

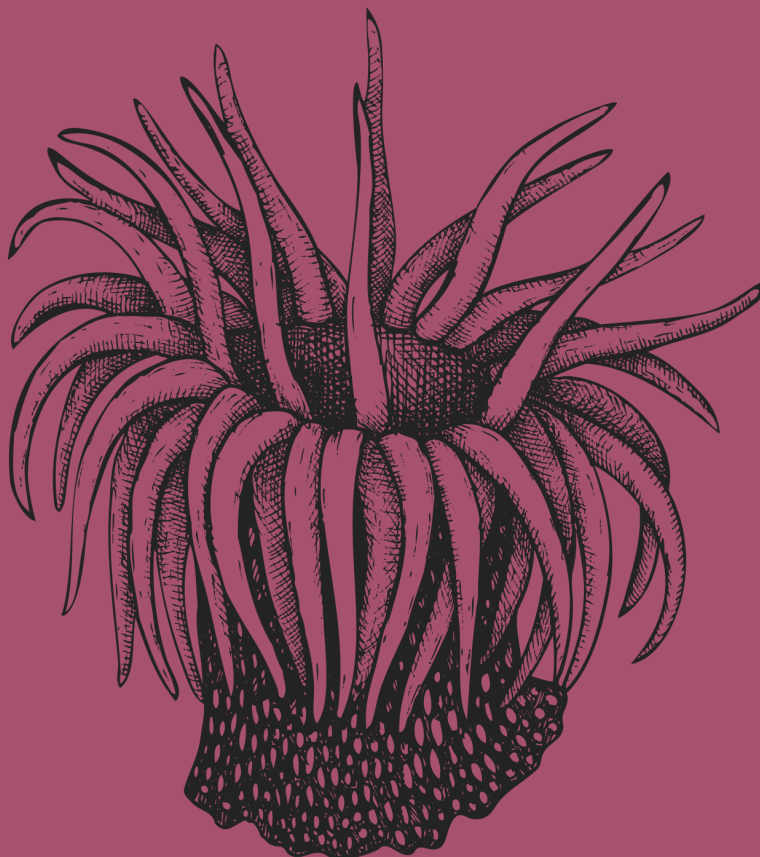
EVALUACIÓN DEL MEDIO MARINO DM SUDATLÁNTICA



Tercer ciclo de estrategias marinas

DESCRIPTOR 4

Redes tróficas



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fondos Europeos

ESTRATEGIAS
MARINAS
Protegiendo el mar para todos



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Aviso legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Edita: © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid 2024.

NIPO: 665-25-050-2

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: <https://cpage.mpr.gob.es>

MITECO: www.miteco.es



Autores del documento

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO-CSIC)

- María De Los Ángeles Torres Leal
- Óscar García Aguilar
- Irene María Rabanal Carballido
- Miguel Vivas Salvador
- Encarnación García Rodríguez
- José Miguel García Rebollo
- Daniel Iglesias Fernández
- Lucía López-López
- Eduardo López Díaz
- Isabel María Muñoz de los Reyes
- Juan José Ortiz García
- Zaida Parra Garrido
- María Valls Mir
- Eva María Velasco Gil

COORDINACIÓN GENERAL MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (SUBDIRECCIÓN GENERAL PARA LA PROTECCIÓN DEL MAR)

- Itziar Martín Partida
- Marta Martínez-Gil Pardo de Vera
- Lucía Martínez García-Denche
- Francisco Martínez Bedia
- Carmen Francoy Olagüe

COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO-CSIC)

- Izaskun Preciado Ramírez (Coordinación descriptor)
- Alberto Serrano López (Coordinación)
- Paula Valcarce Arenas (Coordinación)
- Mercedes Rodríguez Sánchez (Coordinación)
- Paloma Carrillo de Albornoz (Coordinación)

CARTOGRAFIA Y BASES DE DATOS ESPACIALES (IEO-CSIC)

- M^a Olvido Tello Antón
- Luis Miguel Agudo Bravo
- Gerardo Bruque Carmona
- Paula Gil Cuenca



ÍNDICE

Autores del documento.....	3
1. Introducción.....	6
2. Criterios, indicadores, características y elementos evaluados por el descriptor	9
3. Indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”	12
3.1. Evaluación general a nivel de demarcación marina – RT MTL	20
3.1.1. Evaluación para RT-MTL en costa.....	20
3.1.2. Evaluación para RT-MTL en plataforma.....	28
3.1.3. Evaluación para RT-MTL en talud.....	36
3.2. Conclusiones del indicador RT-MTL.....	44
3.3. Limitaciones y futuras líneas de trabajo para el indicador RT-MTL	48
4. Referencias	50



INTRODUCCIÓN



1. Introducción

El descriptor 4 de 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, en adelante DMEM) dice textualmente “todos los elementos de las redes tróficas marinas, en la medida en que son conocidos, se presentan en abundancia y diversidad normales y en niveles que pueden garantizar la abundancia de las especies a largo plazo y el mantenimiento pleno de sus capacidades reproductivas”.

Las redes tróficas en los ecosistemas marinos se encuentran todavía poco estudiadas en comparación con otras disciplinas marinas, dada la complejidad de las interacciones entre todos los compartimentos del ecosistema. No obstante, el mundo académico está invirtiendo cada vez más atención en su investigación y permitiendo por tanto mejorar la comprensión en los cambios que se producen en la estructura de los ecosistemas y el flujo de energía a través de esta como consecuencia de las presiones recibidas, sean antrópicas o naturales.

El ecosistema marino de la demarcación sudatlántica, particularmente el golfo de Cádiz, es conocido por su biodiversidad y productividad excepcionales. Este entorno único está influenciado por una serie de características geográficas y oceanográficas propias. Entre estas características se encuentra una amplia plataforma que recibe una fuerte influencia de los aportes fluviales de los ríos cercanos (Guadiana y Guadalquivir), lo que contribuye a la mezcla de aguas y a la provisión de nutrientes que alimentan la productividad biológica. Además, las corrientes, los patrones de viento y la entrada profunda de agua mediterránea también desempeñan un papel crucial en la configuración del ecosistema marino de esta región. Esta combinación de factores crea un hábitat rico y diverso que sustenta una gran variedad de vida marina, desde organismos microscópicos hasta mamíferos marinos de gran tamaño, haciendo del golfo de Cádiz un área de importancia tanto ecológica como económica.

Los estudios sobre la estructura y funcionamiento de las redes tróficas en la demarcación sudatlántica, especialmente en el golfo de Cádiz, han destacado la importancia del detrito posiblemente influenciado por el aporte de nutrientes procedentes de los ríos Guadiana y Guadalquivir. La biomasa total del ecosistema, excluyendo el detrito y los descartes, está compuesta principalmente por fitoplancton, zooplancton, invertebrados bentónicos, crustáceos, peces pelágicos, peces demersales y cefalópodos. Estos resultados subrayan la importancia de los compartimentos planctónicos y bentónicos en la red trófica del golfo de Cádiz, evidenciando la complejidad y la interconexión de este ecosistema marino.

Los principales flujos tróficos son originados a partir de los grupos funcionales situados en la base de la cadena trófica, es decir, del detrito, fitoplancton y zooplancton, los cuales transfieren la energía hacia los grupos con niveles tróficos superiores. Entre los grupos de peces, los pequeños pelágicos como la sardina y el boquerón son los componentes más importantes en términos de biomasa, destacando el relevante papel de estas especies dentro de la red trófica del golfo de Cádiz. Como especies clave que juegan un papel ecológico significativo dentro de la red trófica se han identificado la gamba (*Parapenaeus longirostris*), los cefalópodos y los delfines entre otros. Existen acoplamientos pelágico-demersal entre cefalópodos y merluza con pequeños peces pelágicos y entre medianos pelágicos (caballas y jureles) y peces demersales. Estos acoplamientos son característicos de ecosistemas de afloramiento y/o de aquellos fuertemente explotados.

La importancia de estas especies viene dada en gran medida por su relevancia como especies comerciales de consumo diario y cuya principal presión antropogénica procede de la actividad extractiva de la pesca. La presión pesquera ejerce un impacto directo en el funcionamiento de las redes tróficas al extraer especies comerciales y no comerciales del mar, causando mortalidad o lesiones individuales. La extracción mediante pesca no sostenible provoca cambios en el equilibrio de las redes tróficas al alterar las interacciones depredador-presa y, en última instancia, la resiliencia de los ecosistemas. La eliminación de depredadores apicales puede provocar un aumento desproporcionado de pequeños peces pelágicos (que se alimentan de plancton), lo que a su vez puede provocar un efecto cascada al agotar la biomasa de algunas especies de zooplancton, provocando desequilibrios en las comunidades



de plancton. La pesca no sólo afecta directamente a las especies objetivo y de captura incidental, sino que los efectos de la pesca no sostenible pueden propagarse a través de la red trófica, reestructurando todo el ecosistema. Otros efectos adicionales involucran procesos relacionados con la disponibilidad de presas, la competencia por los recursos alimentarios, la utilización de descartes por parte de algunas especies y/o el parasitismo. Sin embargo, la complejidad intrínseca de las redes tróficas hace que sea particularmente difícil discernir cuantitativamente los efectos de las diferentes presiones antropogénicas (p.e. pesca, cambio climático). En el caso particular de la demarcación sudatlántica, en los últimos veinte años se han registrado cambios significativos en algunas especies objetivo de las pesquerías características de la zona, principalmente arrastre, cerco y artesanal, como consecuencia de cambios en la estructura de los ecosistemas debido a la intensa actividad industrial pesquera.

El Instituto Español de Oceanografía, que lleva décadas invirtiendo en la investigación marina para la explotación y conservación de sus recursos, dispone de una serie de datos de relaciones tróficas (particularmente depredador-presa) estandarizadas que supera las dos décadas para todas las demarcaciones. La situación de los recursos marinos españoles hace dos décadas ya había dado claros síntomas de colapso en numerosas pesquerías. Esto compromete la disponibilidad de un marco de referencia claro para la definición del buen estado ambiental de las redes tróficas marinas. Por tanto, los resultados que se ofrecen en este documento permiten la evaluación de las tendencias experimentadas por las redes tróficas, pero no su inferencia al buen estado ambiental de las mismas.

La evaluación de las tendencias de las redes tróficas se basa en los resultados del indicador aplicado en esta demarcación, el RT-MTL “Cambio en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”. Este se ha desarrollado a partir de los datos obtenidos en las campañas oceanográficas realizadas sobre fondos circalitorales sedimentarios de la costa, plataforma y talud continentales atlánticos del sudoeste de la península ibérica, y por tanto las tendencias obtenidas se refieren tan sólo a las comunidades bento-demersales. El desarrollo en el presente ciclo de este indicador, globalmente aceptado por la comunidad internacional como indicador de redes tróficas, es novedoso dado que su análisis se aborda a través de una aproximación espacio-temporal que permite investigar las presiones espacialmente heterogéneas, como la pesca, y valorar su evolución espacial a lo largo del tiempo en la demarcación en estudio.



CRITERIOS, INDICADORES,
CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS
EVALUADOS POR EL DESCRIPTOR



2. Criterios, indicadores, características y elementos evaluados por el descriptor

Las redes tróficas de la demarcación sudatlántica han sido evaluadas en base al indicador RT-MTL y considerando los criterios establecidos en 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. Estos criterios se describen a continuación.

- **Criterio D4C1:** La diversidad (composición de las especies y su abundancia relativa) del grupo trófico no se ve afectada adversamente por las presiones antropogénicas.
- **Criterio D4C2:** El equilibrio de la abundancia total entre los grupos tróficos no se ve adversamente afectado por las presiones antropogénicas.
- **Criterio D4C3:** La distribución de los individuos por tallas en todo el grupo trófico no se ve afectada adversamente por las presiones antropogénicas.
- **Criterio D4C4:** La productividad del grupo trófico no se ve afectada adversamente por las presiones antropogénicas.

El indicador aplicado para la evaluación en la demarcación sudatlántica es el siguiente:

- **Indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”**

Este indicador informa los criterios D4C1 y D4C2. Se ha evaluado en diferentes rangos de profundidad (características) y para diferentes grupos tróficos (elementos) como se refleja en la Tabla 1. Dada la configuración batimétrica de la demarcación, la evaluación se ha centrado en fondos de costa, plataforma y talud continental. Con respecto a los grupos tróficos considerados para este indicador, éstos se describen a continuación:

- **Depredadores apicales:** representan los últimos eslabones de las redes tróficas y suelen ser objeto de las pesquerías de interés comercial.
- **Mesodepredadores y depredadores apicales:** incluyen depredadores medios y apicales y este grupo trófico informa sobre la transferencia de energía en la mitad superior de las redes tróficas que conforman el ecosistema.
- **Toda la comunidad:** en este elemento se evalúa la comunidad al completo, con la excepción de los productores primarios, para tener una visión de conjunto de la situación de las redes tróficas bento-demersales en fondos circa-litorales sedimentarios.

En la siguiente tabla se presentan así los criterios evaluados en base al indicador RT-MTL en función de las características (profundidad) y elementos (grupo trófico) a los que se les ha aplicado el indicador.



Tabla 1. Contribución del indicador RT-MTL a los criterios del D4.

INDICADOR RT-MTL “CAMBIO EN EL NIVEL TRÓFICO MEDIO DE LOS CONSUMIDORES MARINOS”					
Característica	Elemento	Criterio			
Profundidad	Grupo trófico	D4C1	D4C2	D4C3	D4C4
Zona costera	Depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Mesodepredadores y depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Toda la comunidad	✓	✓	✗	✗
Plataforma	Depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Mesodepredadores y depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Toda la comunidad	✓	✓	✗	✗
Zona oceánica	Depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Mesodepredadores y depredadores apicales	✓	✓	✗	✗
	Toda la comunidad	✓	✓	✗	✗

Principales actividades humanas y presiones relacionadas

Las presiones que la actividad humana ejerce sobre los ecosistemas marinos están relacionadas con cambios en la estructura trófica y su funcionamiento a través de alteraciones en las relaciones depredador-presa y por tanto en los procesos de transferencia de energía a través de las redes tróficas.

El indicador RT-MTL está especialmente diseñado para evaluar los impactos de la presión pesquera sobre los recursos vivos de los ecosistemas marinos, en este caso los de fondo circalitoral sedimentario de la plataforma continental. Otro impacto que puede afectar a las comunidades demersales es aquel relacionado con los daños físicos y la perturbación que provocan directamente las artes de pesca. Las artes de pesca, como las redes de arrastre y las dragas, pueden alterar en gran medida el fondo marino y ejercer impactos en las comunidades bento-demersales afectando a todos los niveles tróficos. La magnitud y el alcance del impacto dependen del tipo de arte y de la persistencia del impacto. Por otra parte, actividades como la extracción de minerales (roca, grava, arena) también puede provocar alteraciones de la topografía del fondo marino, cambios en la composición de los sedimentos y eliminación de especies y organismos. Esto puede provocar cambios en la distribución espacial de las especies y cambios en las interacciones depredador-presa, alterando el acoplamiento bentopelágico y el funcionamiento general de los ecosistemas bento-demersales.

Otra presión antropogénica que potencialmente puede afectar a las redes tróficas es el aumento excesivo de nutrientes en la red trófica (eutrofización). Un aumento desmesurado en el aporte de nutrientes puede desencadenar un efecto cascada desde los niveles bajos de la cadena trófica al aumentar la producción primaria, provocando un incremento en la biomasa de fitoplancton y/o diversidad de especies que puede afectar a niveles tróficos superiores. Sin embargo, dada la complejidad de los procesos ecosistémicos, es difícil demostrar cambios biológicos consistentes basados en relaciones causa-efecto. Otro impacto indirecto del aumento de nutrientes es el incremento de las tasas de sedimentación del material orgánico procedente de un aumento en la producción de plancton. Esta “nieve marina” puede provocar un incremento del consumo de oxígeno a través de procesos microbianos y re-mineralización en capas de agua más profundas, lo que puede generar amplias zonas con deficiencia de oxígeno, especialmente en áreas cerradas donde hay escasa renovación de agua.



INDICADOR RT-MTL: “CAMBIOS EN
EL NIVEL TRÓFICO MEDIO DE LOS
CONSUMIDORES MARINOS”



3. Indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”

El nivel trófico medio (MTL, en inglés *Mean Trophic Level*) es un indicador ecológico que refleja principalmente los efectos de la presión pesquera en la estructura de las redes tróficas. Este indicador se calcula a partir de datos de biomasa y de los niveles tróficos (TL, en inglés *Trophic Level*) de las especies. Así, el TL de un individuo o una especie, que viene determinado por las interacciones depredador-presa, expresa su posición dentro de la red trófica. Los valores de nivel trófico más bajos (TL=1) están, por tanto, asignados a los productores primarios en la base de la cadena trófica, mientras que los herbívoros se encuentran en el siguiente nivel (TL=2) y los valores más altos (TL \geq 4) están asignados a los depredadores apicales. Además, cada estadio de vida de un organismo está asociado a un nivel trófico particular, y la energía es así transferida desde los niveles tróficos basales, a través de las interconexiones entre organismos de la red trófica, a los niveles apicales.

