EVALUACIÓN DEL MEDIO MARINO
DM ESTRECHO Y ALBORÁN
TERCER CICLO ESTRATEGIAS MARINAS

DESCRIPTOR 4
REDES TRÓFICAS



Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

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

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

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: xxx-xx-xxx-x

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)

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

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 (Coordinación)
- Paula Valcarce Arenas (Coordinación)
- Mercedes Rodriguez Sánchez (Coordinación)
- Paloma Carillo de Albornoz (Coordinación)

ÍNDICE

AUTORES DEL DOCUMENTO 3
1. INTRODUCCIÓN 6
2. CRITERIOS, INDICADORES, CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS EVALUADOS EN EL DESCRIPTOR 9
3. RT-MTL "CAMBIOS EN EL NIVEL TRÓFICO MEDIO DE LOS CONSUMIDORES MARINOS" 12
3.1 Metodología de evaluación 13
3.2 EVALUACIÓN GENERAL A NIVEL DE DEMARCACIÓN MARINA RT-MTL 20
3.2.1 EVALUACIÓN PARA RT-MTL EN SISTEMAS DE PLATAFORMA 20
3.2.2 Evaluación para RT-MTL en talud 28
3.3 CONCLUSIONES 37
4. INDICADOR RT-HT: "CAMBIOS DE LA HETEROGENEIDAD TRÓFICA EN LA COMUNIDAD DE CONSUMIDORES" 42
4.1 Metodología de evaluación 42
4.2 EVALUACIÓN GENERAL A NIVEL DE DEMARCACIÓN MARINA – RT- TH. 47
4.2.1 EVALUACIÓN PARA RT-TH EN PLATAFORMA 48
4.2.2 EVALUACIÓN RT-TH EN SISTEMAS DE TALUD 56
4.3 CONCLUSIONES DEL INDICADOR RT-HT 64
5. REFERENCIAS 69

01



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El descriptor 4 de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina y de la Ley de protección del medio marino 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 marinas de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán están fuertemente determinadas por la influencia Atlántica y la entrada de agua superficial a través del Estrecho de Gibraltar. El funcionamiento del Mediterráneo occidental como cuenca de concentración supone que tengamos un déficit hídrico que fuerza la entrada de agua superficial (AW). Esta influencia atlántica se extiende de oeste a este y alcanza con claridad el Cabo de Gata (límite norte de la demarcación). De esta forma, a pesar de que no hay grandes aportes de aguas continentales en la demarcación, el chorro atlántico proporciona nutrientes que dotan de una elevada productividad a los diferentes ecosistemas presentes en la demarcación. Sin embargo, la compleja topografía submarina condiciona la circulación de la masa de agua que penetra el Estrecho y ayuda a distinguir entre diferentes sub-cuencas.

Otros dos aspectos a destacar que determinan la naturaleza de los ecosistemas y de la estructura de sus redes tróficas es la estrechez de la plataforma continental, que oscila entre los 2 y los 10 km de anchura junto con su escasa profundidad, que no supera los 150 metros de profundidad. La topografía es compleja con abundantes cañones y cordilleras.

A modo general, los ecosistemas de esta demarcación se caracterizan por un alto grado de productividad, lo que es debido fundamentalmente a la entrada de nutrientes arrastrados por las masas de aguas atlánticas. Estos nutrientes son los responsables de una alta biomasa vegetal en la base de los sistemas tróficos. La naturaleza de estos sistemas vegetales determina la diferenciación de dos grandes zonas:

- Área occidental e Isla de Alborán: con una fuerte influencia atlántica y presencia de macroalgas con gran desarrollo vertical, como es el caso de las algas laminarias que llegan a producir formaciones de bosques de kelp. La presencia de fuertes y conti-nuos afloramientos generan áreas de gran productividad. Los cetáceos marinos pue-den llegar a desempeñar un papel importante en el ecosistema.
- Área oriental: en esta zona la influencia atlántica se va diluyendo progresivamente y con ello la elevada productividad. Las formaciones de laminarias y algas de gran desa-rrollo vertical se van sustituyendo progresivamente por praderas de fanerógamas que cada vez adquieren más relevancia.

Por lo tanto, podemos hablar de forma global de ecosistemas muy productivos para el estándar del Mediterráneo, con elevada biomasa vegetal y animal. Las comunidades que forman sus ecosistemas se caracterizan por lo tanto por una elevada biomasa animal, con una destacable presencia de invertebrados marinos y una alta diversidad. Esto es debido a que en sus aguas se dan cita a lo largo de todos los niveles tróficos, tanto especies atlánticas, como especies propiamente mediterráneas. Esta elevada diversidad específica, que se hace evidente ya en la composición del propio fitoplancton, asegura una alta complejidad en las relaciones tróficas de sus ecosistemas, y con ello, en el flujo de energía a lo largo de sus diferentes niveles tróficos.

En la demarcación Estrecho y Mar de Alborán la composición de las redes tróficas se distribuye de la siguiente manera. Los depredadores apicales más comunes en la demarcación *son Galeus melastomus, Merluccius merluccius, Lophius budegassa* y el cefalópodo *Todarodes sagittatus*. Los mesopredadores están bien representados por el salmonete de fango *Mullus barbatus*, los espáridos del género Pagellus, los macrúridos, los cefalópodos *Octopus vulgaris* e *Illex coindetii* y decápodos como *Parapenaeus longirostris*. Por último, los consumidores primarios están bien representados por el caproinae *Capros aper* o la holoturia *Parastichopus regalis*. Los pequeños pelágicos, debido a la falta

de aportes continentales en la demarcación, carecen de la relevancia que sí poseen en la mitad norte de la demarcación Levantino-Balear. Es importante resaltar que productores primarios alóctonos de naturaleza invasora como *Rugulopteryx okamurae*, están provocando alteraciones significativas en los ecosistemas que colonizan y deben ser considerados, por lo tanto, agentes potenciales de cambios en la estructura trófica de estos.

La presión pesquera ejerce en la demarcación un impacto directo en la estructura de las redes tróficas. Ante la situación de sobrepesca en estos caladeros, el Plan Plurianual para las Pesquerías en el Mediterráneo ha establecido una bajada gradual del esfuerzo de pesca y un aumento de las áreas protegidas (no-take zone). El seguimiento de las medidas recientemente implementadas será imprescindible con el fin de evaluar su eficacia en la recuperación de los ecosistemas sobreexplotados. En este sentido, la monitorización del estado de las redes tróficas de estos ecosistemas puede ser una herramienta muy útil en este propósito.

El Instituto Español de Oceanografía lleva décadas invirtiendo en la investigación marina para la explotación y conservación de sus recursos y 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 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 actuales 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 de los dos indicadores aplicados en esta demarcación. El primero de ellos es el indicador RT-MTL “Cambio en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”, el cual se ha obtenido a partir de los datos obtenidos en las campañas oceanográficas realizadas sobre fondos circalitorales sedimentarios de la plataforma y el talud continentales del sudeste 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.

El segundo indicador aplicado, RT-TH “Cambios en la heterogeneidad trófica de los consumidores marinos”, se ha desarrollado recientemente y se propone como indicador del buen estado ecológico de los ecosistemas marinos. Este indicador complementa el indicador RT-MTL al proporcionar una estimación del ancho y forma de la estructura trófica, que es representativa de distribuciones no paramétricas y comparable entre ecosistemas. La combinación de dos de estos aspectos, el nivel trófico promedio y la heterogeneidad trófica, ayuda a mejorar significativamente la evaluación del estado de la red trófica, proporcionando una visión más completa de la salud del ecosistema marino en base a los cambios en la estructura trófica y, por tanto, en los procesos de transferencia de energía. Su análisis, al igual que con el indicador RT-MTL, se ha realizado aplicando una aproximación espacio-temporal para poder valorar su evolución espacial a lo largo del tiempo.

En el presente documento se presentan las principales conclusiones obtenidas respecto al indicador “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos (RT-MTL)” y al indicador “Cambios en la heterogeneidad trófica de los consumidores marinos (RT-TH)” para este ciclo de las estrategias marinas.

02



INTRODUCCIÓN

2. CRITERIOS, INDICADORES, CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS EVALUADOS EN EL DESCRIPTOR

La evaluación del Descriptor 4, Redes tróficas, se ha basado en la aplicación de dos indicadores complementarios, el indicador RT-MTL y el indicador RT-TH, para las comunidades bento-demersales de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán, y considerando los criterios establecidos en la Decisión 2017/848 de la Comisión Europea. 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.

Los indicadores aplicados para la evaluación en la demarcación Estrecho y Mar de Alborán son los siguientes:

- Indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”
- Indicador RT-HT “Cambios en la heterogeneidad trófica de los consumidores marinos”

Ambos indicadores informan de los criterios D4C1 y D4C2. Las características consideradas son relativas a la profundidad por lo que dentro del Descriptor 4 en esta demarcación se han tenido en cuenta dos rangos batimétricos diferentes para evaluar de forma independiente el indicador. Estos han sido los siguientes:

i. plataforma continental (30-300m)
ii. talud continental (>300m).

Ambos indicadores se han aplicado en los mismos rangos de profundidad y grupos tróficos. Dada la configuración batimétrica de esta demarcación, se han podido evaluar las comunidades bento-demersales en fondos de plataforma y talud continental, pero no en fondos costeros de profundidades inferiores a 30 m. Los grupos tróficos considerados para estos indicadores son los siguientes:

- 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 los criterios evaluados en base a los indicadores aplicados, RT-MTL y RT-TH.

INDICADOR RT-MTL "CAMBIOS EN EL NIVEL TRÓFICO MEDIO" INDICADOR RT-TH "CAMBIOS EN LA HETEROGENEIDAD TRÓFICA"					
Característica	**Elementos**	**Criterio**			
Profundidad	**Grupo Tróficos**	**D4C1**	**D4C2**	**D4C3**	**D4C4**
Zona Costera	Depredadores apicales	X	X	X	X
	Mesodepredadores y Depredadores apicales	X	X	X	X

INDICADOR RT-MTL "CAMBIOS EN EL NIVEL TRÓFICO MEDIO" INDICADOR RT-TH "CAMBIOS EN LA HETEROGENEIDAD TRÓFICA"					
Característica	Elementos	Criterio			
Profundidad	Grupo Tróficos	D4C1	D4C2	D4C3	D4C4
	Toda la comunidad	X	X	X	X
Plataforma	Depredadores apicales	☑	☑	X	X
	Mesodepredadores y Depredadores apicales	☑	☑	X	X
	Toda la comunidad	☑	☑	X	X
Zona Oceánica	Depredadores apicales	☑	☑	X	X
	Mesodepredadores y Depredadores apicales	☑	☑	X	X
	Toda la comunidad	☑	☑	X	X

Tabla 1. Contribución de los indicadores RT-MTL y RT-TH a los criterios del Descriptor 4

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.

Los indicadores RT-MTL y RT-TH están especialmente diseñados para evaluar los impactos de la presión pesquera sobre los recursos vivos de los ecosistemas marinos, en este caso los de fondo circa-litoral sedimentario de la plataforma continental. Otro impacto que puede afectar a las comunidades demersales son aquellas relacionadas con los daños físicos y la perturbación que provoca directamente los artes de pesca. Los 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.

Otras presiones antropogénicas que potencialmente pueden 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.

03



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

3. RT-MTL "CAMBIOS EN EL NIVEL TRÓFICO MEDIO DE LOS CONSUMIDORES MARINOS"

El funcionamiento de los ecosistemas marinos depende fuertemente de su estructura, diversidad e integridad, las cuales están sujetas a numerosas presiones medioambientales y antropogénicas que causan alteraciones en los componentes del ecosistema, tanto en los niveles tróficos bajos, como intermedios y altos (Cury et al., 2005; Bundy et al., 2010; Link et al., 2010; Heymans et al., 2014; Coll et al., 2016).

Las redes tróficas representan la estructura del ecosistema más elemental, ilustrada por la interacción depredador-presa entre los organismos. Éstas evidencian la ruta principal del flujo de energía a través del ecosistema, desde los productores primarios a los depredadores apicales. El conocimiento del funcionamiento de estas redes tróficas es, por tanto, clave para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas 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≥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 pesca 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 1) 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 de la Convención sobre la Diversidad Biológica adoptó el indicador MTL como uno de los ocho indicadores seleccionados para evaluar la pérdida de biodiversidad de los mares.

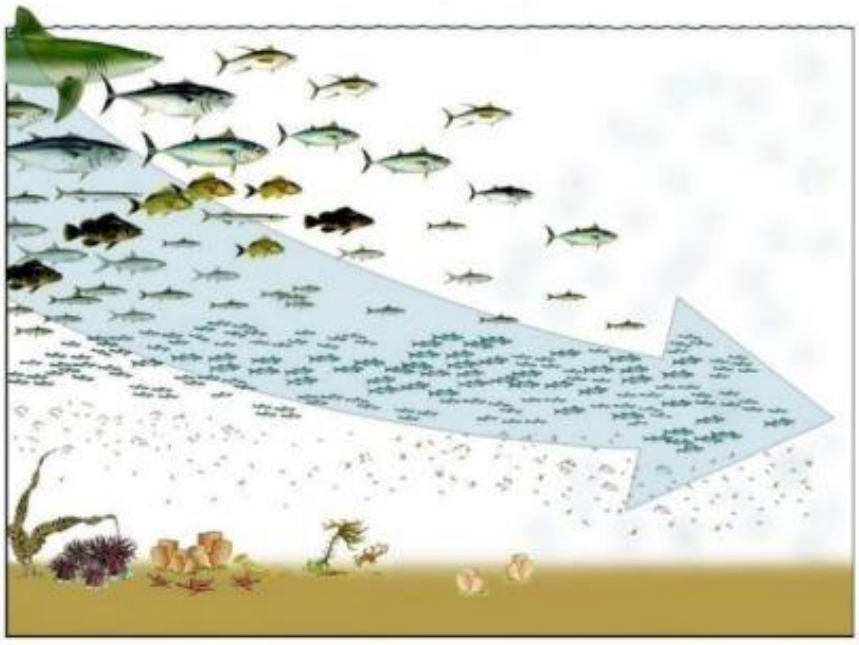


Figura 1. Esquema que muestra la disminución de depredadores apicales en el tiempo.

Desde entonces 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 and Tsikliras, 2011; Shannon et al., 2014). Estos 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, los cuales 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 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.

3.1 Metodología de evaluación

Tradicionalmente, el 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 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 biomasas capturadas y las desembarcadas, ya que estas últimas no consideran las capturas accidentales, desreguladas, ilegales, o no declaradas, además de están 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 sean 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 MTL. Es importante resaltar que, dado que las campañas de arrastre muestrean hábitats de fondo blando, la presente evaluación del indicador 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 tróficas 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). En el presente ciclo se presentan por primera vez los resultados de los análisis del indicador en las demarcaciones mediterráneas.

Fuente de datos

En este apartado se describe la fuente de datos utilizada para el cálculo del indicador RT-MTL, así como los diferentes ámbitos geográficos y escenarios ecológicos considerados. Se específica también el método de cálculo desarrollado para la obtención del nivel trófico medio, también a nivel de lance para la evaluación espacio-temporal del indicador. Finalmente se detalla el criterio empleado en la valoración de los resultados.

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 mediterráneas, las metodologías aplicadas están estandarizadas por

el Grupo de Trabajo MEDITS, también dentro del marco de ICES. Las campañas utilizadas se describen brevemente en la Tabla 2.

MEDITS			
Campaña de evaluación de ecosistemas y recursos demersales con arte de arrastre de fondo			
Demarcación	Levantino-Balear, Estrecho y Mar de Alborán	Inicio	1994
Periodicidad	Anual	Cuatrimestre	II – III
Control de calidad	Estandarizada MEDITS-WG	Receptor internacional información	JRC EU
Fondos	Sedimentarios entre 40 y 800 m. de profundidad		

Tabla 2. Resumen de las características de la campaña oceanográfica utilizada como fuente de datos en las diferentes demarcaciones. demarcación Estrecho-Alborán (MEDITS GSA1 y GSA2).

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 específicamente por objeto la captura de especies pelágicas, el indicador se ha calculado considerando la biomasa de las especies pelágicas capturadas y sin considerarla, para de esta forma, en el segundo caso ampliar 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.

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 gradiente 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. En el caso de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán, debido a su configuración batimétrica con una plataforma continental muy estrecha, las campañas oceanográficas han recogido muestras únicamente en los dominios definidos como Plataforma y Talud. Así, en esta demarcación se han tenido en cuenta dos rangos batimétricos diferentes para evaluar de forma independiente el indicador. Estos han sido los siguientes:

i. plataforma continental (30-300m)
ii. talud continental (>300m).

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) no ha tenido suficiente cobertura en el muestreo en ninguna demarcación, con la excepción de la Sudatlántica. Por lo que, salvando esta última demarcación, en el resto sólo fueron evaluados la plataforma y el talud.

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 representan 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≥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≥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). 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.

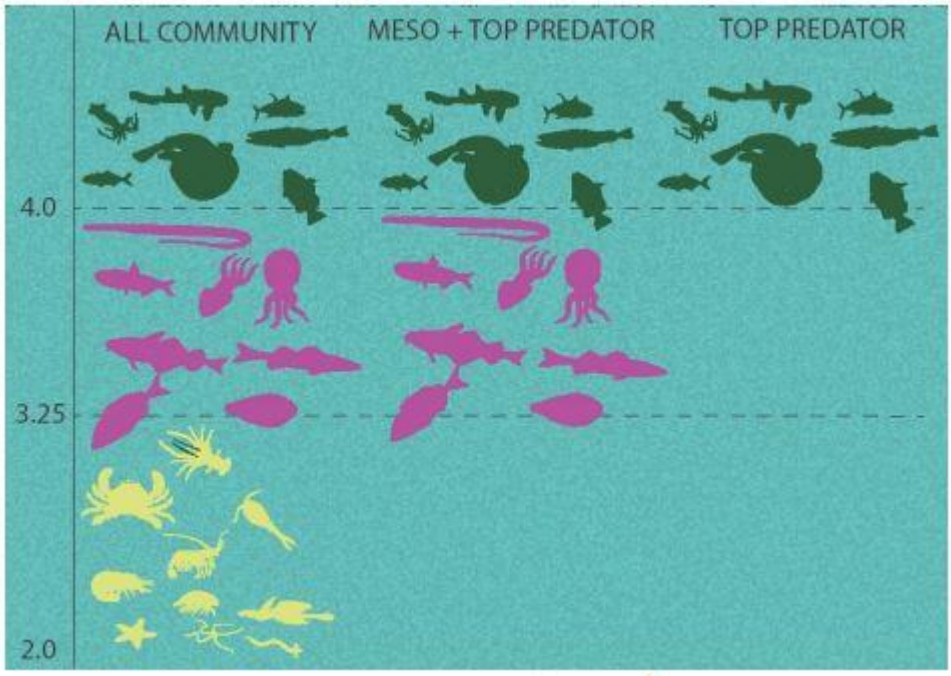


Figura 2. Esquema que muestra la composición de especies en cada umbral: i) toda la comunidad (incluye todas las especies capturadas, incluyendo invertebrados, peces y cefalópodos), ii) mesodepredadores + depredadores apicales (incluye fundamentalmente cefalópodos y peces con un nivel trófico superior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

Como se comentó con anterioridad, ciertas especies pelágicas, muy importantes en biomasa, son también capturadas por el arrate 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 incluyendo y excluyendo las especies pelágicas. Así, la combinación de todos estos umbrales ha generado 10 escenarios diferentes en esta demarcación (Tabla 3), aunque los escenarios para los depredadores apicales con y sin pelágicos reflejan los mismos resultados ya que no se capturan especies pelágicas con un TL≥4, por lo que en este caso no existen los escenarios con pelágicos.

Las especies pelágicas incluidas en los análisis son: *Trachurus trachurus, Trachurus mediterraneus, Trachurus picturatus, Spicara smaris, Scomber scombrus, Sardina pilchardus, Sardinella aurita, Engraulis encrasicolus, Boops boops, Capros aper, Glossanodon leioglossus* y *Argentina sphyraena*.

ESCENARIOS BATIMÉTRICOS Y ECOLÓGICOS		DEPREDADORES APICALES (MTL4)	MESODEPREDADORES Y DEPREDADORES APICALES (MTL3.25)	TODA LA COMUNIDAD (MTL2)
PLATAFORMA (Prof. 30 - 300 m.)	SIN PELÁGICOS	Depredadores apicales bento-demersales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
	CON PELÁGICOS		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)
TALUD (Prof. >300 m.)	SIN PELÁGICOS	Depredadores apicales bento-demersales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
	CON PELÁGICOS		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)

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

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):

$$TL_i = 1 + \sum_{J=1}^{n} P_{ij} * TL_j$$

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 predador i
- T_{Lj} es el TL de la presa j

Una vez seleccionado el conjunto de especies que cumplían 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:

$$\boldsymbol{MTL_h = \sum_i (TL_i) * (Y_{ih}) / \sum_i (Y_{ih})}$$

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 en 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˚x 0.1˚.
- **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-valor<0,05) se muestran enmarcadas en negrita.

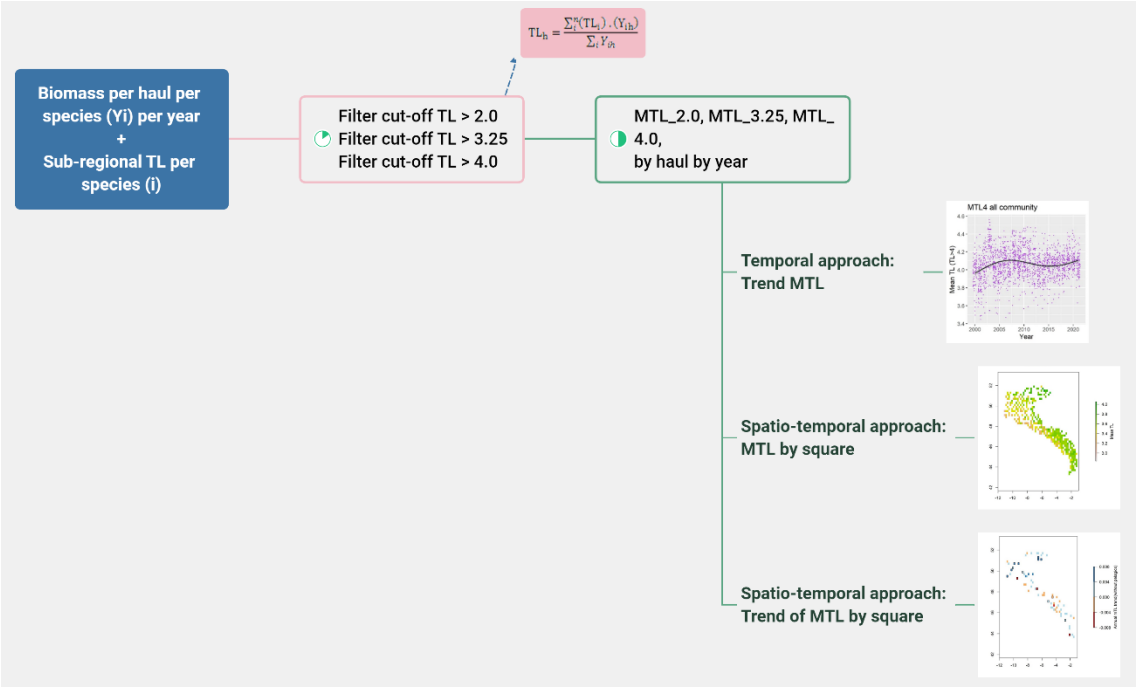


Figura 3. Esquema que muestra los pasos metodológicos a seguir para el cálculo del nivel trófico medio en cada lance.

