



IES Ciudad de Hércules
Chiclana de la Frontera (Cádiz)

Título del trabajo:
“Cambio climático, acidificación y contaminación oceánica por microplásticos en el Golfo de Cádiz”
Autores:
José Antonio Morales Moreno Ángela Ramírez Alba Julia Rodríguez García de Quirós
Curso Académico y Nivel
Curso académico 2025-26 Nivel 4ºESO
Profesoras tutoras:
Marta Capdevila Dalmau María Isabel Salva Bermúdez
Centro docente:
IES Ciudad de Hércules (Chiclana de la Frontera, Cádiz)

Índice

Resumen.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	4
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
4. MATERIALES Y MÉTODOS	6
Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz.....	6
Línea 2. Contaminación por microplásticos	6
Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos	7
5. RESULTADOS.....	8
Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz.....	8
Temperatura superficial del agua.....	8
Salinidad del agua	8
pH del agua	8
Línea 2. Contaminación por microplásticos	9
Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos	9
Análisis de la dinámica estacional	9
6. CONCLUSIONES	11
Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz.....	11
Línea 2. Contaminación por microplásticos	12
Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos	12
Acciones para el cambio	13
Fomento del uso de filtros para microplásticos en lavadoras.....	13
Colaboración con instituciones	13
Divulgación de resultados, concienciación y educación.....	13
Escuela Azul	13
7. AGRADECIMIENTOS	14
Bibliografía y webgrafía	15
Figuras	18

Resumen

Resumen:

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN. ¿Se puede detectar el cambio climático en las aguas del Golfo de Cádiz, a través del aumento de temperatura del océano y de su acidificación? ¿Qué efectos tienen las corrientes marinas sobre la distribución de los microplásticos en el Golfo de Cádiz?

METODOLOGÍA. Con el fin de responder a estas preguntas hemos estructurado nuestra metodología en torno a tres líneas de investigación, en base a una extensa revisión bibliográfica previa. Utilizamos datos del Servicio Marino de Copernicus (CMEMS) e imágenes de satélite de Sentinel-2 para analizar las tendencias históricas (1993–2026) de la temperatura de la superficie del mar, el pH y el transporte de sedimentos mediante scripts específicos. A nivel experimental, realizamos prácticas de laboratorio para cuantificar los microplásticos en sal marina comercial y en sal de salina local.

CONCLUSIONES PRINCIPALES. La evidencia del cambio climático es clara: la temperatura de la superficie del mar ha aumentado 1,22 °C en los últimos 33 años (0,37 °C por década), y el pH ha bajado 0,01 unidades en solo cuatro años, lo que confirma la acidificación del océano. En cuanto a la contaminación, identificamos las aguas residuales como la principal fuente de fibras de microplásticos (polietileno y poliamida), con concentraciones que alcanzan los 660 MP kg⁻¹ en la sal de salina local. El análisis satelital reveló una presencia continua de microplásticos a lo largo de la costa oriental del Golfo de Cádiz, con un pico en verano debido a la alta presión turística y a los patrones de las corrientes locales.

Summary:

RESEARCH QUESTIONS. Can climate change be detected in the waters of the Gulf of Cadiz through ocean warming and acidification? What effects do marine currents have on the distribution of microplastics in the Gulf of Cadiz?

METHODOLOGY. In order to answer these questions, we have structured our methodology around three lines of research, based on an extensive prior literature review. We used data from the Copernicus Marine Service (CMEMS) and Sentinel-2 satellite imagery to analyze historical trends (1993–2026) in sea surface temperature, pH, and sediment transport using specific scripts. At experimental level, we conducted laboratory procedures to quantify microplastics in commercial sea salt and local saltern salt.

MAIN CONCLUSIONS. The evidence of climate change is clear: the sea surface temperature has increased by 1,22 °C over the last 33 years (0,37 °C per decade), and the pH has dropped by 0,01 units in just four years, confirming ocean acidification. Regarding pollution, we identified wastewater as the primary source of microplastic fibers (polyethylene and polyamide), with concentrations reaching 660 MP kg⁻¹ in local saltern salt. Satellite analysis revealed a continuous presence of microplastics along the eastern coast, peaking in summer due to high tourism pressure and local current patterns.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por microplásticos y el cambio climático representan dos de los principales desafíos ambientales del siglo XXI. Desde hace años observamos un uso abusivo de plásticos y una falta de cuidado en cómo se desechan. De esta manera, tanto los macroplásticos, por culpa tanto del depósito directo como del indirecto a través del viento y los ríos, como los microplásticos (principalmente fibras textiles), a través de las aguas residuales acaban llegando a nuestros océanos.

La disminución del pH del agua marina se debe en primer lugar al aumento del CO₂ disuelto, cuya concentración se ha incrementado notablemente en las últimas décadas tanto en la atmósfera como en las aguas superficiales del océano. Este proceso de acidificación se ve intensificado por el aumento de la temperatura global. Asimismo, una vez en el medio marino, la degradación abiótica de los plásticos por la radiación solar contribuye a este fenómeno mediante la liberación de carbono orgánico disuelto, ácidos orgánicos y más CO₂. Todo ello pone en riesgo los ecosistemas marinos, además de suponer una amenaza para la salud humana a través de la cadena trófica y el consumo de productos como la sal.

Aunque el cambio climático suele percibirse como un fenómeno global cuyos efectos se manifiestan principalmente en regiones lejanas, sus consecuencias también pueden detectarse a escala local. En este contexto, resulta fundamental analizar cómo estos procesos están afectando al Golfo de Cádiz, región costera a la que pertenece nuestra localidad, Chiclana de la Frontera.

Formamos parte del Hércules OceanTeam, formado por estudiantes de 4ºESO de la asignatura de Cultura Científica del IES Ciudad de Hércules. Nuestras inquietudes por el medio que nos rodea y la necesidad de dar visibilidad a los efectos que el cambio climático tiene en nuestra zona, nos han llevado a la realización de este proyecto de investigación. Gracias al presente trabajo nuestro instituto ha recibido el reconocimiento de Escuela Azul, red a la que pertenecen centros educativos europeos que buscan la protección de los ecosistemas marinos.

Por todo ello, esta investigación se propone responder a las siguientes preguntas: ¿Se puede detectar el cambio climático en las aguas del Golfo de Cádiz, a través del aumento de temperatura del océano y de su acidificación?, y ¿Qué efectos tienen las corrientes marinas sobre la distribución de los microplásticos en el Golfo de Cádiz?

2. ANTECEDENTES

A lo largo de nuestra investigación, analizamos más de 20 publicaciones científicas sobre las diferentes temáticas de investigación, como son la presencia de microplásticos en sal marina, en las aguas residuales de Chiclana, en peces y en orina, las corrientes marinas en el Golfo de Cádiz y su relación con la distribución de microplásticos y la acidificación de los océanos.

Los estudios revisados muestran que las aguas residuales constituyen una de las principales vías de entrada de microplásticos al Golfo de Cádiz, acumulándose especialmente en zonas costeras y sedimentos marinos (Oyón, 2024). Asimismo, se comprueba que, aunque las estaciones depuradoras de Chiclana eliminan gran parte de estas partículas, una cantidad significativa (entre el 0,7 y el 16%) sigue llegando al medio marino, especialmente durante el verano debido al aumento de población asociado al turismo (Franco *et al.*, 2024). También se constata la presencia generalizada de microplásticos en especies de interés comercial del Golfo de Cádiz, encontrándose fibras y otras

partículas tanto en sus estómagos como en sus tejidos (Soliño *et al.*, 2022). La caballa atlántica (*Scomber colias*) presenta una alta incidencia de ingestión de microplásticos (MP) (aparecen en el 90,4% de los 104 individuos analizados) y una media de 5,4 MP en cada uno (el 91% de ellos eran fibras de poliamida) (Rivas-Mena *et al.*, 2024). Además, en la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) y la sardina (*Sardina pilchardus*) capturadas en la plataforma continental del Golfo de Cádiz se encontraron, dentro del contenido del estómago y en los tejidos musculares de los peces, partículas antropogénicas en todos los individuos de ambas especies (promedio de $8,94 \pm 5.11$ MP), predominando las fibras de nylon (Sánchez-Guerrero *et al.*, 2023a). Además, diversas investigaciones evidencian que los microplásticos ya están presentes en el cuerpo humano, detectándose en muestras de orina, heces y placenta, constatando así su presencia en la sangre y el riesgo que esto implica para nuestra salud (Canal UGR, 2020). Según un estudio encargado por WWF, se estima que cada persona ingiere cinco gramos de microplásticos a la semana, el equivalente a una tarjeta de crédito (WWF, 2019).

Por otra parte, el análisis de la dinámica oceánica del Golfo de Cádiz nos ha permitido comprender que las corrientes marinas, los vientos dominantes y las aportaciones fluviales desempeñan un papel fundamental en el transporte y acumulación de los microplásticos. La circulación superficial en el Golfo de Cádiz está dominada por el Agua Atlántica Superficial (SAW) y las Aguas de Plataforma (AP), fuertemente influenciadas por los vientos de levante y poniente, y por una celda ciclónica costera (0-70 m) impulsada por el calor de las marismas y estuarios (Criado Aldeanueva, 2004) (**Figura 1**). Modelos lagrangianos revelan que los microplásticos de baja densidad (procedentes del Guadalquivir y Guadiana) se acumulan en la superficie de la plataforma oriental, mientras que los de alta densidad sedimentan cerca de sus fuentes (desembocadura del Guadalquivir y Bahía de Cádiz) a profundidades de 3,5 a 50 m, pudiendo ser arrastrados mar adentro por corrientes profundas (Laiz *et al.*, 2024). Muestreos costeros (incluyendo Sancti Petri en Chiclana de la Frontera) confirman estadísticamente que la concentración de microplásticos disminuye al alejarse de la costa, ratificando su origen terrestre (Sánchez-Guerrero, 2023b). Las fibras son la morfología dominante (70,2%) y la presencia de rayón y poliéster vincula directamente esta contaminación con los efluentes de aguas residuales urbanas.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Nuestro proyecto se basa en la hipótesis de investigación de que el cambio climático debería verse reflejado en el aumento de la temperatura y la acidificación (disminución del pH) de las aguas del Golfo de Cádiz. Además, las corrientes marinas deberían tener una importancia significativa en la distribución de los microplásticos.

