolas en la demarcación canaria entre los 0 y -50 m (aprox).

El indicador de impacto es la biomasa en toneladas de venta anuales declaradas a través de las notas de primera venta para cada instalación, llamado aquí "producción". El valor es la media de los años 2017 y 2019 ya que se disponía de esa información. En el caso de las concesiones de las que no se tenía información, las que estaban desmanteladas desde 2017, se ha utilizado como indicador la producción permitida en toneladas publicadas en los documentos de concesión administrativa. Solo en el caso de *Opulent Ocean* del término municipal de Agüimes se ha reducido el valor a 200 Tn, ya que de otra manera quedaría demasiado sobreestimado a la realidad.

La zona de influencia (buffer) se ha establecido en 100 km, como en la capa de *Alóctonas puertos*, debido a que es de la misma naturaleza que la presión "alóctonas". Dentro del buffer hay un descenso lineal en el valor del indicador, siendo máximo e igual a la producción dentro del polígono de la concesión y mínimo en la distancia del buffer (100 km) en la que es cero.

Debido a que la distribución de los datos presentaba normalidad estadística no se aplicó transformación de los datos.

1.3. ALÓCTONAS PUERTOS

En esta capa se refleja la información espacial sobre los impactos debidos a las especies alóctonas procedentes del transporte marítimo en la demarcación canaria entre los 0 y -50 m de profundidad aproximadamente.

El indicador de impacto es la tonelada métrica de tráfico marítimo de mercancías para el año 2020 en cada puerto canario proveniente de fuera del archipiélago. Ha sido obtenido de las bases de datos publicadas por las autoridades portuarias de los puertos de Las Palmas de GC y S/C de Tenerife. De la tabla de datos original se han quitado las toneladas de mercancía correspondiente a tráfico de cabotaje dentro de Canarias. Por ello, los puertos de San Sebastián de La Gomera y La Estaca en El Hierro no se han incluido, ya no reciben tráfico de mercancías de fuera de Canarias.

Una vez que se han calculado las toneladas métricas para cada puerto en 2020, se ha aplicado logaritmo neperiano para reducir la influencia de valores muy altos, como en este caso el puerto de Las Palmas que concentra gran parte del tráfico marítimo. Se creó una zona de influencia de las especies alóctonas de 100 km basado en principio de precaución y en la distribución encontrada en la bibliografía (Brito *et al.*, 2017).

Se ha implementado una función de descenso lineal del impacto respecto al espacio en el que el valor de impacto es máximo en la fuente y 0 en el límite de la zona de influencia. La resolución del ráster ha sido de 100 m x 100 m por celda.

1.4. PESCA SUBMARINA

Se utilizó la capa de elaboración propia del IEO, con las zonas aptas para la práctica de la pesca submarina según la normativa vigente (BOE 47 - 24 febrero 1988, BOE 277 - 19 noviembre 2002, BOC 222 - 6 noviembre 2007, BOC 140 - 14 julio 2008) con alguna modificación para corregir algunas posiciones teniendo en cuenta la toponimia de las islas.

Los polígonos se recortaron con la cota batimétrica de 40 m, teniendo en cuenta que el 90 % de los pescadores submarinos pescan por encima de los 25 m de profundidad (Martín-Sosa, 2019).

Para los valores de intensidad de la pesca submarina se barajaron dos fuentes:

- **Jimenez-Alvarado *et al.* 2020:** encuestas *in-situ* para entrevistar a los pescadores submarinos recreativos. Se realizaron directamente en las zonas de pesca submarina tanto en días laborables, mañana y tarde, como festivos, en todas las islas del archipiélago entre junio y diciembre de 2017. Tras realizar una selección preliminar de las zonas que teóricamente eran las más frecuentadas por pescadores submarinos en cada una de las islas, las encuestas *in situ* fueron realizadas por grupos de hasta 5 entrevistadores. La mayoría de los pescadores submarinos se mostraron reticentes a responder a las preguntas, pero se completaron y analizaron **93 entrevistas**.

Se realizaron un total de 144 censos visuales de peces en 9 de las 32 áreas donde se permite la pesca submarina (**Figura 3**) y en 9 áreas donde está prohibida como control a profundidades de 0-15 m en las islas de Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria, Tenerife y La Palma. Las zonas de pesca visitadas fueron seleccionadas en base a censos previos que determinaron las zonas más frecuentadas por los pescadores submarinos en cada isla. Las áreas de control fueron seleccionadas al azar de áreas cercanas.

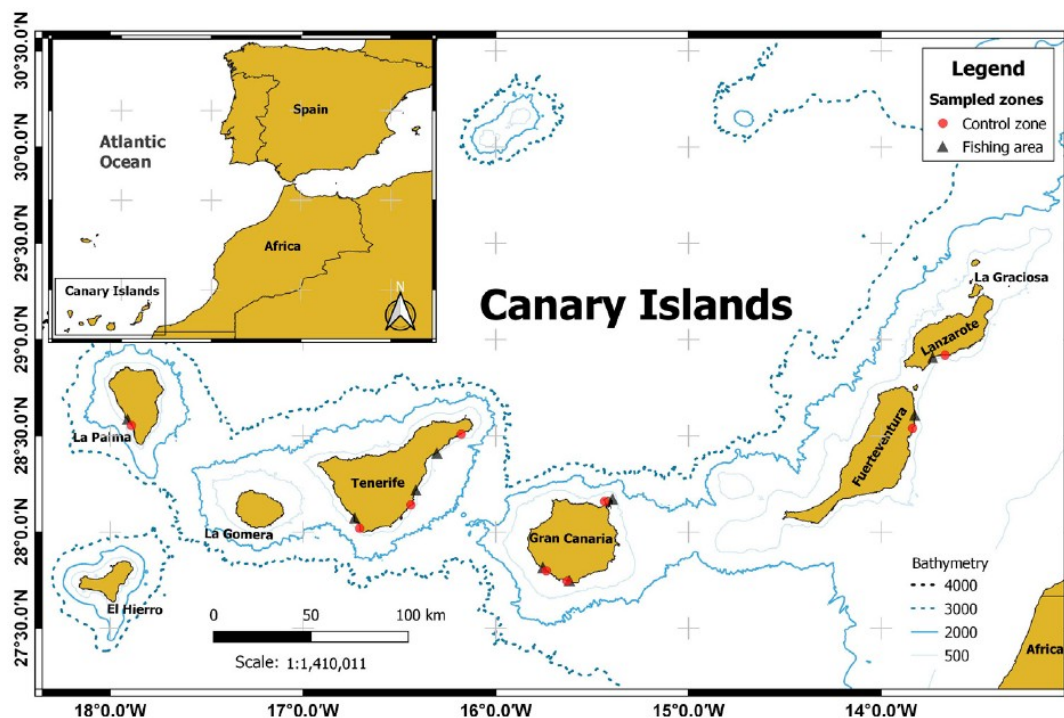


Figura 3. Estaciones de muestreo de censos visuales de peces (extraído de Jimenez-Alvarado *et al.* 2020).

- **Martín-Sosa, 2019:** los datos han sido obtenidos de ACPESUR (Asociación Canaria de Pescadores Submarinos Responsables), principal asociación de pescadores submarinos de Canarias, con algo más de 850 miembros, lo que representa el 13 % del total de licencias de pesca submarina. Los miembros reportaron la información utilizada perteneciente a jornadas de pesca realizadas durante 2017 y 2018. Se analizaron un total de 958 entradas de captura reportadas, tomadas de 623 días de pesca, realizadas por 104 pescadores submarinos. El 90 % de los pescadores que participaron en la notificación de capturas realizó entre 5 y 25 entradas. El resto registró menos de 5 entradas. Fuerteventura, Gran Canaria y las islas de Tenerife están mejor representadas en los informes de capturas, aunque hay entradas de informes de capturas de todas las islas Canarias.

Finalmente se optó por tomar los valores de Martín-Sosa (2019) ya que cuantificaban las capturas en todas las zonas de pesca submarina. Aunque la información sea solo una aproximación a la pesca real en esas zonas, permite estimar cuáles tienen mayor uso.