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.

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 mejoría; se considera que las redes tróficas son resilientes
↗	La tendencia del indicador es positiva; o el cambio en el indicador representa una mejoría en el estado; se considera que las redes tróficas sufren cierta mejoría

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

Dado que el área de evaluación, la metodología, así como los parámetros utilizados, los valores umbrales y la evaluación a nivel regional/subregional son comunes a ambos indicadores y a todas las características (profundidades) y elementos (grupos tróficos) evaluados para toda la demarcación, estos se presentan a continuación:

Área de evaluación para los indicadores RT-MTL y TH

En el presente ciclo, el área de evaluación coincide con la extensión de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán.

Parámetros utilizados para el indicador RT-MTL

- Nivel Trófico Medio
- Coeficiente de variación del nivel trófico medio.

Valores umbral para los indicadores RT-MTL y RT-TH

No hay valores umbral, porque no hay ninguna herramienta que posibilite definir el BEA a día de hoy en las redes tróficas. En el caso de los indicadores aquí evaluados, si se puede definir las tendencias ya que estos valores dependen de las estructuras de los ecosistemas. El indicador utiliza como herramienta las tendencias y la fuente de datos de los indicadores es de tipo: Nacional.

Evaluación a nivel regional/subregional para los indicadores RT-MTL y RT-HT

La evaluación realizada en esta demarcación marina se ha desarrollado realizado de forma particular debido a la falta de estructura de coordinación relativa a las Redes Tróficas en el marco del Convenio de Barcelona.

3.2 EVALUACIÓN GENERAL A NIVEL DE DEMARCACIÓN MARINA RT-MTL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para la evaluación de las redes tróficas de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán, en este caso para los sistemas de plataforma y talud continentales. Estos resultados, procedentes de la aplicación del indicador RT-MTL “Cambios en el nivel trófico medio de los consumidores marinos”, 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 promedios 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 por el 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.

3.2.1 EVALUACIÓN PARA RT-MTL EN SISTEMAS DE PLATAFORMA

CONSECUCIÓN DEL BEA

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	**2001-2022**

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

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR

GRUPO TRÓFICO	RT-MTL	ESTADO	TENDENCIA
Depredadores apicales (MTL 4.0)	**-0,001***		↘
Mesodepredadores & depredadores apicales (MTL 3.25)	**0,005*****		↗
Toda la comunidad (MTL 2.0)	**-0,002**		↔

Tabla 6. Resultados de la evaluación del indicador RT-MTL en fondos de plataforma para cada grupo trófico.Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

RESULTADOS DEL INDICADOR

Los resultados de la evaluación del RT-MTL se muestran en la Figura 4, la cual incluye un gráfico por escenario para la zona de plataforma. En la Tabla 7 se muestran los valores del cambio del indicador obtenido a partir de la pendiente de la función de regresión lineal multiplicada por el número total de años de la serie histórica.

En esta demarcación los resultados para los ecosistemas de plataforma revelan una disminución de baja magnitud para los escenarios de depredadores apicales que contrastan con las tendencias de recuperación que muestran los escenarios de mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25 con y sin pelágicos) de mayor magnitud y significancia estadística (Figura 4, Tabla 7). Por su parte los escenarios para toda la comunidad informan de la pérdida de la significancia estadística de los escenarios anteriores y resultan en tendencias de resiliencia.

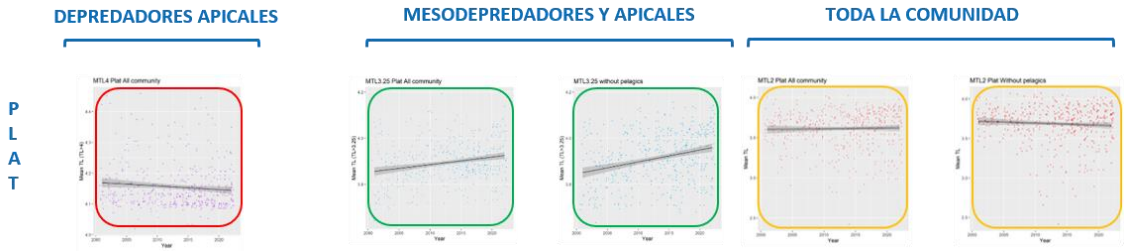


Figura 4. Gráficos que muestran las tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en cada escenario batimétrico y ecológico. Marco rojo= tendencias negativas significativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas significativas.

En los siguientes apartados se aplica la aproximación espacio-temporal para intentar identificar patrones espaciales que puedan quedar ocultos al considerar un único valor para toda la demarcación.

Demarcación Estrecho y Alborán	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales (MTL4)	-0,001*	
Depredadores apicales y mesodepredadores (MTL3.25)	0,005***	0,003***
Toda la comunidad (MTL2)	-0,002	0,001
Valor p del test de significancia estadística *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001		

Tabla 7. Resumen de la evaluación del indicador en los diferentes escenarios teniendo en cuenta los umbrales de TL, los estratos de profundidad y la inclusión/exclusión de especies pelágicas. El número en cada celda representa el valor del cambio del indicador a lo largo de la serie histórica, calculada multiplicando la pendiente de la recta por el número total de años de la serie temporal.

3.2.1.1 Escenario MTL4 (depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**-0,001***		↘

Tabla 8. 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 en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

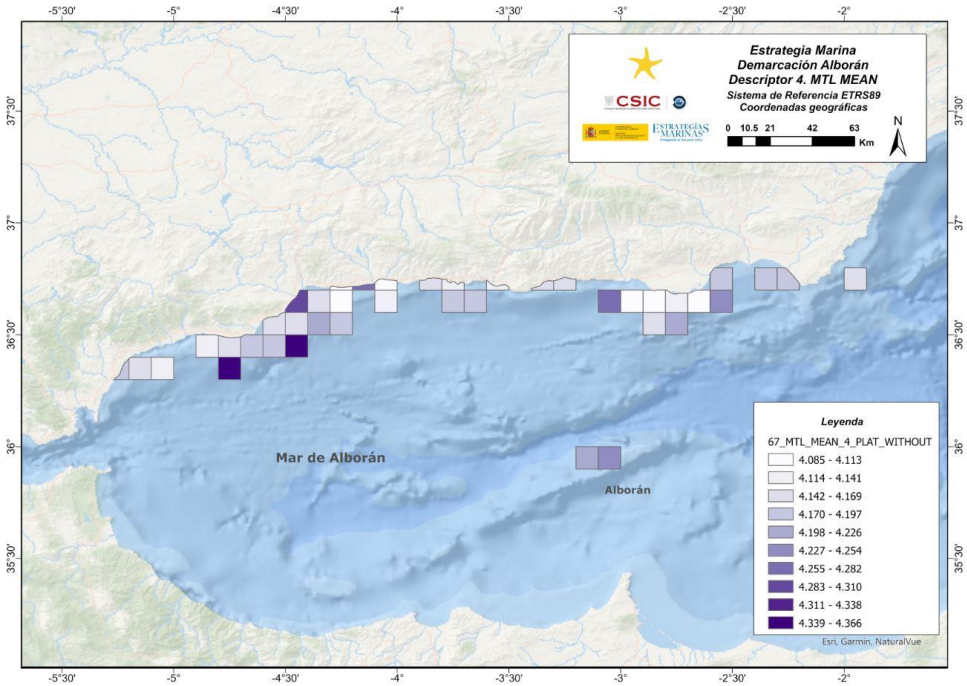
Desconocido.

Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001. Observándose un descenso significativo del valor del indicador de 0,001 desde 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado significativo mostrando una señal de alarma de baja magnitud de su nivel trófico medio. Esta tendencia negativa indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales han experimentado una leve caída en su nivel trófico medio probablemente como consecuencia de la actividad pesquera.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL se observa una distribución homogénea donde abundan los valores bajos y donde destaca el área entre Marbella y Málaga con mayor presencia de valores máximos. Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se registra una abundancia de valores negativos con una distribución heterogénea, donde destacan la bahía de Málaga y las islas de Alborán por su recuperación del nivel trófico medio (Figura 5).



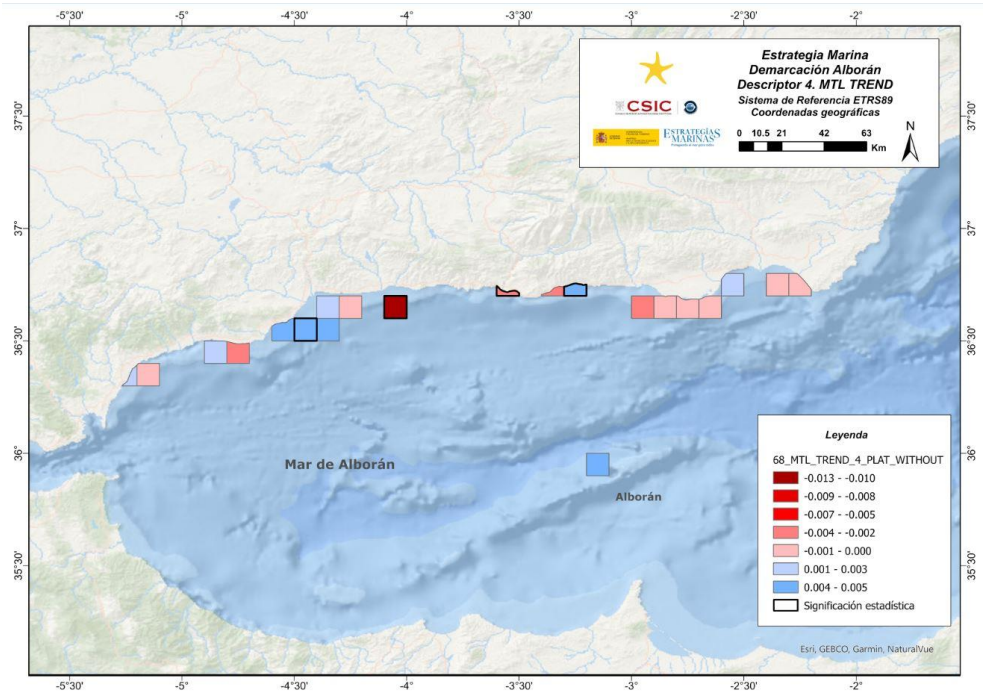


Figura 5. PLATAFORMA: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los depredadores apicales (MTL4) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

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

3.2.1.2 Escenario MTL3.25 (Mesodepredadores y depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Mesodepredadores y depredadores apicales	**-0,005*** **		↗

Tabla 9. Resultados de la evaluación de Mesodepredadores y depredadores apicales en sistemas de plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido.

Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado significativo y que muestra un ligero incremento de su nivel trófico medio (0,005***). Esta tendencia positiva indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales han experimentado una leve mejora en su nivel trófico medio como consecuencia de la actividad pesquera.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal, al incluir a los mesodepredadores en el análisis, en el escenario sin pelágicos, el mapa de valores medios se registra una evidente caída en sus magnitudes y no se

observa ningún patrón espacial, salvo la abundancia de valores altos en el transecto de la bahía de Málaga a Nerja (Figura 66). En el mapa de tendencias, aunque las magnitudes de cambio no son muy elevadas, se percibe una mejoría de los niveles tróficos medios, aunque destaca la disminución del indicador en las islas de Alborán.

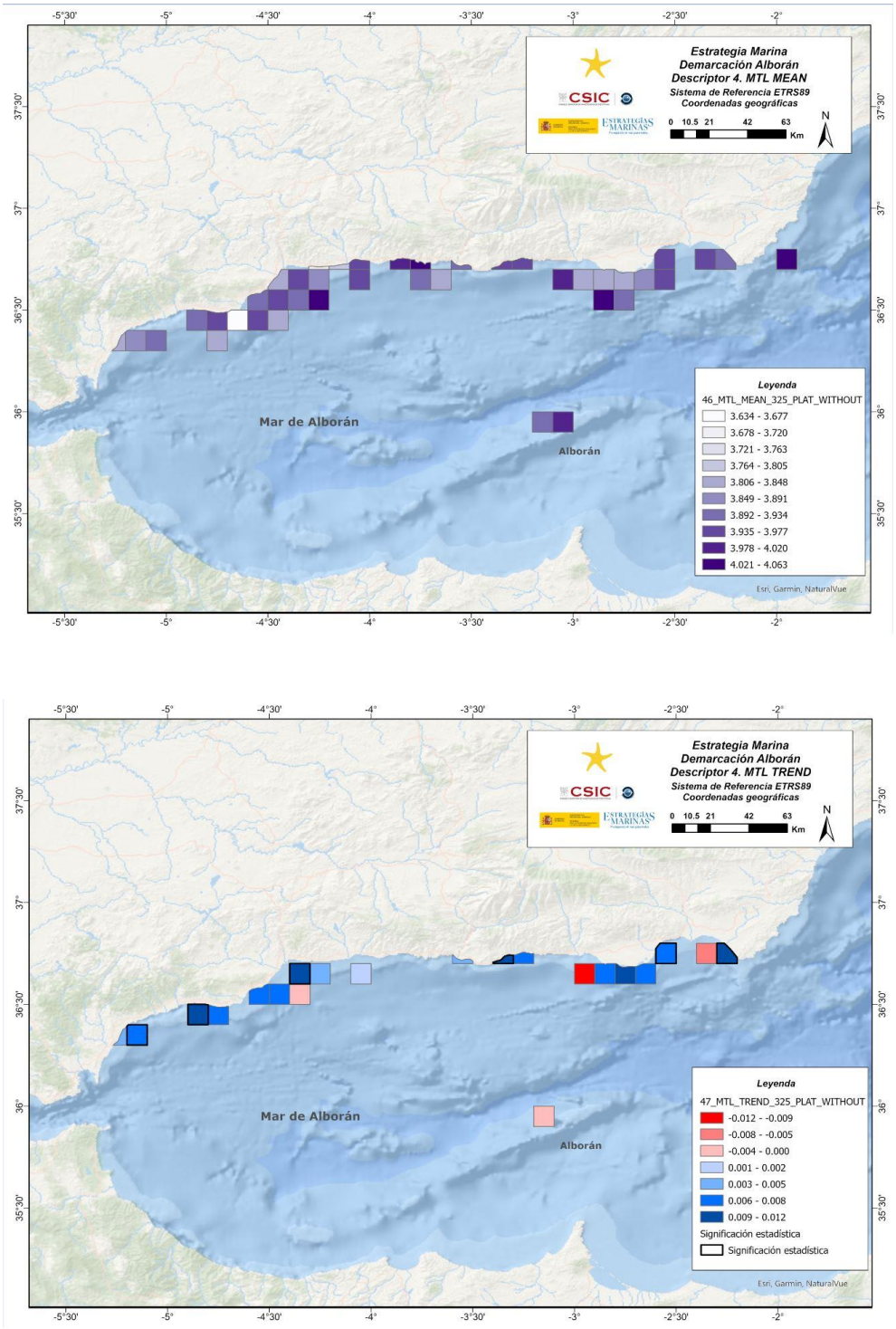
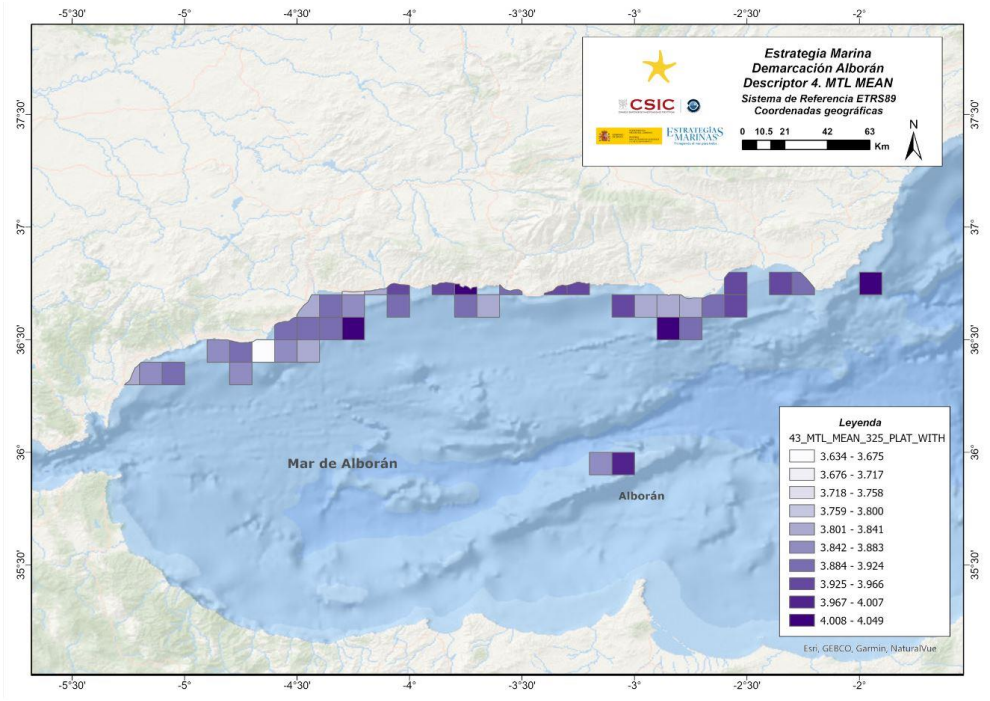


Figura 66. PLATAFORMA: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

Las magnitudes de los valores medios y de las tendencias no sufren variaciones significativas al incluir a las especies pelágicas en el análisis, quizás la mayor diferencia se encuentra en una ligera homogeneización espacial de los valores medios (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**7). En el mapa de tendencias, la mayor diferencia podría ser el cambio de signo en las islas de Alborán, ya que en este caso registra una mejora, frente a la degradación anterior, aunque cabría resaltar que las magnitudes de estos valores es lo suficientemente pequeña como para extraer conclusiones significativas.



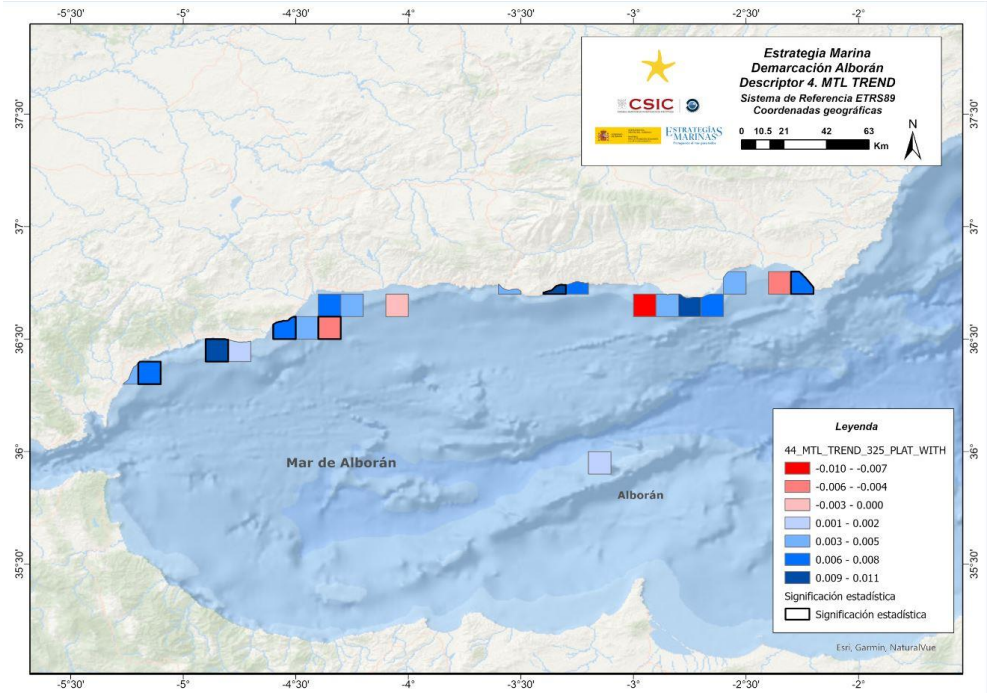


Figura 7. PLATAFORMA: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

3.2.1.3 Escenario MTL2 (toda la comunidad)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	**-0,002**		↗

Tabla 10. Resultados de la evaluación de toda la comunidad en sistemas de plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido.

Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado no significativo (-0,002) que muestra una estabilidad de su nivel trófico medio. Esta falta de tendencia significativa se interpreta como una señal de la resiliencia de las comunidades bento-demersales a lo largo de la serie histórica.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL, en el escenario de toda la comunidad bento-demersal sin pelágicos, se observa una distribución heterogénea, donde los valores máximos se registran en las islas de Alborán, los valores altos predominan en el golfo de Almería y los valores bajos en el entorno del Cabo de Gata. Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se detecta nuevamente una distribución heterogénea, donde destacan el Estrecho y la bahía de Málaga por su degradación y la costa de Almería por su recuperación.

