INFORME DEL CONVENIO ENTRE LA GENERALITAT A TRAVÉS DE LA CONSELLERIA DE AGRICULTURA, DESARROLLO RURAL, EMERGENCIA CLIMÁTICA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA PARA LA EJECUCIÓN EN EL EJERCICIO 2021 DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

"Estudio de las afecciones de diversas fuentes de contaminación al estado ecológico de la masa de agua costera C017: Santa Pola-Guardamar del Segura."

Diciembre 2021

INMACULADA|ROMERO|GIL

Firmado digitalmente por INMACULADA|ROMERO|GIL
Fecha: 2021.12.20 10:43:38 +01'00'

1.- Introducción

La masa de agua costera C017: Santa Pola-Guardamar del Segura, incumple su estado ecológico, con un estado Moderado en el indicador fitoplancton. En el ámbito de los trabajos realizados para la Directiva Marco del Agua (DMA) desde el 2005, se posee una gran cantidad de datos fisicoquímicos y biológicos (nutrientes y fitoplancton) de la masa C017, zona costera de Santa Pola, y de las masas contiguas C016 y C018, e incluso de la masa de transición "Salinas de Santa Pola" y de algunos puntos de vertido directos a dicha masa.

Durante el año 2020 se realizó el estudio de esta masa de agua, donde se puedo concluir que la masa de agua costera C017 cumple los requerimientos de la DMA respecto a los indicadores fisicoquímicos, como así ha sido siempre. Sin embargo, respecto al indicador fitoplancton (clorofila), esta masa sigue incumpliendo, con un estado Moderado. Sí que es cierto que se ha ido observando una mejoría respecto a los años anteriores, estando ya muy cercano al límite del cumplimiento.

No se aprecia un comportamiento estacional del indicador clorofila en base al registro de los datos de calidad de agua obtenidos de las campañas de muestreo realizadas en años anteriores. Así que queda claro que la disponibilidad de luz solar no es un factor limitante para la producción del fitoplancton, lo que lleva a posicionar como factor limitante para el desarrollo de estos organismos la disponibilidad de nutrientes en la zona de estudio.

En base a los resultados obtenidos en el 2020, se aprecia que la masa C017 posee dos probables causas de incumplimiento, una afectando a la estación DP115 y la otra afectando a las estaciones DP118 y DP119. Sin embargo, una vez caracterizada la zona e identificados los posibles vertidos, no fue posible descartar a priori con una elevada seguridad ninguna de las hipótesis establecidas, en base a datos objetivos.

Respecto a la estación DP115, la causa de incumplimiento parece doble. En primer lugar, la morfología de la zona, pues la DP115 está ubicada en una zona con un tiempo de residencia elevado, lo que queda también demostrado por la alta cantidad de macroalgas y vegetación que se encuentra en esta playa en muchos momentos del año. Por otra parte, parece que las partículas contaminantes proceden, en gran parte, del Noreste de la zona de estudio. Puesto que esta dirección no es una de las predominantes del oleaje, puede existir una relación entre unas condiciones climáticas determinadas y la existencia de altas concentraciones de fitoplancton en esta estación.

Por todo ello se plantea realizar un estudio completo de los posibles vertidos (Barranco de las Ovejas, emisario submarino EDAR Rincón de León y emisario submarino de la EDAR Monte Orgegia), pues los resultados obtenidos muestran que las fuentes potenciales de contaminación que afectan a la zona de estudio se ubican en las cercanías de estos puntos. Con datos de series temporales más extensas, se estudian las fuentes y vertidos localizados en esta zona norte del ámbito de estudio y también en la salida de aguas de la Goleta y el Vinalopó.

La metodología a seguir en el estudio será la establecida en el Real Decreto 817/2015, del 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Para la masa C017, definida como AC-T06 Aguas costeras mediterráneas no influenciadas por aportes fluviales, someras mixtas, el Real Decreto 817/2015 marca como indicadores aplicables los mostrados en la tabla 1.

Elemento	**Indicador**	**Acrónimo**
Fitoplancton	P90 de concentración de clorofila-a (µg/L)	Chl-a
Condiciones generales: Nutrientes	Amonio (µmol NH_4/L)	Amonio
	Nitritos (µmol NO_2/L)	Nitritos
	Nitratos (µmol NO_3/L)	Nitratos
	Fosfatos (µmol PO_4/L)	Fosfatos
	Índice Fosfatos-Amonios-Nitritos	FAN

Tabla 1. Indicadores para masas costeras AC-T06.

Los criterios marcados para este tipo son los definidos en la Tabla 2, para campo próximo.

	Referencia	**Muy bueno/ Bueno**	**Bueno/ Moderado**	**Moderado/ Pobre**	**Pobre/ Malo**
P90 Clorofila a (µg/L)	1.8	2.26	3.60	5.00	6.42
Promedio Amonio (µmol NH_4/L)			4.60		
Promedio Nitrito (µmol NO_2/L)			0.92		
Promedio Nitrato (µmol NO_3/L)			7.3		
Promedio Fosfato (µmol PO_4/L)			0.76		

Tabla 2. Límites para indicadores de masas costeras AC-T06.

Esta masa de aguas costera se ha controlado por parte del IIAMA de la Universitat Politècnica de València, a requerimiento de la Dirección General del Agua de la GVA, desde el 2005, para diferentes indicadores, por lo que se posee una gran base de datos históricos de las estaciones de muestreo definidas

Se ha recopilado además datos históricos que la Generalitat Valenciana posee de calidad de las aguas vertidas y caudales de emisario submarino y EDAR Rincón de León y de emisario submarino y EDAR Monte Orgegia. Estos datos, juntos con los datos históricos de las masas de aguas costeras que el IIAMA posee, permiten estudiar y modelar las afecciones de las fuentes potenciales de contaminación. Con los resultados que se obtengan se podrían indicar los puntos influyentes en la calidad de la zona costera y definir posibles medidas gestión como: proponer un régimen de vertido (en función de las condiciones marítimas) en las zonas identificadas como fuentes potenciales de aporte de contaminantes y/o plantear posibles medidas de mejoras de la calidad del agua en dichos puntos de vertido.

Por todo ello los **objetivos** de este convenio son:

- el estudio de la dinámica litoral de la masa de agua costera C017
- el estudio de las fuentes de contaminación tanto terrestres como marinas de la masa de agua
- el estudio del estado ecológico de la masa de agua para los indicadores fisicoquímicos (nutrientes) y para el indicador biológico fitoplancton

con el objetivo final de relacionar los tres aspectos anteriores, definir la problemática concreta de la zona y plantear medidas de gestión para el cumplimiento de la DMA.

Para ello se tendrán en cuenta los datos fisicoquímicos y biológicos (nutrientes y fitoplancton) de la masa C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura), y de las masas contiguas C016 (Cabo Huertas – Santa Pola), C0161 (Puerto de Alicante) y C018 (Guardamar del Segura – Cabo Cervera) y de algunos puntos de vertido directos a dicha masa.

2.- Zona de estudio

La masa de agua costera C017 se lleva controlando por parte del IIAMA de la Universitat Politècnica de València, a requerimiento de la Dirección General del Agua de la GVA, desde el 2005, para diferentes indicadores, por lo que se posee una gran base de datos históricos (Figura 1). Los puntos de muestreo son los definidos en las Figuras 2, 3, 4 y 5 y en la Tabla 3.

Masa		Estación	Nombre
ES080MSPFC0161		DP109	Playa al sur del Puerto Alicante
ES080MSPFC0161		DP183	Sur cala dels Borratxos, Alicante
ES080MSPFC016	*	DP113A	1.5 km al norte del punto DP113
ES080MSPFC016		DP113	Playa del Saladar, Alicante
ES080MSPFC017		DP115	Playa del Varador, Santa Pola
ES080MSPFC017	*	DP115A	Escollera derecha de la Playa del Varador, Santa Pola
ES080MSPFC017		DP118	Playa Braç del Port, Santa Pola
ES080MSPFC017	*	Gola	La Goleta
ES080MSPFC017	*	Vinalopó	Desembocadura del río Vinalopó
ES080MSPFC017		DP119	Playa del Pinet, Elche
ES070MSPFC018		DP120	Playa els Tossals, Guardamar del Segura
ES070MSPFC018	*	Segura	Desembocadura del río Segura

Tabla 3. Estaciones estudiadas en las masas de agua costeras para la determinación de parámetros biológicos y fisicoquímicos, de norte a sur.

Los puntos marcados en la Tabla 3, con * son puntos que, no estando definidos en la red de muestreo, han sido también escogidos para un mejor estudio de la masa C017.

- La muestra DP113A se recoge a 1.5 km al norte de la DP113, pues así se recomienda en función del estudio de la dinámica litoral realizado.

- La muestra DP115A se recoge desde la escollera derecha de la playa del Varador (Santa Pola), debido a la que las muestras recogidas en la DP115 siempre se encuentran con una alta cantidad de macroalgas, y por tanto no proporcionan datos fiables de clorofila.
- La muestra Gola se recoge en el interior de la gola situada al sur de la DP118.
- La muestra Vinalopó se recoge en la desembocadura del río Vinalopó.
- La muestra Segura se recoge en la desembocadura del río Segura.

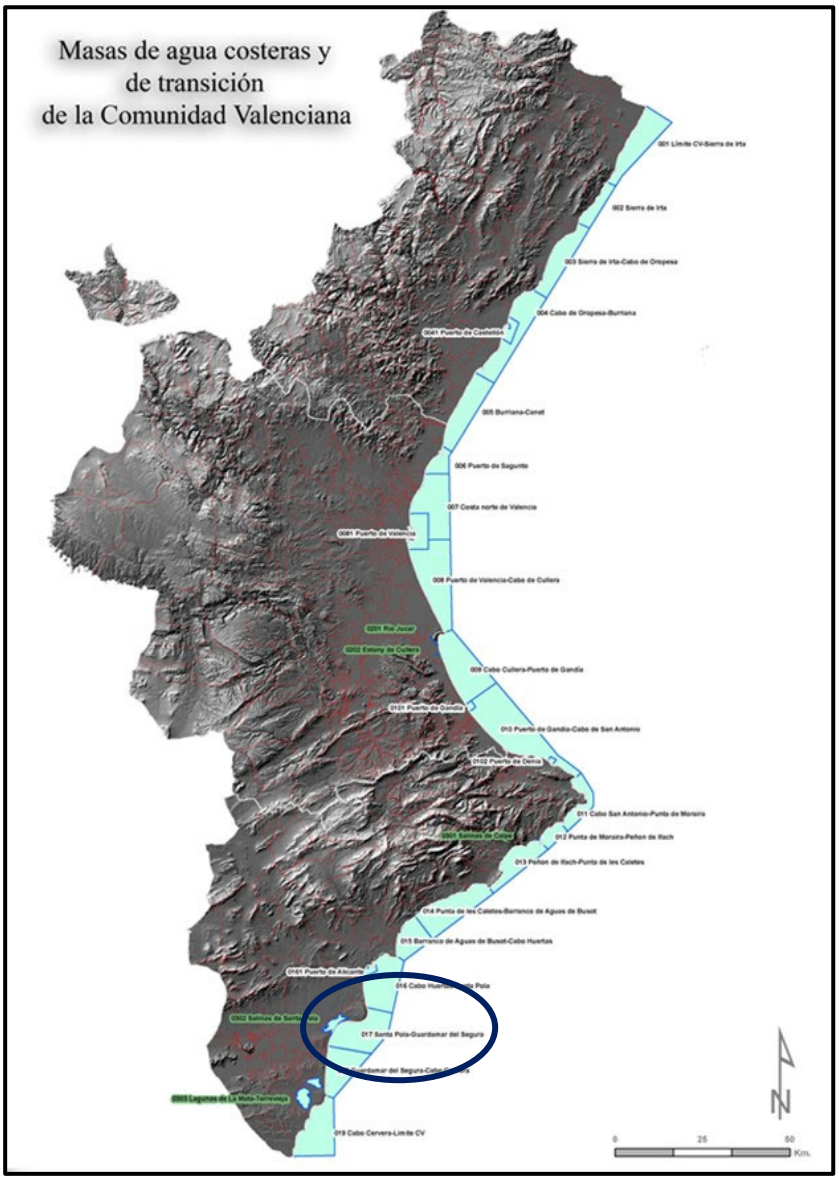


Figura 1. Distribución de las masas de agua costeras naturales y muy modificadas por la presencia de puertos de la Comunitat Valenciana.

Figura 2. Distribución de puntos de muestreo de las masas C016 y C0161.

Figura 3. Distribución de puntos de muestreo de la masa C017.

Figura 4. Detalle de los puntos de muestreo adicionales de la masa C017, Gola y Vinalopó.

Figura 5. Distribución de los puntos de muestreo de la masa C018.

3.- Metodología

Para alcanzar los objetivos previstos, se realiza una caracterización completa de la zona de estudio, identificando las fuentes potenciales de aporte de contaminantes que afectan a la zona y el clima marítimo propio del área, para poder estudiar correctamente la dinámica litoral.

Del mismo modo se estudia la calidad de las aguas de la masa costera, en base a los datos históricos que se poseen de la zona y a los datos proporcionados por la GVA de Rincón de León y Monte Orgegia.

4.-Caracterización de la zona

La masa de agua costera C017 Santa Pola - Guardamar del Segura se ubica en el litoral de la provincia de Alicante, entre la zona norte del cabo de Santa Pola y el norte del litoral del municipio de Guardamar del Segura. Se trata de una zona de 148 Km^2 de superficie de masa de agua costera distribuidos a lo largo de cerca de 20 km de litoral continental.

De los resultados obtenidos en la anualidad anterior (Cambronero, 2020; Romero et al, 2020) queda patente que los "vertidos" que se consideran de relevancia para el estudio de las posibles fuentes de contaminación de la masa de agua costera C017 son tanto salidas naturales de cauces, como vertidos puntuales.

En este caso concreto las fuentes potenciales de contaminación que afectan a la zona de estudio se ubican en las cercanías de:

1. Barranco de las Ovejas
2. Emisario submarino EDAR Rincón de León
3. Emisario submarino EDAR Monte Orgegia
4. Salida de aguas de La Goleta (al sur de Las Salinas de Santa Pola)
5. Vinalopó

Las simulaciones realizadas con modelo de dispersión de contaminantes muestran como el desplazamiento de las partículas emitidas sigue una trayectoria cercana a la costa en los primeros metros, hasta llegar a un punto donde esta trayectoria se aleja de la línea de costa ubicándose unos metros mar adentro.

