



NOISEA

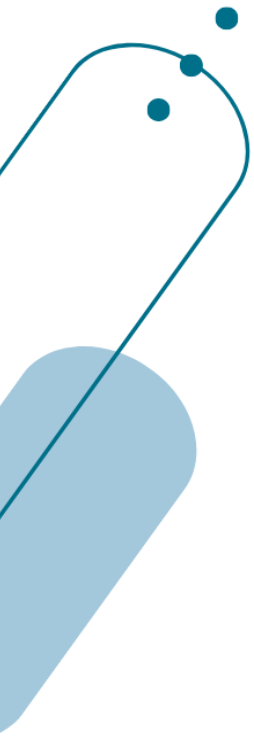
Informe de vigilancia Tecnológica 2024

Análisis integrado de tráfico marítimo, ruido submarino y su efecto sobre la biodiversidad, a través de investigación de sus relaciones y metodologías de mitigación, con aplicación a un demostrador in-situ.

CTN20 AÑOS
CUMPLIMOS

Región  de Murcia

info
REGIÓN
DE MURCIA



Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.



Autores: María Ángeles García, Iván Felis, Amalia Jurado, Karen Alexandra Sosa, Pablo Martínez, Carmen María León

Más información: www.ctnaval.com



**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional**

**“Una manera de
hacer Europa”**

© CTN, 2025

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

Índice

1.	Introducción	4
2.	Metodología.....	6
3.	Estado del arte	8
	3.1 Técnicas para el mapeo del medio marino	8
	3.1.1 Tráfico marítimo.....	8
	3.1.2 Ruido submarino	9
	3.1.3 Biodiversidad.....	11
	3.2 Técnicas para el análisis del impacto sobre la biodiversidad.....	12
	3.2.1 El efecto del ruido submarino sobre la biodiversidad.....	12
	3.2.2 Metodología BACI.....	13
	3.3 Medidas de mitigación de tráfico marítimo.....	14
4.	Tendencias.....	16
	4.1 Literatura Científica	16
	4.1.1 Análisis de tendencias en la literatura	22
	4.2 Proyectos	23
	4.2.1. Análisis de la financiación europea	30

1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, busca mejorar el conocimiento empresarial sobre el entorno para detectar tendencias y desarrollar estrategias más certeras, mediante la captación y divulgación de información estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, con el objetivo de identificar nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Los contenidos están estrechamente relacionados con el desarrollo del proyecto *Análisis integrado de tráfico marítimo, ruido submarino y su efecto sobre la biodiversidad, a través de investigación de sus relaciones y metodologías de mitigación, con aplicación a un demostrador in-situ*. El proyecto ha sido financiado por el Instituto de Fomento de la Región de Murcia y se ha desarrollado en colaboración con la Universidad Politécnica de Milán.

En este proyecto se pretende utilizar técnicas avanzadas de mapeo de tráfico marítimo, ruido submarino y biodiversidad para establecer una relación entre los mapas generados de ruido submarino debido al tráfico marítimo y los mapas de biodiversidad en el Escarpe de Mazarrón. Con ello, se busca comprender el impacto que estas dos variables generan sobre la biodiversidad marina y desarrollar escenarios predictivos mediante la simulación con los propios datos recopilados.

La biodiversidad marina desempeña un papel crucial en la salud de los ecosistemas marinos, así como en los servicios ecosistémicos que sustentan la economía y el bienestar social. Sin embargo, el tráfico marino y el ruido submarino asociado pueden tener efectos negativos en la biodiversidad y alterar los patrones naturales de las especies y los ecosistemas marinos. Por lo tanto, es fundamental comprender la relación entre el tráfico marítimo, el ruido submarino y la biodiversidad para implementar medidas de mitigación efectivas.

Para la ejecución de NOISEA se han empleado técnicas avanzadas de mapeo que permiten la generación de mapas de ruido submarino y biodiversidad.

Se han recopilado datos detallados sobre el tráfico marítimo, utilizando sistemas de monitoreo y sensores especializados para registrar y analizar los niveles de ruido submarino generados por las embarcaciones, además de datos procedentes de fuentes de teledetección como

datos satelitales, temperatura superficial del agua o concentración de clorofila. Del mismo modo, se han realizado estudios de campo para evaluar la biodiversidad presente en zona. Para ello se han recopilado datos sobre las especies marinas y sus patrones de distribución, así como información acerca de los hábitats y la calidad del lecho marino. Estos datos se combinan con los mapas de ruido submarino, y mediante técnicas de análisis espacial y modelado se establece la relación entre el tráfico marítimo y el ruido submarino sobre la flora y fauna.

Una vez establecida la relación, se llevan a cabo simulaciones y escenarios predictivos utilizando los propios datos recopilados. Gracias a ello podemos comprender cómo se relacionan el tráfico marítimo, el ruido submarino y la biodiversidad en la zona y cómo podrían evolucionar en el futuro. Estas simulaciones proporcionarían información muy valiosa para la toma de decisiones en la gestión de área y la implementación de medidas de mitigación. Con base en los resultados obtenidos, se han planteado potenciales medidas de mitigación que ayuden a reducir los impactos negativos del tráfico marítimo y el ruido submarino en la biodiversidad marina. Entre estas medidas destacan la implementación de áreas de restricción de tráfico, la promoción de buenas prácticas de navegación y la adopción de tecnologías más silenciosas en las embarcaciones.

Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones

estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...). Para ello, se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la vigilancia tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación, se realiza un análisis del estado de la técnica, proyectos y literatura científica.

Para ello, se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación, se introduce la Economía Azul como iniciativa europea con el fin de contextualizar los contenidos temáticos del informe. Seguidamente se realiza un análisis del estado de la técnica, proyectos y literatura científica.



Vista aérea del Escarpe de Mazarrón

2. Metodología

La vigilancia tecnológica se entiende como una “forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios”. Su finalidad última es generar ventajas competitivas para la empresa ya que le proporciona datos para:

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos: ¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?



Ilustración 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica

Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta en forma legible por ordenador. Su unidad es el registro –o ficha de un artículo científico o una patente- que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web,

blogs, correos electrónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente de información y conocimiento para las empresas..

Tras la selección de las palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste.

Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos. El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A partir de aquí, la aportación de los expertos es crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido.

A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.



Ilustración 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica

3. Estado del arte

3.1 Técnicas para el mapeo del medio marino

3.1.1 Tráfico Marítimo

Según, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Transporte (UNCTAD), entorno al 80% del comercio mundial se transporta por vía marítima. Además, la UNCTAD prevé un incremento del 2,1% por año durante el periodo de 2023-2027¹.

El creciente número de embarcaciones en el mar ha hecho necesario el uso de herramientas para el mapeo del tráfico marítimo, mejorando la seguridad, gestión, optimización de rutas y protección ambiental. Para ello, se emplean radares marítimos, satélites, GPS y sistemas de videovigilancia. Sin embargo, el método más utilizado es el AIS (Automatic Identification System), que rastrea barcos mediante transpondedores que emiten datos en tiempo real. Existen fuentes de datos AIS públicas y gratuitas que facilitan el acceso a datos de tráfico marítimo en tiempo real como MarineTraffic, FleetMoon, MyShipTracking y VesselFinder, así como opciones privadas y de pago como Shiplocus y AISLive.

El aumento del tráfico marítimo impacta el medio marino, especialmente por el ruido submarino. Un estudio de 2021 de MacGillivray y de Jong² analizó el ruido de diferentes embarcaciones, encontrando que los barcos grandes generan niveles más altos (hasta 180 dB re 1 μ Pa) en frecuencias elevadas, mientras que los pequeños lo hacen en frecuencias bajas (100-300 Hz). La preocupación por este impacto surgió en los años 90 debido a varamientos de mamíferos marinos causados por sonares militares³. Aunque el ruido del tráfico marítimo no es tan intenso como el de esos sonares, su efecto acumulativo es significativo debido a la gran cantidad de embarcaciones en operación constante.