1.5. PESCA RECREATIVA DESDE TIERRA

La elaboración de esta capa llevó un proceso de varios pasos. Primero, se estimó la accesibilidad a la costa y posteriormente se localizaron las zonas en las que la pesca de caña estuviera prohibida o regulada. El proceso fue el siguiente:

1. Buffer interno de la línea de costa de -100 m para las islas occidentales y -150 m para las orientales (Gran Canaria, Fuerteventura, Lanzarote e islotes). Se extendieron las orientales por tener rasas más largas al ser menos escarpadas. Se creó una capa de costa con ese grosor.
2. Se recortaron las líneas de carreteras (capa de tramo vial de Redes de Transporte del IGN) y se dejaron solo las que estaban en la franja de costa anterior. Se realizó un buffer de 150 m para estimar el alcance a pie por costa desde la carretera.
3. Las zonas en la franja de costa dentro de esos 150 m desde la carretera se categorizan como **Acceso fácil** y la franja costera a más de 150 m de una carretera en costa como **Acceso difícil**.
4. Se incluyen como **Acceso difícil** las zonas militares en costa, Pájara (Fuerteventura), La Isleta y Gando (Gran Canaria), ya que en estas zonas no está permitido el acceso público a la costa desde tierra. La fuente para la obtención de esta capa fue el OpenStreetMap.
5. **Zona prohibida de pesca.** Se incluyó una tercera categoría teniendo en cuenta los Planes de Recuperación del lagarto *Gallotia intermedia* y la lapa *Patella candei*, las Reservas Integrales de las RRMM y las zonas de los EENNPP donde está prohibida la pesca. Las zonas de los EENNPP se localizaron desde la app NORMAP del Gobierno de Canarias y con la ayuda de la cartografía en pdf de la web del Gobierno de Canarias se delimitaron las zonaciones en el software SIG.
6. Se realizó un nuevo buffer de 50 m sobre la franja costera con estas 3 categorías, para ubicar la zona de presión en el mar (50 m desde costa). Al realizar este buffer se superponen los extremos de cada categoría (fácil, difícil y prohibida). Para solventar el problema, en las zonas de superposición, se mantuvo la categoría en el siguiente orden: fácil- difícil -prohibida. Es decir, en una zona que se solape la capa de acceso difícil con la de fácil, prevalecerá la de acceso fácil, por ser la de mayor intensidad de presión.

7. Por último, se elimina toda la zona de tierra, dejando solo el área de 50 m de mar con las 3 categorías establecidas. Los valores de intensidad para cada categoría son:

Zona prohibida: 1.

Acceso difícil: 2.

Acceso fácil: 3.

1.6. PESCA DEPORTIVA DESDE EMBARCACIÓN

Puertos Deportivos

La creación e inclusión de estos datos y capas se justifica por la necesidad de incluir esta actividad en el modelo generado debido a la presión que ejerce la pesca deportiva en el infralitoral rocoso, sabiendo que, el número de embarcaciones que amarran en un puerto o marina, tiene un efecto directo en las zonas próximas al lugar de atraque/amarre de la embarcación deportiva.

Para la elaboración de esta capa se llevó a cabo el procesamiento y consulta de distintas fuentes de información. Como base se contó con la información elaborada por el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2012). Con esto se creó una capa inicial en la que a cada punto correspondía un puerto deportivo, asociado un número de atraques/amarres. Para actualizar el número de amarres de embarcaciones deportivas en cada uno de los puertos o infraestructuras portuarias, se consultaron, entre otras, las siguientes webs institucionales: <https://puertoscanarios.es/>, <https://puertoscanarios.es/>, <http://www.grancanariapescaenred.com>.

Una vez obtenidas las capas iniciales de puntos y contrastada la información, se realizó el siguiente proceso:

1. En los puertos estatales de Tenerife y Gran Canaria, con marinas y muelles deportivos en su interior, se realizó:
 - a. Puerto de Santa Cruz de Tenerife, se dividió en:
 - i. Marina de Santa Cruz, Marina Tenerife.
 - ii. Real Club Náutico Santa Cruz de Tenerife.
 - b. Puerto de Las Palmas de Gran Canaria, se dividió en:
 - i. Muelle deportivo las Palmas.
 - ii. Real Club Náutico.
2. Para las infraestructuras en las que se carecía de información del número de amarres (al no ser una marina, ni un puerto deportivo, sino, una infraestructura portuaria donde los barcos tienen sus amarres, algunos sin la existencia de pantalanes) se realizó el conteo de embarcaciones observadas a partir de la información existente en el visor Grafcan (Mapas Históricos_Mapas Topográficos_Ortofotos), obteniendo una media del número de embarcaciones de los últimos 6 años (2014-2020). Paralelamente, se contó con la información que tiene el Centro Oceanográfico de Canarias de los barcos de pesca profesional que amarran en estas instalaciones y que entregan datos pesqueros al centro. Engranando toda esta información, se realizó un cálculo estimado del número de embarcaciones deportivas que podrían estar amarrados en estas instalaciones.
3. Conociendo las características y áreas de influencia de cada puerto, se aplicaron los siguientes buffers por isla/puerto:
 - a. La Palma:
 - i. Tazacorte: 20 km al sur, 7 km al norte.
 - ii. S/C de la Palma: 15 km.
 - iii. Espíndola: 15 km.
 - b. El Hierro:

- i. La Estaca: 15 km al sur.
 - ii. Restinga: 22 km.
 - c. Tenerife:
 - i. S/C Tenerife: 25 km al NE.
 - ii. Radazul, Güímar, La Galera, Candelaria: 10 km.
 - iii. Garachico; Playa San Juan, Los Gigantes, Puerto de la Cruz, San Marcos, Los Abrigos, Tajao, El Pris, Valle Guerra y punta Hidalgo: 15 km.
 - iv. Las Galletas, Amarilla Golf, Puerto Colon, Los Cristianos y Los Gigantes: 20 km.
 - d. La Gomera, Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura, todos los puertos: 15 km.
4. Se extrajo del área de influencia de los buffers las zonas establecidas como Reservas Marinas de Canarias, donde no se permite la pesca deportiva, excepto en la RRMM de La Graciosa e islotes al Norte de Lanzarote que se permite a 2 millas de la reserva integral y a 500 m del islote de Montaña Clara. Se realizó un geoprocesamiento para incluir esta área como posible zona afectada por la pesca deportiva desde embarcación. La fuente de la capa de RRMM es la Secretaría General de Pesca.
5. Finalmente, se utilizó la información batimétrica entre 0 y 100 m como corte con la capa buffer generada anteriormente para obtener la capa de puertos deportivos (fuente capa batimetría: EMODnet 2020).

Fondeaderos

Para realizar la capa de fondeaderos de Canarias se contó con la información del CEDEX (2012), además de la capa realizada por el Centro Oceanográfico de Canarias, en el 2014, para el proyecto OMARCOST, en él se localizaron los fondeaderos para las islas de Fuerteventura y El Hierro. Una vez revisada esta información se realizó el geoprocesamiento siguiente para la obtención capa de fondeaderos:

1. Extracción de los puntos de fondeo para la zona de Canarias de la capa del CEDEX, unión con la capa de fondeaderos de Fuerteventura y El Hierro (OMARCOST).
2. Revisión de la información de cada fondeadero:
 - a. Se descartaron:
 - i. los fondeaderos establecidos para grandes embarcaciones de carácter comercial.
 - ii. los fondeaderos establecidos en marinas, puertos deportivos o a muy poca distancia de los mismos.
 - b. Se añadieron algunos fondeaderos que no estaban en las capas iniciales.
3. Se aplicó un buffer de 15 km como área de influencia en todos los fondeaderos identificados.
4. Se extrajo del área de influencia de los buffers las zonas establecidas como Reservas Marinas de Canarias, donde no se permite la pesca deportiva, excepto la RRMM de La Graciosa e islotes al Norte de Lanzarote donde se permite a 2 millas de la reserva integral y a 500 m del islote de Montaña Clara. Se realizó un geoprocesamiento para incluir esta zona como posible área afectada por la pesca deportiva desde embarcación con un fondeadero próximo a la misma. La fuente para la capa de RRMM es la Secretaría General de Pesca.
5. Finalmente, se utilizó la información batimétrica entre 0 y 100 m como corte con la capa buffer generada anteriormente para obtener la capa fondeaderos de Canarias (fuente de la capa de batimetría: EMODnet 2020).

1.7. DIFUSIÓN ACUICULTURA

Aquí se pretende ilustrar espacialmente el alcance de los nutrientes derivados del aporte de materia orgánica tanto en estado sólido como líquido (amonio, fosfatos, urea, heces, mucosidades, etc.) proveniente de las instalaciones acuícolas localizadas en la zona costera.

El indicador de impacto es la biomasa en toneladas de venta anuales declaradas a través de las notas de primera venta para cada instalación acuícola, llamado aquí "producción". El valor es la media de los años 2017 y 2019 ya que se disponía de esa información. En el caso de las concesiones de las que no se tenía información, las que estaban desmanteladas desde 2017, se ha utilizado como indicador la producción permitida en toneladas publicadas en los documentos de concesión administrativa. Solo en el caso de *Opulent Ocean* del término municipal de Agüimes se ha reducido el valor a 200 Tn ya que de otra manera quedaría demasiado sobreestimado a la realidad.

La zona de influencia se ha establecido a 500 m, aunque según algunos autores la influencia puede ser del orden de kilómetros (Risk, Haghshenas, & Razavi Arab, 2021). Los valores del indicador "producción" dentro de cada buffer son uniformes para cada concesión. No se han transformado los valores de intensidad debido a que los datos siguen una distribución normal.