Se identifica que la estación de muestreo DP113 se ubica en el lugar que se produce el cambio de trayectoria de las partículas emitidas desde uno de los puntos de vertido. La estación DP114 se ubica alejada de la trayectoria de estas partículas. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 6, que incluye una de las simulaciones realizadas superpuesta sobre el plano de ubicación de las estaciones de muestreo.

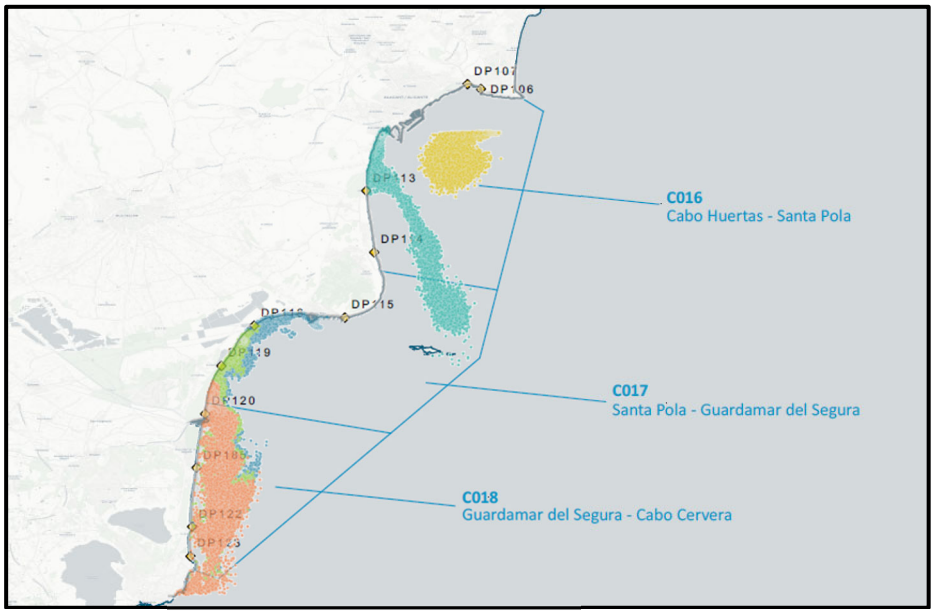


Figura 61. Composición del resultado del modelo de dispersión de contaminantes sobre el plano de estaciones de muestreo. Simulación 3. 07/2014 – 15 días en su instante final (23/07/2014 12:00h). (Romero et al, 2020)

Las simulaciones numéricas de la dispersión de partículas en medio marino efectuadas en el estudio previo (Romero et al, 2020) fueron llevadas a cabo con la herramienta MOHID Studio (modelo MOHID Water con interfaz gráfica distribuido bajo licencia por ActionModulers). Actualmente, dicha herramienta ha sido reemplazada por OpenFlows FLOOD, pudiendo condicionar las nuevas modelizaciones. Una alternativa que se propone considerar es la herramienta Delft3D. En el presente estudio se ha contactado con la distribuidora de software de ingeniería de infraestructuras desarrolladora de Openflows FLOOD Bentley Systems para solicitar licencia GPL para utilización de dicho software, sin resultado por el momento. También se ha instalado e iniciado las tareas de preparación de modelos con el software Delft3D versión 3.28.50.01 (Open Source) de DELTARES. Sin embargo, en el momento de redacción del presente informe aún no se dispone de un modelo útil para la simulación de dispersión de partículas con ninguno de los dos modelos.

Para la consecución de los objetivos propuestos, se propone realizar las siguientes acciones:

1. Caracterización de la zona de estudio: mediante un análisis físico y ambiental del ámbito de estudio, localizado en la masa de agua costera objeto de análisis en el medio y definiendo la extensión del área de estudio, las fuentes de agua naturales que tienen su desembocadura ubicada en el ámbito de estudio y los principales vertidos desde tierra al mar.
2. Estudio del clima marítimo de la zona y propagación del oleaje: se analizan los niveles del mar mediante la definición del régimen de mareas de la zona y el régimen de oleaje a través del estudio de los parámetros representativos del oleaje: altura de ola significante, periodo pico y dirección predominante de oleaje. A partir de las condiciones de clima marítimo establecidas, se ha propagado el oleaje hasta las proximidades del Puerto de Alicante, donde se

ubican los potenciales puntos de vertido a estudiar identificados en el estudio de la anualidad anterior.

3. Estudio de la dinámica litoral: se define la dinámica propia de la zona debida a la actuación sobre el medio de los diversos agentes climáticos, principalmente el oleaje, las mareas, las corrientes y el viento.
4. Cálculo analítico del transporte de contaminantes: una vez establecidos todos los apartados anteriores, se establecen los principios físicos para el transporte de partículas en el medio marino y se realiza el cálculo aproximado del desplazamiento de las partículas aplicando la Teoría de la Deriva de Stokes.
5. Modelo de dispersión de contaminantes: se realiza la modelación del sistema de corrientes y del transporte de contaminantes en la zona de estudio mediante la herramienta de cálculo numérico OpenFlows FLOOD o Delft3D, para evaluar la trayectoria de las partículas procedentes de las distintas fuentes de contaminantes próximas a la zona de estudio.

Caracterización de la zona de estudio

La caracterización completa de la zona de estudio define la extensión de la zona de estudio en base al análisis físico y ambiental, incluyendo la identificación de los principales vertidos al mar asociados.

La masa de agua costera C017 Santa Pola - Guardamar del Segura se ubica en el litoral de la provincia de Alicante, entre la zona norte del cabo de Santa Pola y el norte del litoral del municipio de Guardamar del Segura. Se trata de una zona de 148 Km^2 de superficie de masa de agua costera distribuidos a lo largo de cerca de 20 km de litoral continental.

Los “vertidos” que se consideran de relevancia para el estudio de las posibles fuentes de contaminación de la masa de agua costera C017 son tanto salidas naturales de cauces, como vertidos puntuales. Se han considerado, realizando una agrupación de algunas de estas fuentes y vertidos según la proximidad de su ubicación, cinco localizaciones de vertido en la zona de estudio.

Estos 5 puntos de vertidos se muestran en la figura 7:

1. Desembocadura del Segura: Desembocadura y Frente Litoral del Segura y Vertido “Ayuntamiento de Guardamar del Segura” (tanques de preengorde de piscifactorías)
2. Desembocadura del Vinalopó: Desembocadura del Río Vinalopó y Salinas de Santa Pola
3. Santa Pola: Vertidos difusos en Santa Pola
4. Puerto de Alicante: Barranco de las Ovejas y Emisario submarino EDAR Rincón de León
5. Emisario Alacantí: Vertido “Mancomunitat de l’Alacantí” (emisario submarino EDAR Monte Orgegia)

Figura 7. Ubicación de los 5 puntos de vertido identificadas en la zona de estudio

De estos puntos de vertido, en el estudio de la anualidad anterior, se analizaron diferentes hipótesis sobre la procedencia de las partículas contaminantes en los puntos correspondientes a las campañas de tomas de datos históricas del IIAMA, modelizándose la evolución de la dispersión de partículas desde los puntos de vertido identificados. Las conclusiones indican la posibilidad de que los indicadores detectados en las campañas del IIAMA tengan explicación a partir de:

- Partículas procedentes del punto de vertido 4, **Puerto de Alicante**, que agrupa la fuente natural del **Barranco de las Ovejas** y el **vertido de la EDAR Rincón de León**. En la figura 8 se observa el punto de vertido de la EDAR Rincón de León. Las partículas emitidas desde esta localización de vertido alcanzan la estación DP115 de la masa de agua costera C017 en las modelizaciones efectuadas. Por tanto y en base a los resultados de las simulaciones, resulta probable que, en caso de emitirse un gran aporte de nutrientes desde alguna de las fuentes que agrupa este punto de vertido, éstos sean asimilados por la comunidad fitoplanctónica que por la dinámica litoral propia de la zona tiende a alcanzar la estación de medición DP115.
- Partículas procedentes del punto de vertido 5, **Emisario Alacantí**, que hace referencia al vertido autorizado de la Mancomunitat de l'Alacantí procedente del emisario submarino de la **EDAR Monte Orgegia** (figura 9). Aunque en las simulaciones realizadas la emisión de partículas contaminantes desde el Punto de Vertido 5 no alcanza la estación DP115, en base a las corrientes modeladas se puede estimar que en un periodo de simulación mayor al efectuado (en torno a los 30 días), las partículas emitidas desde este punto también alcanzarían la estación DP115. Por tanto, resulta probable que, en caso de emitirse un gran

aporte de nutrientes desde el Punto de Vertido 5, éstos sean asimilados por la comunidad fitoplanctónica que por la dinámica litoral propia de la zona tiende a alcanzar la estación de medición DP115.

Figura 82. Desagüe EDAR Rincón de León (XUTM=718255, YUTM=4244756, zUTM=7.5)

Figura 93. Desagüe EDAR Monte Orgegia (XUTM=724925, YUTM=4245291, zUTM=28)

Estudio del clima marítimo de la zona

En el informe anterior se analizaron los niveles del mar mediante la definición del régimen de mareas de la zona y el régimen de oleaje a través de estudio de los parámetros representativos del oleaje: altura de ola significante, periodo pico y dirección predominante de oleaje. Posteriormente, partiendo de las condiciones de clima marítimo establecidas, se realiza la propagación del oleaje hacia aguas poco profundas, donde se considerarán los efectos del fondo marino y se producen los fenómenos de refracción, difracción y asomeramiento. La caracterización completa del oleaje, viento y niveles del mar en las proximidades de los potenciales puntos de

vertido a estudiar (vertidos de la EDAR Monte Orgegia y EDAR Rincón de León en las proximidades del Puerto de Alicante), junto con la batimetría de la zona (Figura 10) constituye la información de partida para la dinámica litoral y modelización de corrientes en la zona.

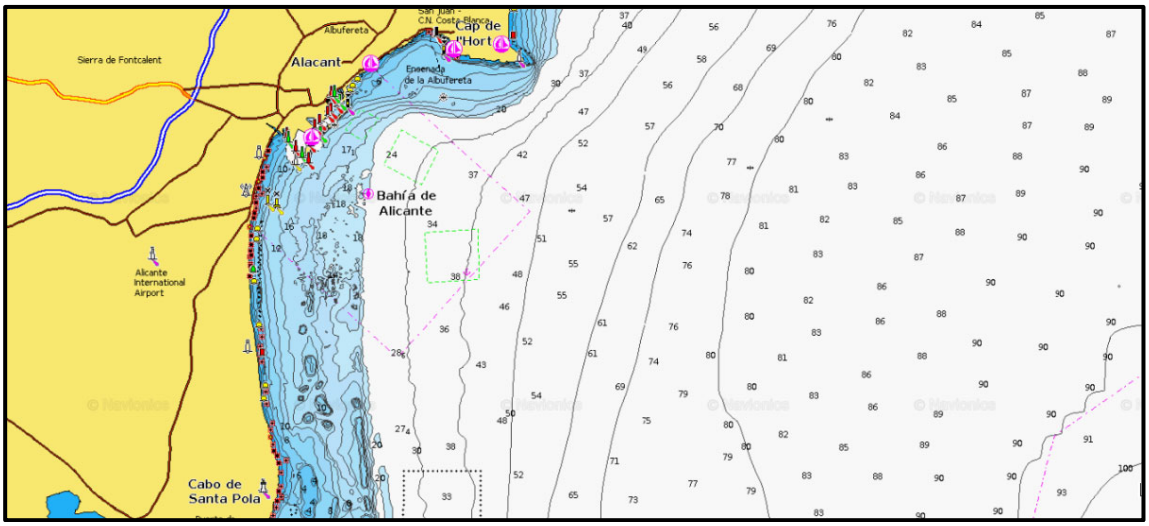


Figura 104. Delimitación batimétrica de la zona de estudio (Fuente Navionics https://webapp.navionics.com/)

Se han actualizado los estudios de clima marítimo y propagación de oleaje con los datos de Puertos del Estado (Puntos SIMAR 613023024 y 2079100) y Copernicus (ERA5) actualizados a fecha de 5 de septiembre de 2021. Las series SIMAR surgen de la concatenación de dos conjuntos de datos: SIMAR-44 y WANA, aportando datos desde 1958 a la actualidad. Los datos de reanálisis ERA5 proporcionan datos desde 1950.

A efectos prácticos, la utilización de los conjuntos de datos de oleaje SIMAR como ERA5, en zonas en las que el oleaje pueda ser afectado por el fondo, deben ser interpretados siempre como datos en aguas abiertas a profundidades indefinidas y por lo tanto requieren propagación de oleaje independientemente de la proximidad del punto a la zona de estudio.

La actualización llevada a cabo para la actualización del clima marítimo no ha detectado diferencias significativas que afecten a los resultados obtenidos en el informe anterior. A continuación, a modo de ejemplo, se muestran las series de datos horarios de diciembre de 2020 a diciembre de 2021 para el punto SIMAR 613023024 seleccionado.