El desarrollo conceptual del indicador del MTL, por Pauly *et al.*, (1998), se conoce como *fishing down marine food webs* o disminución de las redes tróficas marinas por la pesca¹ y su aplicación demostró que el declive en el nivel trófico medio de las pesquerías globales a lo largo de los años 90 indicaba una erosión de los niveles tróficos superiores en los ecosistemas marinos del planeta. Esto se debió a que la mayor parte de las pesquerías tenían por objetivo, y generalmente siguen teniendo, especies con niveles tróficos elevados, y relacionadas con individuos de mayor tamaño. Finalmente, la disminución de la biomasa de las especies con mayor nivel trófico (Figura 7) forzó a las pesquerías a trasladar su presión de capturas de depredadores apicales hacia otros depredadores con menor nivel trófico, observándose el declive en el MTL. Este indicador, por tanto, provee información sobre la poca sostenibilidad de las prácticas pesqueras desarrolladas a lo largo de las últimas décadas, y cabe destacar que la Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica adoptó el indicador MTL como uno de los ocho indicadores seleccionados para evaluar la pérdida de biodiversidad de los mares.

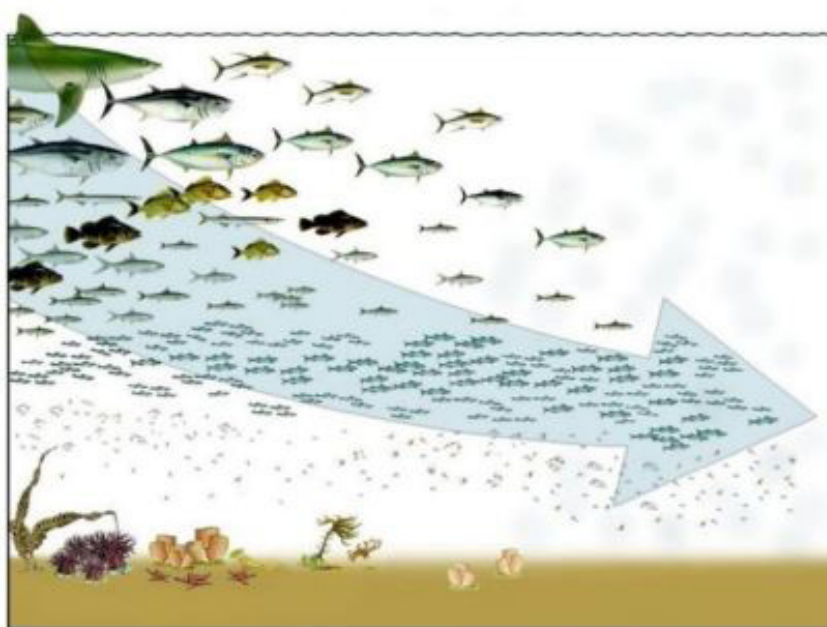


Figura 1. Esquema que muestra la disminución de depredadores apicales en el tiempo.

¹ Traducción del autor



Este indicador ha continuado siendo objeto de estudio y, con el tiempo, han emergido hipótesis adicionales para explicar los patrones observados en el MTL. Si el concepto *fishing down marine food webs*, tal y como se definió anteriormente, ya fue observado en el Atlántico norte, otros escenarios han sido descritos en diversas zonas del planeta (Essington *et al.*, 2006; Morato *et al.*, 2006; Swartz *et al.*, 2010; Stergiou y Tsikliras, 2011; Shannon *et al.*, 2014). Éstos por ejemplo incluyen el concepto de *fishing through the food webs* (incorporación secuencial de especies de menor nivel trófico en las pesquerías), *fisheries expansion* (expansión de las pesquerías hacia aguas más profundas con la inclusión de nuevas especies de niveles tróficos elevados), y *fishing up the food webs* (incorporación de especies con alto nivel trófico que no habían sido capturadas previamente).

En la comunidad científica se considera que el estado de las redes tróficas debe basarse en indicadores ecosistémicos, que representan el ecosistema como un todo/una unidad e incluyen tantas especies como sea posible para asegurar que diferentes niveles tróficos se encuentren bien representados. El indicador RT-MTL cumple con estos requisitos ya que considera la estructura de las redes tróficas y utiliza una métrica (el nivel trófico, TL) que refleja la transferencia de energía entre depredadores y presas.

Metodología de evaluación

Tradicionalmente, el indicador RT-MTL ha sido calculado utilizando largas series históricas de datos a escala regional. Estudios recientes, sin embargo, han mostrado la importancia del análisis del indicador a nivel local para revelar áreas específicas fuertemente impactadas. Por ejemplo, a una resolución geográfica de escala pequeña en la costa septentrional de la península ibérica se han detectado relaciones negativas significativas entre el arrastre de fondo y el indicador (Preciado *et al.*, 2019), a pesar de la aparente recuperación de los depredadores apicales observada a escala regional (Arroyo *et al.*, 2019). Por tanto, la fuerte influencia local de esta presión antropogénica en las redes tróficas muestra la relevancia del uso de resoluciones espaciales locales a la hora de investigar los efectos de presiones espacialmente heterogéneas, como la pesca. Así, en el presente ciclo de las estrategias marinas el indicador RT-MTL ha sido estudiado desde una aproximación espacio-temporal para valorar su evolución espacial a lo largo del tiempo en las demarcaciones marinas en estudio.

En el cálculo del nivel trófico medio, habitualmente, la fuente de datos de biomasa eran los desembarcos, lo cual generaba numerosas preocupaciones acerca de su idoneidad para la valoración del ecosistema como un todo. Entre sus limitaciones e incertidumbres destacan las fuertes discrepancias entre las biomásas capturadas y las desembarcadas, ya que estas últimas no consideran las capturas accidentales, desreguladas, ilegales, o no declaradas, además de estar sujetas a múltiples sesgos inducidos por los patrones pesqueros (Branch *et al.* 2010; Pauly *et al.*, 2013). En contraste, los datos procedentes de campañas científicas reflejan los cambios reales en la composición de las comunidades, ya que no están influidos por los vaivenes del mercado (es decir, pesca selectiva de especies de interés comercial) e incluye todas las especies que las pesquerías descartan y que frecuentemente no son declaradas en los desembarques. Los datos obtenidos de campañas demersales, no obstante, también tienen sus limitaciones particulares, ya sea por la luz de malla de las redes, por infrarrepresentar las especies más pequeñas, o por estar a menudo enfocadas en peces y cefalópodos de interés comercial. A pesar de estas limitaciones, la estandarización de las campañas junto con las series históricas de datos disponibles hace de las campañas científicas la mejor fuente de datos para evaluar el indicador RT-MTL. Es importante resaltar que, dado que las campañas de arrastre muestrean hábitats de fondo blando, la presente evaluación del indicador RT-MTL se ha llevado a cabo en las comunidades bento-demersales que habitan dichos fondos, analizándose a diferentes profundidades (costa, plataforma y talud) para identificar potenciales cambios de las tendencias en base a la batimetría.

Con respecto al cálculo del nivel trófico de las especies, existen estimaciones para la mayor parte de las especies demersales, que además se encuentran disponibles en bases de datos y repositorios online. Sin embargo, estos valores pueden referirse a poblaciones específicas, o por ejemplo ser medias mundiales de niveles tróficos procedentes de ecosistemas distintos. Además, en numerosas ocasiones esos datos no reflejan las características de una región dada donde las interacciones tró-



ficas entre especies pueden ser localmente específicas. De hecho, presiones inducidas, ya sea por el mismo medio ambiente o por actividades humanas, pueden generar cambios en la disponibilidad de presas o la selectividad de depredadores, causando así en ciertas especies una variabilidad en los valores de su nivel trófico en espacio y tiempo, e incluso a lo largo de su ontogenia (Pinnegar *et al.*, 2002; Chassot *et al.*, 2008; Vinagre *et al.*, 2012). Por lo tanto, para aumentar la precisión de los análisis y representar mejor los patrones de las interacciones tróficas, los valores de los niveles tróficos requieren ser específicos de las regiones en estudio.

Por último, cabe reseñar que este indicador ha formado parte del informe del estado de calidad del Convenio para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (Quality Status Report 2023, OSPAR), en el que se evaluaban de manera conjunta las comunidades de plataforma de las costas atlánticas ribereñas de la región IV de OSPAR (Francia, España y Portugal).

Fuente de datos

Para el cálculo del indicador se han utilizado los datos procedentes de campañas oceanográficas que realiza el Instituto Español de Oceanografía para la evaluación de los ecosistemas y de los recursos bento-demersales realizadas con arte de arrastre de fondo. Estas campañas tienen una larga trayectoria, participan de programas científicos regionales, y contribuyen a convenios internacionales. En el caso de las demarcaciones atlánticas, las metodologías para el muestreo que se aplican están estandarizadas por el grupo de trabajo *International Bottom Trawl Surveys* de ICES (Convención Internacional para la Exploración del Mar). Las campañas utilizadas se describen brevemente en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las características de las campañas oceanográficas utilizadas como fuentes de datos en la demarcación sudatlántica (ARSA).

ARSA			
Campaña de arrastre para evaluación de recursos demersales en golfo de Cádiz			
Demarcación	Sudatlántica	Inicio	1993-1997
Periodicidad	Anual-Bianual	Cuatrimestre	I-IV
Control de calidad	Estandarizada ICES IBTS-WG	Receptor internacional información	ICES DATRAS
Fondos	Sedimentarios entre 15 y 800 m de profundidad		

De cara a normalizar las series de datos utilizadas en el cálculo del indicador y a favorecer la comparabilidad de su valor entre demarcaciones, se ha considerado un mismo año para el inicio del estudio, 2001, y se han establecido una serie de criterios para la selección de las especies estudiadas. Asimismo, dado que las campañas de arrastre no tienen por objeto específicamente la captura de especies pelágicas, el indicador se ha calculado sin considerar la biomasa de las especies pelágicas capturadas y considerándola. De esta forma, en el primer caso se amplifica la señal del indicador (esto es la significancia de las tendencias) al excluir la alta variabilidad interanual en la biomasa que registran las especies pelágicas, mientras en el segundo caso se utiliza toda la información disponible sobre las comunidades capturadas.

Escenarios batimétricos y ecológicos

Para el cálculo del indicador y la evaluación de sus cambios a lo largo del tiempo se han considerado diferentes escenarios, tanto batimétricos como ecológicos. Los rangos batimétricos reflejan el hecho de que las comunidades bento-demersales están frecuentemente estructuradas a lo largo del gra-



diente de profundidad, por lo que la comunidad que habita en las zonas someras es significativamente diferente de aquella que habita las zonas más profundas, aunque ambas puedan ser sintetizadas con un valor del MTL. Así, se han tenido en cuenta tres rangos batimétricos diferentes para evaluar de forma independiente el indicador. Estos han sido los siguientes:

- i) costa (<30m de profundidad),
- ii) plataforma continental (30-200m),
- iii) talud continental (>200m).

La segregación batimétrica ha permitido por tanto explorar los cambios temporales del indicador en estas comunidades con el potencial de identificar tendencias divergentes a lo largo del gradiente de profundidad. No obstante, debido a las características geomorfológicas de la plataforma continental española, la zona costera (<30m de profundidad) solo ha tenido suficiente cobertura en el muestreo en la demarcación sudatlántica y no en el resto de las demarcaciones marinas evaluadas.

Con respecto a los escenarios ecológicos, para cada rango de profundidad se han considerado tres umbrales en los niveles tróficos de la comunidad evaluada, tal y como se representa en la Figura 2. Esta diferenciación ha posibilitado la identificación de patrones que, por ejemplo, afectan solo a los depredadores apicales (como sería el caso de la hipótesis fishing down marine food webs) y que de otra manera podrían haber quedado ocultos por la alta biomasa de las especies con un bajo TL. Estos umbrales ecológicos se describen a continuación:

- **MTL4:** contiene aquellas especies con un $TL \geq 4$ que son aquellos depredadores sobre los que no existe depredación, conocidos como depredadores apicales. Incluye a elasmobranquios, peces y cefalópodos bento-demersales.
- **MTL3.25:** contiene solo aquellas especies con un $TL \geq 3,25$, las cuales son fundamentalmente consumidores secundarios y depredadores apicales, a partir de aquí denominados mesodepredadores y depredadores apicales. Este umbral fue descrito por Pauly y Watson (2005) y se denomina índice trófico marino (MTI). Incluye principalmente a elasmobranquios, peces y cefalópodos.
- **MTL2:** contiene todas las especies en la comunidad bento-demersal, con excepción de los productores primarios. Incluye a todos los invertebrados, peces y cefalópodos.

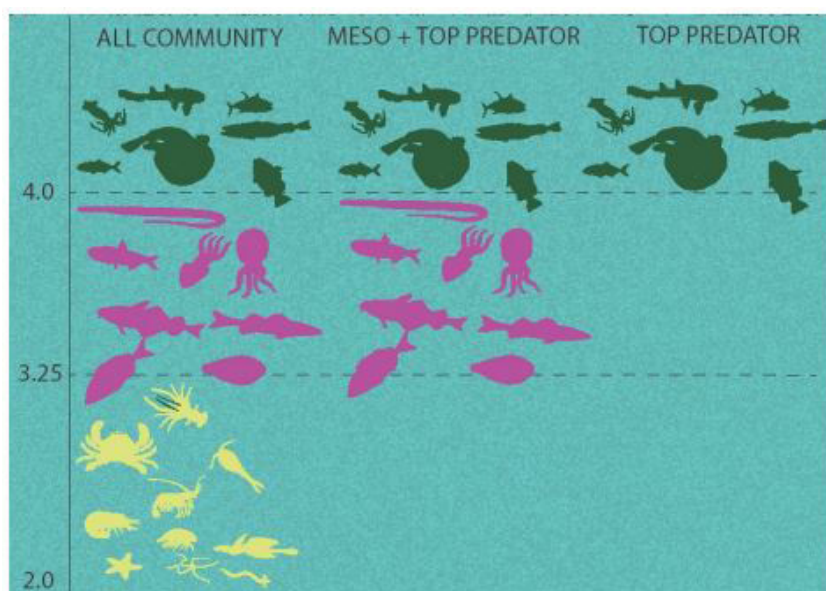


Figura 2. Esquema que muestra la composición de especies en cada umbral: i) toda la comunidad (incluye todas las especies capturadas, incluyendo invertebrados, peces y cefalópodos), ii) mesodepredadores + depredadores apicales (incluye fundamentalmente cefalópodos y peces con un nivel trófico igual o superior a 3,25) y iii) depredadores apicales (incluye únicamente aquellas especies con nivel trófico igual o superior a 4).



Como se comentó con anterioridad, ciertas especies pelágicas, muy importantes en biomasa, son también capturadas por el arrastre del fondo. Esto se debe a que se concentran en el fondo durante el día y son capturadas por el arte de arrastre. De hecho, debido a la alta variabilidad que representa la biomasa de estas especies pelágicas capturadas se decidió considerar también en los escenarios la evaluación del indicador excluyendo e incluyendo las especies pelágicas. Así, la combinación de todos estos umbrales ha generado 15 escenarios diferentes (Tabla 3), ya que en las campañas oceanográficas demersales no se capturan especies pelágicas con un $TL \geq 4$, por lo que en este caso no existen los escenarios con pelágicos.

Tabla 3. Resumen de los 15 escenarios batimétricos y ecológicos donde se muestran los niveles tróficos incluidos en cada uno de ellos.

ESCENARIOS BATIMÉTRICOS Y ECOLÓGICOS	MTL4	MTL3.25	MTL2
Costa (Prof. < 30 m.)	Depredadores apicales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)
Plataforma (Prof. 30-200 m.)	Depredadores apicales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)
Talud (Prof. >200 m.)	Depredadores apicales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)

Cálculo del nivel trófico medio (MTL)

Previo al cálculo del indicador, se utilizaron curvas acumulativas a partir de datos de biomasa de las especies para seleccionar aquellas que son muestreadas de forma consistente a lo largo de la serie histórica. Los criterios aplicados se acordaron por el equipo de expertos de forma que la evaluación fuera coherente entre las demarcaciones en estudio. Estos criterios se establecieron en base a los puntos de inflexión de la frecuencia de ocurrencia de las especies y a la distribución de su abundancia, tal y como se señala a continuación:

- especies que aparecen al menos en el 50 % de los años
- especies que aparecen al menos en el 10 % de los lances de cada año
- especies que proporcionan una abundancia por encima del cuantil 10

Con respecto al cálculo de los niveles tróficos por especie, éste ha sido estimado utilizando análisis de contenidos estomacales y de isótopos estables (por ejemplo, Chouvelon *et al.*, 2012; Lasalle *et al.*, 2011; Lasalle *et al.*, 2014; Le Loc'h *et al.*, 2008) obtenidos en cada demarcación. Los datos de isotopía estable han permitido estimar el nivel trófico para aquellas especies cuya dieta no estaba disponible



a partir del análisis de contenidos estomacales, principalmente presas y especies de crustáceos y cefalópodos. En estos casos los contenidos estomacales no se muestrean en campaña por limitaciones metodológicas, esto es que las presas son muy pequeñas y trituradas por lo que requieren mucho tiempo de procesado. Finalmente, a partir de la proporción de cada tipo de presa en la dieta de cada depredador y el TL de la presa, se estimó el TL del depredador según la fórmula (Ecuación 1):

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n P_{ij} \times TL_j$$

Ecuación 1

donde: TL_i se refiere al TL del depredador i , P_{ij} es la proporción de la presa j en la dieta del depredador i , TL_j es el TL de la presa j .