Nuestro objetivo es conocer cómo la contaminación de las aguas de nuestro litoral por los plásticos de origen antropogénico (que los fuertes vientos de Levante de la zona arrastran hasta marismas y océano) puede estar acelerando el cambio climático en el Golfo de Cádiz. La degradación de los mismos libera CO₂ y ácidos orgánicos que disminuyen el pH del mar, contribuyendo así al calentamiento global. A su vez, el aumento de temperatura del mar, estaría acelerando el proceso de degradación del plástico.

Por otro lado, queremos comprender qué papel juegan las corrientes marinas en la distribución de los microplásticos y su acumulación en diferentes áreas del Golfo, pues también el cambio climático podría estar modificando estas corrientes y sus efectos.

Finalmente, queremos analizar la presencia de microplásticos en la sal que se obtiene en las salinas de Chiclana y también investigar su presencia en la orina de la población local.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Organizamos la investigación en las siguientes líneas de trabajo:

- Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz
- Línea 2. Contaminación por microplásticos
- Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos

Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz

Hemos centrado el estudio en las siguientes localizaciones significativas del Golfo de Cádiz (**Figura 2**):

- Localización 0 (L0): Estrecho de Gibraltar (5.615126W 35.937174N)
- Localización 1 (L1): Línea de costa Chiclana (6,225247W 36,359229N)
- Localización 2 (L2): Plataforma occidental Golfo de Cádiz (6,211571W 36,190899N)
- Localización 3 (L3): Altamar Golfo de Cádiz (6,960272W 36,49006N)
- Localización 4 (L4): Desembocadura del Guadalquivir (6.379591W 36.779754N)
- Localización 5 (L5): Altamar costa de Marruecos (7,114812W 35,574621N)

Para cada una de estas localizaciones, hemos utilizado el interfaz MyOceanPro del Servicio Marino de Copernicus (CMEMS) que recoge información proveniente de observaciones satelitales e in-situ, así como de modelos numéricos, y nos ha proporcionado datos históricos de las siguientes variables de interés para nuestro análisis:

- TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA (medias mensuales del periodo comprendido entre enero 1993 y noviembre 2025 obtenidas del producto Global OceanPhysicsReanalysis GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030 basado en modelos numéricos).
- SALINIDAD DEL AGUA (medias mensuales del periodo comprendido entre enero 1993 y noviembre 2025 obtenidas del producto Global OceanPhysicsReanalysis GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030 basado en modelos numéricos).
- pH DEL AGUA (medias mensuales del periodo comprendido entre noviembre 2021 y diciembre 2025 obtenidas del producto Global OceanBiogeochemistryAnalysis and Forecast GLOBAL_ANALYSISFORECAST_BGC_001_028 basado en modelos numéricos).

Para la Localización 3 (L3) – Altamar Golfo de Cádiz (6,960272W 36,49006N) hemos analizado también las mediciones in situ de temperatura y salinidad del agua obtenidas por la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado (<https://portus.puertos.es/#/>), situada en la misma posición geográfica y correspondientes al periodo comprendido entre el 16/03/2001 y el 29/01/2026.

Línea 2. Contaminación por microplásticos

La investigación bibliográfica nos indica que las aguas residuales son la principal vía por donde los microplásticos llegan al Golfo de Cádiz. La mayoría de las partículas son fibras, sobre todo de polietileno y poliamida, materiales comunes en la ropa y en otros productos cotidianos. También se han detectado microplásticos en peces comerciales del litoral gaditano y en orina humana.

Realizamos una práctica de laboratorio siguiendo un protocolo de la Universidad de Barcelona para la detección de microplásticos (Leríet *al.*, 2023) en la sal común y en la sal de las Salinas de Chiclana.

Aunque adquirimos una nueva bomba de succión de agua para el embudo Buchner, no conseguimos que funcionara el filtrado y tuvimos que filtrar por gravedad utilizando filtros de papel absorbente de

laboratorio en embudos de cristal. Para reconocer los diferentes fragmentos observados a la lupa binocular y reconocer los correspondientes a microplásticos, seguimos la guía “A Microplastic Recognition Guide” (Sutti, 2021).

Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos

Nuestro estudio sobre la distribución de microplásticos en el Golfo de Cádiz se fundamenta en la siguiente hipótesis de investigación: los microplásticos de origen terrestre (fibras textiles, fragmentos de envases y partículas de neumáticos) se introducen en el medio marino principalmente a través de descargas fluviales y sistemas de alcantarillado, presentando un fenómeno de co-transporte con los sedimentos en suspensión.

Debido a que la resolución espacial de los satélites Sentinel-2 (10 metros) impide la detección directa de estas partículas por su reducido tamaño, empleamos una estrategia de detección indirecta. De este modo, la turbidez del agua provocada por los sedimentos tras episodios de escorrentía actúa como *proxy* (variable indicadora): aquellas zonas con mayor densidad de plumas de sedimentos señalan, de manera indirecta, una probabilidad significativamente mayor de concentración de microplásticos flotantes.

Para contrastar esta hipótesis, realizamos un análisis de imágenes obtenidas a lo largo de los últimos 12 meses. Para cada uno de los períodos mensuales, procedimos de la siguiente manera:

- Selección de imágenes: seleccionamos uno o varios días con capturas claras del Golfo de Cádiz captadas por el satélite Sentinel-2 (aplicando un filtro MSI del 10% L2A), a través de la plataforma Copernicus Browser (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>).
- Formatos analizados: de cada una de las imágenes analizamos tres formatos:
 1. Imagen original en color real (*true-colour*).
 2. Imagen filtrada mediante un script basado en el índice NDTI (*NormalizedDifferenceTurbidityIndex*).
 3. Imagen filtrada mediante el script «*OceanPlastic Detector Prototype*» (disponible en: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ocean_plastic_detector/). En su interpretación cromática, el amarillo indica presencia de macroplásticos y sedimentos, mientras que el azul representa agua limpia.
- Dinámica marina: obtuvimos los datos de las corrientes superficiales en las fechas seleccionadas mediante la interfaz MyOceanPro (<https://data.marine.copernicus.eu>) del Copernicus Marine Service (CMEMS).

Asimismo, determinamos la dirección y la velocidad del viento en las fechas mencionadas a partir de las mediciones tomadas por la Boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado (<https://portus.puertos.es/>). El análisis del viento es fundamental dado que, en los primeros metros de la columna de agua, es uno de los mecanismos fundamentales de generación de corrientes, induciendo una gran variabilidad en las estructuras superficiales (afloramientos, aguas de plataforma, etc.).

Por último, interpretamos las imágenes de forma conjunta para comprender la dinámica de las corrientes y la distribución de los microplásticos. Para delimitar el alcance del estudio, excluimos del análisis variables complejas como los procesos de marea, el régimen de vientos de los días previos a cada captura, el efecto de la presión atmosférica y las dinámicas oceánicas de zonas adyacentes como el mar de Alborán, las cuales, según la literatura científica (Criado-Aldeanueva, 2004), también influyen en la circulación del Golfo de Cádiz.

5. RESULTADOS

Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz

Temperatura superficial del agua

La tabla de datos (**Figura 3**) demuestra un incremento en la temperatura superficial media del océano en todas las localizaciones del Golfo de Cádiz durante el periodo comprendido entre enero de 1993 a noviembre de 2025 (**Figura 4**). En la localización L3, donde se encuentra el núcleo de aguas cálidas de la zona central del Golfo, detectamos el menor aumento de temperatura (0,68°C). En la localización L4 observamos el mayor incremento (1,76°C). Estos resultados son coherentes con los del estudio realizado por Kersting (2016) que afirma que la temperatura superficial del agua muestra tasas de calentamiento entre 0,2 y 0,7 °C por década, dependiendo de la zona. En nuestra investigación el incremento medio en el Golfo de Cádiz es de 1,22°C en los últimos 33 años (lo que representaría un aumento medio de 0,37°C por década).

Las tres localizaciones con mayor incremento de temperatura en el periodo de observación corresponden a las localizaciones más cercanas a la costa L1 (1,11°C), L2 (1,35°C) y L4 (1,76°C). Esto puede ser debido, al menos en parte, al mayor calentamiento del agua en las zonas someras al ser inundadas por las corrientes de marea en las marismas de la desembocadura del Guadalquivir y de la Bahía de Cádiz (donde se sitúa Chiclana). Esto es un reflejo más de cómo el calentamiento global afecta a nuestra zona.

Salinidad del agua

En la tabla de datos (**Figura 5**) observamos coherencia con los resultados de Criado Aldeanueva (2004), pues en superficie, las aguas más salinas se concentran en la región exterior del Golfo (L3), mientras que la zona norte está ocupada por aguas menos salinas (L4) (**Figura 6**). Además, observamos que la variación de salinidad en las distintas localizaciones ha sido muy pequeña en líneas generales (<0,1% en los últimos 33 años), lo que no está en desacuerdo con la gran variabilidad espacial y temporal analizada por Kersting (2016). Nuestro interés por medir este parámetro es por su relación con la circulación de las corrientes marinas (termohalina). Sin embargo, los datos obtenidos no son muy concluyentes por su escasa variación y porque en L2, a diferencia de las demás localizaciones, hay un aumento en vez de disminución de la salinidad. Dado que la localización L2 está justo frente a la costa de Chiclana y San Fernando, el aumento de salinidad podría ser debido a la fuerte evaporación que sufren las marismas y las salinas, que actuarían como zonas de concentración de sal antes de devolver el agua remanente al mar de la plataforma.

pH del agua

Observando el pH, la tabla de datos refleja una acidificación de nuestro océano en todas las localizaciones (**Figura 7**). Durante el periodo de monitorización analizado (2021-2025), el pH ha disminuido de media 0,01 unidades, lo que sigue siendo coherente con Kersting (2016) que afirma que el pH ha disminuido alrededor de 0,1 unidades durante el último siglo y que la acidificación es más notable en las aguas superficiales (**Figura 8**). También concuerdan con la tendencia decreciente de alrededor de 0,02 unidades de pH por década (Romera Castillo *et al*, 2023).