Figura 115. Rosa de oleaje Punto SIMAR 613023024

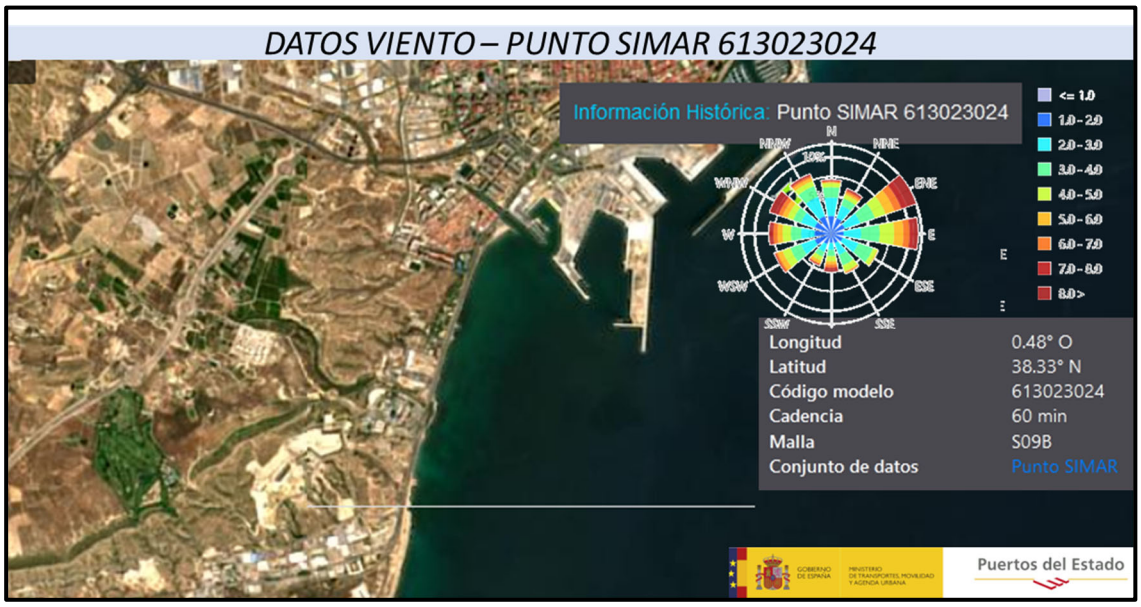


Figura 126. Rosa de viento Punto SIMAR 613023024

Los niveles del mar como combinación de la marea astronómica y los residuos meteorológicos tampoco representan modificación de las condiciones definidas para los valores considerados en la anualidad anterior. En algunas zonas de aguas con escasa posibilidad de renovación se han registrado sobreelevaciones excepcionales por efecto del temporal Gloria (enero 2020) que, sin embargo, no son detectables ni afectan a las condiciones en la zona de estudio.

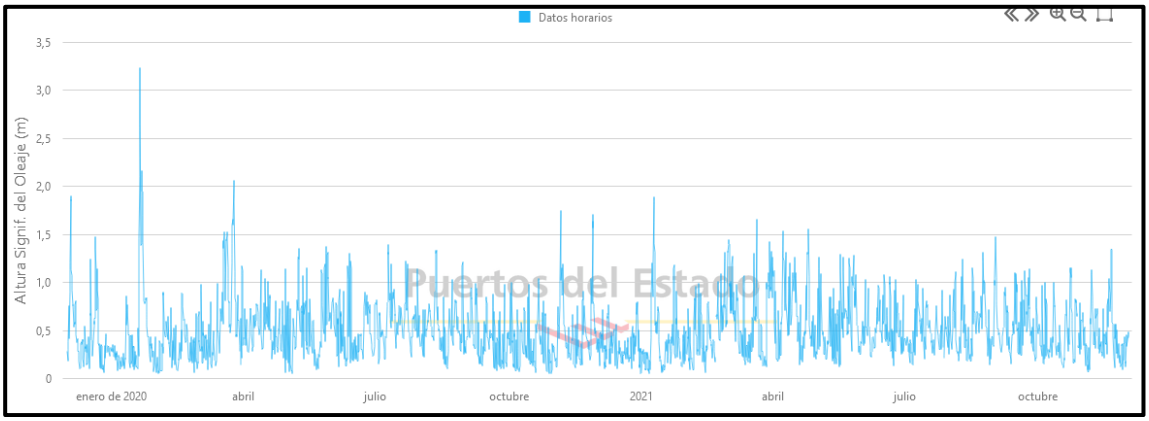


Figura 137. Datos horarios de oleaje para la actualización de la información de clima marítimo (Fuente: https://www.puertos.es/es-es/oceanografia)

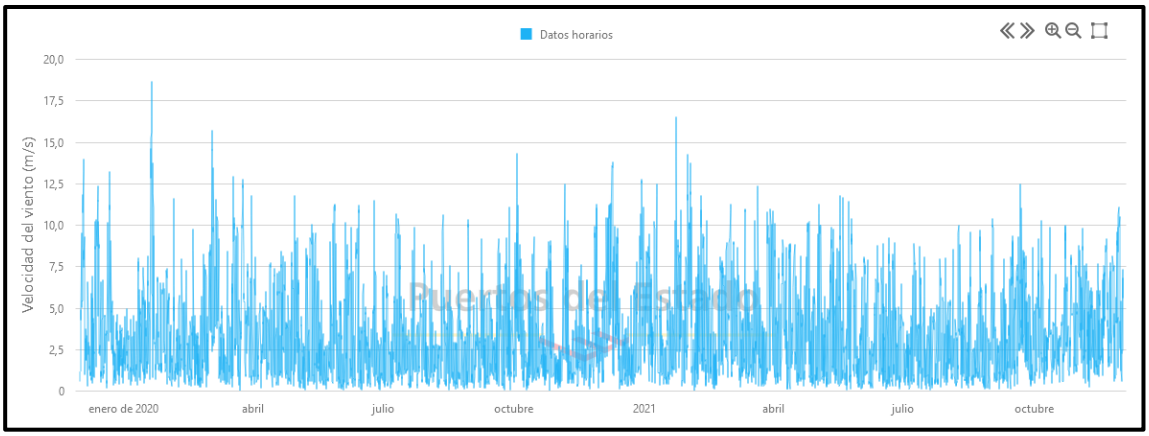


Figura 148. Datos horarios de viento para la actualización de la información de clima marítimo (Fuente: https://www.puertos.es/es-es/oceanografia)

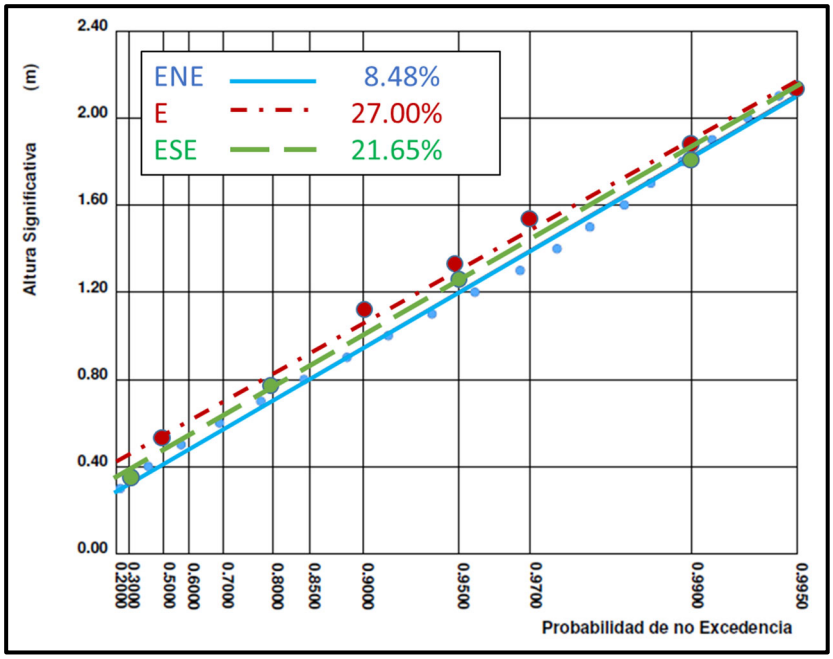
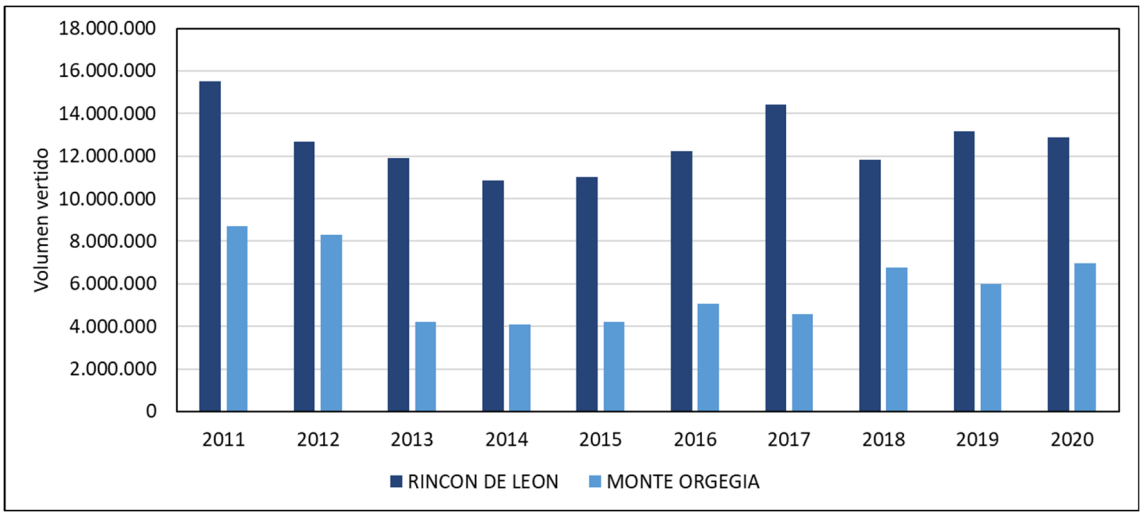
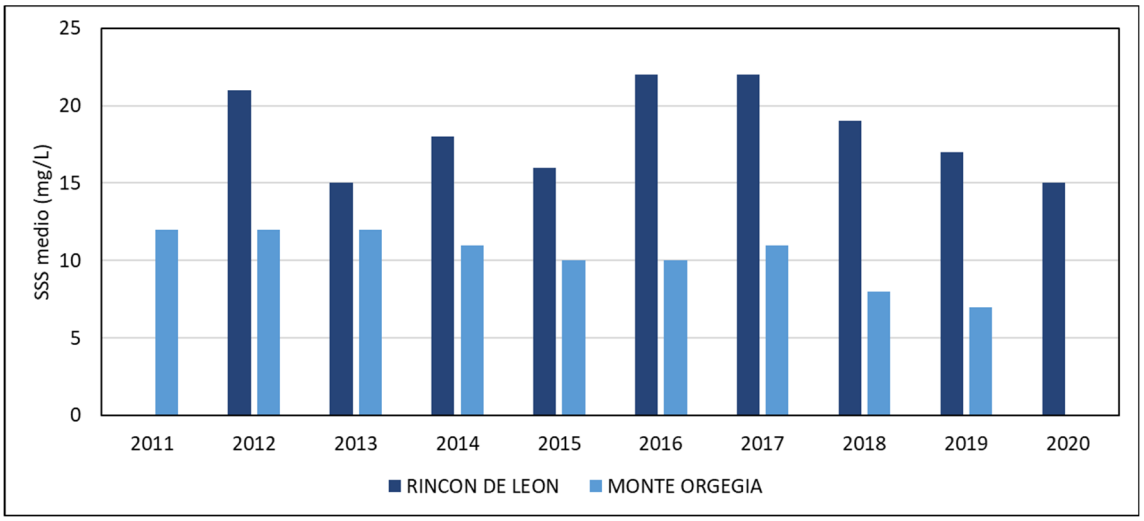


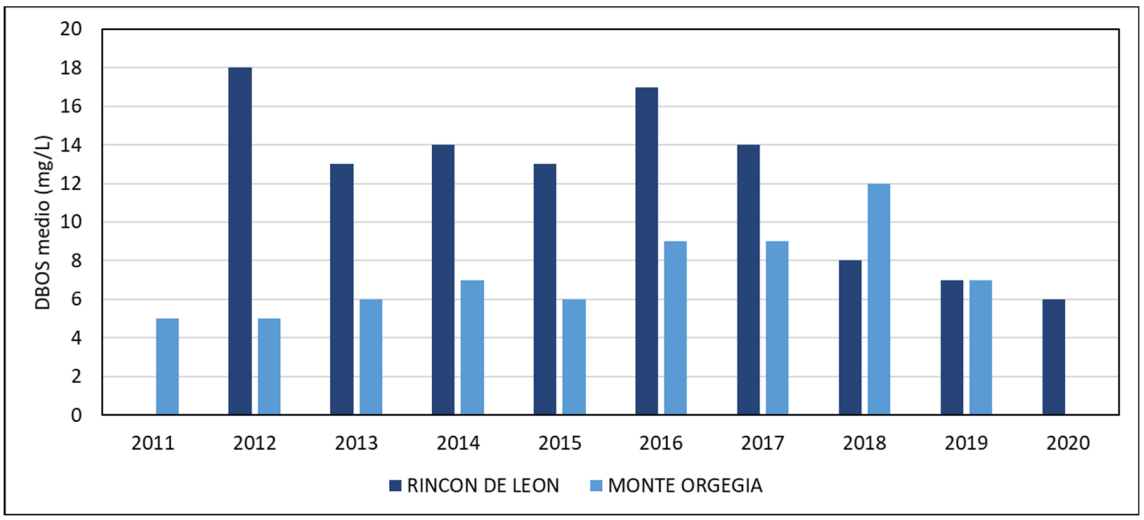
Figura 159. Regímenes medios de oleaje 1958-2021 (Fuente: elaboración propia)