Una vez seleccionado el conjunto de especies que cumplieran con los criterios establecidos, los valores de TL y biomasa fueron usados para la obtención del valor del indicador por lance y año. Nótese que el indicador ha sido evaluado de esta manera para cada uno de los diferentes escenarios anteriormente descritos. El cálculo del indicador MTL por lance se ha realizado aplicando la siguiente fórmula:

$$MTL_h = \sum_i (TL_i) \times \left(\frac{Y_{ih}}{\sum_i Y_{ih}} \right)$$

Ecuación 2

donde: MTL_h se refiere al indicador MTL por lance, TL_i se refiere a la estimación del TL de las especies (grupo) i , Y_{ih} se refiere a la biomasa (Y) de las especies (grupo) i .

Los resultados del indicador fueron analizados para identificar cambios a lo largo de la serie histórica en los diferentes escenarios, modelando el MTL como una función anual utilizando modelos lineales y/o modelos aditivos generalizados (GAM). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa informático R (R Core Team, 2022).

Análisis espacio-temporal de los cambios en el MTL

Para la aproximación espacio-temporal del estudio del indicador, el proceso de cálculo realizado para cada uno de los escenarios siguió los siguientes pasos, tal y como refleja la Figura 3 y se describen a continuación:

- **Paso 1:** cálculo del valor promedio del MTL por lance y año a partir de los datos de biomasa y niveles tróficos de las especies utilizando la fórmula indicada.
- **Paso 2:** representación temporal de los valores promedio del indicador en cada lance a lo largo de la serie histórica. Ajuste de modelo lineal o GAM.
- **Paso 3:** representación espacial de los valores promedio del indicador por lance en celdas de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$.
- **Paso 4:** representación espacio-temporal de las tendencias del indicador por celda. En aquellas celdas con un número suficiente de datos ($n > 10$), se evalúa la tendencia temporal a partir de regresiones lineales. Las tendencias, positivas o negativas, de los modelos lineales en cada celda se representan con una escala de colores y aquellas celdas con tendencias significativas ($p\text{-valor} < 0,05$) se muestran enmarcadas en negra.

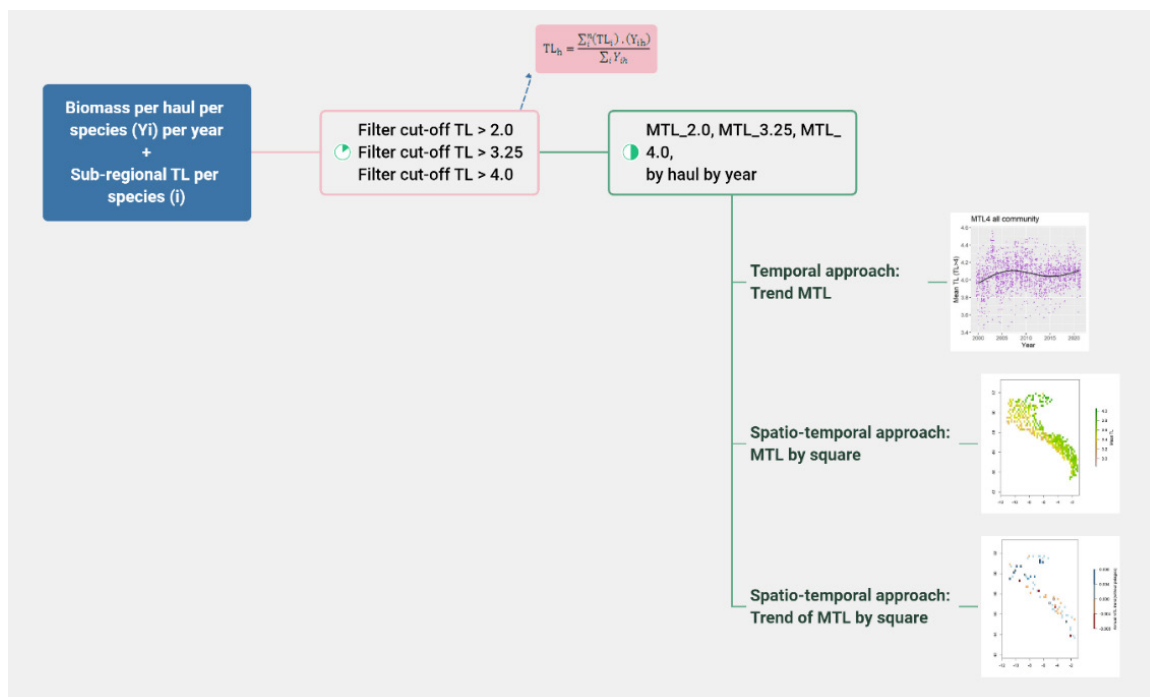


Figura 3. Esquema que muestra los pasos metodológicos a seguir para el cálculo del nivel trófico medio en cada lance.

Criterio de evaluación

Es necesario destacar que la presente evaluación muestra los cambios en el indicador empezando en el año 2001, cuando los ecosistemas bento-demersales ya se encontraban impactados. De hecho, la evaluación realizada a partir de los resultados del indicador RT-MTL está basada en el análisis de sus tendencias pero no de su estado. Para resumir los resultados de los diferentes escenarios ya descritos y mostrar un mensaje comprensivo a la comunidad científica y no científica, los resultados del análisis de las tendencias fueron agrupados en intervalos. Estos grupos son de mejoría/resiliencia/deterioro de las redes tróficas y las tendencias fueron consideradas como señal de mejora o señal de alarma solo cuando los modelos lineales fueron significativos (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$), mientras se consideraron resilientes cuando los modelos lineales no fueron significativos. Estas categorías se muestran en la Tabla 4. Es necesario destacar, a su vez, que la evaluación del indicador está referida a los resultados de las tendencias sin incluir las especies pelágicas. No obstante, dada la importancia de los mismos en el ecosistema también se reportan los resultados de todos los escenarios. De esta forma, los valores al comienzo de la serie no representarían valores de objetivos ecológicos y por tanto cualquier tendencia positiva en el MTL es considerada como un signo de recuperación, mientras que una tendencia no significativa, o de estabilidad, se puede considerar como una señal de la elevada resiliencia que caracteriza los sistemas sometidos a impactos elevados y sostenidos en el tiempo.



Tabla 4. Categorías utilizadas en la evaluación de las tendencias del indicador para ayudar a la interpretación de los resultados.

Interpretación de las tendencias de los indicadores	
↘	La tendencia del indicador es negativa; o el cambio en el indicador está asociado a impactos crecientes debido a presiones antropogénicas (incluido el cambio climático); se considera que las redes tróficas sufren cierta degradación y representa una señal de alarma
↔	No está claro que el cambio represente un retroceso o una mejora en su estado; o el indicador no muestra cambio, aunque existe incertidumbre sobre si el cambio de estado representa una mejora; se considera que las redes tróficas son resilientes
↗	La tendencia del indicador es positiva; o el cambio en el indicador representa una mejora en el estado; se considera que las redes tróficas sufren cierta mejora

Área de evaluación

En el presente ciclo, el área de evaluación coincide con la extensión de la demarcación sudatlántica.

Parámetros utilizados

Nivel trófico medio.

Valores umbral

No hay valores umbral porque no hay ninguna herramienta que posibilite definir el BEA de las redes tróficas a día de hoy. En el caso de este indicador, sí se pueden definir las tendencias ya que estos valores dependen de las estructuras de los ecosistemas, y por tanto el indicador utiliza como herramienta las tendencias.

Evaluación a nivel regional/subregional

La evaluación realizada en esta demarcación marina se ha llevado a cabo de forma coordinada y conjunta con los países ribereños de la región OSPAR IV (España, Francia y Portugal). Los resultados de esta evaluación conjunta forman parte del Informe del Estado de Calidad 2023 (QSR2023)² de OSPAR.

² <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/changes-avg-trophic-level-consumers-fw4/>



3.1. Evaluación general a nivel de demarcación marina – RT MTL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos” para la evaluación de las redes tróficas de la demarcación sudatlántica, en este caso para los sistemas de costa, plataforma y talud continentales. Estos resultados incluyen el cálculo del valor trófico medio junto con su tendencia temporal para los escenarios sin pelágicos. Además, se aporta también la representación cartográfica de los valores promedio y las tendencias espacio-temporales para favorecer la interpretación de posibles patrones espaciales del indicador dentro de la demarcación. Estos mapas se ofrecen a nivel de lance y para los escenarios sin y con pelágicos, aunque la evaluación se ofrezca tan solo para los escenarios sin pelágicos.

Los resultados, para cada estrato de profundidad (característica), se presentan primeramente para el escenario MTL4, que incluye sólo al grupo trófico de los depredadores apicales, frecuente objetivo de las pesquerías comerciales. Seguidamente se ofrecen los resultados del escenario MTL3.25, que engloba a los depredadores apicales y los mesodepredadores, e informa sobre la transferencia de energía en la mitad superior de la red trófica, y por último el escenario MTL2 que ilustra la situación para toda la comunidad de depredadores.

3.1.1. Evaluación para RT-MTL en costa

Consecución del BEA

Tabla 5. Consecución del buen estado ambiental en los sistemas de costa.

Proporción de valor umbral para conseguir el BEA (% de niveles tróficos en BEA)	No relevante
Proporción de niveles tróficos en BEA	No relevante
Resultado de la evaluación	Desconocido
Periodo de evaluación	2001-2021

Resultados de la evaluación del indicador

Tabla 6. Resultados de la evaluación en costa para los escenarios sin pelágicos.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Costa			
Grupo Trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,070	■	↔
Mesodepredadores & Depredadores apicales	-0,100*	■	↘
Toda la comunidad	-0,130**	■	↘



Los resultados de la evaluación del RT-MTL se muestran en la Figura 4, que incluye un gráfico por escenario analizado. Además, en la Tabla 6 se muestran los valores del cambio del indicador para estos mismos escenarios, obtenidos a partir de la pendiente de la función de regresión lineal multiplicada por el número total de años de la serie histórica.

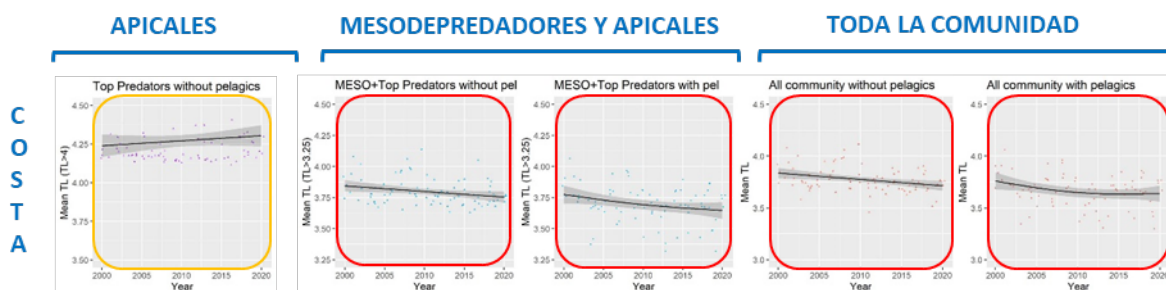


Figura 4. Tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.

Tabla 7. Resumen de la evaluación del indicador en los diferentes escenarios.

Demarcación sudatlántica	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales	0,070	
Mesodepredadores & depredadores apicales	-0,100*	-0,130*
Toda la comunidad	-0,130**	-0,120*
Valor p del test de significancia estadística *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$		

Los valores significativos obtenidos muestran una disminución del indicador en la costa en los escenarios que evalúan los mesodepredadores y depredadores apicales, y toda la comunidad (MTL3.25 y MTL2), tanto para los escenarios que no contemplan las especies pelágicas como para los que sí las incorporan.

En los siguientes apartados se presentan los resultados del indicador por grupos tróficos (elementos) para los escenarios sin y con pelágicos, acompañados por los mapas obtenidos al aplicar la aproximación espacio-temporal para poder identificar patrones espaciales que pudiesen quedar ocultos al considerar un único valor para toda la demarcación.

3.1.1.1. Escenario MTL4 (depredadores apicales)

Tabla 8. Resultados de la evaluación de depredadores apicales en sistemas de costa.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,070		↔



Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados del indicador no permiten inferir un cambio significativo en la tendencia dado que no es significativa. No obstante, la tasa positiva de cambio del nivel trófico medio permite concluir que hay un leve aumento desde 2001. El indicador RT-MTL muestra así una estabilidad de su nivel trófico medio. La falta de tendencia significativa se interpreta como una señal de la resiliencia de las comunidades bento-demersales a lo largo de la serie histórica.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

El área muestreada en el dominio de costa se localiza frente al Parque Nacional de Doñana y la desembocadura del río Guadalquivir, siendo en esta última donde se identifican los valores más elevados (Figura 5). No obstante, es conveniente resaltar que la magnitud de la diferencia entre los valores del indicador representados no es muy elevada. El mapa de tendencias muestra, a su vez, el mismo patrón espacial, y de nuevo cabría resaltar que la magnitud de las tendencias no es muy elevada.

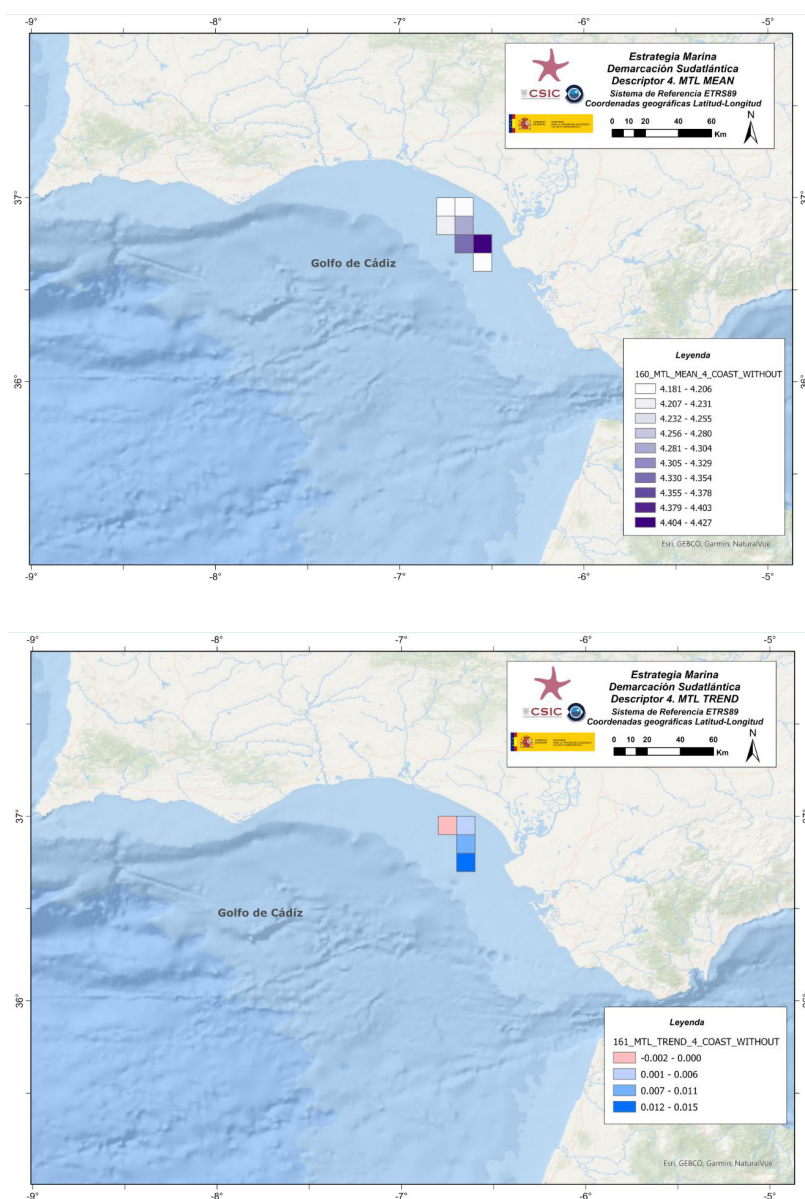


Figura 5. Costa: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que considera los depredadores apicales (MTL4) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.



No se muestra el escenario incluyendo las especies pelágicas dado que ninguna especie capturada con el arrastre de fondo con nivel trófico superior a 4 es considerada pelágica.