¹ C., Bragunde, "La reconfiguración de la geografía del comercio y la cadena de suministro: consecuencias para el comercio, las cadenas globales de valor y el transporte marítimo," (2022) [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/totalenergy/world-energy-intensity-gdp-data.html>

² A., MacGillivray, & C., de Jong, A reference spectrum model for estimating source levels of marine shipping based on Automated Identification System data. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 369 (2021)

³ T., Johansson, et al., Underwater noise from fairways—policies, incentives, and measures to reduce the environmental impact (2023)

Es debido a todo esto que es importante poder mapear no solo el tráfico, sino el ruido que este trae consigo. Los métodos más usados son las campañas fijas, en las que se despliegan hidrófonos durante un largo periodo de tiempo y se recopilan datos sonoros, para así poder obtener los valores de SPL (Sound Pressure Level). Estas campañas se suelen combinar con modelizaciones de ruido, para poder comprender como se propaga el ruido emitido por una fuente en un punto dado en toda un área seleccionada. Actualmente hay varios modelos, que se podrían dividir en:

- **Modelos estimadores de pérdidas de transmisión:** combinan parámetros relativos a la fuente con parámetros del área, como pueden ser las propiedades geoacústicas del lecho, la batimetría y el perfil de velocidad del sonido. Suelen proporcionar resultados más realistas a pesar de ser computacionalmente costosos. Los más conocidos son Bellhop, Kraken y MMPE⁴.
- **Modelos estimadores de pérdidas de transmisión analíticos:** modelos más sencillos, como el modelo esférico o cilíndrico, que proporcionan resultados menos precisos debido a que apenas tienen en cuenta parámetros externos.
- **Modelos de nivel de fuente de embarcaciones:** actualmente, hay ciertos modelos, como el modelo RANDI⁵, el cual es capaz de simular una embarcación como una fuente de ruido y estimar su nivel de fuente, que no es más que el SPL a 1 metro de la fuente. Este modelo solo usa parámetros relativos al propio barco, como puede ser la frecuencia, la velocidad y la longitud de este.



3.1.2 Ruido submarino

La medición del ruido submarino es crucial para evaluar su impacto en la vida marina, ya que afecta el comportamiento, la comunicación y la salud de los organismos marinos. Monitorizar y mapear este ruido permite mitigar sus efectos y proteger los ecosistemas. Existen diversos proyectos dedicados a esta tarea (BIAS, JONAS), aunque la tecnología utilizada enfrenta desafíos como costos y durabilidad. A pesar de ello, hay enfoques bien establecidos para monitorear tanto el ruido de actividades humanas como el de origen natural (HARMONISE, AQUO, Soundscape, LIDO). Los instrumentos comúnmente utilizados son los siguientes:

⁴ K. B. Smith, et al., NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA Correction to attenuation treatment in the MontereyMiami Parabolic Equation Model, (2007)

⁵ J. E. Breeding, et al., *Research Ambient Noise Directionality (RANDI) 3.1 Physics Description*, (1996)

- **Hidrófonos:** los hidrófonos son micrófonos diseñados específicamente para detectar y medir sonidos submarinos. Estos dispositivos se pueden desplegar a diversas profundidades para capturar datos sobre el ruido. Los hidrófonos proporcionan información detallada sobre la frecuencia, intensidad y direccionalidad del ruido submarino.
- **Vehículos Submarinos Autónomos (AUVs):** los AUVs equipados con hidrófonos se pueden desplegar para recopilar datos acústicos submarinos en áreas extensas. Estos vehículos pueden programarse para seguir rutas de sondeo específicas y registrar mediciones de ruido a diferentes profundidades y ubicaciones. Los AUVs ofrecen la ventaja de la autonomía y flexibilidad en la recopilación de datos.
- **Estaciones de Monitoreo Fijas:** establecer estaciones de monitoreo fijas en ubicaciones submarinas permite mediciones continuas del ruido submarino. Estas estaciones constan de hidrófonos conectados a sistemas de registro de datos. Son útiles para el monitoreo a largo plazo y el estudio de las tendencias de ruido en áreas específicas.
- **Arreglos de Hidrófonos Remolcados:** este método consiste en arrastrar una serie de hidrófonos detrás de un barco o embarcación. Permite mapear la propagación del ruido a lo largo de una ruta o en una región particular. Esta técnica es útil para capturar datos acústicos en un área espacialmente extensa.
- **Monitoreo Acústico Pasivo (PAM):** el PAM implica desplegar hidrófonos o arreglos de hidrófonos para registrar el ruido submarino durante períodos prolongados. Los sistemas de PAM se utilizan a menudo en investigaciones marinas, el monitoreo de poblaciones de mamíferos marinos o el estudio de ecosistemas submarinos. Proporcionan datos valiosos sobre el ruido ambiental y fuentes de ruido específicas.

Además de las herramientas más usadas para obtener valores de presión sonora en ciertos puntos, se puede usar modelos de propagación acústica asociados a datos de fuentes de ruido para poder estimar los niveles de ruido submarino que habrá en el área seleccionado.

Todas estas herramientas de monitoreo del ruido submarino son clave para evaluar su impacto en la biodiversidad y proteger la vida marina. También la monitorización satelital contribuye al análisis del ruido, principalmente mediante el monitoreo de fuentes de ruido antropogénico y proporcionando datos adicionales sobre parámetros que afectan la propagación del sonido en el agua.

La combinación de modelos acústicos y dinámicos oceánicos mejora la identificación de fuentes de ruido y la estimación de niveles de contaminación acústica. Se han implementado diversos algoritmos, desde análisis estadísticos hasta modelos de propagación, y la IA podría optimizar estos procesos y proporcionar información más precisa sobre los datos adquiridos para refinar los resultados.

Cabe destacar que las tecnologías y técnicas mencionadas anteriormente se han implementado o aplicado a una gran cantidad de datos acústicos de diferentes proyectos de la UE y bases de datos existentes. Concretamente, se han identificado más de 40 bases de datos, algunas de las cuales contienen más de 3 TB de datos acústicos.

3.1.3 Biodiversidad

La teledetección es un enfoque prometedor para estimar la biodiversidad, ya que facilita la recopilación de datos sin necesidad de mediciones in situ. Permite mapear ecosistemas con alta resolución espacial y temporal, analizar sus componentes bióticos y abióticos, y monitorear cambios a lo largo del tiempo. Se trata de una colección de métodos que proporciona una cobertura sinóptica repetida de los ecosistemas a múltiples escalas y con vínculos entre la información a nivel de especie, como la distribución y la riqueza, y entre la información regional y mundial, incluida la productividad primaria, el ciclo de los nutrientes y el cambio climático⁶.

En 2014, la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF) y la Oficina de Gestión de los Océanos y la Energía (BOEM) aunaron recursos en el marco del Programa Nacional de Cooperación Oceánica (NOPP) para poner en marcha una red piloto de observación de la biodiversidad marina (MBON). El objetivo era establecer un modelo de observación escalable y transferible para detectar la biodiversidad y la variabilidad del hábitat marino con aplicación directa a la gestión de recursos y la toma de decisiones⁷.

La monitorización manual es costosa, limitada y sesgada hacia áreas accesibles, por lo que está siendo complementada o reemplazada por métodos automatizados y de teledetección. Estas técnicas no invasivas permiten un seguimiento más rentable y preciso de ecosistemas impactados y restaurados a escalas espaciales y temporales más relevantes⁸. La teledetección se ha adoptado ampliamente para analizar factores bióticos y abióticos, de forma directa e indirecta. La iniciativa GAIA utiliza inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar la resolución de imágenes satelitales y colabora con diversos sectores en la monitorización de la biodiversidad, especialmente en la distribución de mamíferos marinos⁹.

Además, los modelos de aprendizaje automático mejoran la información sobre biodiversidad al identificar patrones complejos entre sus indicadores. También pueden integrar datos oceánicos, como estratificación y profundidad de la capa mixta, mediante asimilación de datos satelitales, aumentando su precisión. Gracias a la teledetección, estos modelos pueden servir como herramientas predictivas o de apoyo en tiempo real. Los datos de respuesta de las especies vienen en diferentes formas (por ejemplo, presencia/ausencia o abundancia) y proceden de estudios de comportamiento, biología, acústica, datos de pesca o telemetría animal.