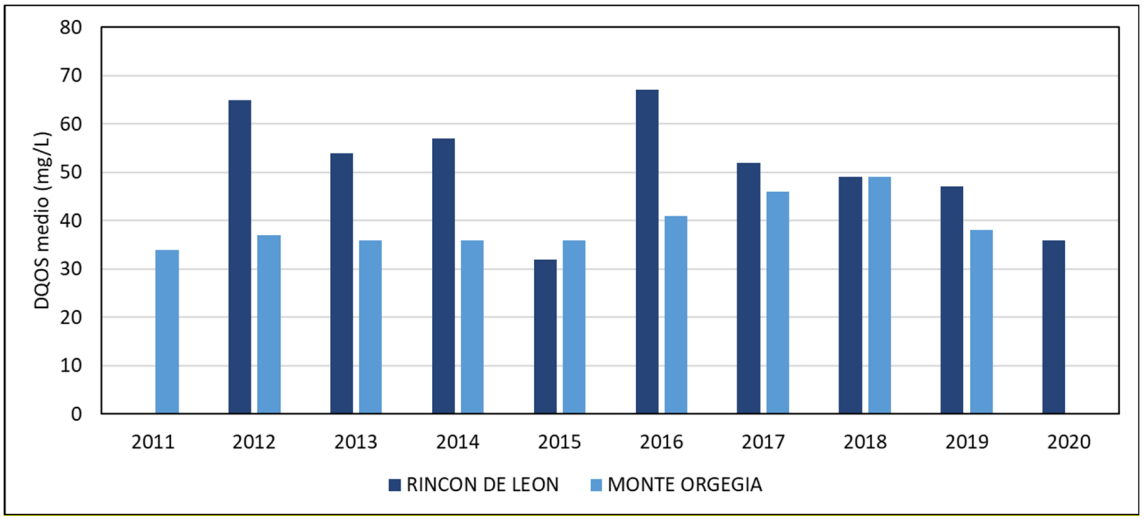
Estudio de vertidos directos

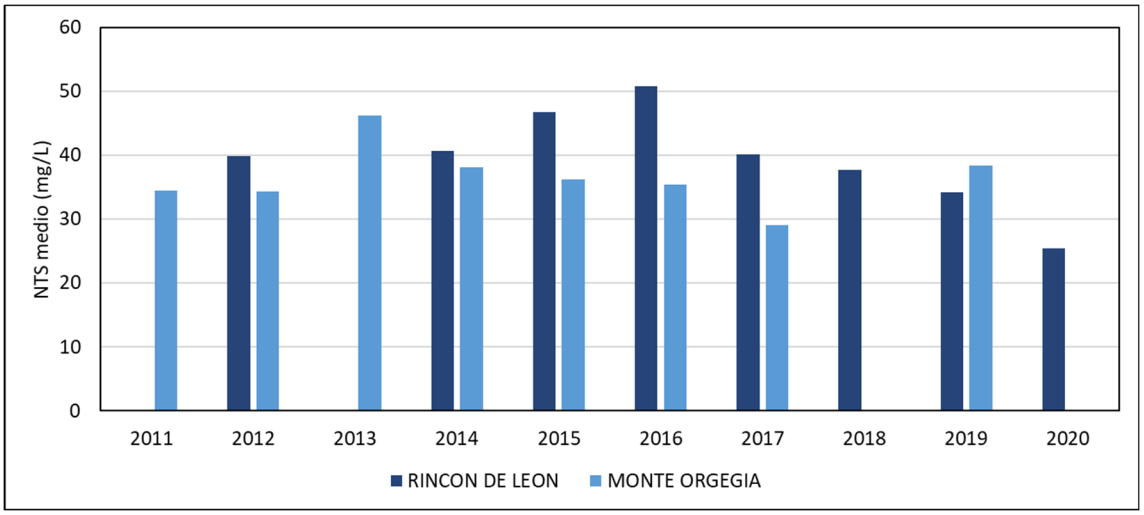
Desde la GVA se proporciona los datos analíticos históricos de los emisarios de Rincón de León de 2000 a 2018 y Monte Orgegia de 2008 a 2019, de diferentes analitos. En la figura 16 se muestra las características de los vertidos que se producen desde el 2011 hasta el 2020.











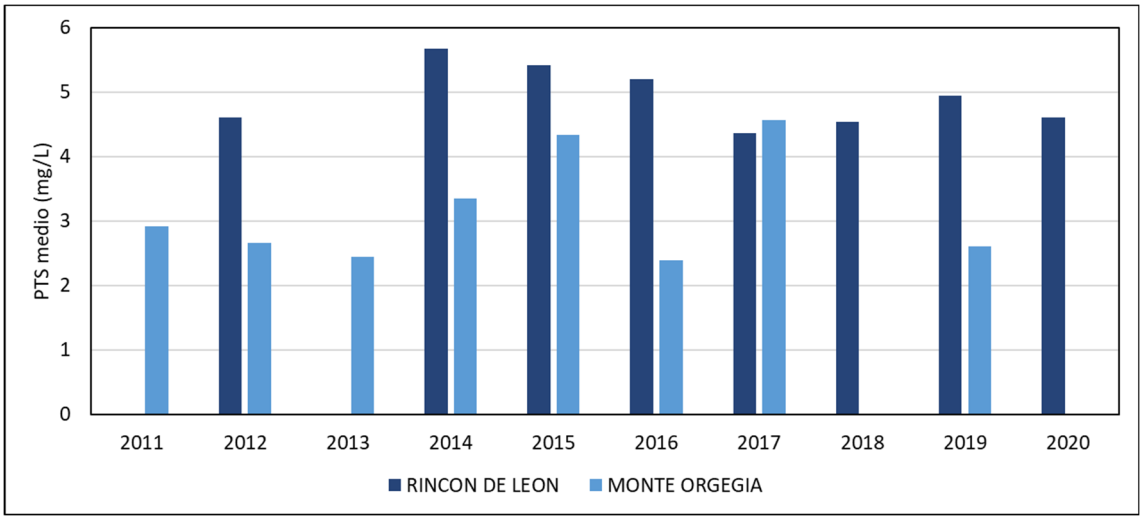


Figura 1610. Vertido de ambos emisarios

Estos volúmenes y concentraciones vertidas tienen su repercusión en la calidad del agua de la zona, repercusión que será analizada con más detalle.

Propagación de oleaje y corrientes. Estudio de la dinámica litoral

A falta de la previsible falta de disponibilidad de los modelos hidrodinámicos de corrientes y dispersión de partículas requeridos para el seguimiento y evolución de las trayectorias de las partículas desde los puntos de vertido, el estudio de la dinámica litoral se ha llevado a cabo mediante el uso de modelos "estáticos" de corrientes como el módulo MOPLA del SMC (Sistema de Modelado Costero del IH Cantabria). No es posible la simulación de la variación de estados de mar, viento y niveles en periodos de tiempo, sino que se obtienen respuestas estáticas a condiciones fijas mantenidas en el tiempo (condiciones estáticas de oleaje, nivel y viento).

Los modelos numéricos empleados para la propagación, cálculo de corrientes y transporte de sedimentos son los modelos OLUCA-RD y COPLA-2-DH del Sistema de Modelado Costero (SMC) desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (G.I.O.C.) de la Universidad de Cantabria, para la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente. El modelo parabólico de propagación de oleaje Oluca permite propagar oleajes monocromáticos o espectrales desde profundidades indefinidas hasta zonas próximas a la costa considerando refracción, asomeramiento, difracción, disipación por rotura y pos-rotura. A su vez, el modelo numérico de cálculo de corrientes de playa, COPLA-2DH resuelve las ecuaciones de flujo dentro de la zona de rompientes tomando como datos de entrada los resultados del modelo OLUCA-RD.

Puesto que el sistema circulatorio en la zona de rompientes es dominado por las fuerzas inducidas por el oleaje y asociadas a la rotura del mismo, en el presente estudio sólo se considerará el efecto del oleaje en la obtención de las corrientes para el análisis de la dinámica litoral en el entorno de los puntos de vertido. Además, por tratarse de un modelo numérico 2-DH, una malla se computa a partir de la expresión de la fricción en el fondo obteniéndose como resultados del modelo, los niveles y las dos componentes horizontales de la velocidad del flujo (corriente).

Por lo tanto, los valores de intensidad y dirección de las corrientes provocadas por el oleaje, como principal acción en la zona próxima a la costa, permite establecer patrones de comportamiento y evaluar las tendencias respecto de la probable evolución de las partículas veticas en el medio marino en la zona de estudio. Dado el carácter cualitativo de la metodología de determinación de la dinámica litoral se han modelizado únicamente las direcciones más representativas asociadas a la mayor probabilidad de presentación (direcciones ENE, E y ESE con probabilidades de presentación aproximadas del 9, 27 y 24 %, respectivamente).

El análisis simplificado de las masas de agua expuestas a las corrientes de oleajes procedentes de ENE, E y ESE muestran tendencias de concentración de partículas vertidas en el desagüe de la EDAR Rincón de León para las direcciones E y especialmente ESE en la zona sur al resguardo del puerto de Alicante. En menos medida (aunque también apreciable) para la dirección ENE por efecto de la difracción en las obras de abrigo portuarias.

El vertido en el emisario de la EDAR Monte Orgegia, por su mayor profundidad y mayor exposición al oleaje presenta una mayor dispersión de partículas para la dirección ENE, pudiendo ser transportadas a mayor distancia, aunque con menor probabilidad de alcanzar la costa. Sin embargo, para las direcciones E y sobre todo para a ESE, existe probabilidad que la trayectoria de las partículas (si se mantiene la dirección del oleaje)

llegue a alcanzar las zonas más abrigadas al S del puerto provocando acumulación agregada a la del vertido de la EDAR Rincón de León.

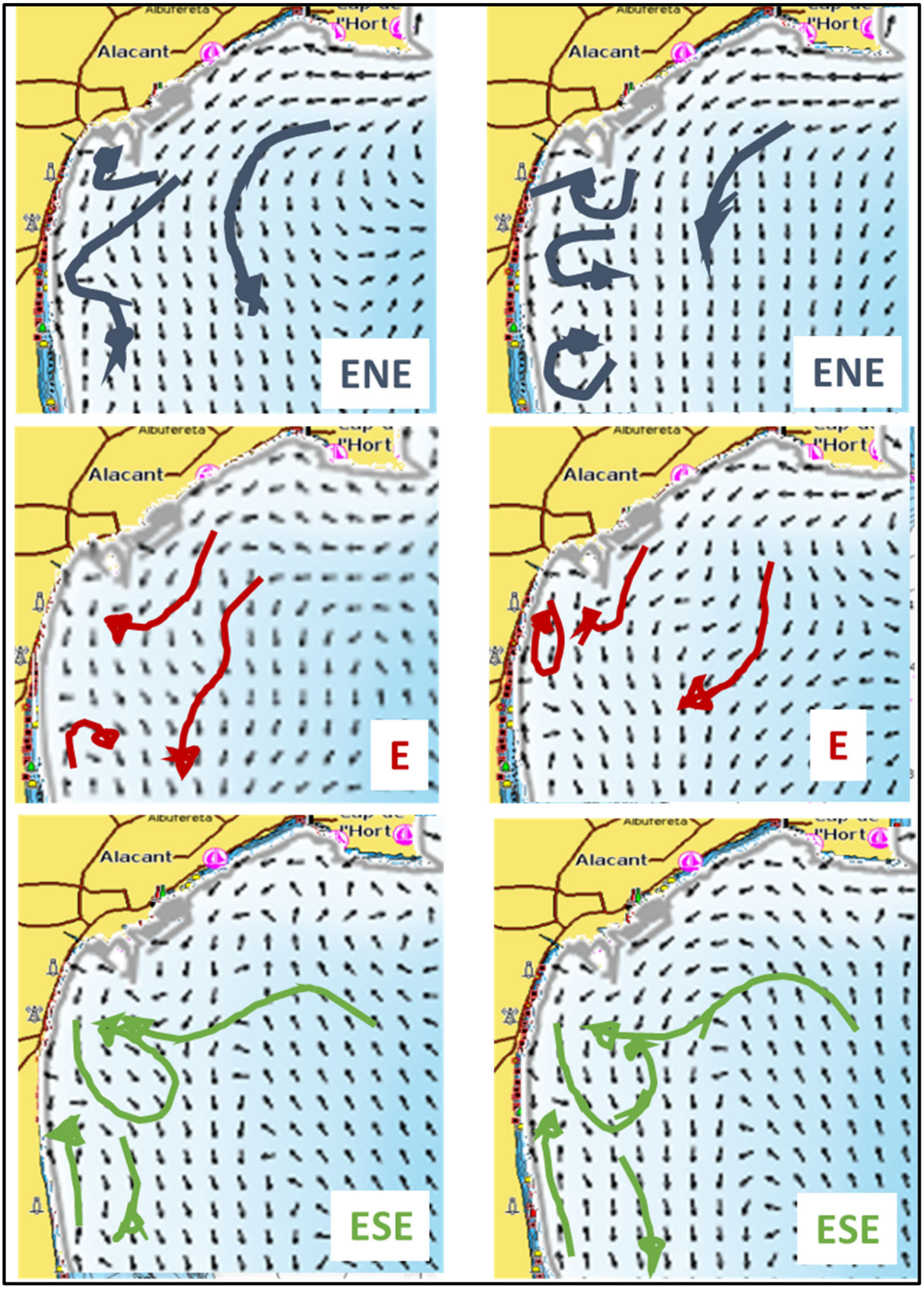


Figura 1711. Regímenes medios de oleaje 1958-2021

Estimación analítica del transporte de partículas.

En el estudio de la anualidad anterior se representan las estimaciones de las trayectorias analíticas para un periodo de 48 componiendo un polígono funicular de vectores. El polígono representa la composición vectorial de las estimaciones de desplazamiento para las condiciones de oleaje existentes en los periodos de 48 horas seleccionados, por lo que permite una aproximación a la posición final de las partículas vertidas después de transcurridas las 48 h.

El cálculo del transporte de contaminantes por métodos analíticos se basa en las teorías de la trayectoria de las partículas en el medio marino. Por tanto, la formulación empleada para el cálculo analítico del transporte de partículas se basará en la Teoría de la deriva de Stokes (Teoría no lineal de Stokes de 2º orden) en la cual se considera que existe transporte horizontal neto de moléculas de agua, en el sentido de avance de la ola (dirección del oleaje), mediante la siguiente expresión de velocidad:

$$\boldsymbol{U} = a^2 \times \left(\frac{2\times\pi}{\lambda}\right)^{\frac{3}{2}} \times g^{\frac{1}{2}} \times e^{\left(\frac{-4\times\pi\times z}{\lambda}\right)} \quad \text{(Stokes, 1847)}$$

Siendo:

$\boldsymbol{U} = componente\ horizontal\ de\ la\ velocidad\ de\ deriva\ de\ Stokes$
$a = amplitud = \frac{Hs}{2}$
$\lambda = Longitud\ de\ onda = \sqrt{g \times d} \times Tp$
$g = gravedad$
$z = profundidad\ de\ la\ partícula$
$d = profundidad\ del\ fondo$

Mediante esta formulación se representará el transporte advectivo de las partículas (componente horizontal de la velocidad asociada a la dinámica del propio medio receptor). Como se ha expresado anteriormente, la teoría del transporte de contaminantes comprende de más principios físicos, aunque es la componente advectiva del transporte la predominante en el análisis de la influencia de la dinámica marina en la dispersión de contaminantes.

Se comprueba la coherencia entre los resultados expuestos para la dinámica litoral y de la estimación de las trayectorias para cada dirección de oleaje según la metodología expuesta.

En la figura 19 se muestra la trayectoria por direcciones, así como la distancia recorrida en metros.