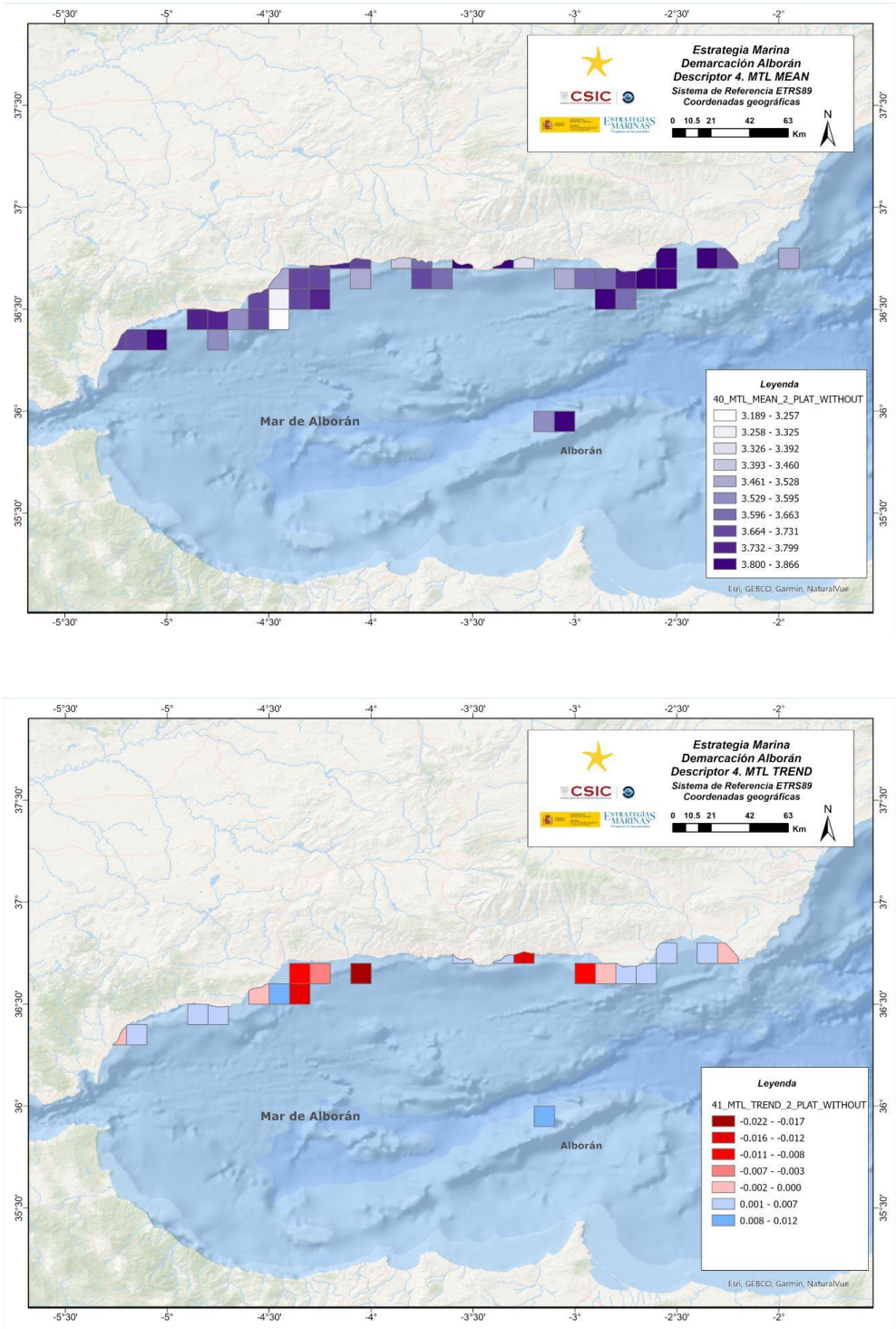
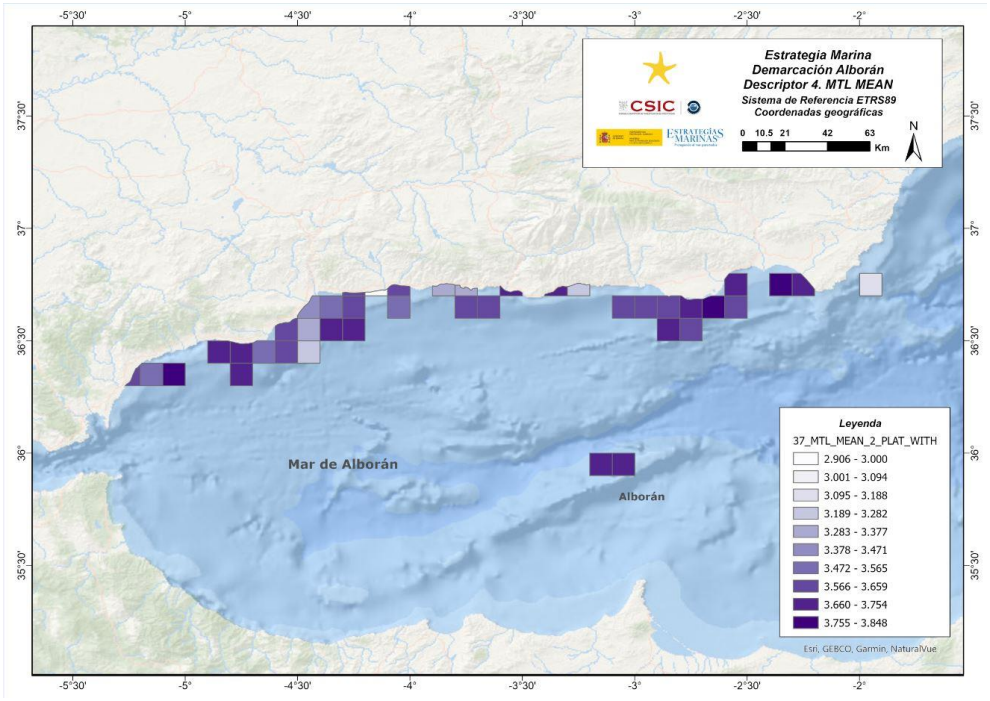


Figura 8. PLATAFORMA: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a toda la comunidad bento-demersal (MTL2) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

Considerando las especies pelágicas dentro del escenario de toda la comunidad, no se observan cambios significativos con respecto al escenario anterior, ni en los valores ni en su distribución. Aunque sí es reseñable el cambio de valor en el entorno del Cabo de Gata, donde se produce una significativa disminución del indicador (Figura 9). En la representación de las tendencias, a pesar que no se detecta ningún patrón espacial, sí es destacable la tendencia negativa significativa en el Estrecho, que no se observó en el escenario anterior.



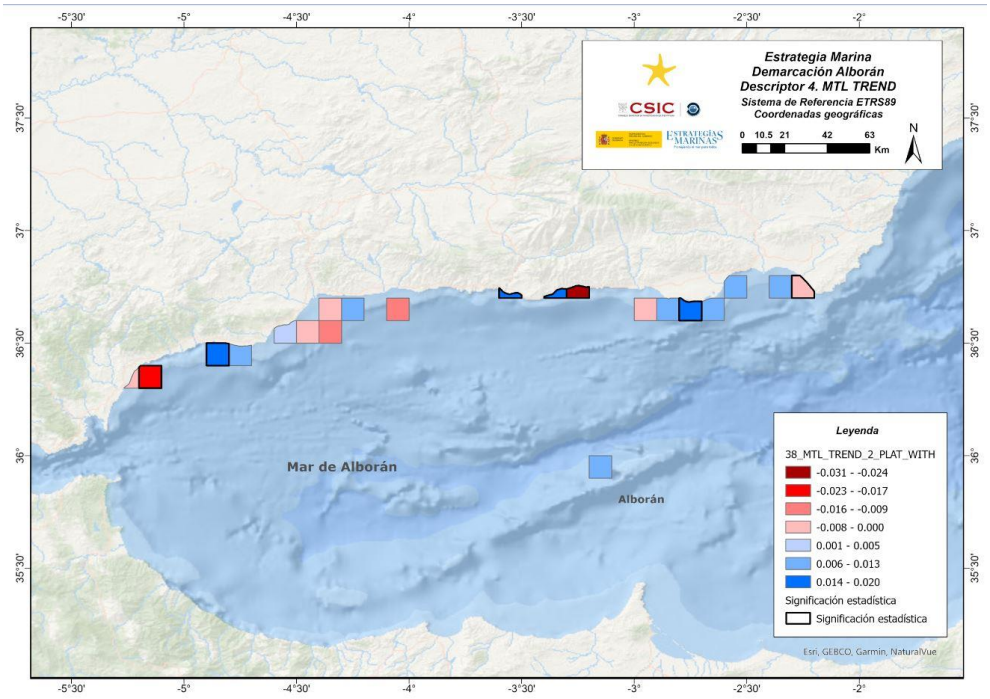


Figura 9. PLATAFORMA: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a toda la comunidad bento-demersal (MTL2) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

3.2.2 Evaluación para RT-MTL en talud

CONSECUCIÓN DEL BEA

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	**2001-2022**

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

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR

GRUPO TRÓFICO	RT-MTL	ESTADO	TENDENCIA
Depredadores apicales	**0,003*** **		↘
Mesodepredadores & Depredadores apicales	**-0,002**		↔
Toda la comunidad	**-0,006*** **		↘

Tabla 12. Resultados de la evaluación en los fondos de Talud para cada grupo trófico.Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Al analizar los ecosistemas de talud, destacan las tendencias positivas que registran los escenarios MTL4 frente a la disminución de mayor magnitud que muestran los escenarios para toda la comunidad. En el dominio del talud los escenarios MTL3.25 no muestran tendencias significativas claras.

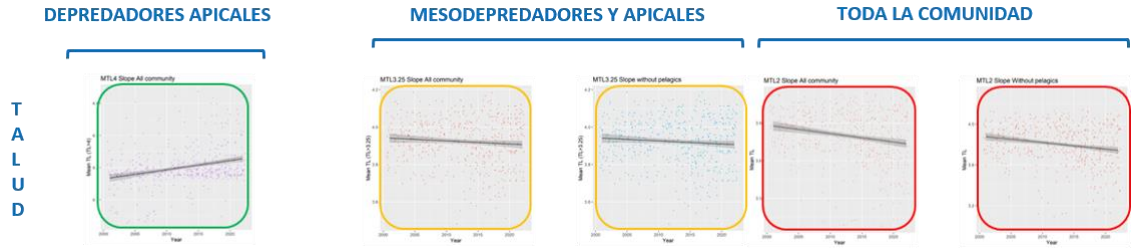


Figura 10. Gráficos mostrando las tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.

Demarcación Estrecho y Alborán	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales (MTL4)	-0,003***	
Depredadores apicales y mesodepredadores (MTL3.25)	-0,002	-0,002
Toda la comunidad (MTL2)	-0,006***	-0,007***
Valor p del test de significancia estadística *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001		

Tabla 13. Resumen de la evaluación del indicador en los diferentes escenarios teniendo en cuenta los umbrales de TL, y la inclusión/exclusión de especies pelágicas. El número en cada celda representa el valor del cambio del indicador a lo largo de la serie histórica, calculada multiplicando la pendiente de la recta por el número total de años de la serie temporal.

3.2.2.1 Escenario MTL4 (depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**0,003*** **		↗

Tabla 14. 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 en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido.

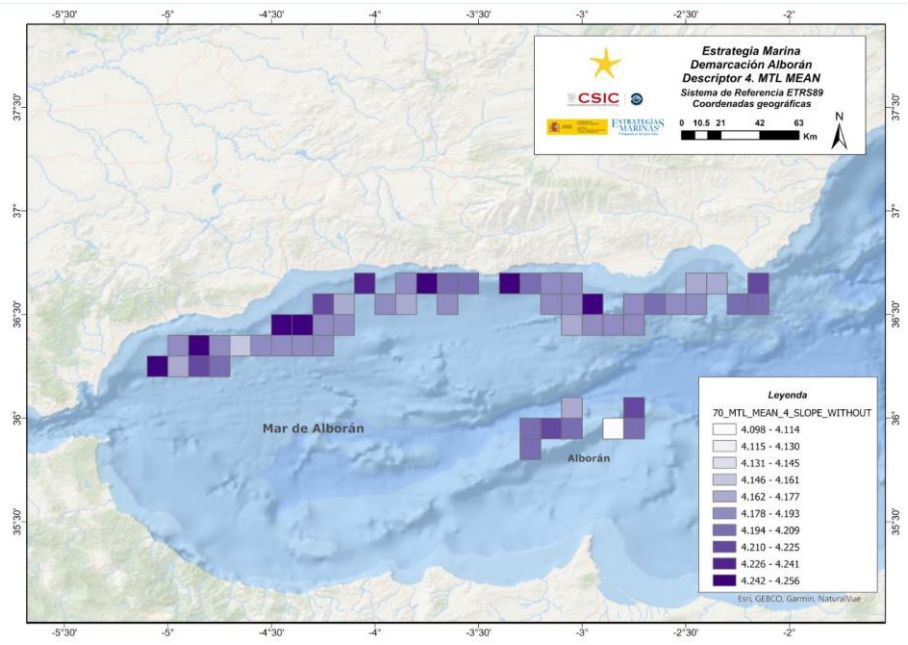
Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado significativo y que muestra un ligero incremento de su nivel trófico medio, con un valor de 0,003. Esta tendencia positiva indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales han experimentado una leve mejora en su nivel trófico medio como consecuencia de la actividad pesquera.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL se observa una alta heterogeneidad espacial de valores positivos y negativos, no obstante, se detecta que la magnitud de los valores positivos es significativamente mayor a la de los negativos (Figura 11). Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se registra el predominio de una recuperación generalizada salvo en los lances más profundos en los que se observa cierta degradación.

En este escenario, con respecto a la situación en plataforma, se registra una ligera reducción de valores máximos y, a su vez, una menor presencia de valores mínimos. Esto indica que existe una mayor homogeneización de los valores de MTL a lo largo de la demarcación.



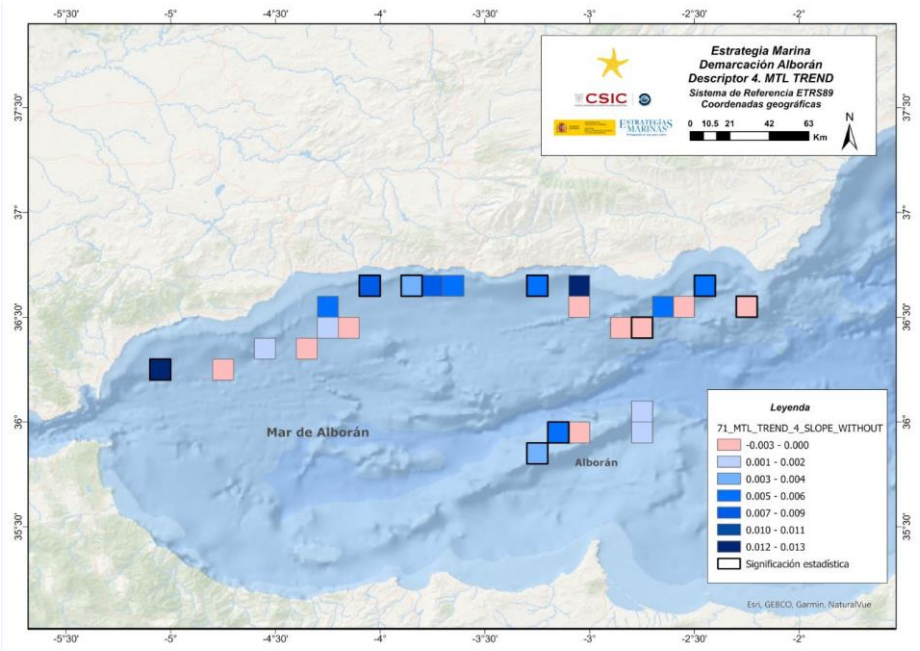


Figura 11. TALUD: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los depredadores apicales (MTL4) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

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.

3.2.2.2 Escenario MTL3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Mesodepredadores & Depredadores apicales	**-0,002**		↔

Tabla 15. Resultados 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 en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido.

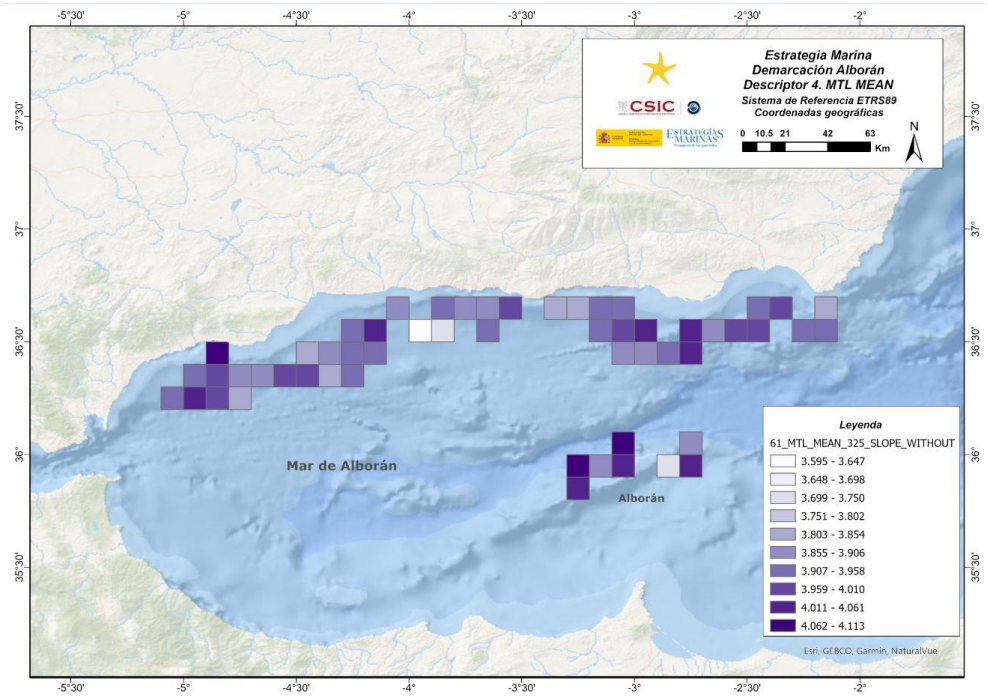
Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado no significativo que muestra una estabilidad de su nivel trófico medio. Esta falta de tendencia significativa se interpreta como una señal de la resiliencia de las comunidades bento-demersales a lo largo de la serie histórica.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal aplicada a los valores medios del indicador RT-MTL se observa una mayor abundancia de valores mínimos en la zona central de la demarcación, especialmente en la costa de Granada, destaca la concentración de valores altos en la zona del Estrecho, poniente almeriense e islas de Alborán (Figura 12). Por otro lado, al aplicarse esta aproximación a las tendencias del indicador RT-MTL se detecta una degradación generalizada, donde destaca el área entre la bahía de Málaga y el puerto de Adra por su significativa degradación y el golfo de Almería por una ligera recuperación.

En el escenario, que incorpora los mesodepredadores a los depredadores apicales sin especies pelágicas, se genera una reducción lógica de los valores medios, consistente con la detectada en plataforma. Las tendencias, por su parte, indican una generalizada degradación de una magnitud mucho mayor a la registrada en los escenarios de depredadores apicales.



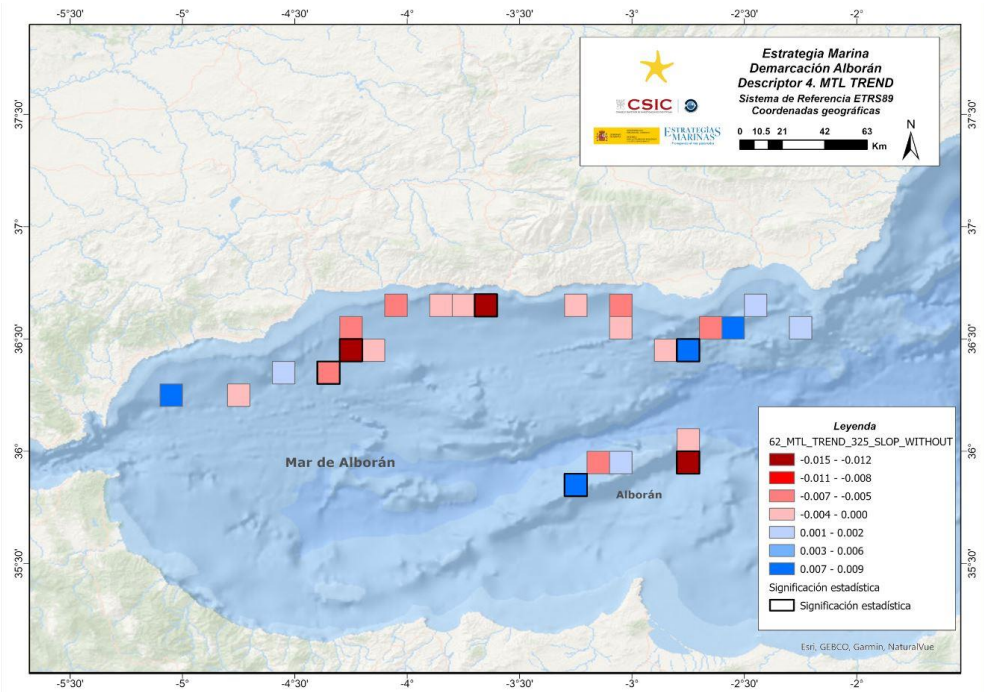


Figura 12. TALUD: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

En el escenario que incluye a las especies pelágicas, no es posible identificar diferencias significativas con respecto al escenario anterior. Esto sucede no sólo en los valores medios sino también en los valores de tendencias (Figura 13).

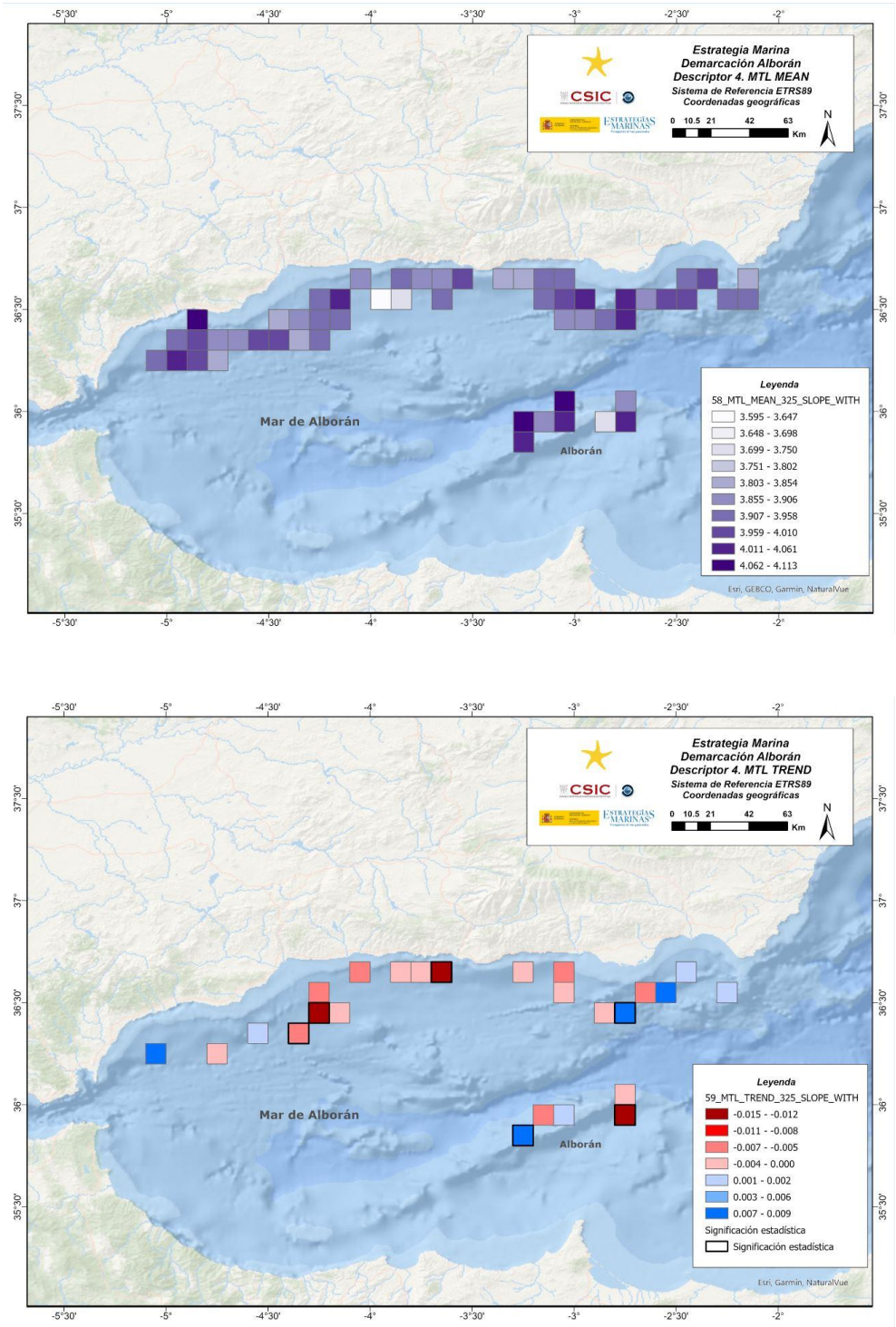


Figura 13. TALUD: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a los mesodepredadores y depredadores apicales (MTL3.25) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

3.2.2.3 Escenario MTL2 (toda la comunidad)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-MTL	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	**-0,006*** **		↘

Tabla 16. Resultados de la evaluación de toda la comunidad en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido.