3.1.1.2. Escenario MTL3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Tabla 9. Resultado de la evaluación de mesodepredadores y depredadores apicales en costa.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado

Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

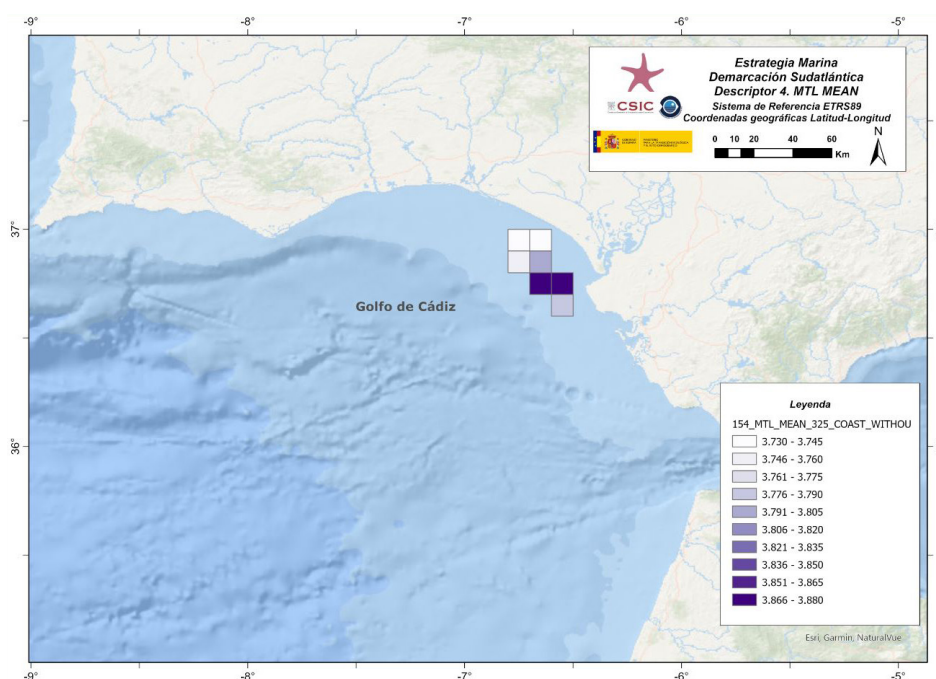
Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Mesodepredadores y depredadores apicales	-0,100*	■	↘

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un descenso significativo, observándose una disminución del valor del indicador de -0,100 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra un deterioro de su nivel trófico medio. Esta tendencia negativa indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales de mesodepredadores y depredadores apicales han experimentado una caída en su nivel trófico medio.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

Al incluir los mesodepredadores en el análisis del nivel trófico medio de depredadores apicales, se observa un descenso general del rango de valores con respecto a los escenarios anteriores, y, al igual que en éstos, la distribución espacial revela cómo los valores más altos se localizan frente a la desembocadura del Guadalquivir (Figura 6). Con respecto a los resultados de tendencias, se observa un descenso generalizado del nivel trófico medio, con mayor magnitud también frente a la desembocadura del río Guadalquivir.



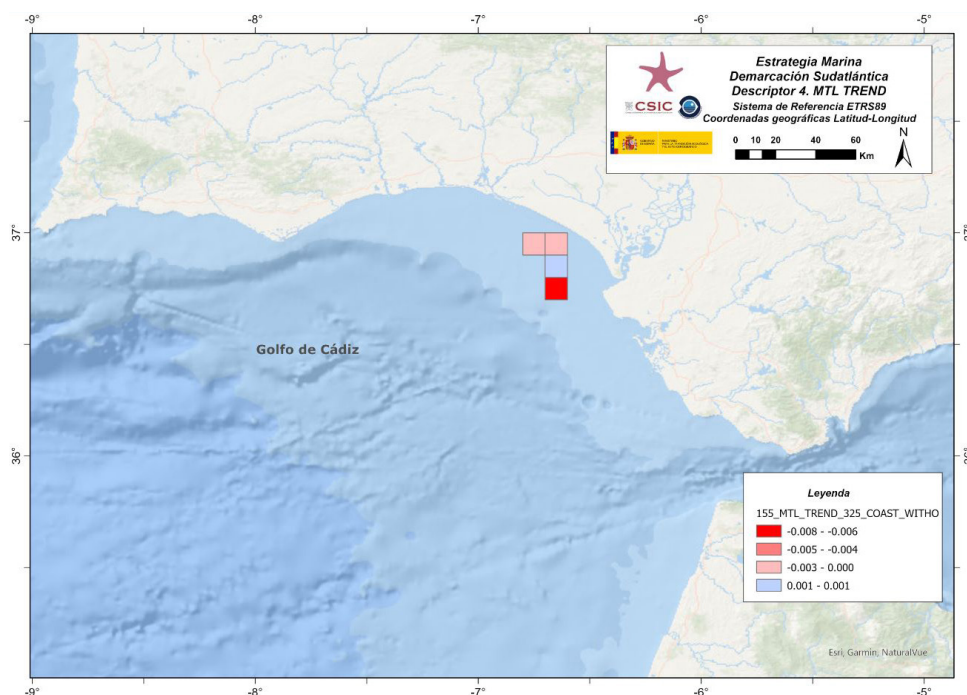
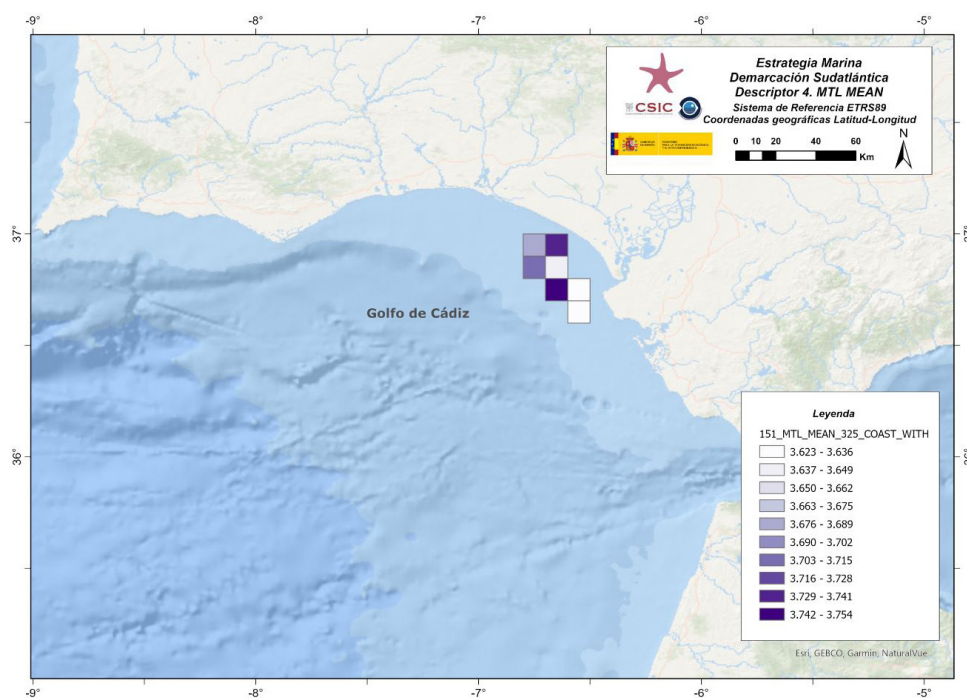


Figura 6. Costa: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan cambios significativos de los modelos.

Al incorporar ahora las especies pelágicas en el escenario MTL3.25, aun registrando un ligero descenso del rango de valores, las diferencias espaciales se mantienen en un rango muy pequeño, y registrándose los valores máximos frente al Parque Nacional de Doñana (Figura 7). Con respecto al mapa de tendencias, se pone de manifiesto que la distribución de los valores sigue el mismo patrón que sin considerar las pelágicas, aunque las magnitudes de las tendencias son significativamente mayores en este escenario.



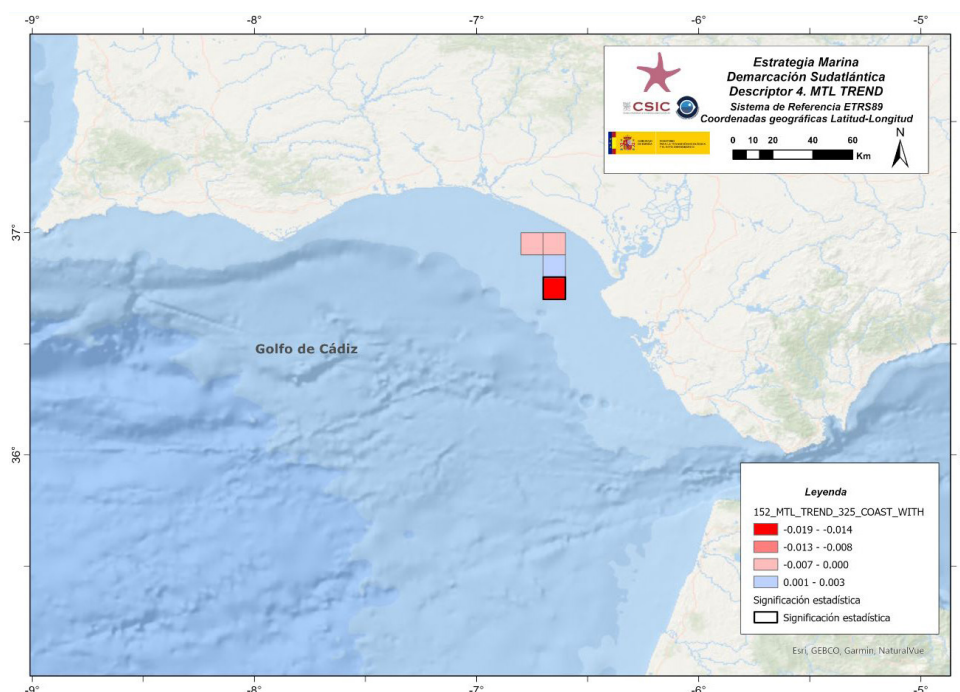


Figura 7. Costa: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negro representan cambios significativos de los modelos

3.1.1.3. Escenario MTL2 (toda la comunidad)

Tabla 10. Resultado de la evaluación de toda la comunidad en costa.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	-0,130**		↘

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un descenso significativo, observándose una disminución del valor del indicador de -0,130 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra un deterioro del nivel trófico de toda la comunidad bento-demersal. Esta tendencia negativa indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales han experimentado un declive de su nivel trófico medio.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

El escenario que incluye a toda la comunidad bento-demersal se caracteriza por presentar unos valores y una distribución espacial de MTL muy similar al escenario MTL3.25 sin pelágicos (Figura 8). Sin embargo, al analizar el mapa de tendencias, se observa una disminución generalizada del indicador, especialmente significativa frente a la desembocadura del río Guadalquivir.

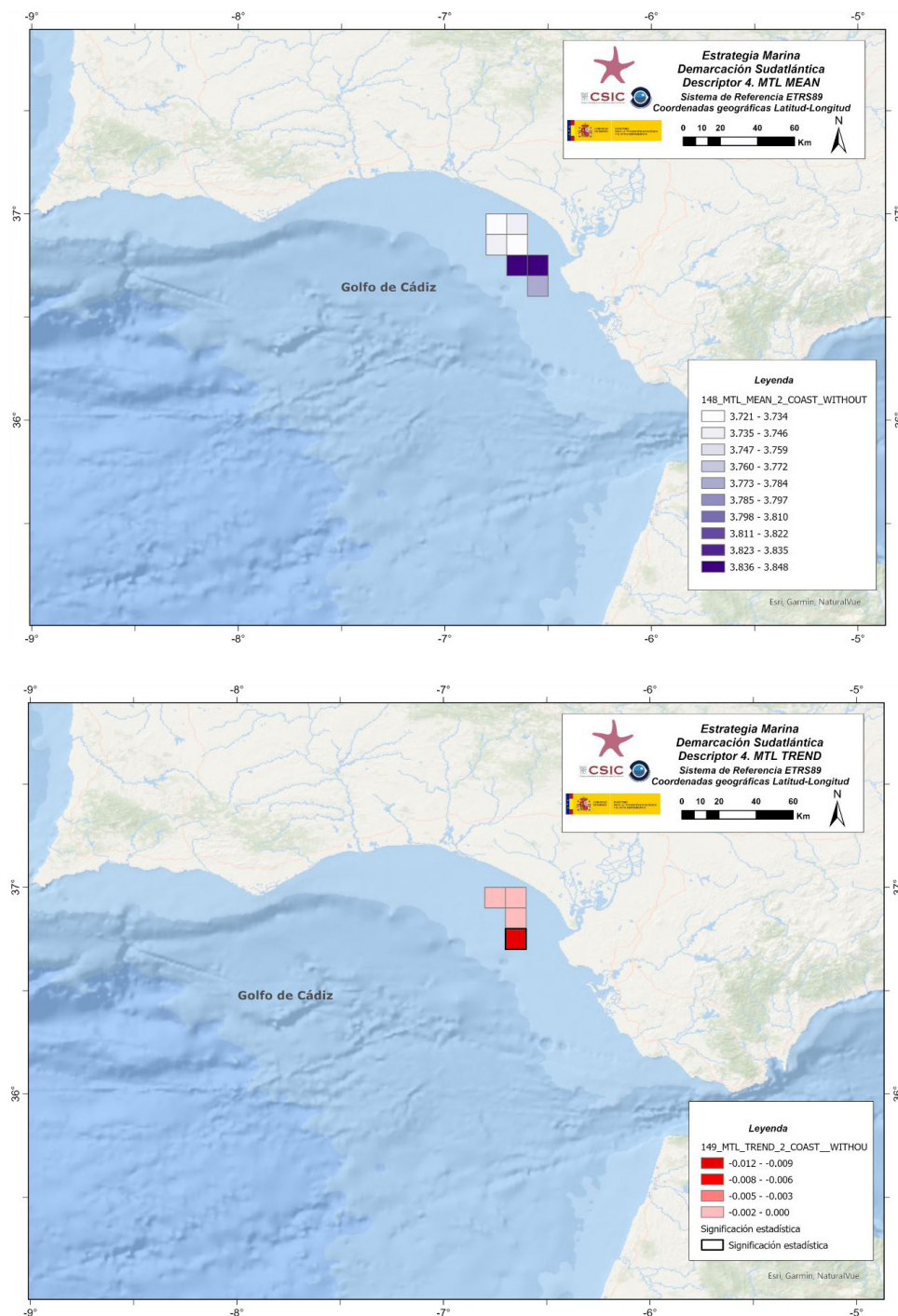


Figura 8. Costa: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora toda la comunidad bento-demersal (MTL2) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

Al incluir en este escenario las especies pelágicas, se observa una reducción del rango de valores y un cambio en su distribución espacial, hallándose los valores más bajos frente a la desembocadura del Guadalquivir (Figura 9). Nótese que los valores más altos, frente a Doñana, en términos absolutos son prácticamente los mismos que los obtenidos sin pelágicos, aunque en aquel escenario representaban los valores más bajos. Con respecto a las tendencias, éstas muestran en general un comportamiento negativo.

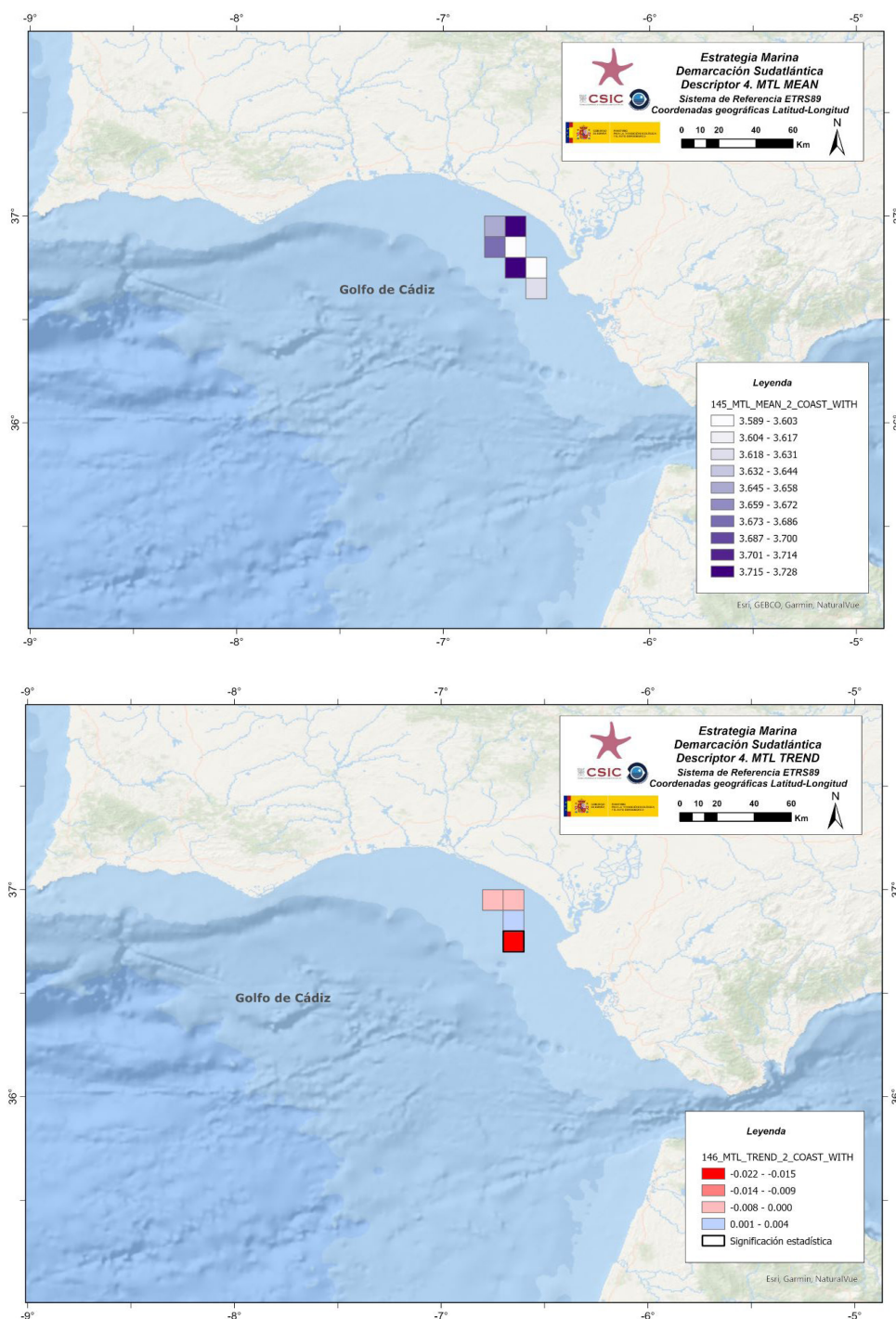


Figura 9. Costa: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora toda la comunidad bento-demersal (MTL2) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan cambios significativos de los modelos.