La acidificación de los océanos no es sólo debida al incremento del CO₂ y temperatura por la quema de combustibles fósiles. También es causada por la degradación abiótica del plástico con la radiación solar, que libera ácidos orgánicos y CO₂ que contribuyen a la acidificación de los océanos. Esto se acentúa especialmente si el plástico ya está envejecido, como el que se encuentra en los océanos (Romera Castillo *et al*, 2023).

Línea 2. Contaminación por microplásticos

En el laboratorio experimentamos, por un lado, con una muestra de 50 g de un paquete de sal marina refinada de mesa (100% natural, sin antiapelmazantes) envasada por una sociedad andaluza de sal marina, que disolvimos en 500 ml de agua desionizada. Esta agua la habíamos filtrado previamente 2 veces para eliminar de ella la posible presencia de microplásticos (MP). El uso de un filtro control mientras realizamos el experimento nos ayuda después a contabilizar aquellos MP procedentes del aire que puedan estar contaminando el proceso.

Por otro lado, con una muestra de 50 g de un paquete de sal marina virgen (recogida y envasada a mano) producida en una salina tradicional de Chiclana (en las marismas del Parque Natural Bahía de Cádiz, pero muy cerca del casco urbano) seguimos el mismo procedimiento de disolución y de acompañar el experimento con un filtro control.

Mediante lupas binoculares, observamos los filtros a 40 aumentos buscando la presencia de microplásticos (**Figura 9**). Esta observación se vio dificultada por el vaho que empañaba las tapas de las placas de Petri que contenían los filtros usados para la sal disuelta, lo que nos obligó a tener que retirarlas, sin embargo el uso simultáneo del filtro de control (blanco experimental) permitió restar y corregir la posible contaminación aérea para garantizar la validez de los resultados. Las imágenes de lo que hemos identificado como MP, corresponden la mayoría de ellos a fibras. El filtro usado para la sal de las salinas (**Figura 10**) presentaba también bastantes granos de arena y algunos pequeños fragmentos que interpretamos como de origen vegetal.

Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos

Hemos obtenido imágenes Sentinel-2 claras, sin nubes, para cada uno de los doce meses del año 2025, seleccionando una para cada estación y otra más para una fecha posterior a los temporales que azotaron Andalucía en febrero de 2026.

En cada una de estas fechas hemos analizado la presencia de sedimentos en las imágenes Sentinel-2 True Colour y las filtradas con el script OceanPlastic Detector (el script basado en NDTI no nos ha aportado información útil). Para la interpretación del transporte de dichos sedimentos nos hemos ayudado del conocimiento adquirido en la investigación bibliográfica, las imágenes de las corrientes proporcionadas por MyOceanPro CMEMS y las mediciones de intensidad y dirección del viento obtenidas por la boya Golfo de Cádiz de Puertos del Estado.

Análisis de la dinámica estacional

- IMAGEN DE INVIERNO (15/01/2025) (**Figura 11**), con viento predominante del noreste, dirección media $63,58^\circ$ ($0^\circ=N, 90^\circ=E$) y velocidad media de 5,68 m/s (mediciones de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado). En la imagen Sentinel-2 True Colour, interpretamos que los sedimentos del Guadalquivir son transportados hacia la Bahía de Cádiz por la corriente de agua central del Atlántico Norte (NACW) que circula por la plataforma oriental del Golfo. Es agua fría que viene desde el Cabo de San Vicente. Pero también parte de los sedimentos son arrastrados por el viento del noreste en dirección suroeste hacia el borde de la plataforma donde se encuentran con el núcleo de aguas cálidas que ocupa la zona central del Golfo en invierno. De esta forma se crean inestabilidades (Criado Aldeanueva, 2004) que, suponemos, son las causantes de la formación de esos frentes en forma de giros ciclónicos (sentido antihorario) que forman los sedimentos en dicho borde. La imagen de Corrientes MyOceanProCMEMS muestra también las variaciones en la velocidad y dirección de las corrientes en esa zona del borde de la plataforma.

Frente al cabo Trafalgar, observamos una zona de aguas con menos sedimentos y que podría corresponder al afloramiento ciclónico que hay en esa zona (Laiz et al., 2024). Al ser un afloramiento de aguas más profundas, los sedimentos de superficie bordean las aguas que están subiendo y generan esa forma envolvente en sentido antihorario.

Respecto a la imagen filtrada con el script OceanPlastic Detector, el color amarillo intenso parece coincidir con los sedimentos identificados en la imagen True Colour, que asumimos en nuestra hipótesis de investigación como un indicador indirecto de la presencia de microplásticos.

- IMAGEN DE PRIMAVERA (22/04/2025) (**Figura 12**), con viento predominante del noroeste, dirección media $313,67^\circ$ ($0^\circ=N, 90^\circ=E$) y velocidad media de 5,88 m/s (mediciones de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado).

En la imagen Sentinel-2 True Colour, interpretamos que los sedimentos del Guadalquivir y de la Bahía de Cádiz se desplazan a lo largo de la plataforma continental hacia el sureste, impulsados por la corriente de Agua Central del Atlántico Norte (NACW).

El viento del noroeste también contribuye a transportar los sedimentos más hacia el sureste y no tanto hacia el borde de la plataforma. La imagen MyOceanProCMEMS nos confirma unas fuertes corrientes hacia el sureste a lo largo de la plataforma.

En el mes de abril, el núcleo de aguas cálidas (SAW) que ocupaba la zona central del Golfo, iría desplazándose (Criado Aldeanueva, 2024) y ocupando la parte más oriental de la plataforma incluso con vientos del noroeste. Suponemos que eso es lo que representa la zona de aguas más limpias que entra desde el suroeste hacia Conil y Chiclana.

La foto del script OceanPlastic Detector no coincide bien con la imagen True Color quizás porque este script no funciona muy bien con alta cobertura nubosa. Lo que sí nos muestra es que a lo largo de la línea de costa aparecen depositados sedimentos y asumimos que también plásticos, coincidiendo con lo que propone (Laiz et al., 2024) en su modelo para el transporte de partículas de baja densidad (0.90 g cm^{-3}).

- IMAGEN DE VERANO (30/08/2025) (**Figura 13**), con viento predominante del noroeste dirección media $324,71^\circ$ ($0^\circ=N, 90^\circ=E$) y velocidad media de 5,76 m/s (mediciones de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado).

En la imagen Sentinel-2 True Colour, la contracorriente costera cálida (una celda ciclónica que se mueve en verano entre el Guadalquivir y Cabo Santa María a lo largo de la plataforma, impulsada por el gradiente de presión a lo largo de la costa), desplaza los sedimentos del Guadalquivir en parte hacia Huelva. El viento del noroeste también empuja otra parte de los sedimentos hacia la Bahía de Cádiz.

Frente al Cabo Trafalgar, los sedimentos que llegan también parecen moverse rodeando la celda ciclónica allí presente.

En la imagen de MyOceanPro CMEMS no observamos esta contracorriente (que circula por los 70 m más superficiales de la plataforma oriental), pero la imagen filtrada con el script OceanPlastic Detector nos reafirma en nuestra interpretación, al aparecer el color amarillo intenso a lo largo de toda la costa de la parte oriental del Golfo. La falta de lluvias en el verano nos hace pensar que el color amarillo intenso corresponde, no tanto a sedimentos sino a microplásticos procedentes de las aguas residuales que se vierten en el Golfo, especialmente en las zonas con mayor presión turística como es la costa de Chiclana.

- IMAGEN DE OTOÑO (26/11/2025) (**Figura 14**), con viento predominante del noreste dirección media 39° ($0^\circ=N, 90^\circ=E$) y velocidad media de 7,39 m/s (mediciones de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado).

La imagen Sentinel-2 True Colour muestra la situación en otoño. Suponemos que las aguas frías procedentes del Cabo de San Vicente habrán ocupado la plataforma oriental desplazando las aguas cálidas hacia la zona central del Golfo. Esas aguas circulan a lo largo de la plataforma y arrastran los sedimentos desde el Guadiana y el Guadalquivir hacia la Bahía de Cádiz y el Cabo Trafalgar.

El intenso viento del noreste arrastra también parte de los sedimentos en dirección suroeste hacia el borde de la plataforma. Interpretamos que los sedimentos que llegan a dicho borde se encuentran con el núcleo de aguas cálidas de la zona central del Golfo originando los giros ciclónicos observados (sentido antihorario).

La imagen de Corrientes MyOceanPro CMEMS muestra también las variaciones en la velocidad y dirección de las corrientes en esa zona del borde de la plataforma.

Igualmente observamos sedimentos rodeando el giro ciclónico frente al cabo de Trafalgar.

Finalmente la fotografía nos muestra claramente cómo los sedimentos acaban entrando en el Mediterráneo.

La imagen OceanPlastic Detector muestra que los sedimentos, y por tanto los plásticos, del Golfo de Cádiz acaban contaminando el Mediterráneo tras cruzar el estrecho de Gibraltar.

→ IMAGEN POSTERIOR A LAS BORRASCAS LEONARDO Y MARTA (14/02/2026) (**Figura 15**), con viento predominante del noroeste y velocidad media de 8,96 m/s (mediciones de estación meteorológica de la base naval de Rota).

La imagen Sentinel-2 True Colour presenta el estado de las aguas del Golfo tras el paso de las borrascas Leonardo y Marta, que dejaron lluvias muy intensas en Andalucía. La gran cantidad de sedimentos arrastrados por los ríos hasta el mar, son transportados por la corriente fría de Agua Central del Atlántico Norte (NACW) a lo largo de la plataforma desde Huelva hacia Cabo Trafalgar.