En cuanto a los datos existentes, se han identificado varios portales marinos relacionados con la distribución de especies y la visualización del entorno (Global Marine Dataset, Coral Reef Watch Satellite Monitoring de NOAA y eMODnet), así como información biofísica para la evaluación de la calidad del agua (GMIS, EMIS, Observación de la Tierra y Exploración Oceánica

⁶ A. K., Skidmore, et al., *Priority list of biodiversity metrics to observe from space*. Nature ecology & evolution, 5(7), 896-906 (2021)

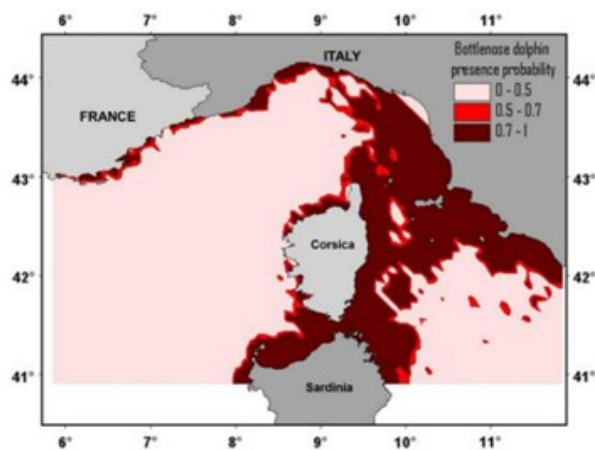
⁷ M. T., Kavanaugh, et al., *Satellite remote sensing and the marine biodiversity observation network*. Oceanography, 34(2), 62-79 (2021)

⁸ P. J., Clarke, et al., *Cetacean strandings from space: challenges and opportunities of very high resolution satellites for the remote monitoring of cetacean mass strandings*. Frontiers in Marine Science, 1448 (2021)

⁹ C. B., Khan, et al., *A biologist's guide to the galaxy: Leveraging artificial intelligence and very high-resolution satellite imagery to monitor marine mammals from space*. Journal of Marine Science and Engineering, 11(3), 595 (2023)

de la NASA, etc.). Un ejemplo de esto es que se han utilizado modelos de seguimiento por satélite, sobre todo de zooplancton y especies invasoras. La extensión espacial del krill, una importante fuente de alimento para muchos mamíferos marinos y aves marinas se predijo en un modelo de distribución de especies utilizando la profundidad, la temperatura superficial, la Chl-a y los índices de afloramiento (incluyendo transporte de nutrientes y altura de la superficie del mar)¹⁰.

Sumado a las diversas técnicas avanzadas de mapeo de la biodiversidad, se suelen usar modelos estadísticos para obtener información relevante acerca de parámetros relacionados con la biodiversidad, como, por ejemplo, la probabilidad de hábitat de diversas especies.



Un ejemplo de estos sería el modelo que POLIMI desarrolló¹¹ en 2012 para obtener la probabilidad de hábitat de cetáceos en el Santuario de Pelagos (Noroeste del Mediterráneo) y que CTN implementó y usó en el proyecto QuietMED2. Estos modelos suelen usar datos de avistamientos durante un periodo largo, además de parámetros del área a analizar, como la batimetría, y son capaces de devolver mapas de probabilidad de hábitat para cada especie.

Un ejemplo adicional de modelos comúnmente utilizados son los modelos para la detección de clics de cetáceos. Un caso destacado es el de los desarrollados por CTN en el marco del proyecto NeXOS. Estos modelos, basados en algoritmos PAMGUARD, han sido implementados en proyectos acústicos como BitBlue

3.2 Técnicas para el análisis del impacto sobre la biodiversidad

3.2.1 El efecto del ruido submarino sobre la biodiversidad

La biodiversidad es clave para la salud de los ecosistemas, afectando su resistencia, productividad e interacciones, lo que influye en los servicios ecosistémicos que sustentan la economía y el bienestar humano. Actualmente, se investiga el impacto del ruido submarino en las especies marinas y se implementan medidas como la reducción del ruido humano y la creación de áreas marinas protegidas. Sin embargo, la vulnerabilidad a la contaminación acústica varía según la especie, su sensibilidad auditiva y el nivel de ruido de fondo, por lo que es crucial medir estos factores para evaluar los efectos del ruido en la vida marina.

El ruido submarino generado por los buques generalmente es de frecuencia relativamente

¹⁰ M. A., Cimino, et al. *Essential krill species habitat resolved by seasonal upwelling and ocean circulation models within the large marine ecosystem of the California Current System*. *Ecography*, 43(10), 1536-1549 (2020)

¹¹ A. Azzellino, et al. *Predictive habitat models for managing marine areas: Spatial and temporal distribution of marine mammals within the Pelagos Sanctuary (Northwestern Mediterranean Sea)*. *Ocean Coast Manag.*, vol. 67, pp. 63-74 (2012)



baja, normalmente inferior a 1000 Hz, aunque puede oscilar desde 10 Hz a 10 000 Hz o más. Esto se corresponde con el rango de audición de una amplia gama de organismos, incluyendo mamíferos, peces e invertebrados. Por otro lado, los sonidos de alta frecuencia, como los de sonares y ecosondas, afectan principalmente a los mamíferos, como las marsopas y las focas.

En general, los peces principalmente perciben sonidos de baja frecuencia, por debajo de los 500 Hz, y a veces incluso hasta algunos miles de Hz. Además, los peces pueden detectar estas frecuencias mejor que los mamíferos marinos. Se ha observado que al menos 66 especies de peces se ven afectadas de manera evidente por el ruido submarino, lo que altera la morfología de algunas especies, provoca estrés y modifica los hábitos de alimentación y comportamiento¹².

Los mamíferos marinos tienen rangos auditivos más amplios. Estos perciben la presión sonora, mientras que todas las especies de peces estudiadas pueden percibir el sonido a través del movimiento o vibración de partículas, ya sea a través del oído interno o de la línea lateral. Algunas especies de peces también la pueden percibir a través de la vejiga natatoria. Sin embargo, existe una falta de estudios sobre el umbral de audición en muchas especies marinas, y la mayoría de los estudios informan sólo sobre la presión sonora.

En cuanto a los invertebrados marinos, se ha examinado la capacidad auditiva en relativamente pocas especies, al menos en 36. Aún se sabe relativamente poco sobre cómo perciben el sonido los invertebrados, ya que las distintas especies muestran una variedad de órganos sensoriales y receptores hidrodinámicos capaces de detectar el movimiento de partículas. Además, pulpos, crustáceos, equinodermos y mejillones poseen órganos estatocistos similares a oídos, aunque recientemente se ha cuestionado su función en la detección de sonidos¹³. Algunos invertebrados también pueden producir y utilizar sonidos y vibraciones para comunicarse con otros individuos¹⁴. Por lo tanto, incluso los animales que no pueden oír sonidos de manera clásica pueden detectar y/o ser perturbados por el ruido.

3.2.2 Metodología BACI

Los efectos de la contaminación acústica se interpretan por mapas centrándose como objetivo en la biodiversidad, y el monitoreo se diseña siguiendo un enfoque Before-After-Control-Impact (BACI) para evaluar tanto el impacto de la contaminación como el control de la variabilidad ambiental. El diseño de los estudios de impacto suele constar de tres fases: (a) muestreo antes del impacto, (b) uso de herramientas de control y (c) asignación aleatoria de sitios

¹² L. Weilgart, The impact of ocean noise pollution on fish and invertebrates. Report for OceanCare, Switzerland (2018)

¹³ Y., Jézéquel, et al., Potential for acoustic masking due to shipping noise in the European lobster (*Homarus gammarus*). Marine Pollution Bulletin, 173, 112934 (2021)

¹⁴ E. R., Staaterman, et al., Rumbling in the benthos: acoustic ecology of the California mantis shrimp *Hemisquilla californiensis*. Aquatic Biology, 13(2), 97-105 (2011)

de muestreo independientes para cada control. La adición de sitios de control a los diseños Before y After (BA) da lugar a los diseños Before-After-Control-Impact (BACI), donde se compara la diferencia promedio entre los sitios de control y los sitios de impacto antes y después de un impacto. Además, las zonas de estudio se caracterizan en términos de probabilidad de hábitat de diferentes especies, evaluación de biodiversidad y servicios ecosistémicos y su clasificación.

Para complementar los datos ambientales disponibles, también se recopila información mediante teledetección sobre la productividad primaria y la temperatura de la superficie del mar, así como todos los mapas de ruido disponibles que se han generado anteriormente.

En cuanto al análisis, la integración del conjunto de datos completo nos permite evaluar de manera más efectiva el impacto potencial del ruido en la biodiversidad. Al examinar las correlaciones entre los niveles de ruido y diversos indicadores ecológicos podemos obtener conocimientos valiosos sobre las consecuencias de las perturbaciones acústicas. A través de análisis estadísticos y técnicas de modelado, podremos controlar los posibles factores de confusión y dilucidar las conexiones entre los niveles de ruido y los indicadores ecológicos, mejorando nuestra comprensión de cómo el ruido puede afectar potencialmente a las poblaciones de peces, así como a la salud general y composición del ecosistema.