1.8. DIFUSIÓN PUERTOS DEPORTIVOS

En esta capa se indica el efecto de la actividad de los químicos contaminantes que salen por difusión de los puertos deportivos. No se ha tenido en cuenta la advección. Las fuentes de contaminación son químicos sintéticos y no sintéticos provenientes de actividades relacionadas con el mantenimiento y explotación de los barcos deportivos como pueden ser hidrocarburos, detergentes y jabones, antifouling, pinturas, líquidos de sentinas, aguas negras y grises.

La variable indicadora de intensidad ha sido el número de amarres que se recopiló de las webs de Puertos Canarios. No se han transformados los datos iniciales (número de amarres). Se creó una zona de influencia de 2 km centrado en cada puerto deportivo. Se ha tomado el mismo buffer que para puertos industriales ya que el tipo de contaminante y por lo tanto los mecanismos de difusión son los mismos, solo cambia la concentración o cantidad a través de la intensidad de la variable indicadora, número de amarres.

No se ha incluido descenso lineal de los valores de intensidad dentro del buffer para ser consistente con lo hecho en la capa *difusión puertos estatales*.

1.9. DIFUSIÓN PUERTOS ESTATALES

En estas capas se muestra la información espacial sobre los impactos debidos a la difusión de sustancias provenientes de la actividad portuaria tanto de los tanques de los buques, como de los astilleros y de las actividades de limpieza a flote dentro de puerto. La capa tiene como extensión la demarcación canaria entre los 0 y -100 metros de profundidad aproximadamente.

El indicador de impacto es el tráfico marítimo en toneladas métricas incluyendo el de cabotaje, con la península y con terceros países. Los valores de intensidad han sido transformados por logaritmo neperiano para limitar el efecto de puertos comparativamente muy grandes y principalmente para que se reflejen los efectos de los puertos comparativamente muy pequeños; es decir, para corregir la falta de normalidad de los datos de entrada.

El buffer de influencia se ha establecido para 4 km desde las dos bocanas principales de los puertos de Las Palmas y SC de Tenerife. Para el resto de puertos estatales en Canarias se estableció en 1 km. De esta manera, se podría tener en cuenta la variabilidad en la distancia de difusión de los contaminantes en función del volumen de vertido.

No se implementó un descenso lineal de la intensidad porque la extensión horizontal de la capa es reducida, con una extensión máxima paralela a costa alrededor de 10 km y perpendicular a costa hasta la batimétrica de 50-100 metros.

1.10. VERTIDOS

En primer lugar, se filtraron los datos de la capa del Censo de Vertidos 2017 del Gobierno de Canarias y posteriormente se clasificaron según la naturaleza del vertido y su caudal, para finalmente crear varias combinaciones de capas que darán respuesta a diferentes presiones. El proceso se describe a continuación:

1. Eliminación de puntos No Activos en el campo “EstadoFunc” de la capa Censo de Vertidos 2017 del Gobierno de Canarias.
2. Eliminación de los puntos de inicio de las conducciones (emisarios submarinos y no submarinos), dejando solo los puntos de vertidos.
3. Las EBAR (Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales) se clasificaron junto con los aliviaderos, en base al campo continuidad del vertido, de excedencia-emergencia. Se mantienen solo los que pueden llegar a verter al mar.

De los 544 puntos de la capa inicial del Censo de Vertidos, se seleccionaron 348 finales.

4. Se corrigieron algunos registros en el campo “Naturaleza del vertido”, principalmente en vertidos que tienen más de una naturaleza de vertido. Las correcciones están basadas en las fichas realizadas para cada emisario de CIVILPORT, empresa responsable del censo de vertidos desde tierra al mar en Canarias (2017).
5. Se generaron 9 grupos (capas independientes) en las que se establece un área de influencia para cada uno en base a trabajos con modelos de pluma de vertidos de desaladoras y emisarios (informes técnicos del Consejo Insular de Aguas de Tenerife). Se establecieron los siguientes grupos:

1-Urbanos mayores: 2000 m (caudal>500 m³/h)

2-Urbanos menores: 1000 m (caudal<500 m³/h)

3-Industriales mayores: 2000 m (caudal>500 m³/h)

4-Industriales menores: 1000 m (caudal<500 m³/h)

5-Refrigeración: 100 m

6-Aliviaderos, piscinas, EBAR: 100 m

Se agrupan los vertidos puntuales y de excedencia

7-Salmuera mayores: 400 m (caudal>1000 m³/h)

8-Salmuera menores: 200 m (caudal<1000 m³/h)

9-Mixtos: Categoría para los vertidos de naturaleza mixta. Se tratan de manera independiente, se mete un registro en cada grupo anterior según su naturaleza y con el buffer que le corresponda según el caudal de cada grupo. Por ejemplo, para un vertido de naturaleza residual urbana menor (G2) y salmuera menor (G8), se genera un registro para el G2 con un buffer de 1000 m y otro para el G8 con un buffer de 200 m. Al no conocer la proporción de caudal según su naturaleza, se estima el buffer independiente para cada uno.

6. Para establecer datos de intensidad se utilizó el valor del caudal (m³/h). Hay casos en los que no existen datos de caudal, y para estimar un valor para estos vertidos, se calcularon los valores promedio para cada grupo, sin tener en cuenta los valores "0" (sin datos). En el caso del grupo Aliviaderos, piscinas, EBAR (G6) prácticamente no existen datos de caudal por ser vertidos puntuales, así que se tomó el valor máximo, siendo incluso así, menor que el resto de grupos. Los vertidos pertenecientes al grupo Mixtos (G9) no se tienen en cuenta a la hora de hacer los promedios, al no saber la proporción real de cada naturaleza de vertido.

La complejidad de los vertidos mixtos requirió de un cálculo de caudal diferente. En el caso de la refrigeración en vertidos mixtos, se selecciona el caudal total, ya que la refrigeración siempre tiene un caudal muy superior al resto. Para minimizar el error de intensidad de los grandes caudales en otras naturalezas de vertidos que tengan refrigeración, en estos casos se selecciona la media total de la naturaleza de vertido, teniendo en cuenta los mayores y menores.

En vertidos mixtos que no tengan refrigeración, la intensidad para cada naturaleza de vertido seleccionada es la media de cada grupo.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el caudal (m³/h) de los diferentes grupos de vertidos y área de influencia correspondiente (Buffer).

Grupo	Etiquetas grupo	Cuenta de Caudal_N	Mín. de Caudal_N	Máx. de Caudal_N	Medias_sin_0	Buffer (m)
1	Urbanos mayores	3	780	1366	1057,00	2000
2	Urbanos menores	59	0	490	83,57	1000
3	Industriales mayores	1	2000	2000	2000,00	2000
4	Industriales menores	2	37,5	80	58,75	1000
5	Refrigeración	9	0	28746	9635,63	100
6	Aliviaderos, piscinas, EBAR	202	0	30	18,65	100
7	Salmuera mayores	4	1050	2722	1576,75	400
8	Salmuera menores	44	0	878	260,22	200
9	Mixtos	24	0	29231	-	-
9	Mixto-Urbanos mayores con refrigeración				160,42	2000
9	Mixto-Industriales mayores con refrigeración				705,83	2000
9	Mixto-Salmuera mayores con refrigeración				398,80	400

A continuación, se describe un ejemplo del tratamiento de los vertidos mixtos:

Tabla 7. Ejemplo de vertidos para el tratamiento de los vertidos mixtos.

Grupo	Etiqueta de grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)
1	Urbanos mayores	Vertido1	Residual urbano	1500
2	Urbanos menores	Vertido2	Residual urbano	150
9	Mixtos	Vertido3	Residual urbano, refrigeración y salmuera	21000
9	Mixtos	Vertido4	Residual urbano y salmuera	300

Al separarlos por grupos, introduciendo los mixtos en cada uno, quedaría de la siguiente manera:

Tabla 8. Ejemplo de vertidos para el tratamiento de los vertidos mixtos (continuación).

Grupo 1. Urbanos mayores					
Grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)	Buffer (m)	Intensidad (m3/h)
1	Vertido1	Residual urbano	1500	2000	1500
9	Vertido3	Residual urbano, refrigeración y salmuera	21000	2000	160,42
Grupo 2. Urbanos menores					
Grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)	Buffer (m)	Intensidad (m3/h)
1	Vertido2	Residual urbano	150	1000	150
9	Vertido4	Residual urbano y salmuera	300	1000	83,57
Grupo 5. Refrigeración					
Grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)	Buffer (m)	Intensidad (m3/h)
9	Vertido3	Residual urbano, refrigeración y salmuera	21000	100	21000
Grupo 7. Salmuera mayores					
Grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)	Buffer (m)	Intensidad (m3/h)
9	Vertido3	Residual urbano, refrigeración y salmuera	21000	400	398,80
Grupo 8. Salmuera menores					
Grupo	Nombre	Naturaleza vertido	Caudal (m ³ /h)	Buffer (m)	Intensidad (m3/h)
9	Vertido4	Residual urbano y salmuera	300	200	260,22

7. Para cada grupo se genera una nueva capa con las áreas de influencia y los valores para la intensidad. Para modelizar el comportamiento de disminución de intensidad a medida que aumenta la distancia del origen de emisión se ha implementado una función de descenso lineal desde cada foco de vertido en el que el valor de intensidad es máximo e igual al valor asignado en la boca del emisario y va disminuyendo linealmente hasta un valor igual a cero en el extremo de la zona de influencia como sigue:

$$y = a - bx;$$

Ecuación 4. Función de descenso lineal de la intensidad en la concentración del vertido desde el foco.