Los resultados del indicador no permiten todavía extrapolar sus valores a la evaluación del Estado Ambiental, no obstante, la tasa de cambio del nivel trófico medio sí que permite evaluar la tendencia de este indicador desde el año 2001.

El indicador RT-MTL obtiene un resultado significativo y que muestra un deterioro de baja magnitud de su nivel trófico medio (con un valor de -0,006). Esta tendencia negativa indica que a lo largo de las dos décadas analizadas las comunidades bento-demersales han experimentado una leve caída en su nivel trófico medio como consecuencia de la actividad pesquera.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio-temporal, en este escenario para toda la comunidad bento-demersal, sin pelágicos, en el talud se observa que el rango de valores es ligeramente mayor que en plataforma, abundando de hecho los valores más altos en gran parte de la demarcación. Espacialmente destacan el poniente almeriense y las islas de Alborán (Figura 14). Sin embargo, analizando las tendencias resalta, por un lado, una disminución generalizada en el Estrecho y la costa de Granada, algo menor en la zona entre Marbella y Málaga, y por otro, la mayor intensidad de este declive con respecto a los escenarios anteriores.

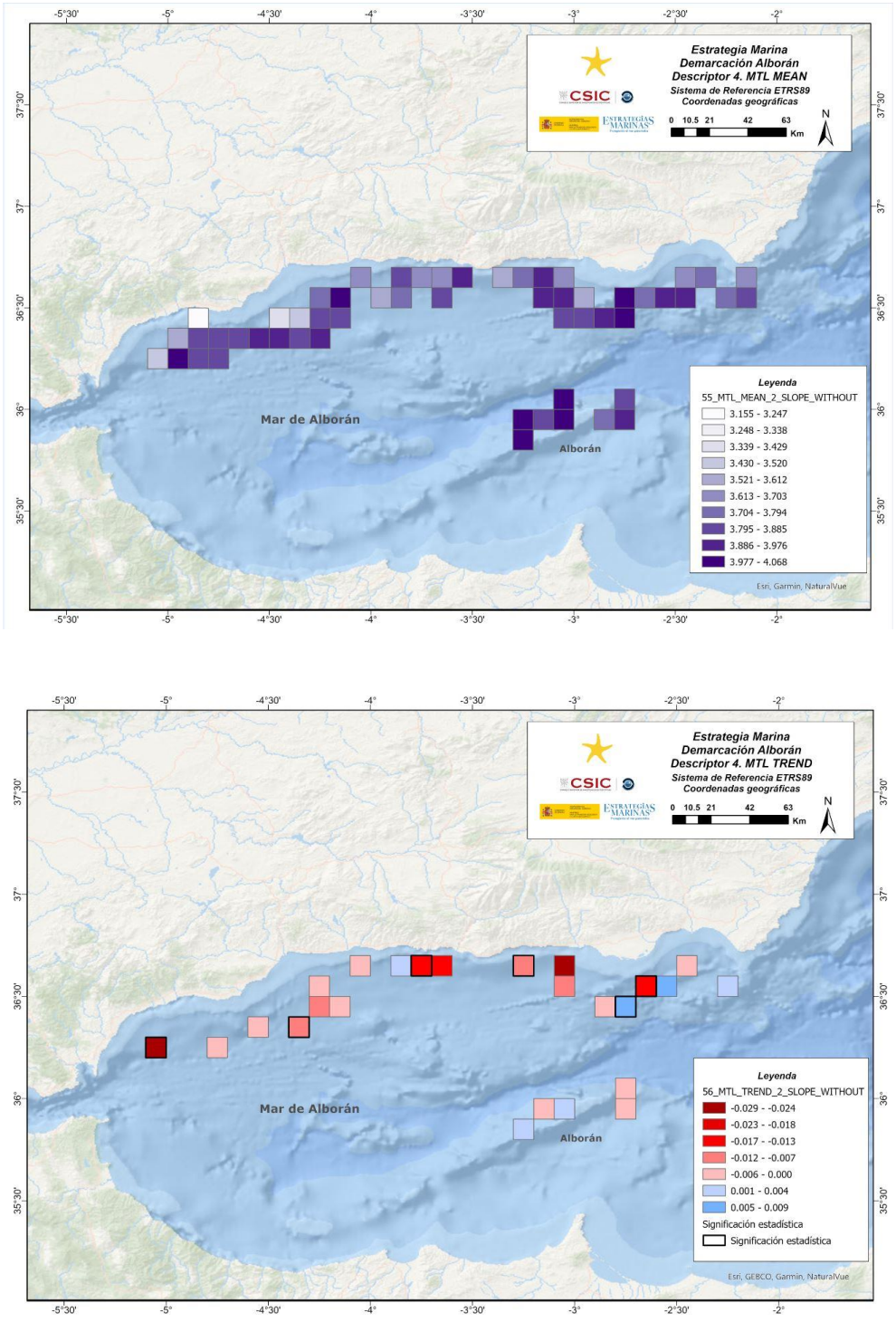


Figura 14. TALUD: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a toda la comunidad bento-demersal (MTL2) sin pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

En este escenario de toda la comunidad incluyendo especies pelágicas no se registran grandes diferencias con el escenario de toda la comunidad que no las contempla, ni siquiera espacialmente. La mayor diferencia se encuentra en una ligera reducción de los valores mínimos. En cuanto a los resultados de tendencias, estos reflejan la misma situación que en el escenario sin pelágicos, una disminución significativa en toda la demarcación de una magnitud considerablemente superior al resto de escenarios estudiados en el talud (Figura 15).

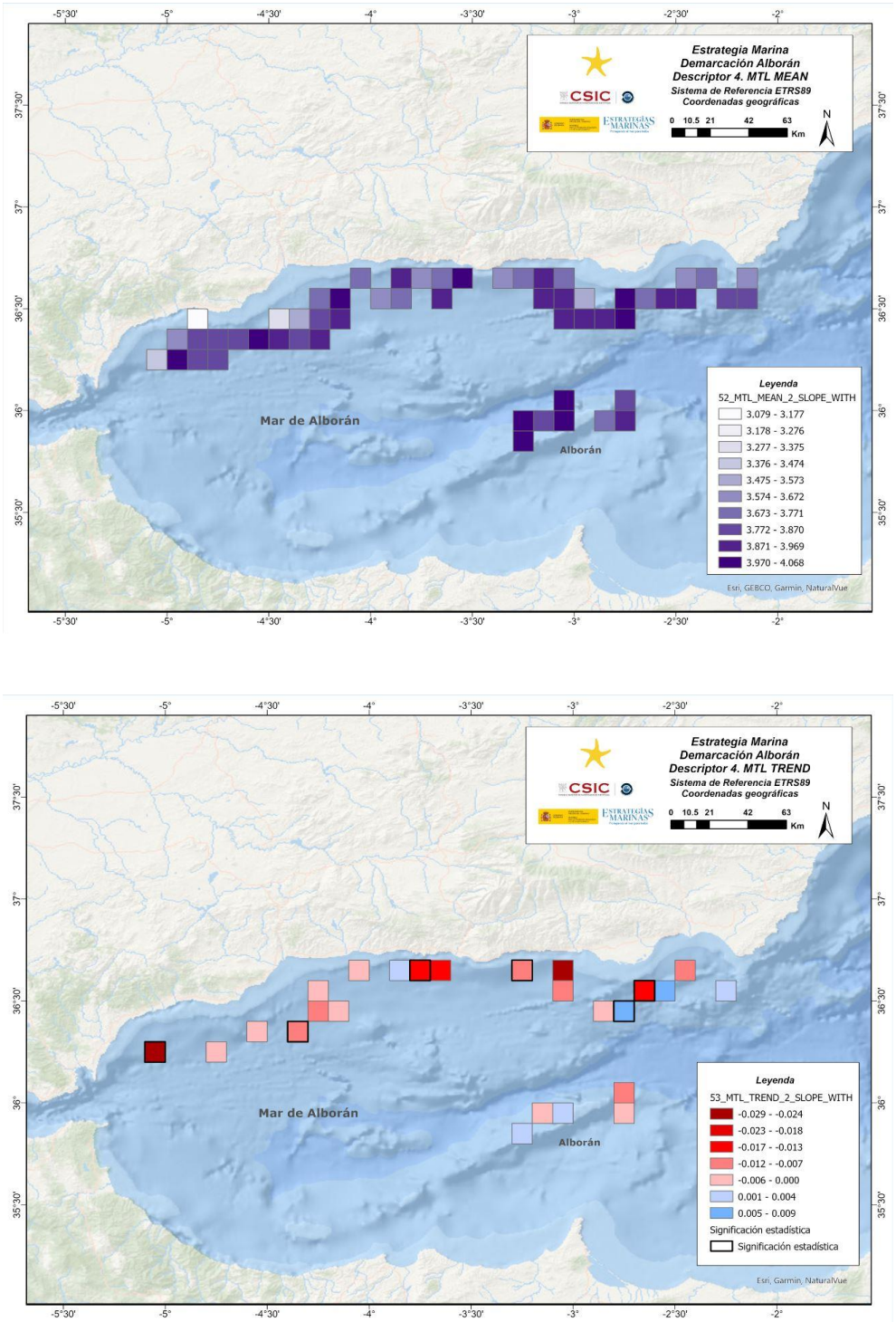


Figura 15. TALUD: Mapas mostrando los valores promedio del indicador por celda (arriba) y la tendencia (abajo), correspondiente al escenario que incorpora a toda la comunidad bento-demersal (MTL2) con pelágicos. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

3.3 CONCLUSIONES

En el caso de la demarcación de Estrecho y Mar de Alborán, en el estrato de plataforma se aprecia un declive significativo de los depredadores apicales, a diferencia de lo que ocurre con los mesodepredadores, quienes experimentan una recuperación en este dominio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Sin embargo, las tendencias son contrapuestas en las comunidades de

talud, donde los depredadores apicales experimentan una notable mejoría del MTL a lo largo de la serie histórica analizada. No parecen existir diferencias apreciables en los resultados en función de que se considere a toda la comunidad o se excluya a las especies pelágicas.

DEMARCACIÓN ESTRECHO Y MAR DE ALBORÁN					
CARACT.	**ESCENARIO**	**CAMBIO MTL**	**TENDENCIA**	**PATRÓN ESPACIAL**	**ZONAS DE INTERÉS**
PLATAFORMA	**MTL4 SIN PELÁGICOS**	**-0,001***	**SEÑAL DE ALARMA**	**Valores medios** Abundan valores bajos Distribución homogénea	**Marbella-Málaga:** valores máximos
				Tendencias Abundan valores negativos Distribución heterogénea	**Bahía de Málaga:** recuperación **Islas de Alborán:** recuperación
	MTL4 CON PELÁGICOS			**Valores medios**	
				Tendencias	
	MTL3.25 SIN PELÁGICOS	**0,005*** **	**SEÑAL DE MEJORA**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Bahía de Málaga:** valores altos **Islas de Alborán:** valores altos **Cabo de Gata:** valores altos
				Tendencias Significativa recuperación	**Islas de Alborán:** ligera degradación
	MTL3.25 CON PELÁGICOS	**0,003*** **	**SEÑAL DE MEJORA**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Mitad oriental:** valores elevados
				Tendencias Significativa recuperación	**Mitad occidental:** significativa recuperación
	MTL2 SIN PELÁGICOS	**-0,002**	**RESILIENTE**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Golfo de Almería:** valores máximos **Estrecho:** valores máximos **Islas de Alborán:** valores máximos **Cabo de Gata:** valores altos
				Tendencias Degradación en la zona central Recuperación en el resto	**Málaga-Adra:** predomina degradación
	MTL2 CON PELÁGICOS	**0,001**	**RESILIENTE**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Golfo de Almería:** valores altos **Cabo de Gata:** valores bajos **Islas de Alborán:** valores máximos
				Tendencias Distribución heterogénea	**Bahía Málaga:** degradación **Estrecho:** degradación **Costa Almería:** recuperación

DEMARCACIÓN ESTRECHO Y MAR DE ALBORÁN					
CARACT.	**ESCENARIO**	**CAMBIO MTL**	**TENDENCIA**	**PATRÓN ESPACIAL**	**ZONAS DE INTERÉS**
TALUD	**MTL4 SIN PELÁGICOS**	**0,003*** **	**SEÑAL DE MEJORA**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Occidente:** valores más elevados
				Tendencias Predominio recuperación significativa Lances más profundos en degradación	**No se observan**
	MTL4 CON PELÁGICOS			**Valores medios**	
				Tendencias	
	MTL3.25 SIN PELÁGICOS	**-0,002**	**RESILIENTE**	**Valores medios** Valores más bajos en zona central	**Costa Granada:** valores más bajos **Islas de Alborán:** valores máximos
				Tendencias Degradación generalizada	**Bahía Málaga-Adra:** significativa degradación **Golfo de Almería:** ligera recuperación
	MTL3.25 CON PELÁGICOS	**-0,002**	**RESILIENTE**	**Valores medios** Valores más bajos en zona central	**Costa Granada:** valores más bajos **Islas de Alborán:** valores máximos
				Tendencias Degradación generalizada	**Bahía Málaga-Adra:** significativa degradación **Golfo de Almería:** ligera recuperación
	MTL2 SIN PELÁGICOS	**-0,006*** **	**SEÑAL DE ALARMA**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Islas de Alborán:** valores máximos
				Tendencias Generalizada degradación significativa	**Estrecho:** degradación significativa **Costa Granada:** degradación significativa **Marbella-Málaga:** ligera degradación
	MTL2 CON PELÁGICOS	**-0,007*** **	**SEÑAL DE ALARMA**	**Valores medios** Distribución heterogénea	**Costa Occidental Almería:** valores máximos
				Tendencias Generalizada degradación significativa	**No se observan**

Tabla 17. DEMARCACIÓN ESTRECHO Y MAR DE ALBORÁN: Resumen de la evaluación del indicador RT-MTL con los resultados más relevantes de la aproximación temporal y espacio-temporal.

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 blandos, 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:

- 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.
- Explorar la relación con indicadores complementarios, como la Heterogeneidad Trófica presentada en 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 del indicador, investigando posibles ciclos, naturales o inducidos por el hombre, que ayuden a mejorar la comprensión del comportamiento del indicador
- Establecer valores umbral, basados en resultados significativos y robustos, a partir de la relación entre las presiones y el indicador.

04



INDICADOR RT-HT: CAMBIOS DE LA HETEROGENEIDAD TRÓFICA EN LA COMUNIDAD DE CONSUMIDORES

4. INDICADOR RT-HT: "CAMBIOS DE LA HETEROGENEIDAD TRÓFICA EN LA COMUNIDAD DE CONSUMIDORES"

La comunidad científica ha analizado y desarrollado múltiples indicadores ecosistémicos enfocados en gran medida a evaluar el impacto de la actividad pesquera en la estructura de las cadenas tróficas y los ecosistemas. Entre ellos, el Nivel Trófico Promedio (MTL) ha sido objeto de numerosos estudios por su respuesta a la presión pesquera. Sin embargo, al calcular la media de los niveles tróficos se están obviando muchas otras características de los espectros tróficos de las comunidades marinas que típicamente siguen distribuciones no paramétricas. En este sentido, la heterogeneidad trófica, calculada como el coeficiente de variación de los Niveles Tróficos (TLs) dentro de una comunidad, complementa el MTL al proporcionar una buena estimación del ancho y forma de la estructura trófica, que es representativa de distribuciones no paramétricas y comparable entre ecosistemas. La combinación de dos de estos aspectos, el nivel trófico promedio y la heterogeneidad trófica, ayuda a mejorar significativamente la evaluación del estado de la red trófica, proporcionando una visión más completa de la salud del ecosistema marino.

Esta es la primera vez que se estudia este índice trófico con este grado de detalle. La intención última es la de proponer a la Heterogeneidad Trófica (TH), desde la aproximación espacio-temporal, como un indicador del buen estado de nuestros ecosistemas marinos, incorporando el análisis temporal del mismo modo en cómo se hace con el MTL.

El análisis realizado en las demarcaciones mediterráneas, pioneras en el uso de este índice, ha permitido interpretar de una forma mucha más precisa y robusta, qué es lo que sucede en nuestros ecosistemas cuando la estructura trófica ve modificado el MTL que le caracteriza, ayudando a mejorar la interpretación de los procesos que la están afectando.

4.1 Metodología de evaluación

En este apartado se describe la fuente de datos utilizada para el cálculo del indicador RT-TH, así como los diferentes ámbitos geográficos y escenarios ecológicos considerados. Se específica también el método de cálculo desarrollado para la obtención la Heterogeneidad Trófica, también a nivel de lance para la evaluación espacio-temporal del indicador. Finalmente se detalla el criterio empleado en la valoración de los resultados.

Fuentes de datos

Para el cálculo de la TH se considera tanto la Biomasa como el Nivel trófico de las especies consideradas.

Las metodologías de muestreo aplicadas están estandarizadas por el Grupo de trabajo MEDITS, que pertenece al grupo de trabajo del CIEM (Convención Internacional para la Explotación del Mar).

La serie histórica utilizada para el cálculo de la TH abarca el periodo 2001-2022, aunque como se describe en la Figura 1, el inicio de estas campañas data del año 1994.

MEDITS			
Campaña de evaluación de ecosistemas y recursos demersales con arte de arrastre de fondo			
Demarcación	Levantino-Balear, Estrecho y Mar de Alborán	Inicio	1994
Periodicidad	Anual	Cuatrimestre	II-III
Control de calidad	Estandarizada MEDITS-WG	Receptor internacional información	JRC EU
Fondos	Blandos entre 40 y 800 m de profundidad		

Tabla 18. Descripción de la campaña MEDITS mediante la cual se recogen los datos para el cálculo de la TH.

De cara a estandarizar las series de datos utilizadas en el cálculo del indicador y a favorecer la comparación de los resultados entre las diferentes demarcaciones mediterráneas, se ha considerado 2001 como año de inicio del estudio en ambas demarcaciones, seleccionándose una serie de criterios para la definición del grupo de especies consideradas en este estudio. Asimismo, dado que las campañas de arrastre no tienen específicamente por objeto la captura de especies pelágicas, aunque si forman parte de la comunidad, el indicador se ha calculado bajo dos escenarios alternativos; con y sin la biomasa de las especies pelágicas capturadas. De esta forma, cuando se excluyen las especies pelágicas, queda ampliada la señal del indicador (esto es la significancia de las tendencias) ya que se elimina la alta variabilidad interanual en la biomasa que caracteriza a las poblaciones de las especies pelágicas.

ESCENARIOS batimétricos y ecológicos

Este indicador se ha desarrollado para las demarcaciones mediterráneas (Estrecho y Mar de Alborán y Levantino-Balear) y al igual que en el indicador RT-MTL, se ha realizado el análisis para 10 escenarios diferentes de acuerdo con tres puntos de corte de TL:

- TL ≥4, sólo depredadores apicales. Aquellas especies de depredadores sobre los que no existe depredación. Incluye principalmente a peces y cefalópodos.
- TL ≥3.25, depredadores apicales y Mesodepredadores (consumidores secundarios). Este umbral fue descrito por Pauly y Watson (2005) y se denomina Índice Trófico Marino (MTI). Incluye elasmobranquios, cefalópodos y peces osteíctios.
- TL ≥2, todos los consumidores. Contiene todas las especies de la comunidad bento-demersal, con la única excepción de los productores primarios.

Para estas dos demarcaciones se consideran solamente dos rangos de profundidad:

- Plataforma continental: 30 - 300 m.
- Talud continental: >300 m.

Y dos escenarios ecológicos:

- Considerando la presencia de especies pelágicas.
- Sin considerar la presencia de especies pelágicas.

Las especies pelágicas incluidas en los análisis son: *Trachurus trachurus, Trachurus mediterraneus, Trachurus picturatus, Spicara smaris, Scomber scombrus, Sardina pilchardus, Sardinella aurita, Engraulis encrasicolus, Boops boops, Capros aper, Glossanodon leioglossus* y *Argentina sphyraena*.

En la aproximación espacial los datos son representados a través de las cuadrículas de 0,1˚x 0,1˚y expresan la tendencia de la Heterogeneidad Trófica de la comunidad, bajo los diferentes escenarios analizados, para el total de la serie histórica (2001-2022).

La combinación de todos estos umbrales ha generado 10 escenarios diferentes, los cuales se resumen en la siguiente tabla (Tabla 19).

ESCENARIOS BATIMÉTRICOS Y ECOLÓGICOS		DEPREDADORES APICALES (MTL4)	MESODEPREDADORES Y DEPREDADORES APICALES (MTL3.25)	TODA LA COMUNIDAD (MTL2)
PLATAFORMA (Prof. 30 - 300 m.)	**SIN PELÁGICOS**	**Depredadores apicales bento-demersales**	**Mesodepredadores + Depredadores apicales**	**Todos los consumidores**
	CON PELÁGICOS		**Mesodepredadores + Depredadores apicales**	**Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)**

ESCENARIOS BATIMÉTRICOS Y ECOLÓGICOS		DEPREDADORES APICALES (MTL4)	MESODEPREDADORES Y DEPREDADORES APICALES (MTL3.25)	TODA LA COMUNIDAD (MTL2)
			(incluyendo especies pelágicas)	
TALUD (Prof. >300 m.)	SIN PELÁGICOS	Depredadores apicales bento-demersales	Mesodepredadores + Depredadores apicales	Todos los consumidores
	CON PELÁGICOS		Mesodepredadores + Depredadores apicales (incluyendo especies pelágicas)	Todos los consumidores (incluyendo especies pelágicas)

Tabla 19. Resumen de los escenarios batimétricos y ecológicos donde se muestran los niveles tróficos incluidos en cada uno de ellos.