Figura 1812. Configuración geográfica y orientación respecto a las direcciones (Fuente: GoogleEarth)

Modelización de la trayectoria de partículas desde los puntos de vertido seleccionados

El objetivo de la modelización de estados de mar cambiantes para periodos de tiempo superiores a los efectuados en el estudio anterior no ha sido posible hasta el momento de la redacción del presente informe por los motivos expuestos anteriormente y que se resumen en la falta de actualización de licencia para el uso de la nueva versión del MOHID Water (empleada en el año anterior) denominada por OpenFlows FLOOD y que, por otra parte, aunque se ha instalado una versión de evaluación con licencia GLP del software Delft3D, aún no se ha confeccionado un modelo satisfactorio de la zona de estudio.

Es previsible la obtención de resultados con el software Delft3D de forma que también se podrán contrastar los resultados obtenidos con dicho software lo cual redundará en una mayor fiabilidad de los nuevos resultados que se obtengan con el mismo.

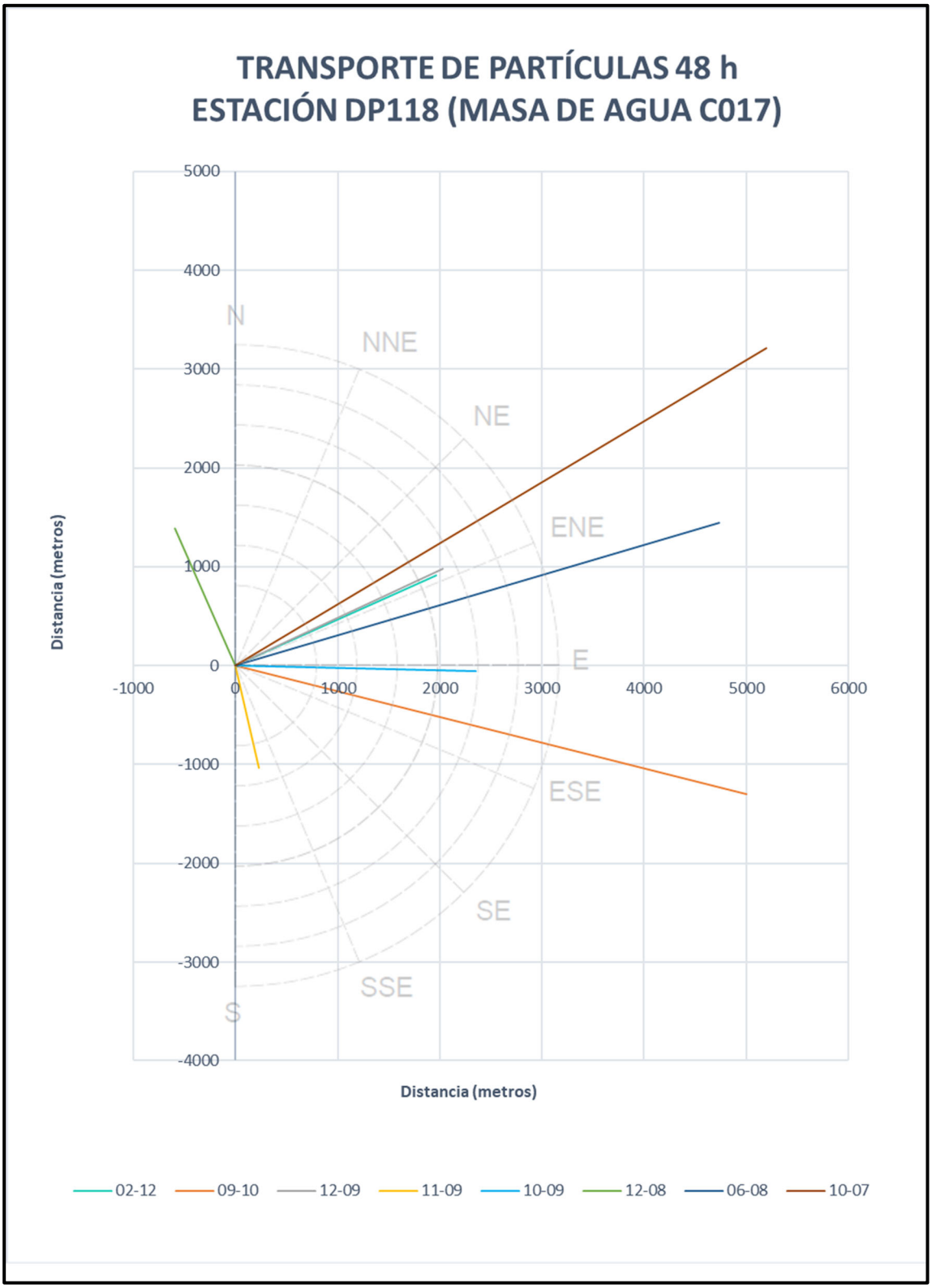


Figura 19. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP118 (masa de agua C017). [Elaboración propia]

5. Estudio ecológico de la masa C017

Desde el año 2005 se poseen datos históricos de la calidad del agua de esta masa de agua costera, C017. Respecto a la salinidad, pH y turbidez para la masa de agua no hay aspectos importantes que destacar, manteniéndose todas las muestras y en todas las campañas en los valores habituales en este tipo de masas de agua.

Para los indicadores fisicoquímicos (nutrientes) esta masa de agua costera cumple el estado en base a los criterios marcados en el Real Decreto 817/2015 (Tabla 4).

	Promedios µmol x/L				Estado masa de agua según nutrientes
Masa	Amonio	Nitrito	Nitrato	PSR	
C017	0.50 Bueno	0.08 Bueno	2.75 Bueno	0.04 Bueno	Bueno
DMA	4.60	0.92	7.3	0.76	Bueno/Moderado

Tabla 4. Resultado de los indicadores fisicoquímicos para C017. [Promedios 2005-2020]

En las figuras 20-23 se observa la variación en cada uno de los años estudiados para cada analito, para la masa y para cada estación de muestreo.

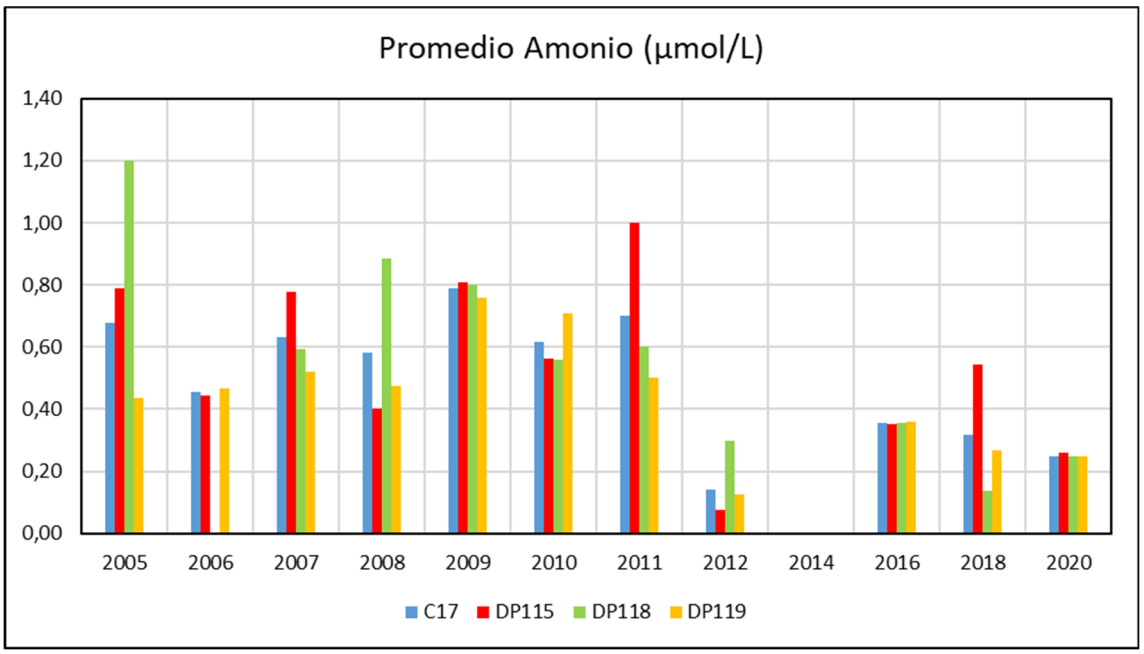


Figura 20. Promedio de amonio para C017 y sus estaciones.

Como se observa, el amonio, el nitrito y el PSR cumplen la DMA en todas las campañas y en todas las estaciones. El nitrato también cumple la DMA como promedio, pero en dos ocasiones se ha superado el umbral de 7.3 µmol/L, a pesar de que esto no ha generado un incumplimiento. Es el caso de la estación DP115 en el año 2005, cuyo promedio anual es de 11,35 µmol/L, pero que se debe exclusivamente a una campaña de muestreo que arrojó un valor de 35,5 µmol/L en la campaña de octubre.

Algo similar ocurre con la estación DP118 en el año 2012, cuyo promedio anual es de 22,4 µmol/L, que se debe a la campaña de muestreo realizada en febrero.

Pero como se ha apuntado, esto no genera ningún incumplimiento en los nutrientes, estando la masa C017 siempre por debajo del umbral marcado por la DMA.

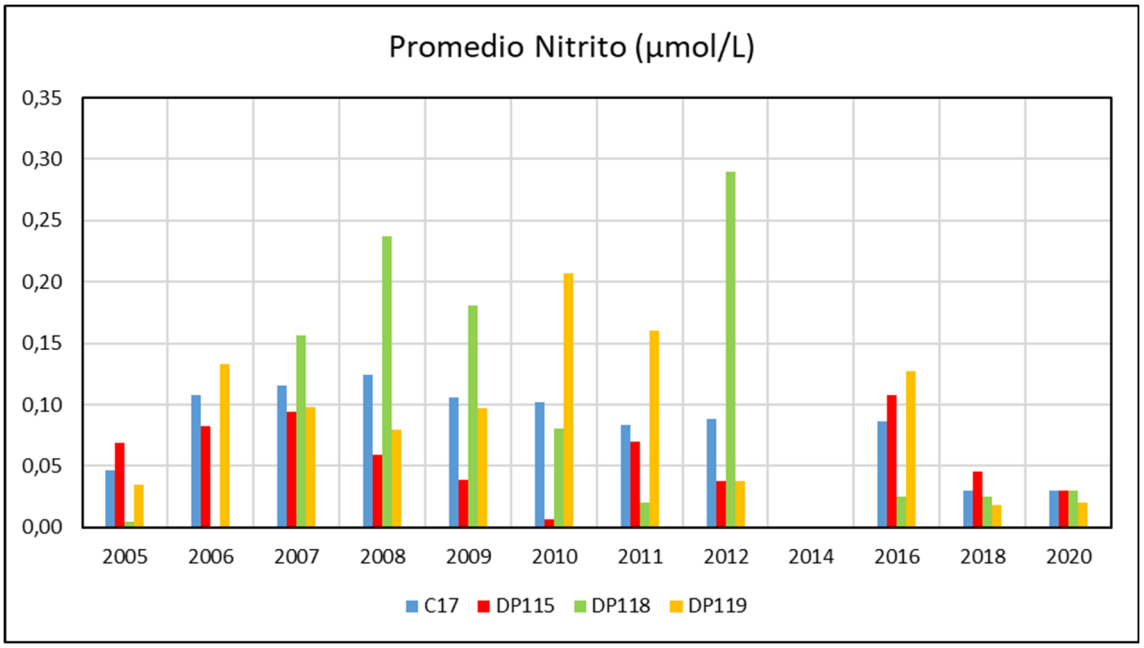


Figura 21. Promedio de nitrito para C017 y sus estaciones.

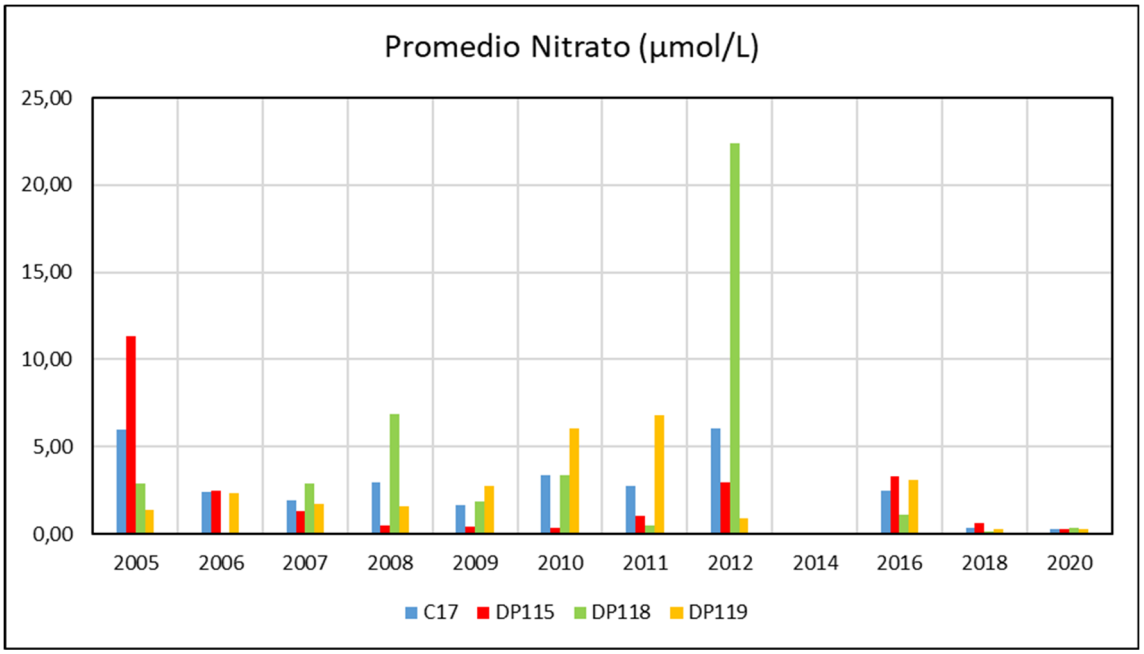


Figura 22. Promedio de nitrato para C017 y sus estaciones.