El intenso viento del noroeste los empuja también en dirección sureste, e interpretamos que es este viento el que no permite que se formen los remolinos ciclónicos que veíamos, en el borde de la plataforma, en la imagen de enero de 2025.

Frente al Cabo Trafalgar, aparece una estrecha franja de aguas menos turbias que continúa hasta pasar por la zona más central del estrecho de Gibraltar y entrar en el Mediterráneo. Interpretamos que podría corresponder al giro ciclónico del Cabo Trafalgar, un afloramiento de aguas más profundas que no estarían cargadas de los sedimentos que sí llevan las aguas superficiales.

Nos llama también la atención que ésta es la primera imagen en la que aparecen sedimentos en la zona del Mediterráneo donde desembocan los ríos que llegan a la Bahía de Algeciras y el río Guadiaro (Málaga).

Respecto a la imagen filtrada con el script OceanPlastic Detector, el color amarillo intenso muestra también la enorme cantidad de sedimentos y de plásticos arrastrados mar adentro en las aguas del Golfo.

6. CONCLUSIONES

Nuestra investigación demuestra la presencia real de microplásticos en las aguas y en la sal de salina del Golfo de Cádiz, así como los efectos del cambio climático; dos realidades que no se pueden entender por separado, ya que la contaminación por microplásticos en los océanos acidifica los mismos y contribuye al cambio climático, acelerándolo (Romera Castillo *et al.*, 2023).

Línea 1. Cambio climático en el Golfo de Cádiz

Mostramos que en las aguas del Golfo de Cádiz se pueden detectar los efectos del cambio climático. La temperatura superficial del agua ha aumentado de media 1,22°C en los últimos 33 años en todas las localizaciones estudiadas (lo que representa un aumento medio de 0,37°C por década). La variación de salinidad en las distintas localizaciones ha sido muy pequeña (<0,1% en los últimos 33 años) con tendencia hacia la disminución excepto en la localización de la plataforma oriental del Golfo. Los resultados reflejan una acidificación de nuestro océano en todas las localizaciones: en los últimos cuatro años, el pH ha disminuido de media 0,01 unidades.

Línea 2. Contaminación por microplásticos

La investigación bibliográfica indica que las aguas residuales son la principal vía por donde los microplásticos llegan al Golfo de Cádiz. La mayoría de las partículas son fibras, sobre todo de polietileno y poliamida, materiales comunes en la ropa y en otros productos cotidianos. También se constata la presencia de microplásticos en peces comerciales y orina humana.

En el laboratorio detectamos y contabilizamos los microplásticos tanto en la sal marina de mesa (600 MP kg^{-1}) como en la sal de las salinas de Chiclana (660 MP kg^{-1}). Los dos valores de concentración de microplásticos obtenidos en el experimento, están dentro del rango de valores esperado pero, a diferencia de lo indicado en la bibliografía (Thiele, 2023) que señala menor índice en las sales artesanales, hemos encontrado una concentración algo mayor (10%) en la sal de salinas. Esto puede ser debido a que, durante el proceso de extracción de esta sal, el viento de levante arrastre muchos microplásticos hasta las salinas procedentes de las carreteras cercanas (desgaste de neumáticos, asfalto y pintura de señalización) y de la basura plástica no recogida en el “Mercadillo de los Martes” en la zona anexa a la marisma, entre otros posibles factores. Estas partículas transportadas por el viento se sumarían a las ya de por sí presentes en el agua de mar que llega a las salinas. En definitiva, la exposición del agua al aire en balsas durante periodos prolongados para su evaporación lenta, multiplica el tiempo de exposición a la deposición atmosférica frente a los procesos industriales cerrados o rápidos.

Línea 3. Corrientes marinas, sedimentos y distribución de microplásticos

La integración de las imágenes Sentinel-2 con los modelos de corrientes y viento nos ha permitido obtener las siguientes observaciones sobre el comportamiento de los microplásticos en el Golfo de Cádiz:

- Los sedimentos visualizados en las imágenes Sentinel-2 True Colour aparecen en amarillo, más o menos intenso, en las imágenes filtradas con el script OceanPlastic Detector, lo cual valida su utilización. Esto podría indicar que junto a los sedimentos también se están transportando plásticos y microplásticos, en coherencia con nuestra hipótesis de investigación.
- La imagen de verano (30/08/2025) confirmaría la marcada presencia de microplásticos a lo largo de toda la costa oriental del Golfo en concordancia con las referencias bibliográficas analizadas, tanto el modelo de distribución de los microplásticos (Laizet *al.*, 2024) como su muestreo (Sánchez-Guerrero, 2023b).
- Además, teniendo en cuenta la sequía estival, la imagen de verano indicaría también que la intensidad del amarillo detectado por el script OceanPlastic Detector corresponde al aumento de la presencia microplásticos procedentes de las aguas residuales que se vierten en el Golfo, especialmente en las zonas con mayor presión turística como es la costa de Chiclana.
- La imagen de otoño (26/11/2025) muestra que las corrientes marinas arrastran los sedimentos atravesando el Estrecho de Gibraltar hasta el Mediterráneo. De esta manera los microplásticos vertidos al Golfo de Cádiz estarían contaminando también las aguas mediterráneas.

Acciones para el cambio

Con el propósito de mitigar la problemática identificada y transferir el conocimiento científico a la sociedad, hemos estructurado e implementado diversas acciones directas orientadas al cambio normativo, la colaboración institucional y la concienciación ciudadana:

Fomento del uso de filtros para microplásticos en lavadoras

Hemos llevado a cabo varias iniciativas para fomentar el uso de filtros para microplásticos en las lavadoras de hogares, hoteles y lavanderías públicas, siguiendo el modelo pionero de la Ley AGECE francesa, con el fin de evitar que las fibras sintéticas, principal fuente de contaminación por microplásticos, lleguen a las depuradoras. Hemos iniciado una petición de firmas para que se establezcan normativas locales y nacionales al respecto en la plataforma Change.org, con un total de 1000 firmas a fecha de 7 de junio de 2026 (<https://c.org/7ZG8MzTjHW>).

Colaboración con instituciones

Con el propósito de transferir los resultados de nuestra investigación a las administraciones locales, mantuvimos una reunión de trabajo con el Concejal de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Chiclana de la Frontera. Durante el encuentro, le trasladamos una serie de propuestas destacando el interés del consistorio en implementar nuestra idea de instalación de contenedores-jaula específicos para la recogida de plásticos en las playas de nuestro municipio. Asimismo, la delegación nos invitó formalmente a diseñar y coordinar una campaña de sensibilización ciudadana sobre el consumo de plásticos en el emblemático “Mercadillo de los Martes”, ofreciéndonos soporte logístico mediante *stands* y material de apoyo. Como resultado inmediato de esta colaboración, ya hemos ejecutado el diseño técnico de las jaulas (en forma de atún, especie marina representativa del Golfo de Cádiz) y hemos organizado con éxito una jornada de limpieza y recogida de residuos plásticos en las marismas de Chiclana el pasado 13 de marzo.

Divulgación de resultados, concienciación y educación

Estamos realizando la divulgación de los resultados de nuestra investigación en las redes y en diversas convocatorias. Queremos concienciar a la población en general, y particularmente a los jóvenes y a sus familias sobre la necesidad de minimizar el uso de plásticos en el día a día (bolsas de la compra, agua embotellada, comida envasada, etc.). A continuación, se detallan algunos de los materiales de apoyo producidos:

- Sitio web de nuestro proyecto (<https://sites.google.com/g.educaand.es/hercules-ocean-team/inicio>)
- Vídeo del proyecto (<https://youtu.be/O0-cGIXSRgc>)
- Vídeo de concienciación (<https://youtu.be/h5EfQ7kNy-Y>)
- Vídeo de impacto (<https://youtube.com/shorts/jKG1dBE5c7U>)

Escuela Azul

Como resultado directo del presente proyecto de investigación y de las acciones de concienciación ambiental desarrolladas, el IES Ciudad de Hércules ha recibido en mayo 2026 la certificación de Escuela Azul (<https://www.escuelasazules.es/>). Este reconocimiento se integra en la *Network of European Blue Schools*, impulsada por la Comisión Europea en el marco de la Coalición *EU4Ocean*, cuyo propósito es capacitar a docentes y alumnado como agentes activos en la protección de los ecosistemas marinos.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el fruto de la implicación del equipo HerculesOceanTeam, compuesto por todo el alumnado de la asignatura de 4.º de ESO «Cultura Científica» del curso 2025-26, y no habría sido posible sin la valiosa colaboración de la profesora emérita María Isabel Salva, quien ha tutelado el proceso desde el inicio junto a nuestra profesora Marta Capdevila.

Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento al Decanato de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la Universidad de Cádiz, y muy especialmente al profesor Alfredo Izquierdo González, por habernos invitado a presentar nuestro proyecto en la Semana de los Océanos y el Medio Ambiente (SOMA 2026), así como por hacernos llegar sus valiosos comentarios y retroalimentación.

Del mismo modo, agradecemos a la Delegación de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Chiclana por acoger nuestras propuestas, respaldar la instalación de los contenedores-jaula de plásticos en la playa y ofrecernos el soporte logístico para la campaña de sensibilización en el «Mercadillo de los Martes».

Finalmente, queremos reconocer a la dirección de nuestro centro, el IES Ciudad de Hércules, por su constante e incondicional apoyo a lo largo de todo nuestro proceso de investigación.