3.1.2. Evaluación para RT-MTL en plataforma

Consecución del BEA

Tabla 11. Consecución del buen estado ambiental en los sistemas de plataforma.

Proporción de valor umbral para conseguir el BEA (% de niveles tróficos en BEA)	No relevante
Proporción de niveles tróficos en BEA	No relevante
Resultado de la evaluación	Desconocido
Periodo de evaluación	2001-2021

Resultados de la evaluación del indicador

Tabla 12. Resultados de la evaluación en plataforma para los escenarios sin pelágicos.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Plataforma			
Grupo Trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,030*	■	↗
Mesodepredadores & Depredadores apicales	0,150***	■	↗
Toda la comunidad	0,160***	■	↗

Los resultados de la evaluación del RT-MTL se muestran en la Figura 10, que incluye un gráfico por escenario analizado. Además, en la Tabla 12 se muestran los valores del cambio del indicador para los mismos escenarios, obtenidos a partir de la pendiente de la función de regresión lineal multiplicada por el número total de años de la serie histórica.

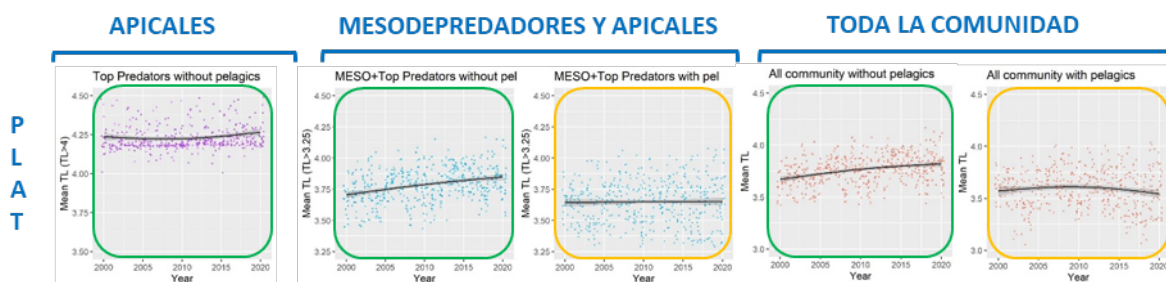


Figura 10. Tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.



Tabla 13. Resumen de la evaluación del indicador en los diferentes escenarios.

Demarcación sudatlántica	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales	0,030*	
Mesodepredadores & depredadores apicales	0,150***	0,010
Toda la comunidad	0,160***	-0,030
Valor p del test de significancia estadística *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$		

En la plataforma los escenarios que no contemplan las especies pelágicas registran una mejoría significativa mientras que los que las consideran mantienen cierta estabilidad no significativa del indicador RT-MTL. Entre los escenarios de plataforma sin pelágicos destacan los depredadores apicales, ya que, a pesar de registrar una mejoría en su nivel trófico medio, ésta lo hace con una magnitud considerablemente menor a la obtenida en los otros dos escenarios.

En los siguientes apartados se presentan los resultados del indicador por grupos tróficos (elementos) para los escenarios sin y con pelágicos, acompañados por los mapas obtenidos al aplicar la aproximación espacio-temporal para poder identificar patrones espaciales que pudiesen quedar ocultos al considerar un único valor para toda la demarcación.

3.1.2.1. Escenario MTL4 (depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Tabla 14. Resultados de la evaluación de depredadores apicales en sistemas de plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,030*	■	↗

Resultados de la evaluación del indicador

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un aumento significativo, observándose un incremento del valor del indicador de 0,030 desde 2001. El indicador RT-MTL obtiene un resultado significativo que muestra una mejora del nivel trófico de los depredadores apicales. Esta tendencia positiva parece indicar que a lo largo de las dos décadas analizadas los depredadores apicales han experimentado una mejora de su nivel trófico medio.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL se observa un ligero gradiente ascendente al sureste donde la mayor abundancia de valores altos se encuentra en el entorno de la costa de Cádiz (Figura 11). Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se detecta una distribución heterogénea donde se observa una recuperación significativa en la costa de Cádiz.

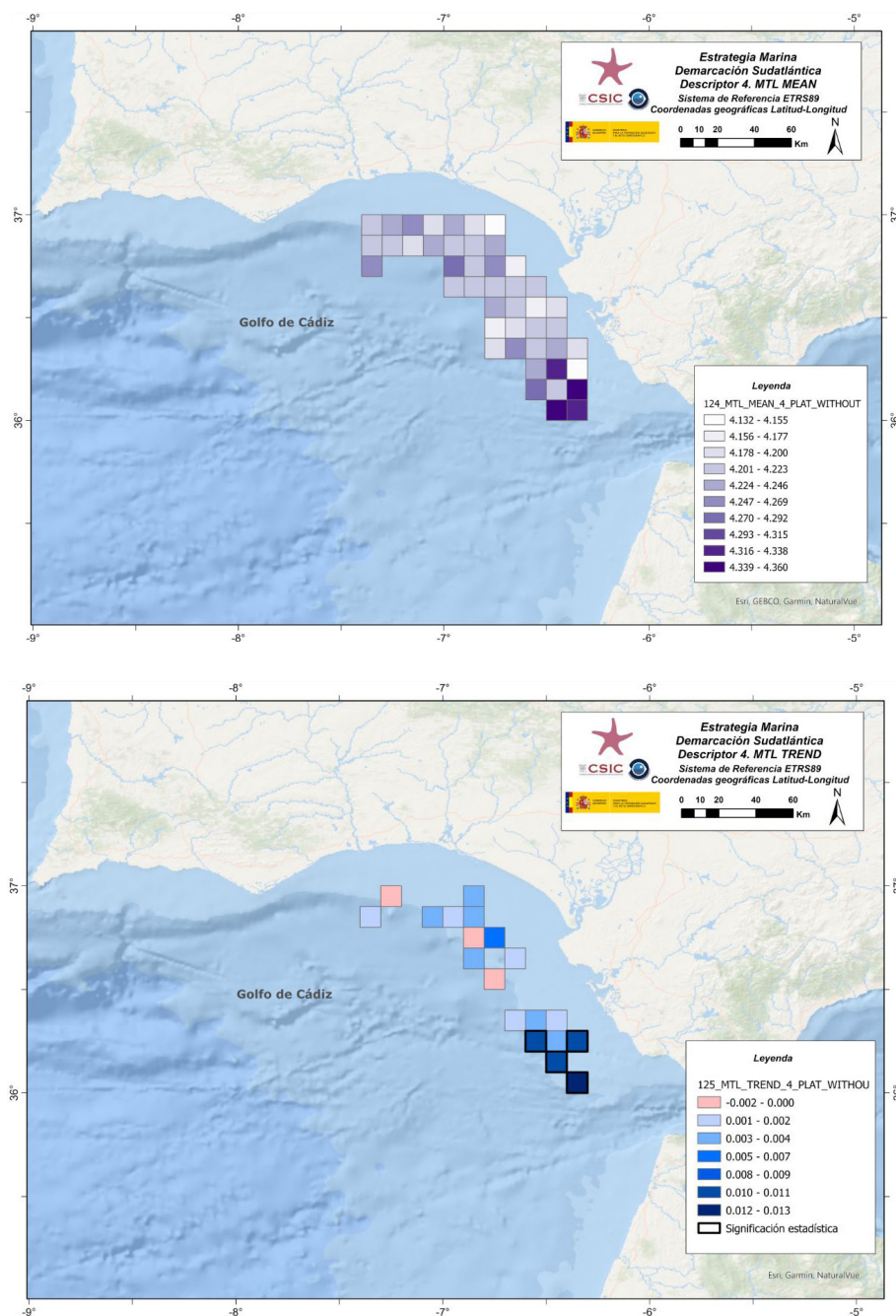


Figura 11. Plataforma: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que considera los depredadores apicales (MTL4) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

No se muestra el escenario incluyendo las especies pelágicas dado que ninguna especie capturada con el arrastre de fondo con nivel trófico superior a 4 es considerada pelágica.



3.1.2.2. Escenario MTL3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Tabla 15. Resultado de la evaluación de mesodepredadores y depredadores apicales en plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado

Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

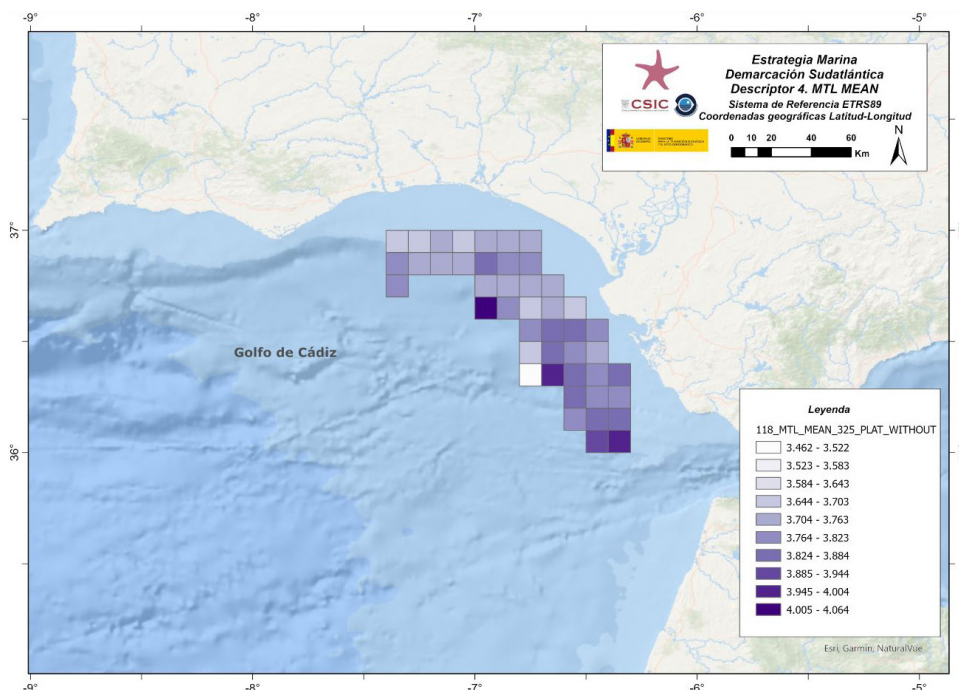
Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Mesodepredadores y depredadores apicales	0,150***	■	↗

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran una mejoría significativa, observándose un aumento del valor del indicador de 0,150 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra un incremento de su nivel trófico medio. Esta tendencia positiva indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales de mesodepredadores y depredadores apicales han experimentado un repunte en su nivel trófico medio.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL se observa un ligero gradiente ascendente al sureste donde la mayor abundancia de valores altos se encuentra en el entorno de la costa de Cádiz (Figura 12). Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se detecta una distribución heterogénea donde se observa una recuperación significativa en la costa de Cádiz.



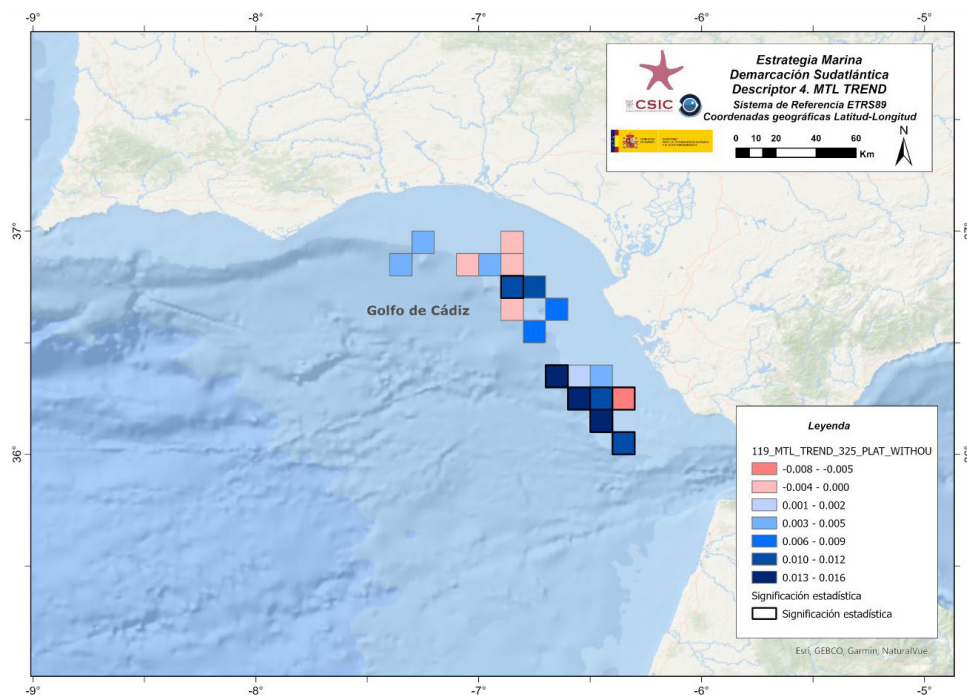
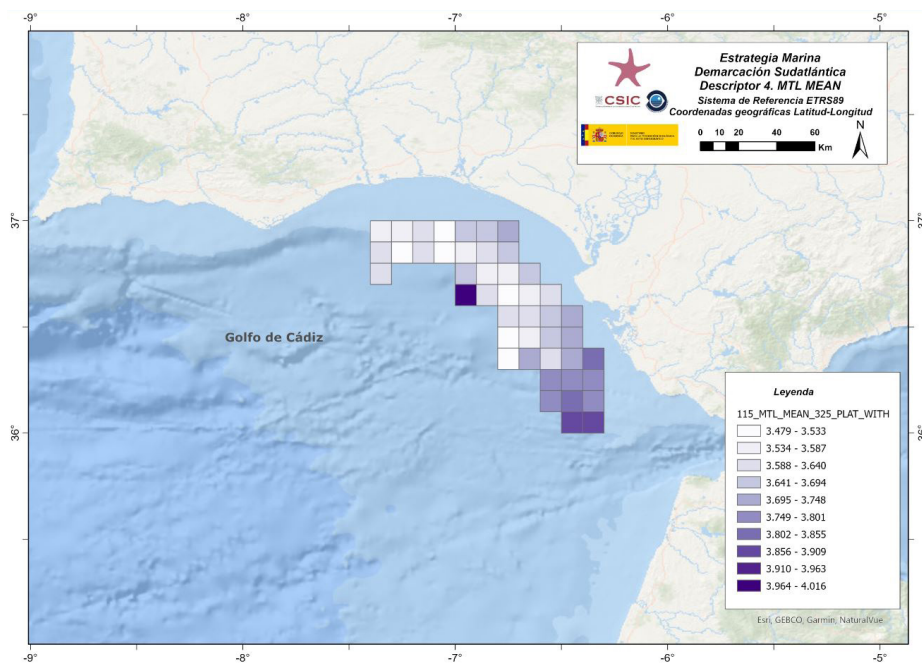


Figura 12. Plataforma: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario mesodepredadores y depredadores apicales (MTL.3.25) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

Al añadir las especies pelágicas se observa que el rango de valores de MTL obtenidos es muy parecido al del escenario que no las contempla, no obstante, el patrón de gradiente creciente hacia el sudeste se manifiesta con mayor claridad. Asimismo, los lances más cercanos a la costa frecuentemente poseen valores mayores a aquellos más alejados (Figura 13). Con respecto a las tendencias, resulta llamativo el evidente empeoramiento generalizado del indicador, con predominio de valores negativos y significativos frente a la costa de Doñana y la ría de Huelva. El extremo sudeste de la demarcación, por su parte, continúa mostrando valores positivos, indicando la recuperación de los niveles tróficos.