3.3 Medidas de mitigación de tráfico marítimo

El ruido submarino y su impacto negativo en la vida marina es una preocupación ambiental creciente donde en la última década han ido aumentando los estudios científicos, pero escasean las medidas paliativas debido a su complejidad. La contaminación acústica submarina ha sido reconocida como un factor de impacto urgente para la biodiversidad marina en la última década, y está incluida en documentos de referencia clave, como la MSFD, evaluada por su Grupo Técnico de la UE sobre Ruido Submarino (EU TG-Noise), y considerada un tema de I+D en diferentes estrategias y convocatorias de la UE (por ejemplo, la Misión Starfish 2030 de la UE: Restaurar nuestros océanos y aguas). Gracias a ello, los resultados obtenidos en varios proyectos europeos (IQUOE) e internacionales¹⁵ (ECHOProgram) han servido para definir las primeras directrices para mitigar su impacto. A pesar de ello, este impacto conductor sigue siendo reconocido como una laguna de conocimiento prioritaria en el Plan de Aplicación del Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible¹⁶.

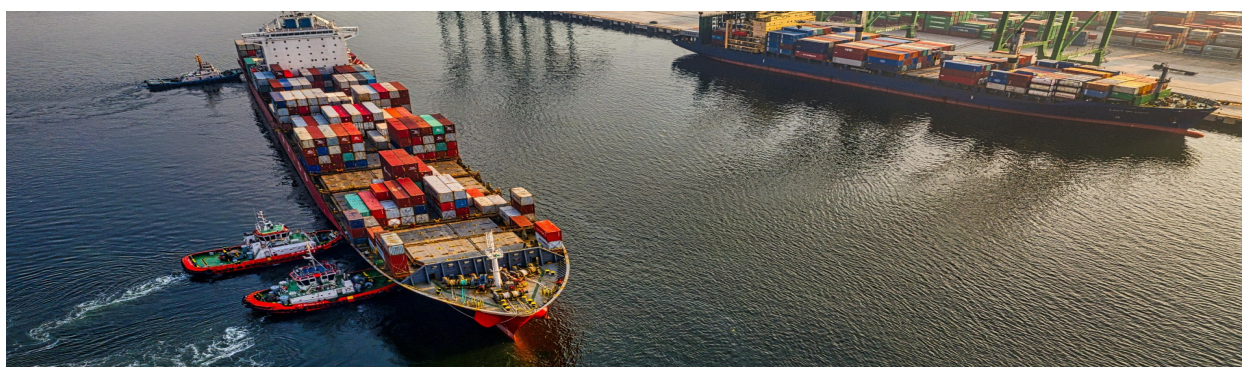
Las medidas de mitigación del ruido submarino se han centrado en adaptar las actividades humanas, pero es crucial integrar el conocimiento científico para una gestión holística de las regiones marinas de la UE. Esto permitirá una mejor adaptación a futuros escenarios climáticos, donde el impacto combinado del ruido y el cambio climático será clave tanto para la actividad humana como para los ecosistemas.

¹⁵ "Ocean noise and Soundscape Projects | NOAA Fisheries" <https://www.fisheries.noaa.gov/new-england-mid-atlantic/ocean-noise-and-soundscape-projects>.

¹⁶ F., Thomsen, et al., Addressing underwater noise in Europe: Current state of knowledge and future priorities (2021)

La eficacia de las medidas contra la contaminación acústica submarina depende de factores ambientales, geomorfología, batimetría y tráfico marítimo. Además, el tráfico varía según factores económicos y estacionales. Reducir la velocidad de las embarcaciones como medida de mitigación puede ser contraproducente, ya que los motores de alta velocidad no están diseñados para operar a bajas velocidades, lo que podría generar ruido adicional¹⁷.

Las mediciones oportunistas del ruido submarino de los buques se han utilizado para desarrollar modelos de predicción del ruido de los buques, útiles para identificar las áreas más afectadas por el ruido submarino y priorizar las acciones de mitigación. Al comprender los patrones de distribución espacial del ruido, las autoridades y los planificadores pueden tomar decisiones informadas sobre la implementación de zonas de restricción o medidas específicas para reducir el impacto del ruido en áreas sensibles¹⁸.



¹⁷ M., Lajaunie, et al., *Large-Scale Simulation of a Shipping Speed Limitation Measure in the Western Mediterranean Sea: Effects on Underwater Noise*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 251 (2023)

¹⁸ T., Johansson, et al., *Underwater noise from fairways—policies, incentives and measures to reduce the environmental impact* (2023)

4. Tendencias

4.1 Literatura Científica

1 A reference spectrum model for estimating source levels of marine shipping based on automated identification system data

Autor(s): Alexander MacGillivray, Christ de Jong

Publicado en: Journal of Marine Science and Engineering, 9(4), 369 (2021).

DOI: 10.3390/jmse9040369

Abstract: Underwater sound mapping is increasingly being used as a tool for monitoring and managing noise pollution from shipping in the marine environment. Sound maps typically rely on tracking data from the Automated Information System (AIS), but information available from AIS...

2 Underwater noise from fairways -policies, incentives and measures to reduce the environmental impact

Autor(s): Torbjörn Johansson, Sara Sköld, Carl Andersson, Anna-Sara Krång

DOI: 10.13140/RG.2.2.17607.47527

Abstract: This report provides a thorough review of ship underwater noise (URN), including its sources, levels, measurement, regulation and mitigation. It also discusses six different ways of implementing a financial incentive for reducing ship URN...

3 Correction to attenuation treatment in the Monterey-Miami parabolic equation model

Autor(s): Kevin B Smith, Michael A. Wolfson

Abstract: In the early 90's, a numerical code known as the University of Miami Parabolic Equation (UMPE) Model was documented and made available to the general research community...

4 Research ambient noise directionally (RANDI) 3.1 Physics description

Autor(s): Breeding, J. E., Jr.; Pflug, Lisa A.; Bradley, Marshall; Walrod, Melanie H.

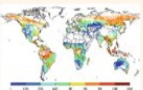


Abstract: A description is presented of the physics behind the Research Ambient Noise Directionality RANDI model version 3.1. The RANDI 3.1 model can be used to predict ambient acoustical noise levels and directionalities at low to midfrequencies...

5 Priority list of biodiversity metrics to observe from space

Autor(s): Andrew K. Skidmore, Nicholas C. Coops, et. al.

Publicado en: Nature Ecology & Evolution 5, 896- (2021)

Abstract: Monitoring global biodiversity from space through remotely sensing geospatial patterns has high potential to add to our knowledge acquired by field observation...

Remote sensing product		Relevance	Feasibility	Accuracy	Maturity	Ranking factor	Ranking across all EBV classes	Explanation
Biological effects of fire disturbance ($gC m^{-2}$)		1	1	1	1	1	1	Highly relevant data layer widely used for protected area and land management, as well as informing about biodiversity for national and international reporting. Data are available in virtually real time. The data are accurate and the technology is mature.
Land cover		1	1	1.5	1	1	5	Highly relevant data layer widely used for ecological research and management, as well as monitoring biodiversity for national and international reporting. Data are available in virtually real time. The technology is mature but cover classes are subjective (for example, 'define forest').
FAPAR		2	1	2	1	1	11	Interpreting FAPAR remains challenging for many managers and ecologists as its use as a biodiversity indicator is not fully established. Data are available in virtually real time. The technology is mature but calibration and validation of global FAPAR over time requires more in situ data.

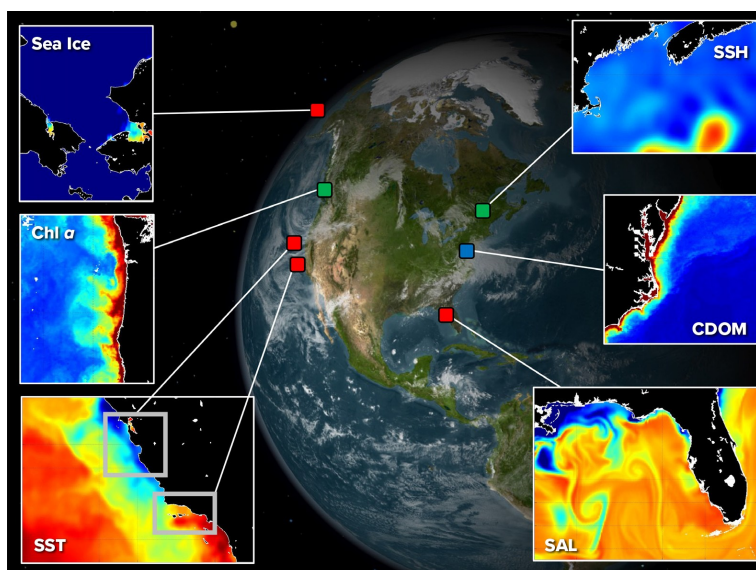
6 Satellite remote sensing and the marine biodiversity observation network: current science and future steps

Autor(s): Maria T. Kavanaugh, Tom Bell, et. al.