Cálculo de la heterogénedidad trófica

La heterogeneidad trófica de la comunidad se calculó en base al MTL, como el coeficiente de variación de los niveles tróficos (TLs) dentro de la comunidad. Con este fin, se obtuvo para cada uno de los años de la serie histórica considerada (2001-2022) y para cada celda (0,1*0,1), los valores de TL de las especies consideradas en el estudio, incluyendo todos aquellos organismos que fueron muestreados, asimilándose de este modo la Heterogeneidad Trófica al coeficiente de variación de esa distribución. El hecho de tratarse de un métrico adimensional, permite realizar comparaciones entre zonas y años.

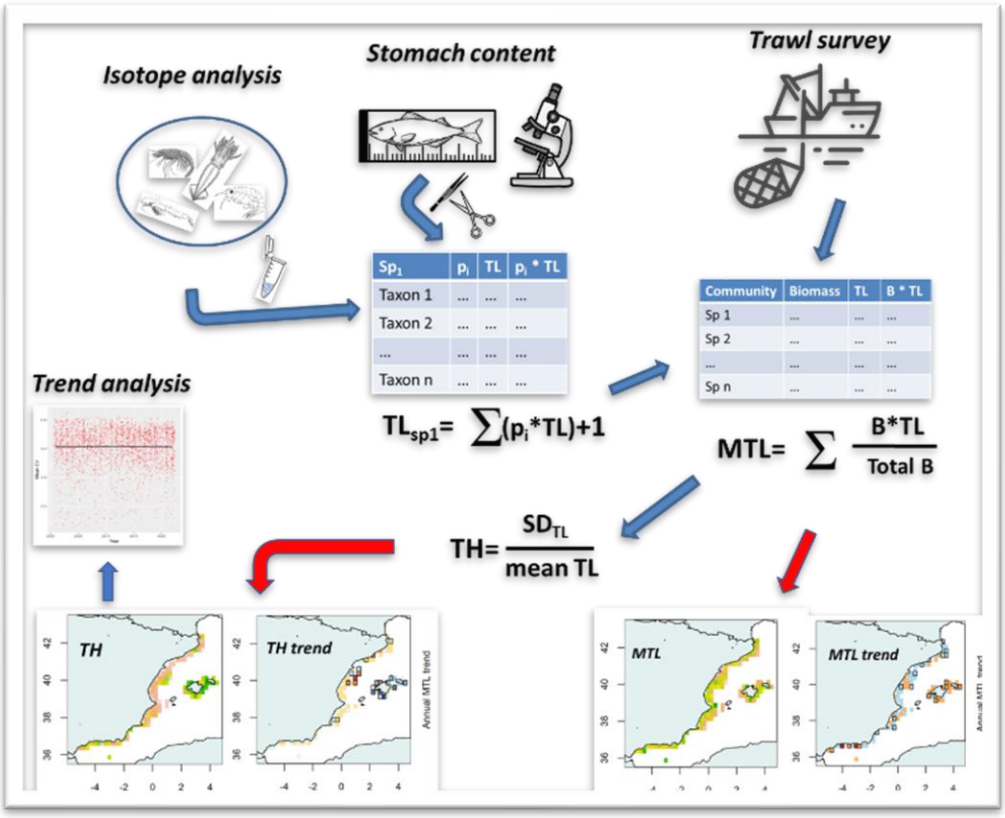


Figura 16. Esquema de la metodología empleada para el cálculo de ambos indicadores (MTL y TH).

La metodología empleada para el cálculo de la TH consta de los siguientes pasos:

- Selección de las especies
- Determinación del TL de cada una de las especies consideradas en el estudio
- Cálculo del MTL de la comunidad
- Cálculo de la TH de la comunidad

Selección de las especies

De entre el total de las especies capturadas en las campañas MEDITS, se realizó una selección previa de aquellas especies más relevantes en cada una de las tres áreas consideradas:

- Demarcación Estrecho y Mar de Alborán
- Zona Peninsular de la Demarcación Levantino-Balear
- Zona Balear de la demarcación Levantino-Balear

La selección de las especies fue específica para cada área y se realizó atendiendo a cuatro criterios:

1. Criterio temporal: Número de años mínimo en el que el taxón está presente a lo largo de la serie histórica
2. Criterio espacial: Número de lances mínimo en el que el taxón está presente a lo largo de la campaña
3. Criterio de abundancia: Abundancia mínima respecto del resto de especies (selección por cuartil)
4. Criterio de biomasa: Aplicable a aquellas especies que no cumplen alguno de los tres primeros criterios, pero que sin embargo tienen un papel importante en el ecosistema, con alta biomasa promedio.

Los tres primeros criterios son excluyentes, de forma que sólo las especies que cumplen todos estos criterios son seleccionadas. Sin embargo, con el fin de no excluir a aquellas especies que no cumplan alguno de estos tres primeros criterios, pero que sean importantes en términos de biomasa, se aplica el último criterio. Las especies excluidas que cumplen este criterio son incorporadas a la lista de especies seleccionadas para cada una de las áreas.

La selección se realiza por estrato de profundidad (plataforma y talud), obteniéndose dos listas por área. Una vez ambas listas están confeccionadas, se fusionan en una única lista.

El número de especies seleccionadas fue de 139 para la demarcación Estrecho y Mar de Alborán, 187 para la división Balear de la demarcación Levantino-Balear y 197 para la división Levantina de la demarcación Levantino-Balear. Las biomasas que estas especies representan respecto del total de las especies por división y estrato de profundidad se representan en la Figura 19.

Determinación del TL de cada una de las especies consideradas en el estudio

Como paso previo a la determinación del nivel trófico promedio de la comunidad, se estableció el TL de cada una de las especies consideradas en el estudio. El TL fue calculado principalmente a través de los análisis de contenido estomacal realizados en las campañas oceanográficas MEDITS en cada una de las tres diferentes divisiones.

El TL de las presas que formaron parte de la dieta se determinó a partir de los valores de nitrógeno obtenido de los análisis de isótopos estables de las presas obtenidas en las campañas MEDITS.

Para todas aquellas presas o especies consideradas para las que no pudo obtenerse información del TL de datos propios, se recurrió a la bibliografía, priorizando la información más cercana al área de estudio.

El TL de cada una de las especies seleccionadas se calculó como un promedio ponderado del TL de sus presas en función de su importancia relativa en la dieta, según la fórmula:

$$TL_{sp} = \sum (p_i * TL_i) + 1$$

Ecuación 3

donde p_i es el porcentaje de la presa *i* en la dieta de la especie analizada, y TL_i el nivel trófico de la presa *i*.

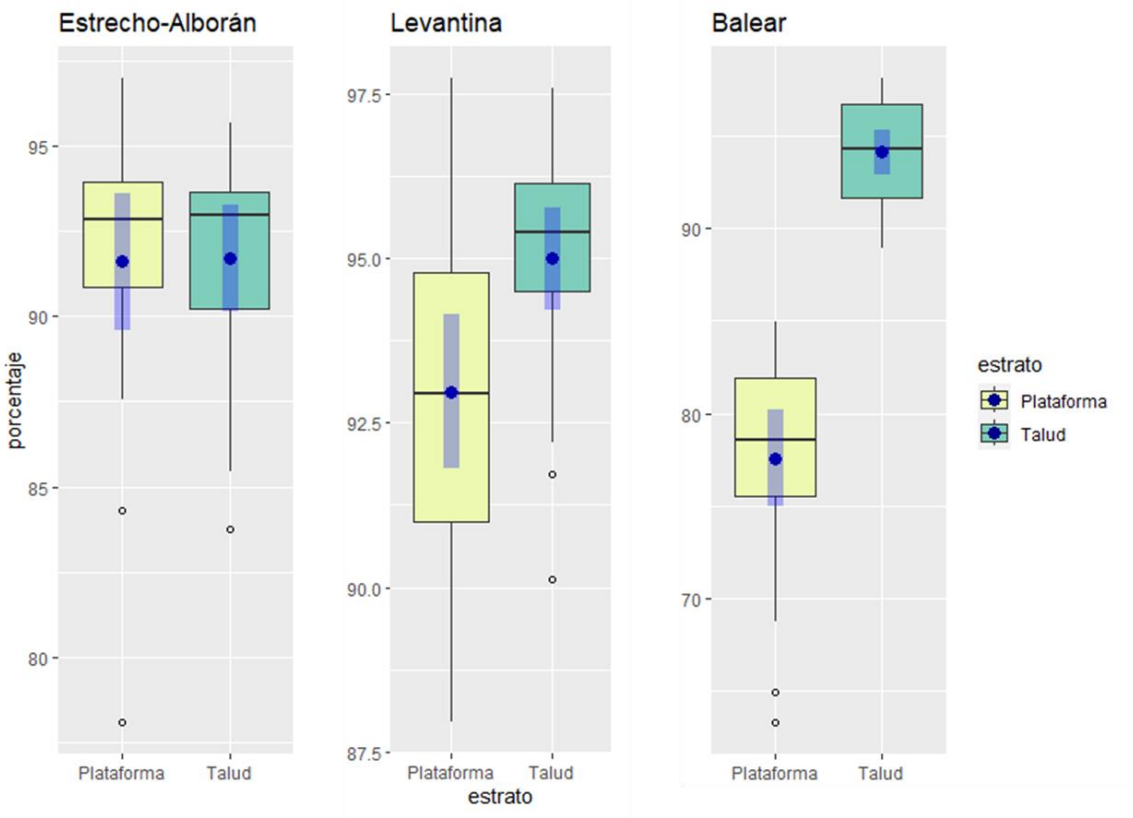


Figura 17. Porcentaje de biomasa que representan las especies seleccionadas por división y estrato de profundidad. El punto azul representa la media de los valores de biomasa de las especies seleccionadas para el total de la serie histórica. La caja azul el intervalo de confianza para esa misma media.

Cálculo del MTL de la comunidad

Una vez calculado el TL de cada una de las especies seleccionadas para cada una de las tres divisiones, se determinó el MTL de la comunidad según cada uno de los diferentes escenarios. El MTL se determinó como la suma ponderada de los diferentes TLs de las especies, según su importancia relativa en la comunidad. La importancia relativa se determinó atendiendo a la biomasa de cada especie en las campañas demersales MEDITS, según la fórmula:

$$MTL = \sum \frac{B_i * TL_i}{B_{total}}$$

Ecuación 4

donde B_i es la biomasa de la especie *i*, TL_i es el nivel trófico de la especie *i* y B_{total} es la biomasa del total de la comunidad.

Cálculo de la TH de la comunidad

La heterogeneidad trófica de la comunidad se calculó en base al MTL, como el coeficiente de variación de los niveles tróficos (TLs) dentro de la comunidad, según la siguiente fórmula:

$$TH = \frac{SD_{TLs}}{MTL}$$

Ecuación 5

Análisis espacio-temporal de las tendencias de la TH

El análisis de la Heterogeneidad Trófica de los ecosistemas marinos estudiados se ha realizado desde una doble perspectiva espacio-temporal. Este doble análisis permite encontrar diferencias en el plano espacial, detectando cambios ligados a la naturaleza de los diferentes ecosistemas a un nivel local, así como cambios en el tiempo a través del estudio de las tendencias temporales.

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/alarma de las redes tróficas y las tendencias fueron consideradas como señal de mejoría 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 20. 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 la HT 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.

CATEGORÍAS DE LOS ESTADOS DE BIODIVERSIDAD	
↘	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 mejoría; se considera que las redes tróficas son resilientes
↗	La tendencia del indicador se positiva; o el cambio en el indicador representa una mejoría en el estado; se considera que las redes tróficas sufren cierta mejoría

Tabla 20. Categorías utilizadas en la evaluación de las tendencias del indicador para ayudar a la interpretación de los resultados.

4.2 EVALUACIÓN GENERAL A NIVEL DE DEMARCACIÓN MARINA – RT- TH.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para la evaluación de las redes tróficas de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán, en este caso para los sistemas de plataforma y talud continentales. Estos resultados, procedentes de la aplicación del indicador RT-TH “Cambios en la heterogeneidad trófica de los consumidores marinos”, calculado cómo el coeficiente de variación del

nivel trófico medio con su tendencia temporal para los escenarios sin pelágicos. Además, se aporta también la representación cartográfica de los valores promedios 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 con y sin pelágicos, aunque la evaluación se ofrezca tan solo para los escenarios sin pelágicos.

En primer lugar, se presentan los resultados para el escenario TL4 que incluye sólo al grupo trófico de los depredadores apicales, frecuente objetivo de las pesquerías comerciales, seguidamente se ofrecen los resultados por el escenario TL3.25, 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 TL2 que ilustra la situación para toda la comunidad de depredadores.

4.2.1 EVALUACIÓN PARA RT-TH EN PLATAFORMA

CONSECUCIÓN DEL BEA

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	**2001-2022**

Tabla 21. Consecución del buen estado ambiental en los sistemas de Plataforma.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR

Grupo trófico	RT-TH	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**-0,220**		↔
Mesodepredadores & depredadores apicales	**-0,440**		↔
Toda la comunidad	**4,840*** **		↗

Tabla 22. Resultados de la evaluación en fondos de Plataforma por grupo trófico. Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Las siguientes figuras muestran las tendencias en la Heterogeneidad Trófica (TH) para la demarcación Estrecho y Mar de Alborán y para cada uno de los escenarios descritos para los sistemas de plataforma (Figura 18).

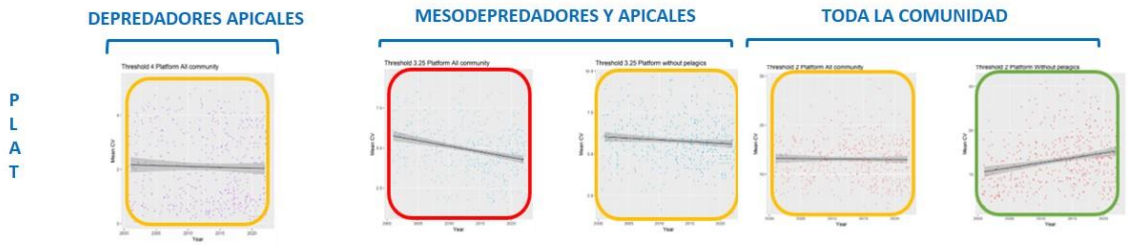


Figura 18. Gráficos mostrando las tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.

Las tendencias en la plataforma son mucho menos evidentes, con un claro descenso de la heterogeneidad trófica si consideramos los meso y depredadores apicales, pero sólo cuando tenemos en cuenta a los pelágicos en el análisis. Por el contrario, cuando excluimos de éste a las especies pelágicas, podemos observar una ligera mejoría de la heterogeneidad al considerar toda la comunidad de consumidores (Tabla 23).

Demarcación Estrecho y Alborán	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales (TL>4)	-0,220	-0,220
Depredadores apicales y mesodepredadores (TL>3.25)	-0,440	-1,540***
Toda la comunidad (TL>2)	4,840***	-0,220
Valor p del test de significancia estadística *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001		

Tabla 23. Tasa de cambio y nivel de significación de la pendiente de la recta para los modelos lineales, expresando las tendencias temporales del indicador trófico por escenario en los sistemas de Plataforma

4.2.1.1 Escenario TL≥4.0 (depredadores apicales)

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**-0,220**		↔

Tabla 24. 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 en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. Los resultados del indicador cuyo valor es -0,220, no permiten inferir un cambio significativo en la tendencia dado que esta no es significativa, aunque se observe un resultado negativo, por lo que este resultado se interpreta que la tendencia es estable.

Análisis espacio-temporal

En la aproximación espacio- temporal, los valores más elevados de riqueza trófica, que oscilan entre 0,52 y 4,24, se corresponden en general con el entorno de la Isla de Alborán y con aquellas celdas que se encuentran más alejadas de la zona costera (Figura 21).

A nivel global, la tendencia del indicador en la plataforma muestra patrones de pérdida de riqueza trófica, desde el inicio de la serie histórica en 2001, aunque la pendiente del modelo no es significativamente distinta de cero.

A nivel local, esta tendencia se hace más acusada en la zona oriental de la demarcación, en torno al Cabo de Gata y a las aguas de Almería y Granada. En cambio, en la Isla de Alborán y en la zona occidental, especialmente en torno a las aguas de Málaga, la heterogeneidad trófica parece mostrar signos de recuperación de la riqueza trófica (Figura 19).

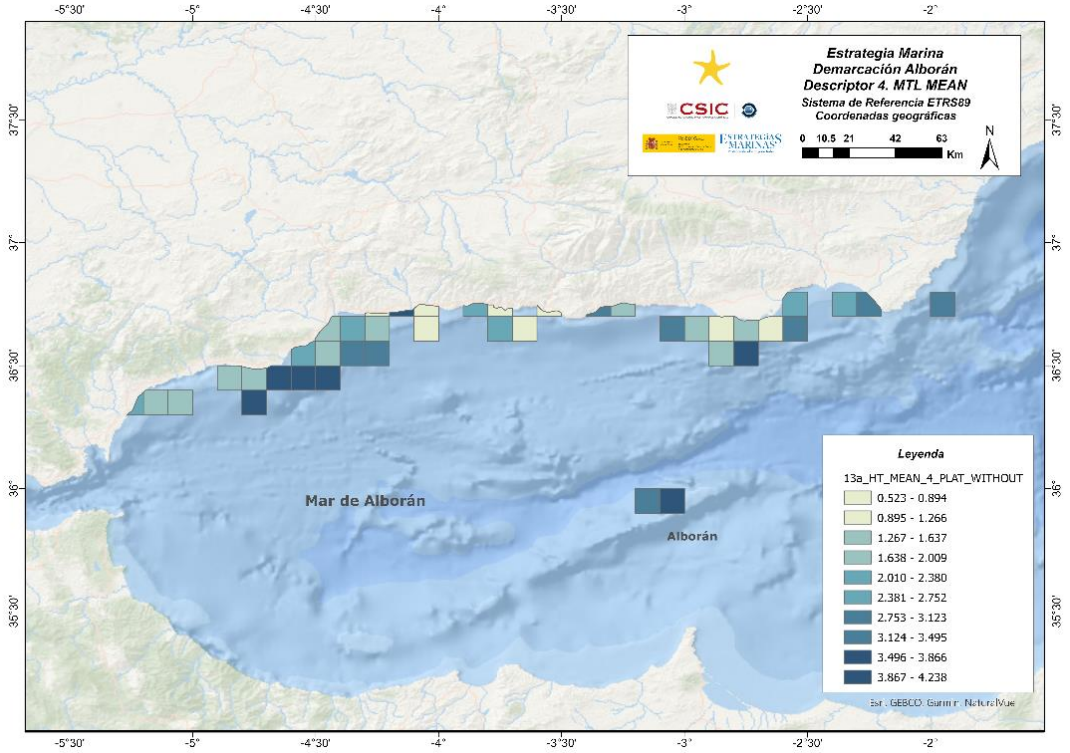


Figura 19. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 4, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

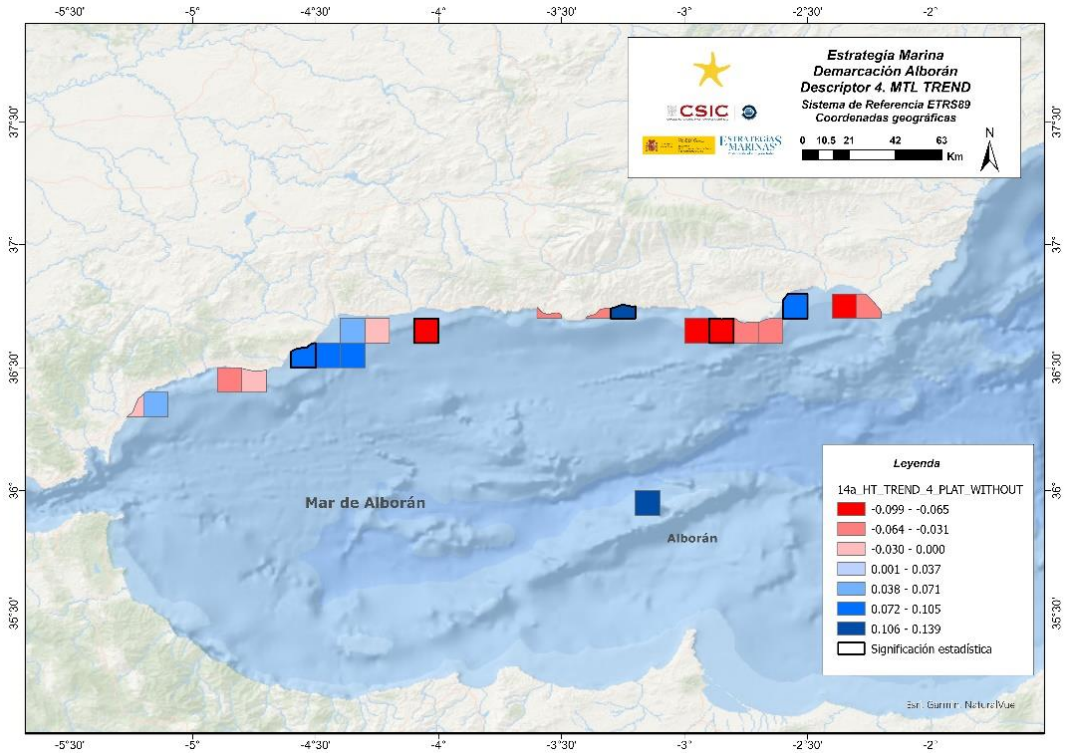


Figura 20. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 4, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

En el escenario que hace referencia únicamente a los depredadores apicales, los resultados no varían independientemente de si se consideran las especies pelágicas o no. Esto es debido a que, en el caso de las demarcaciones mediterráneas, no hay especies pelágicas considerados en este estudio que presenten un TL de 4 o superior.

4.2.1.2 Escenario TL≥3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Mesodepredadores & Depredadores apicales	**-0,440**		↔

Tabla 25. Resultados de la evaluación de Mesodepredadores y depredadores apicales en sistemas de plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. Los mesodepredadores y depredadores apicales que conforman el MTL 3.25 presentan una moderada regresión de la heterogeneidad estructural del ecosistema, mostrando un valor de -0,440, aunque no alcanza valores significativos.

Análisis espacio-temporal

El análisis temporal de la plataforma, a nivel global, en el escenario sin pelágicos, se muestran patrones claros de pérdida de riqueza trófica, aunque la pendiente del modelo no es significativamente distinta de cero. Este patrón se hace mucho más evidente y significativo, en la mitad occidental de la demarcación, en torno a las aguas de Málaga cuando incorporamos al análisis las especies pelágicas (Figura 21).

Al no considerar a las especies pelágicas en el análisis espacial, los valores de heterogeneidad en la plataforma crecen considerablemente, alcanzando valores más altos (de 4,09 a 9,06). Por otra parte, a diferencia del caso anterior, se aprecia un cierto patrón aumento de valores de riqueza trófica de oriente hacia occidente en la demarcación (Figura 24).