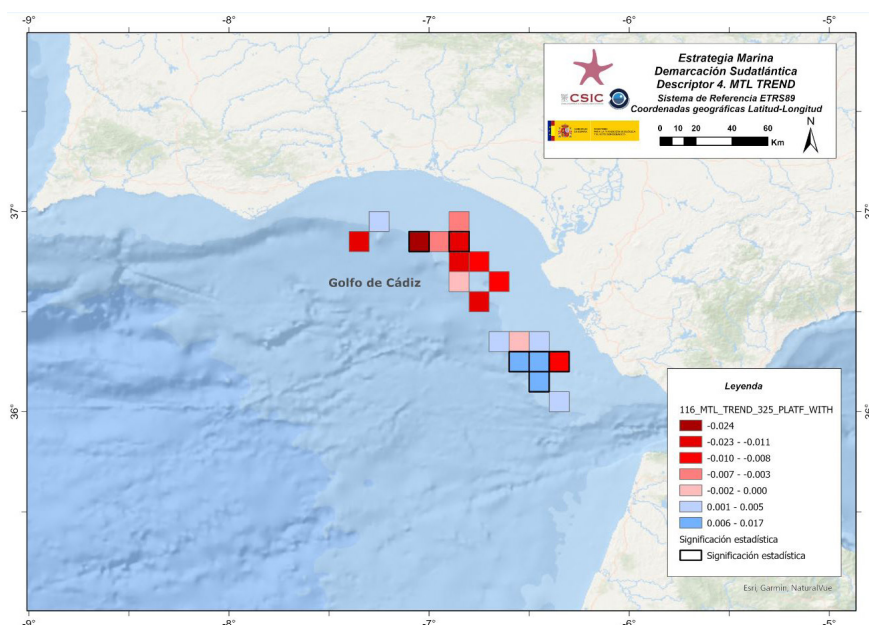


Figura 13. Plataforma: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

3.1.2.3. Escenario MTL2 (toda la comunidad)

Tabla 16. Resultado de la evaluación de toda la comunidad en plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	0,160***		↗

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un aumento significativo, observándose un incremento del valor del indicador de 0,160 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra una mejora del nivel trófico de toda la comunidad bento-demersal. Esta tendencia positiva, junto a la mejoría de los niveles tróficos superiores, indica una mejoría generalizada de las comunidades en los sistemas de plataforma.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

El rango de valores del MTL obtenidos es muy similar al correspondiente al escenario anterior MTL3.25, aunque con predominio de lances con valores ligeramente mayores. Por su parte, el gradiente creciente hacia el sudeste persiste (Figura 14). Con respecto a las tendencias, destaca la significativa recuperación en la mitad sudoriental, y se percibe un deterioro frente a la ría de Huelva y Doñana, aunque no es significativo.

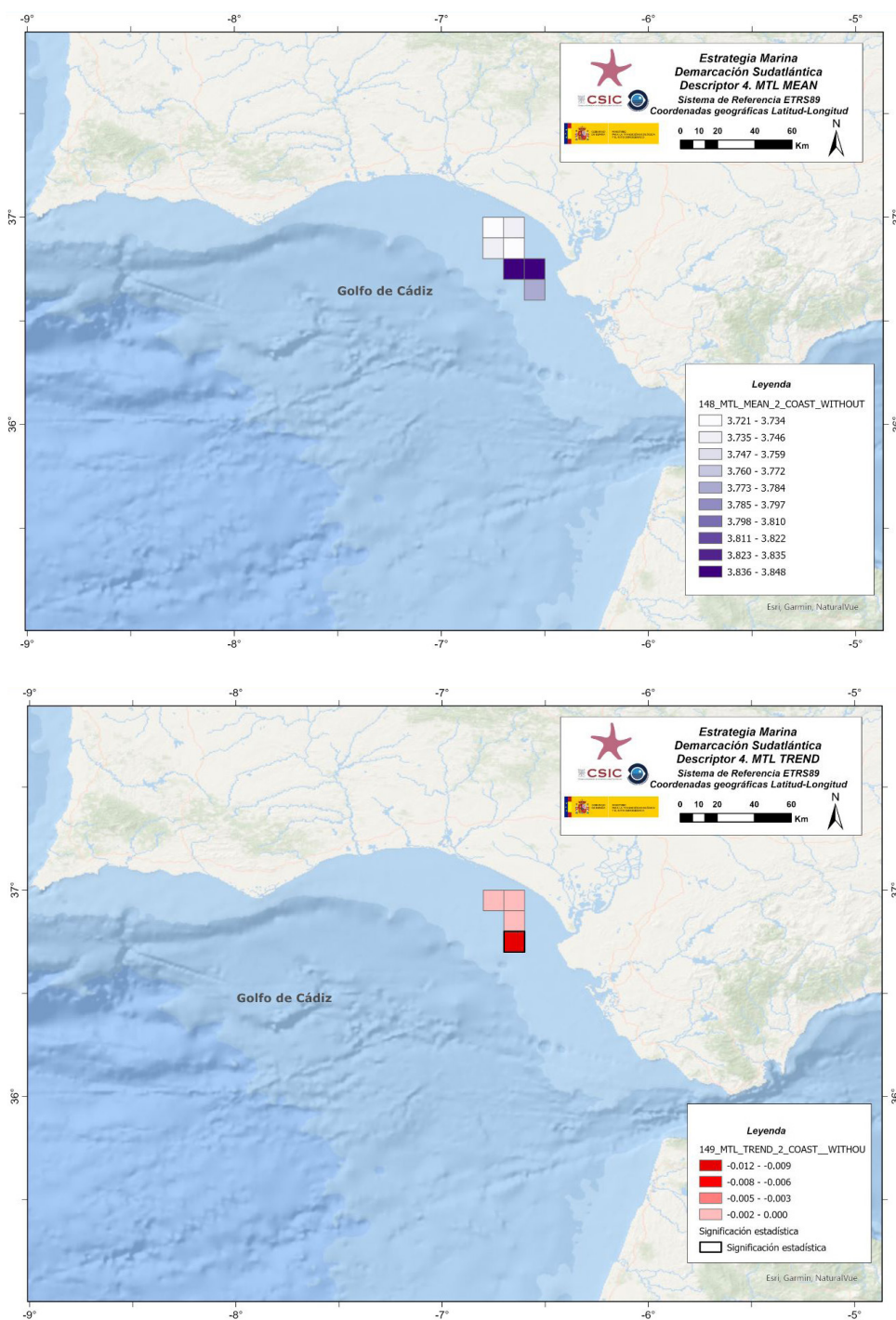


Figura 14. Plataforma: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora toda la comunidad bento-demersal (MTL2) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

Los resultados obtenidos para el escenario MTL2 con pelágicos muestran la predominancia de los valores más altos en el extremo sudeste de la demarcación, asimismo se detecta una concentración de valores más bajos en los lances situados frente a la desembocadura del Guadalquivir (Figura 15). Sin embargo, el mapa de tendencias desvela un empeoramiento generalizado de los niveles tróficos, especialmente intenso y significativo frente a las costas onubenses.

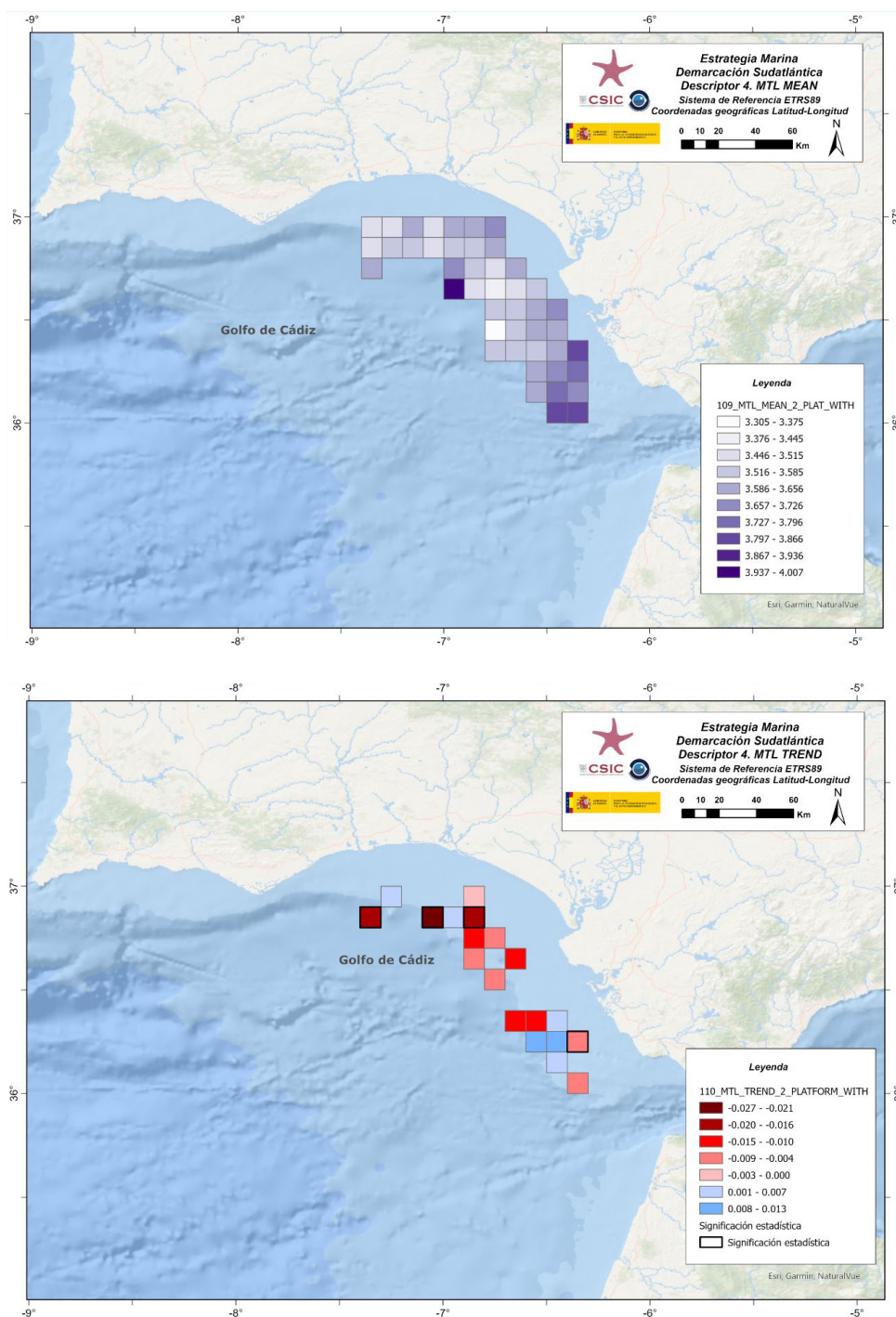


Figura 15. Plataforma: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora toda la comunidad bento-demersal (MTL2) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan cambios significativos de los modelos.



3.1.3. Evaluación para RT-MTL en salud

Consecución del BEA

Tabla 17. Consecución del buen estado ambiental en los sistemas de salud.

Proporción de valor umbral para conseguir el BEA (% de niveles tróficos en BEA)	No relevante
Proporción de niveles tróficos en BEA	No relevante
Resultado de la evaluación	Desconocido
Periodo de evaluación	2001-2021

Resultados de la evaluación del indicador

Tabla 18. Resultados de la evaluación en salud para los escenarios sin pelágicos.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Talud			
Grupo Trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,140*	■	↗
Mesodepredadores & depredadores apicales	0,070*	■	↗
Toda la comunidad	0,160***	■	↗

Los resultados de la evaluación del indicador RT-MTL se muestran en la Figura 16, la cual incluye un gráfico por escenario analizado. Además, en la Tabla 16 se muestran los valores del cambio del indicador para los mismos escenarios, obtenidos a partir de la pendiente de la función de regresión lineal multiplicada por el número total de años de la serie histórica.

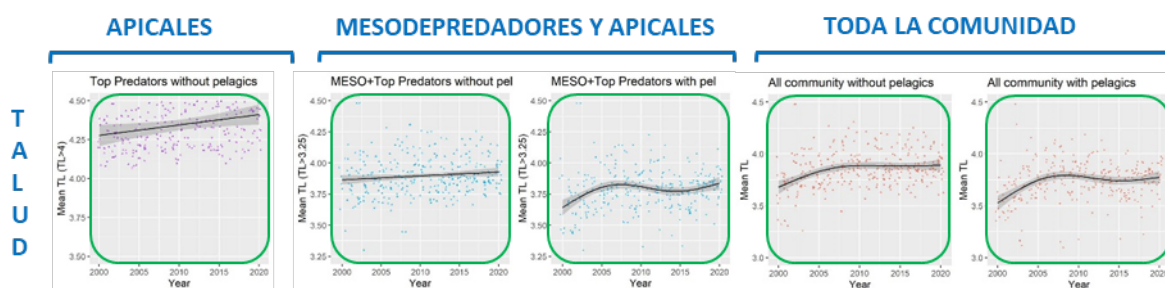


Figura 16. Tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.



Tabla 19. Resumen de la evaluación del indicador en los diferentes escenarios.

Demarcación sudatlántica	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales	0,140*	
Mesodepredadores & Depredadores apicales	0,070*	0,080*
Toda la comunidad	0,160***	0,130***
Valor p del test de significancia estadística *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$		

Los resultados obtenidos para todos los escenarios considerados para el talud continental registran la recuperación del nivel trófico medio. Entre estos escenarios destacan los correspondientes a los mesodepredadores y apicales (MTL3.25), con y sin pelágicos, ya que la magnitud de la recuperación es la mitad con respecto a los otros escenarios.

En los siguientes apartados se presentan los resultados del indicador por grupos tróficos (elementos) para los escenarios sin y con pelágicos, acompañados por los mapas obtenidos al aplicar la aproximación espacio-temporal para poder identificar patrones espaciales que pudiesen quedar ocultos al considerar un único valor para toda la demarcación.

3.1.3.1. Escenario MTL4 (depredadores apicales)

Tabla 20. Resultados de la evaluación de depredadores apicales en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
 Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	0,140*		↗

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un aumento significativo, observándose un incremento del valor del indicador de 0,140 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra una mejora del nivel trófico de los depredadores apicales, indicando una mejoría generalizada de los depredadores en los sistemas de talud.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

Con respecto a la costa y la plataforma, es en el talud donde se obtienen los valores máximos del MTL. Si bien los valores más bajos se concentran frente a la costa onubense, en este escenario no se identifica un claro patrón espacial. Las tendencias tampoco muestran ningún patrón espacial, aunque predominan los valores positivos, que indican una cierta mejoría en las redes tróficas (Figura 17).

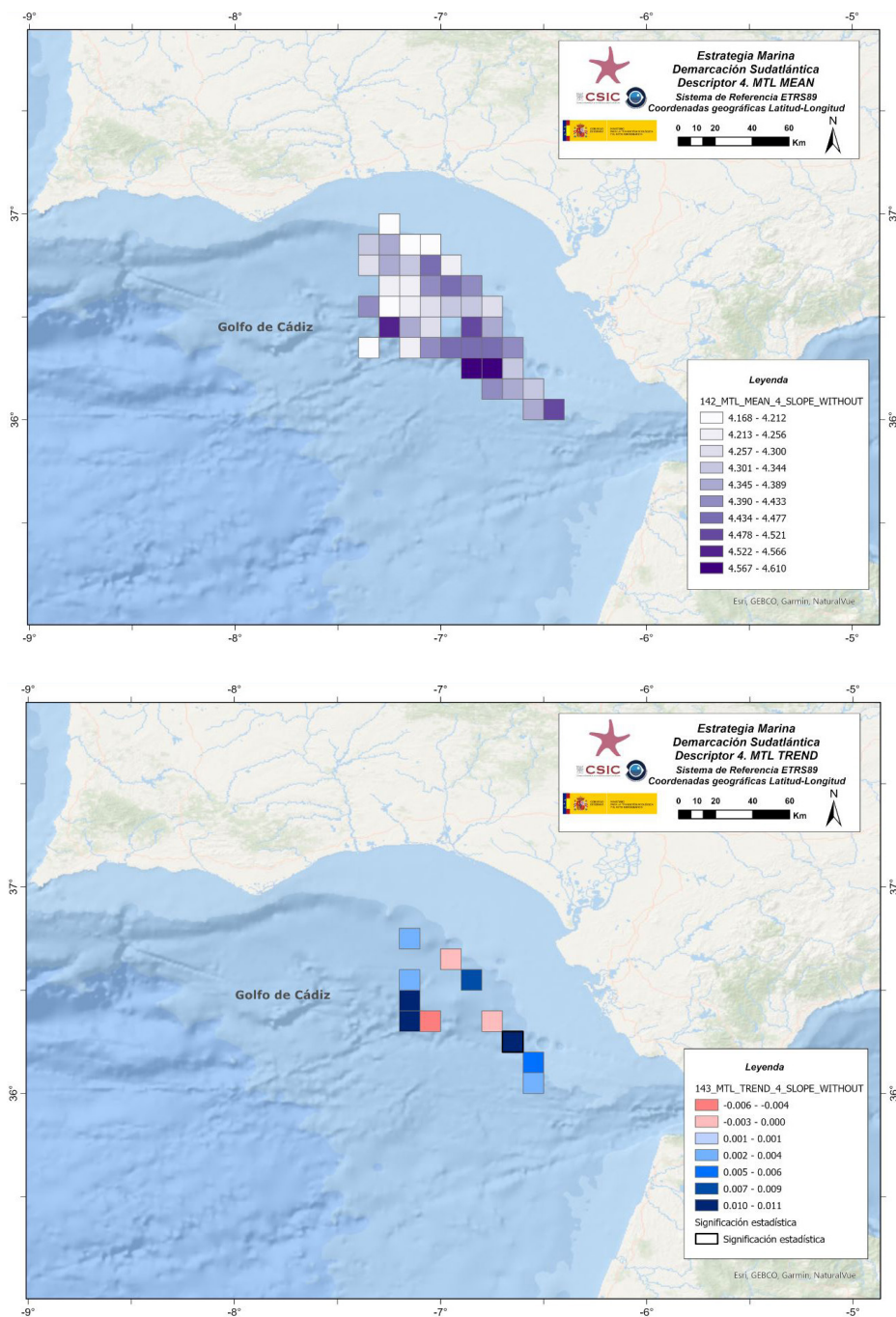


Figura 17. Talud: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario depredadores apicales (MTL4) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

No se muestra el escenario incluyendo las especies pelágicas dado que ninguna especie capturada con el arrastre de fondo con nivel trófico superior a 4 es considerada pelágica.