Bibliografía y webgrafía

- Alcalde, S. (2019). Detectan hasta 21 sustancias derivadas del plástico en la orina de las personas. *National Geographic España*. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/detectan-hasta-21-sustancias-derivadas-plastico-hasta-orina-personas_14775 [Consultado el: 2 de junio de 2026].
- Celis-Morales, C. (2024). Microplásticos y nanoplasticos: Un riesgo emergente para la salud cardiovascular humana. *Revista Médica de Chile*, 152(3), pp. 421-423. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872024000300421>.
- CIAL (CSIC-UAM). (2025). *La evidencia acumulada indica que los micro y nanoplasticos no son inofensivos*. Centro de Investigación en Ciencias de la Alimentación. Disponible en: <https://www.cial.uam-csic.es/la-evidencia-acumulada-indica-que-los-micro-y-nanoplasticos-no-son-inofensivos/> [Consultado el: 2 de junio de 2026].
- Criado Aldeanueva, F. (2004). *Distribución y circulación de masas de agua en el Golfo de Cádiz. Variabilidad inducida por el forzamiento meteorológico*. Tesis de doctorado. Universidad de Málaga. Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga. Disponible en: <http://oceanos.uma.es/pdfthesis/CriadoAldeanueva.pdf>.
- Franco, A. A., Iglesias-Arroyo, D., Egea-Corbacho, Á., Martín-García, A. P., Quiroga, J. M. y Coello, M. D. (2024). Influence of tourism on microplastic contamination at wastewater treatment plants in the coastal municipality of Chiclana de la Frontera. *Science of The Total Environment*, 906, art. no. 167520. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/30046/4.A.1.39.pdf?sequence=1>.
- Johnson, R., Langer, G., Rossi, S., Probert, I., Mammone, M. y Ziveri, P. (2022). Nutritional response of a coccolithophore to changing pH and temperature. *Limnology and Oceanography*, 67(12), pp. 2701-2713. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/lno.12204>.
- Kersting, D. K. (2016). *Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting_2016_cambio_climatico_medio_marino_tcm30-70535.pdf.
- Laiz, I., Foletti, N., Teles-Machado, A., Plecha, S., Peliz, Á., Sánchez-Leal, R. F. y Bolado-Penagos, M. (2024). Spatial distribution of microplastics in the Gulf of Cadiz as a function of their density: A Lagrangian modelling approach. *Science of The Total Environment*, 950, art. no. 175212. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175212>.
- Lería, M., Baqués, V., Cantarero, I., Playà, E. y Travé, A. (2023). *Microplásticos en las sales de mesa ¿Cómo estudiarlos fácilmente? Manual de instrucciones para laboratorio químico casero*. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universitat de Barcelona. Disponible en: <https://www.ub.edu/sedimentary-geology/wp-content/uploads/2023/01/ESP-Manual-Lab-Centro-Educativo.pdf>.

- Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*, 31(4), pp. 1114-1119. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>.
- NTA CopernicusRelay. (2022). *Detección de plásticos marinos con Sentinel-2*. El INTA en Copernicus. Disponible en: https://www.inta.es/INTA/gl/blogs/copernicus/BlogEntry_1670579623985 [Consultado el: 2 de junio de 2026].
- Olea, N. (2020). *Investigación para concienciar de los peligros de las sustancias químicas asociadas al envasado de alimentos*. Canal UGR. Disponible en: <https://canal.ugr.es/noticia/el-catedratico-de-la-ugr-nicolas-olea-participa-en-la-investigacion-salud-de-plastico-para-concienciar-de-los-peligros-de-las-sustancias-quimicas-asociadas-al-ensado-de-alimentos/> [Consultado el: 2 de junio de 2026].
- Oyón Sanz, A. (2023). *Microplásticos en sedimentos del Golfo de Cádiz*. Trabajo de fin de grado. Universidad de Cádiz. Repositorio Institucional de la Universidad de Cádiz. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/29367/TFG%20AMETS%20OY%c3%93N%20SANZ.pdf?sequence=1>.
- Renú, A. (2025). *Microplásticos en órganos humanos: ¿qué implicaciones tiene para la salud?* Hospital Clínic Barcelona. Disponible en: <https://www.clinicbarcelona.org/noticias/microplasticos-en-organos-humanos-que-implicaciones-tiene-para-la-salud> [Consultado el: 2 de junio de 2026].
- Rivas-Mena, G., Sánchez-Guerrero-Hernández, M. J., Yeste, M. P., Ramos, F. y González-Ortegón, E. (2024). Microplastics in the stomach content of the commercial fish species Scombercolias in the Gulf of Cadiz, SW Europe. *Marine Pollution Bulletin*, 200, art. no. 116049. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116049>.
- Romera-Castillo, C., Pintado, J., Martínez-Pérez, A. M., Álvarez-Salgado, X. A. y Marrasé, C. (2023). Abiotic plastic leaching contributes to ocean acidification. *Science of The Total Environment*, 854, art. no. 158683. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>.
- Sánchez-Guerrero-Hernández, M. J. (2023). *Caracterización, cuantificación y análisis de la distribución espacial de microplásticos en el golfo de Cádiz*. Trabajo de fin de máster. Universidad de Cádiz. Repositorio Institucional de la Universidad de Cádiz. Disponible en: <https://rodin.uca.es/handle/10498/29443>.
- Sánchez-Guerrero-Hernández, M. J., González-Fernández, D., Sendra, M., Ramos, F., Yeste, M. P. y González-Ortegón, E. (2023). Contamination from microplastics and other anthropogenic particles in the digestive tracts of the commercial species *Engraulis encrasicolus* and *Sardina pilchardus*. *Science of The Total Environment*, 860, art. no. 160451. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160451>.
- Serna Martín, M. J. (2021). *Investigando el calor: La corriente oculta*. Centro Nacional de Desarrollo Curricular en Sistemas no Propietarios (Cedec), Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado (INTEF). Disponible

en:https://descargas.intef.es/cedec/proyectoedia/fisica_quimica/contenidos/investigando_calor/la_corriente_oculta.html [Consultado el: 2 de junio de 2026].

- Soliño, L., Vidal-Liñán, L., Pérez, P., García-Barcelona, S., Baldó, F. y Gago, J. (2022). Microplastic occurrence in deep-sea fish species *Alepocephalus bairdii* and *Coryphaenoides rupestris* from the Porcupine Bank (North Atlantic). *Science of The Total Environment*, 838(Pt 4), art. no. 156111. Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156111>.
- Sutti, A. (2021). *A microplastics recognition guide*. 2.^a ed. Deakin University; ARC Research Hub for Future Fibres; GLOBE Italia; LABTER-CREA. Disponible en:https://www.globe.gov/documents/14028/118320297/A+MICROPLASTICS+RECOGNITION+GUIDE_V2.pdf.
- Thiele, C. *et al.* (2023). Microplastics in European sea salts – An example of exposure through consumer choice and of interstudy methodological discrepancies. *Environmental Pollution*, 320, art. no. 121032. Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323002865>.
- Urli, S., Corte Pause, F., Crociati, M., Baufeld, A., Monaci, M. y Stradaoli, G. (2023). Impact of microplastics and nanoplastics on livestock health: An emerging risk for reproductive efficiency. *Animals*, 13(7), art. no. 1132. Disponible en:<https://doi.org/10.3390/ani13071132>.
- WWF. (2019). *Naturaleza sin plásticos: evaluación de la ingestión humana de plásticos presentes en la naturaleza*. Dalberg Advisors; Universidad de Newcastle. Disponible en:https://wwfassets.panda.org/downloads/informe_plastic_diet_1.pdf.

Figuras

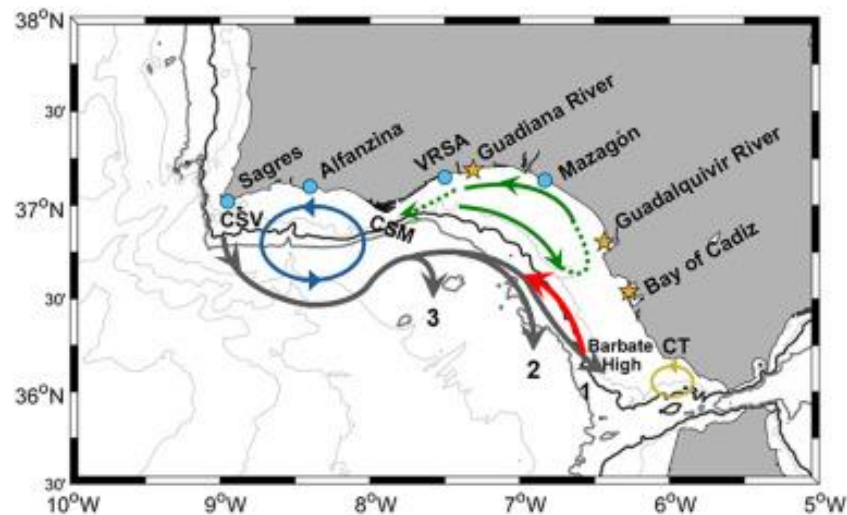


Figura 1. Patrones generales de la circulación superficial del océano en el Golfo de Cádiz (GoC). El diagrama muestra el remolino de San Vicente (CSV) en azul, la contracorriente costera cálida en verde y los patrones de circulación del agua central influenciados por el Cabo Santa María (CSM; 1, 2 y 3) en gris. En rojo se muestra la circulación invertida hacia el oeste. En amarillo, el giro ciclónico del Cabo Trafalgar (CT). Se muestran los siguientes contornos batimétricos: 200 m (línea oscura gruesa), 500 m (línea gris gruesa), 1000 m, 2000 m, 3000 m y 4000 m.

Fuente: (Laiz et al., 2024)



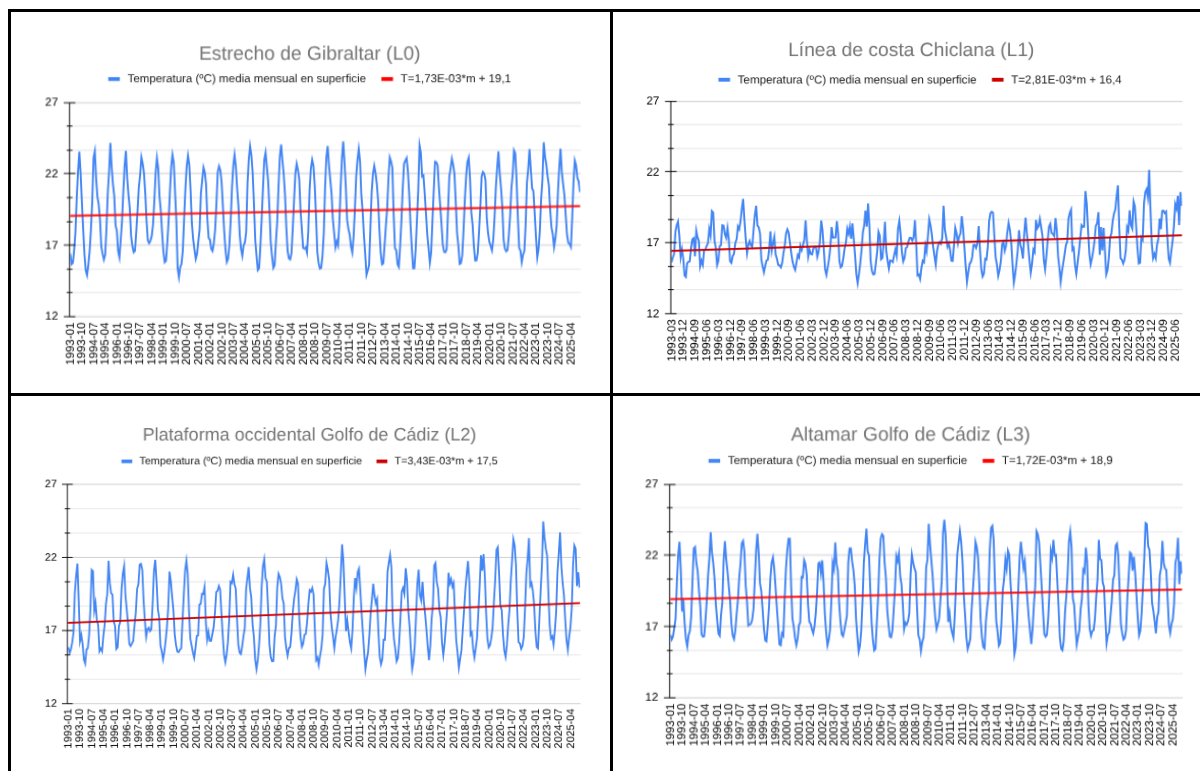
Figura 2. Localizaciones significativas del Golfo de Cádiz analizadas en la Línea 1 del trabajo.

Fuente: Elaboración propia (imagen Sentinel-2).

Localización	Recta de regresión	Variación media anual		Variación media periodo de 01/93 a 11/25	
		(°C)	%	(°C)	%
L0 - Estrecho de Gibraltar	$T=1,73E-03*m + 19,1$	0,02076	0,11%	0,68162	3,57%
L1-Línea de Costa Chiclana	$T=2,81E-03*m + 16,4$	0,03372	0,21%	1,10714	6,75%
L2-Plataforma occidental Golfo de Cádiz	$T=3,43E-03*m + 17,5$	0,04116	0,24%	1,35142	7,72%
L3 -Altamar Golfo de Cádiz	$T=1,72E-03*m + 18,9$	0,02064	0,11%	0,67768	3,59%
L4-Desembocadura Guadalquivir	$T=4,46E-03*m + 17,9$	0,05352	0,30%	1,75724	9,82%
L5-Altamar Costa de Marruecos	$T=1,96E-03*m + 19,6$	0,02352	0,12%	0,77224	3,94%

Figura 3. Tabla resumen de la temperatura media mensual del agua superficial en las distintas localizaciones del Golfo de Cádiz (m representa el tiempo en meses).

Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, tabla de elaboración propia.



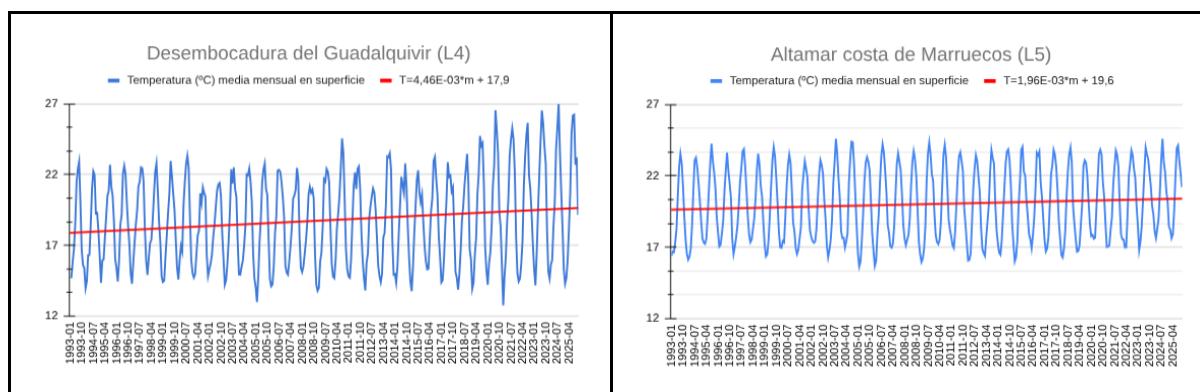


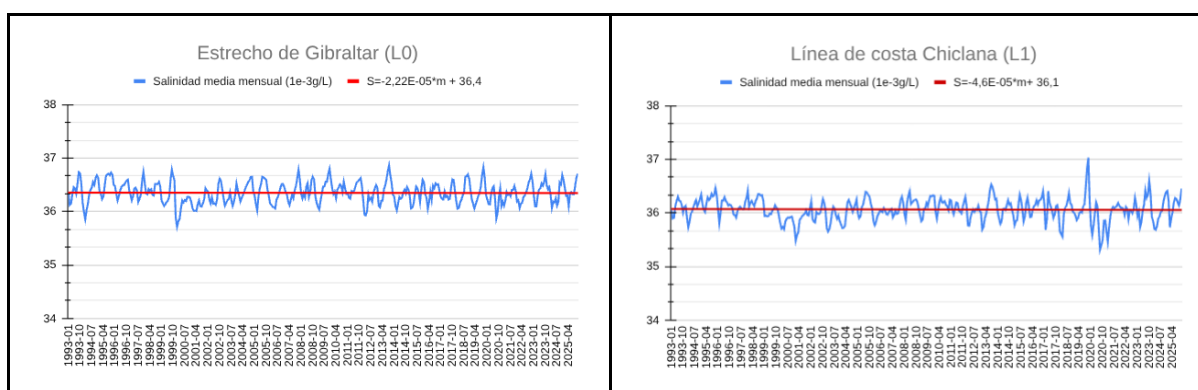
Figura 4. Temperatura media del agua superficial en las diferentes localizaciones.
Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, gráficas de elaboración propia.

Localización	Recta de regresión	Variación media anual		Variación media periodo de 01/93 a 11/25	
		(g/L)	%	(g/L)	%
L0 - Estrecho de Gibraltar	$S=-2,22E-05*m + 36,4$	-0,0002664	-0,00073%	-0,0087468	-0,02403%
L1-Línea de Costa Chiclana	$S=-4,6E-05*m + 36,1$	-0,000552	-0,00153%	-0,018124	-0,05020%
L2-Plataforma occidental Golfo de Cádiz	$S=7,5E-05*m + 36,1$	0,0009	0,00249%	0,02955	0,08186%
L3 -Altamar Golfo de Cádiz	$S=-9E-05*m + 36,3$	-0,00108	-0,00298%	-0,03546	-0,09769%
L4-Desembocadura Guadalquivir	$S=-4,39E-05*m + 35,8$	-0,0005268	-0,00147%	-0,0172966	-0,04831%
L5-Altamar Costa de Marruecos	$S=-7,81E-05*m + 36,6$	-0,0009372	-0,00256%	-0,0307714	-0,08407%

(Medidas de salinidad 1 g/kg≈1,004712 psu)

Figura 5. Tabla resumen de la salinidad media mensual del agua en las distintas localizaciones del Golfo de Cádiz (m representa el tiempo en meses).

Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, tabla de elaboración propia.



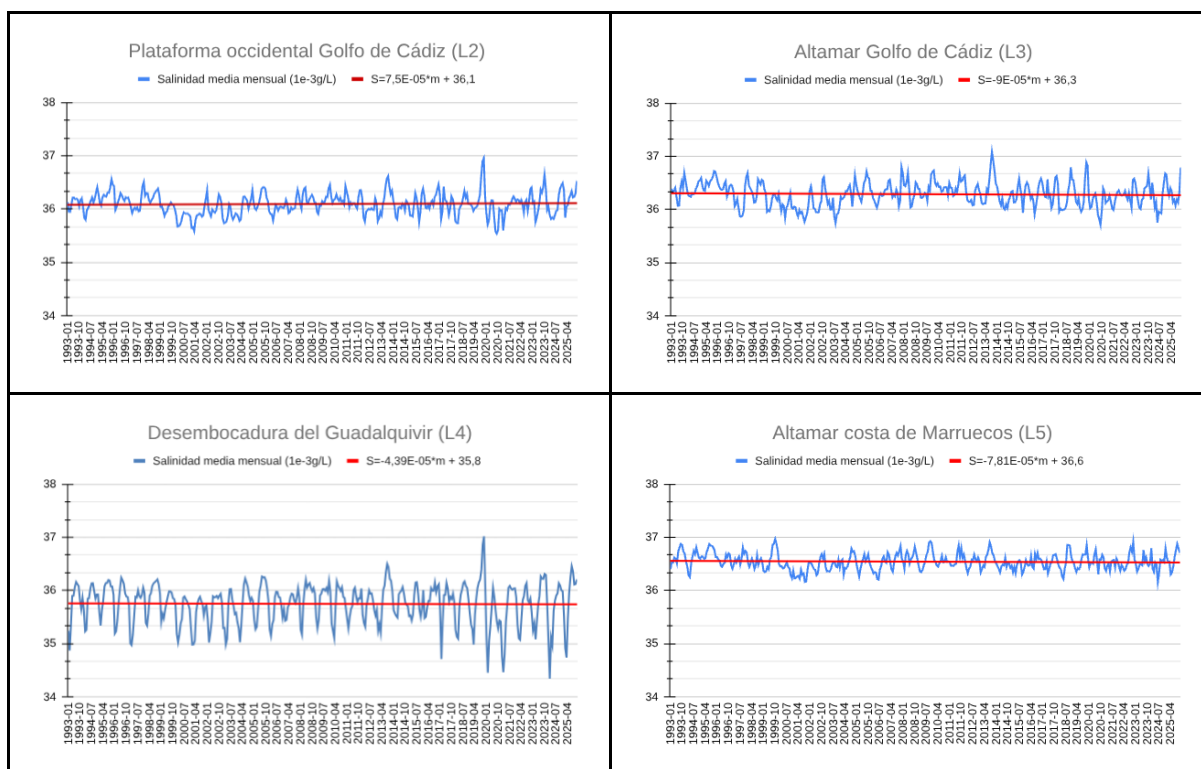


Figura 6. Salinidad media mensual del agua en las diferentes localizaciones.
Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, gráficas de elaboración propia.

Localización	Recta de regresión	Variación media anual		Variación media periodo de 11/21 a 12/25	
		(pH)	%	(pH)	%
L0 - Estrecho de Gibraltar	$pH = -3,58E-04*m + 8,07$	-0,004296	-0,0532%	-0,017542	-0,2174%
L1-Línea de Costa Chiclana	$pH=-1,64E-04*m+ 8,08$	-0,001968	-0,0244%	-0,008036	-0,0995%
L2-Plataforma occidental Golfo de Cádiz	$pH=-1,64E-04*m + 8,08$	-0,001968	-0,0244%	-0,008036	-0,0995%
L3 -Altamar Golfo de Cádiz	$pH=-5,1E-04*m + 8,07$	-0,00612	-0,0758%	-0,02499	-0,3097%
L4-Desembocadura Guadalquivir	$pH=-2,1E-04*m + 8,07$	-0,00252	-0,0312%	-0,01029	-0,1275%
L5-Altamar Costa de Marruecos	$pH=-6,75E-04*m + 8,06$	-0,0081	-0,1005%	-0,033075	-0,4104%

Figura 7. Tabla resumen pH medio mensual del agua en las distintas localizaciones del Golfo de Cádiz (m representa el tiempo en meses).

Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, tabla de elaboración propia.

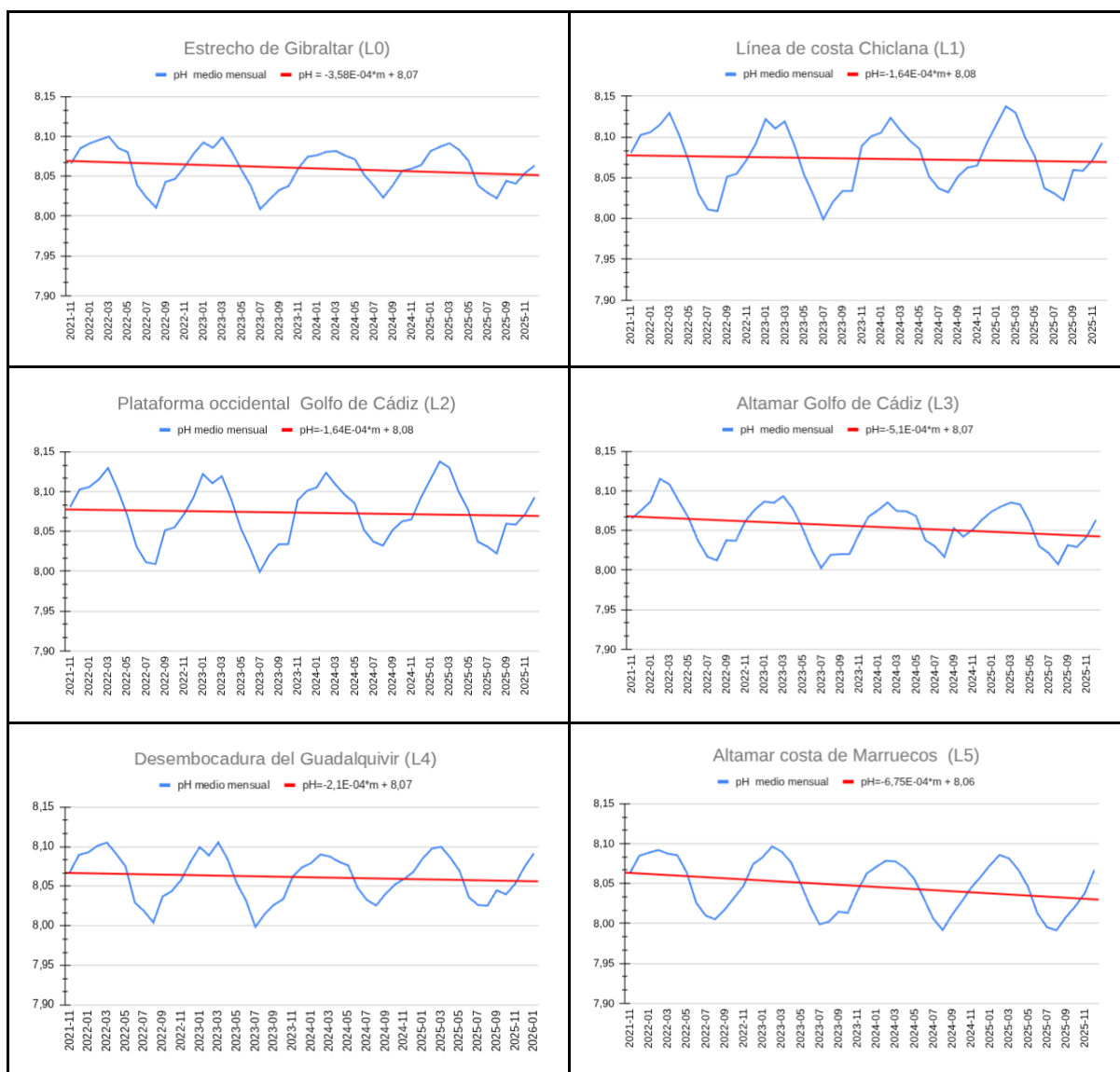


Figura 8. *pH medio mensual del agua en las distintas localizaciones del Golfo de Cádiz.*
Fuente: datos del CMEMS Global OceanPhysicsReanalysis, gráficas de elaboración propia.

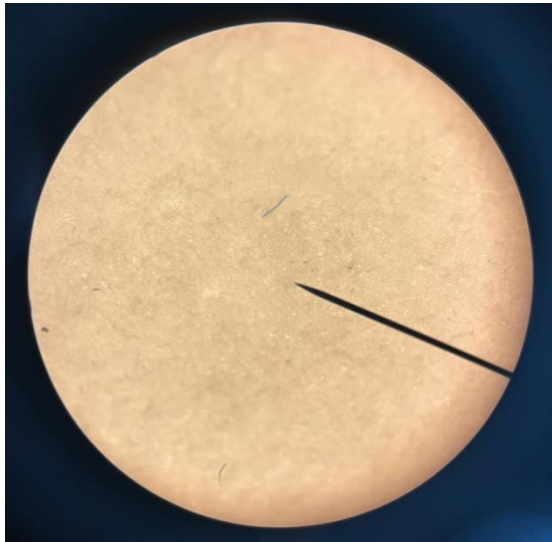


Figura 9. Microplásticos observados bajo la lupa binocular en sal marina de mesa. (40X) (Reducción imagen 75%)
Fuente: imagen de elaboración propia.

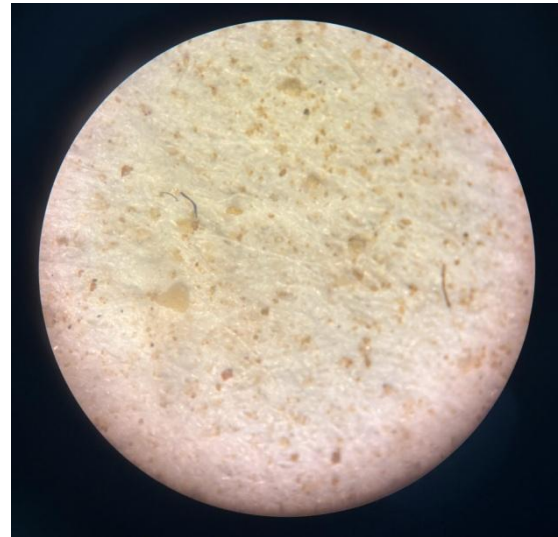


Figura 10. Microplásticos observados bajo la lupa binocular en sal de las Salinas de Chiclana. (40X) (Reducción imagen 75%)
Fuente: imagen de elaboración propia.



Imagen Sentinel-2 True Colour

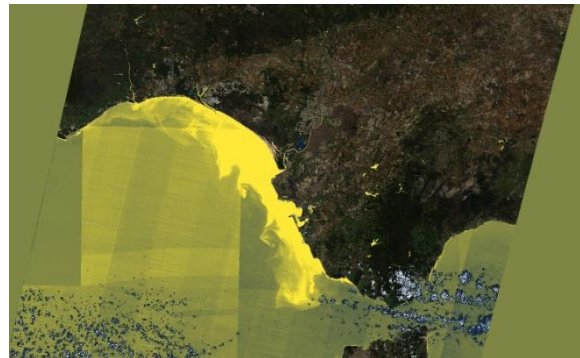


Imagen Sentinel-2 script Ocean Plastic Detector

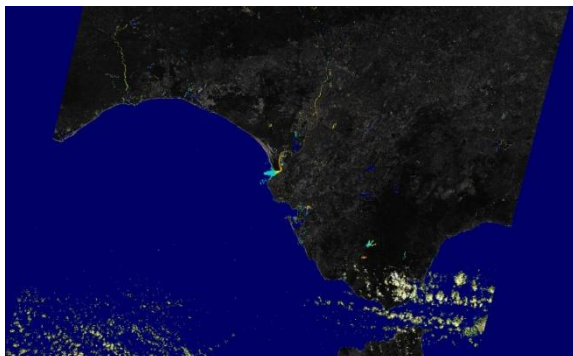


Imagen Sentinel-2 script basado NDTI

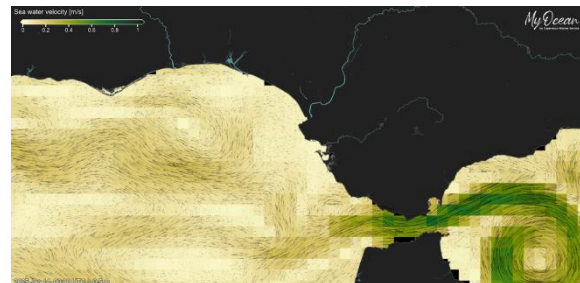


Imagen Corrientes MyOceanPro CMEMS

Figura 11. Imagen de invierno (15/01/2025). Fuente: imágenes de obtención propia.



Imagen Sentinel-2 True Colour

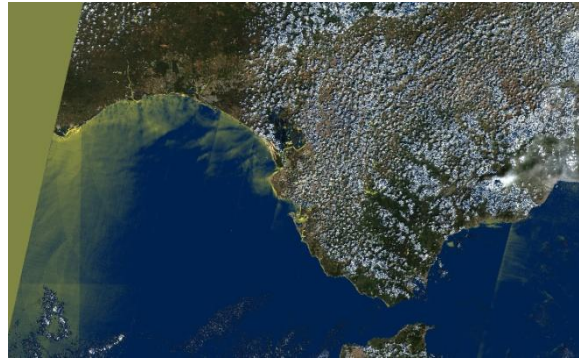


Imagen Sentinel-2 script Ocean Plastic Detector

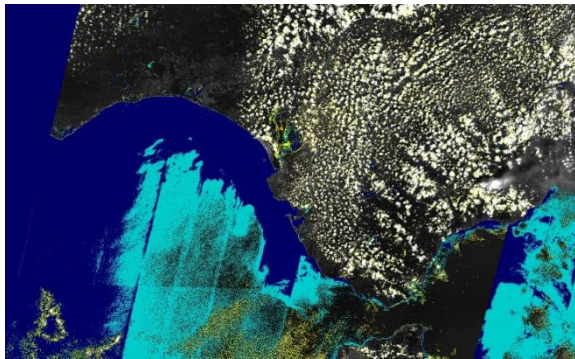


Imagen Sentinel-2 script basado NDTI

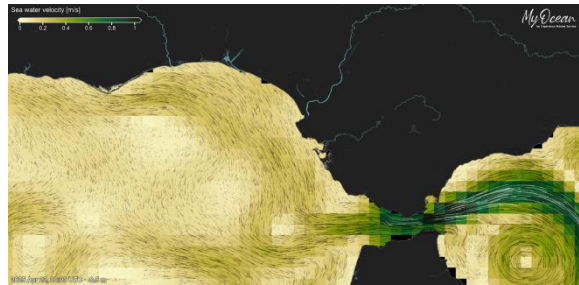


Imagen Corrientes MyOceanPro CMEMS

Figura 12. Imagen de primavera (22/04/2025). Fuente: imágenes de obtención propia.



Imagen Sentinel-2 True Colour

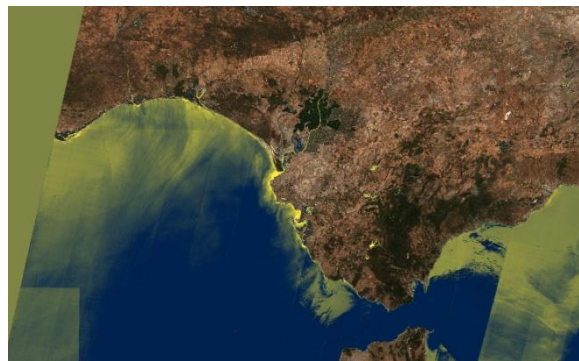


Imagen Sentinel-2 script Ocean Plastic Detector

Figura 13a. Imagen de verano (30/08/2025). Fuente: imágenes de obtención propia.

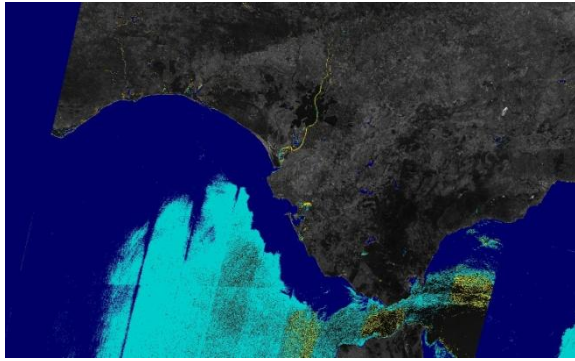


Imagen Sentinel-2 script basado NDTI

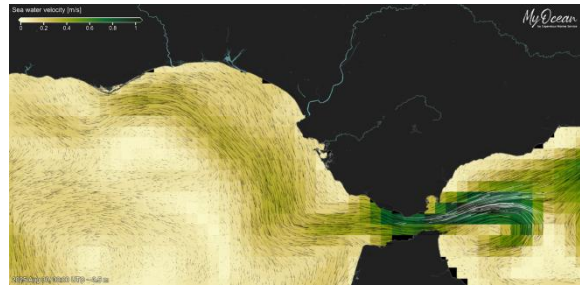


Imagen Corrientes MyOceanPro CMEMS

Figura 13b. Imagen de verano (30/08/2025). Fuente: imágenes de obtención propia.

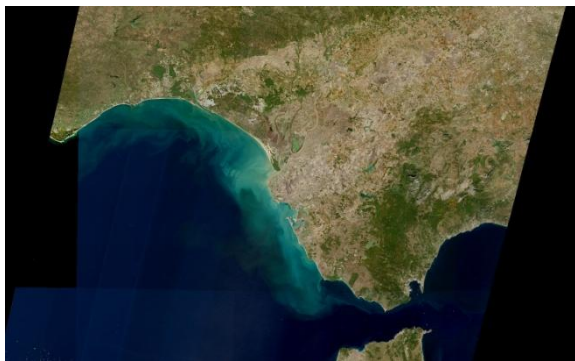


Imagen Sentinel-2 True Colour

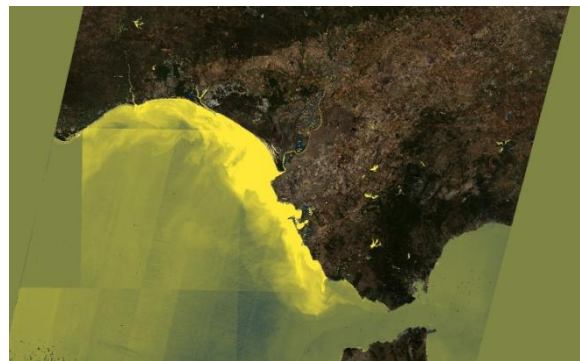


Imagen Sentinel-2 script Ocean Plastic Detector

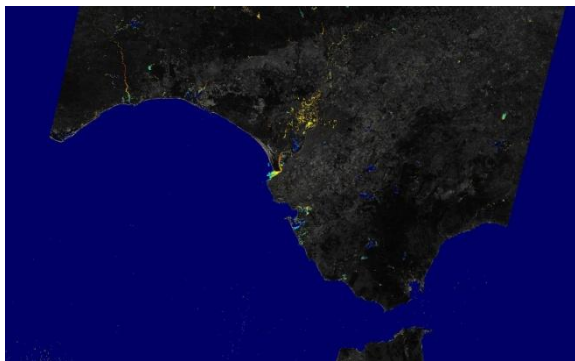


Imagen Sentinel-2 script basado NDTI

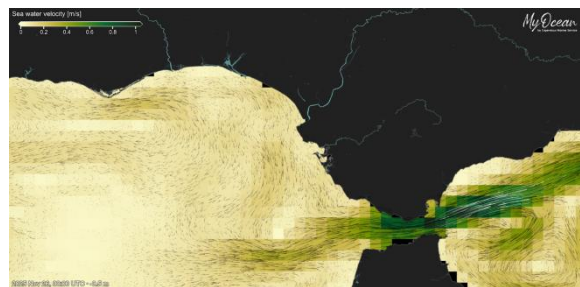


Imagen Corrientes MyOceanPro CMEMS

Figura 14. Imagen de otoño (26/11/2025). Fuente: imágenes de obtención propia.



Imagen Sentinel-2 True Colour

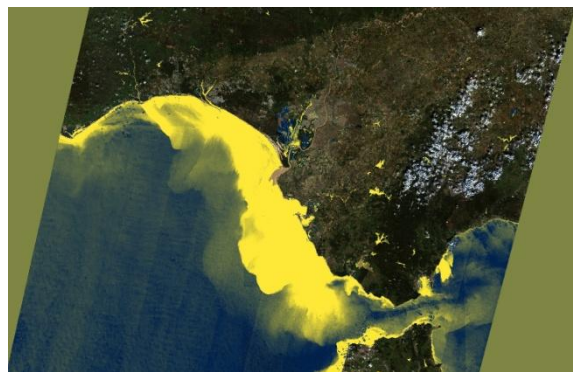


Imagen Sentinel-2 script Ocean Plastic Detector

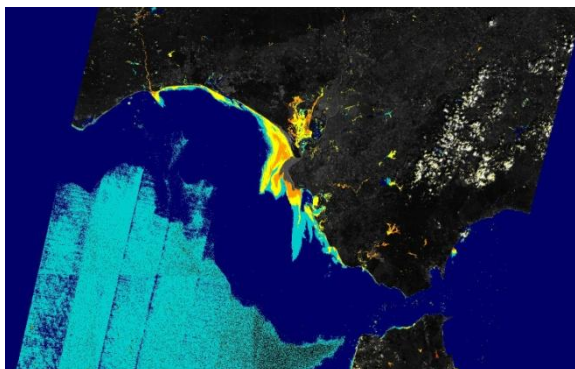


Imagen Sentinel-2 script basado NDTI

Figura 15. Imagen posterior a las borrascas Leonardo y Marta (14/02/2026). Fuente: imágenes de obtención propia.