Publicado en: Oceanography, 34(2), 62-79(2021)

DOI: 10.5670/oceanog.2021.215

Abstract: Coastal ecosystems are rapidly changing due to human-caused global warming, rising sea level, changing circulation patterns, sea ice loss, and acidification that in turn alter the productivity and composition of marine biological...



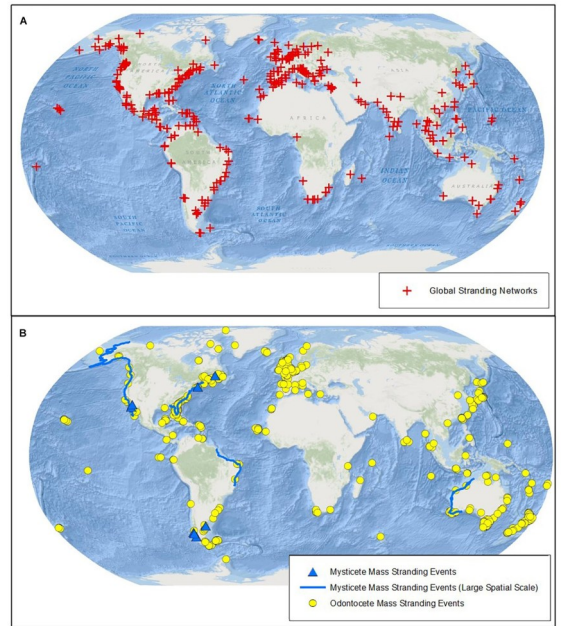
7 Cetaceans strandings from space: Challenges and opportunities of very high resolution for the remote monitoring of cetaceans mass strandings

Autor(s): Penny J. Clarke, Hanna S. Cubayness, et. al.

Publicado en: *Frontiers in Marine Science*, 1448(8), (2021)

DOI: 10.3389/fmars.2021.650735

Abstract: The study of cetacean strandings was globally recognised as a priority topic at the 2019 World Marine Mammal Conference, in recognition of its importance for understanding the threats to cetacean communities...



8 A biologist's guide to the galaxy: leveraging artificial intelligence and very high-resolution satellite imagery to monitor marine mammals from space

Autor(s): Christin B. Khan, Kimberly T. Goetz, et. al.

Publicado en: *Marine Science Engineering*, 11(3), 595(2023).

DOI: 10.3390/jmse11030595

Abstract: Monitoring marine mammals is of broad interest to governments and individuals around the globe. Very high-resolution (VHR) satellites hold the promise of reaching remote and challenging locations to fill gaps...

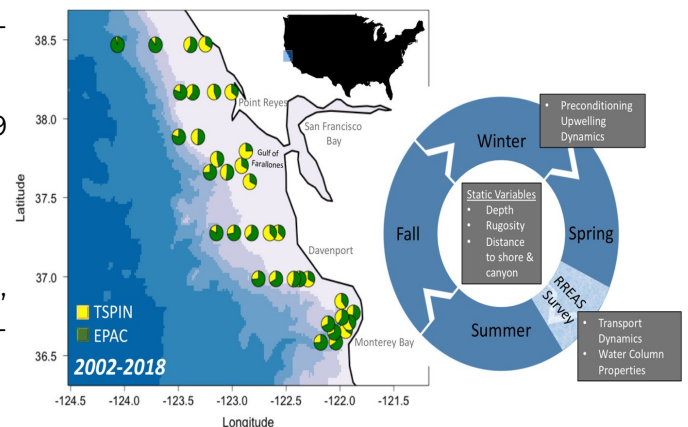
9 Essential krill species habitat resolved by seasonal upwelling and ocean circulation models within the large marine ecosystem of the California current system

Autor(s): Megan A. Cimino, Jarrod A. Santora, et. al.

Publicado en: *Ecography*, 43(10), 1536-1549 (2020)

DOI: 10.1111/ecog.05204

Abstract: Due to their global distribution, high biomass and energy content, euphausiids (krill)...



10 Predictive habitat models for managing marine areas: spatial and temporal distribution of marine mammals within the Pelagos Sanctuary (Northwestern Mediterranean sea)

Autor(s): A. Azzellino, S. Panigada, et. al.

Publicado en: Ocean & Coastal Management, vol. 67, pp. 63–74 (2012)

DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.05.024

Abstract: Habitat use of seven different species of cetaceans inhabiting the Pelagos Sanctuary was studied using 18-year summer shipboard surveys data, in an area of approximately 25,000 km²...

11 Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes

Autor(s): Patricia Miloslavich, Nicholas J. Bax, et. al.

Publicado en: Global Change Biology, 24(6), 2416-2433 (2018)

DOI: 10.1111/gcb.14108

Abstract: Sustained observations of marine biodiversity and ecosystems focused on specific conservation and management problems are needed around the world to effectively mitigate or manage changes resulting from anthropogenic pressures...

12 The soundscape of the Anthropocene ocean

Autor(s): Carlos M. Duarte, Lucille Chapuis, et. al.

Publicado en: Science, 371(6529) (2021)

DOI: 10.1126/science.aba4658

Abstract: Sound travels faster and farther in water than in air. Over evolutionary time, many marine organisms have come to rely on sound production, transmission, and reception for key aspects of their lives...

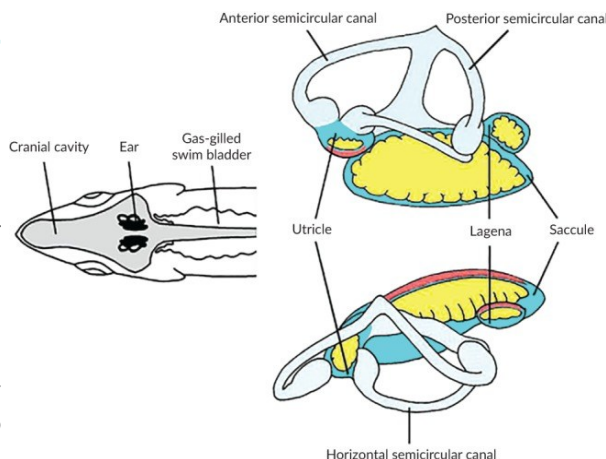
13 An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes

Autor(s): Arthur N. Popper, Anthony D. Hawkins

Publicado en: Journal of fish biology, 94(5), 692-713 (2019)

DOI: 10.1111/jfb.13948

Abstract: Fishes use a variety of sensory systems to learn about their environments and to communicate...



14 The impact of ocean noise pollution on fish and invertebrates

Autor(s): Lindy Weilgart

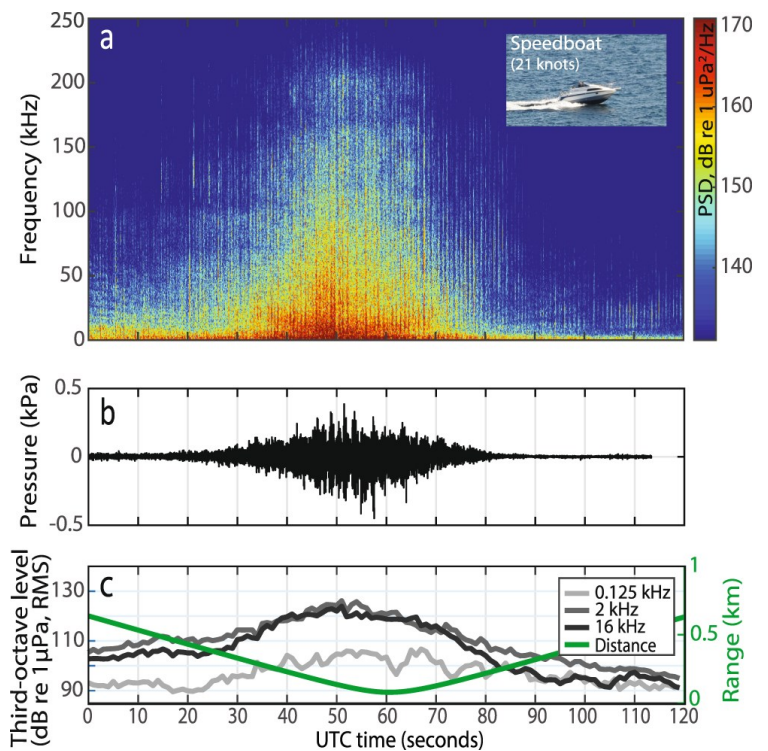
Abstract: Most fish and invertebrates use sound for vital life functions. This review of 115 primary studies encompasses various human-produced underwater noise sources, 66 species of fish and 36 species of invertebrates.