3.1.3.2. Escenario MTL3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Tabla 21. Resultado de la evaluación de mesodepredadores y depredadores apicales en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado

Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

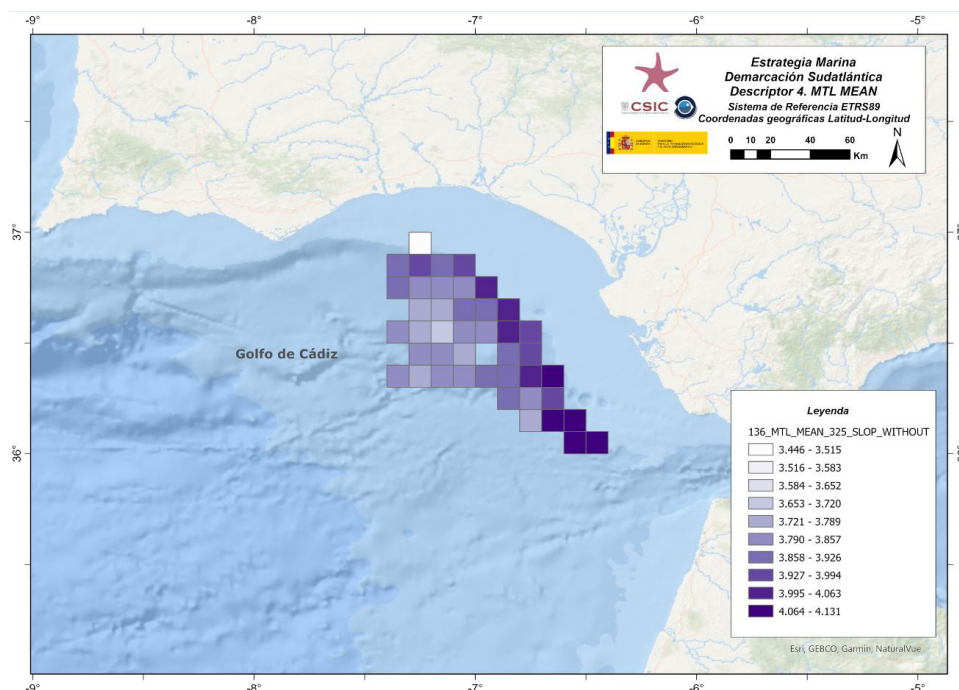
Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Mesodepredadores y depredadores apicales	0,070*	■	↗

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un aumento significativo, observándose un incremento del valor del indicador de 0,070 desde 2001. El indicador RT-MTL muestra una mejora del nivel trófico de las especies situadas en la mitad superior de la cadena trófica. Esta tendencia positiva parece indicar que a lo largo de las dos décadas analizadas los niveles intermedios y superiores están experimentando una mejoría en su nivel trófico medio.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

En este escenario se observan grandes cambios con respecto al anterior, que tan solo contemplaba los depredadores apicales. En los valores medios se detecta un doble gradiente, decreciente hacia mar adentro y creciente hacia el sudeste, encontrándose los valores máximos frente a cabo Trafalgar (Figura 18). El mapa de tendencias, por su parte, muestra una mejoría generalizada de los niveles tróficos, aunque la magnitud de las tendencias es muy pequeña.



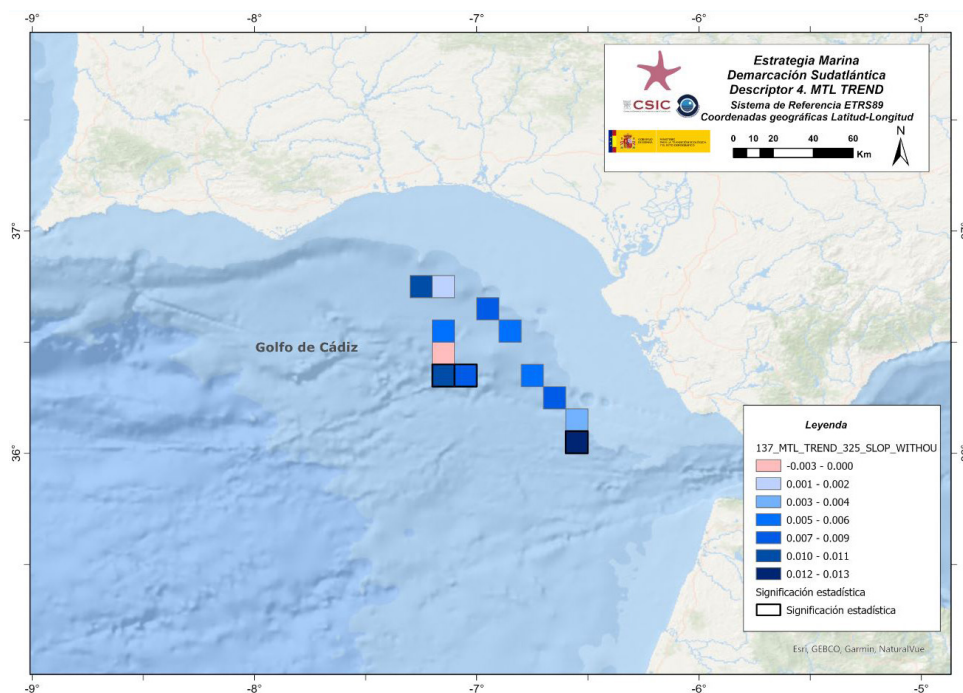
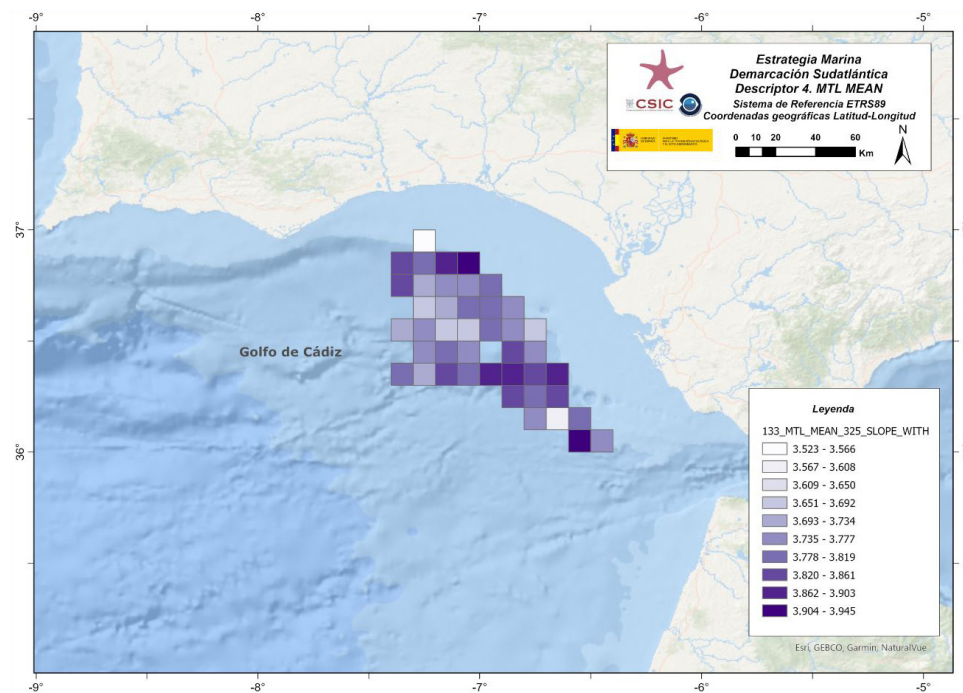


Figura 18. Talud: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario para mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

Al introducir a las especies pelágicas en el cálculo del indicador, la variabilidad en los valores medios se reduce, y estos muestran un comportamiento espacial más heterogéneo sin ningún patrón evidente (Figura 19). En mapa de tendencias, a su vez, revela una mejoría generalizada de pequeña magnitud, aunque en este caso no es tan homogénea como la del escenario sin pelágicos.



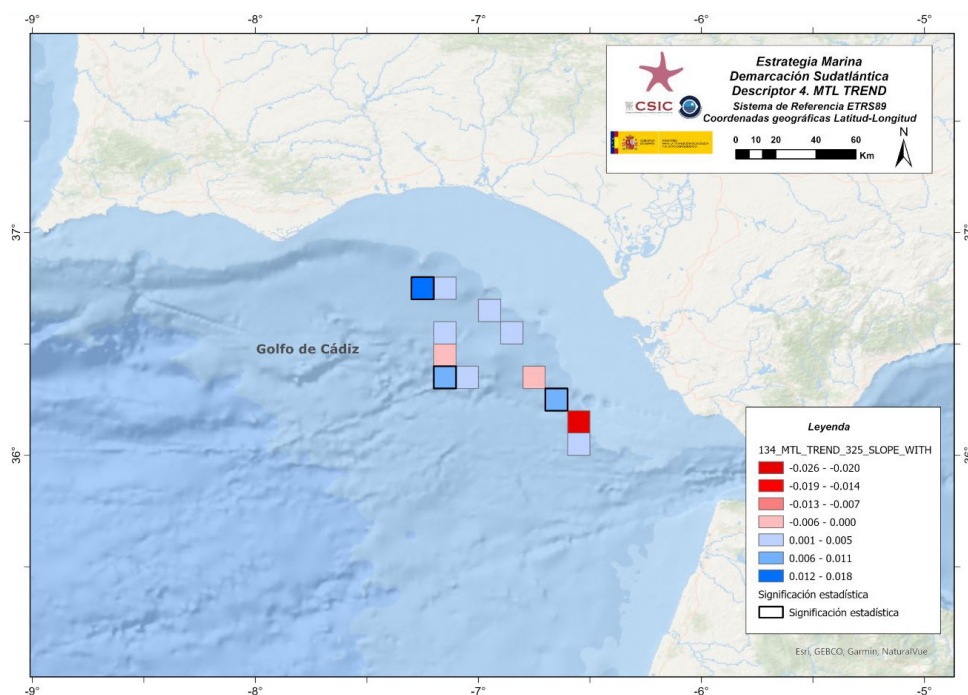


Figura 19. Talud: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario para mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negra representan cambios significativos de los modelos.

3.1.3.3. Escenario MTL2 (toda la comunidad)

Tabla 22. Resultado de la evaluación de toda la comunidad en talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado
Tendencia del estado en comparación con el ciclo previo: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	0,160***		↗

Resumen de los resultados de la evaluación

Estado desconocido. Los resultados obtenidos a partir de la tendencia del indicador muestran un aumento significativo, observándose un incremento del valor del indicador de 0,160 desde 2001. Este resultado del indicador muestra una mejora del nivel trófico de toda la comunidad bento-demersal. Esta tendencia positiva, junto a la mejoría de los niveles tróficos superiores, indica una mejoría generalizada de las comunidades en los sistemas de talud.

Resultados de la evaluación espacio-temporal del indicador

Para el escenario de toda la comunidad, sin especies pelágicas, se observa un gradiente creciente hacia costa y hacia el sudeste, donde predominan los valores más altos (Figura 20). Con respecto al mapa de tendencias, éste muestra un incremento generalizado de magnitud mayor a los ya identificados en los escenarios anteriores, y en este caso, no se detecta ningún patrón espacial significativo.

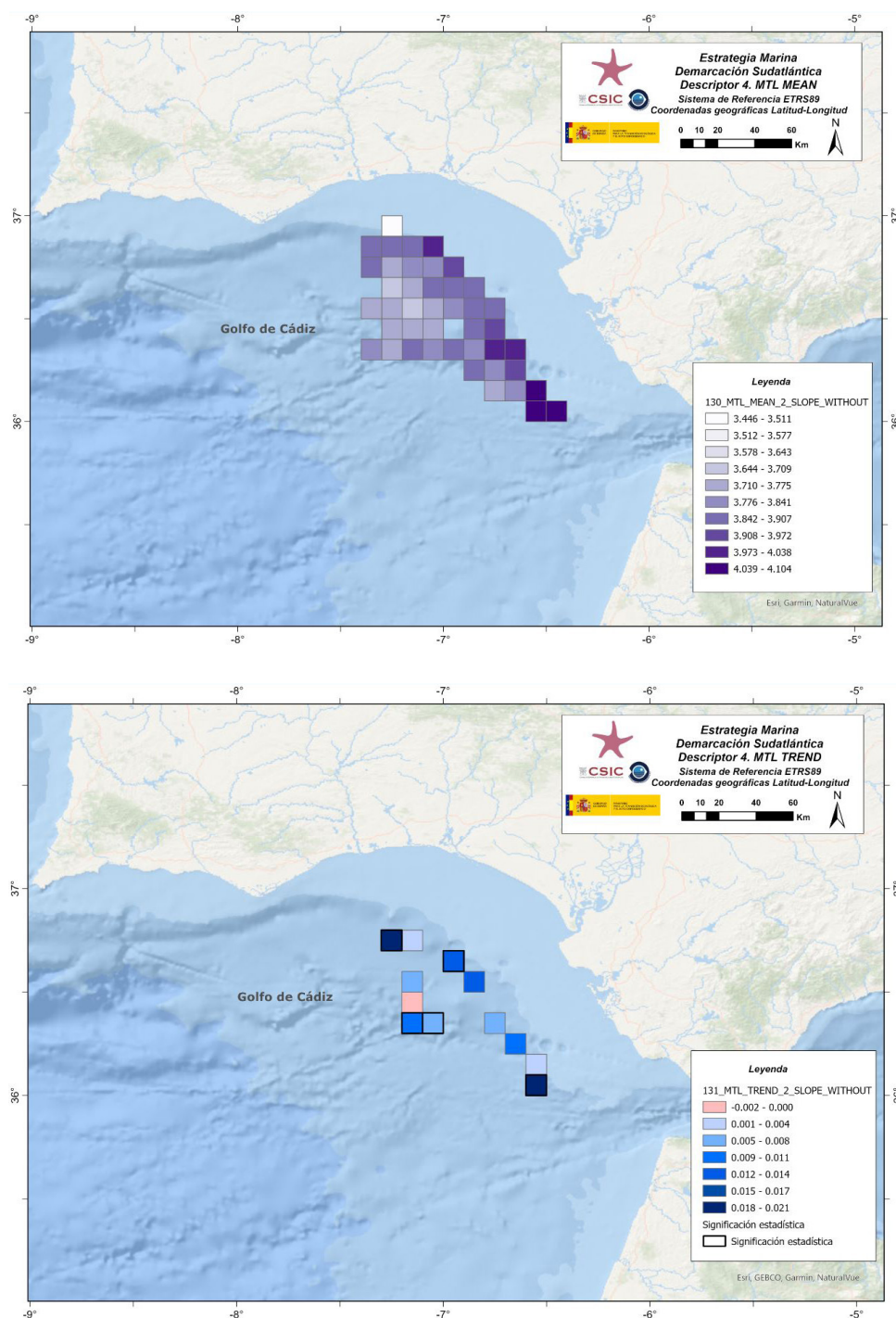


Figura 20. Talud: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a toda la comunidad bento-demersal (MTL2) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan cambios significativos de los modelos.

Al incorporar las especies pelágicas en el análisis se observa cómo no se identifica el gradiente espacial anteriormente identificado, de hecho, destaca la presencia de valores bajos hacia el extremo sudoriental de la demarcación (Figura 21). Las tendencias tampoco muestran ningún patrón espacial definido, aunque es frente a la ría de Huelva y Doñana donde se concentran sólo valores positivos de tendencias, es decir, de recuperación del nivel trófico medio.