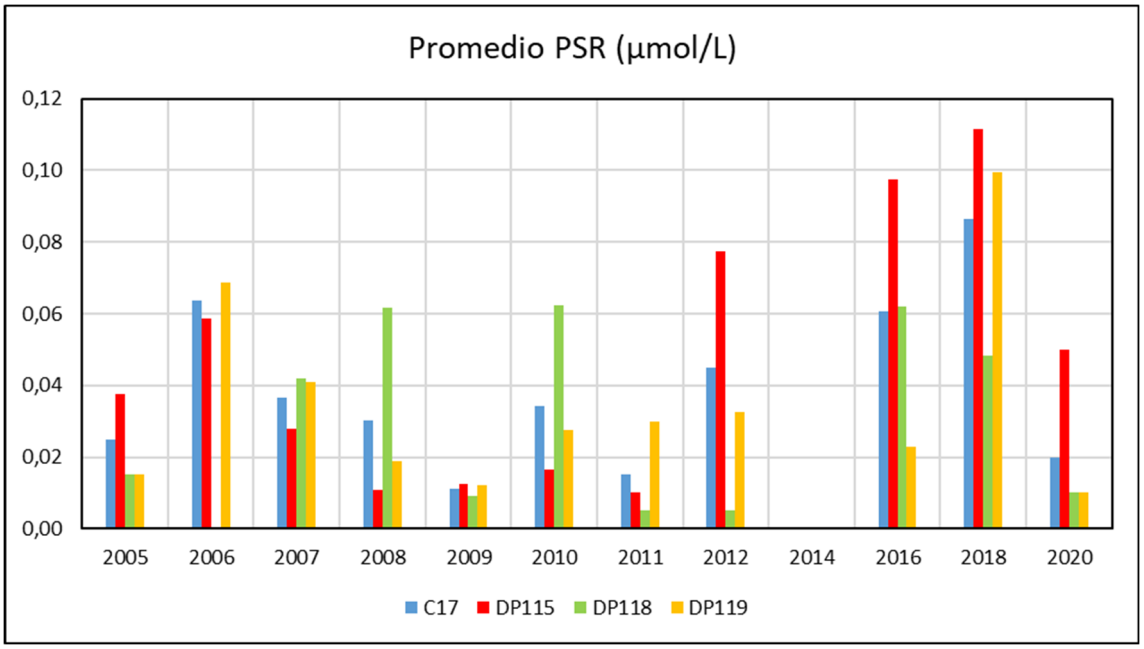


Figura 23. Promedio de PSR para C017 y sus estaciones.

Para el indicador biológico fitoplancton (Tabla 5), la masa C017 ha incumplido en todas las anualidades históricas, y a pesar de haber mejorado bastante el Percentil 90 (P90), sigue incumpliendo para los últimos 5 años en los que se poseen datos (2012, 2014, 2016, 2018 y 2020). El P90 de clorofila, calculado para estas 5 anualidades, arroja un valor de 3.92 µg/L, situándose ligeramente por encima del límite Bueno/Moderado (3.6 µg/L). En función de estos resultados, podemos decir que la única problemática encontrada en esta masa de agua costera es la clorofila, cuyo estado es Moderado.

Masa	Fitoplancton
C017	Moderado

Tabla 5. Resultado del indicador fitoplancton para C017

En la figura 24 se observa el percentil 90 global de todas las anualidades de las que se tienen datos, desde el 2005 hasta el 2020. Se observa que, tanto para la masa como para las tres estaciones, se incumple la DMA, obteniendo una valoración de Moderado. Pero resulta interesante estudiar la tendencia de los últimos años. En la figura 25 se observa el promedio anual de clorofila para la masa y para cada estación y en la figura 26 el percentil 90 y también los límites marcados por la DMA. Fue el año 2011 cuando menores valores de clorofila se detectaron en las tres estaciones, tanto en promedios como en percentiles. En los últimos años con mediciones, se encuentra una tendencia clara a ir disminuyendo los valores de clorofila, encontrando ya en 2020 valores de percentiles 90 por debajo del límite bueno/moderado en las tres estaciones y en la masa. Se observa en la gráfica 26, que el P90 de clorofila anual va descendiendo año tras año, lo que parece mostrar que se está actuando correctamente en la masa, y que paulatinamente en años venideros la calidad de agua puede llegar a cumplir.

Sin embargo, la DMA marca que la valoración debe realizarse con el percentil 90 de los últimas 5 años. De esa manera, como se observa en la figura 27, con los resultados de las tres estaciones de muestreo para los últimos 5 años en los que se poseen datos

(2012, 2014, 2016, 2018 y 2020), se puede comprobar que la masa sigue incumpliendo la DMA, pero con valores muy cercanos al límite.

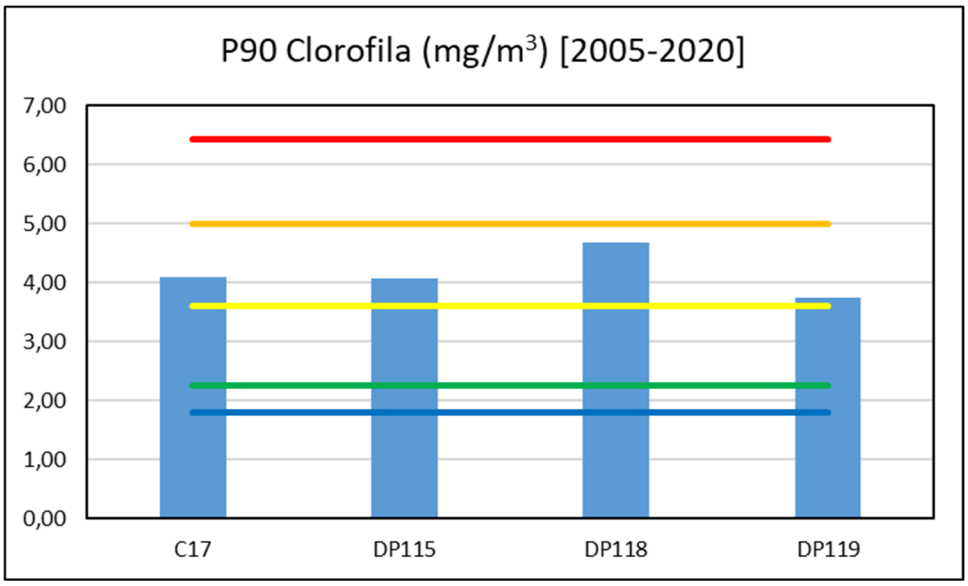


Figura 24. Percentil 90 de clorofila para la masa y sus estaciones de los años 2005-2020.

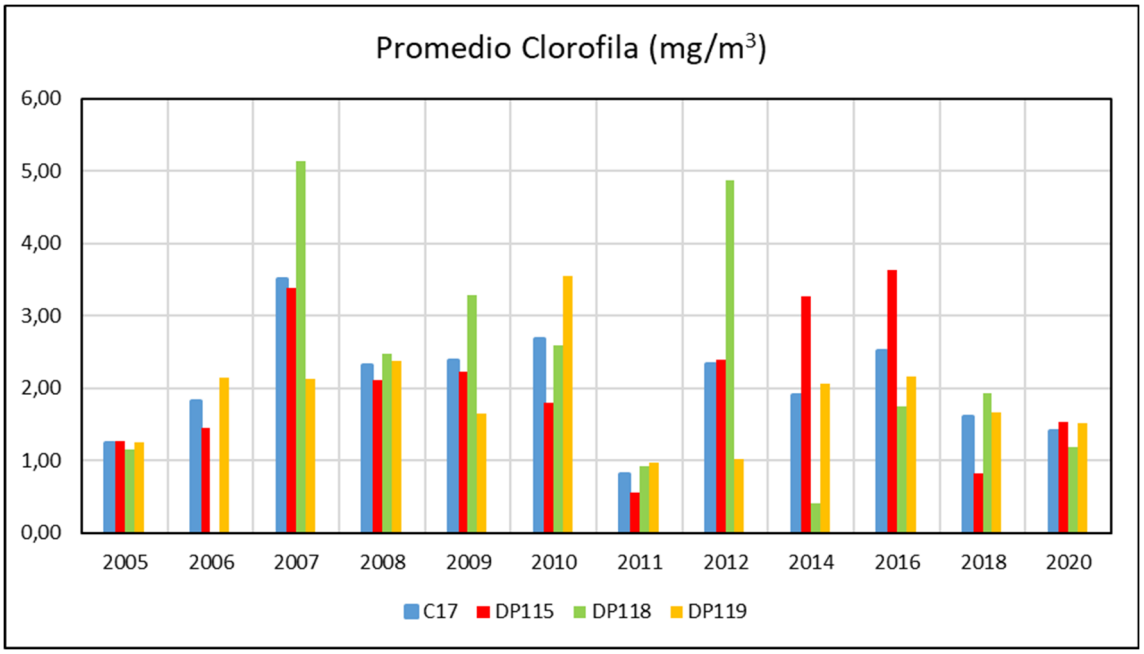


Figura 25. Promedio de clorofila para C017 y sus estaciones.

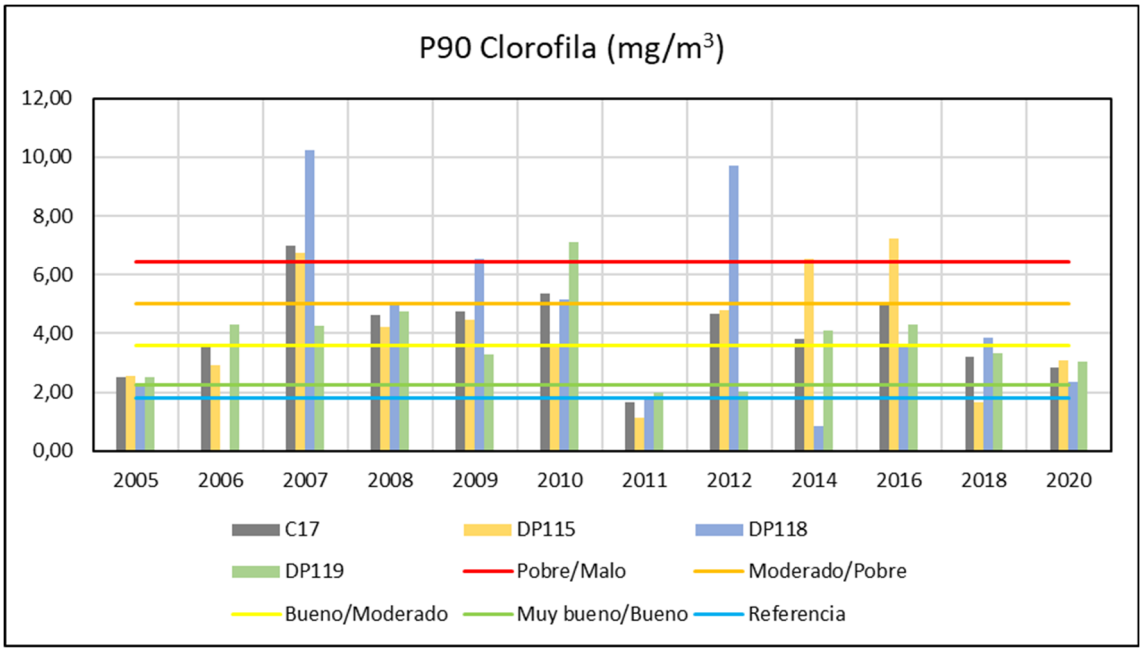


Figura 26. Percentil 90 de clorofila para C017 y sus estaciones.

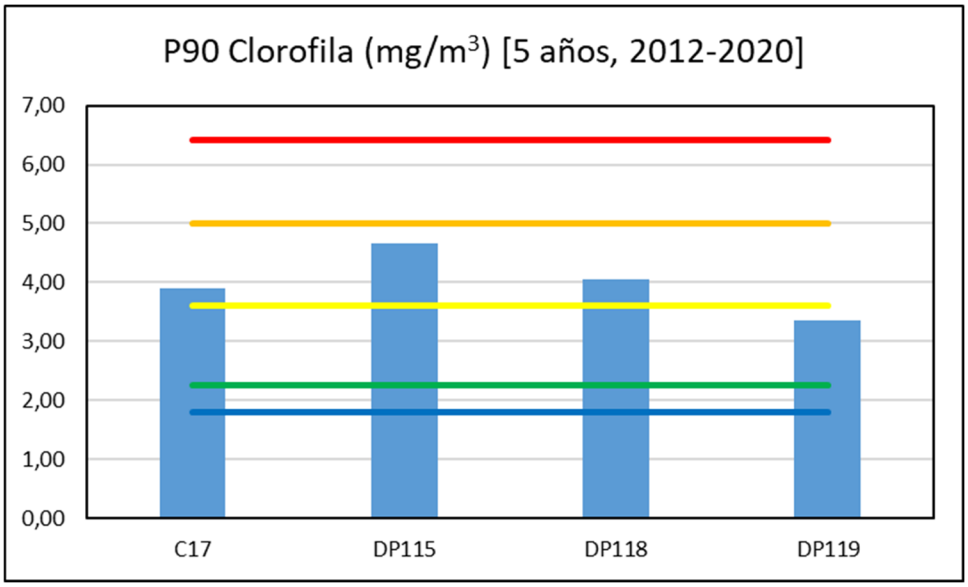


Figura 27. Percentil 90 de clorofila en las estaciones de la masa C017, 2012-2020.

De las tres estaciones, es la DP115, la que tiene un peor estado. De hecho, la estación DP115 está ubicada en una de las calas de Santa Pola Este (Figura 28), cuya morfología puede ser razón suficiente para su incumplimiento, debido a la acumulación de macroalgas que pueden distorsionar los resultados. De hecho, en la última campaña de muestreo realizada se tomó muestra en el punto DP115 y en un punto adicional DP115A situado en la escollera derecha. La clorofila en DP115 aportó un valor de 80.13 mg/m^3 y sólo de 1.53 mg/m^3 en DP115A, quedando por tanto clara la razón de su incumplimiento. En la figura 29 se muestra todos los datos que se poseen de la estación DP115. Se observa que la estación ha tenido variaciones importantes a lo largo de los

años. Aunque entre 2012 y 2016 los niveles han sido bastante altos, ha disminuido bastante en los últimos años.

Figura 28. Ubicación de la estación DP115 y DP115A.