15 Recreational vessels without automatic identification system (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape

Autor(s): Line Hermanssen, Lonnie Mikkelsen, et. al.

Publicado en: Scientific reports, 9 (1), 1-10 (2019)

Abstract: Recreational boating is an increasing activity in coastal areas and its spatiotemporal overlap with key habitats of marine species pose a risk for negative noise impacts...



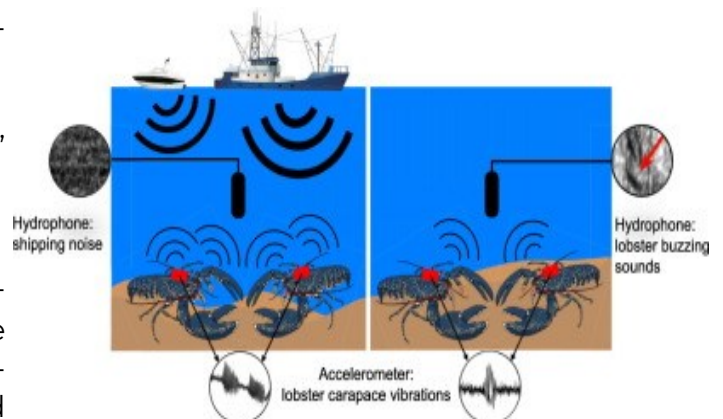
16 Potential for acoustic masking due to shipping noise in the European lobster (Homarus gammarus)

Autor(s): Youenn Jézéquel, Julien Bonnel, Laurent Chauvaud

Publicado en: Marine Pollution Bulletin, 173, 112934 (2021)

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112934

Abstract: Marine traffic is the most pervasive underwater anthropogenic noise pollution which can mask acoustic communication in marine mammals and fish, but its effect in marine invertebrates remains unknown...



17 **Rumbling in the benthos: acoustic ecology of the California mantis shrimp *Hemiquilla californiensis***

Autor(s): E. R. Staaterman, C. W. Clark, A. J. Gallaghe, M. S. deVries, T. Claverie, S. N. Patek

Publicado en: Aquatic Biology, 13(2), 97-105 (2011)

DOI: 10.3354/ab00361

Abstract: Although much research has focused on acoustic mapping and exploration of the benthic environment, little is known about the acoustic ecology of benthic organisms, particularly benthic crustaceans...

18 **Addressing underwater noise in Europe: current state of knowledge and future priorities**

Abstract: Anthropogenic underwater noise impacts have become a hot topic for environmental managers and regulators in Europe and beyond. Sounds from human activity at sea include shipping and other marine craft, construction and installations, sonar and seismic surveys...

19 **Large-scale simulation of a shipping speed limitation measure in the western mediterranean sea: effects on underwater noise**

Autor(s): Myriam Lajaunie, Benjamin Ollivier, Laura Ceyrac, David Dellong, Florent Le Courtois

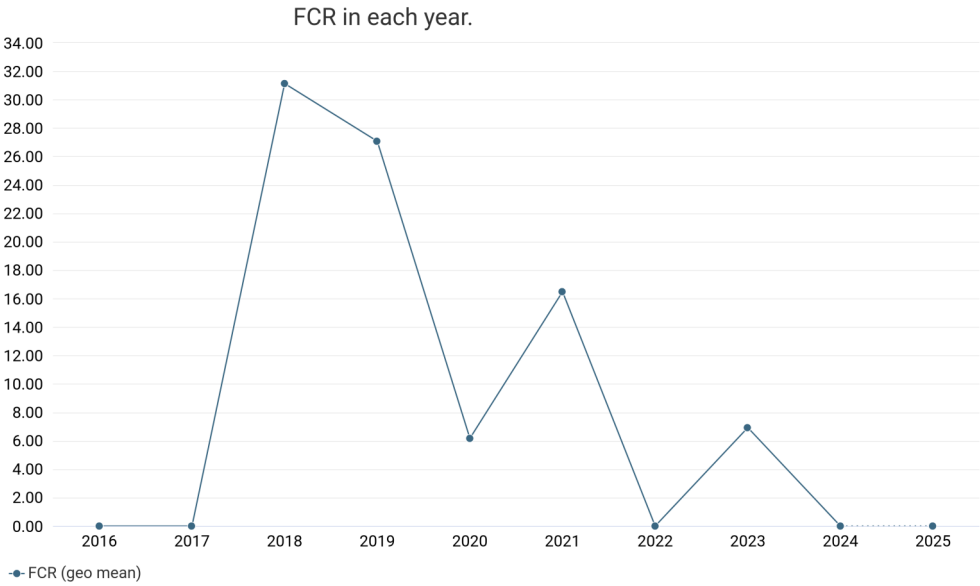
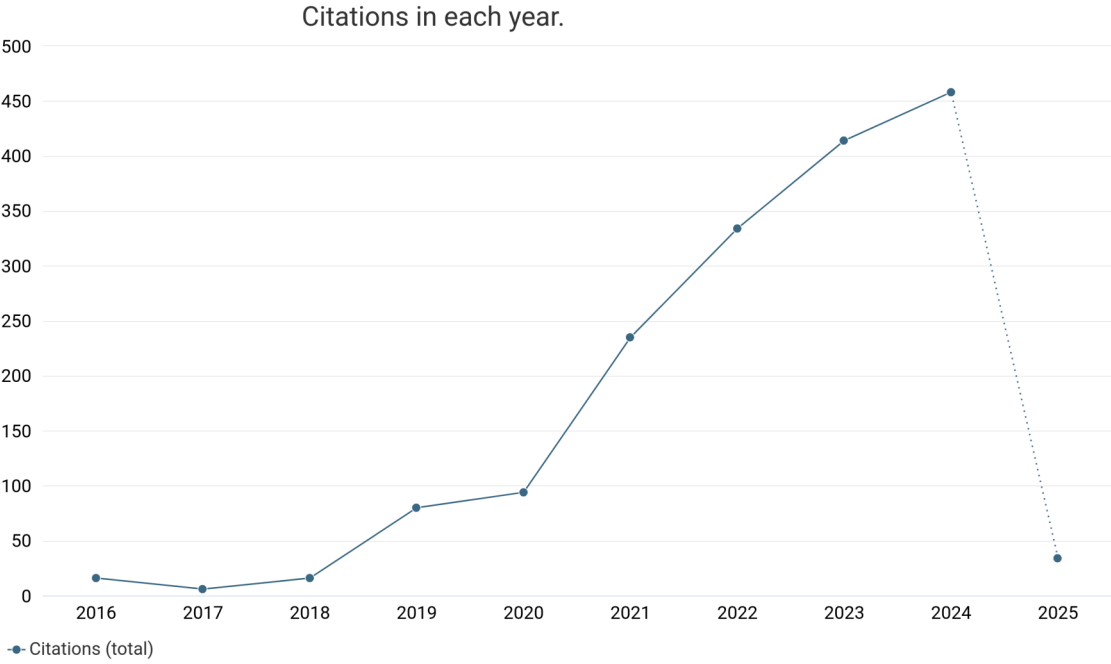
Publicado en: Journal of Marine Science and Engineering, 11(2), 251 (2023)

DOI: 10.3390/jmse11020251

Abstract: Underwater noise from shipping activity can impact marine ecosystems in the long term and at large scale. Speed limitation has been considered to reduce noise emission levels...

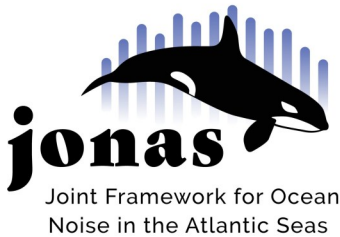


4.1.1 Análisis de tendencias en la literatura



4.2 Proyectos

1 Joint Framework for Ocean Noise in the Atlantic Seas



[+ INFO](#)

Acrónimo: JONAS

Financiado por: INTERREG

Periodo de financiación: Marzo 2019 - Septiembre 2022

Resumen: addresses threats to biodiversity from underwater noise pollution through improved risk management and monitoring...