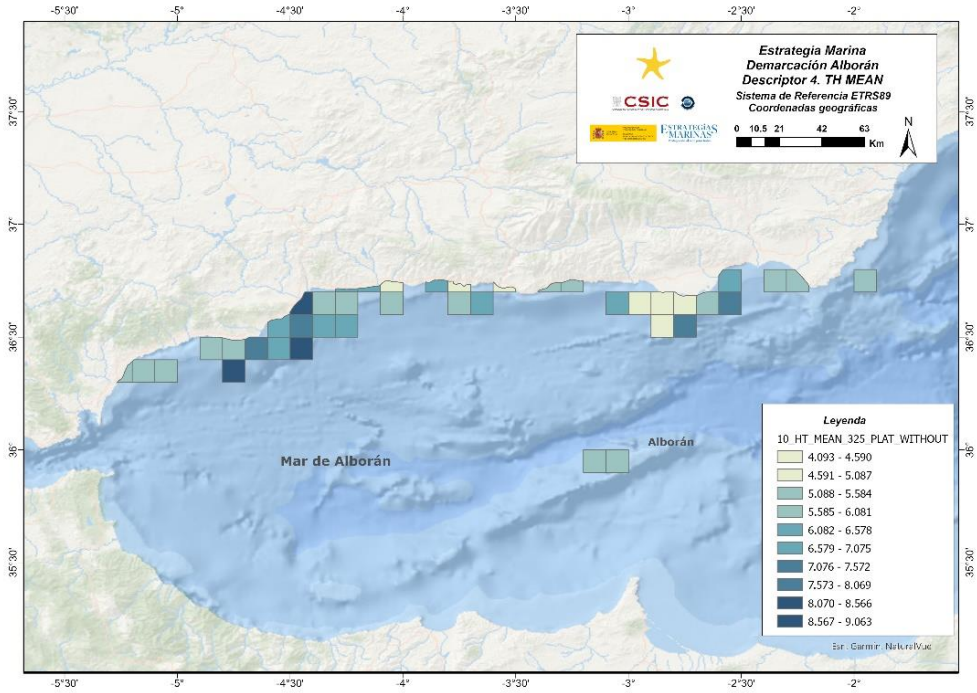


Figura 21. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

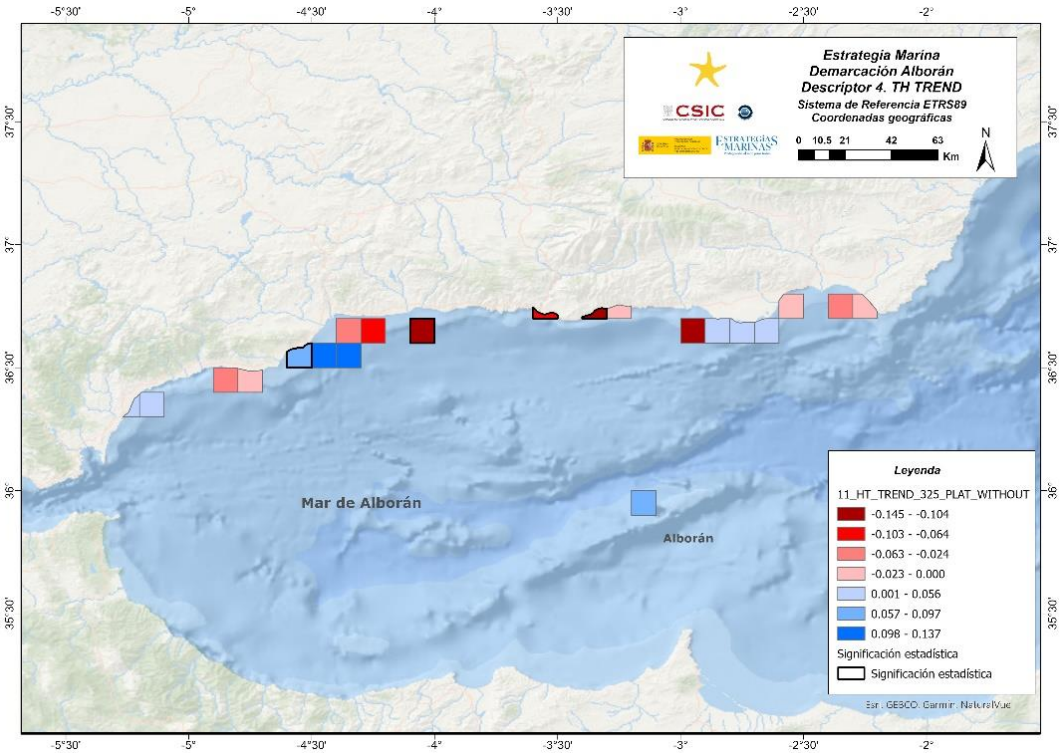


Figura 22. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

En cuanto al análisis espacial para el escenario con pelágicos, los valores promedio del indicador oscilan entre 2,79 y 8,97, se aprecia un cierto patrón de aumento de valores de riqueza trófica de oriente hacia occidente en la demarcación. Se observan tendencias positivas en Fuengirola, Almerimar e Isla de Alborán y ligeramente negativas en el centro de la demarcación y oeste de Cabo de Gata

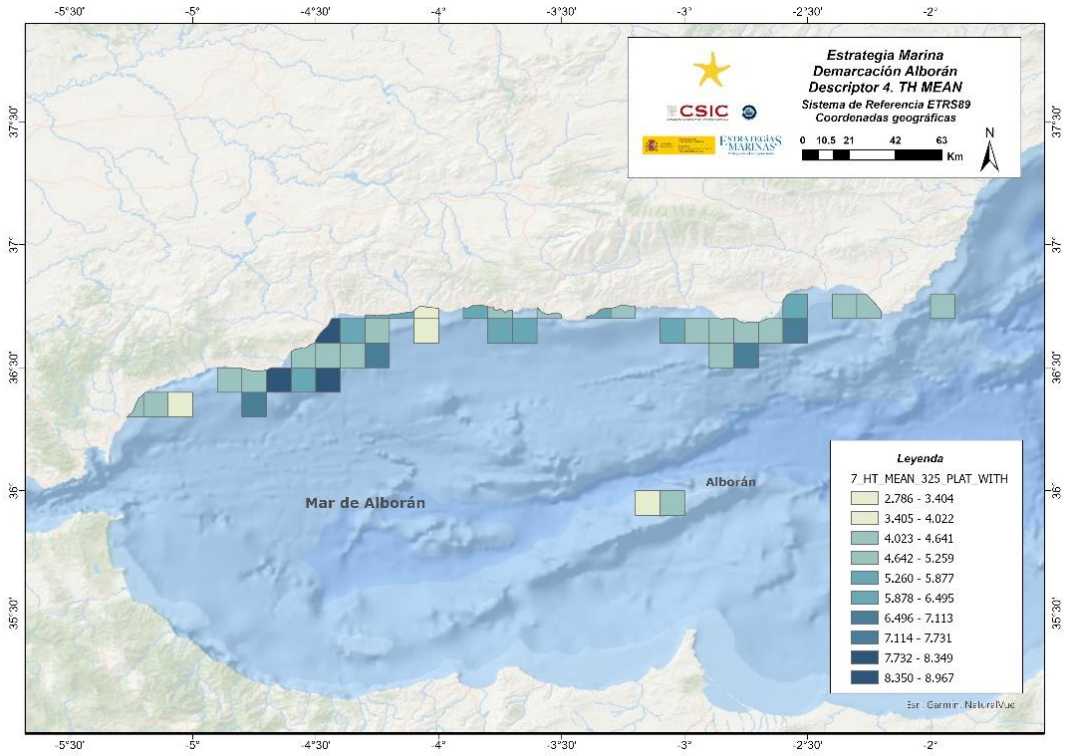


Figura 23. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, considerando las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

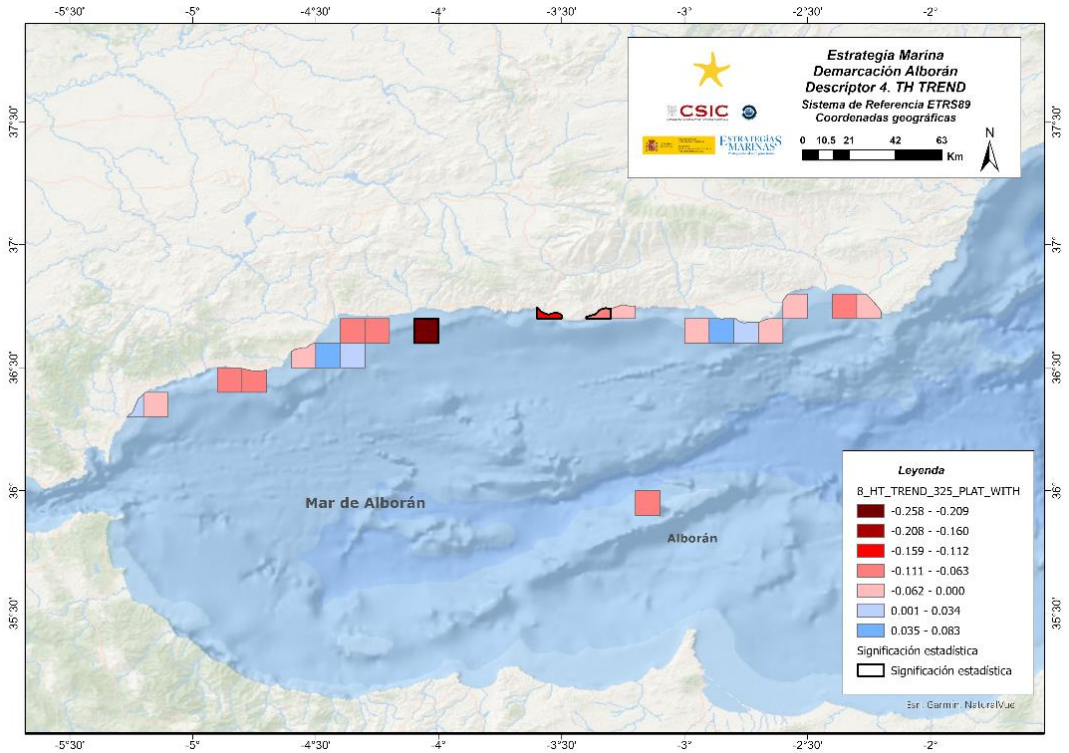


Figura 24. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, considerando las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

4.2.1.3 Escenario TL≥2 (toda la comunidad)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	**4,840*** **		↗

Tabla 26. Resultados de la evaluación de toda la comunidad en sistemas de plataforma.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. Si se considera a toda la comunidad (TL≥2), se puede apreciar una recuperación de este índice en el estrato de plataforma analizando los datos sin tener en cuenta a las especies pelágicas, se encuentra un valor de 4,840 con un alto nivel de significación.

Análisis espacio-temporal

En cuanto al análisis espacial, aunque se mantiene una tendencia significativamente positiva en casi toda la demarcación, las aguas en torno a la Isla de Alborán muestran una tendencia decreciente en los valores de este indicador y se observan al contrario valores más altos en Nerja.

En lo que se refiere a las tendencias temporales del indicador para el escenario de sin pelágicos, la tendencia mayoritaria es de una mejora en los valores de Heterogeneidad trófica, con una pendiente distinta de cero (Figura 25. Existen diferencias notables si se incluyen a las especies pelágicas en el estudio observando en este caso un deterioro general de la riqueza trófica en los ecosistemas de plataforma (Figura 26). En ambos escenarios, las aguas en torno a la Isla de Alborán muestran una tendencia decreciente en los valores de este indicador.

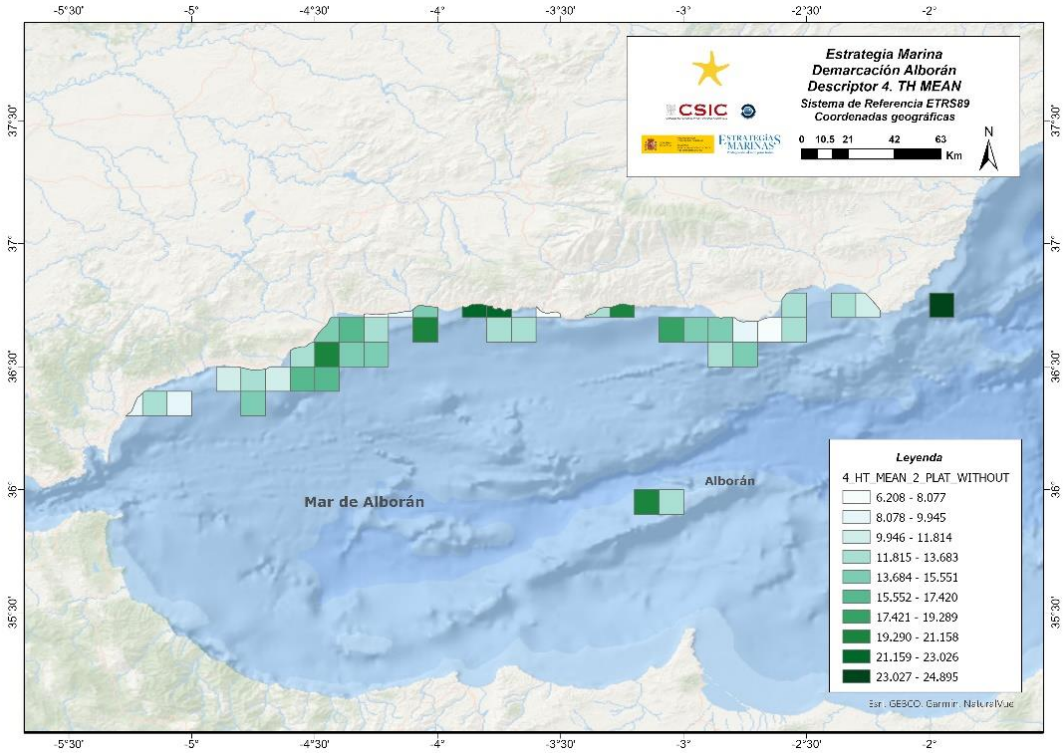


Figura 25. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

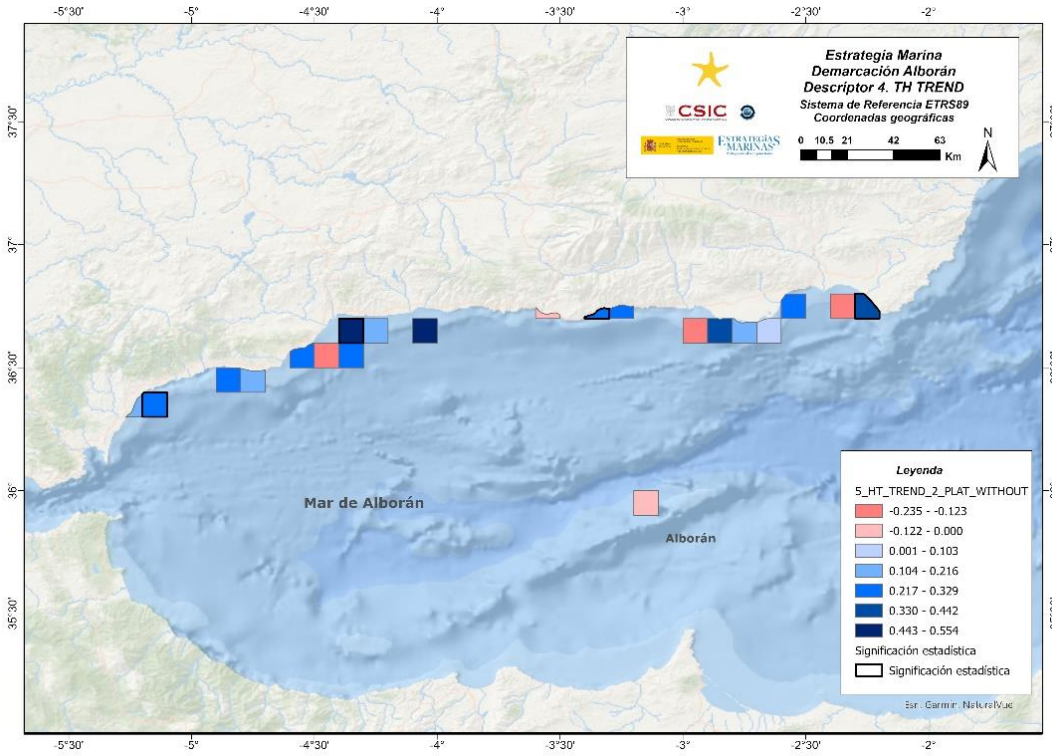


Figura 26. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, sin considerar a las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

El análisis espacial de la plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán para el escenario que contempla al conjunto de los predadores ofrece valores promedio del indicador que oscilan entre 7,16 y 19,79. No parece existir un patrón espacial claro a lo largo de la demarcación que pueda indicar diferencias locales dentro de ésta (Figura 27 y Figura 28).

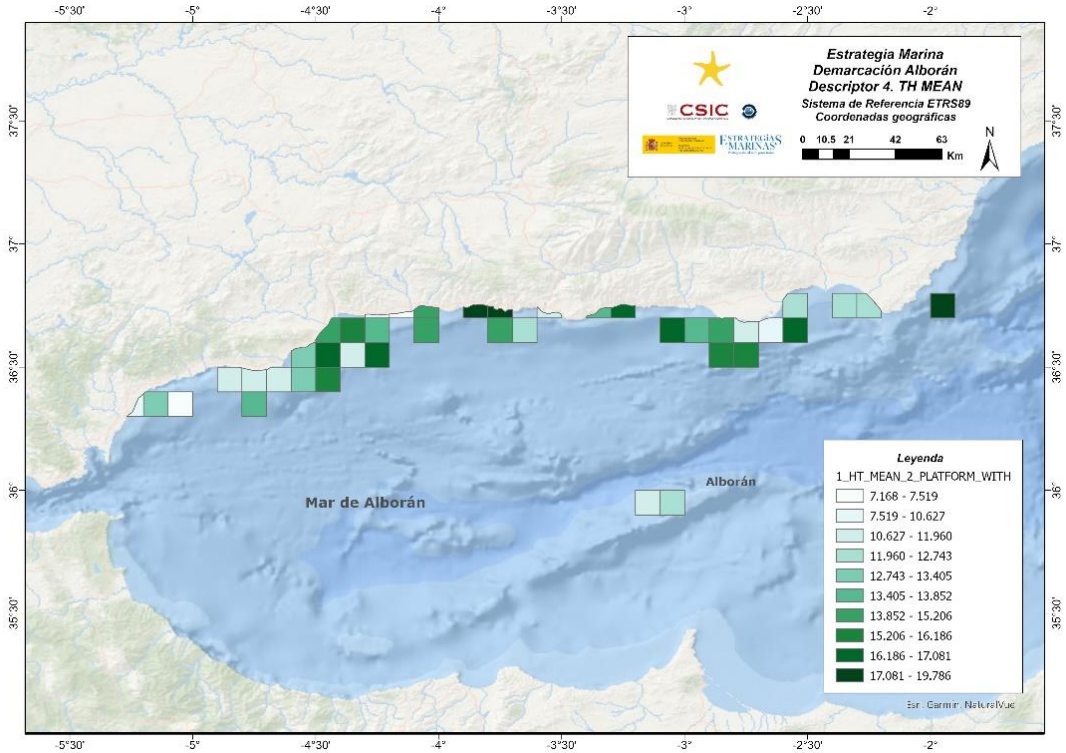


Figura 27. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, considerando las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita

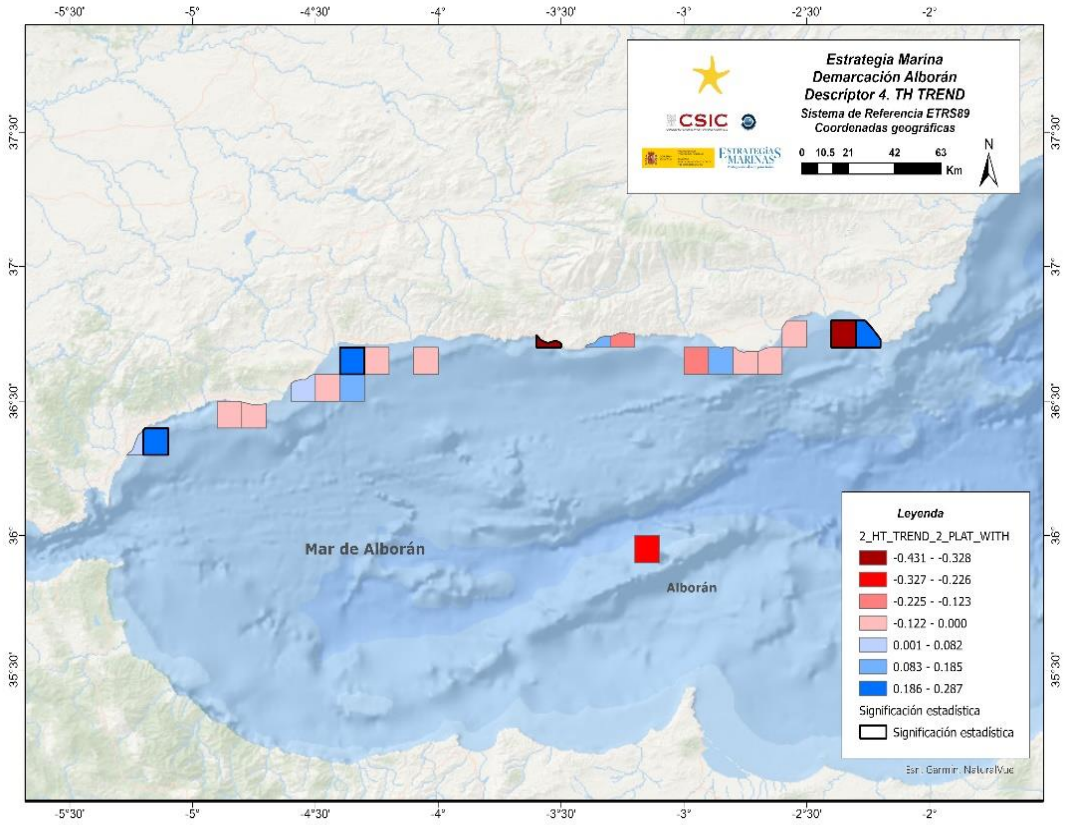


Figura 28. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, considerando las especies pelágicas y para la Plataforma de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

4.2.2 EVALUACIÓN RT-TH EN SISTEMAS DE TALUD

CONSECUCIÓN DEL BEA

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	**2001-2022**

Tabla 27. Consecución del buen estado ambiental en los sistemas de plataforma.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR

Grupo trófico	RT-TH	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**0,220**		↔
Mesodepredadores & Depredadores apicales	**0,440***		↗
Toda la comunidad	**1,980*****		↗

Tabla 28. Resultados de la evaluación en fondos de Talud para cada grupo trófico.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Las siguientes figuras muestran las tendencias en la Heterogeneidad Trófica (TH) para la demarcación Estrecho y Mar de Alborán y para cada uno de los escenarios descritos para los sistemas de Talud sin considerar las especies pelágicas (Figura 29).