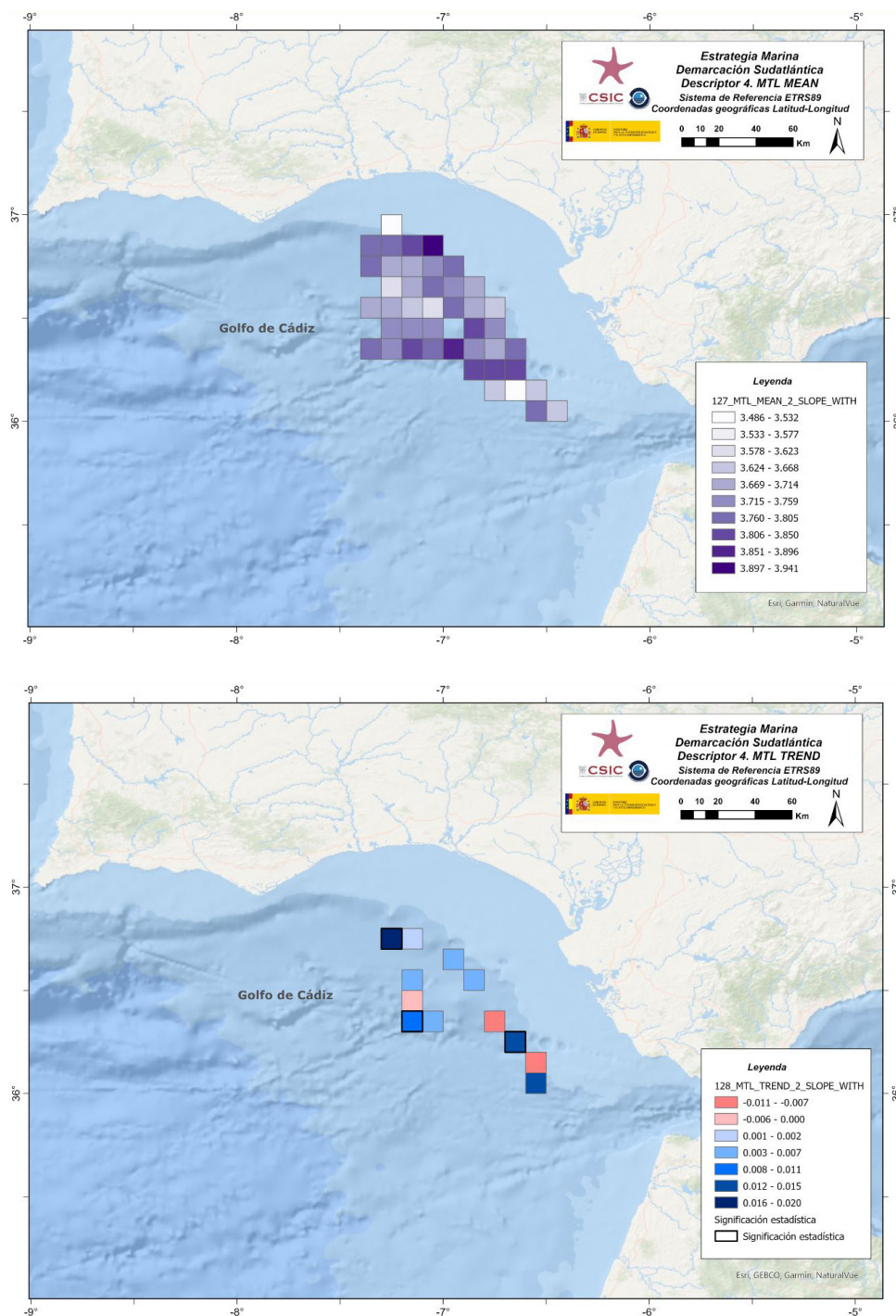


Figura 21. Talud: valores promedio del indicador por celda (arriba) y tendencia (abajo), correspondiente al escenario que considera toda la comunidad bento-demersal (MTL2) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan cambios significativos de los modelos.



3.2. Conclusiones del indicador RT-MTL

El resumen de los resultados de la evaluación del indicador en todos los escenarios batimétricos y ecológicos de la aproximación temporal y espacio-temporal se puede ver en la Tabla 20.

Tendencias crecientes para todos los escenarios, excluyendo las especies pelágicas, han sido registradas excepto para la costa (Tabla 20), donde el declive es evidente al considerar toda la comunidad (MTL2) y los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25), pero no para los depredadores apicales (MTL4). Sin embargo, los resultados de la costa deben ser considerados con precaución debido al bajo número de lances en comparación con los ecosistemas de plataforma y talud. Se debe resaltar que el valor del cambio del MTL a lo largo de la serie temporal en numerosos escenarios ha sido de un orden de magnitud mayor comparado con otras demarcaciones (ver fichas de evaluación noratlántica, Estrecho y Mar de Alborán, y levantino-balear). A pesar del reducido número de lances analizados en la costa, las tendencias descendentes detectadas en la aproximación temporal pueden ser observadas al trasladar los resultados del indicador a escala local.

Para los depredadores apicales (MTL4) tendencias positivas significativas se han detectado en la parte más meridional de la demarcación para ecosistemas de plataforma, y de forma general sobre el talud. Al incluir a los mesodepredadores (MTL3.25), emergen tendencias positivas, de nuevo en el sector meridional, mientras ciertas áreas con valores positivos en el talud muestran una distribución parcheada. Algunas celdas han mostrado tendencias crecientes cuando se incluía toda la comunidad (MTL2) en los escenarios donde las especies pelágicas fueron excluidas.



Tabla 23. Demarcación sudatlántica: resumen de la evaluación del indicador con los resultados más relevantes de la aproximación temporal y espacio-temporal.

DEMARCACIÓN SUDATLÁNTICA					
Car	Esc.	Cambio MTL	Tend	Patrón Espacial	Zonas De Interés
Costa	MTL4 SIN PELÁGICOS	0,070	RESILIENTE	Valores medios Distribución heterogénea	Desembocadura Guadalquivir: valores máximos
				Tendencias Distribución heterogénea	Desembocadura Guadalquivir: recuperación
	MTL3.25 SIN PELÁGICOS	-0,100*	SEÑAL DE ALARMA	Valores medios Distribución heterogénea	Desembocadura Guadalquivir: valores máximos
				Tendencias Degradación	No se observa
	MTL3.25 CON PELÁGICOS	-0,130*	SEÑAL DE ALARMA	Valores medios Distribución heterogénea	Desembocadura Guadalquivir: valores mínimos
				Tendencias Degradación	Desembocadura Guadalquivir: degradación significativa
	MTL2 SIN PELÁGICOS	-0,130**	SEÑAL DE ALARMA	Valores medios Dos zonas claramente diferenciadas	Doñana: valores mínimos Desembocadura Guadalquivir: valores máximos
				Tendencias Degradación significativa	Desembocadura Guadalquivir: degradación significativa
	MTL2 CON PELÁGICOS	-0,120*	SEÑAL DE ALARMA	Valores medios Distribución heterogénea	Desembocadura Guadalquivir: valores mínimos
				Tendencias Degradación significativa	Desembocadura Guadalquivir: degradación significativa



DEMARCACIÓN SUDATLÁNTICA					
Car	Esc.	Cambio MTL	Tend	Patrón Espacial	Zonas De Interés
Plataforma	MTL4 SIN PELÁGICOS	0,030*	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Distribución heterogénea	Cabo de Trafalgar: valores máximos
				Tendencias Recuperación localmente significativa	Bahía de Cádiz-Cabo de Trafalgar: recuperación significativa
	MTL3.25 SIN PELÁGICOS	0,150***	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Ligero gradiente ascendente al sureste	Costa de Cádiz: valores elevados
				Tendencias Distribución heterogénea	Costa de Cádiz: recuperación significativa
	MTL3.25 CON PELÁGICOS	0,010	RESILIENTE	Valores medios Gradiente ascendente al sureste	Bahía de Cádiz-Cabo de Trafalgar: valores elevados
				Tendencias Dos zonas claramente diferenciadas	Guadiana-Guadalquivir: degradación significativa Bahía Cádiz-Cabo Trafalgar: recuperación significativa
	MTL2 SIN PELÁGICOS	0,160***	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Gradiente ascendente al sureste	Bahía de Cádiz-Cabo de Trafalgar: valores elevados
				Tendencias Recuperación generalizada	Bahía Cádiz-Cabo Trafalgar: recuperación significativa
	MTL2 CON PELÁGICOS	-0,030	RESILIENTE	Valores medios Distribución heterogénea	Cabo de Trafalgar: valores máximos
				Tendencias Degradación generalizada	Guadiana-Guadalquivir: degradación significativa



DEMARCACIÓN SUDATLÁNTICA					
Car	Esc.	Cambio MTL	Tend	Patrón Espacial	Zonas De Interés
Talud	MTL4 SIN PELÁGICOS	0,140*	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Distribución heterogénea	Costa de Huelva: valores mínimos
				Tendencias Distribución heterogénea	No se observa
	MTL3.25 SIN PELÁGICOS	0,070*	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Gradiente creciente a la costa	Cabo de Trafalgar: valores máximos
				Tendencias Recuperación significativa	No se observa
	MTL3.25 CON PELÁGICOS	0,080*	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Distribución heterogénea	No se observa
				Tendencias Recuperación	No se observa
	MTL2 SIN PELÁGICOS	0,160***	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Gradiente creciente a la costa	Cabo de Trafalgar: valores máximos
				Tendencias Recuperación significativa	No se observa
	MTL2 CON PELÁGICOS	0,30***	SEÑAL DE MEJORA	Valores medios Distribución heterogénea	No se observa
				Tendencias Distribución heterogénea Abundan valores recuperación	No se observa



3.3. Limitaciones y futuras líneas de trabajo para el indicador RT-MTL

Los trabajos realizados para la evaluación de las redes tróficas, basados en extensas series de datos con más de 20 años de análisis estomacales y datos complementarios obtenidos a partir de la isotopía estable, han permitido realizar análisis más avanzados respecto al ciclo anterior de las estrategias marinas. No obstante, siguen existiendo importantes obstáculos que limitan la investigación y el análisis del funcionamiento de las redes tróficas. Estas limitaciones se exponen, a continuación, como marco de referencia para los resultados presentados:

- Los hábitats y comunidades estudiadas se ciñen al ámbito circalitoral de fondos sedimentarios, por lo que los fondos rocosos de la península y los archipiélagos quedan fuera del estudio, así como las zonas costeras del infralitoral.
- Las redes tróficas pelágicas quedan fuera del alcance de esta evaluación. El tipo de muestreo utilizado en las campañas oceanográficas de arrastre bento-demersal (arrastre de fondo) permite estudiar adecuadamente las comunidades bento-demersales, no así el dominio pelágico.
- No se ha tenido en cuenta en la presente evaluación el cambio en los niveles tróficos de aquellas especies que experimentan cambios ontogénicos en la dieta, ni se ha considerado la estructura de tallas de las especies y sus variaciones a lo largo de la serie histórica. Asimismo, la obtención de los niveles tróficos por medio de dos metodologías complementarias (contenidos estomacales vs isótopos estables), a pesar de ser una potente herramienta para comprender el funcionamiento de las redes tróficas, suscita ciertas dudas a la hora de establecer un único nivel trófico para las especies presa.
- La incertidumbre asociada a los modelos lineales utilizados para reflejar los cambios en el indicador sugiere tomar con precaución las tendencias no significativas, las cuales representan una considerable proporción en todos los escenarios, en torno al 40 %.

Algunas de las limitaciones mencionadas son susceptibles de ser abordadas en el siguiente ciclo (p.e. mejora en el cálculo de los niveles tróficos). Otras, no obstante, requerirán de muestreos adicionales en campañas complementarias (p.e. hábitats pelágicos, zona infralitoral) que requerirán la colaboración e información de otros descriptores. Independientemente de las limitaciones mencionadas, existen numerosas líneas de investigación futuras que permitirán ampliar el alcance de lo investigado en este ciclo de las estrategias marinas. Algunas de las líneas de trabajo y objetivos a medio plazo que ya se han identificado se listan a continuación:

- Desarrollar y testar el indicador ‘análisis de redes ecológicas’ (RT-ENA) en esta demarcación.
- Explorar la relación con indicadores complementarios, como la heterogeneidad trófica presentada en otras demarcaciones de este ciclo de estrategias marinas, para mejorar la comprensión de la compleja realidad de los sistemas tróficos bento-demersales.
- Evaluar la implicación de factores externos en las tendencias de los indicadores, investigando posibles ciclos, naturales o inducidos por el hombre, que ayuden a mejorar la comprensión de su comportamiento.
- Establecer valores umbral, basados en resultados significativos y robustos, a partir de la relación entre las presiones y los indicadores.



REFERENCIAS



4. Referencias

- Arroyo, N.L., Safi, G., Vouriot, P., López-López L., Niquil, N., Le Loc'h, F., Hattab T., Preciado I. 2019. Towards coherent GES assessments at sub-regional level: signs of fisheries expansion processes in the Bay of Biscay using an OSPAR food web indicator, the mean trophic level. ICES Journal of Marine Science, doi:10.1093/icesjms/fsz023.
- Branch, T., Watson, R., Fulton, E., Jennings, S., McGillard, C., Pablico, G., Ricard, D., and Tracey, S. 2010. Trophic fingerprint of marine fisheries. *Nature* 468: 431-435.
- Chassot, E., Rouyer, T., Trenkel, V.M., and Gascuel, D. 2008. Investigating trophic-level variability in Celtic Sea fish predators. *Journal of Fish Biology* 73: 763-781.
- Chouvelon, T., Spitz, J., Caurant, F., Mèndez-Fernandez, P., Chappuis, A., Laugier, F., Le Goff, E., Bustamante, P., 2012. Revisiting the use of $\delta^{15}\text{N}$ in meso-scale studies of marine food webs by considering spatio-temporal variations in stable isotopic signatures–The case of an open ecosystem: the Bay of Biscay (North-East Atlantic). *Progress in Oceanography* 101, 92-105 10.1016/j.pocean.2012.01.004.
- Essington, T.E., Beaudreau, A.H., and Wiedenmann, J. 2006. Fishing through marine food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103: 3171-3175.
- Lassalle, G., Lobry, J., Le Loc'h, F., Bustamante, P., Certain, G., Delmas, D., Dupuy, C., Hily, C., Labry, C., Le Pape, O., Marquis, E., Petitgas, P., Pusineri, C., Ridoux, V., Spitz, J., and Niquil, N. 2011. Lower trophic levels and detrital biomass control the Bay of Biscay continental shelf food web: implications for ecosystem management. *Progress in Oceanography* 91: 61-75
- Lassalle, G., Chouvelon, T., Bustamante, P., and Niquil, N. 2014. An assessment of the trophic structure of the Bay of Biscay continental shelf food web: Comparing estimates derived from an ecosystem model and isotopic data. *Progress in Oceanography* 120: 205-2015.
- Le Loc'h, F., Hily, C., and Grall, J. 2008. Benthic community and food web structure on the continental shelf of the Bay of Biscay (North Eastern Atlantic) revealed by stable isotopes analysis. *Journal of Marine Systems* 72: 17-34.
- Morato, T., Watson, R., Pitcher, T.J., and Pauly, D. 2006. Fishing down the deep. *Fish* 7: 24-34.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., and Torres Jr., F. 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860 – 863.
- Pauly, D. and Watson, R. 2005. Background and interpretation of the 'Marine Trophic Index' as a measure of biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 360: 415-423.
- Pauly, D., Hilborn, R., and Branch, A. 2013. Does catch reflect abundance? *Nature* 494: 303-306.
- Pinnegar, J.K., Jennings, S., Brien, C.M.O., and Polunin, N.V.C. 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology* 39: 377-390.
- Preciado I. Arroyo N.L., González-Irusta J.M., López-López L., Punzón A., Muñoz I., Serrano A. 2019. Small-scale spatial variations of trawling impact on food web structure. *Ecological indicators* 98: 442-452
- Preciado I, López-López L, Rabanal I, Ortiz JJ, Torres MA, Muñoz I, Iglesias D, García Rebollo JM, Mendes H, Le Loc'h F, GarridoS., Metaireau H, Serre S. 2023. Changes in Average Trophic Level of Marine Consumers. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/changes-avg-trophic-level-consumers-fw4>



R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Shannon, L., Coll, M., Bundy, A., Gascuel, D., Heymans, J. J., Kleisner, K., Lynam, C. P., Piroddi, C., Tam, J., Travers-Trolet, M., and Shin, Y. 2014. Trophic level-based indicators to track fishing impacts across marine ecosystems. *Marine Ecology Progress Series* 512: 115-140.

Stergiou, K.I., and Tsikliras, A.C. 2011. Fishing down, fishing through and fishing up: fundamental process versus technical details. *Marine Ecology Progress Series* 441: 295-301.

Swartz, W., Sala, E., Tracey, S., Watson, R., and Pauly, D. 2010. The spatial expansion and ecological footprint of fisheries (1950 to present). *PLoS ONE* 5: e15143.

Vinagre, C., Salgado, J., Mendonca, V., Cabral, H., and Costa, M. 2012. Isotopes reveal fluctuation in trophic levels of estuarine organisms, in space and time. *Journal of Sea Research* 72:49-54.

ESTRATEGIAS MARINAS

Protegiendo el mar para todos