2 A Joint programme for GES assessment on D11- noise in the Mediterranean Marine Region



[+ INFO](#)

Acrónimo: QuietMED2

Financiado por: DG Environment

Periodo de financiación: 1 de noviembre de 2019 – 31 de octubre de 2022.

Resumen: aims to support Member States Competent Authorities in the Assessment of the extent to which GES on Descriptor 11-Underwater noise has been achieved in the Mediterranean...

3 Next generation, Cost-effective, Compact, Multifunctional Web Enabled Ocean Sensor Systems Empowering Marine, Maritime and Fisheries Management



Acrónimo: NeXOS

Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de octubre de 2013 – 30 de septiembre de 2017.

Resumen: aims to improve the temporal and spatial coverage, resolution and quality of marine observations through the development of cost-efficient innovative and interoperable in-situ sensors deployable from multiple platforms...

[+ INFO](#)

4

Research into techniques for merging, processing and analysing BigData from the marine environment to create complex dynamic models of socio-environmental evolution



Acrónimo: BitBlue

Financiado por: Instituto de Fomento de la Región de Murcia y Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)

Periodo de financiación: Enero - Diciembre 2020

Resumen: to broaden the knowledge of environmental noise impact methodologies in order to, using environmental intelligence (E.I.) techniques...

[+ INFO](#)

5

Underwater noise management in marine protected areas



Acrónimo: SILEMAR

Periodo de financiación: Enero - Diciembre 2020

Resumen: addresses potential underwater noise pollution through a case study in the Cabo de Palos-Islas Hormigas Marine Reserve...

[+ INFO](#)

6

Assisting cooperation for the implementation of the Marine Strategy Framework Directive on underwater noise



Acrónimo: QUIETSEAS

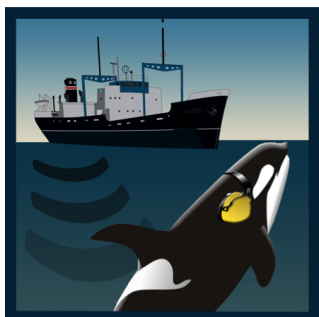
Financiado por: Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea

Periodo de financiación: 2021-2023

Resumen: aims to support Member States and Competent Authorities providing methods and tools to facilitate Descriptor 11-Underwater noise management...

[+ INFO](#)

7 Chronic Ocean Noise: Cetacean Ecology and Acoustic habitat Loss



Acrónimo: CONCEAL

Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 3 de diciembre de 2010 - 2 de diciembre de 2012

Resumen: quantify the ecological consequences to marine mammals of acoustic habitat degradation due to masking effects of chronic ocean noise in a robust statistical framework...

CONCEAL

[+ INFO](#)

8 Sound use for orientation by marine fauna, an ecosystem approach considering anthropogenic noise

Acrónimo: SOUNDMAR

Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2010 - 28 de febrero de 2013

Resumen: will extend research on the usage of passive acoustic orientation by marine fauna from different trophic levels in the marine ecosystem...

[+ INFO](#)

9 Acoustic Foraging Network in African Penguins: significance and vulnerability to anthropogenic noise

Acrónimo: AFNAP

Financiado por: H2020-EU.1.3

Periodo de financiación: 1 de abril de 2021 - 31 de marzo de 2023

Resumen: will assess the significance of a possible foraging network based on acoustic signals in a diving seabird, the African penguin...

[+ INFO](#)

10 Cetacean Inner Ear

Acrónimo: Cetanean Inner Ear

Financiado por: H2020-EU. 1. 3

Periodo de financiación: 1 de junio de 2017 - 21 de septiembre de 2019

Resumen: The morphological study of cetacean cochlea as well as the possible alterations associated to sound exposure, represent a key conservation issue to assess the effects of acoustic pollution on marine ecosystems...

[+ INFO](#)

11 On-animal sound sensors: long-term sound and movement recording tags for studying how environmental noise affects animals

Acrónimo: ANIMALSOUNDSSENSORS

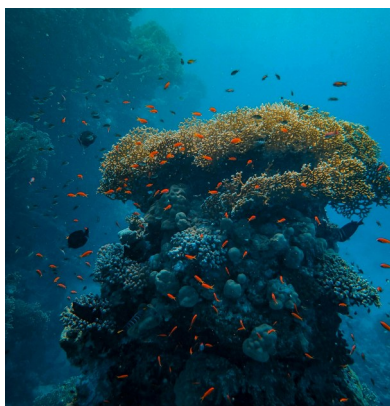
Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2012 - 29 de febrero de 2016

Resumen: examines how animals use sound and respond to noise disturbance. The goals are: (i) to explore how animals incorporate sound information into behavioural decisions, and (ii) to examine how human activities may be disrupting this information flow....

[+ INFO](#)

12 Ecosystem mechanisms of noise impact on marine fauna



Acrónimo: ECOSOUND

Financiado por: H2020-EU. 1. 3

Periodo de financiación: 10 de mayo de 2015 - 9 de mayo de 2017

Resumen: will study bottom-up effects exploring if noise may induce morphological changes in several invertebrate taxa, selecting study species known to show phenotypic plasticity when exposed to stressors...

[+ INFO](#)

13 Noise Impacts of whale-watching boats on cetaceans

Acrónimo: NOISE

Financiado por: H2020-EU. 1. 3

Periodo de financiación: 1 de mayo de 2018 - 30 de abril de 2020

Resumen: to examine short-term behavioural responses of cetaceans to underwater noise from whale-watch boats...

[+ INFO](#)

14 Effects of noise pollution on marine invertebrate health and species interactions

Acrónimo: SICK OF NOISE

Financiado por: H2020-EU. 1. 3

Periodo de financiación: 16 de julio de 2018 - 15 de julio de 2020

Resumen: will investigate the effects of noise pollution on parasitism and predator-prey interactions of key marine invertebrates: the blue mussel *Mytilus edulis* and the shore crab *Carcinus maenas*...

[+ INFO](#)

15 Solutions @ Underwater Radiated Noise



Saturn
Developing Solutions for
Underwater Radiated Noise

Acrónimo: SATURN

Financiado por: H2020-EU. 3. 4

Periodo de financiación: 1 de febrero de 2021 - 31 de enero de 2025

Resumen: brings together expertise from disciplines like bioacoustics, maritime engineering, shipping and other fields, to engage stakeholders to develop solutions to the problem of URN...

[+ INFO](#)

16 Responses of cetAceans to natural and anthropogenic Noise

Acrónimo: RAIN

Financiado por: HORIZON EUROPE

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2023 - 28 de febrero de 2025

Resumen: will study the effects of natural noises such as rain on harbour porpoises. It will compare their responses to those observed when exposed to noise from motorised vessels...

[+ INFO](#)

17 Suppression Of underwater Noise Induced by Cavitation

Acrónimo: SONIC

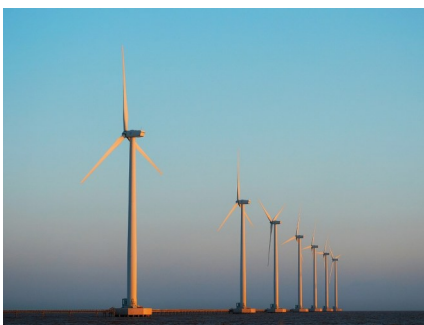
Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de octubre de 2012 - 30 de septiembre de 2015

Resumen: to develop tools to investigate and mitigate the effects of underwater noise generated by shipping, both in terms of the footprint of an individual ship (a “noise footprint”) and of the spatial distribution of sound from a large number of ships contribution to the sound (a “noise map”)...

[+ INFO](#)

18 Innovative noise mitigation system for offshore windfarms



Acrónimo: SEALENCE

Financiado por: HORIZON EUROPE

Periodo de financiación: 1 de enero de 2023 - 31 de diciembre de 2025

Resumen: The pile driving technique used in offshore windfarms or coastal foundations generates a high level of noise...

[+ INFO](#)

19 Innovative solutions aimed at noise and vibration reduction



Acrónimo: SILENV

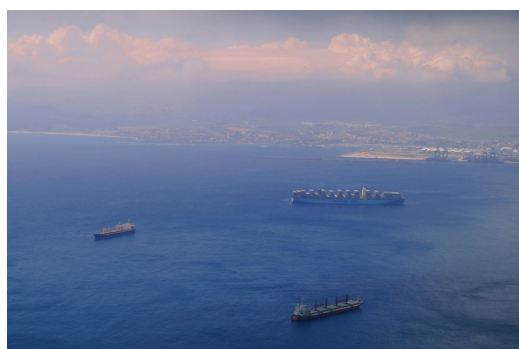
Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de octubre de 2009 - 30 de noviembre de 2012

Resumen: Noise and vibrations (N&V) abatement naturally appears as an important objective for in the greening of surface transports...

[+ INFO](#)

20 Achieve Quieter Oceans by shipping noise footprint reduction



Acrónimo: AQUO

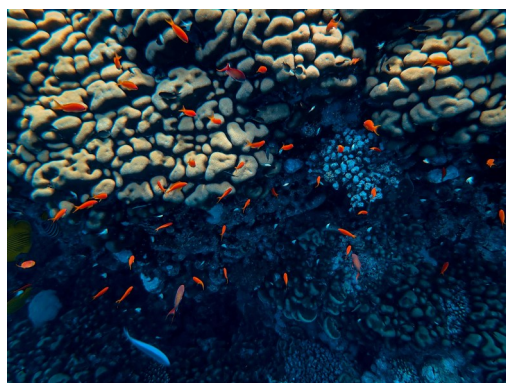
Financiado por: FP7

Periodo de financiación: 1 de octubre de 2012 - 30 de septiembre de 2015

Resumen: Recent directives outline the need to mitigate underwater noise footprint due to shipping, to prevent negative consequences to marine life...

[+ INFO](#)

21 European large-scale spatial and temporal marine noise management & Passive Acoustic Monitoring of Marine Megafauna



Acrónimo: EUROPAM

Financiado por: Biodiversa+

Periodo de financiación: 2023-2026

Resumen: proposes comparative spatio-temporal acoustic survey of megafauna biodiversity, and its management at a European scale...

[+ INFO](#)

22 From marine soundscape to environmental assessment

Acrónimo: MER CALME

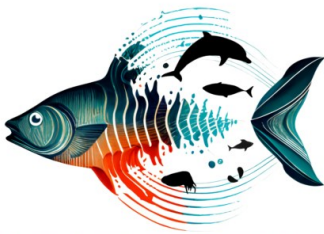
Financiado por: ASTRID

Periodo de financiación: 2012-2015

Resumen: addresses the development of a methodology for observing coastal marine environments from the underwater acoustics...

[+ INFO](#)

23 Diagnostic framework to assess and predict the impact of underwater noise on marine species



DIAPHONIA

Acrónimo: DIAPHONIA

Financiado por: JPI Oceans' Joint Call

Periodo de financiación: 2022-2025

Resumen: will bring together scientists from diverse backgrounds, to assess the various impacts of underwater noise on marine organisms across the food web, including invertebrates and commercially-important species, with a focus on European basins...

[+ INFO](#)

24 Impact of sound on marine systems from offshore wind power generation

Acrónimo: PURE WIND

Financiado por: JPI Oceans' Joint Call

Periodo de financiación: 2022-2025

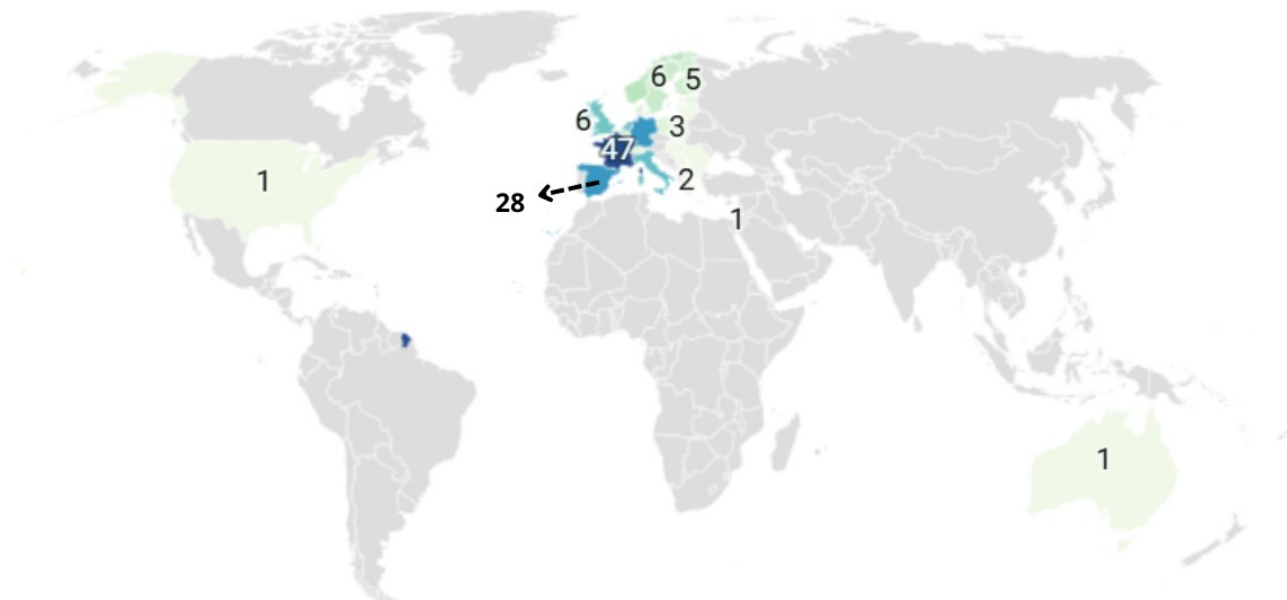
Resumen: understanding possible impacts of noise resulting from the development stages of the OWF lifecycle...

[+ INFO](#)

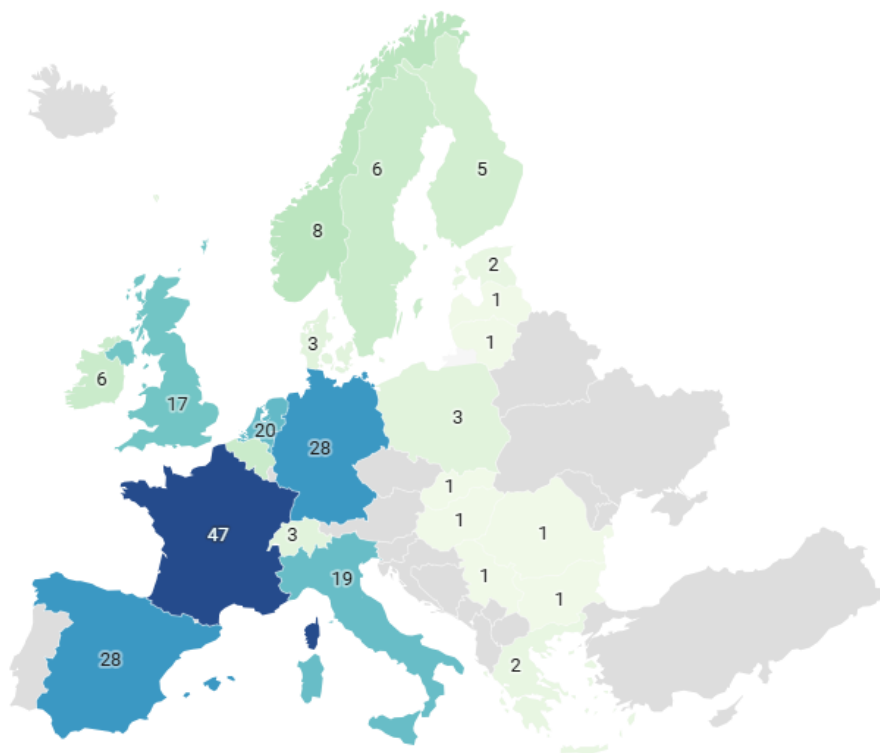
4.2.1. Análisis de la financiación europea

Los proyectos descritos en este informe están financiados bajo diversos programas como **Horizonte 2020**, **FP7**, **Interreg**, **Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea**, **JPI Oceans' Joint Call**, entre otros. En particular, el programa Horizonte 2020 ha contado con un presupuesto total de 76.880 millones de euros.

A continuación, se presenta un mapa con el desglose de las organizaciones participantes por país.



Número de participantes por país



Detalle de participación en Europa