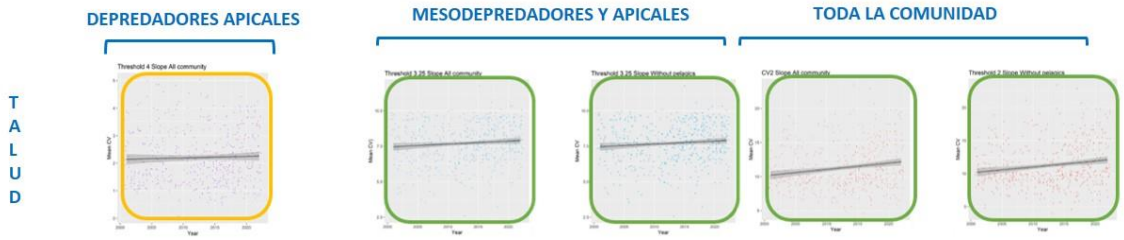


Figura 29. Gráficos mostrando las tendencias temporales de los niveles tróficos promedio en función de los escenarios batimétricos y ecológicos. Marco rojo= tendencias negativas, marco naranja = no hay tendencia significativa, marco verde = tendencias positivas.

Las tendencias en la plataforma son mucho menos evidentes, con un claro descenso de la heterogeneidad trófica si se consideran los meso y depredadores apicales, pero sólo cuando se tiene en cuenta a los pelágicos en el análisis. Por el contrario, cuando se excluyen de éste a las especies pelágicas, se puede observar una ligera mejoría de la heterogeneidad al considerar toda la comunidad de consumidores.

demarcación Estrecho y Alborán	Sin pelágicos	Con pelágicos
Depredadores apicales (TL>4)	0,220	0,220
Depredadores apicales y mesodepredadores (TL>3.25)	0,440*	0,440*
Toda la comunidad (TL>2)	**1,980*****	**1,980*****
Valor p del test de significancia estadística *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001		

Tabla 29. Tasa de cambio y nivel de significación de la pendiente de la recta para los modelos lineales, expresando las tendencias temporales del indicador trófico por escenario en los sistemas de Plataforma

4.2.2.1 Escenario TL≥3.25 (mesodepredadores y depredadores apicales)

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Mesodepredadores & Depredadores apicales	**0,440***		↗

Tabla 30. Resultados de la evaluación de los depredadores apicales y mesodepredadores en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. En cuanto a las tendencias temporales del talud para el escenario que contempla al conjunto de los meso más los depredadores apicales, los resultados ofrecen una tendencia general de recuperación de la riqueza trófica, con valores homogéneos para toda la demarcación y ligeramente significativos.

Análisis espacio-temporal

El análisis espacial del talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán para el escenario que contempla al conjunto de los meso más los depredadores apicales ofrece valores promedio del indicador que oscilan entre 3,21 y 9,51.

En lo que al análisis de las tendencias temporales se refiere, los resultados ofrecen una tendencia general de recuperación de la riqueza trófica, sin que haya apenas diferencias entre el escenario que considera a las especies pelágicas para el análisis del indicador, como para el que las excluye de este análisis. Los valores más bajos se encuentran en torno a la Isla de Alborán y en las aguas occidentales del Cabo de Gata, coincidiendo con las áreas que presentan una menor riqueza trófica promedio (Figura 31).

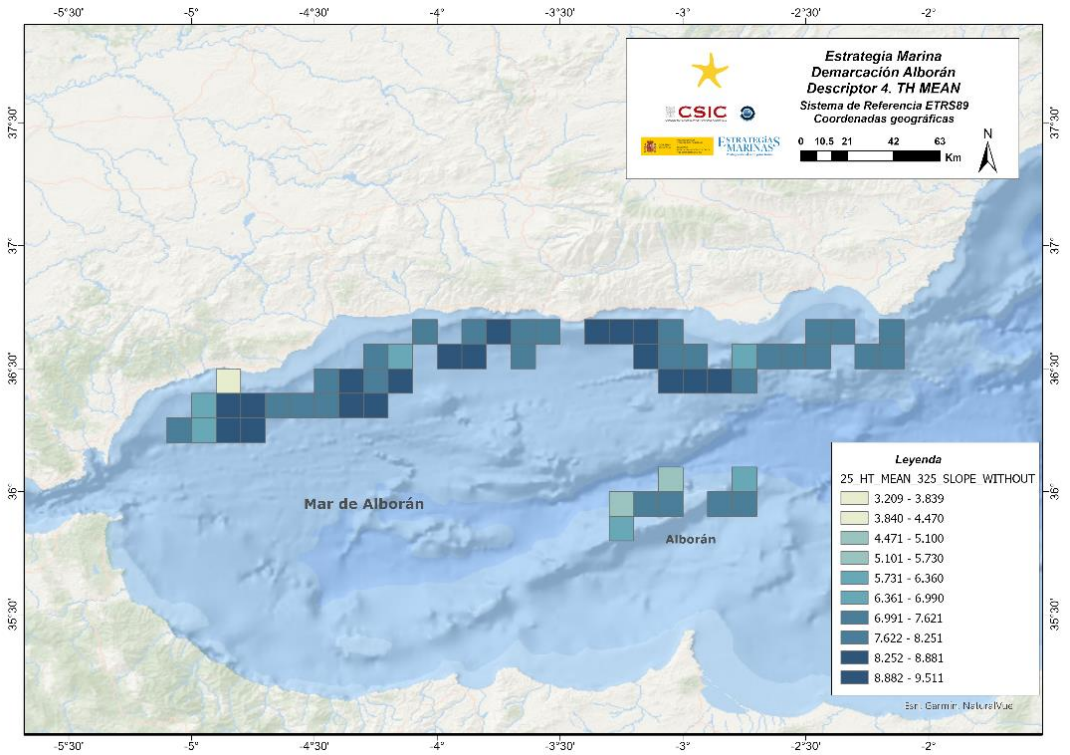


Figura 30. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

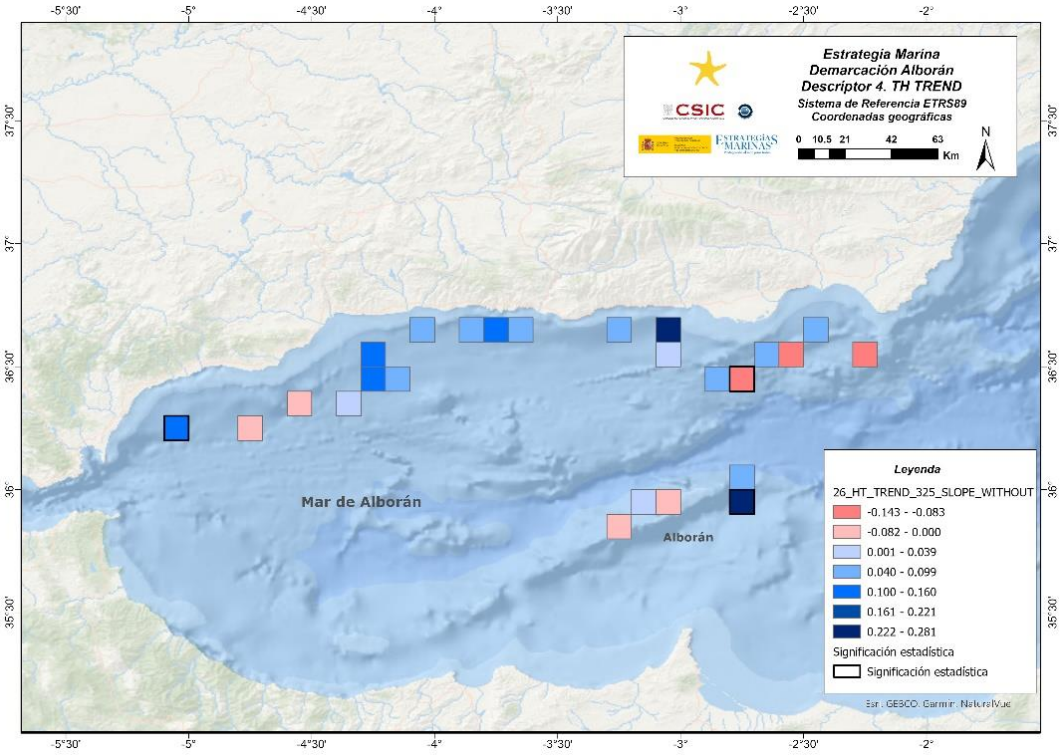


Figura 31 Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

Cuando se consideran a los pelágicos en el análisis, no existe un patrón espacial claro a lo largo de la demarcación que pueda indicar diferencias locales dentro de ésta, aunque los valores más bajos de riqueza trófica para este escenario se localizan en torno a las aguas de la Isla de Alborán y las aguas occidentales del Cabo de Gata (Figura 33). En general, los valores para este escenario en el talud se muestran más altos que los encontrados en este mismo escenario pero para aguas de la plataforma.

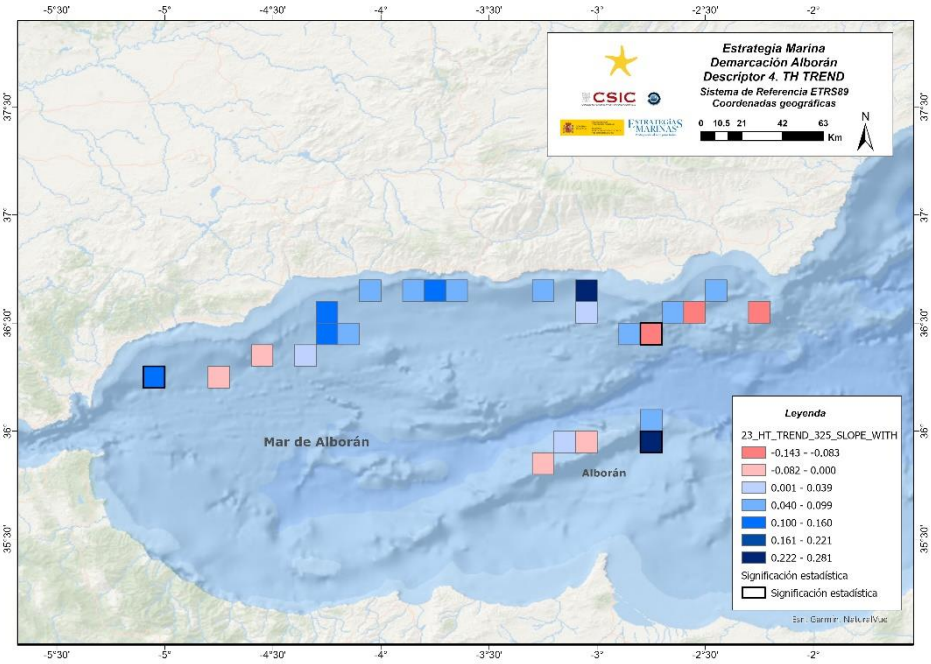


Figura 32. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, considerando las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

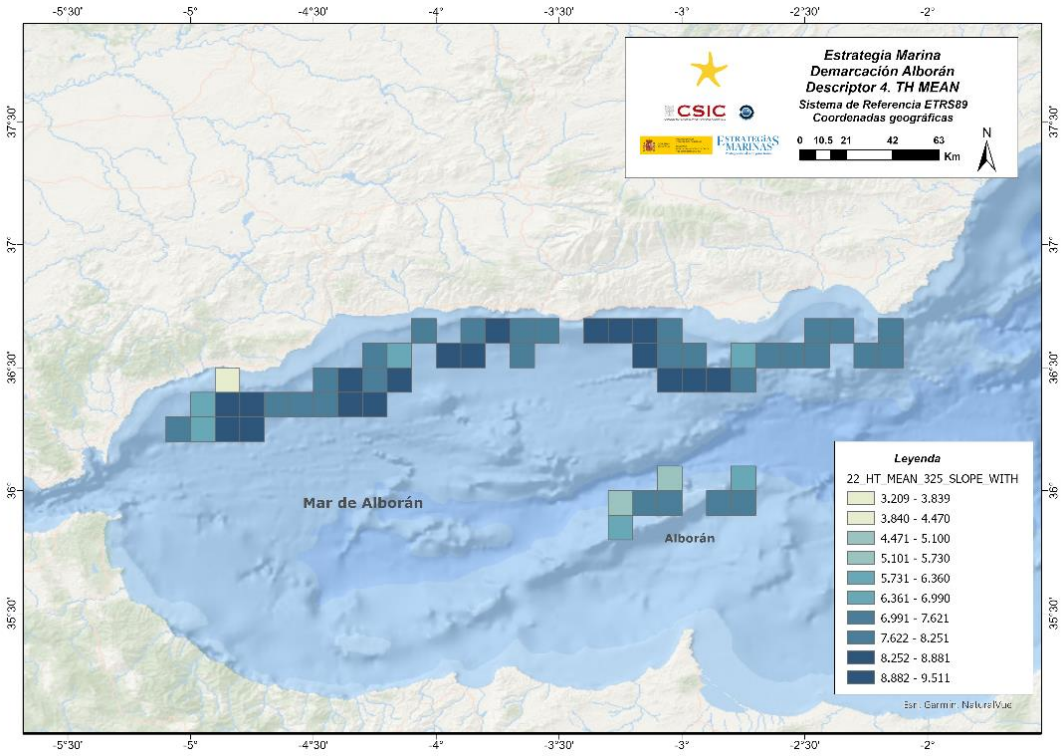


Figura 33. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 3.25, considerando las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

4.2.2.2 Escenario TL≥4.0 (depredadores apicales)

Resumen de los resultados de la evaluación

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Depredadores apicales	**0,220**		↔

Tabla 31. Resultados de la evaluación de los depredadores apicales en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. El indicador RT-TH para los depredadores apicales en la zona de Talud presenta valores homogéneos para toda la demarcación (0,220), mostrando una cierta estabilidad en los patrones de riqueza trófica, con una mejora en la tendencia temporal, pero sin significancia.

Análisis espacio-temporal

El análisis espacial del talud para el escenario que contempla sólo los depredadores apicales ofrece valores promedio del indicador que oscilan entre 0,95 y 3,86, por lo tanto, algo inferiores al caso de la plataforma. Los valores más elevados de riqueza trófica se corresponden en general con aquellas celdas de estudio más próximas a la costa, particularmente en el sector más occidental de la demarcación (Figura 34).

Por las razones expuestas anteriormente, en este escenario no existen diferencias en los resultados según consideremos a las especies pelágicas o no.

El indicador muestra estabilidad en los patrones de riqueza trófica, con una cierta tendencia temporal a la mejoría, pero sin que esta sea significativa. No aparecen patrones claros que distingan unas zonas de otras, pero en las aguas entorno a la costa de Vélez-Málaga y las aguas occidentales del Cabo de Gata se encuentran los valores más bajos del indicador (Figura 35).

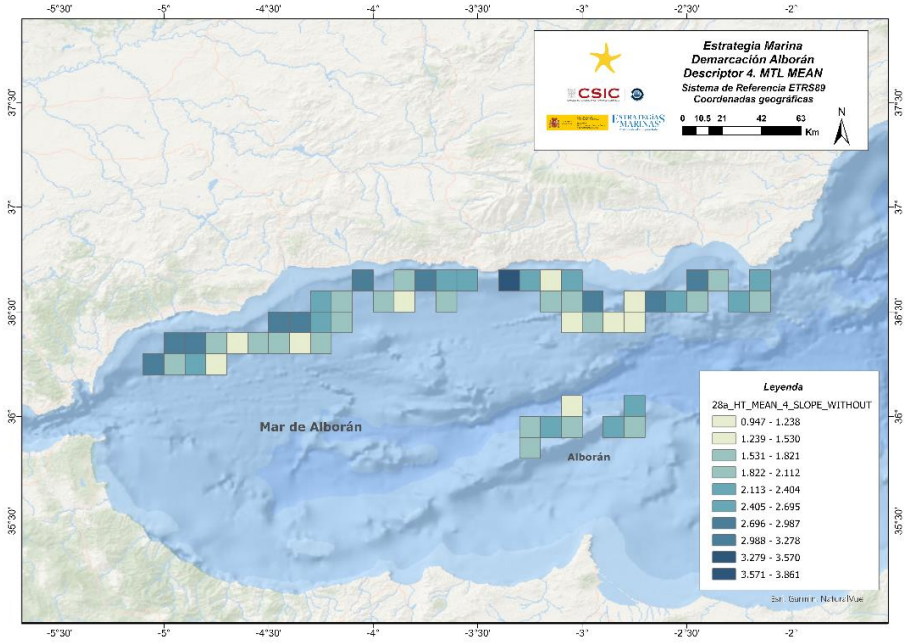


Figura 34. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 4, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

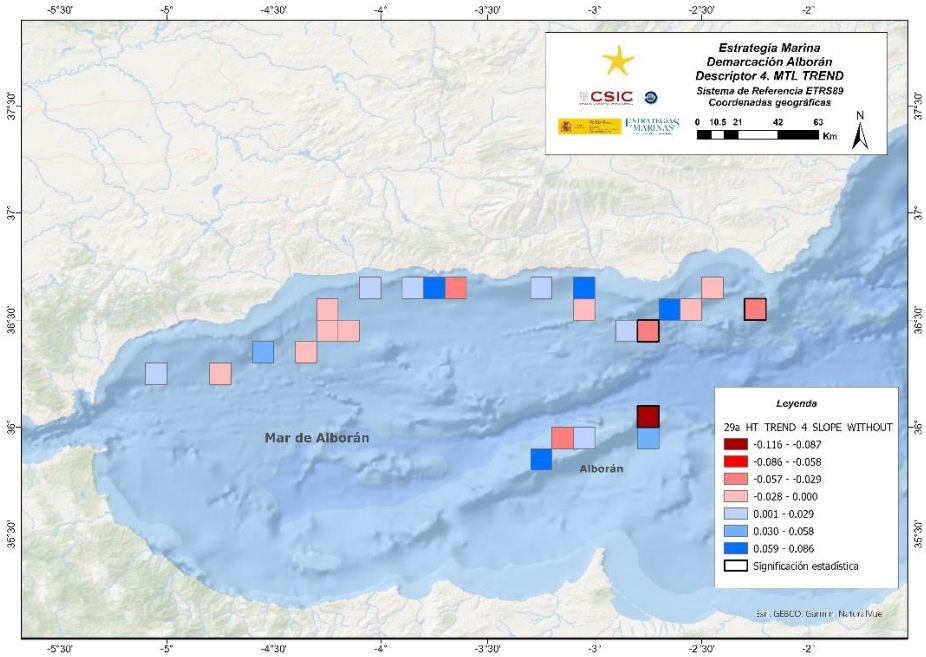


Figura 35. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 4, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

4.2.2.3 Escenario TL≥2 (toda la comunidad)

Grupo trófico	RT-HT	Estado	Tendencia
Toda la comunidad	**1,98*** **		↗

Tabla 32. Resultados de la evaluación de toda la comunidad en sistemas de talud.

Estado: ■ Se alcanza el BEA; ■ No se alcanza el BEA; ■ Desconocido (evaluación no concluyente); ■ No evaluado Tendencia en toda la serie histórica desde 2001: ↔ Estable; ↗ Mejora; ↘ En deterioro; n.r. no relevante; ¿? Desconocido

Resultados de la evaluación del análisis temporal a escala de demarcación

Desconocido. En la zona de talud, se aprecia una recuperación del índice con una alta significación, cuando se considera en el análisis a toda la comunidad, lo que contrasta con la pérdida de MTL en ese mismo escenario.

Análisis espacio-temporal

El análisis espacial del talud para el escenario que contempla al conjunto de los depredadores ofrece valores promedio del indicador que oscilan entre 6,23 y 17,68. Tanto si se consideran a las especies pelágicas como si se excluyen del análisis, no parece existir un patrón espacial claro a lo largo de la demarcación que pueda indicar diferencias locales dentro de ésta, aunque los valores más bajos se encuentran en torno a las aguas de la Isla de Alborán y de El Ejido (Figura 36 y Figura 38).