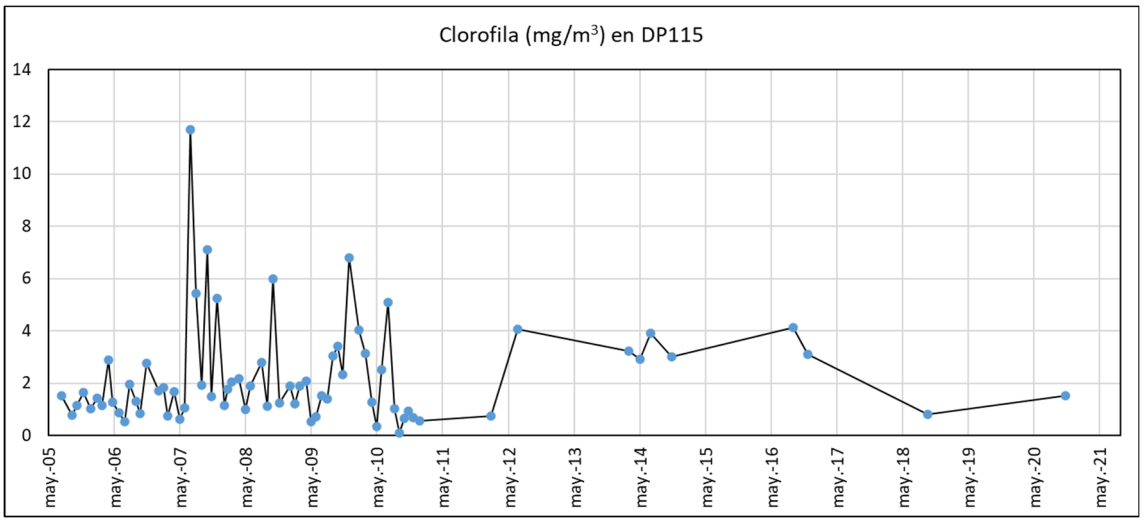


Figura 29. Clorofila en la estación DP115.

La estación DP118 está ubicada cerca de las Salinas de Santa Pola y al sur de esta estación existe una Gola y la desembocadura del río Vinalopó que podrían llegar a influir en su calidad. El agua de la "Gola" suele poseer menor temperatura que el resto de las estaciones y una salinidad entre 50 y 70 g/kg, lo cual puede dar indicación del origen de dicha agua. Es de resaltar los elevados valores de clorofila que se han encontrado en esta muestra, oscilando entre 4 mg/m^3 y 14 mg/m^3.

Las muestras recogidas en la desembocadura del rio Vinalopó muestran también diferencias claras con las estaciones de playas. Poseen una salinidad entre 7 y 13 g/Kg, indicativo de una alta influencia fluvial, un pH de 8.06-8.08 y muy elevadas concentraciones de clorofila, oscilando entre 58 y 72 mg/m^3.

Así, si estas aguas (de la Gola y/o del Vinalopó) alcanzan las zonas de playas, estarían aportando gran cantidad de nutrientes que rápidamente serían aprovechados por la comunidad fitoplanctónica. Este rápido consumo de nutrientes provoca que se detecten altos valores de clorofila, pero no de nutrientes. En la figura 30 se muestra todos los datos que se poseen de la estación DP118. Se observa que la estación ha tenido variaciones importantes a lo largo de los años. Aunque hasta el 2012 los niveles han sido en ocasiones bastante altos, ha disminuido bastante en los últimos años, estando siempre por debajo de 4 mg/m^3.

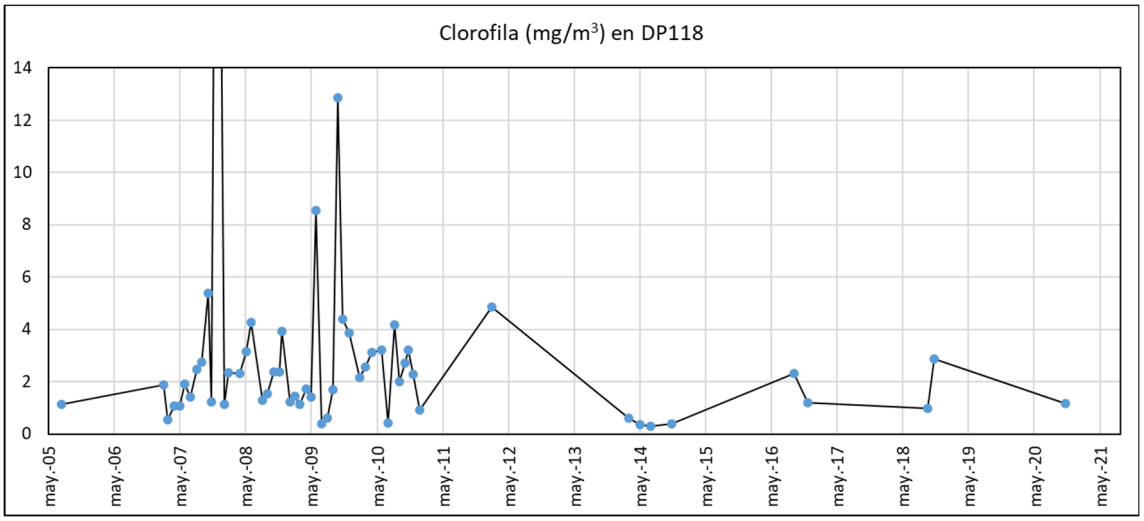


Figura 30. Clorofila en la estación DP118.

En el caso de la estación DP119, se aprecia en la figura 31 todos los datos que se poseen de la estación. También se observa que en los últimos años los niveles de clorofila han disminuido bastante y con una tendencia clara.

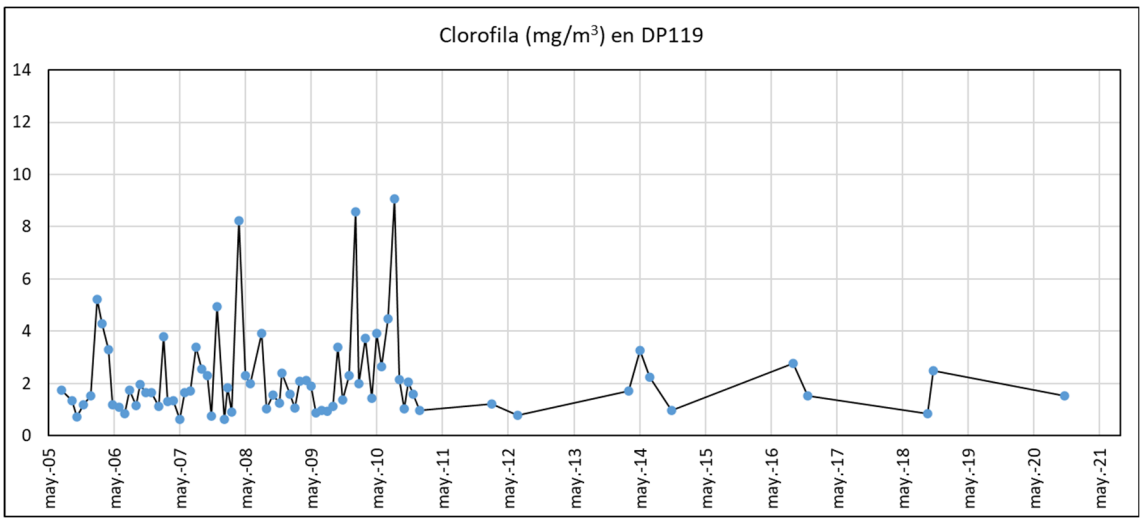


Figura 31. Clorofila en la estación DP119.

Respecto a la comunidad fitoplantónica, en las figuras 32-34 se observa la predominancia de los grandes grupos a lo largo de los años. En las figuras 35-37 se muestra el promedio global de todos los años en los que se tienen datos.

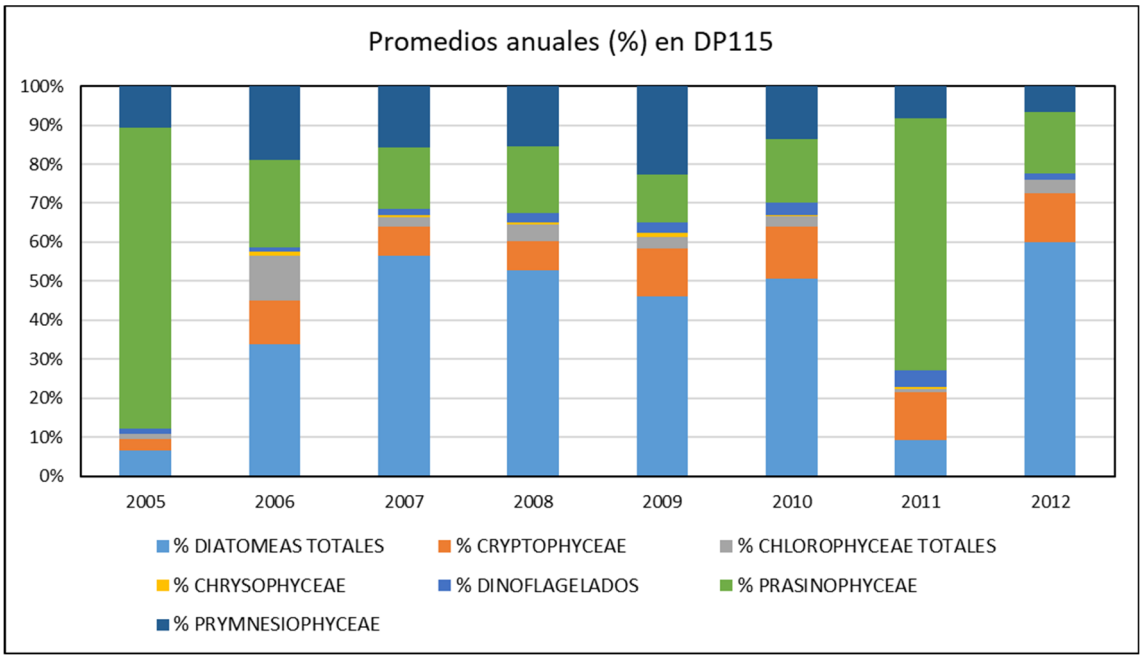


Figura 32. Fitoplancton en la estación DP115 [2005-2012]

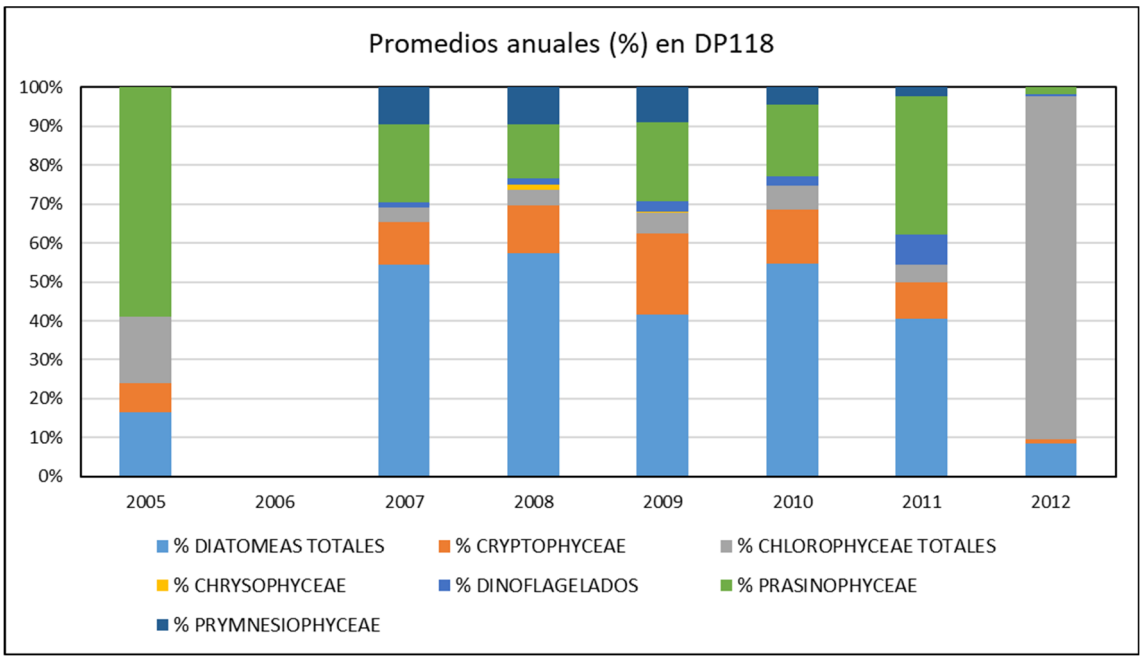


Figura 33. Fitoplancton en la estación DP118 [2005-2012]

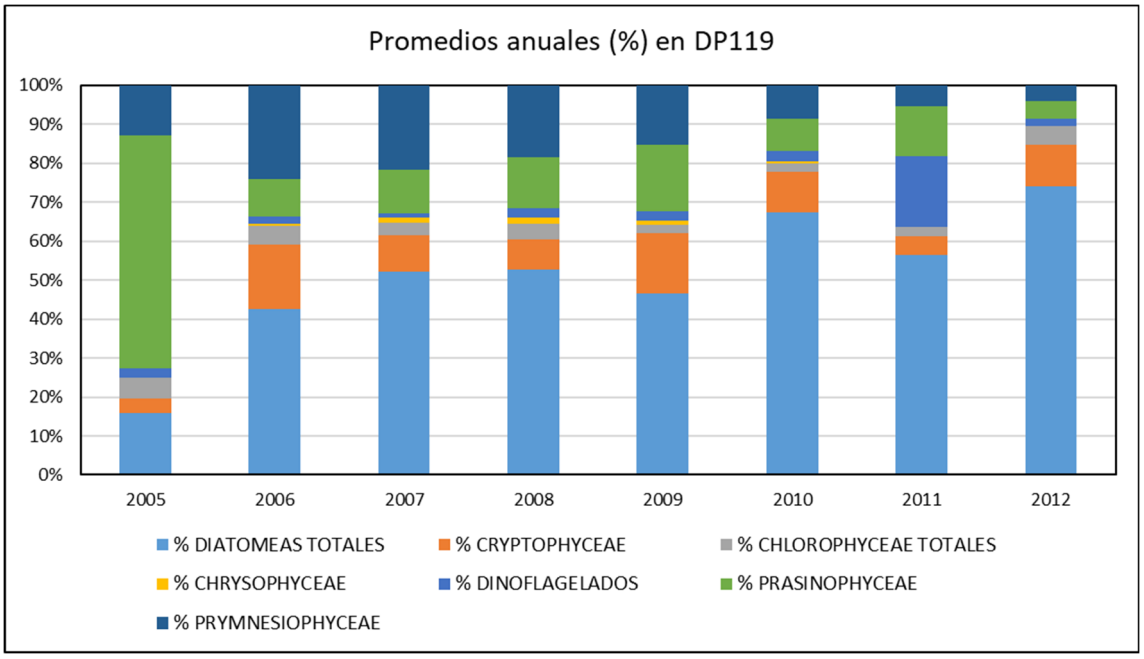


Figura 34. Fitoplancton en estación DP119 [2005-2012]

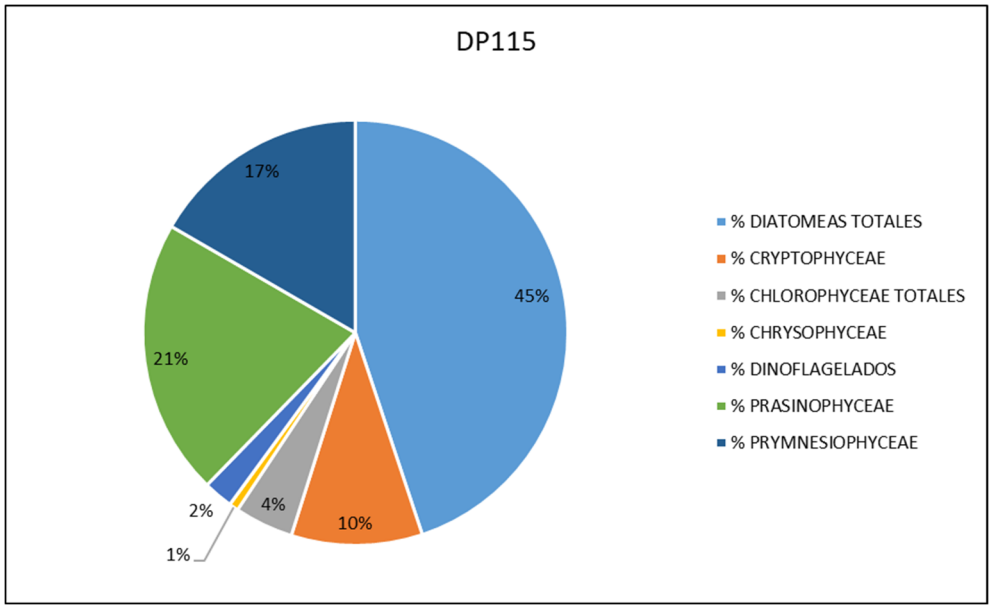


Figura 35. Fitoplancton en estación DP115

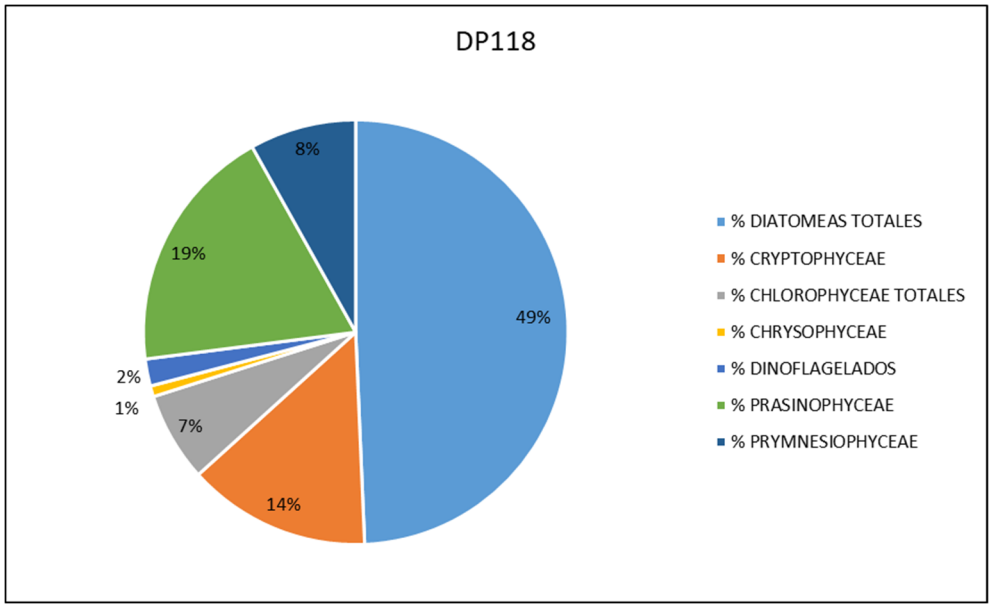


Figura 36. Fitoplancton en estación DP118

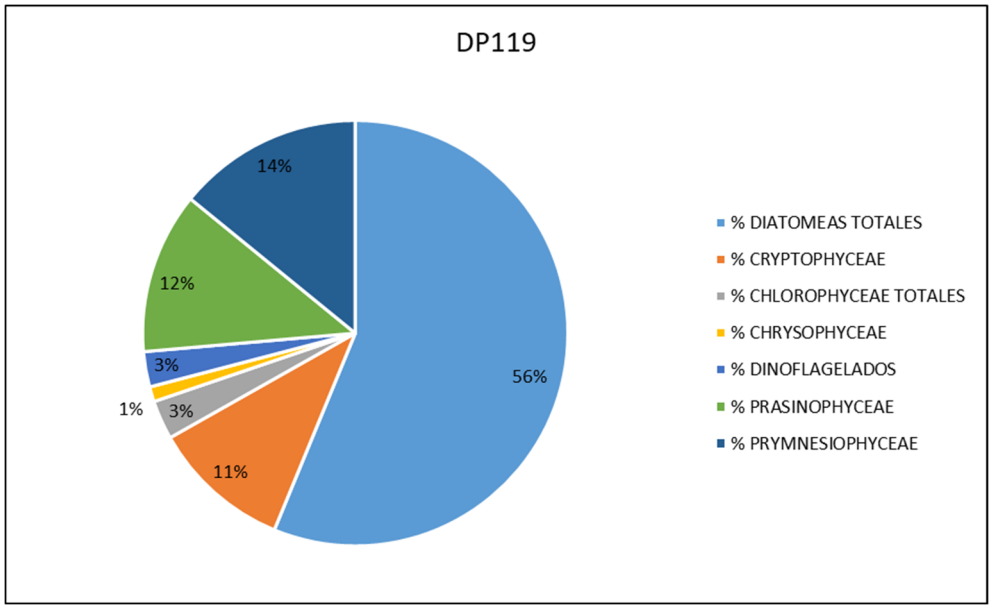


Figura 37. Fitoplancton en estación DP119

La comunidad fitoplantónica para la masa C017 está formada principalmente por Diatomeas y Cryptophyceae, grupos típicos para zonas costeras. El resto de grupos principales de fitoplancton también contribuyen a la comunidad dando muestra de una diversidad propia de las aguas costeras.

6.- Conclusiones

Los datos históricos y actuales que se poseen de la zona de estudio arrojan como principal resultado que no existe ningún incumplimiento en los nutrientes, estando la masa C017 siempre por debajo del umbral marcado por la DMA.

La única problemática encontrada en esta masa de agua costera es la clorofila, cuyo estado es Moderado. En el caso del indicador biológico fitoplancton, la masa C017 ha incumplido en todas las anualidades históricas, estando el percentil 90 anual de clorofila por encima del umbral bueno/moderado, excepto en el año 2011 en el que sí se cumplía. En los últimos años se observa una gran mejoría del Percentil 90 (P90), aunque sigue incumpliendo para los últimos 5 años en los que se poseen datos (2012, 2014, 2016, 2018 y 2020). El P90 de clorofila, calculado para estas 5 anualidades (3.92 µg/L), se sitúa ligeramente por encima del límite Bueno/Moderado (3.6 µg/L). Se ha podido comprobar que en los últimos años los niveles de clorofila han disminuido bastante y con una tendencia clara. En función de los resultados estudiados, es de esperar que, si se sigue la misma tendencia, en el año 2022 los niveles de clorofila sean aún menores. Eso hará que el P90 de los 5 años (2014, 2016, 2018, 2020 y 2022) pueda llegar a cumplir la DMA.

De las tres estaciones, es la DP115, la que tiene un peor estado. De hecho, la estación DP115 está ubicada en una de las calas de Santa Pola Este, cuya morfología puede ser razón suficiente para su incumplimiento, debido a la acumulación de macroalgas que pueden distorsionar los resultados. De hecho, así se pudo comprobar en la última campaña de muestreo, donde se observó que en el punto DP115 existía gran cantidad de macroalgas acumuladas, y en cambio en el punto adicional situado en la escollera derecha el nivel de clorofila era 50 veces menor.

En el presente trabajo se ha efectuado una actualización del clima marítimo incluyendo la caracterización del oleaje, vientos y niveles del mar respecto a la efectuada en la anualidad anterior para incorporar los nuevos datos registrados en el año en curso. El análisis de los resultados de dicha actualización respecto de los regímenes medios, direcciones y frecuencias no es significativo para la zona de estudio, no provocando cambios respecto de los resultados obtenidos en el informe anterior. Para la nueva actualización se han empleado las mismas fuentes de datos anteriores (puntos SIMAR), complementándose con los datos ERA5 de Copernicus.

La propagación del oleaje y posterior obtención de los patrones de corrientes para el estudio de la dinámica litoral de la zona ha sido modelizada mediante el software MOPLA incluido en el Sistema de Modelado Costero del IH Cantabria. Los resultados principales obtenidos son las direcciones e intensidades de corrientes producidas por las condiciones de oleaje modelados correspondientes a las direcciones ENE, E y ESE (direcciones con mayor probabilidad de presentación). El análisis de la dinámica litoral muestra los casos más problemáticos en relación con el proceso acumulativo en la zona S al abrigo del puerto de Alicante para las direcciones E y ESE, pudiendo ser un efecto agregado por concentración en dicha zona de las partículas vertidas tanto en la EDAR Rincón de León como de la EDAR Monte Orgegia.

Es esperable, en un futuro próximo, poder efectuar modelización de situaciones dinámicas correspondientes a variaciones de estados de mar, viento y niveles de agua para periodos de tiempo superiores a los efectuados en el estudio anterior (1 mes aproximadamente) mediante la actualización del software Delft3D de Deltares. El empleo de un software distinto del MOHID Water empleado en el estudio anterior permitirá la verificación de las herramientas utilizadas incrementado la fiabilidad en los resultados que se obtengan.

7.-Bibliografía

- Action Modulers. Keyword List - MOHID. http://wiki.mohid.com/index.php?title=Keyword_list.
- MOHID Studio - Quick-Start Guide for MOHID Water Implementation - v.2.0. [En línea] http://wiki.actionmodulers.com/wiki/index.php?title=MOHID_Studio_-_Quick- Start_Guide_for_MOHID_Water_Implementation_-_v.2.0.
- AHSA. 2020. La Comisión Europea inicia una investigación sobre la situación de contaminación crónica por vertidos urbanos residuales e industriales en el espacio marino protegido de la red natura 2000 "LIC y ZEPA de Tabarca". Alicante: Asha.org,
- Barreto, I., Ezzatti, P. y Fossati, M. 2009. Estudio inicial del modelo MOHID. Montevideo (Uruguay): PEDECIBA - Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Republica. Reporte Técnico RT 09-10.
- Booij, N., Holthuijsen, L.H. y Ris, R.C. 1996. The "SWAN" Wave Model for Shallow Water. Orlando: Florida (USA).
- Cambronero Arribas, P. 2020. Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión. Trabajo Final de Máster. Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de València.
- Comerma, E. 2004. Modelado numérico de la deriva y envejecimiento de los hidrocarburos vertidos al mar: aplicación operacional en la lucha contra las mareas negras. PhD thesis, UPC.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. 2015. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.
- Confederación Hidrográfica del Segura. Caudales ecológicos. https://www.chsegura.es/chs/cuenca/resumendedatosbasicos/caudalesecologicos/
- Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. 2016. El Consell ayuda a investigar a tres universidades sobre la aplicación de la Directiva Marco del Agua a las masas de aguas costeras y de transición de la Comunitat. Valencia: Generalitat Valenciana.
- Delft University of Technology. SWAN Implementation Manual. [En línea] http://swanmodel.sourceforge.net/online_doc/swanimp/swanimp.html.
- Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan de Ecocartografías del litoral español. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ ecocartografia-alicante.aspx.

- iAgua. 2014. Comienza la recuperación ambiental del río Segura en la ciudad de Murcia. 31 de 03 de 2014. https://www.iagua.es/noticias/restauracion/14/03/31/comienza-la-recuperacion-ambiental-del-rio-segura-en-la-ciudad-de-murcia-47650.
- Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua. 2009. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua.
- Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV). 2018. Informe del contrato menor CNME 18/0303/30 - Campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunidad Valenciana. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- López Jiménez, A. 2016. El proceso de dispersión de contaminantes en medios receptores - UPV. https://www.youtube.com/watch?v=d0h2EHyPHBw
- Martí Insa, C.M. 2010. Tesis Doctoral: Caracterización ecológica y establecimiento de los criterios para determinar el potencial ecológico en las salinas de las Comunidad Valenciana. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez Guijarro, R. 2009. Tesis doctoral: Determinación de comunidades fitoplanctónicas mediante espectroscopía visible y su relación con los recuentos por microscopía de epifluorescencia. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2015. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Puertos del Estado. [En línea] www.puertos.es. MOHID Forum. http://forum.mohid.com/
- Oliva Cañizares, A. 2019. Riesgo de Inundación y gestión del agua plivial en el Barranco de las Ovejas. Alicante: Universidad de Alicante.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión europea. 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Bruselas: Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- Romero, I., Cambronero, P., González-Escrivá JA., Molines, J., Pachés, M., Martínez-Guijarro, R., Serra-Peris, J., Pulido-Velázquez, M., Barat, R., 2020. Estado ecológico de la masa de agua costera C017: Santa Pola-Guardamar del Segura, dinámica litoral, fuentes de contaminación y sus medidas de gestión.

- Síndic de Greuges. 2019. Contaminación ambiental. Conducción de vertidos de tierra a mar procedente de la depuradora Rincón de León. Valencia: Registre general de la Comunitat Valenciana. 01950.

8.-Equipo de trabajo

Coordinadora: Inmaculada Romero Gil
Equipo de trabajo:
Jose Alberto González Escrivá
Jorge Molines Llodra
Maria Aguas Vivas Pachés Giner
Remedios Martínez Guijarro
José Serra Peris
Manuel Pulido Velázquez
Ramón Barat Baviera
Félix Francés
Javier Rodrigo Ilarri