Donde a=intensidad en el foco, b=a/tamaño buffer, x= distancia desde el foco a cada celda.

8. Posteriormente se agrupan según la siguiente tabla para utilización en el análisis de las diferentes presiones.

Tabla 9. Combinaciones de los diferentes grupos de vertidos y presiones en las que se incluyen.

Subcapas	Combinación de capas	Presiones a las que aporta datos
Urbanos mayores Urbanos menores Aliviaderos, piscinas, EBAR	Vertidos c1	Introducción de organismos patógenos microbianos Aporte de materias orgánicas: fuentes difusas y fuentes puntuales Aporte de basuras (basuras sólidas, incluidas microbasuras)
Urbanos mayores Urbanos menores Refrigeración Aliviaderos, piscinas, EBAR Salmuera mayores Salmuera menores	Vertidos c2	Aporte de otras sustancias (por ejemplo, sustancias sintéticas, sustancias no sintéticas, radionucleidos): fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes graves
Industriales mayores Industriales menores	Vertidos c4	Aporte de otras sustancias (por ejemplo, sustancias sintéticas, sustancias no sintéticas, radionucleidos): fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes graves
Salmuera mayores Salmuera menores	Vertidos c3	Aporte de agua: fuentes puntuales (por ejemplo, salmuera)
Refrigeración	-	Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor)

Los vertidos industriales se separan del resto para la presión *Aporte de otras sustancias*, debido al diferente peso que llevará la capa C4 de la C2. Además, la subcapa solo de **Refrigeración** (Grupo 5) aporta datos a la presión *Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor)*.

Se han aplicado transformaciones de los datos de las celdas hasta que se encontró una distribución normal o lo más cercano a ella. De esta manera se asegura la representación de todos los vertidos y se evita que los valores muy grandes se vean sobre representados. Las transformaciones para cada grupo de vertidos fueron las siguientes:

- Grupo 1: raíz sexta
- Grupo 2: raíz sexta
- Grupo 3: raíz cuarta
- Grupo 4: raíz cuarta
- Grupo 5 (refrigeración): raíz quinta

1.11. NUTRIENTES Y PESTICIDAS DE ORIGEN AGRÍCOLA

Para reflejar la distribución espacial de los nutrientes y contaminantes orgánicos (pesticidas) de origen agrícola se utilizó la superficie cultivada en cada cuenca hidrográfica como indicador de la cantidad de nutrientes y pesticidas vertidos al mar. Para simplificar los cálculos, se asumió que la cantidad usada por superficie cultivada es constante en los distintos tipos de cultivo en los que se utilizan nutrientes y pesticidas.

Se procedió en primer lugar a identificar dónde existían cultivos. Para ello, se descargó de la base de datos abiertos del Gobierno de Canarias SITCAN los mapas en formato shapefile de los mapas de cultivos por isla (Gobierno de Canarias, n.d.) Posteriormente, se juntaron en R para crear un solo mapa para todas las islas.

En tercer lugar, se eliminaron las parcelas abandonadas y las que pertenecían a pastizales, ya que no están haciendo uso de fertilizantes ni pesticidas.

Por otro lado, se generó un mapa de cuencas hidrológicas en formato ráster a partir de la unión de los mapas de elevaciones digitales (DEM) de cada isla descargados del SITCAN. Para ello, el procedimiento fue:

1. Juntar las capas ráster DEM de cada isla en R.
2. Reproyectar a WGS84 UTM 28N.
3. Generación del mapa de cuencas en QGIS: se generó el mapa de cuencas con la función `r.watershed` previamente transformado con `r.fill` para quitar huecos y outliers.
4. Manualmente, se juntaron las cuencas que no llegaban al mar siguiendo el curso de los barrancos con la ayuda de la capa de cursos de barranco producida durante el paso anterior.
5. Manualmente, se dividieron cuencas que resultaron demasiado grandes siguiendo el curso de los barrancos como guía para general la cuenca.
6. Paralelamente, se crearon mapas de nodos que posteriormente se usaron para identificar las salidas de los barrancos.

El paso siguiente fue generar una capa de puntos salida de los barrancos en la costa. Para ello se utilizó QGIS para crear la intersección de un buffer de 300 m de la línea de costa con el mapa de nodos. Seguidamente se limpiaron a mano los nodos que no correspondían a salidas de barrancos. A partir de ahí se creó una capa (multipolígonos) con buffer de 80 m en cada punto de salida de barranco para evitar que los puntos que estuvieran fuera de la línea de costa por pocos metros no se solaparan con las cuencas generadas anteriormente.

Se continuó generando una capa de intersección con R entre los buffers y las cuencas. A esta altura, se asignó la parte proporcional del área de la cuenca a cada salida de barranco que existiera en la misma. Este valor de área cultivada por cuenca y por salida de barranco será el indicador de intensidad para la capa. En total se obtuvieron 889 salidas de barrancos.

Seguidamente se procedió a generar una capa de ráster con descenso lineal de los valores de intensidad para cada una de las 889 salidas de barranco con un buffer de 5 km, en la que el valor de intensidad era máximo e igual al valor asignado para cada punto en la salida del barranco (foco) e iba va disminuyendo linealmente hasta un valor igual a cero en el extremo del buffer, que disminuye con una pendiente igual al valor de la intensidad en la salida del barranco dividido entre el buffer en metros:

$$y = a - bx;$$

Ecuación 5. Función de descenso lineal de la intensidad en la concentración de nutrientes y pesticidas desde el foco de vertido.

Donde a =intensidad en el foco, $b=a/\text{tamaño buffer}$, x = distancia desde el foco a cada celda.

Posteriormente, se generaron 890 ráster con el modelo de espacial, uno para cada barranco. Para tener en cuenta el efecto acumulativo de la confluencia de dos o más plumas de escorrentía en la generación de la concentración final de nutrientes o fertilizantes por celda, se sumaron los valores de cada celda para los 890 ráster produciéndose así el ráster final.

En resumen, para crear el ráster final se generaron un total de 3.560 capas ráster (4 procesos por cada 390 capas). Por último, la capa resultante se reescaló para obtener valores en las celdas en el rango [0,1].

Algunos datos de interés sobre usos de nutrientes agrícolas son los siguientes (Datos de FAO stats):

Área cultivada España: 12.566.500 ha

Área cultivada Canarias: 45.385 ha

Porcentaje de área cultivada en Canarias respecto al nacional: 0,003611586360562 %

Cantidad fosfatos y nitratos uso agrícola España 2018: 1.459.454 Tn

Cantidad fosfatos y nitratos en Canarias proporcional a su superficie cultivada: 5.270,944 Tn

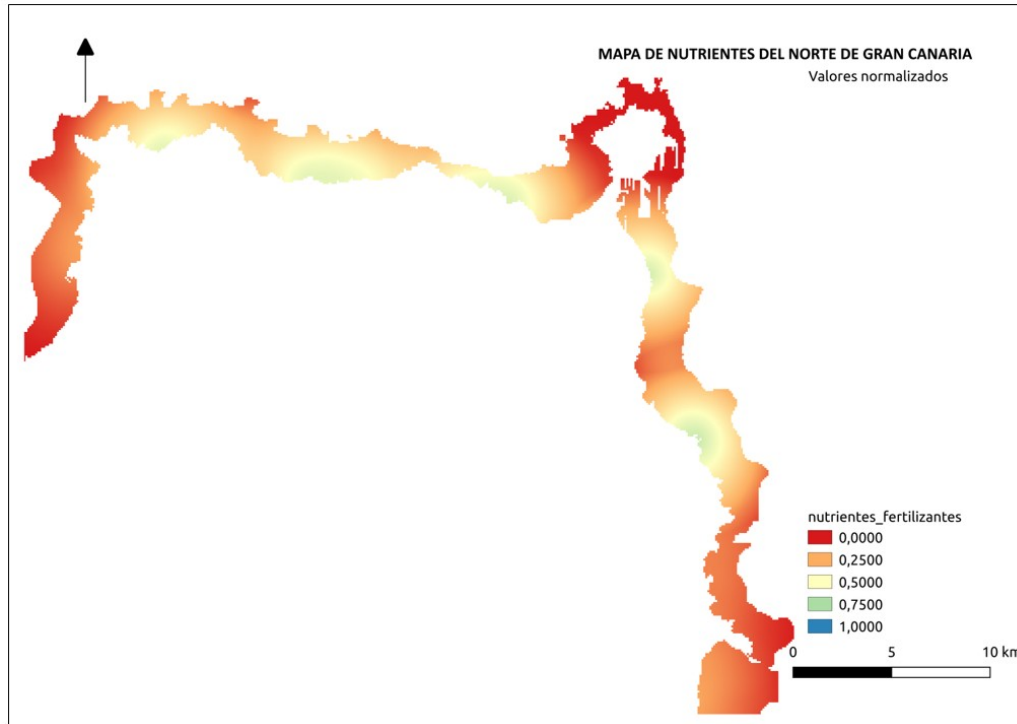


Figura 4. Mapa de nutrientes y fertilizantes, detalle del norte de Gran Canaria.

1.12. BASURAS

La capa informa de la probabilidad de encontrar basuras en mar provenientes de tierra. Se ha asumido que la mayoría de las basuras que llegan a las zonas marinas costeras provienen de tierra, concretamente de los usos del suelo urbano, industrial y agrícola de explotación intensiva. Las fuentes provenientes de otras zonas marinas no se incluyeron debido a la dificultad de modelización de sus trayectorias.

Para tal fin, se ha optado por la utilización de la capa SIG de Copernicus sobre los usos del suelo en 2018 ("CORINE," 2018). Se seleccionaron las áreas terrestres con usos del suelos urbanos, industriales y agrícolas de frutales y terrenos regados permanentemente, siendo estos últimos en los que existen invernaderos, cuyos plásticos y otros objetos de producción podrían eventualmente llegar al mar. En las celdas marinas anexas a las parcelas terrestres seleccionadas se creó una zona de influencia de 2 km desde cada parcela terrestre fuente de basuras. Cada celda del ráster donde se predice la entrada de basuras terrestres tiene la misma probabilidad, no existiendo diferencias debido a distancias a costa u otros factores.

2. ELABORACIÓN DE CAPAS POR PRESIONES

Los resultados de pesos de actividades W_a en la que se indica la importancia relativa de cada actividad que influencia una presión para al caso del hábitat infralitoral rocoso se muestran en la Tabla A1 de Anexo I Tablas.

3. RESULTADO FINAL Y PRÓXIMA ETAPA

Los resultados de los pesos de las presiones se muestran en la Tabla A2 del Anexo I Tablas. Con los pesos por presiones se elaboró la capa final de impacto tal como se describe en la metodología. En el Anexo II Mapas, se muestran los resultados en diferentes islas a modo de ejemplo, tanto para el modelo de Principio de Precaución como el de Aversión a la Incertidumbre.

El siguiente paso en la consecución de los objetivos será la verificación de los valores de salida del modelo en cada celda; esto es, traducir los valores adimensionales del modelo actual en valores informativos del grado de impacto en el ecosistema. La metodología consiste en relacionar los valores de salida del modelo con una submuestra de áreas de infralitoral rocoso del que se conozca el estado de conservación. De esta manera, se conseguirá saber para el conjunto del área de estudio qué significan los valores del modelo en términos de impacto ambiental. Paralelamente, durante el proceso de verificación no se incluirán todas las áreas de las submuestras a verificar, de tal manera que esas sirvan para validar la predicción del modelo.

Como en cualquier proceso de modelización, se pretende que los resultados tanto de verificación, como los del estado de conservación derivados del seguimiento ambiental retroalimenten las salidas del modelo disminuyendo así su error. De esta forma, la precisión en la predicción del modelo se va mejorando progresivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Anton, A., Geraldi, N. R., Lovelock, C. E., Apostolaki, E. T., Bennett, S., Cebrian, J., Krause-Jensen, D., Marbà, N., Martinetto, P., Pandolfi, J. M., Santana-Garcon, J., & Duarte, C. M. (2019). Global ecological impacts of marine exotic species. *Nature Ecology and Evolution*, 3(5), 787–800. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0851-0>
- Ban, N. C., Alidina, H. M., & Ardron, J. a. (2010). Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study. *Marine Policy*, 34(5), 876–886. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.01.010>
- Barrett, L. T., Swearer, S. E., & Dempster, T. (2019). Impacts of marine and freshwater aquaculture on wildlife: a global meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1022–1044. <https://doi.org/10.1111/raq.12277>
- Environmental Systems Research Institute. (2021). *ESRI 2011. ArcGIS Desktop Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Halpern, B. S., Selkoe, K. a, Micheli, F., & Kappel, C. V. (2007). Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 21(5), 1301–1315. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00752.x>
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., ... Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(February), 948–952.
- Jiménez-Alvarado, D., Guerra-Marrero, A., Sarmiento-Lezcano, A., Meyers, E. K. M., & Castro, J. J. (2020). First assessment of the spearfishing impact in the Canary Islands. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 101385. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101385>
- Kappel, C. V, Halpern, B. S., & Napoli, N. (2012). Mapping Cumulative Impacts of Human Activities on Marine Ecosystems. *Coastal and Marine Spatial Planning*, (January), 1–109.
- Katsanevakis, S., Tempera, F., & Teixeira, H. (2016). Mapping the impact of alien species on marine ecosystems: The Mediterranean Sea case study. *Diversity and Distributions*, 22(6), 694–707. <https://doi.org/10.1111/ddi.12429>
- Martín-Sosa, P. (2019). Spearfishing in The Canary Islands: is the devil as black as it seems to be? *Scientia Insularum. Revista de Ciencias Naturales En Islas*, 2, 9–36. <https://doi.org/10.25145/j.si.2018.01.01>
- Olenin, S., Minchin, D., & Daunys, D. (2007). Assessment of biopollution in aquatic ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 55(7–9), 379–394. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.01.010>
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W., & Bright, J. a. (2008). Assessing the cumulative impacts of wind farms on peatland birds: a case study of golden plover *Pluvialis apricaria* in Scotland. *Mires and Peat*, 4, 1–13.



QGIS Association. (2021). *Qgis.org QGIS Geographic Information System*. Retrieved from <http://www.qgis.org>

R core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Retrieved from <https://www.r-project.org/>

Teck, S. J., Halpern, B. S., Kappel, C. V, Micheli, F., Selkoe, A., Crain, C. M., ... Kappel, V. (2014). *Using expert judgment to estimate marine ecosystem vulnerability in the California Current*. Published by: *Ecological Society of America content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate*. 20(5), 1402–1416.

Guedes, K. T. (2013). *Asilvestramiento de los peces introducidos por la acuicultura y sus efectos ecológicos potenciales: el caso de la lubina, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758), escapada en las Islas Canarias*. Tesis doctoral. Universidad de La Laguna.

ANEXO I

TABLAS

Tabla A1. Resultados de los pesos por actividades.

ID presión	presión	capas	pesos actividades	ANÁLISIS DE PESOS ACTIVIDADES					
				intensidad	extension	frecuencia	durabilidad	abundancia	n.º especies
1	Introducción o propagación de especies alóctonas	Alóctonas puertos	1				+++	+	+++
		Alóctonas Acuicultura	0,6	+					
2	Introducción de organismos patógenos microbianos.	Difusión-puertos estado	0,3	+			+		
		Difusión-puertos deportivo	0,3	+			+		
		Urbanos mayores	1	+++	+++	+++			
		Urbanos menores							
		Aliviaderos, piscinas, EBAN							
		Alóctonas puertos	0,15			+			
Alóctonas Acuicultura	0,15			+					
3	Introducción de especies genéticamente modificadas y translocación de especies autóctonas	Alóctonas-Acuicultura	1						
4	Pérdida o cambio de comunidades biológicas naturales debido al cultivo de especies animales o vegetales	Áreas Marinas Protegidas	0,4				--		
		Alóctonas-Acuicultura	1						
5	Perturbación de especies debido a la presencia humana	Pesca profesional	0,8	+	+++	++			
		Pesca submarina	1	+++		++	++		
		Pesca recreativa barco	0,8		+++	+++			
		Pesca recreativa tierra	0,4			+++			
		Buceo todos	0,5	++		+	+		
		Áreas Marinas Protegidas	0,6						
6	Extracción o mortalidad / lesiones de especies silvestres, incluidas especies objetivo y no objetivo	Pesca recreativa tierra	0,8	++		+			
		Pesca recreativa barco	0,9	+++	+				
		Pesca profesional	1	+++	+	++			
		Pesca submarina	0,3	+					
		Buceo todos	1						
7	Perturbaciones físicas del fondo marino (temporales o reversibles)	Sellado	1						
8	Pérdidas físicas	Sellado	1						
9	Cambios de las condiciones hidrológicas	Sellado	1						
10	Aportes de nutrientes	nutrientes_pesticidas	1	+++	+++				
		Difusión acuicultura	0,5	+		++			
		vertidos-nutrientes	0,5	++		+++			
11	Aporte de materias orgánicas: fuentes difusas y fuentes puntuales	Urbanos mayores	1	+++	+++				
		Urbanos menores							
		Aliviaderos, piscinas, EBAN							
		Difusión-acuicultura	0,1						
12	Aporte de otras sustancias: fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes graves	Difusión-puertos estado	0,5	+	+	+			
		Difusión-puertos deportivo	0,5	+	+	+			
		Urbanos mayores	0,6						
		Urbanos menores							
		Refrigeración			++	+++			
		Aliviaderos, piscinas, EBAN							
		Salmuera mayores							
		Salmuera menores							
		Industriales mayores	1	+++		+++	+		
		Industriales menores							
nutrientes-pesticidas	0,9	++	+++	+					
13	Aporte de basuras (basuras sólidas, incluidas microbasuras)	Pesca recreativa tierra	0,2						
		Pesca recreativa barco	0,2		+	+			
		Pesca profesional	0,2						
		Urbanos mayores	0,5	++		+	+++		
		Urbanos menores							
Aliviaderos									
Difusión-acuicultura	0,1								
15	Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor)	basuras terrestres	1	+++	+++	+++			
		Refrigeración	1						
16	Aporte de agua: fuentes puntuales (por ejemplo, salmuera)	Salmuera mayores	1						
		Salmuera menores							

Tabla A2. Resultados de los pesos de las presiones. AI=aversión a la incertidumbre; PP=principio de incertidumbre.

ID presión	presión	vulnerabilidad a la presión	fuerza evidencia	tipo de evidencia	peso presión AI	peso presión PP
1	Introducción o propagación de especies alóctonas	moderada	media	Existe info publicada de vulnerabilidad	1	2
2	Introducción de organismos patógenos microbianos	baja	limitada	Criterio experto. Información solo sobre cultivos marinos y de otras especies diferentes a las cultivadas en Canarias	0	1
3	Introducción de especies genéticamente modificadas y translocación de especies autóctonas	mínima	limitada	Afección poblaciones locales muy pequeñas de dorado	0	0
4	Pérdida o cambio de comunidades biológicas naturales debido al cultivo de especies animales o vegetales	alta	robusta	Existe info publicada de vulnerabilidad	4	4
5	Perturbación de especies debido a la presencia humana	mínima	limitada	Criterio experto	0	1
6	Extracción o mortalidad / lesiones de especies silvestres, incluidas especies objetivo y no objetivo	alta	robusto	Halpern 2007 y artículos.	4	4
7	Perturbaciones físicas del fondo marino (temporales o reversibles)	mínima	media	existen referencias de otras zonas geográficas	0	1
8	Pérdidas físicas	masiva	robusta	existen referencias de otras zonas geográficas	8	8
9	Cambios de las condiciones hidrológicas	masiva	robusta	existen referencias de otras zonas geográficas	8	8
10	Aportes de nutrientes	moderada	media	Existe info publicada de vulnerabilidad	1	2
11	Aporte de materias orgánicas: fuentes difusas y fuentes puntuales	moderada	media	Existe info publicada de vulnerabilidad	1	2
12	Aporte de otras sustancias: fuentes difusas, fuentes puntuales, deposición atmosférica, incidentes grave	alta	media	Existe info publicada de vulnerabilidad	2	4
13	Aporte de basuras (basuras sólidas, incluidas microbasuras)	moderada	media	Criterio experto	1	2
15	Aporte de otras fuentes de energía (incluidos campos electromagnéticos, luz y calor)	baja	limitada	Criterio experto	0	1
16	Aporte de agua: fuentes puntuales (por ejemplo, salmuera)	alta	limitada	Criterio experto	1	4

ANEXO II

MAPAS

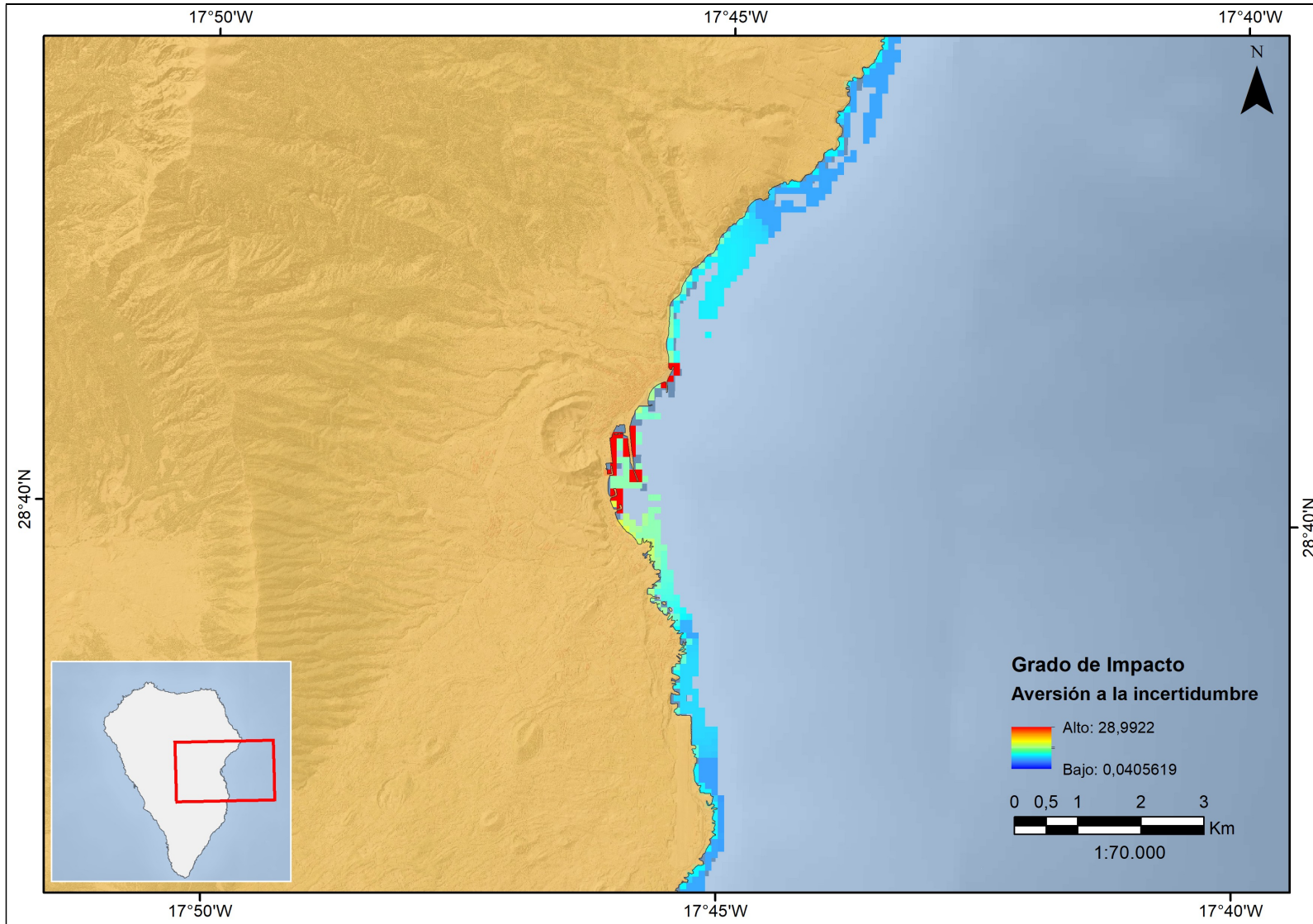


Figura A1. Grado de impacto en el E de la isla de La Palma según el modelo de aversión a la incertidumbre.

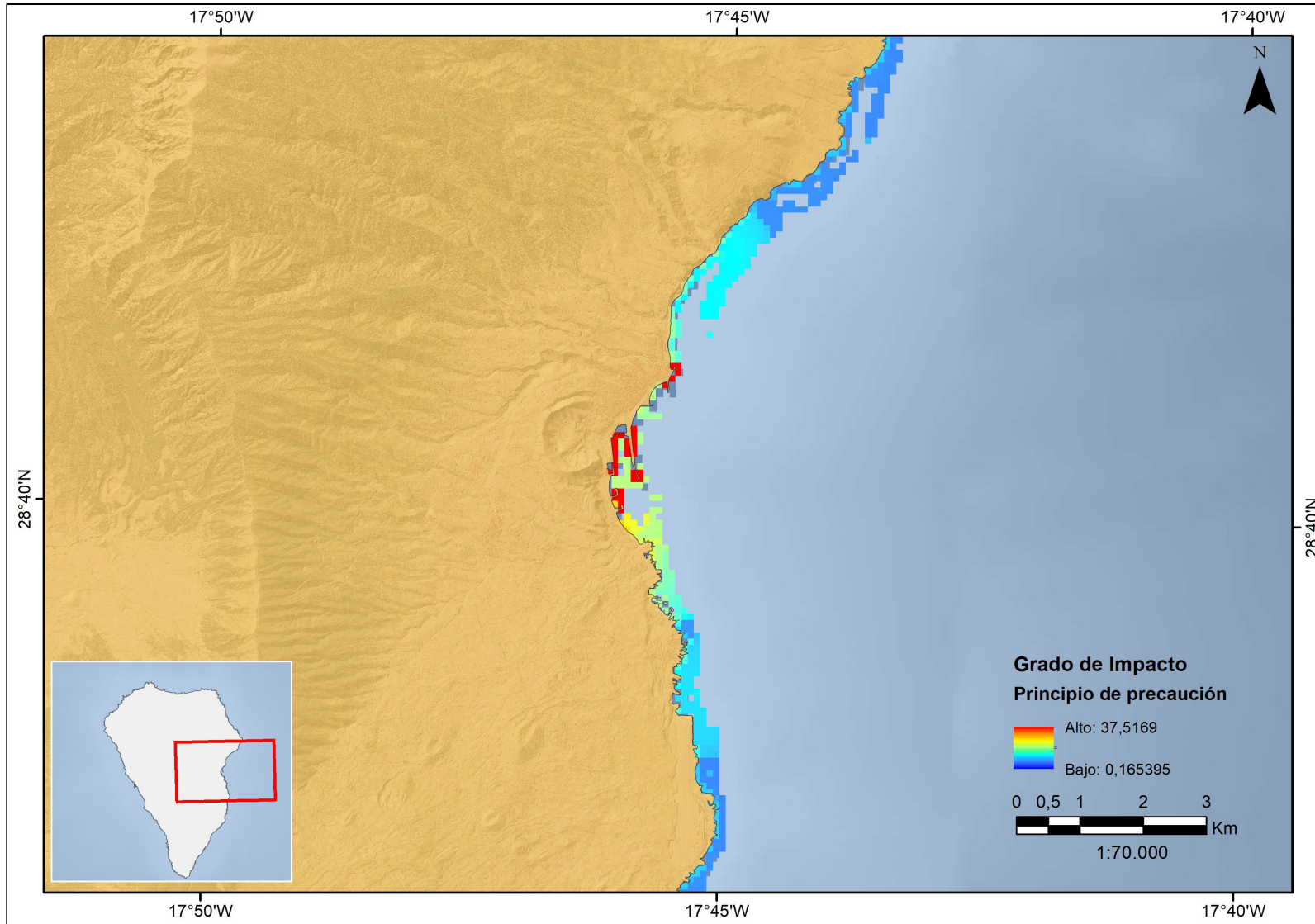


Figura A2. Grado de impacto en el E de la isla de La Palma según el modelo de principio de precaución.

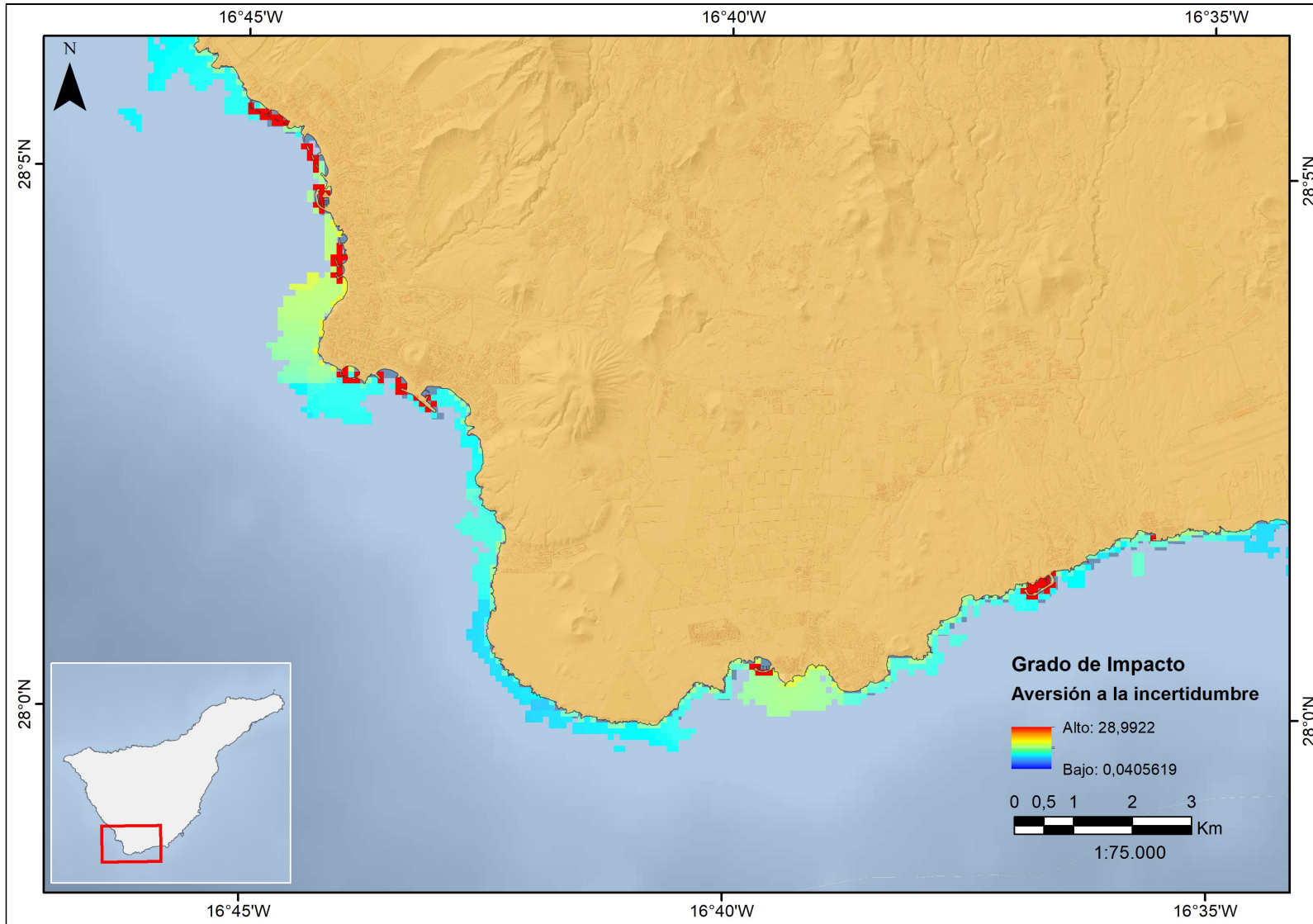


Figura A3. Grado de impacto en el S de la isla de Tenerife según el modelo de aversión a la incertidumbre.

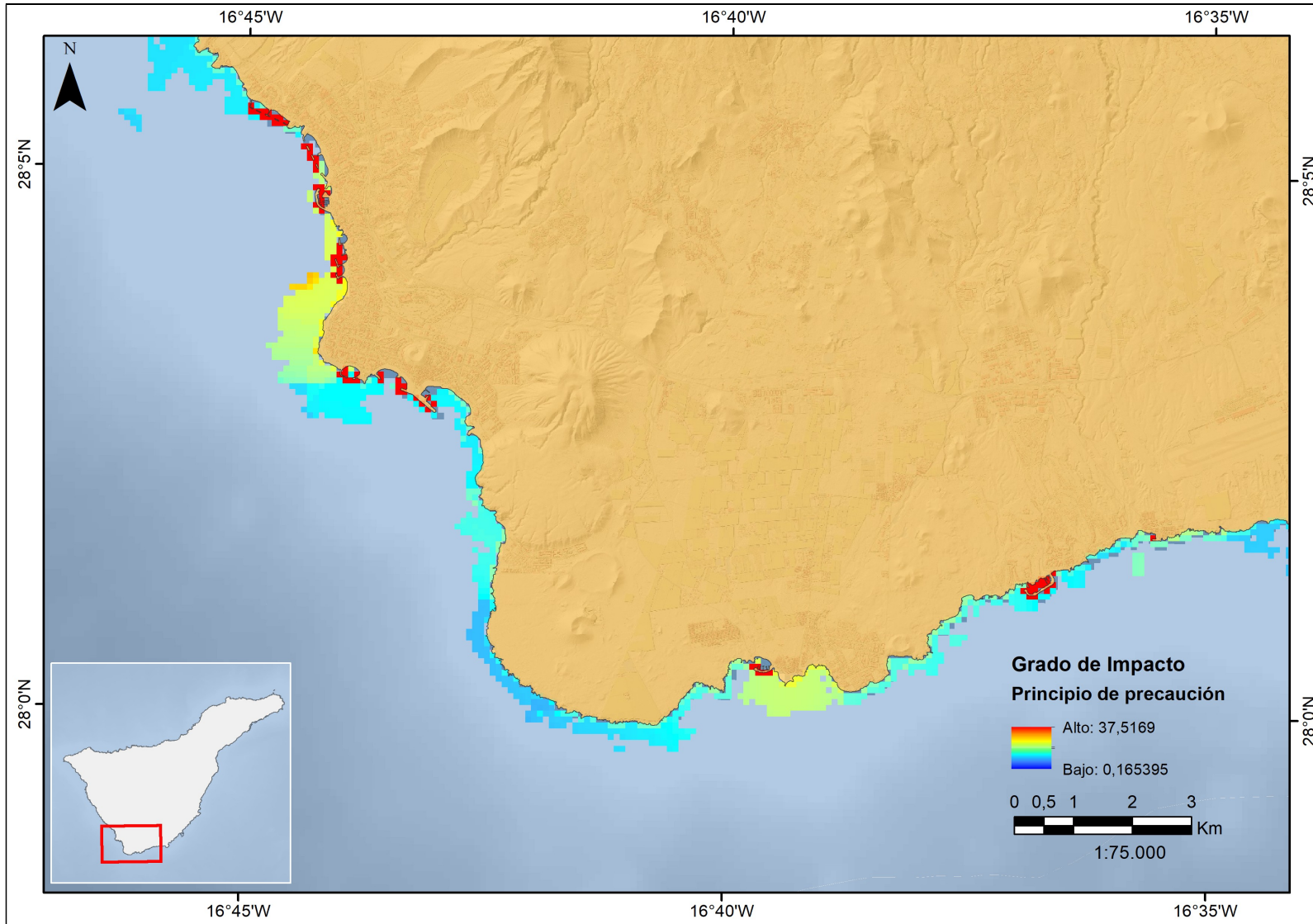


Figura A4. Grado de impacto en el S de la isla de Tenerife según el modelo de principio de precaución.

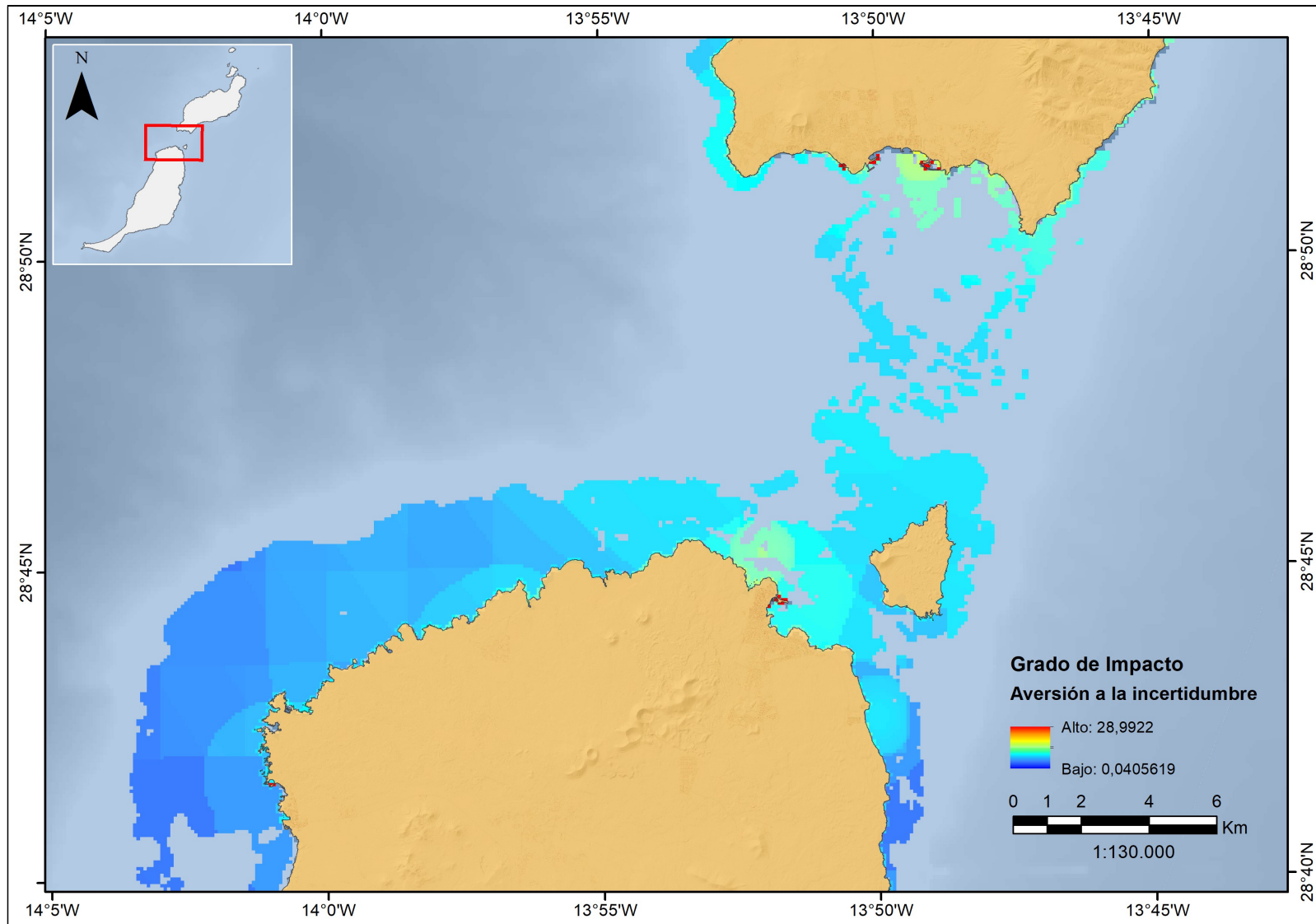


Figura A5. Grado de impacto en el estrecho de la Bocayna según el modelo de aversión a la incertidumbre.

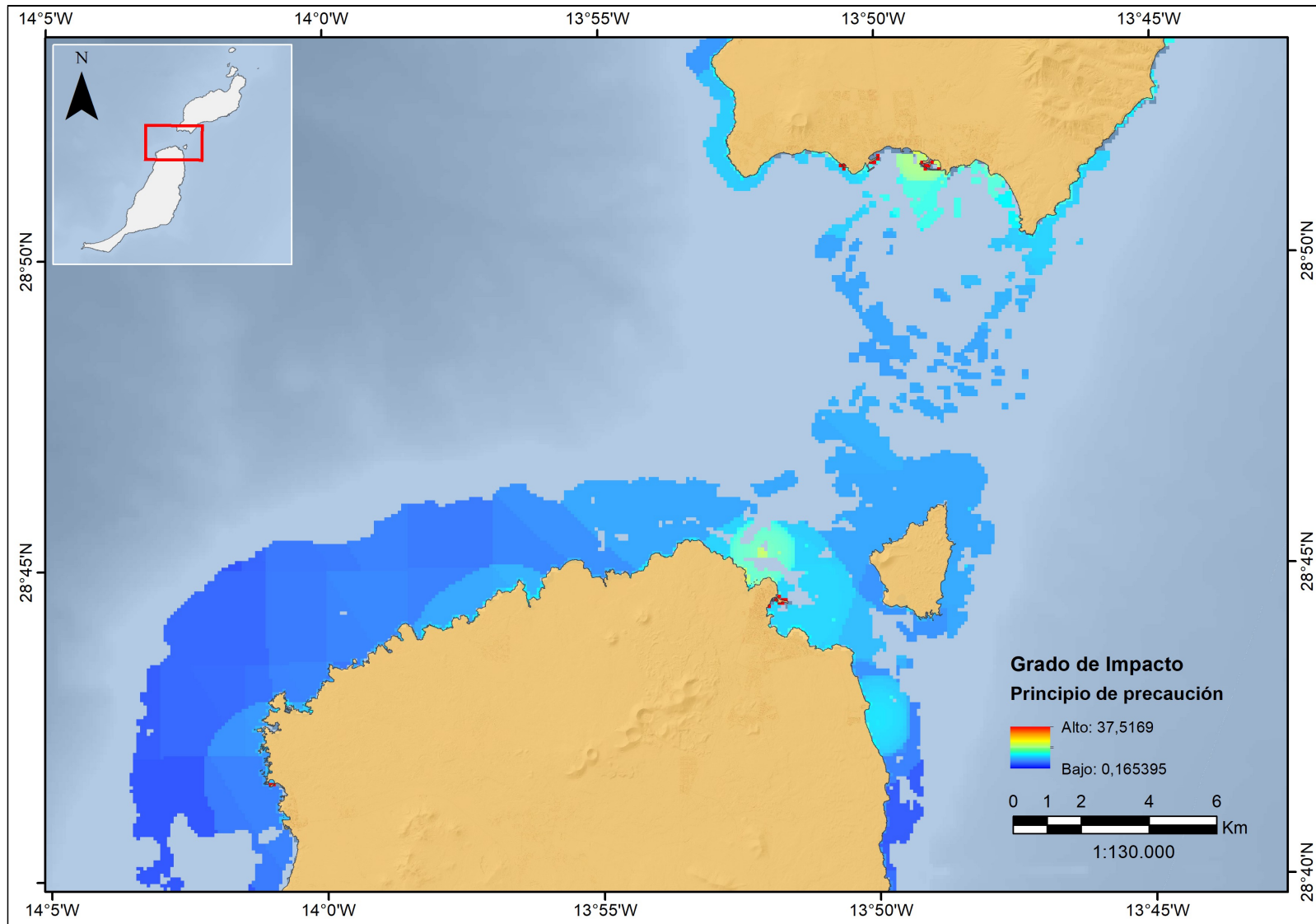


Figura A6. Grado de impacto en el estrecho de la Bocayna según el modelo de principio de precaución.