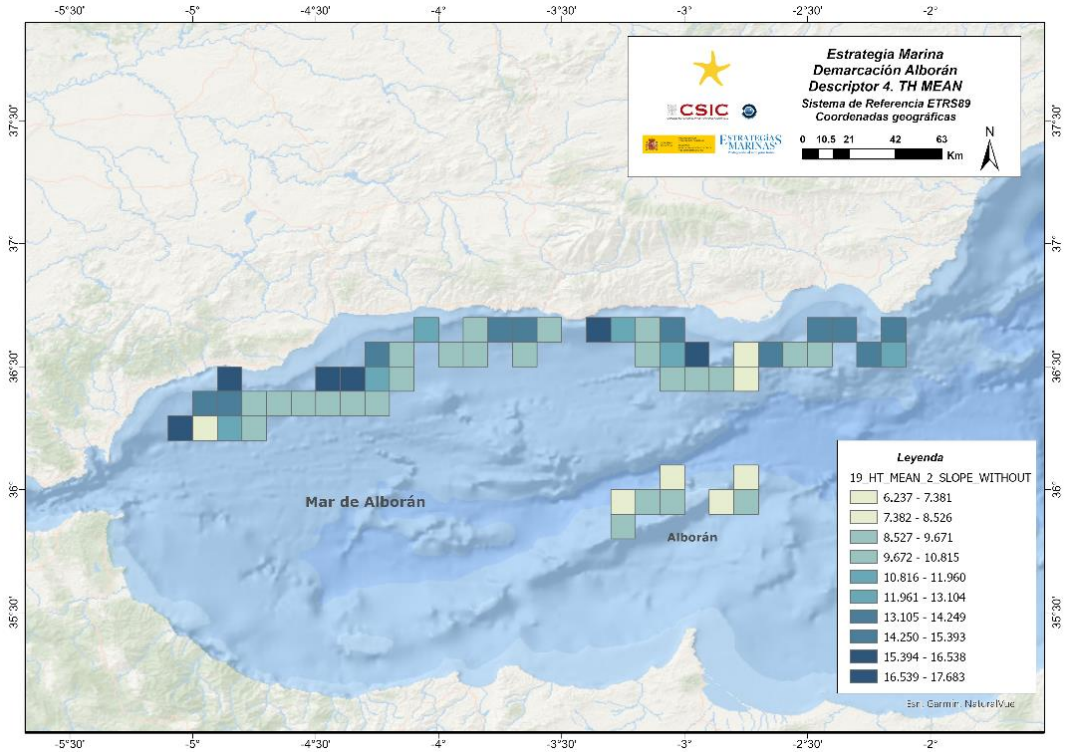


Figura 36. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

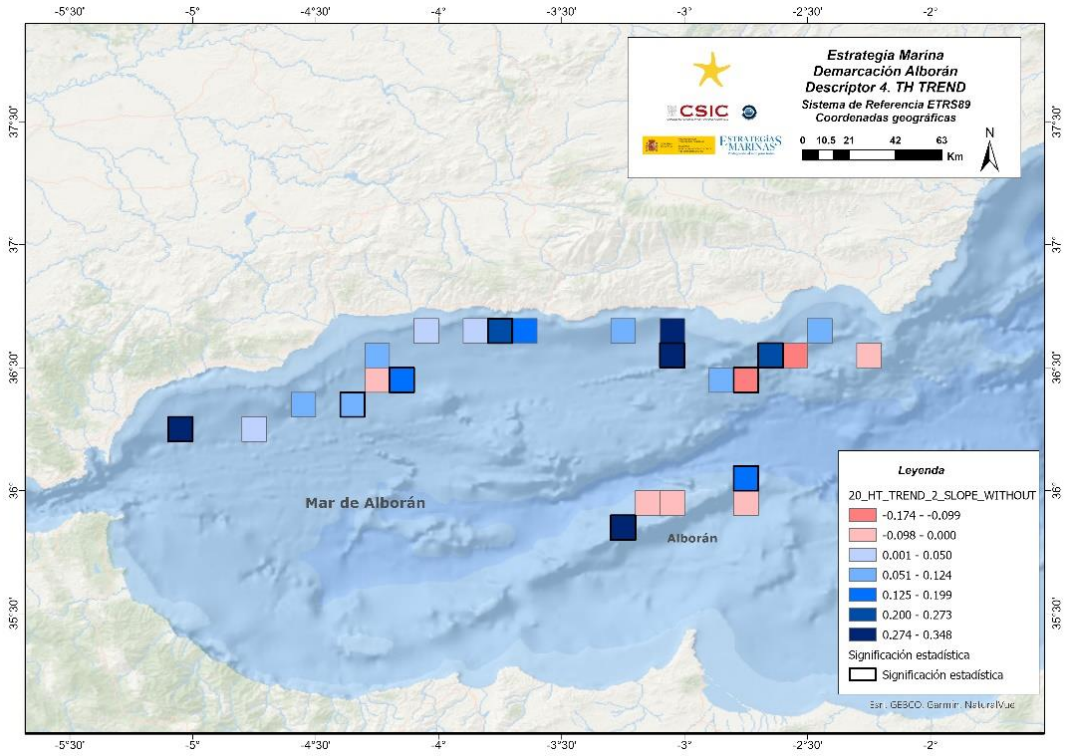


Figura 37. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, sin considerar a las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

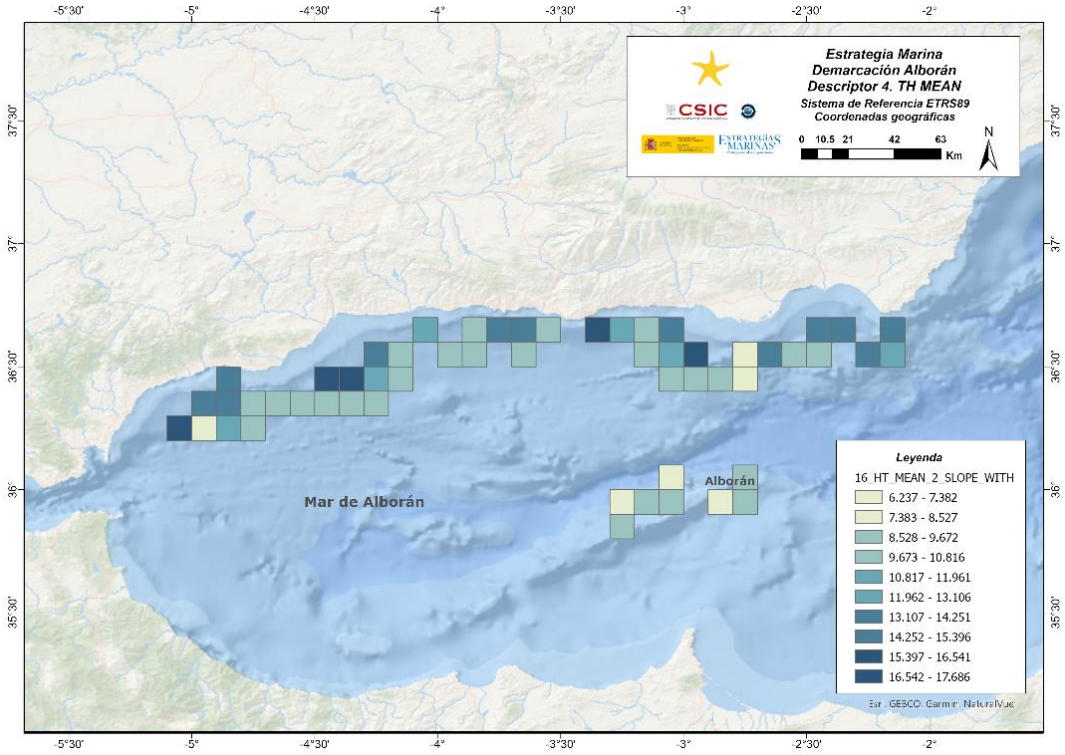


Figura 38. Heterogeneidad Trófica. Valores promedio para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, considerando las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

En lo que se refiere a las tendencias temporales del indicador, no parecen haber diferencias notables según se consideren o no a las especies pelágicas en el análisis. En términos generales, el análisis

temporal indica una recuperación de la riqueza trófica. Sin embargo, sí parece haber diferencias locales a nivel temporal dentro de la misma demarcación. De este modo, el área occidental presenta signos de recuperación del indicador, mientras que las aguas de la Isla de Alborán y la parte más oriental de la demarcación presentan valores más bajos de la riqueza trófica (Figura 39).

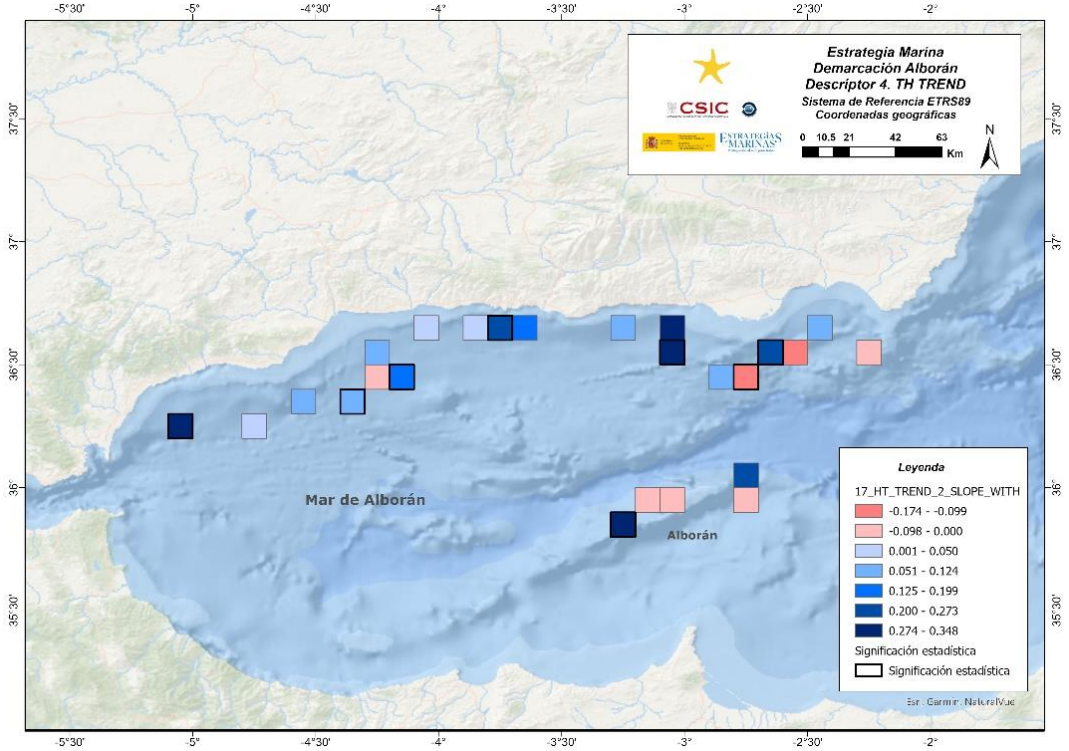


Figura 39. Heterogeneidad Trófica. Tendencia temporal para el escenario correspondiente al nivel trófico 2, considerando las especies pelágicas y para el talud de la demarcación Estrecho y Mar de Alborán. Las celdas enmarcadas en negrita representan tendencias significativas de los modelos.

4.3 CONCLUSIONES DEL INDICADOR RT-HT

Ésta es la primera vez que se estudia este índice trófico y se presenta como indicador para la evaluación del estado de las redes tróficas.La Heterogeneidad Trófica tiene un gran potencial como indicador complementario al MTL y puede resultar muy útil en combinación con el anterior. De este modo, el análisis de las tendencias temporales de este índice puede ayudar a evaluar el grado de afectación de los ecosistemas ante las diferentes presiones a las que estos son sometidos, del mismo modo en cómo se hace con el nivel trófico promedio. No obstante, a diferencia del nivel trófico medio, este indicador no ha sido testado aún como indicador con respuesta a la presión pesquera. Los próximos estudios se centrarán en el uso combinado de ambos indicadores para poder realizar una evaluación más precisa y ayudar a mejorar interpretación de los resultados obtenidos.

El análisis realizado en las demarcaciones mediterráneas, pioneras en el uso de este índice, ha permitido interpretar de una forma mucha más precisa y robusta, qué sucede en nuestros ecosistemas cuando la estructura trófica ve modificado el MTL que le caracteriza, evitando el riesgo de una mala interpretación de los procesos que la están afectando.

Los resultados del indicador cuando se analiza la red trófica en su conjunto, el total de los consumidores (TL ≤2) parecen indicar una recuperación de la heterogeneidad trófica, tanto en las comunidades de plataforma como en el talud.

Sin embargo, esa recuperación de la riqueza trófica ha sido en gran parte debida a la mejora de la base de la red, y, por lo tanto, a la evolución de las especies con un bajo nivel trófico. Por el contrario, los

depredadores más apicales que conforman la parte más alta de esta estructura trófica se han caracterizado por presentar cierta estabilidad durante el periodo de estudio.

DEMARCACIÓN ESTRECHO Y MAR DE ALBORÁN					
Car.	**Escenario**	**Cambio total**	**Tendencia**	**Patrón espacial**	**Zonas de interés**
PLATAFORMA	TL ≥ 4	**-0,22**	RESILIENTE	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en las celdas más alejadas de la costa.	**Isla de Alborán:** Valores de Heterogeneidad elevados. Tendencia temporal positiva **Tendencias**: Positivas en la mitad occidental. Negativas en el sector oriental
	TL ≥ 3.25 SIN PELÁGICOS	**-0,44**	RESILIENTE	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en la mitad occidental de la demarcación	**Tendencias**: Positivas en Fuengirola, Almerimar e Isla de Alborán. Negativas en el centro de la demarcación y oeste de Gata
	TL ≥ 3.25 CON PELÁGICOS	**-1,54*** **	SEÑAL DE ALARMA	Sin patrón espacial evidente	**Tendencias**: Significativamente negativas en toda la demarcación. Valores más negativos en la zona central
	TL ≥ 2 SIN PELÁGICOS	**4,84*** **	SEÑAL DE MEJORA	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en Nerja	**Tendencias**: Significativamente positivas en casi toda la demarcación. **Isla de Alborán:** valores negativos no significativos
	TL ≥ 2 CON PELÁGICOS	**-0,22**	RESILIENTE	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en la zona central de la demarcación	**Tendencias**: Sin un patrón espacial evidente. **Isla de Alborán:** valores negativos no significativos
TALUD	TL ≥ 4	**0,22**	RESILIENTE	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en las celdas más próximas a la costa	**Tendencias**: Valores muy desiguales pero sin un patrón espacial evidente. Falta de tendencia a nivel general
	TL ≥ 3.25 SIN PELÁGICOS	**0,44***	SEÑAL DE MEJORA	Valores homogéneos en toda la demarcación	**Tendencias**: Valores generalmente positivos pero sin un patrón espacial evidente. Falta de tendencia a nivel general. **Isla de Alborán:** valores negativos
	TL ≥ 3.25 CON PELÁGICOS	**0,44***	SEÑAL DE MEJORA	Valores homogéneos en toda la demarcación	**Tendencias**: Valores generalmente positivos pero sin un patrón espacial evidente. Falta de tendencia a nivel general.

DEMARCACIÓN ESTRECHO Y MAR DE ALBORÁN					
Car.	**Escenario**	**Cambio total**	**Tendencia**	**Patrón espacial**	**Zonas de interés**
	TL ≥ 2 SIN PELÁGICOS	**1,98*** **	SEÑAL DE MEJORA	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en las celdas más próximas a la costa.	**Isla de Alborán:** Valores más bajos de la demarcación. **Tendencias:** Sin patrón espacial. Valores más bajos en la mitad oriental
	TL ≥ 2 CON PELÁGICOS	**1,98*** **	SEÑAL DE MEJORA	Sin patrón espacial evidente. Valores más altos en las celdas más próximas a la costa.	**Isla de Alborán:** Valores más bajos de la demarcación. **Tendencias:** Sin patrón espacial. Valores más bajos en la mitad oriental

Tabla 33. Demarcación Estrecho-Alborán: Resumen de la evaluación del indicador con los resultados más relevantes de la aproximación temporal y espacio-temporal.

Los mesopredadores o consumidores intermedios de plataforma han presentado un patrón similar a lo ocurrido con los predadores apicales, a diferencia de lo ocurrido en el talud, donde este nivel trófico ha contribuido positivamente a la recuperación de la heterogeneidad trófica del ecosistema.

En general, salvo en un escenario en el que el comportamiento de los pequeños pelágicos provocaron una caída significativa de la heterogeneidad trófica, se puede hablar de una recuperación de la riqueza trófica en el conjunto de la demarcación, tanto en plataforma como en talud.

Limitaciones y futuras líneas de trabajo para el indicador RT-HT

Esta es la primera vez que se utiliza la Heterogeneidad Trófica (TH), como un índice explicativo de la estructura de las redes tróficas de los ecosistemas. Tal como quedó explicado en el apartado 2.3, la TH se definió como el coeficiente de variación de los niveles tróficos (TLs) dentro de la comunidad, de forma que es calculada a partir del Nivel Trófico Promedio (MTL).

El objetivo fundamental de esta propuesta es la de complementar la información inferida a partir del MTL para mejorar la capacidad de evaluación del estado de salud ambiental de nuestros ecosistemas, minimizando con ello el riesgo de malinterpretación. Esta posibilidad de errar en la evaluación a partir del análisis exclusivo del MTL es un riesgo real que debe ser evitado. Esto es debido a que el MTL es un indicador de posición central, y no aporta información acerca de cómo es la forma de la estructura trófica del ecosistema ni de cómo esta estructura cambia con el tiempo como respuesta a presiones externas.

Este indicador se construye a partir del primero, de forma que se hace necesario definir con la máxima precisión los TLs de las especies involucradas en el estudio. Para ello, esta metodología prevé, como paso previo, obtener información de los TLs de las presas que forman parte de la dieta de estas especies, y lo hace a través del análisis de isótopos del nitrógeno en el músculo de las presas. La interpretación de los resultados del análisis isotópico es compleja y presupone de la definición previa de una línea base que será característica de un determinado entorno.

Por lo tanto, con el fin de mejorar la definición de los TLs de las presases necesario perfeccionar el diseño muestral dirigido a tal fin. Los principales retos de este diseño que permitirán mejorar los resultados y con ello el cálculo de la TH son:

- Identificación de aquellas especies que permitan definir la línea base en cada ambiente (plataforma/talud) y por demarcación/división

- Identificación de patrones espaciales que afecten a la determinación de la línea base (isocapas) en el interior de cada demarcación/división

Estos dos aspectos del diseño son de especial importancia para una correcta determinación de los TLs de las presas, a partir de los cuales se podrá definir adecuadamente los TLs de los depredadores.

Para el trabajo actual se ha definido un TL por especie y demarcación/división y para todo el periodo de estudio. Sin embargo, existen factores que condicionan cambios en los TLs de las especies y que en este trabajo no han sido tenidos en cuenta. Los principales factores son:

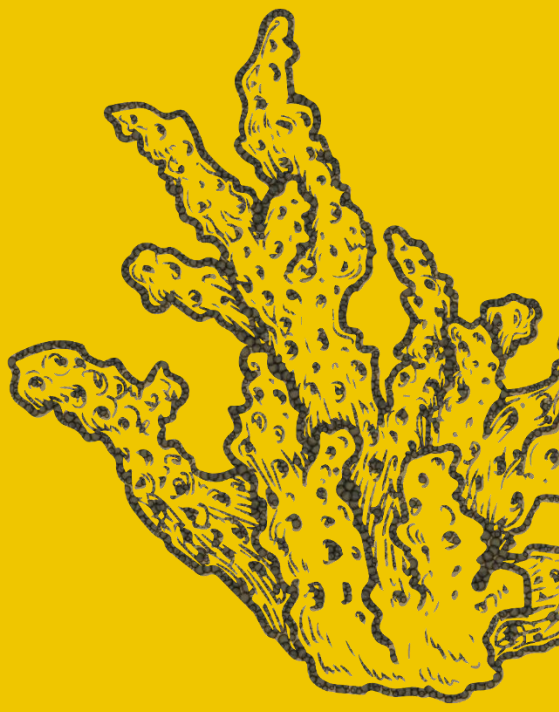
- Espacial: existen diferencias espaciales que condicionan el TL de una especie, fundamentalmente asociados a la profundidad, pero en ocasiones también según un gradiente latitudinal, o simplemente en función del tipo de ambiente y de presas que lo habitan.
- Temporal: en una escala temporal pueden producirse cambios en los ecosistemas que provoquen cambios en la disponibilidad de alimento, la estrategia trófica de las especies, y por lo tanto, en sus TLs.
- Ontogénicos: a lo largo del crecimiento de las especies generalmente se producen cambios en la estrategia trófica, modificándose el tipo y/o tamaño de presas que consumen y su grado de especialización.

Para el futuro, es necesario definir con más precisión los TLs de las especies que intervienen en el estudio, asignando diferentes valores a cada especie en función de un patrón espacial, temporal y considerando cuando sea necesario su talla.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la selección de especies consideradas en el estudio. En la metodología empleada, el número de especies seleccionadas respecto del total oscila entre el 20 y el 25%. Sin embargo, y tal como se puede apreciar en la Figura 3, estas especies representan casi la totalidad de la biomasa del ecosistema. Para el cálculo del MTL, el efecto de las especies excluidas del estudio es prácticamente nulo, ya que este indicador representa un valor medio ponderado por el peso relativo de cada especie (en biomasa). Sin embargo, la TH es una medida de la riqueza trófica, y en este tipo de índices, las especies con menor peso sí pueden representar un papel importante en la definición del indicador. Es necesario por tanto, comprobar cómo afecta la exclusión de estas especies al valor final del indicador.

Una última tarea pendiente es la de testar el indicador frente a las presiones y verificar en qué medida este índice es capaz de responder a las presiones externas, especialmente la pesca. El testado del indicador es un paso fundamental para proponer el uso del mismo como indicador válido del estado de las redes tróficas. La propuesta de un único indicador más complejo basado en la combinación de ambos índices (MTL y TH) es una tarea a realizar en el próximo ciclo.

05



REFERENCIAS

5. 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.

Bundy, A., Shannon, L.J., Rochet, M.-J., Neira, S., Shin, Y.-J., Hill, L., Aydin, K., 2010. The good(ish), the bad and the ugly: a tripartite classification of ecosystem trends. ICES Journal of Marine Science 67, 745–768.

Carafa, R., Dueri, S., Zaldívar, and J.M. 2007. Linking terrestrial and aquatic ecosystems: Complexity, persistence and biodiversity in European food webs. In: EUR 22914 EN, Joint Research Centre.

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 δ15N 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.

Coll, M., Shannon, L.J.; Kleisner, K.M.; Juan-Jordá, M.J.; Bundy, A.; Akoglu, A.G.; Banaru, D.; Boldt, J.L.; Borges, M.F.; Cook, A.; Diallo, I.; Fu, C.; Fox, C.; Gascuel, D.; Gurney, L.J.; Hattab, T.; Heymans, J.J.; Jouffre, D.; Knight, B.R.; Kucukavsar, S.; Large, S.I.; Lynam, C.; Machias, A.; Marshall, K.N.; Masski, H.; Ojaveer, H.; Piroddi, C.; Tam, J.; Thiao, D.; Thiaw, M.; Torres, M.A.; Travers-Trolet, M.; Tsagarakis, K.; Tuck, I.; van der Meeren, G.I.; Yemane, D.; Zador, S.G.; and Shin, Y.-J. 2016. Ecological indicators to capture the effects of fishing on biodiversity and conservation status of marine ecosystems. Ecological Indicators 60, 947–962.

Cury, P.M., Shannon, L.J., Roux, J.P., Daskalov, G.M., Jarre, A., Moloney, C.L., Pauly, D., 2005. Trophodynamic indicators for an ecosystem approach to fisheries. ICES Journal of Marine Science 62, 430–442

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.

Heymans, J.J., Coll, M., Libralato, S., Morissette, L., Christensen, V., 2014. Global patterns in ecological indicators of marine food webs: a modeling approach. PLoS One 9 (4), e95845 10.1371/journal.pone.0095845.

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.

Link, J.S., Yemane, D., Shannon, L.J., Coll, M., Shin, Y.-J., Hill, L., Borges, M.F., 2010. Relating marine ecosystem indicators to fishing and environmental drivers: an elucidation of contrasting responses. ICES Journal of Marine Science 67, 787–795.

McQuatters-Gollop, A., Guérin, L., Arroyo, N.L., Aubert, A., Artigas, L.F., Bedford, J., Corcoran, E., Dierschke, V., Elliot, S.A.M., Geelhoed, S.C.V., Gilles, A., González-Irusta, J.M., Haelters, J., Johansen, M., Le Loc'h, F., Lynam, C.P., Niquil, N., Meakins, B., Mitchell, I., Padegimas, B., Pesch, R., Preciado, I., Rombouts, I., Safi, G., Schmitt, P., Schückel, U., Serrano, A., Stebbing, P., De la Torriente, A., Vina-Herbon, C. 2022. Assessing the state of marine biodiversity in the Northeast Atlantic. Ecological indicators (doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109148)

Moloney, C.L., St John, M.A., Denman, K.L., Karl, D.M., Koster, F.W., Sundby, S., and Wilson, R.P. 2010. Weaving marine food webs from end to end under global change. Journal Of Marine System 84: 106-116.

Morato, T., Watson, R., Pitcher, T.J., and Pauly, D. 2006. Fishing down the deep. Fish 7: 24–34.

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., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., and Torres Jr., F. 1998. Fishing down marine food webs. Science 279: 860 – 863.

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

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/.

Rossberg, A. G., Farnsworth, K. D., Satoh, K., and Pinnegar, J. K. 2011. Universal power-law diet partitioning by marine fish and squid with surprising stability-diversity implications. Proceedings of the Royal Society B 278 (1712): 1617–1625.

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

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

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

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia